



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Κινητοί Πράκτορες: Εφαρμογή σε Υπηρεσίες Κινητού  
Υπολογισμού και Αρχιτεκτονικές Βελτιώσεις**

**Βασίλειος Α. Μπαούσης**

**ΑΘΗΝΑ  
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009**



**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Κινητοί Πράκτορες: Εφαρμογή σε Υπηρεσίες Κινητού Υπολογισμού  
και Αρχιτεκτονικές Βελτιώσεις

**Βασίλειος Α. Μπαούσης**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:**

**Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**Γεώργιος Στεφάνου, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Λάζαρος Μεράκος**  
Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Ιωάννης Σταυρακάκης**  
Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Γεώργιος Στεφάνου**  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Μιλτιάδης Αναγνώστου**  
Καθηγητής ΕΜΠ

**Ηλίας Μανωλάκος**  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

**Αθανασία Αλωνιστιώτη**  
Λέκτορας ΕΚΠΑ

**Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης**  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ημερομηνία Εξέτασης 19/10/2009



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κινητός και γενικότερα ο κατανεμημένος υπολογισμός αποτελούν δύο βασικούς ερευνητικούς τομείς της Πληροφορικής, καθόσον βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην καθημερινή μας ζωή, κυρίως λόγω της ταχύτητα αυξανόμενης ανάπτυξης των τεχνολογιών κινητών δικτύων και του Διαδικτύου. Η διείσδυση των τεχνολογιών αυτών στην καθημερινή μας ζωή, έχει αλλάξει κατά πολύ τον τρόπο με τον οποίο εργαζόμαστε, επικοινωνούμε, αναζητούμε πληροφορίες και πολλές φορές οργανώνουμε την ζωή μας. Στην παρούσα Διδακτορική Εργασία εξετάζονται θέματα που αφορούν και στους δύο αναφερόμενους ερευνητικούς τομείς. Βασικός άξονας της Διδακτορικής Διατριβής είναι η υιοθέτηση της τεχνολογίας των Κινητών Πρακτόρων (ΚΠ) και ο συνδυασμός της με άλλες τεχνολογίες και μεθοδολογίες (όπως ο Σηματολογικός Ιστός, ο συμπερασμός βάσει περιπτώσεων και στοιχεία από την Θεωρία Παιγνίων) στα παρουσιαζόμενα πλαίσια εφαρμογής, ώστε να προσδώσουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις ήδη χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες. Η διατριβή εστιάζει σε δύο βασικούς άξονες, (α). Στη μοντελοποίηση, περιγραφή και συγκριτική αξιολόγηση πλαισίων εφαρμογών που επιτρέπουν με διαφανή τρόπο την προσφορά και επιλογή υπηρεσιών, σε κινητούς χρήστες, σε κινητά δίκτυα με τη χρήση των ΚΠ και (β). Στη μοντελοποίηση, περιγραφή και αξιολόγηση πλαισίου διαχείρισης πόρων σε δίκτυα ΚΠ.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Κινητός Υπολογισμός

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κινητός υπολογισμός, Κινητά δίκτυα, Σηματολογικός Ιστός, Κατανεμημένα Συστήματα, διαχείριση πόρων.



## **ABSTRACT**

Mobile and more generally distributed computing are two basic research areas of Information Technology since they find many applications in our daily life, mainly due to the rapidly increasing growth of technologies of mobile networks and the Internet. The penetration of these technologies in our contemporary life has by far changed the way we work, communicate, seek information and organize our lives. In the present thesis are presented subjects that concern these two research areas. Main characteristic of this thesis is the adoption of Mobile Agents (MA) technology and their combination with other technologies and methodologies (such as the Semantic Web, the Case Based Reasoning methodology and some principles from Game Theory) into the introduced frameworks, so that lead to better results concerning the already used technologies. This thesis focuses in two basic axes, a. Modeling, description and comparative evaluation of application frameworks that allow, with transparent means, service selection and provision to mobile users, in mobile networks with the use of MA and b. Modeling, description and evaluation of a framework for resource management in MA networks.

SUBJECT AREA: Mobile Computing

KEYWORDS: Mobile computing, Mobile Networks, Semantic Web, Distributed systems, Resource Management.





*Στην Ελένα, την Αλεξάνδρα και στον Αλέξανδρο–Κάρλο*



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	11
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	17
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	21
<b>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</b> .....	21
2.1    ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ .....	21
2.2    ΠΑΡΟΧΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΚΠ .....	23
2.3    ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CASE BASE REASONING .....	24
2.4    ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΚΠ.....	25
2.5    ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	29
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΕΝΝΟΙΕΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</b> .....	29
3.1    ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	29
3.2    ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ.....	29
3.2.1 <i>Κινητοί Πράκτορες</i> .....	36
3.3    ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ .....	41
3.3.1 <i>Εισαγωγή</i> .....	41
3.3.2 <i>Εικονικό Οικείο Περιβάλλον (Virtual Home Environment)</i> .....	43
3.3.3 <i>Open Service Access (OSA)</i> .....	45
3.3.4 <i>Αρχιτεκτονική UMTS</i> .....	45
3.4    ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ... 46	
3.4.1 <i>Εισαγωγή</i> .....	46
3.4.2 <i>Υπηρεσιοκεντρική Αρχιτεκτονική (Service Oriented Architecture – SOA)</i> .....	48
3.4.3 <i>Υπηρεσιοκεντρική Αρχιτεκτονική (Service Oriented Architecture-SOA) και «Υπηρεσίες Διαδικτύου»</i> .....	50
3.4.4 <i>Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web)</i> .....	52
3.5    ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ .....	59
3.5.1 <i>Εισαγωγή</i> .....	59
3.5.2 <i>Κατανεμημένη Σύγκλιση σε Ισοροπίες Παιγνίων</i> .....	60
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	69
<b>ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ</b> .....	69
4.1    ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	69
4.2    ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ .....	71

4.3	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	76
4.3.1	Δομή ΚΠ.....	78
4.3.2	Υλοποίηση Προτεινόμενου Πλαισίου .....	80
4.4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	82
4.4.1	Έναρξη /Αρχικοποίηση της πλατφόρμας των ΚΠ.....	83
4.4.2	Αλληλεπιδράσεις Χρηστών με την πλατφόρμα.....	86
4.4.3	Εγγραφή Χρηστών στο Δίκτυο.....	86
4.4.4	Εγγραφή νέων χρηστών στο δίκτυο.....	88
4.4.5	Διαφήμιση Υπηρεσιών και συνδρομή χρηστών σε αυτές.....	89
4.5	ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....	91
4.6	ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	94
4.6.1	Κινητικότητα Χρηστών .....	95
4.6.2	Διαδικασία Αφίξης / αναχώρησης χρηστών από το σύστημα.....	96
4.6.3	Χρονικές Παράμετροι.....	96
4.6.4	Κατηγορίες Χρηστών .....	99
4.6.5	Τύποι Υπηρεσιών .....	99
4.6.6	Χωρητικότητα Δικτύου και γραμμών δικτύου.....	100
4.6.7	Σενάρια Προσομοίωσης.....	101
4.7	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	104
4.7.1	Μετρικές Συστήματος.....	104
4.7.2	Χωρητικότητα .....	106
4.8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	109
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	.....	<b>111</b>
<b>ΠΑΡΟΧΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ</b>	.....	<b>111</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	111
5.2	ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	112
5.3	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	115
5.3.1	Ο χρήστης (User Service Requestor-USR).....	117
5.3.2	Κινητός Πράκτορας (Mobile Agent) .....	118
5.3.3	Σταθερός Πράκτορας Παρόχου - ΣΠΠ (Provider Stationary Agent - PSA) .....	122
5.3.4	Σταθερός Πράκτορας Καταλόγου Υπηρεσιών –ΣΠΚΥ (Registry Stationary Agent RSA).....	123
5.3.5	Κατάλογος Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού - ΚΥΣΙ (Semantic Web Services Registry SWSR).....	124
5.3.6	Πάροχος Υπηρεσιών Ιστού ΠΥΙ (Web Service Provider - WSP) ....	125
5.3.7	Περιγραφή χρήσης Υπηρεσιών .....	127
5.4	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	132
5.4.1	Αξιολόγηση προτεινόμενου πλαισίου σε JADE.....	133
5.4.2	Αξιολόγηση προτεινόμενου πλαισίου σε Grasshopper .....	136
5.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	140
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	.....	<b>143</b>
<b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CASE BASE REASONING</b>	.....	<b>143</b>
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	143

6.2	ΣΧΕΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ.....	144
6.3	ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	148
6.4	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	150
6.4.1	Δίκτυο.....	153
6.4.2	Χρήστες.....	154
6.4.3	Πάροχοι υπηρεσιών.....	155
6.4.4	Δημιουργία Οντολογιών.....	156
6.4.5	Αντιστοίχιση Οντολογιών.....	159
6.4.6	Case Base Reasoning System.....	162
6.5	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ.....	164
6.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	166
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>		<b>167</b>
<b>ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ</b>		<b>167</b>
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	167
7.2	ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	168
7.3	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	173
7.3.1	Διαμόρφωση σε Συστάδες (Clustering).....	175
7.3.2	Εξυπηρετητές Επικεφαλής Συστάδων (Cluster Head Servers).....	176
7.3.3	Απλοί Εξυπηρετητές (Simple Servers).....	179
7.3.4	Κινητοί Πράκτορες.....	181
7.3.5	Προγνώστες Φόρτου (Predictors).....	184
7.3.6	Στρατηγικές Μετακίνησης.....	186
7.3.7	Μετρικές Προσομοίωσης.....	188
7.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	191
7.4.1	Πρώτο Σενάριο Προσομοιώσεων.....	192
7.4.2	Δεύτερο Σενάριο Προσομοιώσεων.....	198
7.4.3	Τρίτο Σενάριο Προσομοιώσεων.....	200
7.5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	203
7.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	204
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>		<b>207</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....</b>		<b>207</b>
8.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	207
8.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	209
<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΩΝ ΦΟΡΤΟΥ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SFBR.....</b>		<b>213</b>
<b>ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....</b>		<b>227</b>
<b>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ.....</b>		<b>229</b>
<b>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΟΡΩΝ.....</b>		<b>229</b>
<b>ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>		<b>231</b>
<b>ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....</b>		<b>245</b>



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θέματα τα οποία αφορούν την εφαρμογή της τεχνολογίας των Κινητών Πρακτόρων εξετάζονται ως προς την παροχή υπηρεσιών σε ασύρματα δίκτυα. Συγκεκριμένα, υλοποιείται η έννοια του Εικονικού Οικείου Περιβάλλοντος (Virtual Home Environment-VHE), η οποία αφορά στην παροχή υπηρεσιών με την ίδια «εμφάνιση και αίσθηση» (look and feel) ανεξαρτήτως δικτύου και τερματικών συσκευών πρόσβασης στα κινητά δίκτυα Τρίτης Γενιάς. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο η χρήση της τεχνολογίας των Κινητών Πρακτόρων εφαρμόζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη χρήση των πόρων του δικτύου (με την προσφορά περισσότερων υπηρεσιών στους κινητούς χρήστες). Επιπλέον η τεχνολογία των Κινητών Πρακτόρων υιοθετείται σε ένα πλαίσιο πρόσβασης και παροχής Σηματολογικά Εμπλουτισμένων Υπηρεσιών Ιστού σε κινητούς χρήστες το οποίο συγκρίνεται ποιοτικά και ποσοτικά με ένα πλαίσιο Συμβατικού Μοντέλου Υπηρεσιών Ιστού. Επίσης, εξετάζονται προβλήματα που αφορούν την εξισορρόπηση φόρτου σε δίκτυα Κινητών Πρακτόρων. Στοιχεία από την Θεωρία Παιγνίων χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της εξισορρόπησης φόρτου ενώ προτάθηκαν διάφοροι αλγόριθμοι που μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση της κατανομής του φόρτου. Τέλος, παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός πλαισίου που επιλέγει την καλύτερη υπηρεσία σύμφωνα με τις πληροφορίες πλαισίου (context) ενός χρήστη (π.χ., δυνατότητες συσκευής) τις δυνατότητες του υποκείμενου δικτύου αλλά και των δυνατοτήτων διαμόρφωσης των προσφερομένων υπηρεσιών. Όλες οι υπόψη περιγραφές πραγματοποιούνται με σαφή τρόπο με την χρήση Σηματολογικών Περιγραφών και υιοθετείται η μεθοδολογία του Συμπερασμού Παλαιότερων Περιπτώσεων (Case Base Reasoning) για την επιλογή της υπηρεσίας που είναι σηματολογικά «κοντύτερα» με την παρούσα κατάσταση του χρήστη.

Ολοκληρώνοντας την εκπόνηση της διδακτορικής μου διατριβής, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους, οι οποίοι βοήθησαν στην ολοκλήρωση της. Πρωτίστως, ευχαριστώ τους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής μου, Καθηγη-

τή Λάζαρο Μεράκο, Καθηγητή Ιωάννη Σταυρακάκη και τον Επίκουρο Καθηγητή Γεώργιο Στεφάνου για την υποστήριξη και τις συμβουλές που μου παρείχαν.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Λάζαρο Μεράκο, ο οποίος μου έδωσε την δυνατότητα να γνωρίσω καινούργιες ερευνητικές περιοχές και μου ανέπτυξε το αίσθημα της αναζήτησης, κατανόησης και της συνεργασίας. Η κριτική σκέψη του και προπάντων το ήθος και η ευγένεια του υπήρξε για μένα πηγή παραδειγματισμού και έμπνευσης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή Ευστάθιο Χατζηγεωμιάδη, ο οποίος μου παρείχε συνεχή στήριξη, σε πολλά επίπεδα, από την αρχή και καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής. Η αυστηρότητα, η επιμονή, ο ζήλος που τον διακρίνουν συνέβαλλαν τα μέγιστα στο να διατηρηθεί το ενδιαφέρον, για τη διαρκή αναζήτηση νέων ιδεών, ενεργό μέχρι και την ολοκλήρωση της. Οι συχνές δε συζητήσεις μαζί του υπήρξαν πηγή έμπνευσης κι αφετηρία για νέες ιδέες. Σίγουρα, χωρίς την βοήθεια του, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα είχε επιτευχθεί. Πολλά ευχαριστώ, στον διδάκτορα Μίλτο Κυριακάκο, για την πολύτιμη βοήθεια και για την συνεργασία όλα αυτά τα χρόνια.

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής, ήμουν μέλος της ομάδας Διάχυτου Υπολογισμού. Ως μέλος της ομάδας αυτής, είχα την ευκαιρία να συζητήσω επιστημονικά ή μη θέματα με ανθρώπους οι οποίοι ήταν πάντα πρόθυμοι να με συμβουλέψουν και να με βοηθήσουν. Η συνεργασία μαζί τους υπήρξε ιδιαίτερα αρμονική και εποικοδομητική και θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους γι' αυτό. Ιδιαίτερα ένα μεγάλο ευχαριστώ στους Γιώργο Αλυφαντή, Βασίλη Τσέτσο, Οδυσσέα Σέκκα και Γιάννη Πρίγγουρη. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την συνεργασία τους Ηλία Ζαβιτσάνο, Βασίλη Σπηλιόπουλο και Κώστα Τζαννετάκο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγο μου Έλενα και τα παιδιά μου Αλεξάνδρα και Αλέξανδρο-Κάρολο, διότι χάρις στην υπομονή, ενθάρρυνση και κατανόησή τους ολοκλήρωσα την παρούσα διατριβή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αναμφισβήτητα η εποχή που ζούμε μπορεί να χαρακτηριστεί, σε αντιστοιχία με παλαιότερες εποχές ως η εποχή της Επανάστασης των Επικοινωνιών. Η ραγδαία εξέλιξη των επικοινωνιών τα τελευταία 20 χρόνια, έχει αλλάξει τον καθημερινό τρόπο ζωής και επικοινωνίας μας. Κάθε περιοχή πάνω στον πλανήτη καλύπτεται από τα κινητά δίκτυα 2ης γενιάς (Global System for Mobile communications GSM) τα οποία σε πολλές περιοχές πλαισιώνονται ή αντικαθίστανται από δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς (Universal Telecommunications System – UMTS) προκειμένου να προσφέρουν υπηρεσίες φωνής και πρόσβασης στο Διαδίκτυο. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται πλέον με μεγάλη διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και ταχύτητα στους χρήστες.

Η εξέλιξη των δικτύων κορμού αλλά και των νέων δυνατοτήτων που προσφέρουν οδήγησαν στη δημιουργία πιο επιτηδευμένων συσκευών πρόσβασης στα υπόψη δίκτυα. Οι κινητές συσκευές έχουν πλέον μεγαλύτερες δυνατότητες σε επίπεδο υλικού (hardware) με μεγάλη χωρητικότητα, μνήμη και επεξεργαστική ισχύ πράγμα που επιτρέπει την εκτέλεση λογισμικού (software) από έναν απλό web browser μέχρι παιχνιδιών Java 2 Micro Edition (J2ME) [46] και λογισμικού ευφυούς πλοήγησης μέσω του συστήματος GPS (Global Positioning System).

Η μεγάλη διαθεσιμότητα του δικτύου κορμού και των δικτυακών υπηρεσιών σε συνδυασμό με τις εξελιγμένες δυνατότητες των τερματικών συσκευών στα κινητά δίκτυα δημιουργούν αυξανόμενες απαιτήσεις από τους σημερινούς χρήστες για να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε, οποτεδήποτε και ανεξάρτητα από το δίκτυο και τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων τερματικών συσκευών. Η απαίτηση αυτή δημιουργεί νέες απαιτήσεις για την εύρεση, επιλογή και παροχή υπηρεσιών. Από την πλευρά των διαχειριστών δικτύων και των παρόχων υπηρεσιών, οι απαιτήσεις αυτές είναι ένα σημαντικό τεχνικό ζήτημα, δεδομένου ότι πολλοί τύποι πρόσβασης και τεχνολογίες υπηρεσιών πρέπει να συνδυαστούν προκειμένου να παραδοθούν οι προηγμένες υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες. Επιπλέον, αυτοί πρέπει να προσαρμοστούν στις νέες τεχνολογίες σε λογικό χρόνο

προκειμένου να συντηρήσουν τους πελάτες/χρήστες τους και να είναι ανταγωνιστικοί στην αγορά. Μια από τις πτυχές των υπηρεσιών στο UMTS είναι η δυνατότητα να παρασχεθούν στους χρήστες με την ίδια μορφή και αίσθηση, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των χρηστών ανεξάρτητα από τις δυνατότητες των δικτύων και συσκευών πρόσβασης. Αυτή η δυνατότητα έχει εξεταστεί στο 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ως ξεχωριστή υπηρεσία στο UMTS και αναφέρεται ως Εικονικό Οικείο Περιβάλλον (Virtual Home Environment -VHE) [34].

Επιπλέον, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για την εξατομίκευση των υπηρεσιών. Οι χρήστες απαιτούν οι υπηρεσίες όχι μόνο να προσαρμόζονται σύμφωνα με τις πληροφορίες του τρέχοντος πλαισίου τους (user context) αλλά και να προσαρμόζονται σύμφωνα και με τις προτιμήσεις τους. Επίσης, οι νέες υπηρεσίες που δημιουργούνται και προσφέρονται στα κινητά δίκτυα δημιουργούν έναν αυξανόμενο αριθμό ετερογενών δυνητικών χρηστών. Η κατάλληλη επιλογή και προσαρμογή υπηρεσιών στο πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι σημαντικής σπουδαιότητας στα περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να συνεκτιμηθούν προκειμένου να καθοριστεί ρητά το πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι: οι προτιμήσεις σε υπηρεσίες των χρηστών (user service profile), οι δυνατότητες των υπό χρήση συσκευών και οι δυνατότητες του δικτύου που εξυπηρετεί το χρήστη. Το βασικό θέμα στην επιλογή και προσαρμογή μιας υπηρεσίας είναι η περιγραφή της πληροφορίας πλαισίου με σημασιολογικές πληροφορίες οι οποίες την περιγράφουν σαφώς και μονοσήμαντα.

Η απαίτηση των κινητών χρηστών να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε αποτελεί μεγάλη τεχνική πρόκληση αν αναλογιστεί κανείς τα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζονται στα ασύρματα δίκτυα όπως είναι για παράδειγμα το υψηλό ποσοστό λαθών και οι συχνές αποσυνδέσεις. Η έρευνα στον κινητό υπολογισμό έχει εστιάσει σε αυτή τη συγκεκριμένη πτυχή της ασύρματης εκτέλεσης εφαρμογών [78]. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η παραπάνω απαίτηση, προτείνεται ένα πλαίσιο το οποίο συνδυάζει δύο σύγχρονες τεχνολογίες: την τεχνολογία των Υπηρεσιών Ιστού (Web Services) και την τεχνολογία των Κινητών Πρακτόρων (ΚΠ). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους ασύρματους χρήστες να έχουν πρόσβαση και να εκτελούν σημασιολογικά εμπλουτισμένες Υπηρεσίες Ιστού (ΥΙ) χωρίς την ανάγκη της ταυτόχρονης on-line σύνδεσής τους. Οι ΚΠ αποστέλλονται από τα κι-

νητά τερματικά προκειμένου αποτελεσματικά και αξιόπιστα να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες ανάγκες υπολογισμού του κινητού ιδιοκτήτη τους. Η πρωταρχική μέριμνα αφορά στον ακριβή προσδιορισμό των υπηρεσιών που ταιριάζουν περισσότερο με το αίτημα του εκάστοτε χρήστη ώστε να ελαχιστοποιηθούν κλίσεις ανεπιθύμητων (ή μη συναφών) υπηρεσιών. Η ακρίβεια του μηχανισμού εύρεσης υπηρεσιών πρέπει να βελτιωθεί για να ωθήσει πραγματικά τον ΚΠ και την προσανατολισμένη στις υπηρεσίες αρχιτεκτονική στην επιλογή της υπηρεσίας που ταιριάζει περισσότερο στις απαιτήσεις του χρήστη. Σίγουρα, δεν είναι η πρώτη φορά που οι ΚΠ προτείνονται ως μέσο για την εκτέλεση των ασύρματων/κινητών εφαρμογών. Η αυτόνομη φύση και το ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών τους παρέχουν την τεχνολογική πλατφόρμα που καθιστά δυνατό το αναδυόμενο πρότυπο υπολογισμού παντού (ubiquitous computing).

Επιπλέον με το γρήγορο πολλαπλασιασμό των τεχνολογιών Διαδικτύου, ο κατακεμημένος υπολογισμός θεωρείται μια βασική περιοχή στη σύγχρονη πληροφορική. Προσελκύει σημαντική ερευνητική προσοχή και αναπτύσσεται πολύ γρήγορα σε ώριμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται εκτενώς στη βιομηχανία των υπολογιστών. Οι ΚΠ αποτελούν ένα βασικό συστατικό του κατακεμημένου υπολογισμού. Η τεχνολογία των ΚΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση, τη μεταφορά και την επικοινωνία των λειτουργικών συστατικών σε μια ευρύτερη υποδομή δικτύων. Ένας ΚΠ ενσωματώνει τη λογική της εφαρμογής και έχει τη μοναδική δυνατότητα να μεταφερθεί αυτόνομα από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο για να συνεχίσει την εργασία του. Οι ΚΠ λειτουργούν ασύγχρονα και ανεξάρτητα και μεταφέρουν τη νοημοσύνη που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ο στόχος τους. Ακολούθως, ερευνάται το πολύ σημαντικό ζήτημα της δρομολόγησης των ΚΠ στους κόμβους (που ανήκουν στον ίδιο ή διαφορετικό διαχειριστικό τομέα) μιας ευρύτερης υποδομής. Ο καθορισμός του σωστού κόμβου μετακίνησης για τους ΚΠ είναι πολύ κρίσιμος για την αποδοτικότητα της υποδομής των ΚΠ και του κατακεμημένου ανατεθειμένου έργου τους. Η επιλογή του καλύτερου επόμενου εξυπηρετητή για τους ΚΠ είναι μια δύσκολη διαδικασία που πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά. Δεδομένου ότι η οργάνωση των ΚΠ περιλαμβάνει την αυτόνομη και ταυτόχρονη λειτουργία (εκτέλεση, μετακίνηση) των πολυάριθμων μετακινούμενων συστατικών, οι μετακινήσεις των ΚΠ

πρέπει να αποφασιστούν έξυπνα ώστε να εξισορροπείται ο φόρτος στην ευρύτερη δικτυακή υποδομή.

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η εξάπλωση των ασύρματων τεχνολογιών αλλά και η πρόσβαση μέσω αυτών στο Διαδίκτυο και σε διαδικτυακές υπηρεσίες είναι μεγάλη και ολοένα αυξανόμενη. Η μελέτη, λοιπόν, ζητημάτων που αφορούν στην προσφορά υπηρεσιών στα δίκτυα αυτά παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γεγονός που έχει ως συνέπεια την πλούσια βιβλιογραφία που υπάρχει σε αυτόν τον τομέα. Το ενδιαφέρον αυξάνεται περισσότερο αν αναλογιστεί κανείς τις ολοένα νεοεμφανιζόμενες διαδικτυακές υπηρεσίες αλλά και το αναδυόμενο πρότυπο του *διάχυτου υπολογισμού* (pervasive computing).

Η παρούσα διατριβή εστιάζει σε δύο βασικούς άξονες: 1. Στη μοντελοποίηση διαφανών τρόπων για την προσφορά και επιλογή υπηρεσιών σε κινητά δίκτυα με τη χρήση των ΚΠ και 2. Στη μελέτη της διαχείρισης πόρων σε δίκτυα ΚΠ (ενσύρματα ή ασύρματα)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται τα αντικείμενα της παρούσας διατριβής. Βασικό χαρακτηριστικό της διατριβής είναι η υιοθέτηση της τεχνολογίας των Κινητών Πρακτόρων (ΚΠ) για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν στην εύρεση και παροχή υπηρεσιών σε κινητά και ασύρματα δίκτυα. Σε όλες τις εργασίες που παρουσιάζονται στη διατριβή, πραγματοποιείται μια διεξοδική αναφορά στα προβλήματα που εμφανίζονται στην εφαρμογή των υπαρχόντων τεχνολογιών. Επίσης, πραγματοποιούνται ποιοτικές και ποσοτικές αξιολογήσεις μεταξύ των υπαρχόντων τεχνολογιών με εκείνες που προτείνονται. Η τεχνολογία των ΚΠ συνδυάζεται με άλλες τεχνολογίες ώστε να προσδώσει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις ήδη χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες.

Όπως αναφέρθηκε η παρούσα διατριβή εστιάζει σε δύο βασικούς άξονες, 1. Στη μοντελοποίηση διαφανών τρόπων για την προσφορά και επιλογή υπηρεσιών σε κινητά δίκτυα με τη χρήση των ΚΠ και 2. Στη μοντελοποίηση και μελέτη της διαχείρισης πόρων σε δίκτυα ΚΠ (που μπορεί να είναι είτε ενσύρματα ή ασύρματα). Τα κεφάλαια 4, 5 και 6 αφορούν στο πρώτο κομμάτι ενώ το κεφάλαιο 7 αφορά στο δεύτερο. Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η συνεισφορά της διατριβής στα τέσσερα αυτά κεφάλαια.

#### **2.1 Παροχή Υπηρεσιών σε Κινητά Δίκτυα Τρίτης Γενιάς με την χρήση Κινητών Πρακτόρων**

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης υπηρεσιών και λήψης πληροφοριών από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, ανεξάρτητα από το δίκτυο πρόσβασης και την τερματική συσκευή, είναι επιτακτική ανάγκη ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των σύγχρονων χρηστών. Αυτό σημαίνει: παρουσίαση των προσφερομένων υπηρεσιών στους χρήστες με την ίδια μορφή, δηλαδή, όπως αυτή γίνεται στο οικείο δίκτυό τους. Η δυνατότητα αυτή περιλαμβάνει την προσωποποίηση, την κλιμάκωση και τη

φορητότητα των προσφερομένων υπηρεσιών. Όλα τα παραπάνω ενσωματώνονται στα δίκτυα 3ης γενιάς με τον όρο Εικονικό Οικείο Περιβάλλον (Virtual Home Environment-VHE) [34]. Το VHE είναι ένας μηχανισμός στα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών καθώς προδιαγράφει τη δυνατότητα για ενιαία πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε και με οποιαδήποτε συσκευή.

Η εφαρμογή VHE τόσο από την πλευρά των διαχειριστών δικτύων όσο και από τους παρόχους υπηρεσιών θέτει ένα σημαντικό τεχνικό ζήτημα, δεδομένου ότι οι πολλοί διαφορετικοί τύποι πρόσβασης και οι τεχνολογίες υπηρεσιών θα πρέπει να συνδυαστούν κατάλληλα προκειμένου να παραδοθούν οι προηγμένες υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται ένα πλαίσιο για την υλοποίηση της έννοιας του VHE χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των ΚΠ. Η τεχνολογία των ΚΠ χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και τη διαχείριση των λειτουργικών συστατικών των κινητών υπηρεσιών. Ένας πράκτορας είναι μια οντότητα λογισμικού που εκπληρώνει τους στόχους εκ μέρους του ιδιοκτήτη του, του χρήστη ή κάποιας άλλης οντότητας λογισμικού, με κάποιο βαθμό ανεξαρτησίας ή αυτονομίας. Οι ΚΠ μπορούν να είναι αυτόνομοι (δηλ., να ακολουθήσουν έναν ορισμένο στόχο ανεξάρτητα από το χρήστη τους), δυναμικοί, καταμεμημένοι, συνεταιρικοί, αυτο-διδασκόμενοι και προσαρμοστικοί.

Στην εργασία αυτή αναλύεται λεπτομερώς μια ενσωματωμένη, ανοικτή και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική στην οποία λαμβάνονται υπόψη ποικίλες περιπτώσεις χρήσης καθώς και εναλλακτικές τεχνικές λύσεις (κινητές συσκευές, σταθερά τερματικά). Επίσης, παρουσιάζονται παραδείγματα εφαρμογών για να δείξουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης τεχνικής προσέγγισης και συγκρίνεται η απόδοση του προτεινόμενου πλαισίου με μια συμβατική λύση (χωρίς την χρήση ΚΠ).

Η υπηρεσία VHE ενισχύει την υποδομή για τη «μετακίνηση» των υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες. Υποστηρίζουμε την ιδέα ότι το VHE είναι εφικτό να υλοποιηθεί με τη χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ αναλαμβάνοντας όλες τις απαραίτητες διαδικασίες επικοινωνίας στο επίπεδο εφαρμογής, ανεξάρτητα από το υποκείμενο δίκτυο. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα ευπροσάρμοστο πλαίσιο για την παροχή υπηρεσιών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η χρήση των ΚΠ επιτρέπει τη φορητότητα των υπηρεσιών το οποίο είναι σημαντικό πλεονέκτημα στις

ετερογενείς υποδομές παρόμοιες με αυτές που αντιμετωπίζονται στο σύγχρονο τοπίο τηλεπικοινωνιών. Στο εξεταζόμενο σύστημα, η λογική των υπηρεσιών ενσωματώνεται στους ΚΠ και το σύστημα προσφέρει υψηλή απόδοση, βελτιωμένη ασφάλεια και μεταβλητότητα. Ένας συμβάλλοντας παράγοντας στην αποδοτικότητα είναι η αποθήκευση των υπηρεσιών σε δικτυακές οντότητες των επισκεπτόμενων δικτύων η οποία αυξάνει τη χρησιμοποίηση των δικτυακών οντοτήτων και την δυνατότητα παροχής περισσότερων υπηρεσιών. Επιπλέον, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική κληρονομεί τα προφανή οφέλη που προέρχονται από την υιοθέτηση των ΚΠ (π.χ. αυτόνομη λειτουργία). Τα πειράματα έδειξαν σαφώς τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και την υπεροχή της σε σχέση με συμβατικά παραδείγματα εφαρμογής/κλήσης υπηρεσιών.

## **2.2 Παροχή Σημασιολογικών Υπηρεσιών σε Κινητούς Χρήστες με την χρήση ΚΠ**

Η αποδοτική εκτέλεση ασύρματων εφαρμογών είναι υψίστης σημασίας στα δυναμικά περιβάλλοντα των ασυρμάτων δικτύων. Οι διακοπές των συνδέσεων που εμφανίζονται με σχεδόν πιθανολογικό τρόπο, καθιστούν πολλές φορές την εκτέλεση των εφαρμογών χρονοβόρα και αβέβαιη. Η έρευνα στον κινητό υπολογισμό έχει εστιάσει σε αυτήν τη συγκεκριμένη πτυχή της ασύρματης εκτέλεσης εφαρμογών [78]. Στην παρούσα εργασία υιοθετείται η τεχνολογία των ΚΠ προκειμένου να υπερνικηθούν οι αναφερόμενες δυσκολίες και προβλήματα.

Συγκεκριμένα, εισάγεται ένα νέο πλαίσιο για την δυναμική εύρεση και ενοποίηση σημασιολογικά εμπλουτισμένων Υπηρεσιών Ιστού (WS) με τους ΚΠ. Οι ΚΠ αποστέλλονται από τα κινητά τερματικά προκειμένου να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες ανάγκες υπολογισμού του κινητού ιδιοκτήτη τους. Η πρωταρχική μέριμνα αφορά στον ακριβή προσδιορισμό των υπηρεσιών που ταιριάζουν περισσότερο με το αίτημα του χρήστη ώστε να ελαχιστοποιηθούν κλίσεις ανεπιθύμητων (ή μη συναφών) υπηρεσιών. Η ακρίβεια του μηχανισμού εύρεσης υπηρεσιών στον κατάλογο υπηρεσιών πρέπει να βελτιωθεί για να ωθήσει πραγματικά τον ΚΠ και την προσανατολισμένη στις υπηρεσίες αρχιτεκτονική. Για να επισπεύσουμε τη διαδικασία επερώτησης υπηρεσίας και να απλοποιήσουμε τη σημασιολογία μιας αίτησης, χρησιμοποιούμε σημασιολογικά εμπλουτισμένους καταλόγους υπηρεσιών. Συνεπώς ο καθορισμός της απαίτησης του χρήστη αντιστοιχίζεται στις υπάρχουσες υπηρεσίες

μέσω του σημασιολογικά εμπλουτισμένου καταλόγου. Το προτεινόμενο πλαίσιο αναφέρεται κυρίως για ασύρματα περιβάλλοντα όπου οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε Σημασιολογικές Υπηρεσίες Ιστού (Semantic Web Services -SWS) στο σταθερό δίκτυο.

Από τη σχετική ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση, τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου πλαισίου είναι:

- (1) Οι χρήστες μπορούν να εκτελέσουν πολλές ΥΙ με μόνο μια αλληλεπίδραση με το σταθερό δίκτυο.
- (2) Οι χρήστες δεν είναι απαραίτητο να είναι συνδεδεμένοι καθ' όλη τη διάρκεια της ανάκτησης και της εκτέλεσης των ΥΙ.
- (3) Περιττές πληροφορίες δεν διαβιβάζονται μέσα στο δίκτυο γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου.
- (4) Εξασφαλίζεται αξιόπιστη παράδοση αποτελεσμάτων των υπηρεσιών στο χρήστη.
- (5) Η δυναμικότητα των ΚΠ βελτιώνει την ευρωστία των συστημάτων.
- (6) Νέες υπηρεσίες, ΚΠ, κατάλογοι υπηρεσιών, χρήστες και υπηρεσίες μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο προτεινόμενο πλαίσιο παρέχοντας ένα επεκτάσιμο και ανοικτό σύστημα.

### **2.3 Επιλογή και προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα με την μεθοδολογία Case Base Reasoning**

Η αυξανόμενη απαίτηση των σημερινών χρηστών για πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε, οποτεδήποτε και ανεξάρτητα από το δίκτυο και τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων τερματικών συσκευών δημιουργεί νέες απαιτήσεις για την εύρεση, επιλογή και παροχή υπηρεσιών. Επιπλέον, οι χρήστες έχουν την ανάγκη να μπορούν να εξατομικεύσουν τις υπό χρήση υπηρεσίες τους όχι μόνο με το να προσαρμόζονται αυτές σύμφωνα με τις πληροφορίες του τρέχοντος πλαισίου τους (user context) αλλά και σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Επίσης, οι νέες υπηρεσίες που δημιουργούνται και προσφέρονται στα κινητά δίκτυα προκαλούν την αύξηση της ετερογένειας χρηστών/συσκευών. Συνεπώς, η κατάλληλη επιλογή και



προσαρμογή των υπηρεσιών στο πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι σημαντικής σπουδαιότητας στα περιβάλλοντα των κινητών επικοινωνιών. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να συνεκτιμηθούν προκειμένου να καθοριστεί ρητά το πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι: οι προτιμήσεις των χρηστών σε σχέση με τις υπηρεσίες τους (user service profile), οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών καθώς και οι δυνατότητες του δικτύου που βρίσκεται ο χρήστης. Το βασικό θέμα στην επιλογή και προσαρμογή μιας υπηρεσίας είναι η περιγραφή των πληροφοριών πλαισίου με σημασιολογικές πληροφορίες οι οποίες τις περιγράφουν σαφώς και μονοσήμαντα.

Στην συγκεκριμένη εργασία προτείνεται ένα νέο πλαίσιο για την επιλογή και την προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα το οποίο λαμβάνει υπόψη του όλες τις παραπάνω παραμέτρους προκειμένου να επιλεγθούν οι πιο κατάλληλες από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Όλα τα δεδομένα εκφράζονται (ή κατάλληλα αντιστοιχίζονται /εμπλουτίζονται) με σαφή τρόπο χρησιμοποιώντας κατάλληλη σημασιολογία και ένα σύστημα συμπερασμού βάσει περιπτώσεων (Case Based Reasoning –CBR) το οποίο χρησιμοποιείται για να επιλέξει την πιο κατάλληλη υπηρεσία. Τέλος, παρουσιάζονται διαφορετικές πτυχές της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και ενδεικτικά παραδείγματα για την επεξήγηση της μεταβλητότητας του προτεινόμενου πλαισίου.

## **2.4 Κατανεμημένη Διαχείριση Πόρων σε δίκτυα ΚΠ**

Με το γρήγορο πολλαπλασιασμό των τεχνολογιών Διαδικτύου, ο κατανεμημένος υπολογισμός αποτελεί μια βασική περιοχή στη σύγχρονη πληροφορική. Προσελκύει σημαντική ερευνητική προσοχή και αναπτύσσεται πολύ γρήγορα σε ώριμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται εκτενώς στην βιομηχανία της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Οι ΚΠ αποτελούν ένα βασικό συστατικό του κατανεμημένου υπολογισμού. Η τεχνολογία των ΚΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση, τη μεταφορά και την επικοινωνία των λειτουργικών μονάδων σε μια ευρύτερη υποδομή δικτύων. Στην εργασία αυτή ερευνάται το πολύ σημαντικό ζήτημα της δρομολόγησης των ΚΠ στους κόμβους (που ανήκουν στον ίδιο ή διαφορετικό διαχειριστικό τομέα) μιας ευρύτερης υποδομής. Ο καθορισμός του σωστού κόμβου μετακίνησης των ΚΠ είναι πολύ κρίσιμος για την αποδοτικότητα της υποδομής των ΚΠ και του κατανεμημένου έργου που τους έχει ανατεθεί. Η επιλογή του «καλύτερου» επόμε-

νου εξυπηρετητή (π.χ., εξυπηρετητή με το λιγότερο φόρτο, μεγαλύτερο διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο) για τους ΚΠ είναι μια διαδικασία που πρέπει να υλοποιηθεί προσεκτικά. Δεδομένου ότι η οργάνωση των ΚΠ περιλαμβάνει την ταυτόχρονα αυτόνομη λειτουργία (εκτέλεση, μετακίνηση) των πολυάριθμων μετακινούμενων συστατικών, οι μετακινήσεις των ΚΠ πρέπει να αποφασιστούν έξυπνα ώστε να εξισορροπείται ο δικτυακός ή υπολογιστικός φόρτος στην ευρύτερη υποδομή. Στην εξεταζόμενη αρχιτεκτονική, δεν υπάρχει κεντρικός έλεγχος, επομένως, ο κίνδυνος συμφορήσεων είναι υπολογίσιμος.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας προτείνονται πέντε αλγόριθμοι κατανεμημένης και προσαρμοστικής δρομολόγησης (επιλογή του επόμενου κόμβου) για τους ΚΠ. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι υπερνικούν κινδύνους όπως ταλαντώσεις φόρτου, δηλαδή πράκτορες που εγκαταλείπουν ταυτόχρονα έναν κορεσμένο κόμβο στην αναζήτηση άλλου λιγότερο απασχολημένου κόμβου. Προσπαθούμε να προτρέψουμε διαφορετικές αποφάσεις δρομολόγησης που λαμβάνονται από τους πράκτορες για να επιτύχουμε την εξισορρόπηση του φόρτου και την καλύτερη χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων.

Κατάλληλη εφαρμογή του προτεινόμενου πλαισίου είναι η εξισορρόπηση φόρτου στους κατανεμημένους εξυπηρετητές διαδικτύου [148], όπου οι ΚΠ χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν πληροφορίες φόρτου από τους κατανεμημένους εξυπηρετητές και να αναδιανείμουν εργασίες από υπερφορτωμένους εξυπηρετητές σε λιγότερο φορτωμένους [156].

Η βασική ιδέα του υπόψη πλαισίου είναι να ενισχυθούν οι ιδιότητες εξισορρόπησης φόρτου των τεχνικών επιλογής εξυπηρετητών ώστε να αποφευχθούν παθολογικές καταστάσεις όπως συμφορήσεις ή ταλαντώσεις στο φόρτο τους. Τα συμπεράσματά μας δείχνουν ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα αποδοτικό πλαίσιο ελέγχου δικτύου όπου διάφοροι αλγόριθμοι δρομολόγησης ΚΠ μπορούν να εφαρμοστούν. Δύο από τις εξεταζόμενες στρατηγικές μετακίνησης ΚΠ αποδείχθηκαν αρκετά αποδοτικές με συνέπεια η χρήση των υπολογιστικών πόρων σε όλο το δίκτυο να βελτιστοποιηθεί και να οργανωθεί ορθολογικά.

## 2.5 Δομή της Διατριβής

Στο παρόν υποκεφάλαιο, περιγράφεται η δομή του υπολοίπου της διατριβής. Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται μία εισαγωγή σε βασικές έννοιες σχετικά με την τεχνολογία των ΚΠ, των Κινητών Δικτύων, του Σημασιολογικού Ιστού και βασικές έννοιες της Θεωρία Παιγνίων.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το πλαίσιο παροχής υπηρεσιών σε κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς. Για τη μελέτη της απόδοσης του εν λόγω πλαισίου υιοθετείται ένα κατάλληλο μοντέλο κινητικότητας για του κινούμενους χρήστες. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το πλαίσιο παροχής σημασιολογικών Υπηρεσιών Ιστού το οποίο συγκρίνεται με ένα συμβατικό πλαίσιο πρόσβασης. Το παρόν πλαίσιο αναπτύχθηκε σε δύο διαφορετικές πλατφόρμες ΚΠ και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησης της απόδοσής τους. Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται ένα πλαίσιο το οποίο επιτρέπει την επιλογή και την προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα. Το πλαίσιο αυτό λαμβάνει υπόψη του τις πληροφορίες πλαισίου του χρήστη (user context), του δικτύου πρόσβασης και τα αιτήματα των υπηρεσιών προκειμένου να επιλεχθούν οι πιο κατάλληλες από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Όλα τα δεδομένα εκφράζονται (ή κατάλληλα αντιστοιχίζονται/εμπλουτίζονται) με σαφή τρόπο χρησιμοποιώντας κατάλληλη σημασιολογία. Στη συνέχεια ένα σύστημα συμπερασμού βάσει περιπτώσεων (Case Base Reasoning) επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά και προτείνει την πιο κατάλληλη υπηρεσία. Στο Κεφάλαιο 7, εξετάζεται η κατανομημένη Διαχείριση Πόρων σε δίκτυα ΚΠ. Η δρομολόγησή/αποστολή των ΚΠ από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο συνάδει με την αποδοτικότητα της εκάστοτε εφαρμογής, τη βέλτιστη εξισορρόπηση του φόρτου και τη χρησιμοποίηση των υπολογιστικών πόρων σε όλο το υποκείμενο δίκτυο. Στο Κεφάλαιο 7 προτείνονται πέντε αλγόριθμοι κατανομημένης και προσαρμοστικής δρομολόγησης (επιλογή του επόμενου κόμβου) για τους ΚΠ. Το Κεφάλαιο 8 παρουσιάζει τα συμπεράσματα και τις μελλοντικές κατευθύνσεις των θεμάτων που παρουσιάστηκαν στη διατριβή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΕΝΝΟΙΕΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται αναφορά σε έννοιες και τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή. Αρχικά παρουσιάζεται η τεχνολογία των Πρακτόρων δίνοντας έμφαση στους ΚΠ καθότι αυτοί συμπεριλαμβάνονται σε όλα τα προτεινόμενα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται βασικές έννοιες των κινητών δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς (Third Generation Networks) και του Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web). Τέλος παρουσιάζονται έννοιες από την Θεωρία Παιγνίων.

#### 3.2 Πράκτορες

Ο όρος agent, που σημαίνει πράκτορας ή αντιπρόσωπος, πηγάζει από το Λατινικό ρήμα agere δηλαδή καθοδηγώ, ενεργώ ή κάνω. Η τεχνολογία των πρακτόρων αφορά υπολογιστικά συστήματα που αυτοματοποιούν την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής και βελτιώνουν την επικοινωνία και τη συνεργασία των ίδιων των υπολογιστικών δικτύων. Στο χώρο αυτό η έννοια του πράκτορα υλοποιείται ως λογισμικό και αναφερόμαστε σε αυτόν, ως Πράκτορα λογισμικού (ΠΛ). Η γενική έννοια ενός ΠΛ είναι ότι είναι ένα λογισμικό που ενεργεί για λογαριασμό κάποιου χρήστη προκειμένου να φέρει σε πέρας μία συγκεκριμένη εργασία που του έχει ανατεθεί. Έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τους ΠΛ όπως ακολούθως:

- Πράκτορας είναι οτιδήποτε μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον του μέσω αισθητήρων και να αντιδράσει πάνω στο περιβάλλον μέσω μηχανισμών δράσης [1].
- Πράκτορας είναι ένα σύστημα υλικού ή λογισμικού που βρίσκεται σε κάποιο περιβάλλον και έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί αυτόνομες ενέργειες στο περιβάλλον αυτό ώστε να επιτύχει τους στόχους του.[2]
- Αυτόνομοι πράκτορες είναι υπολογιστικά συστήματα που κατοικούν σε κάποιο σύνθετο δυναμικό περιβάλλον στο οποίο αισθάνονται και ενεργούν αυ-

τόνομα πραγματοποιώντας με αυτό τον τρόπο ένα σύνολο στόχων για τους οποίους είναι σχεδιασμένοι.[3]

- Οι ευφυείς πράκτορες εκτελούν συνεχώς τρεις λειτουργίες[4]:
  - ο Αντίληψη (μέτρηση ή ανίχνευση) των δυναμικών συνθηκών του περιβάλλοντος
  - ο δράση για να επηρεαστούν οι συνθήκες του περιβάλλοντος
  - ο συλλογισμός για να ερμηνεύσει τις αντιλήψεις,
  - ο Επίλυση προβλημάτων,
  - ο Εύρεση συμπερασμάτων
  - ο Καθορισμός ενεργειών.
- Οι ευφυείς πράκτορες είναι οντότητες λογισμικού που εκτελούν ένα σύνολο διαδικασιών εξ ονόματος ενός χρήστη ή ενός άλλου προγράμματος με κάποιο βαθμό ανεξαρτησίας ή αυτονομίας. Οι πράκτορες μπορούν με αυτές τις ενέργειες να υιοθετούν ορισμένη γνώση ή αντιπροσώπευση των στόχων ή των επιθυμιών του χρήστη.

Ένας πιο περιεκτικός ορισμός θεωρείται ο εξής:

*ΠΛ είναι μία οντότητα λογισμικού που λειτουργεί συνεχώς και αυτόνομα μέσα σε ένα περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται κι άλλοι πράκτορες και διεργασίες. Η απαίτηση για συνέχεια και αυτονομία προέρχεται από την επιθυμία του πράκτορα να δραστηριοποιείται με ευέλικτο και έξυπνο τρόπο και να ανταποκρίνεται στις αλλαγές του περιβάλλοντος χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά την ανθρώπινη καθοδήγηση ή παρέμβαση. Ένας πράκτορας μαθαίνει από την εμπειρία του, επικοινωνεί και συνεργάζεται με άλλους πράκτορες και μπορεί να μετακινείται από το ένα μέρος στο άλλο προκειμένου να ολοκληρώσει τις εργασίες του.*

Σύμφωνα με την αναφορά [5] υιοθετούνται δύο θεωρήσεις για τους πράκτορες: η χαλαρή (Weak notation of agency) και η ισχυρή θεώρηση (Strong Notation of agency).

Σύμφωνα με την πρώτη θεώρηση, η συμπεριφορά του πράκτορα πρέπει να έχει τουλάχιστον τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Αυτονομία (autonomy): Οι πράκτορες λειτουργούν χωρίς την άμεση παρέμβαση άλλων οντοτήτων, και έχουν κάποιο έλεγχο των ενεργειών τους και κατάστασης τους.
- Κοινωνική δυνατότητα (social ability): Οι πράκτορες επικοινωνούν με άλλους πράκτορες μέσω γλωσσών επικοινωνίας πρακτόρων (Agent Communication Languages-ACL).
- Αντιδραστικότητα (reactivity): Οι πράκτορες αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους και ενεργούν στις όποιες αλλαγές του περιβάλλοντος σε κατάλληλες χρονικές στιγμές.
- Προδραστικότητα (pro-activeness): Οι πράκτορες όχι μόνο δρουν σε απόκριση από κάποιο γεγονός του περιβάλλοντός τους αλλά μπορούν να παρουσιάσουν συμπεριφορές που να έχουν κάποιο αντικειμενικό στόχο αναλαμβάνοντας μόνοι τους πρωτοβουλία.

Επίσης, άλλες μη υποχρεωτικές ιδιότητες των πρακτόρων είναι η προσαρμοστικότητα, η κινητικότητα, η δυνατότητα να μαθαίνουν και η νοημοσύνη. Αν και ο όρος πράκτορας λογισμικού χρησιμοποιείται μερικές φορές ως συνώνυμο για τα ευφυή συστήματα λογισμικού, οι πράκτορες λογισμικού δεν είναι απαραίτητο να είναι ευφυείς. Για παράδειγμα, στην τεχνολογία λογισμικού, η δυνατότητα ενός πράκτορα να επικοινωνήσει και να συνεργαστεί με διαφορετικά συστήματα από αυτό που έχει ενεργοποιηθεί καθώς και η δυνατότητά του να μετακινείται σε υπολογιστές που παρέχουν υπολογιστικούς πόρους μέσω του δικτύου θεωρούνται πιο θεμελιώδης από οποιαδήποτε μορφή νοημοσύνης.

Σύμφωνα με την ισχυρή θεώρηση, ένας πράκτορας είναι ένα υπολογιστικό σύστημα, που εκτός από τις ιδιότητες της χαλαρής θεώρησης, είτε μορφώνεται σαν έννοια είτε εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας έννοιες οι οποίες εφαρμόζονται περισσότερο στους ανθρώπους όπως παραδείγματος χάρη διανοητικές έννοιες όπως η γνώση, η πεποίθηση, η πρόθεση και η υποχρέωση [6]. Επίσης, έχουν προταθεί μοντέλα με συναισθηματικούς πράκτορες [7], [8]. Άλλες ιδιότητες που αποδίδονται στους πράκτορες είναι:

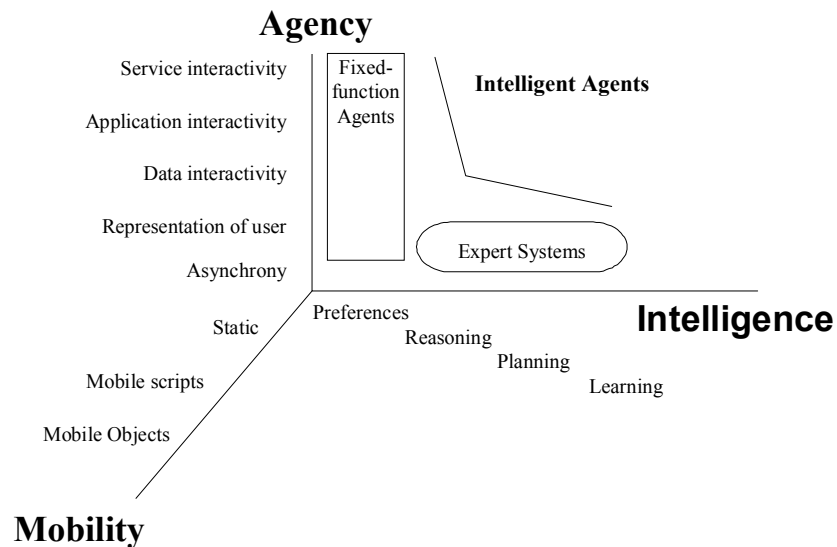
- Κινητικότητα (Mobility): Η δυνατότητα να μετακινείται με δική του απόφαση από μία πλατφόρμα σε άλλη.

- **Ειλικρίνεια (veracity):** Η υπόθεση ότι ο πράκτορας δεν θα μεταδώσει λάθος πληροφορίες.
- **Καλοπροαίρεση (benevolence):** Η υπόθεση ότι οι πράκτορες δεν έχουν συγκρουόμενους στόχους και επομένως κάθε πράκτορας θα προσπαθήσει πάντα να κάνει ότι του ζητείται.
- **Ορθολογιστική ικανότητα (rationality):** Η υπόθεση ότι ένας πράκτορας θα ενεργήσει με σκοπό την επίτευξη των στόχων του στο μέτρο πάντα που του επιτραπεί.

Όσον αφορά στις ιδιότητες των πρακτόρων αυτές μπορούν να οριστούν από τρεις διαστάσεις:

- **Πρακτορικότητα:** είναι ο βαθμός της αυτονομίας και της «εξουσίας» ενός πράκτορα. Ποσοτικά μπορεί να μετρηθεί από τη φύση της αλληλεπίδρασης ενός πράκτορα με άλλες οντότητες του συστήματος. Εν γένει ένας πράκτορας θα πρέπει να εκτελείται ασύγχρονα. Ο βαθμός της πρακτορικότητας αυξάνεται όσο ο πράκτορας μπορεί να αλληλεπιδρά με δεδομένα, εφαρμογές, υπηρεσίες κλπ.
- **Νοημοσύνη (Intelligence):** ο βαθμός της ικανότητας μάθησης του πράκτορα. Στον ελάχιστο βαθμό, μπορεί να λειτουργεί βάσει των προτιμήσεων του χρήστη. Σε υψηλότερα επίπεδα, ο ΠΛ περιλαμβάνει ένα μοντέλο χρήστη, μια συγκεκριμένη συλλογιστική και την ικανότητα να μαθαίνει από το περιβάλλον του.
- **Κινητικότητα (Mobility):** ο βαθμός στον οποίο οι πράκτορες ταξιδεύουν διαμέσω του δικτύου. Οι κινητοί κώδικες (mobile scripts) συντίθενται σε μια μηχανή και μεταφέρονται σε μια άλλη για την εκτέλεση. Τα κινητά αντικείμενα (mobile objects) μεταβαίνουν από μια μηχανή σε μια άλλη μηχανή διακόπτοντας την εκτέλεσή τους αλλά μεταφέροντας μαζί τους πληροφορίες κατάστασης.





Εικόνα 3-1: Απεικόνιση των πρακτόρων σε χώρο τριών διαστάσεων

Σχεδόν όλα τα πρότυπα πρακτόρων υποθέτουν ότι οι πράκτορες διατηρούν μια εσωτερική αντιπροσώπευση του κόσμου τους και υπάρχει μια ρητή διανοητική κατάσταση η οποία μπορεί να τροποποιηθεί από κάποια μορφή συμβολικού συλλογισμού [9]. Ένα πρότυπο που έχει καθιερωθεί είναι το μοντέλο Belief, Desire, Intentions (BDI) του οποίου η έννοια χρονολογείται από το 1987 [10]. Η βασική ιδέα του μοντέλου BDI είναι να περιγραφεί η εσωτερική κατάσταση ενός πράκτορα με τη βοήθεια ενός συνόλου διανοητικών κατηγοριών, και να καθοριστεί μια αρχιτεκτονική ελέγχου από την οποία ο πράκτορας επιλέγει λογικά το σχέδιο δράσης του βασισμένο σε αυτή την αντιπροσώπευση. Οι διανοητικές κατηγορίες είναι:

- Πεποιθήσεις (Beliefs): Εκφράζουν τις προσδοκίες των πρακτόρων για την τρέχουσα κατάσταση του «κόσμου». Οι πεποιθήσεις μπορούν να είναι περιβαλλοντικές πεποιθήσεις (environmental beliefs) που απεικονίζουν την κατάσταση του περιβάλλοντος, κοινωνικές πεποιθήσεις (social beliefs) που αφορούν στο ρόλο και στις λειτουργίες άλλων πρακτόρων στην κοινωνία, τις σχεσιακές πεποιθήσεις (relational beliefs) που αναφέρονται στις δεξιότητες, τις προθέσεις και τα σχέδια, άλλων πρακτόρων ή τις προσωπικές πεποιθή-

σεις (personal beliefs) που περιλαμβάνουν τις πεποιθήσεις του πράκτορα για τον εαυτό του.

- **Επιθυμία (Desire):** Είναι μια αφηρημένη έννοια που καθορίζει τις προτιμήσεις του πράκτορα σχετικά με τις μελλοντικές καταστάσεις του συστήματος η «κόσμου» του πράκτορα. Ένας πράκτορας έχει την άδεια να έχει ασυμβίβαστες επιθυμίες και δεν είναι απαραίτητο να θεωρεί ότι οι επιθυμίες του είναι επιτεύξιμες.
- **Πρόθεση (Intension):** Δεδομένου ότι ένας πράκτορας περιορίζεται από τους πόρους που του διατίθενται, πρέπει να επικεντρωθεί σε ένα υποσύνολο των επιθυμιών του και να σκοπεύει να τους υλοποιήσει.

Σε άλλες, πιο πρακτικές προσεγγίσεις [11] [12], το μοντέλο BDI πλαισιώνεται από τις έννοιες «στόχος» και «σχέδιο»:

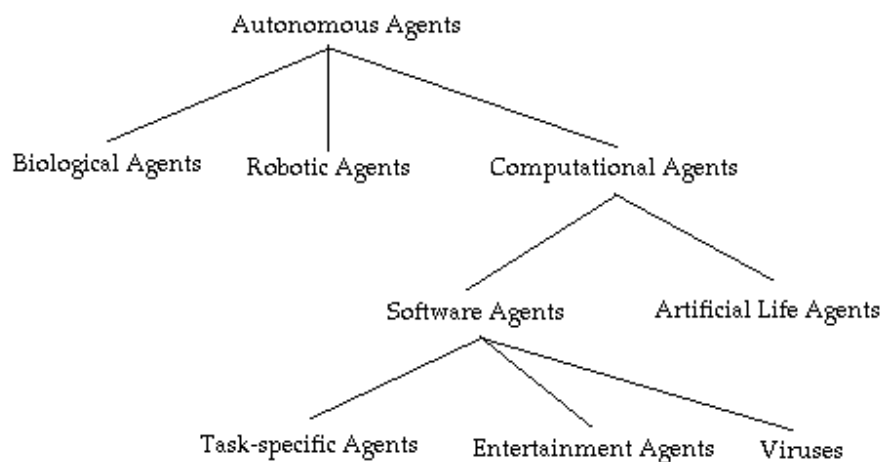
- **Στόχοι (goals):** Είναι ισχυρότερες έννοιες των επιθυμιών. Οι στόχοι πρέπει να θεωρούνται από τον πράκτορα επιτεύξιμοι. Ο πράκτορας επιλέγει ένα υποσύνολο των στόχων του για να τους επιτύχει. Η δέσμευση ενός πράκτορα για ένα ορισμένο στόχο περιγράφει τη μετάβαση από τους στόχους στις προθέσεις.
- **Σχέδια (Plans):** είναι πολύ σημαντικά για την προγραμματιστική εφαρμογή των προθέσεων. Στην πραγματικότητα, οι προθέσεις μπορούν να αντιμετωπισθούν ως μερικά σχέδια δράσης για τα οποία ο πράκτορας είναι δεσμευμένος να εκτελέσει για να επιτύχει τους στόχους του.

Με βάση τα διάφορα χαρακτηριστικά των πρακτόρων έγιναν διάφορες προσπάθειες ταξινόμησης των τύπων των πρακτόρων [13]. Γενικά, έχουν υιοθετηθεί οι ακόλουθες επτά κατηγορίες πρακτόρων:

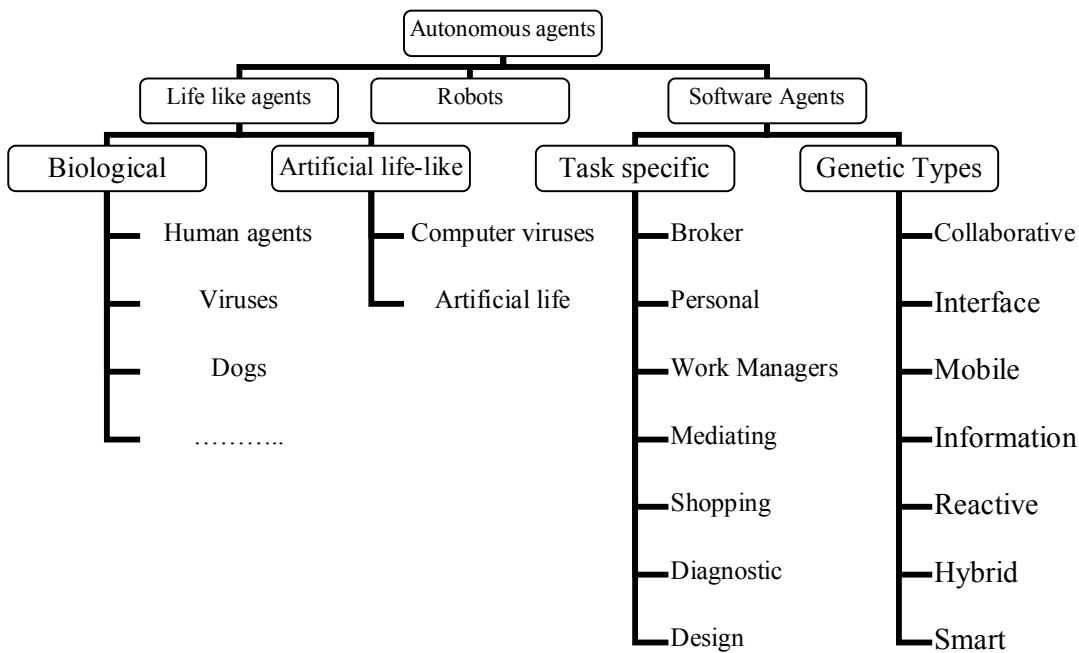
- **Συνεργάσιμοι πράκτορες (collaborative agents):** τα σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι ότι συνεργάζονται με άλλους πράκτορες,
- **Πράκτορες διεπαφών (interface agents):** ενεργούν κυρίως ως προσωπικοί βοηθοί στους ανθρώπινους χρήστες.

- Κινητοί πράκτορες (mobile agents): μπορούν να μετακινούνται μεταξύ διαφορετικών συστημάτων για να ενισχύσουν την αποδοτικότητα του υπολογισμού και να μειώσουν το κυκλοφοριακό των δικτύων,
- Πράκτορες πληροφοριών (information agents): διαδραματίζουν το ρόλο της διαχείρισης, του χειρισμού ή της αντιπαραβολής πληροφοριών από πολλές κατακεμημένες πηγές,
- Αντιδραστικοί πράκτορες (reactive agents): αποκρίνονται σε συμβάντα του περιβάλλοντος που είναι εγκατεστημένοι,
- Υβριδικοί πράκτορες (hybrid agents): Είναι ένας συνδυασμός δύο ή περισσότερων κατηγοριών πρακτόρων μέσα σε ένα ενιαίο πράκτορα, και
- Έξυπνοι πράκτορες (intelligent agent): Είναι σε θέση να μαθαίνουν από τις ενέργειές τους.

Στην αναφορά [14] προσδιορίζεται μια γενικότερη ταξινόμηση πρακτόρων που περιλαμβάνει τους βιολογικούς παράγοντες των ρομποτικών πρακτόρων, των πρακτόρων λογισμικού, και των τεχνητών πρακτόρων ζωής. Μια μικρή παραλλαγή αυτής της ταξινόμησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-3. Μια επέκταση της ταξινόμησης της αναφοράς [14] περιγράφεται στην αναφορά [15] με περισσότερους διαφορετικούς τύπους πρακτόρων πληροφοριών.



**Εικόνα 3-2: Ταξινόμηση των Τύπων των Πρακτόρων σύμφωνα με την αναφορά [14]**



Εικόνα 3-3: Ταξινόμηση των Τύπων των Πρακτόρων

### 3.2.1 Κινητοί Πράκτορες

Γενικά, δεν είναι όλοι οι ΚΠ κινούμενοι. Υπάρχουν οι στατικοί (stationary) Πράκτορες οι οποίοι εκτελούνται μόνο στο σύστημα στο οποίο ξεκινούν την εκτέλεσή τους και επικοινωνούν με άλλους πράκτορες μέσω των συνήθων τρόπων επικοινωνίας (RPC, message passing). Αντιθέτως, οι κινούμενοι (mobile) Πράκτορες δεν είναι «δεμένοι» σε ένα σύστημα αλλά είναι ελεύθεροι να ταξιδεύουν μεταξύ των υπολογιστών του δικτύου. Μεταφέρουν μαζί τους τον κώδικα και την κατάστασή τους και μπορούν να εκτελούνται σε οποιοδήποτε περιβάλλον του δικτύου, ανεξάρτητα από το αρχικό περιβάλλον εκτέλεσής τους. Ένας ΚΠ είναι ένα ΠΛ το οποίο μπορεί να μετακινείται από υπολογιστή σε υπολογιστή μέσα σε ένα ομογενές ή ετερογενές περιβάλλον. Το λογισμικό του πράκτορα επιλέγει πότε και πού να «μεταναστεύσει». Μπορεί να ξεκινήσει τη λειτουργία του σε ένα σημείο, να μετακινηθεί σε άλλη μηχανή και να ολοκληρώσει την λειτουργία του σε μια νέα μηχανή. Ένας ΚΠ περιλαμβάνει :

- Κώδικα (Code): Το λογισμικό που καθορίζει τη συμπεριφορά του Πράκτορα.
- Κατάσταση (State): Εσωτερικές μεταβλητές του Πράκτορα οι οποίες του επιτρέπουν να συνεχίζει τις λειτουργίες του μετά από τη μετακίνησή του σε άλλον υπολογιστή.

- **Ιδιότητες (Attributes):** Πληροφορίες που το περιγράφουν, όπως ο κωδικός του (identifier), η πηγή του, ο ιδιοκτήτης του, οι απαιτήσεις σε πόρους, τα κλειδιά πιστοποίησης, η ιστορία κίνησής του, οι περιορισμοί περιβάλλοντος, κλπ. Μερικές ιδιότητες καθορίζονται από τον ίδιο τον Πράκτορα ενώ άλλες δεν μπορούν να αλλάζουν από αυτόν.
- **Τοποθεσία (Location):** Πληροφορίες που προσδιορίζουν την τρέχουσα θέση του ΚΠ σε κάθε μηχανή που επισκέπτεται.
- Ο ΚΠ κληρονομεί αρκετά από τα χαρακτηριστικά του ΠΛ. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι πρόκειται για μία οντότητα λογισμικού η οποία «ζει» μέσα σε συγκεκριμένο περιβάλλον λογισμικού, το οποίο καλείται Περιβάλλον Κινητού Πράκτορα (ΠΚΠ) (Mobile Agent Environment).

### 3.2.1.1 Πλεονεκτήματα Κινητών Πρακτόρων

Γενικά, δεν υπάρχουν λειτουργίες που να ακολουθούν το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server) και να μην υλοποιούνται αποκλειστικά από την τεχνολογία των ΚΠ. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, οι ΚΠ παρουσιάζουν πλεονεκτήματα στα στάδια σχεδιασμού, υλοποίησης και εκτέλεσης του μοντέλου αυτού. Τα πλεονεκτήματα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν μεγάλης σπουδαιότητας για την αναμόρφωση της τεχνολογίας λογισμικού σύμφωνα με τις ανάγκες της σύγχρονης και μελλοντικής πραγματικότητας [16]:

- **Αποδοτικότητα με την μείωση του δικτυακού φόρτου:** Οι ΚΠ καταναλώνουν λιγότερους πόρους δικτύου εφόσον μετακινούν το πρόγραμμα στα δεδομένα κι όχι τα δεδομένα στο πρόγραμμα. Επίσης, μπορούν να χειρίζονται μεγάλη ποσότητα δεδομένων εφόσον αυτά είναι αποθηκευμένα στον εκάστοτε υπολογιστή και η επεξεργασία τους από τους ΚΠ γίνεται τοπικά.
- **Μείωση κίνησης δικτύου:** Τα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνιών αναμειγνύουν διάφορες αλληλεπιδράσεις, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται και τα κατάλληλα μέτρα ασφάλειας. Με τους ΚΠ κάποιος μπορεί να στείλει τον αντιπρόσωπό του στον απομακρυσμένο υπολογιστή και οι αλληλεπιδράσεις να λάβουν χώρα τοπικά, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τα δίκτυα περιορισμένου εύρους ζώνης.

- Ασύγχρονη και αυτόνομη αλληλεπίδραση: Οι εργασίες που απαιτούν απομακρυσμένη αλληλεπίδραση μπορούν να κωδικοποιηθούν μέσα στους ΚΠ και κατόπιν αυτά να μετακινηθούν στο κατάλληλο υπολογιστικό σύστημα. Οι ΚΠ λειτουργούν ασύγχρονα και ανεξάρτητα από το πρόγραμμα που τα έστειλε.
- Είναι γενικά ετερογενείς: Ο δικτυακός υπολογισμός είναι βασικά ετερογενής, συνήθως από άποψης λογισμικού αλλά και από άποψης υλικού. Οι ΚΠ είναι ανεξάρτητοι των υπολογιστικών συστημάτων και του επιπέδου μεταφοράς αλλά εξαρτώνται μόνο από το περιβάλλον εκτέλεσής τους. Παρέχουν έτσι τις βέλτιστες συνθήκες για αδιαφανή τρόπο ενοποίησης και διαλειτουργικότητας των υπολογιστικών συστημάτων.
- Δρομολόγηση βάσει του σημασιολογικού περιεχομένου: Οι σημερινές client-server αλληλεπιδράσεις απαιτούν λεπτομερή γνώση των λειτουργιών των εφαρμογών τους, των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των διευθύνσεων των δύο μερών. Οι ΚΠ διευκολύνουν τη διαδικασία αυτή απελευθερώνοντας τον client και το χρήστη από τέτοιες «έννοιες». Ένας χρήστης μπορεί να διατυπώσει μία αίτηση για κάποια πληροφορία ή υπηρεσία σε φυσική γλώσσα και η αίτηση να υποβληθεί σε ένα ΚΠ. Ο τελευταίος αναμορφώνει την αίτηση σύμφωνα με το λεξιλόγιο και τη σύνταξη της γλώσσας επικοινωνίας των πρακτόρων. Επίσης, ο ΚΠ μπορεί να συμβουλευτεί άλλους πράκτορες ή να χρησιμοποιήσει δικό του ευρετήριο για να αναγνωρίσει ένα ή περισσότερους εξυπηρετητές που είναι ικανοί να τον εξυπηρετήσουν. Ο ΚΠ μεταβαίνει σε καθέναν από αυτούς, προωθεί την αίτηση, και επιστρέφει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Συνεπώς, η αίτηση που υποβάλλεται από το χρήστη, δρομολογείται βάσει του σημασιολογικού περιεχομένου της.
- Ευλυγισία και ανεκτικότητα στα λάθη: Οι ΚΠ έχουν την ικανότητα να αντιδρούν αυτόνομα σε αλλαγές του περιβάλλοντός τους. Η δυναμική προσαρμογή τους σε διάφορες καταστάσεις καθιστά εύκολη τη διαμόρφωση ανεκτικής συμπεριφοράς τους σε λάθη, ιδιαίτερα δε σε ένα καταναμημένο περιβάλλον. Όσον αφορά την ευρωστία, οι ΚΠ πλεονεκτούν από δύο απόψεις: (α) παρέχουν αξιόπιστη μεταφορά (ανταλλαγής) μηνυμάτων, χωρίς να απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία και (β) μπορούν να ανακτήσουν δεδομένα ακό-

μα και στην περίπτωση που ο ζητούμενος εξυπηρέτης δεν είναι διαθέσιμος μέσω της δυνατότητάς τους να μεταναστεύουν σε άλλους εξίσου κατάλληλους εξυπηρέτες.

Το πλεονέκτημα των ΚΠ συνίσταται στη δυνατότητα του πελάτη, εφόσον δεν είναι συνδεδεμένος, να αναπτύξει έναν ΚΠ με συγκεκριμένο στόχο (πχ, αίτηση για μια υπηρεσία που παρέχεται από κάποιον εξυπηρετητή), να τον στείλει στον προορισμό κατά την διάρκεια μιας συνόδου σύνδεσης και στη συνέχεια να αποσυνδεθεί. Ο πελάτης μπορεί να λάβει την απάντηση, σε μία επόμενη σύνοδο σύνδεσης. Επίσης, ο ΚΠ μπορεί να αναλάβει την ανάκτηση των πληροφοριών, το φιλτράρισμά τους και την επιστροφή του αποτελέσματος στον πελάτη. Έτσι, αφενός οι πληροφορίες που μεταφέρονται μέσω του δικτύου μειώνονται, αφετέρου η κινητή συσκευή απελευθερώνεται από την διαδικασία επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων.

Είναι φανερό λοιπόν, ότι η ανάπτυξη των ΚΠ μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στη λύση προβλημάτων και τη βελτίωση της υπάρχουσας τεχνολογίας ανοίγοντας νέες δυνατότητες στους χρήστες της. Το τίμημα, όμως, για τα οφέλη που επιφέρουν οι ΚΠ αποτελεί η πρόκληση στο θέμα της ασφάλειας, παράγοντας αντισταθμιστικός για το γρήγορο ρυθμό αποδοχής τους.

### *3.2.1.2 Μειονεκτήματα Κινητών Πρακτόρων*

Οι ΚΠ είναι η ισχυρότερη μορφή κινούμενου κώδικα. Παρόλο που άλλες μορφές κινούμενου κώδικα είναι σε διαδεδομένη χρήση, οι ΚΠ πράκτορες δεν έχουν υιοθετηθεί σε μεγάλη κλίμακα από την κοινότητα του Διαδικτύου. Τα ακόλουθα είναι μια συζήτηση των λόγων για τους οποίους οι ΚΠ δεν έχουν γίνει αποδεκτοί στο βαθμό που θα έπρεπε:

- Οι ΚΠ δεν αποδίδουν καλά. Οι ΚΠ συχνά προτείνονται ως τρόπος να βελτιστοποιηθεί η πρόσβαση στους πόρους και να μειωθεί η επιφόρτιση των δικτύων. Αυτό όμως πολύ σπάνια υποστηρίζεται από μια ποσοτική και ακριβή αξιολόγηση του κόστους που εισάγεται από την κίνηση της κατάστασης και του κώδικα ενός πράκτορα. Ακόμη και απλουστευμένες, ποιοτικές αξιολογήσεις έχουν δείξει ότι οι ΚΠ, παρέχουν χειρότερη απόδοση από άλλους

μηχανισμούς [18]. Η πραγματικότητα είναι ότι οι ΚΠ είναι αρκετά δαπανηροί σε υπολογιστικούς πόρους.

- Είναι δύσκολο να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν. Οι ΚΠ φαίνεται ότι παρέχουν μια πολύ φυσική και διαισθητική έννοια: αυτονομία συστατικών. Οι περισσότερες όμως κατανεμημένες εφαρμογές έχουν ένα βαθμό πολυπλοκότητας που εξετάζεται ευκολότερα με τη χρησιμοποίηση γνωστών εννοιών αρχιτεκτονικής λογισμικού όπως η modularization και η μοντελοποίηση μικρότερων συστατικών για τις αντίστοιχες μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Σε έναν ΚΠ είναι δύσκολο να προσδιορίσει σαφώς ποια συστατικά θα αλληλεπιδρούν και πώς αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να διαμορφωθεί.
- Είναι δύσκολο να αξιολογηθούν και να αποσφαλιστούν. Η δοκιμή και διόρθωση λογισμικού είναι μια τέχνη από μόνη της. Υπάρχουν πολλές παγίδες στη δοκιμή και τη διόρθωση του απλού, μίας ίνας, μη-διανεμημένου λογισμικού. Η διανομή και η κινητικότητα προσθέτουν πολυπλοκότητα σε αυτή την διαδικασία. Οι ΚΠ μπορούν να κινηθούν από έναν κόμβο προς ένα άλλο σε μια μη προκαθορισμένη σειρά. Η κατανόηση και η δοκιμή της υλοποίησης ενός πράκτορα σε μια τέτοια σύνθετη ιστορία εκτέλεσης είναι απίστευτα «σκληρή».
- Είναι δύσκολο να ελεγχθούν. Οι ΚΠ πρέπει να επικυρωθούν κατά την είσοδό τους σε ένα περιβάλλον που επιβάλλει μηχανισμούς ελέγχου προσπέλασης. Το πρόβλημα είναι ότι υπάρχουν πολλές ταυτότητες που συνδέονται με έναν ΚΠ.
- Οι ΚΠ μπορούν να αλλοιωθούν. Οι ΚΠ που ταξιδεύουν σε πολλούς εξυπηρετητές για να ολοκληρώσουν τις εργασίες τους είναι τρωτοί σε διάφορες επιθέσεις που προέρχονται από τα κακόβουλα περιβάλλοντα εκτέλεσης.
- Οι ΚΠ δεν μπορούν να κρατήσουν μυστικά. Οι ΚΠ έχουν προταθεί ως μέσα για την εφαρμογή του ηλεκτρονικού εμπορίου και άλλες κρίσιμες εφαρμογές. Για να εκτελεστούν ευαίσθητες συναλλαγές (π.χ., υπογραφή μιας σύμβασης), είναι συχνά απαραίτητο να εκτελεστούν διαδικασίες που απαιτούν μυστικά δεδομένα, όπως το ιδιωτικό κλειδί. Δυστυχώς, ένα μυστικό δεν μπορεί να κρυφτεί αποτελεσματικά εάν πρέπει να χρησιμοποιηθεί από έναν πρά-



κτορα σε έναν μακρινό εξυπηρετητή και ο πράκτορας δεν μπορεί να αλληλεπιδράσει με τη βάση του.

- Οι ΚΠ δεν έχουν μια συγκεκριμένη υποδομή. Οι ΚΠ απαιτούν μια υποδομή που υποστηρίζει εργασίες όπως μεταφορά των ΚΠ, την αντιπροσώπευση του ΚΠ κλπ. Αυτή η υποδομή θα πρέπει να επεκταθεί σε κάθε εξυπηρετητή που μπορεί ενδεχομένως να είναι ο παραλήπτης ενός πράκτορα. Αυτό είναι μια απαίτηση που είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί ειδικά επειδή οι υπάρχουσες υποδομές έχουν αποδειχθεί τρωτές σε διάφορες επιθέσεις.
- Οι ΚΠ δεν έχουν μια κοινή γλώσσα και οντολογία. Οι ΚΠ πρέπει να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον που επισκέπτονται προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι τους. Αυτή η αλληλεπίδραση σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι κατανοητά τόσο για τον ΚΠ όσο και για το περιβάλλον αλληλεπίδρασης το σχήμα που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή στοιχείων και κάθε έννοιας που συνδέεται με τα στοιχεία αυτά. Παρόλες τις διαφορετικές κοινές γλώσσες/οντολογίες που έχουν προταθεί δεν υπάρχει καμία ευρέως αποδεκτή γλώσσα ή οντολογία.
- Οι ΚΠ έχουν παρόμοια συμπεριφορά με τους ιούς «σκουλήκια». Οι ΚΠ είναι συστατικά που προκαλούν αυτόνομα τη μεταφορά της εικόνας τους σε ένα μακρινό οικοδεσπότη όπου εκκινούν ξανά την εκτέλεση τους. Αυτός ο μηχανισμός έχει εντυπωσιακή ομοιότητα στα κακόβουλα «σκουλήκια» που διαδίδονται στα δίκτυα. Τα «σκουλήκια» έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά δύσκολο να ξεριζωθούν και μερικά σκουλήκια θεωρούνται σήμερα μέρος του «παρασιτικού θορύβου» του Διαδικτύου. Μια κινητή υποδομή πρακτόρων θα υποστήριζε την εκτέλεση τόσο καλοκάγαθων όσο και κακόβουλων πρακτόρων και θα ήταν επιρρεπής στις επιθέσεις «σκουληκιών».

### **3.3 Βασικές Έννοιες Κινητών Δικτύων Τρίτης Γενιάς**

#### **3.3.1 Εισαγωγή**

Η αυξανόμενη αγορά των κινητών δικτύων με τους ολοένα και περισσότερους συνδρομητές με περισσότερες απαιτήσεις οδήγησαν στην ανάπτυξη και τυποποίηση της τρίτης γενιάς κινητών συστημάτων.

Η διαδικασία τυποποίησης του Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) καθορίζει τα κύρια σημεία της τυποποίησης με όσο το δυνατό λιγότερα στοιχεία, έτσι ώστε το σύστημα να είναι πιο ευέλικτο (Π.χ, οι υπηρεσίες δεν θα τυποποιηθούν αλλά μόνο τα εργαλεία ανάπτυξής τους).

Πρώτα από όλα το Virtual Home Environment αποτελεί βασική έννοια του UMTS και καθορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο έξυπνες υπηρεσίες και εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν από τους παρόχους υπηρεσιών μέσα στο UMTS. Κάθε κομμάτι του VHE έχει συγκεκριμένες προαπαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν. Αυτές είναι:

Από την πλευρά του τελικού χρήστη:

- Πρόσβαση σε ένα πλήθος υπηρεσιών οι οποίες θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του και θα προσφέρονται από του διαχειριστές του συστήματος ή τους παρόχους υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες ανεξάρτητα από το δίκτυο που θα βρίσκεται ο χρήστης και το τερματικό που θα χρησιμοποιεί.
- Απλοποιημένη παροχή υπηρεσιών και αναβάθμιση των υπηρεσιών αυτών διαμέσου της δυνατότητα του "κατεβάσματος" νέων υπηρεσιών με την όσο πιο μικρή ανάμειξη του χρήστη.

Από την πλευρά των διαχειριστών του συστήματος:

- Ευελιξία για ανάπτυξη νέων υπηρεσιών οι οποίες θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του τελικού χρήστη σε μικρό χρονικό διάστημα, και οι οποίες μπορεί να διαφέρουν θεμελιωδώς μεταξύ διαφορετικών δικτύων (ασύρματα, δορυφορικά και κυψελωτά δίκτυα κλπ.) χωρίς την υποχρέωση τροποποίησης της υποδομής του δικτύου.

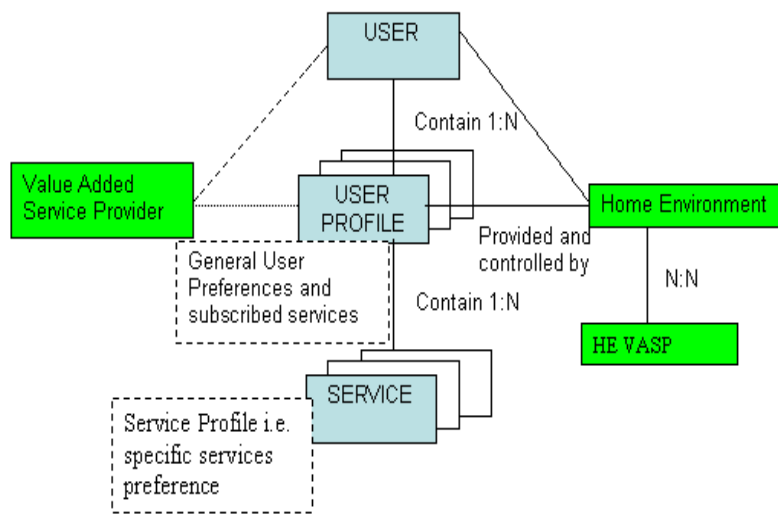
Από την πλευρά των παρόχων υπηρεσιών είναι:

- Η παροχή μέσων για την δημιουργία νέων υπηρεσιών. Αυτά τα μέσα πρέπει να καθιστούν ικανούς τους παρόχους υπηρεσιών να καθορίζουν τη λειτουργία του δικτύου και του τερματικού για την υλοποίηση της υπηρεσίας όπως και την παρουσίαση της υπηρεσίας στο χρήστη.

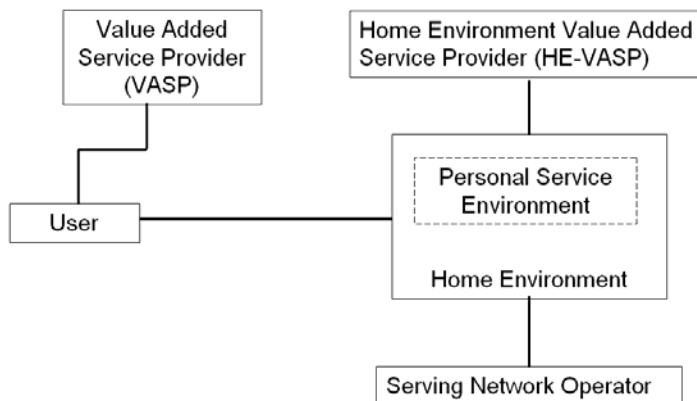
### 3.3.2 Εικονικό Οικείο Περιβάλλον (Virtual Home Environment)

Το VHE πρέπει να θεωρηθεί ως μια ομπρέλα εννοιών που καλύπτει πολλές τεχνολογίες σχετικά με την προσφορά υπηρεσιών. Σε αυτό το τμήμα, περιγράφουμε εν συντομία όλες αυτές τις τεχνολογίες.

Σύμφωνα με τις 3GPP προδιαγραφές για το VHE, το επιχειρησιακό πρότυπο του VHE και η προοπτική χρηστών είναι δομημένα όπως φαίνεται [34] (Εικόνα 3-4 και Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-4: VHE – Business Model



Εικόνα 3-5: VHE – User's Perspective

Οι οντότητες των σχημάτων Εικόνα 3-4 και Εικόνα 3-5 έχουν τους παρακάτω ρόλους- λειτουργίες:

- **Χρήστης (User):** εγγράφεται, έχει πρόσβαση, προσαρμόζει και καλεί υπηρεσίες μέσω του οικείου περιβάλλοντος και τους παρόχους υπηρεσιών προστιθεμένης αξίας.
- **Προφίλ υπηρεσιών χρήστη (User Services Profile):** περιέχει πληροφορίες για τις υπηρεσίες του κάθε χρήστη, τη θέση τους και τις εξατομικευμένες προτιμήσεις του χρήστη ως προς την κάθε υπηρεσία. Αυτό είναι μέρος των πληροφοριών παραμέτρων χρήστη, απαραίτητο για να παρέχει σε ένα χρήστη ένα συνεπές, εξατομικευμένο περιβάλλον υπηρεσιών.
- **Υπηρεσίες (Services):** λειτουργικότητα ή περιεχόμενο που παρέχεται στο χρήστη.
- **Οικείο Περιβάλλον (Home Environment-HE):** παρέχει διαφανώς υπηρεσίες στο χρήστη με ένα διαχειριστικό τρόπο, ενδεχομένως σε συνεργασία με το οικείο περιβάλλον (Home Environment) και παρόχους υπηρεσιών προστιθεμένης αξίας (HE-VASPs). Επίσης, παρέχει και ελέγχει το προσωπικό περιβάλλον υπηρεσιών του χρήστη (Personal Service Environment – PSE), εξασφαλίζει την πρόσβαση του χρήστη στο PSE του/της και παρέχει μηχανισμούς για να υποστηρίξει τις ίδιες υπηρεσίες που παρέχονται από το HE και VASPs όταν ο χρήστης κινείται εκτός οικείου δικτύου (π.χ., σε κάποιο επισκεπτόμενο δίκτυο) και μεταξύ διαφορετικών τερματικών.
- **Φορέας εκμετάλλευσης δικτύου (Serving Network Operator):** Προσφέρει δικτυακή συνδεσιμότητα, δυνατότητες και υπηρεσίες στο χρήστη μέσω του HE. Το δίκτυο εξυπηρέτησης μπορεί να είναι ένα οικείο δίκτυο (HN) ή ένα επισκεπτόμενο δίκτυο.
- **Πάροχος Υπηρεσιών Προστιθεμένης Αξίας (Value Added Service Provider VASP):** Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες άμεσα από τους VASP. Οι υπηρεσίες που λαμβάνονται άμεσα από τους VASPs δεν ρυθμίζονται από το HE και επομένως δεν είναι μέρος της υπηρεσίας VHE που προσφέρεται από το HE.
- **Οικείο Περιβάλλον [Home Environment – VASP (HE-VASP)]:** ο χρήστης προσωποποιεί και έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες που παρέχονται από το HE-VASP μέσω του HE. Το HE μπορεί να επιτρέψει στους HE-VASPs να

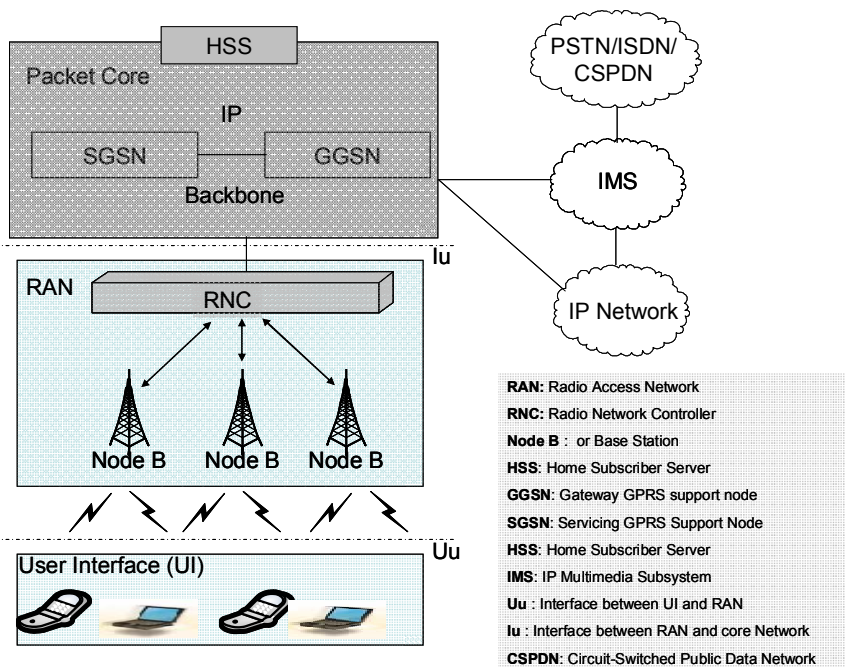
έχουν πρόσβαση στα εργαλεία υπηρεσιών του δικτύου (π.χ., Open Service Access – OSA, Customized Application of Mobile network Enhanced Logic - CAMEL)) και στον κινητό εξοπλισμό (π.χ., Mobile Station Application Execution Environment - MeXE) για την εκτέλεση υπηρεσιών που παρέχονται από το HE-VASP.

### **3.3.3 Open Service Access (OSA)**

Το OSA [35] είναι ένα πλαίσιο που επιτρέπει στις εφαρμογές να χρησιμοποιήσουν τη λειτουργικότητα δικτύων η οποία ορίζεται ως ένα σύνολο Service Capability Features (SCFs) και υποστηρίζεται από διαφορετικούς κεντρικούς υπολογιστές υπηρεσίας [Service Capability Servers (SCS)]. Οι SCS χρησιμεύουν ως πύλες μεταξύ των δικτύων και των εφαρμογών. Παραδείγματα SCFs είναι η κλήση-έλεγχος, η θέση/προσδιορισμός θέσης και η ειδοποίηση. Το OSA API είναι βασισμένο σε πρωτόκολλα όπως το CORBA/IIOP και το SOAP/XML. Το OSA επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να χρησιμοποιήσουν τη λειτουργικότητα του δικτύου όπως ο έλεγχος κλήσης (σύννοδος), η διαχείριση διασκέψεων και οι πληροφορίες θέσης. Επίσης, προσφέρει μια διεπαφή για την επικύρωση της εφαρμογής, την ανακάλυψη υπηρεσιών και τη θέση χρηστών (π.χ., προφίλ, τερματικό κλπ).

### **3.3.4 Αρχιτεκτονική UMTS**

Η αρχιτεκτονική του UMTS παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-6. Η οντότητα RNC (Radio Network Controller) είναι η καρδιά του δικτύου πρόσβασης του UMTS [Radio Access Network (RAN)]. Το RNC συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο UMTS είτε μέσω μεταγωγής πακέτου, είτε μέσω μεταγωγής κυκλώματος (packet-switched ή circuit-switched). Επιπλέον, το RNC υποστηρίζει διασυνδέσεις σε άλλα RNCs για να ελέγχει και να διαχειρίζεται τις ραδιοζεύξεις και την κινητικότητα των χρηστών. Το RNC ελέγχει έναν μεγάλο αριθμό κόμβων Node Bs όπου κάθε Node B είναι η οντότητα που εξυπηρετεί μια ή περισσότερες κυψέλες.



Εικόνα 3-6: Αρχιτεκτονική UMTS (Release 6+)

### 3.4 Βασικά Στοιχεία Σημαιολογικού Ιστού και Σημαιολογικών Υπηρεσιών

#### 3.4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια πολλές ερευνητικές ομάδες στο χώρο του διαδικτύου έχουν επικεντρώσει τις προσπάθειές τους στην ανάπτυξη υπηρεσιών οι οποίες θα δώσουν επιπρόσθετες δυνατότητες στους χρήστες για την εξυπηρέτηση των ολοένα αυξανόμενων αναγκών τους. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν υιοθετηθεί από πολλούς κατασκευαστές λογισμικού ως μέσο για τον εμπλουτισμό των ιστοσελίδων – και όχι μόνο – με δυναμικά στοιχεία, τα οποία βασίζονται σε συγκεκριμένες διεπαφές.

Υπάρχουν διάφοροι οργανισμοί που εμπλέκονται στον καθορισμό προδιαγραφών για τις «Υπηρεσίες Διαδικτύου» με αποτέλεσμα αρκετοί ορισμοί να έχουν διατυπωθεί, με κυρίαρχο αυτόν της ερευνητικής ομάδας W3C Web Services Architecture Working Group [19]:

*«Μια υπηρεσία ιστού (web service) είναι μια εφαρμογή λογισμικού, η οποία προσδιορίζεται από ένα URI [20], της οποίας οι διεπαφές και οι συνδέσεις είναι δυνατό να καθοριστούν, να περιγραφούν και να εντοπισθούν από τεχνουργήματα XML, και υποστηρίζουν απευθείας αλληλεπίδραση με άλλες εφαρμογές λογισμικού, χρησιμοποιώντας μηνύματα βασισμένα σε XML, διαμέσου πρωτοκόλλων βασισμένων στο διαδίκτυο.»*

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η «Υπηρεσία Διαδικτύου» καθορίζεται σαν ένας πόρος, όχι μόνο μέσα στον παγκόσμιο ιστό, αλλά και σε επίπεδο ενός τοπικού εσωτερικού δικτύου (intranet), ο οποίος παρέχεται από κάποιον οργανισμό. Σημαντική είναι η ανεξαρτησία που υπάρχει ανάμεσα στις υπολογιστικές πλατφόρμες από τη μεριά του παρόχου της υπηρεσίας και του τελικού χρήστη αυτής (cross platform applications).

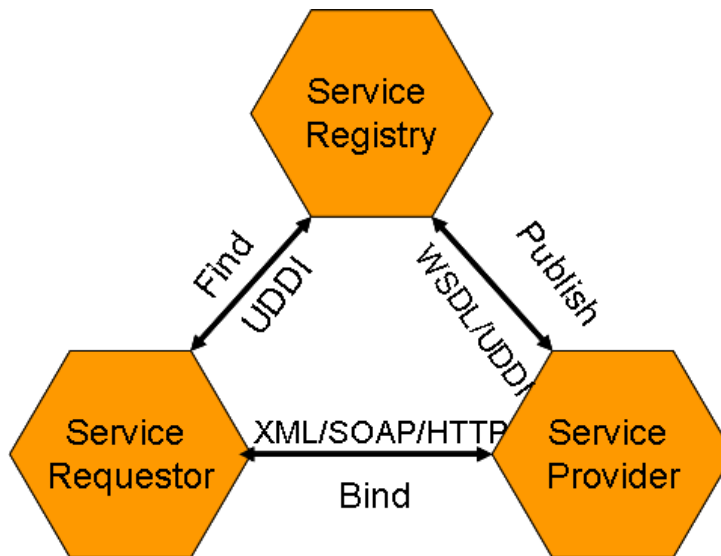
Η «Υπηρεσία Διαδικτύου» είναι διαθέσιμη μέσω των δημοσιευθέντων διεπαφών της στις οποίες είναι δυνατή η κλήση. Η σχέση αυτή είναι ανάλογη με αυτή του διαφυλλιστή διαδικτύου (web browser) και του παρόχου του δικτυακού τόπου (web application server). Ο διαφυλλιστής δεν επηρεάζεται από τον πάροχο της ιστοσελίδας ή το μηχανισμό που τον εξυπηρετεί, αρκεί το αποτέλεσμα να είναι εκφρασμένο σε γλώσσα HTML.

Από τεχνικής πλευράς, μια «Υπηρεσία Διαδικτύου» είναι μια συλλογή από συσχετιζόμενες υπηρεσίες που είναι προσβάσιμες μέσα από κάποιο δίκτυο και έχουν μια συγκεκριμένη περιγραφή. Σε αυτό το επίπεδο, η έννοια της «Υπηρεσίας Διαδικτύου» δεν είναι κάτι καινούργιο στην επιστήμη των υπολογιστών. Μέσω των «Υπηρεσιών Διαδικτύου», η επιστήμη των υπολογιστών προσπαθεί να επιλύσει την πρωταρχική πρόκληση του κατακεκομένου υπολογισμού, την εύρεση και την πρόσβαση σε απομακρυσμένους πόρους. Η διαφορά αυτής της προσέγγισης είναι η χρήση ανοιχτών τεχνολογιών και προδιαγραφών (open standards), ελεγχόμενων από ευρείας συναίνεσης οργανισμούς, όπως ο OASIS [21] και ο W3C.

Βασική αρχή των «Υπηρεσιών Διαδικτύου» είναι η μη υλοποίησή τους σε αυστηρά συνεκτικά συνδεδεμένα εξαρτήματα και υπο-ρουτίνες, που η γνώση τους θα είναι αναγκαία κατά τη φάση της ανάπτυξης της υπηρεσίας. Αντίθετα, επιλέχθηκε μια αρκετά πιο δυναμική προσέγγιση. Δόθηκε έμφαση στις διεπαφές, το σημείο επικοινωνίας μεταξύ της ίδιας της υπηρεσίας και του λογισμικού που την καλεί. Βέβαια, αυτό που είναι πρωτοποριακό δεν είναι η χρήση διεπαφών, αλλά το γεγονός ότι μια «Υπηρεσία Διαδικτύου» είναι άθροισμα πολλών ανεξάρτητων οντοτήτων, μη αυστηρά συνδεδεμένων μεταξύ τους, που όμως επικοινωνούν με απλές ανοιχτές προδιαγραφές.

### 3.4.2 Υπηρεσιοκεντρική Αρχιτεκτονική (Service Oriented Architecture – SOA)

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των «Υπηρεσιών Διαδικτύου» βασίζεται κυρίως στο κλασικό επιχειρησιακό μοντέλο που απεικονίζεται στην Εικόνα 3-7.



Εικόνα 3-7: Αρχιτεκτονική γύρω από την υπηρεσία

Από το παραπάνω σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε τις οντότητες που απαρτίζουν την τρέχουσα αρχιτεκτονική των υπηρεσιών διαδικτύου. Αυτές είναι: (α) η οντότητα που ζητάει την υπηρεσία (Service Requestor), (β) η οντότητα που παρέχει την υπηρεσία (Service Provider), και (γ) η οντότητα του καταλόγου υπηρεσιών (Service Registry). Πιο αναλυτικά, κάθε μία οντότητα έχει τους εξής ρόλους:

- ο Η οντότητα, η οποία ζητάει την υπηρεσία (Service Requestor), είναι στην ουσία ο αιτούμενος πελάτης της υπηρεσίας και πυροδοτεί την έναρξη της όλης διαδικασίας. Αρχικά επιφορτίζεται με το έργο της αναζήτησης της κατάλληλης περιγραφής μιας υπηρεσίας στις καταχωρήσεις της υπηρεσίας καταλόγου. Στη συνέχεια, εγκαθιδρύει σύνδεση με τον πάροχο της υπηρεσίας, καλεί την υπηρεσία και λαμβάνει τα αποτελέσματα.
- ο Η οντότητα που παρέχει την υπηρεσία (Service Provider), δημοσιοποιεί την περιγραφή της υπηρεσίας ιστού στην οντότητα του καταλόγου υπηρεσιών (Service Registry) και ουσιαστικά παρέχει την υπηρεσία στο διαδίκτυο. Επι-



πλέον, της ανατίθεται ο ρόλος της λήψης των μηνυμάτων κλήσης για την υπηρεσία από έναν ή περισσότερους αιτούμενους πελάτες και της παροχής των απαραίτητων αποτελεσμάτων.

- ο Η οντότητα του καταλόγου υπηρεσιών (Service Registry) περιέχει καταχωρήσεις με τις περιγραφές των ήδη δημοσιοποιημένων υπηρεσιών διαδικτύου. Για τις υπηρεσίες αυτές παρέχονται τρόποι αναζήτησης ανάμεσα στις διάφορες περιγραφές.

Οι βασικές λειτουργίες της παραπάνω αρχιτεκτονική είναι οι ακόλουθες:

- ο Η καταχώρηση των απαραίτητων πληροφοριών για μια υπηρεσία από τη μεριά του παρόχου (publishing), η οποία επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης της γλώσσας περιγραφής WSDL,
- ο Η αναζήτηση και η εύρεση στους καταλόγους της κατάλληλης περιγραφής μιας «Υπηρεσίας Διαδικτύου» (finding). Η επικρατούσα τεχνολογία καταλόγου ονομάζεται Universal Description Discovery and Integration(UDDI), και
- ο Τέλος η εγκαθίδρυση σύνδεσης μεταξύ «αιτούμενου» και παρόχου (binding), η κλήση της κατάλληλης υπηρεσίας και η αποστολή των αποτελεσμάτων.

Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την ανταλλαγή μηνυμάτων SOAP μεταξύ των τριών εμπλεκόμενων οντοτήτων, η οποία βασίζεται στη γλώσσα μεταδεδομένων XML. Το κλειδί της παραπάνω αρχιτεκτονικής είναι η περιγραφή της «Υπηρεσίας Διαδικτύου». Η περιγραφή αυτή είναι εκείνη που δημοσιοποιείται από τον πάροχο της υπηρεσίας στον κατάλογο υπηρεσιών και δίνεται ως αποτέλεσμα της αναζήτησης του αιτούμενου πελάτη στον κατάλογο υπηρεσιών. Η περιγραφή της «Υπηρεσίας Διαδικτύου» παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται ο αιτούμενος πελάτης για να κάνει κλήση της υπηρεσίας. Επίσης, η περιγραφή της υπηρεσίας μπορεί να περιέχει πληροφορίες για το τι είδους είναι το αποτέλεσμα που αναμένεται να επιστραφεί ύστερα από την κλήση της υπηρεσίας.

Με την παραπάνω αρχιτεκτονική ήδη υπάρχουσες εφαρμογές μπορούν εύκολα να μετασχηματισθούν σε υπηρεσίες που να εξυπηρετούν άλλες υπάρχουσες – ή και νέες – εφαρμογές. Πολλές υπηρεσίες μπορούν να συνδυαστούν και να συνεργα-

σθούν για την παραγωγή ενός αποτελέσματος με τρόπο διαφανή προς τον τελικό χρήστη, στον οποίο δίνεται η αίσθηση ότι κλήθηκε μία και μόνο υπηρεσία. Επιπρόσθετα, οργανισμοί και επιχειρήσεις μπορούν ευκολότερα να κατασκευάσουν λογισμικό που να αλληλεπιδρά με επιχειρησιακές διαδικασίες και να ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές του επιχειρησιακού περιβάλλοντος.

### **3.4.3 Υπηρεσιοκεντρική Αρχιτεκτονική (Service Oriented Architecture-SOA) και «Υπηρεσίες Διαδικτύου»**

Παρόλο που η τεχνολογία των «Υπηρεσιών Διαδικτύου» και η προαναφερθείσα αρχιτεκτονική SOA συχνά συναντώνται μαζί ή σε κάποιο συνδυασμό, πρέπει να αναφερθεί ότι, οι δύο αυτοί όροι είναι διαφορετικοί και πρέπει να ξεχωρίζουν. Η αρχιτεκτονική SOA είναι ένα σενάριο ή μια προσέγγιση για την οικοδόμηση συστημάτων, τα οποία επικεντρώνονται σε ένα σύνολο από συστατικά που μπορούν να συνεργασθούν δυναμικά. Οι «Υπηρεσίες Διαδικτύου» από την άλλη μεριά είναι μια προσέγγιση για τον τρόπο που μπορεί να αναπτυχθεί μια αρχιτεκτονική SOA. Το μοντέλο των «Υπηρεσιών Διαδικτύου» παρέχει προδιαγραφές για ένα σύνολο από γλώσσες και τεχνολογίες βασισμένες σε XML, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οικοδόμηση συστημάτων με αρχιτεκτονική SOA.

#### *3.4.3.1 Γλώσσα Περιγραφής Υπηρεσιών Διαδικτύου – WSDL*

Το SOAP είναι βασισμένο στην XML και ότι μέσω αυτού μπορούν να γίνουν αιτήσεις για απομακρυσμένες κλήσεις διαδικασιών από κάποιον πελάτη σε κάποιον εξυπηρετητή. Από τη μεριά του πελάτη, όμως υπάρχουν δυσκολίες στη σύνταξη ενός μηνύματος SOAP, καθώς ο πελάτης δε μπορεί να ξέρει ακριβώς την δομή του μηνύματος που πρέπει να στείλει. Το SOAP καθορίζει ορισμένους κανόνες και προσφέρει μια συγκεκριμένη φόρμα για τα μηνύματα, αλλά πρέπει να υπάρξει κάποιος άλλος τρόπος ώστε ο πελάτης να γνωρίζει την δομή του μηνύματος που πρέπει να στείλει στον πάροχο της υπηρεσίας.

Προκειμένου ο χρήστης να γνωρίζει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κλήση μιας υπηρεσίας διαδικτύου, πρέπει να έχει στην κατοχή του μια περιγραφή της. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της υπηρεσίας καταλόγου (Service Registry).

Ο ρόλος της υπηρεσίας καταλόγου σε μια SOA αρχιτεκτονική είναι πολύ σημαντικός. Ο πελάτης, προκειμένου να ανακαλύψει την υπηρεσία που τον ενδιαφέρει, ψάχνει πρώτα στον κατάλογο αυτό. Το αποτέλεσμα της αναζήτησης είναι η περιγραφή της υπηρεσίας που ζήτησε. Ο πάροχος της υπηρεσίας διαδικτύου, λοιπόν, δημοσιεύει την περιγραφή της προσφερόμενης υπηρεσίας του ώστε να μπορεί ο κάθε πιθανός πελάτης να την ανακαλύψει.

Μια περιγραφή υπηρεσίας διαδικτύου θα πρέπει να αποτελείται από δύο μέρη:

- Τη λειτουργική περιγραφή – περιγράφει ποιες ακριβώς λειτουργίες είναι διαθέσιμες από την υπηρεσία διαδικτύου και ποια είναι η σύνταξη ενός SOAP μηνύματος προκειμένου να γίνει με επιτυχία η κλήση. Επιπλέον, πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία της υπηρεσίας είναι διαθέσιμες ώστε ο χρήστης να έχει το ακριβές URL στο οποίο θα γίνει η κλήση. Αποτελεί χρέος της λειτουργικής περιγραφής να δώσει τις απαραίτητες πληροφορίες στον πελάτη προκειμένου να μπορεί αυτός να καλέσει την υπηρεσία.
- Τη μη-λειτουργική περιγραφή – Όπως υποδηλώνει και το όνομά της, προσφέρει πληροφορίες που σχετίζονται με τις μη λειτουργικές απαιτήσεις της υπηρεσίας. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να περιγράφουν το λόγο που κάποιος πελάτης επιθυμεί να καλέσει την υπηρεσία, τον πάροχο της υπηρεσίας αναλυτικά, προσωπικά του στοιχεία και τηλέφωνα επικοινωνίας, και τέλος, πληροφορίες για την ασφάλεια γύρω από την υπηρεσία και την πολιτική του παρόχου.

Η ευρέως χρησιμοποιούμενη και καθιερωμένη γλώσσα περιγραφής υπηρεσιών διαδικτύου είναι η WSDL (Web Services Description Language). Είναι μια γλώσσα βασισμένη στην XML και περιγράφει τρεις σημαντικές ιδιότητες της υπηρεσίας:

- Τι κάνει η υπηρεσία – Εδώ περιγράφονται οι μέθοδοι της υπηρεσίας, οι παράμετροί της, και τα αποτελέσματα που επιστρέφει.
- Πώς γίνεται η πρόσβαση στην υπηρεσία – Εδώ παρέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη σύνταξη των SOAP μηνυμάτων που θα ανταλλάχθούν, καθώς και τα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται από τον πάροχο.

- ο Που βρίσκεται η υπηρεσία – Εδώ παρέχονται πληροφορίες για τη δικτυακή διεύθυνση της υπηρεσίας. Συνήθως είναι ένα URL.

#### 3.4.3.2 *Universal Description, Discovery and Integration (UDDI)*

Ο σκοπός του UDDI είναι να διευκολύνει την ανακάλυψη υπηρεσιών τόσο κατά το χρόνο σχεδίασης όσο και δυναμικά κατά το χρόνο εκτέλεσης. Συνεπώς, το UDDI λειτουργεί ως ένας κοινός άμεσα συνδεδεμένος κατάλογος (και των αντιστοίχων υπηρεσιών), ο οποίος λειτούργησε για πρώτη φορά στις 2 Μαΐου 2001. Ο κατάλογος αυτός, συνήθως αναφέρεται ως κατάλογος επιχειρήσεων UDDI (UDDI Business Registry) και αποτελείται από 2 πανομοιότυπους καταλόγους, οι οποίοι διατηρούνται αυτή τη στιγμή από δύο εταιρίες (IBM και Microsoft) και αποκαλούνται διαχειριστές του UDDI.

#### 3.4.4 **Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web)**

Ο Παγκόσμιος Ιστός (WWW), στην σημερινή του μορφή περιέχει πληροφορία που προορίζεται για τον άνθρωπο. Αποτελείται από σελίδες, τις οποίες οι χρήστες του διαβάζουν και αποκομίζουν καινούργιες γνώσεις. Σαν επέκταση των παραπάνω ο όρος «Σημασιολογικός Ιστός» εκφράζει το όραμα στο οποίο ο υπολογιστής – λογισμικό, όπως και οι άνθρωποι, θα είναι ικανός να εντοπίζει, να διαβάζει, να κατανοεί και να χρησιμοποιεί τα δεδομένα του διαδικτύου για να επιτύχει χρήσιμα αποτελέσματα για τους χρήστες του.

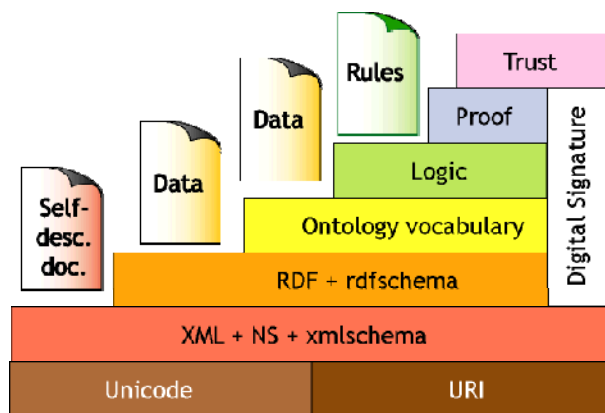
Βέβαια, ήδη έχει κατασκευαστεί λογισμικό που προσφέρει χρήσιμες υπηρεσίες στο διαδίκτυο, όπως είναι οι μηχανές αναζήτησης με τη διαφορά, όμως στον τρόπο χρήσης της διαθέσιμης πληροφορίας σε αυτό. Οι χρήστες στον παγκόσμιο ιστό αναζητούν νέες πληροφορίες, επιλέγοντας τον ένα σύνδεσμο μετά τον άλλο. Ένας πιο αποδοτικός τρόπος θα ήταν η διαδικασία της αναζήτησης να συνεχίζεται μόνη της ενημερώνοντας τον χρήστη, κατά διαστήματα, για την τρέχουσα κατάσταση. Σκοπός των τεχνολογιών γύρω από τον «Σημασιολογικό Ιστό» είναι να κάνουν πραγματικότητα λειτουργίες όπως η προαναφερθείσα χρησιμοποιώντας τον εμπλουτισμό της διαθέσιμης πληροφορίας στο διαδίκτυο με «σημασιολογικά στοιχεία» (Semantic Ontologies). Με τα σημασιολογικά στοιχεία, οι υπολογιστές θα έ-

χουν τη δυνατότητα να κατανοούν μέσω του λογισμικού τους και χωρίς την ανθρώπινη ανάμιξη.

Ένας τυπικός ορισμός, ο οποίος διατυπώθηκε από τον Tim Berners – Lee, στην αναφορά [22] περιέχει με σαφήνεια τι ακριβώς υποδηλώνει ο όρος:

*«Το πρώτο βήμα είναι να βάλουμε τα δεδομένα στο δίκτυο σε μια μορφή όπου οι μηχανές μπορούν αμοιβαία να κατανοήσουν ή να τα μετατρέψουμε σε αυτή τη μορφή. Αυτό δημιουργεί κάτι το οποίο ονομάζω Σημασιολογικό Δίκτυο (Semantic Web) – ένα δίκτυο από δεδομένα τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν άμεσα ή έμμεσα από τις μηχανές.»*

Ο οργανισμός W3C (World Wide Web Consortium), ο οποίος αναπτύσσει καινούργιες τεχνολογίες για τη βελτίωση του παγκόσμιου ιστού (www), προωθεί την ανάπτυξη του «Σημασιολογικού Ιστού» ενώ ήδη πολλές από τις θεμελιώδεις τεχνολογίες, όπως η RDF [29] και η XML, έχουν αναπτυχθεί από αυτόν. Σύμφωνα με τον Tim Berners – Lee η αρχιτεκτονική του «Σημασιολογικού Ιστού» απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3-8: Αρχιτεκτονική του Σημασιολογικού Ιστού

- XML – eXtensible Markup Language. Η γλώσσα που από το 1998 αποτελεί το θεμέλιο λίθο για σχεδόν όλες τις γλώσσες αλληλεπίδρασης με δεδομένα που διατίθενται στο διαδίκτυο.
- XML Schema. Η γλώσσα που καθορίζει τη δομή συγκεκριμένων γλωσσών βασισμένων στην XML.

- RDF – Resource Description Framework. Μια ευέλικτη γλώσσα, ικανή να περιγράψει με σαφήνεια την πληροφορία διαφόρων ειδών και μεταδεδομένων.
- RDF Schema. Η γλώσσα που περιέχει τα μέσα για τον ορισμό του λεξιλογίου γλωσσών βασισμένων στην RDF για συγκεκριμένες εφαρμογές.
- Ontology. Γλώσσες που ορίζουν λεξιλόγια και τη χρήση όρων στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου λεξιλογίου. Η RDF χρησιμοποιείται για την κατασκευή οντολογιών, η οποία με την σειρά της χρησιμοποιείται από πιο σύνθετες γλώσσες οντολογιών όπως η OWL.
- Logic and Proof. Η λογική επαγωγή είναι βασικό κομμάτι της δημιουργίας συνεκτικότητας και ορθότητας στα δεδομένα και στην επαγωγή λογικών συμπερασμάτων.
- Trust. Το μέσο για την ταυτοποίηση της ταυτότητας, και η απόδειξη ότι τα δεδομένα και οι υπηρεσίες προς χρήση είναι έγκυρα.

#### 3.4.4.1 Παγκόσμιος ιστός και Σημασιολογικός Ιστός

Ο παγκόσμιος ιστός είναι σχεδιασμένος γύρω από διαθέσιμους πόρους, το μοναδικό τρόπο διευθυνσιοδότησης αυτών των πόρων και ένα σύνολο από εντολές. Ο παγκόσμιος ιστός λειτουργεί πάνω σε μεγάλης κλίμακας και πολύπλοκα δίκτυα με κατακεμημένο τρόπο. Στην παράγραφο αυτή, όταν θα αναφερόμαστε στον όρο «πόρο» θα εννοούμε κάποιο πακέτο δεδομένων το οποίο μπορεί να είναι κάποια έγγραφα, ιστοσελίδες ή οτιδήποτε άλλο δεδομένο. Στον παγκόσμιο ιστό αναφερόμαστε στους πόρους αυτούς μέσω των URIs (Uniform Resource Indicators) γενικότερα ενώ μέσω των URLs (Uniform Resource Locators) αναφερόμαστε σε πόρους που μπορούν να διευθυνσιοδοτηθούν και να ανακτηθούν απευθείας μέσω πρωτοκόλλων πέραν του HTTP, όπως το FTP.

Ο παγκόσμιος ιστός λειτουργεί πάνω από ένα τεράστιο δίκτυο υπολογιστών με ένα αστρονομικό αριθμό από ιστοσελίδες και ιστοχώρους και πρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί καθώς τα μεγέθη αυτά αυξάνονται. Σε ένα τέτοιο κατακεμημένο δίκτυο που συνεχώς μεγαλώνει, οποιοσδήποτε διαθέτει υπολογιστή μπορεί με τη βοήθεια κάποιου εξυπηρετητή (server) να προσθέσει πόρους στο ήδη υπάρχον δίκτυο χωρίς να είναι αναγκασμένος να τις καταχωρήσει και σε κάποιο συγκεκριμένο μέρος ή

κόμβο ή κατάλογο. Ο παγκόσμιος ιστός είναι ανοιχτός με την έννοια ότι νέες ιστοσελίδες, νέα δεδομένα και νέοι πόροι μπορούν να προστεθούν ελεύθερα από τον καθένα χωρίς κάποιο κεντρικό έλεγχο.

Ο παγκόσμιος ιστός είναι πιθανό να είναι ημιτελής διότι δεν παρέχει καμία εγγύηση ότι όλοι οι πιθανοί σύνδεσμοι θα λειτουργούν και ότι όλη η πιθανή πληροφορία θα είναι διαθέσιμη.

Ο σημασιολογικός ιστός προκειμένου να συμβαδίζει με το τρέχον μοντέλο του παγκόσμιου ιστού πρέπει να ακολουθήσει «ιδέες» και προσεγγίσεις του τωρινού μοντέλου:

- Πρέπει να χρησιμοποιεί τρόπους διευθυνσιοδότησης μέσω URIs.
- Πρέπει να χρησιμοποιεί πρωτόκολλα με μικρό και κοινά κατανοητό σύνολο εντολών.
- Πρέπει να διατηρεί όσο το δυνατόν λιγότερο ή ακόμη και καθόλου ιστορικό των πληροφοριών του διαδικτύου.
- Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κατανεμημένο.
- Πρέπει να μπορεί να λειτουργεί πάνω σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα.
- Πρέπει να επιτρέπει την τοπική αποθήκευση των πληροφοριών ώστε να επιταχύνει την πρόσβαση σε αυτές και να ελαττώνει το φόρτο του δικτύου.
- Τέλος, μα εξίσου σημαντικό, πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε οποιαδήποτε ασυνέπεια συνδέσμων ή ημιτελών πληροφοριών.

#### 3.4.4.2 Σημασιολογικές Υπηρεσίες Διαδικτύου

Ο όρος «Σημασιολογικές Υπηρεσίες Διαδικτύου» (Semantic Web Services), αναφέρεται στον εμπλουτισμό του τρέχοντος μοντέλου «Υπηρεσιών Διαδικτύου» με σημασιολογική πληροφορία (semantic information). Σκοπός της παραπάνω ενέργειας είναι η πληρέστερη περιγραφή τους με απώτερο στόχο την αρμονική ενσωμάτωσή τους στο «Σημασιολογικό Ιστό». Με το τρόπο αυτό, η περιγραφή των υπηρεσιών θα είναι επαρκής για την αποδοτικότερη αναζήτησή τους, μέσα στο τεράστιο πλήθος των προσφερόμενων υπηρεσιών στο διαδίκτυο.

Με τη μοντελοποίηση σε οντολογίες αντικειμένων του πραγματικού κόσμου και όχι απλώς δεδομένων, με τον τρόπο που υλοποιούνται στο «Σημασιολογικό Ιστό», μια «Υπηρεσία Διαδικτύου», που προσφέρει πληροφορίες για αυτοκίνητα, θα μπορεί να συσχετίσει τον οδηγό με το αυτοκίνητο, χωρίς την ύπαρξη αναφοράς σε αυτοκίνητο ή ακόμα και την φωτογραφία ενός οδηγού με τον αριθμό άδειας κυκλοφορίας του, την φωτογραφία ενός αυτοκινήτου με τον αριθμό κυκλοφορίας του και την οδό κατοικίας του οδηγού. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με την περιγραφή του τι είναι αυτοκίνητο, οδηγός, φωτογραφία και πως όλα αυτά συσχετίζονται μεταξύ τους. Η «Σημασιολογική Υπηρεσία Διαδικτύου» θα αναλάβει να τα αναλύσει και να παράγει ένα εμπειριστατωμένο αποτέλεσμα, όπως το παραπάνω παράδειγμα.

Προς αυτή την κατεύθυνση εργάζονται πολλές ερευνητικές ομάδες ανά τον κόσμο. Η DARPA Agent Markup Language Services (DAML-S) [28] δημιούργησε μια γλώσσα περιγραφής «Σημασιολογικών Υπηρεσιών Διαδικτύου» η οποία βασίζεται στην RDF και στην RDF Schema. Η DAML-S προσφέρει εργαλεία για την περιγραφή των ιδιοτήτων και δυνατοτήτων των Υπηρεσιών Διαδικτύου σε μορφή πλήρως κατανοητή από αυτοματοποιημένο λογισμικό. Παράλληλα, το 2002, η Semantic Web Enabled Web Services (SWWS) αναπτύχθηκε για την παροχή τόσο της οντολογικής περιγραφής αλλά και της αναζήτησης. Τέλος, η OWL (Web Ontology Language) αποτελεί την μετεξέλιξη της DAML και μεγάλο μέρος της δουλειάς για αυτή έχει μεταφερθεί και στην OWL.

#### 3.4.4.3 Γλώσσα Οντολογιών Ιστού (Web Ontology Language-OWL-S)

Ο σημασιολογικός ιστός έχει σαν στόχο να ενισχύσει αυτή την αποδοχή προσφέροντας καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, ακριβέστερη αναζήτηση πάνω στον ήδη υπάρχον παγκόσμιο ιστό και καλύτερα αποτελέσματα. Η βάση για να επιτευχθούν όλα αυτά είναι η περιγραφή της ήδη υπάρχουσας πληροφορίας με επιπλέον πληροφορία κατανοητή τόσο από ανθρώπους όσο και από υπολογιστικές μηχανές. Η περιγραφή αυτή μπορεί να γίνει με τη βοήθεια οντολογιών (ontologies), οι οποίες θα παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες και τους συσχετισμούς μεταξύ των εννοιών και των αντικειμένων. Μια οντολογία θα μπορούσε να οριστεί ως εξής:

«Η τοποθέτηση και κατηγοριοποίηση των ειδών, πραγμάτων και εννοιών σε τύπους και κατηγορίες με ένα καλά ορισμένο τρόπο λέγεται οντολογία. Η οντολογία



μπορεί να έχει όνομα ώστε να είναι κατανοητή από ανθρώπους, καθιστώντας έτσι εφικτή και την κατηγοριοποίηση συγκεκριμένων οντολογιών.»

Συνήθως, οι οντολογίες δεν περιέχουν μόνο πληροφορία για τα είδη ή τις έννοιες που περιγράφουν αλλά παρέχουν επιπρόσθετες πληροφορίες για τις συσχετίσεις τους με άλλα είδη ή έννοιες. Σκοπός είναι να υπάρχει ένας καλά ορισμένος τρόπος για την περιγραφή των οντολογιών αυτών, δηλαδή, να υπάρχει μια καθιερωμένη γλώσσα για τον ορισμό και την περιγραφή τους.

Τα χαρακτηριστικά της γλώσσας οντολογιών θα πρέπει να επιτρέπουν στις νέες οντολογίες να είναι ευέλικτες και εύκολα προσαρμοζόμενες σε κάθε είδους χαρακτηριστικά ή πληροφορίες που μπορεί να προστίθενται δυναμικά στην έννοια που περιγράφουν. Επίσης, τα χαρακτηριστικά της γλώσσας οντολογιών θα πρέπει να επιτρέπουν την πρόσβαση στις νέες οντολογίες μέσω του παγκόσμιου ιστού ώστε να είναι διαμοιραζόμενες και προσβάσιμες από όλους. Ο στόχος είναι η εξάπλωσή των οντολογιών σε ολόκληρο το δίκτυο. Τέλος, η γλώσσα αυτή οφείλει να επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των οντολογιών ή μεμονωμένων κομματιών μιας οντολογίας και μιας άλλης, καθώς επίσης και την κατηγοριοποίηση οποιασδήποτε ιδέας ή πόρου ή σεναρίου είτε αυτό είναι προσβάσιμο μέσο του δικτύου, είτε όχι.

Συνεπώς, μια τέτοια γλώσσα θα πρέπει να ορίζει κλάσεις ή κατηγορίες, όρους και συσχετίσεις. Επιπλέον, θα πρέπει να ορίζει τύπους δεδομένων και κατ' επέκταση περιορισμούς πάνω σε αυτούς. Τέλος, θα πρέπει να ορίζει κανόνες και να παρέχει μια συγκεκριμένη σύνταξη για τον ορισμό των οντολογιών.

Η βάση τέθηκε από την RDF (Resource Description Framework) [29] – μια γλώσσα για τον ορισμό των οντολογιών. Η γλώσσα αυτή σχεδιάστηκε για να κάνει δηλώσεις για συγκεκριμένους πόρους. Ένας πόρος μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα σενάριο, μια ιδέα, μια έννοια ή δεδομένα και να ταυτοποιείται από ένα URI.

Η RDF είναι η βάση για την OWL (Web Ontology Language), η οποία σχεδιάστηκε για να δώσει μια αποδοτικότερη αρχιτεκτονική πάνω στις οντολογίες. Η OWL προέκυψε από την DAML+OIL [30] που ήταν μια αρκετά επιτυχημένη προσπάθεια της DARPA. Η γλώσσα αυτή χρησιμοποιεί κλάσεις και ιδιότητες της RDF, αλλά ταυτόχρονα τις επεκτείνει και ορίζει και νέες.

Η OWL χωρίζεται σε τρεις «υπογλώσσες» ή εκδόσεις: την OWL Lite, την OWL DL και την OWL Full. Η τελευταία είναι ολόκληρη η γλώσσα. Οι άλλες δύο είναι υποσύνολα ή περιορισμοί της τελευταίας. Ο λόγος που υπάρχουν οι τρεις αυτές εκδόσεις είναι ότι τα δύο υποσύνολα της OWL Full περιορίζουν σημαντικά το υπολογιστικό κόστος. Η OWL DL υποστηρίζει μια μορφή περιγραφής της λογικής (Description Logic) και προσδίδει προσεκτικά επιλεγμένους περιορισμούς πάνω στο είδος των αντικειμένων που περιγράφει, με σκοπό τη μείωση των απαραίτητων υπολογιστικών πόρων. Με αυτόν το τρόπο εγγυάται τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων με χρήση των υπάρχοντων υπολογιστικών δυνατοτήτων. Η OWL Lite είναι ουσιαστικά η OWL DL, αλλά με περισσότερους περιορισμούς.

Όσον αφορά στις υπηρεσίες διαδικτύου, η OWL έρχεται να ενισχύσει τους παρόχους των υπηρεσιών με ένα σύνολο από δεδομένα και μετασχηματισμούς για την πληρέστερη περιγραφή των δυνατοτήτων των υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα τρόπο άμεσα κατανοητό και μεταγλωττίσιμο από τις υπολογιστικές μηχανές. Επιπλέον, η OWL παρέχει αυτόματη αναζήτηση, ενισχύοντας έτσι το ρόλο της υπηρεσίας καταλόγου (Service Registry), δυναμική αλληλεπίδραση και σύνθεση μεταξύ των υπηρεσιών [31], [32]. Ουσιαστικά, η δύναμή της έγκειται στο σημασιολογικό ορισμό των εννοιών και των σεναρίων γύρω από την υπηρεσία διαδικτύου, κάτι που η WSDL αδυνατεί να υποστηρίξει. Συνεπώς, η OWL προσδίδοντας μεγαλύτερη δύναμη στην υπηρεσία καταλόγου, στους παροχείς και γενικά στους αντιπροσώπους των υπηρεσιών διαδικτύου στοχεύει στην αύξηση της ποιότητας, της σταθερότητας και της εμπιστοσύνης γύρω από την υπηρεσία [33]. Κλείνοντας, η OWL είναι μια γλώσσα για οντολογίες η οποία:

- Είναι ικανή να αναφέρεται σε σενάρια, ιδέες, έννοιες, αντικείμενα και δεδομένα που είναι ορισμένα στον παγκόσμιο ιστό.
- Μπορεί να διαμοιράζεται πάνω στον ιστό.
- Είναι ικανή να συνεργάζεται με άλλες παρόμοιες γλώσσες, όπως η RDF.
- Μπορεί να συγχωνεύει πολλές οντολογίες ταυτόχρονα.
- Είναι ευρέως αποδεκτή.
- Είναι αρκετά εκφραστική.

### 3.5 Βασικά Στοιχεία Θεωρίας Παιγνίων

#### 3.5.1 Εισαγωγή

Η Θεωρία Παιγνίων μπορεί να οριστεί ως η μελέτη των μαθηματικών μοντέλων της αντιπαράθεσης (conflict) και συνεργασίας μεταξύ ευφυών και λογικών ληπτών αποφάσεων. Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει γενικές μαθηματικές τεχνικές για την ανάλυση καταστάσεων, όπου δύο ή περισσότερα άτομα λαμβάνουν αποφάσεις που μπορούν να επηρεάσουν την ευημερία (welfare) των υπολοίπων. Οι καταστάσεις που εξετάζονται, κατά κανόνα, δεν αφορούν σε δραστηριότητες ψυχαγωγίας (όπως ο όρος παίγνιο αφήνει να εννοηθεί). Οι όροι «ανάλυση αντιπαράθεσης» (conflict analysis) ή «διαδραστική θεωρία αποφάσεων» (interactive decision theory) περιγράφουν πιο κατάλληλα το αντικείμενο μελέτης της θεωρίας.

Στη Θεωρία Παιγνίων, η έννοια του «παιγνίου» υποδηλώνει μία κοινωνική κατάσταση, όπου εμπλέκονται δύο ή περισσότερα άτομα. Τα άτομα αυτά καλούνται «παίκτες» (players). Για τους παίκτες γίνεται, κατά κανόνα, η υπόθεση ότι είναι λογικοί (rational). Ένας λήπτης αποφάσεων χαρακτηρίζεται λογικός εάν λαμβάνει αποφάσεις που βρίσκονται σε συνέπεια με τις επιδιώξεις του. Στη Θεωρία Παιγνίων, κάθε παίκτης έχει ως στόχο του την μεγιστοποίηση της ωφέλειας του (payoff) η οποία μετράται σε μία συγκεκριμένη κλίμακα.

Η πρώτη εργασία στην περιοχή της Θεωρίας Παιγνίων αποδίδεται στο Γάλλο μαθηματικό Emil Borel ο οποίος πραγματεύτηκε τη Θεωρία των Παιγνίων Στρατηγικής (Theory of Games of Strategy). Η εργασία των von Neumann και Morgestern βασίστηκε στα αποτελέσματα του Borel. Οι λογικές ρίζες της Θεωρίας Παιγνίων εντοπίζονται στη Θεωρία Αποφάσεων του Bayes (Bayesian Decision Theory). Η Θεωρία Παιγνίων μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση της Θεωρίας Αποφάσεων (για δύο ή περισσότερους λήπτες αποφάσεων) ή ως η αναγκαία λογική εκπλήρωση της. Τα βασικά αποτελέσματα της Θεωρίας Αποφάσεων αναφέρονται στο ερώτημα αν ένα απλό ποσοτικό μοντέλο μπορεί να δώσει μία λογική περιγραφή της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Ο οποιοσδήποτε λήπτης αποφάσεων, που ικανοποιεί ορισμένα αξιώματα, θα συμπεριφέρεται έτσι ώστε να μεγιστοποιεί τη μαθηματική αναμενόμενη τιμή μίας συνάρτησης ωφέλειας, αναφορικά προς μία υποκειμενική πιθανοτική κατανομή. Δηλαδή, η συμπεριφορά ενός λογικού λήπτη αποφάσεων θα πρέπει να

μπορεί να περιγραφεί από μία συνάρτηση ωφέλειας που δίνει ένα ποσοτικό χαρακτηρισμό των προτιμήσεων του αναφορικά με αποτελέσματα, και μία υποκειμενική πιθανοτική κατανομή που υποδηλώνει τις πεποιθήσεις του για όλους τους σχετικούς αστάθμητους παράγοντες. Όταν νέες πληροφορίες καθίστανται διαθέσιμες στο λήπτη αποφάσεων, οι υποκειμενικές πιθανότητες αναθεωρούνται βάσει του νόμου Bayes.

### 3.5.2 Κατανομημένη Σύγκλιση σε Ισορροπίες Παιγνίων

Στη θεωρία παιγνίων, ισορροπία Nash είναι μια έννοια λύσης ενός παιχνιδιού που περιλαμβάνει δύο ή περισσότερους παίκτες. Στο παίγνιο αυτό κάθε παίκτης υποτίθεται ότι γνωρίζει τις στρατηγικές ισορροπίες των άλλων παικτών και κανένας παίκτης δεν έχει τίποτα να κερδίζει με το να αλλάξει μονομερώς τη στρατηγική του. Εάν κάθε παίκτης έχει επιλέξει μια στρατηγική και κανένας παίκτης δεν μπορεί να ωφεληθεί με την αλλαγή της στρατηγικής του ενώ οι άλλοι παίκτες κρατούν την ίδια στρατηγική τους αμετάβλητη, τότε το τρέχον σύνολο επιλογών στρατηγικής και οι αντίστοιχες ωφέλειες των παικτών αποτελούν μια ισορροπία Nash.

Εκτός από αποτελεσματικότητα των Nash ισορροπιών ενός παιγνίου, σημαντικό ζήτημα, επίσης, αποτελεί και το πώς μπορούν στην πράξη να επιτευχθούν αυτές οι ισορροπίες, κατανομημένα. Κατά κανόνα, μία κατά Nash ισορροπία είναι μία κατάσταση που προκύπτει φυσιολογικά, όταν οι παίκτες λειτουργούν βάσει της ιδέας της καλύτερης απόκρισης. Σε μία τέτοια κατάσταση, κάθε παίκτης επιλέγει τη στρατηγική που εξυπηρετεί βέλτιστα το συμφέρον του, δεδομένων των στρατηγικών των άλλων παικτών. Το ίδιο κάνουν κι οι υπόλοιποι παίκτες, με αποτέλεσμα, σταδιακά, να οδηγείται το σύστημα σε μία κατάσταση από την οποία κανείς παίκτης δεν έχει συμφέρον να αποκλίνει, δηλαδή μία ισορροπία Nash. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι δυνατόν, μέσω της μεθόδου της καλύτερης απόκρισης, να επιτευχθεί μία ισορροπία Nash, αλλά παρατηρούνται αποκλίσεις.

Μία περίπτωση στην οποία παρατηρείται το πρόβλημα της αδυναμίας σύγκλισης σε μία ισορροπία Nash (παρόλο που μπορεί να υπάρχει), είναι όταν οι παίκτες αποφασίζουν την ίδια στιγμή ποια στρατηγική θα ακολουθήσουν, δεδομένης κοινής πληροφορίας, και χωρίς να έχουν τρόπο να συνεννοηθούν, εκ των προτέρων, μεταξύ τους. Γνωστά προβλήματα στα οποία παρατηρείται το συγκεκριμένο φαινόμε-

νο είναι το *Santa Fe bar problem* (SFBP) [119], το παίγνιο Μειονότητας (Minority Game -MG) [129] και το παίγνιο διασποράς (dispersion game – DG) [126].

### 3.5.2.1 *Santa Fe Bar Problem*

Το SFBP ([119], [120]) είναι γνωστό στους παίγνιο-θεωρητικούς ως μια αφαίρεση του γενικότερου προβλήματος διαμοιρασμού πεπερασμένων πόρων. Η μόνη αλληλεπίδραση μεταξύ των παικτών πραγματοποιείται μέσω της από κοινού χρήσης των διαμοιραζόμενων πόρων. Το SFBP το εισήγαγε ο οικονομολόγος B. Arthur, στη μελέτη του σχετικά με την περιορισμένη λογική (bounded rationality) και τον επαγωγικό συμπερασμό [119]. Το σενάριο που περιγράφει το παίγνιο-θεωρητικό μοντέλο έχει ως εξής:

*N άτομα αποφασίζουν ανεξάρτητα κάθε εβδομάδα για το αν θα πάνε σε ένα μπαρ που είναι ανοικτό μία συγκεκριμένη βραδιά... Ο χώρος είναι περιορισμένος, κι η βραδιά είναι ευχάριστη αν το μπαρ δεν είναι υπερβολικά γεμάτο – ειδικότερα, αν λιγότεροι από το 60% των πιθανών N ατόμων έχουν προσέλθει... ένα άτομο θεωρεί ότι αξίζει να πάει στο μπαρ αν περιμένει ότι θα πάνε λιγότεροι από 60%. Οι επιλογές δεν επηρεάζονται από προηγούμενες επισκέψεις· δεν υπάρχει καμία συνεργία ή προηγούμενη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων ατόμων· η μόνη διαθέσιμη πληροφορία είναι ο αριθμός των επισκεπτών τις προηγούμενες εβδομάδες.*

Αυτό το σενάριο έχει μερικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Αρχικά, δεν υπάρχει καμία λογική λύση και τα πρόσωπα ή πράκτορες χρησιμοποιούν την επαγωγική μέθοδο προκειμένου να καθορίσουν τη συμπεριφορά τους (πηγαίνετε ή όχι). Αφετέρου, δεν υπάρχει κανένα κοινό στις προσδοκίες δεδομένου ότι αυτό θα αντέστρεφε την πεποίθησή τους (εάν όλοι θεωρήσουν ότι στο μπαρ θα πάνε λιγότεροι από το 60% της χωρητικότητας του τότε όλοι θα αποφασίσουν να πάνε, και εάν όλοι θεωρήσουν ότι στο μπαρ θα πάνε περισσότεροι από το 60%, όλοι θα αποφασίσουν να μην πάνε). Προκειμένου να οδηγηθεί η προσέλευση στο μπαρ σε ισορροπία είναι απαραίτητο τα πρόσωπα ή οι πράκτορες να έχουν ένα διαφορετικό τρόπο σκέψης (δηλ., για να έχουν διαφορετικές προσδοκίες σχετικά με την προσέλευση στο μπαρ).

Όπως διαπιστώθηκε στην εργασία [119], για να οδηγηθούν τα επίπεδα προσέλευσης σε ισορροπία, είναι αναγκαίο τα εμπλεκόμενα άτομα να έχουν διαφορετικό

«τρόπο σκέψης» (δηλαδή οι εκτιμήσεις τους θα πρέπει να διαφέρουν). Διαφορετικά, αν η προσέλευση στο μπαρ ήταν μικρότερη από το 60% την προηγούμενη εβδομάδα, όλοι θα επέλεγαν να επισκεφθούν το μπαρ την τρέχουσα εβδομάδα. Αυτό, όμως, θα προκαλούσε χαμηλή προσέλευση την επόμενη εβδομάδα καθώς η προσέλευση την τρέχουσα εβδομάδα ξεπέρασε το 60% κοκ. Ως εκ τούτου, το σύστημα θα υποφέρει από εκτεταμένες ταλαντώσεις. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνεται η χρήση προγνωστών προσέλευσης, οι οποίοι εκτιμούν τη μελλοντική προσέλευση, βάσει της παρατηρούμενης συμπεριφοράς του συστήματος ή αλλιώς του ιστορικού του συστήματος. Διαφορετικοί προγνώστες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα διάφορα άτομα για να επιτευχθεί επαρκής ετερογένεια στις προβλέψεις τους και, επομένως, η επιθυμητή διαφοροποίηση στον «τρόπο σκέψης τους».

Κάθε άτομο επιλέγει τυχαία έναν αριθμό από προγνώστες από το σύνολο των διαθέσιμων προγνωστών. Έτσι, κάθε άτομο κατέχει ένα συγκεκριμένο σύνολο από προγνώστες, πιθανώς διαφορετικό από το σύνολο που έχει επιλέξει ένας άλλος χρήστης, παρέχοντάς του ένα διαφορετικό τρόπο σκέψης. Κάθε δεδομένη στιγμή, μόνο ένας προγνώστης ανά άτομο είναι ενεργός. Ένας προγνώστης ενεργοποιείται στην περίπτωση που έδωσε την ακριβέστερη πρόβλεψη σε σχέση με την προσέλευση που τελικά σημειώθηκε (Εικόνα 3-9).

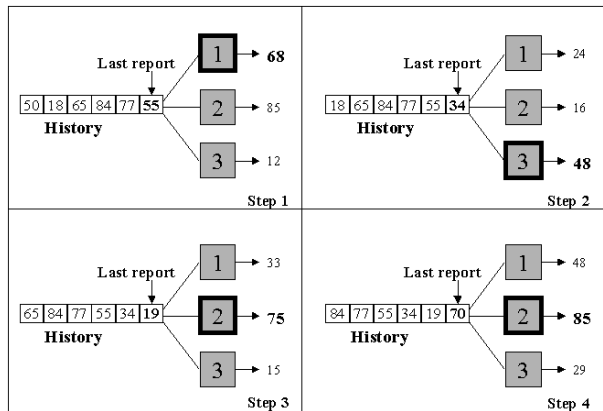
Η διαδικασία της εκτίμησης και της ενεργοποίησης των προγνωστών εκτελείται ως εξής:

$Pr_i(t)$  είναι η πρόγνωση του  $i^{th}$  προγνώστη σχετικά με την προσέλευση στο μπαρ την χρονική στιγμή  $t$ , βασισμένη στο υπάρχον ιστορικό μέχρι την χρονική στιγμή  $t-1$  (συμπεριλαμβανομένου και του φόρτου τη χρονική στιγμή  $t-1$ ). Αυτή η πρόγνωση γίνεται τη χρονική στιγμή  $t-1$  και αφορά την προσέλευση τη χρονική στιγμή  $t$ . Το αποτέλεσμα του ενεργού προγνώστη ορίζεται ως  $Pr_{active}(t)$ . Τη χρονική στιγμή  $t$ , όταν η πραγματική προσέλευση στο μπαρ  $Load(t)$  είναι διαθέσιμη, η επιλογή του ενεργού προγνώστη για τον επόμενο κύκλο πρόγνωσης (δηλαδή τη χρονική στιγμή  $t+1$ ) πραγματοποιείται ως ακολούθως:

$$active = i : |(Load(t) - Pr_{active}(t))| = minimum$$

3-1

Σύμφωνα με την οποία ο προγνώστης που είχε την κοντινότερη στην πραγματική προσέλευση του μπαρ εκλέγεται ως ενεργός.



**Εικόνα 3-9:** Ενεργοποίηση κι απενεργοποίηση προγνωστών. Στο βήμα 1, λαμβάνεται η τελευταία μέτρηση φόρτου (55) κι ο Προγνώστης 1 ενεργοποιείται. Στο βήμα 2, λαμβάνεται μία νέα μέτρηση φόρτου (34). Από τις προβλέψεις του προηγούμενου βήματος, παρατηρείται ότι ο Προγνώστης 3 ήταν πιο κοντά σε αυτή (12 στο βήμα 1), και γι' αυτό σημειώνεται ως ενεργός. Στη συνέχεια, δεδομένης της ιστορίας και της νέας μέτρησης, οι προγνώστες επιστρέφουν νέες προβλέψεις. Στο βήμα 3, όταν λαμβάνεται η νέα μέτρηση (19), ο Προγνώστης 2 παρατηρείται ότι είναι ο πιο ακριβής (16 στο βήμα 2), και, έτσι, ενεργοποιείται. Ο Προγνώστης 2 επιλέγεται ως ενεργός και για το βήμα 4. Το παράδειγμα και το σχήμα είναι αναπαράγωγή από την αναφορά [125].

Πειράματα στην εργασία [119] έδειξαν ότι η εν λόγω προσέγγιση επιτυγχάνει να διατηρήσει την προσέλευση του μπαρ κοντά στην επιθυμητή ισορροπία του 60%, με μικρές σχετικά αποκλίσεις γύρω από αυτή. Η ίδια προσέγγιση αποδείχθηκε επίσης αποτελεσματική στην περίπτωση με περισσότερα από ένα μπαρ που είναι γνωστή ως το “New York City Bar Problem”, [120].

### 3.5.2.2 Παίγνια Μειονότητας

Στις αναφορές [127] και [128] εισάγονται και αναλύονται τα Παίγνια Μειονότητας (Minority Games) μέσω πειραμάτων προσομοίωσης. Τα MG είναι μια υποπερίπτωση του SFBP όπου πράκτορες ανεξάρτητα και επανειλημμένα ανταγωνίζονται για να είναι στη Μειονοτική ομάδα. Τέτοιοι πράκτορες έχουν παρόμοιες ικανότητες και βασίζουν τις αποφάσεις τους στο ίδιο ιστορικό πρόσβασης ή έκβασης του παιχνιδιού στην προηγούμενη κατάσταση. Κάθε πράκτορας έχει δύο επιλογές: είτε να πάει σε ένα μπαρ (ή ισοδύναμα αγορά-πώληση ενός αγαθού, προσφορά/παραμονή σε μια δημοπρασία) είτε να μείνει στο σπίτι. Ένας πράκτορας κάνει μια επιτυχή επιλογή εάν, αφού έχει κάνει αυτή την επιλογή, είναι στη μειονοτική

ομάδα (η χωρητικότητα του μπαρ θεωρείται ίση με 50%). Οι πράκτορες που είναι στη μειονοτική ομάδα θεωρούνται νικητές και στην απλούστερη έκδοση κερδίζουν ένα σημείο. Ένας πράκτορας παίρνει έναν πεπερασμένο αριθμό στρατηγικών  $S$ , τυχαία από μια ομάδα πιθανών στρατηγικών. Έχει αποδειχθεί ότι όλα τα διαφοροποιητικά χαρακτηριστικά των MG είναι απολύτως ανεξάρτητα από τη μνήμη (ιστορία των προηγούμενων εκβάσεων) ή τη νοημοσύνη των πρακτόρων και η μόνη κρίσιμη απαίτηση είναι ότι όλοι οι πράκτορες πρέπει να κατέχουν τις ίδιες πληροφορίες, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι αυτές οι πληροφορίες είναι αληθινές ή ψεύτικες [130].

Εντούτοις, μια γενικευμένη έκδοση των MG όπου χρησιμοποιούνται αυθαίρετα cutoffs (η χωρητικότητα του μπαρ ποικίλλει - [129]) δείχνει ότι, η μέση συμμετοχή στις διαφορετικές ομάδες τείνει να διαιρέσει τους πράκτορες σε δύο ομάδες με πολύ διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά γνωρίσματα δεν αναπαράγονται εάν χρησιμοποιηθεί τυχαία ιστορικό προηγούμενων εκβάσεων, πράγμα που υπογραμμίζει τη σημασία της δυναμικής ανατροφοδότησης και επομένως μνήμης στα παίγνια MG.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα MG όπως παρουσιάζεται στην αναφορά [127] :

Ας θεωρήσουμε έναν πληθυσμό από  $N$  (περιττό αριθμό) παίκτες. Σε κάθε χρονικό βήμα κάθε παίκτης πρέπει να επιλέξει εάν θα είναι στην ομάδα  $A$  ή  $B$ . Η έκβαση του παιγνίου είναι ότι ανεξάρτητα από την ομάδα που επιλέγει κάθε παίκτης να ανήκει, εκείνοι που είναι στην πλευρά μειονότητας κερδίζουν. Στην απλούστερη έκδοση, όλοι οι νικητές συλλέγουν ένα σημείο. Οι παίκτες καθιστούν τις αποφάσεις βασισμένες στη κοινή λογική των εκβάσεων του παρελθόντος. Το ιστορικό παρελθόντος καταγράφει μόνο ποια πλευρά ήταν νικητής, χωρίς τον πραγματικό αριθμό συμμετοχής.

Κατά συνέπεια, η χρονική σειρά μπορεί να αντιπροσωπευθεί από μια δυαδική ακολουθία, 1 ή 0 που σημαίνει ότι η  $A$  ή η  $B$  είναι η πλευρά της νίκης. Γίνεται επίσης η υπόθεση ότι οι παίκτες έχουν περιορισμένες δυνατότητες ανάλυσης και μπορούν να διατηρήσουν μόνο τα τελευταία κομμάτια  $M$  του σήματος του συστήματος για να λάβουν την επόμενη απόφασή τους (βασίζοντας την απόφασή τους μόνο σε αυτά τα κομμάτια  $M$ ). Κάθε παίκτης έχει ένα καθορισμένο και πεπερασμένο αριθμό



στρατηγικών  $S$ . Μια στρατηγική καθορίζει ποια θα είναι η επόμενη δράση (εάν θα είναι στην  $A$  ή στη  $B$  ομάδα), λαμβάνοντας υπόψη τα κομμάτια  $M$  ενός συγκεκριμένου σήματος.

Σήμα	Πρόγνωση
000	1
001	0
010	0
011	1
100	1
101	0
110	1
111	0

**Πίνακας 3-1 Παράδειγμα Παιγνίου Μειονότητας με μνήμη  $M=3$**

Στον πίνακα απεικονίζεται ένα παράδειγμα μιας στρατηγικής για  $M = 3$ . Υπάρχουν 8 ( $= 2^M$ ) bit που μπορούμε να οριστούν στη δεξιά πλευρά και κάθε διαμόρφωση αντιστοιχεί μια διακριτή στρατηγική (αυτό κάνει τον συνολικό αριθμό της στρατηγικής να είναι  $2^8 = 256$ ). Αυτός είναι ένας γρήγορα αυξανόμενος αριθμός, για  $M = 2, 3, 4, 5$  αυτό είναι 16256, 65536, 655362. Αναθέτονται τυχαία  $S$  στρατηγικές του σε κάθε παίκτη. Για το σχετικά μεγάλο  $M$ , η πιθανότητα της επανάληψης μιας ενιαίας στρατηγικής είναι υπερβολικά μικρή. Μια πρόσθετη περίπτωση είναι να υπάρχουν 1 (ή 0) στο δεξιό μέρος τους πίνακα, που αντιστοιχεί σε σταθερή στρατηγική σε μια πλευρά ανεξάρτητα με το τι συμβαίνει.

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου ένας παίκτης παίρνει τη μια πλευρά, ενώ όλοι οι άλλοι παίρνουν την άλλη πλευρά (ή ομάδα). Ο τυχερός παίκτης παίρνει ένα σημείο ανταμοιβής και οι άλλοι τίποτα. Εξίσου ακραίο παράδειγμα είναι όταν  $(N-1)/2$  παίκτες είναι σε μια πλευρά και  $(N + 1)/2$  στην άλλη.

Από κοινωνικής άποψης, η δεύτερη κατάσταση είναι προτιμητέα, δεδομένου ότι ολόκληρος ο πληθυσμός παίρνει  $(N-1)/2$  σημεία ενώ στο πρώτο παράδειγμα μόνο ένας παίκτης κερδίζει ένα σημείο. Τέλειος συντονισμός και συγχρονισμός θα πλη-

σίαζαν το 2ο, ενώ καταστροφή θα αποτελούσε το πρώτο παράδειγμα. Γενικά αναμένεται ο πληθυσμός να κυμαίνεται μεταξύ των ανωτέρω δύο άκρων.

Αυτό το δυαδικό παιχνίδι μπορεί να προσομοιωθεί εύκολα για ένα μεγάλο πληθυσμό παικτών. Αρχικά, κάθε παίκτης επιλέγει τυχαία μια από τις S στρατηγικές του και τις χρησιμοποιεί για να προβλέψει το επόμενο βήμα (ένα τεχνητό σήμα των κομματιών M επίσης παρέχεται). Όλες οι στρατηγικές S στη διάθεση κάθε παίκτη μπορούν να συλλέξουν σημεία που εξαρτώνται εάν θα κέρδιζαν ή όχι λαμβάνοντας υπόψη τις M προηγούμενες εκβάσεις, και την πραγματική έκβαση του παιχνιδιού. Εντούτοις, αυτά τα σημεία είναι εικονικά σημεία δεδομένου ότι καταγράφουν την αξία μιας στρατηγικής που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά. Ο παίκτης χρησιμοποιεί τη στρατηγική που έχει τα περισσότερα σημεία για την επόμενη δράση του και παίρνει ένα πραγματικό σημείο μόνο αν η χρησιμοποιούμενη στρατηγική κερδίσει στον επόμενο κύκλο του παιχνιδιού.

### 3.5.2.3 Παίγνια Διασποράς

Μία αρκετά μελετημένη κατηγορία παιχνιδιών αποτελούν τα παίγνια συντονισμού. Στα συγκεκριμένα παίγνια μόνο οι παίκτες που αποφασίζουν ταυτόχρονα και επιλέγουν την ίδια ενέργεια έχουν κέρδος (Εικόνα 3-10). Μία συμπληρωματική κατηγορία που έχει συγκεντρώσει σχετικά μικρή προσοχή αφορά σε παίγνια στα οποία οι παίκτες έχουν κέρδος μόνο όταν επιλέγουν διαφορετικές ενέργειες· αυτά τα παίγνια αποκαλούνται μερικές φορές παίγνια αποσυντονισμού (*anticoordination games*). Η περισσότερη μελέτη σε σχέση με τα παραπάνω παίγνια έχει επικεντρωθεί μόνο στην περίπτωση των δύο παικτών (δες Εικόνα 3-10), όπου το παίγνιο συντονισμού και το παίγνιο αποσυντονισμού διαφέρουν μόνο στα ονόματα των ενεργειών των παικτών. Όμως, με αυθαίρετο πλήθος παικτών κι ενεργειών, τα δύο παίγνια διαφέρουν ουσιαστικά. Συγκεκριμένα, ενώ η γενίκευση του παιχνιδιού συντονισμού μπορεί να γίνει αρκετά ευθέως, η γενίκευση του παιχνιδιού αποσυντονισμού είναι πιο πολύπλοκη.

Στην εργασία [126], η γενίκευση του παιχνιδιού αποσυντονισμού ονομάστηκε παίγνιο διασποράς (Dispression Game-DG), καθώς αποτελεί ένα παίγνιο στο οποίο οι παίκτες επιδιώκουν να διαφοροποιούνται όσο γίνεται περισσότερο σε ότι αφορά τις

ενέργειες που επιλέγουν. Παρόλο που μπορεί κανείς να μετασχηματίσει ένα παίγνιο διασποράς σε ένα παίγνιο συντονισμού, στο οποίο οι παίκτες συντονίζονται για να επιτύχουν τον πλήρη διασκορπισμό τους σε σχέση με τις υπάρχουσες ενέργειες, το πλήθος των επιδιωκόμενων αποτελεσμάτων αυξάνεται εκθετικά με το πλήθος των παικτών.

		(B)	
		<b>M</b>	<b>μ</b>
(A)	<b>M</b>	-1,-1	1,1
	<b>μ</b>	2,2	-1,-1

**Εικόνα 3-10:** Στρατηγική μορφή παιγνίου αποσυντονισμού

Τα DG μοντελοποιούν διάφορα προβλήματα που μπορούν να συναντηθούν στην πραγματικότητα. Ίσως η πιο φυσική εφαρμογή αποτελεί το πρόβλημα της εξισορρόπησης φόρτου. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα DG, στο οποίο οι παίκτες είναι οι χρήστες, οι πιθανές ενέργειες είναι οι διαθέσιμοι πόροι (π.χ. διακομιστές), και οι ισορροπίες του παιγνίου είναι οι εκβάσεις στις οποίες οι παίκτες είναι πλήρως διασκορπισμένοι. Μια άλλη φυσική εφαρμογή των DG είναι το πρόβλημα *niche selection* που μελετάται στα Οικονομικά και την εξελικτική βιολογία. Σε ένα γενικό πρόβλημα *niche selection*, καθένας από  $n$  ολιγοπωλιακούς παραγωγούς επιθυμεί να καταλάβει μία από τις  $k$  διαφορετικές γωνίες, και οι παραγωγοί επιθυμούν να καταλάβουν «γωνίες» με λιγότερους ανταγωνιστές. Άλλα προβλήματα *niche selection* είναι το SFBP και τα *παίγνια μειονότητας* (minority games).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

#### 4.1 Εισαγωγή

Το Εικονικό Οικείο Περιβάλλον (Virtual Home Environment -VHE) είναι ένας μηχανισμός στα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών ο οποίος προδιαγράφει τη δυνατότητα για ενιαία πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε και με οποιαδήποτε συσκευή. Η καθολικότητα συστημάτων όπως το UMTS και το WLAN αυξάνει την ανάγκη για την αποδοτική υιοθέτηση του VHE. Στην παρούσα εργασία υιοθετείται η τεχνολογία των ΚΠ για την αντιμετώπιση των τεχνικών προκλήσεων που έχουν προδιαγραφεί για την υλοποίηση του VHE. Αρχικά, παρουσιάζεται μια ενσωματωμένη, ανοικτή και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική που λαμβάνει υπόψη ποικίλες περιπτώσεις χρήσης καθώς και εναλλακτικές τεχνικές λύσεις (κινητές συσκευές, σταθερά τερματικά). Στη συνέχεια, υλοποιούνται ορισμένες εφαρμογές για να αναδείξουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης τεχνικής προσέγγισης. Τέλος, μελετάται και συγκρίνεται η απόδοση του προτεινόμενου πλαισίου, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία των ΚΠ, με μια συμβατική λύση (χωρίς, δηλαδή, τη χρήση των ΚΠ).

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης υπηρεσιών και λήψη πληροφοριών από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, ανεξάρτητα από το δίκτυο πρόσβασης και το χρησιμοποιούμενο τερματικό είναι επιτακτική ανάγκη ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των σύγχρονων χρηστών. Από την πλευρά των διαχειριστών δικτύων και των παρόχων υπηρεσιών οι απαιτήσεις αυτές είναι ένα σημαντικό τεχνικό ζήτημα, δεδομένου ότι πολλοί τύποι πρόσβασης και τεχνολογίες υπηρεσιών πρέπει να συνδυαστούν προκειμένου να παραδοθούν οι προηγμένες υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες. Επιπλέον, οι πάροχοι δικτύων και υπηρεσιών θα πρέπει να προσαρμοστούν σε αυτές τις νέες τεχνολογίες προκειμένου να συντηρήσουν τους πελάτες/χρήστες τους και να είναι ανταγωνιστικοί στην αγορά. Μια από τις πτυχές των υπηρεσιών στο UMTS είναι η δυνατότητα να παρέχεται στο χρήστη κοινή αίσθηση στο μέσο διεπαφής του με αυτή που λαμβάνει στο οικείο του δίκτυο, ανεξάρτητα

από τις δυνατότητες των δικτύων και συσκευών πρόσβασης που χρησιμοποιεί. Αυτή η επιλογή έχει εξεταστεί στο 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ως τμήμα των πτυχών υπηρεσιών στο UMTS και αναφέρεται γενικά ως Virtual Home Environment (VHE) [34]. Το VHE ορίζεται ως "... μια έννοια για την προσωπική φορητότητα περιβάλλοντος υπηρεσιών μεταξύ δικτύων και τερματικών συσκευών". Η κεντρική ιδέα του VHE είναι η προσφορά υπηρεσιών σε οποιοδήποτε χρήστη, σε οποιοδήποτε δίκτυο και επίσης η προσφορά όλων των ειδών υπηρεσιών σε όλους τους τύπους τερματικών συσκευών λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των χρηστών.

Στην παρούσα εργασία η έννοια του VHE υλοποιείται μέσω της τεχνολογίας των ΚΠ η οποία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και τη διαχείριση των λειτουργικών συστατικών των κινητών υπηρεσιών. Ένας πράκτορας είναι μια οντότητα λογισμικού που εκπληρώνει τους στόχους εκ μέρους του ιδιοκτήτη της, του χρήστη ή κάποιας άλλης οντότητας λογισμικού έχοντας πάντα ένα βαθμό ανεξαρτησίας ή αυτονομίας. Οι πράκτορες μπορούν να είναι αυτόνομοι (δηλαδή, να ακολουθήσουν έναν ορισμένο στόχο ανεξάρτητα από το χρήστη τους), δυναμικοί, διανεμημένοι, συνεταιρικοί, αυτο-διδασκόμενοι και προσαρμοστικοί. Επιπλέον, οι ΚΠ είναι ελεύθεροι να ταξιδέψουν μέσω του δικτύου μεταφερόμενοι (δηλαδή, της κατάστασης τους, του κώδικα και τα στοιχεία εκτέλεσής τους) από τον ένα κόμβο στον άλλο. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει σε έναν κινητό χρήστη να εκτελεί διάφορες δικτυακές εργασίες ακόμα κι αν η συσκευή του είναι προσωρινά αποσυνδεδεμένη.

Στο παρελθόν, διάφορες μελέτες ([47], [48] και [49]) έχουν προσπαθήσει να αξιολογήσουν την απόδοση του υπολογιστικού μοντέλου των ΚΠ σε σχέση με το μοντέλο επικοινωνίας πελάτη-εξυπηρετητή (client-server) και το μοντέλο απομακρυσμένης κλήσης (Remote Procedure Call RPC-Remote Method Invocation RMI). Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι ΚΠ δεν προσπαθούν να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς τρόπους επικοινωνίας αλλά να ενισχύσουν τη λειτουργία των μοντέλων αυτών. Ένα άλλο ζήτημα που επηρεάζει την εκτέλεση μιας πλατφόρμας ΚΠ είναι το περιβάλλον εφαρμογής τους. Υπάρχουν δεκάδες πλατφόρμες ΚΠ [58] κάθε μια από τις οποίες έχει αναπτυχθεί για ένα συγκεκριμένο εύρος εφαρμογών. Στην παρούσα εργασία έχει χρησιμοποιηθεί η πλατφόρμα Grasshopper [58].

## 4.2 Σχετική Βιβλιογραφία και Συνεισφορά

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται οι σχετικές ερευνητικές δραστηριότητες που σχετίζονται με την έννοια του VHE και συζητούνται αντίστοιχες υλοποιήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε καμία από τις ακόλουθες προσεγγίσεις δεν έχει αξιολογηθεί η απόδοσή τους.

Μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές στη χρήση και εκμετάλλευση της τεχνολογίας των ΚΠ σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα παρουσιάζεται στην αναφορά [36]. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει επηρεάσει πολλές άλλες ερευνητικές προσεγγίσεις (συμπεριλαμβανομένης και της προσέγγισης που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο) που χρησιμοποιούν τους ΚΠ για τον ίδιο σκοπό. Οι περισσότερες από τις επηρεασμένες προσεγγίσεις παρουσιάζονται και συζητούνται σε αυτήν την παράγραφο. Το προτεινόμενο σύστημα περιλαμβάνει διάφορους πράκτορες, όπως: τον πράκτορα VHE, τον πράκτορα που παρέχει υποστήριξη προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communications Support-PCS), τον πράκτορα υπηρεσιών (Service Agent), τον πράκτορα τερματικών συσκευών (Terminal Agent), τον πράκτορα παρόχου (PA) και τέλος, τον πράκτορα που είναι υπεύθυνος για τις διάφορες μετατροπές (Converter Agent) (κυρίως σε format και πρωτόκολλα). Οι σημαντικότεροι πράκτορες για την πραγματοποίηση της φορητότητας των υπηρεσιών είναι ο πράκτορας VHE (VHE Agent) και ο πράκτορας υπηρεσιών (Service Agent). Ένας πράκτορας υπηρεσιών μεταφέρει τη λογική μιας δεδομένης υπηρεσίας ενώ ένας πράκτορας VHE φέρει μεταξύ άλλων τα προσωπικά στοιχεία και τις προτιμήσεις του χρήστη. Αυτοί οι πράκτορες εκτελούνται σε ένα Κατανεμημένο Σύστημα Πρακτόρων – ΚΣΠ (Distributed Agent Environment – DAE) που εκτείνεται «κάθετα» σε ολόκληρο το δίκτυο, από τις συσκευές των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης, το κεντρικό δίκτυο και άλλους παρόχους υπηρεσιών. Το ΚΣΠ βασίζεται σε ένα Κατανεμημένο Περιβάλλον Επεξεργασίας-ΚΠΕ (Distributed Processing Environment-DPE) CORBA που είναι αρμόδιο για το χειρισμό της επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων και μεταξύ των πρακτόρων και του υποκείμενου δικτύου.

Στην αναφορά [37] παρουσιάζεται μια προσέγγιση βασισμένη στην τεχνολογία των ΚΠ για την πραγματοποίηση της έννοιας VHE. Χρησιμοποιείται ένας Adaptive Profile Manager (APM) που προσφέρει ένα ευέλικτο τρόπο παροχής υπηρεσιών, απο-

μακρισμένη τροποποίηση των παραμέτρων/προτιμήσεων του χρήστη για κάθε διαφορετική υπηρεσία, διαχείριση διαφορετικών συσκευών-τερματικών πρόσβασης στις υπηρεσίες καθώς και υποστήριξη αυτόματης ενημέρωσης υπηρεσιών. Το μοντέλο επικοινωνίας υλοποιείται με την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των διάφορων πρακτόρων, είτε στάσιμων είτε κινητών. Ένα Terminal Agent (TA) παρέχει μια διεπαφή για την πιστοποίηση των χρηστών και την αποστολή αιτήσεων εκτέλεσης υπηρεσιών. Επιπλέον, το TA διατηρεί πληροφορίες για τις δυνατότητες των συσκευών των χρηστών. Από την πλευρά της παροχής υπηρεσιών ένα APM-Provider Agent (APM-PA) διαχειρίζεται την πιστοποίηση των χρηστών, τα προφίλ υπηρεσιών των χρηστών και τις αιτήσεις εκτέλεσης υπηρεσιών. Ένας συγκεκριμένος ΚΠ για κάθε υπηρεσία (Service Specific Provider Agent) αντιπροσωπεύει κάθε υπηρεσία που εγγράφεται στο APM και είναι διαθέσιμη σε όλους τους εγγεγραμμένους χρήστες. Κάθε φορά που ένας χρήστης ζητά μια υπηρεσία, το APM στέλνει έναν User Interface Agent που μεταφέρει το Graphical User Interface (GUI) της αντίστοιχης υπηρεσίας. Το GUI αυτό, προσαρμόζεται στο δίκτυο και στις δυνατότητες του τερματικού του χρήστη. Το APM υποστηρίζει τρεις υπηρεσίες: Intelligent Communication Manager (ICM), Personal Data Query (PDQ) και Information Retrieval Service (IRS).

Η ανάπτυξη δύο βασισμένων σε ΚΠ τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, του Adaptive Profile Manager (όπως στην προηγούμενη παράγραφο) και του Virtual Address Book (VAB) παρουσιάζονται στην αναφορά [38]. Η υπηρεσία VAB, επιτρέπει στο χρήστη να έχει πλήρη πρόσβαση στα προσωπικά στοιχεία και προτιμήσεις του με ένα «συνεπή» τρόπο, ανεξάρτητα από την θέση, το σημείο πρόσβασης και τον τερματικό του εξοπλισμό. Η πραγματοποίηση των υπηρεσιών λαμβάνεται μέσω ενός πρακτορικού μοντέλου που αποτελείται από διάφορα επίπεδα. Στην κορυφή της αρχιτεκτονικής αυτής βρίσκεται το επίπεδο υπηρεσιών (Service Layer) που παρέχει προσαρμογή υπηρεσιών στις δυνατότητες των τερματικών συσκευών του χρήστη λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις των χρηστών. Κάτω από το Service Layer είναι το επίπεδο υποδομής πρακτόρων (Agent Infrastructure Layer AIL). Το επίπεδο αυτό περιέχει όλους τους τύπους πρακτόρων που η υπηρεσία VAB χρειάζεται για να λειτουργήσει και περιλαμβάνει τις προτιμήσεις του χρήστη, τα τεχνικά



χαρακτηριστικά των συσκευών πρόσβασης, την επικοινωνία και τη διαχείριση της μόνιμης αποθήκευσης.

Μια αρχιτεκτονική βασισμένη στην τεχνολογία των ΚΠ για την πραγματοποίηση της έννοιας του VHE προτείνεται στην αναφορά [39]. Η βασική ιδέα είναι να παρεμβληθεί ένα στρώμα ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) μεταξύ του τελικού χρήστη και του δικτύου UMTS ώστε να υποστηριχθεί η λειτουργία του VHE. Αυτό το ενδιάμεσο λογισμικό αποτελείται από ένα καταμεμημένο περιβάλλον πρακτόρων το οποίο λειτουργεί πάνω από ένα περιβάλλον CORBA. Είναι απαραίτητο σε όλους τους κόμβους του δικτύου UMTS να υπάρχει ένα τέτοιο ενδιάμεσο λογισμικό. Οι πράκτορες που προδιαγράφονται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ο VHE agent, ο Service Agent, ο Terminal Agent και ο Provider Agent. Ο VHE agent υλοποιεί την έννοια του VHE με την παροχή στους εγγεγραμμένους χρήστες υπηρεσίες και δυνατότητα διαμόρφωσης αυτών των υπηρεσιών. Η συνδρομή, η πρόσβαση και η διαμόρφωση των υπηρεσιών εξετάζονται μέσω των προαναφερθέντων πρακτόρων.

Η υλοποίηση της έννοιας του VHE εξετάζεται στην αναφορά [45] με τη χρήση των πρωτοκόλλων HTTP/TCP/MIP σε ένα δοκιμαστικό δίκτυο UMTS. Το σύστημα είναι προσβάσιμο μέσω μιας WEB διεπαφής και παρέχει διάφορες βασικές υπηρεσίες όπως: Ειδήσεις, TV, Εφημερίδα και κλήση Video. Στη δοκιμή του VHE, ένας Γερμανός χρήστης μετακινείται σε ένα Ιταλικό δίκτυο και έχει πρόσβαση σε έναν υπολογιστή VHE που βρίσκεται στο Ηνωμένο Βασίλειο. Μετά από την επιτυχή είσοδο του χρήστη στην υπηρεσία VHE, μια οθόνη της υπηρεσίας VHE παρουσιάζει τις λεπτομέρειες της θέσης του χρήστη, του δικτύου που χρησιμοποιείται καθώς και των συνδέσεων στις εξατομικευμένες υπηρεσίες του χρήστη.

Μια αρχιτεκτονική VHE εισάγεται ([41]) στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος IST VESPER. Η λειτουργία VHE της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής υποστηρίζεται από τις οντότητες που ονομάζονται συλλογικά VHE components. Η αξιολόγηση αυτής της αρχιτεκτονικής επιτεύχθηκε μέσω τριών δοκιμαστικών υπηρεσιών: Customer Care, Calendar και Multimedia. Μια παρόμοια προσέγγιση υιοθετείται στην αναφορά [40] όπου εξετάζεται η συνεργασία μεταξύ ενός οικείου και ενός δικτύου πρόσβασης υπηρεσιών. Για την επίτευξη αυτής της συνεργασίας και τη λειτουργία της έννοιας του VHE απαιτείται η ύπαρξη σύμβασης συνεργασίας

και διαλειτουργικότητας. Στην πλευρά του χρήστη χρησιμοποιείται ένας HTML, WAP browser και η τεχνολογία των ΚΠ για την επικοινωνία με το δίκτυο. Επιπλέον, στην πλευρά του τερματικού προτείνεται η προδιαγραφή MExE. Ένα μέρος της λειτουργίας της αρχιτεκτονικής VHE παρέχεται μέσω μιας δοκιμαστικής υπηρεσίας βασισμένης στους ΚΠ, αποκαλούμενης ως Hot Line υπηρεσία.

Στην αναφορά [37] προτείνεται η πλατφόρμα Mobile Agent PSE Migration Platform (MAPM) η οποία παρέχει τη μετακίνηση υπηρεσιών, και την ανεξαρτησία από τις τερματικές συσκευές πρόσβασης. Η πλατφόρμα παρέχει δύο είδη υπηρεσιών: (α) Κεντρικές υπηρεσίες για τη διαχείριση χρηστών και υπηρεσιών και (β) Κινητές υπηρεσίες που αφορούν στα χαρακτηριστικά κινητικότητας των υπηρεσιών. Εκτός από την απλοϊκή προσέγγιση που ακολουθείται στην προτεινόμενη πλατφόρμα, η διαμόρφωση των πρακτόρων φαίνεται να είναι αρκετά ενδιαφέρουσα. Οι πράκτορες διαιρούνται σε πυρήνα και βοηθητικά μέρη με το πρώτο μέρος να περιλαμβάνει τον ελάχιστο κώδικα που απαιτείται για έναν πράκτορα να επιτύχει το στόχο του και το δεύτερο να περιλαμβάνει επιπλέον κλάσεις που φορτώνονται (χρησιμοποιώντας τη δυναμική φόρτωση κλάσεων Dynamic class loading) μόνο όταν χρειάζονται.

Μια αρχιτεκτονική VHE βασισμένη στους ΚΠ περιγράφεται στην αναφορά [42] όπου διάφοροι πράκτορες (στάσιμοι ή κινητοί) συνεργάζονται για να παρέχουν φορητότητα υπηρεσιών και τερματικών συσκευών. Αν και ο στόχος είναι να μειωθεί η σηματοδότηση που επιβάλλεται στο δίκτυο για την πραγματοποίηση της έννοιας του VHE, το προτεινόμενο πλαίσιο έχει ελλείψεις τόσο σε επίπεδο υλοποίησης όσο και σε δοκιμαστική λειτουργία. Ένας μεγάλος αριθμός ΚΠ μετακινείται από το ίδιο σημείο προς τον ίδιο προορισμό για την εκτέλεση παρόμοιων και πολύ τετριμμένων εργασιών με αποτέλεσμα να καθιστά ασαφή τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου.

Μια διαφορετική προσέγγιση για την πραγματοποίηση της έννοιας VHE παρουσιάζεται στην αναφορά [43] όπου οι κινητοί χρήστες αντιπροσωπεύονται από προσωπικούς πράκτορες (Personal Agents) με ένα μοναδικό προσδιοριστικό (SIP, URL) που επιτρέπει σε αυτούς να συμμετέχουν και να συνεργάζονται σε μια κοινότητα πρακτόρων. Ο συνδυασμός των SIP και ULR παρέχει τεχνικά την δυνατότητα στο να εντοπίζονται εύκολα οι πράκτορες. Επιπλέον, ένα νέο πρωτόκολλο, ονόματι

Extensible Service Protocol (XSP) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων προκειμένου να ανακαλύψουν και να καταχωρήσουν ο ένας τον άλλο, κλπ. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει η υιοθέτηση του Resource Description Framework (RDF) στις περιγραφές των χαρακτηριστικών – ιδιοτήτων των πρακτόρων. Με τη χρησιμοποίηση σημασιολογικής περιγραφής στις ιδιότητες των πρακτόρων, η διαδικασία εύρεσης άλλων ΚΠ και η συνεργασία μεταξύ τους εκτελείται χωρίς την επέμβαση χρηστών. Για πρώτη φορά υιοθετείται η σημασιολογική περιγραφή πρακτόρων για την πραγματοποίηση του VHE.

Στην αναφορά [44] τα βασικά χαρακτηριστικά της έννοιας του VHE προσφέρονται με την παροχή υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες από τοπικούς παρόχους. Σύμφωνα με την παραπάνω προσέγγιση αυτό θα οδηγούσε σε μείωση της πρόσθετης κίνησης στο δίκτυο, στην καλύτερη χρησιμοποίηση των υπολογιστικών πόρων και θα μίκρυνε τις απειλές ασφάλειας. Αν και τα κύρια χαρακτηριστικά της έννοιας VHE διατηρούνται άλλα όπως η εγγραφή και η προσαρμογή υπηρεσιών, τα προφίλ υπηρεσιών των χρηστών, ο έλεγχος των οικείων δικτύων και των παρερχομένων υπηρεσιών δεν εξετάζονται. Επιπλέον, γίνεται χρήση της σημασιολογικής περιγραφής των προσφερθέντων υπηρεσιών και των υπηρεσιών πλαισίου με τη χρησιμοποίηση των οντολογιών. Οι υπηρεσίες περιγράφονται με το αποκαλούμενο Service Profile (που περιγράφεται κατάλληλα με την Service ontology), εγγράφονται και αποθηκεύονται στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE. Οι χρήστες έχουν ένα ή πολλά προφίλ υπηρεσιών που διατηρούνται στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE. Χρησιμοποιείται μια οντολογία πλαισίου (context ontology) για να “συλλάβει” τη γνώση του περιβάλλοντος των χρηστών και να επηρεάσει την προσαρμογή ή την παροχή των υπηρεσιών (π.χ., χρόνος, θέση χρηστών, δίκτυο, τερματικό και σχετικές με το χρήστη πληροφορίες). Η περιγραφή πλαισίου αποκαλύπτεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του αιτήματος ή της εκτέλεσης των υπηρεσιών. Η προτεινόμενη προαναφερθείσα προσέγγιση έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως η υιοθέτηση της περιγραφής υπηρεσιών και πλαισίου με σημασιολογικές πληροφορίες αλλά και ενός σημαντικού μειονεκτήματος: Το ενδιάμεσο λογισμικό VHE θα πρέπει να διατηρεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων για τα προφίλ υπηρεσιών των χρηστών (αυτό μπορεί να συγκριθεί με τη λειτουργία των καταλόγων UDDI στις ΥΙ) προκειμένου να ταιριάζει τις υπηρεσίες που είναι εγγεγραμμένος ο χρήστης (δηλαδή, αυτές που περιλαμβάνο-

νται στο προφίλ του) με τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE (στο δίκτυο που προσωρινά βρίσκεται) προκειμένου να βρεθεί μια παρόμοια υπηρεσία. Αν και ένα πρωτότυπο της προτεινόμενης προσέγγισης δεν έχει υλοποιηθεί, τα προβλήματα κλιμάκωσης και αξιοπιστίας είναι σοβαρά.

### 4.3 Αρχιτεκτονική και Λειτουργία του Προτεινόμενου Συστήματος

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου πλαισίου υλοποίησης της έννοιας του VHE η οποία βασίζεται στη χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ. Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική οι ΚΠ περιέχουν ή μεταφέρουν τη λογική υλοποίησης ή τα δεδομένα υπηρεσιών από μια δικτυακή οντότητα σε μια άλλη προκειμένου να υλοποιηθεί η έννοια του VHE. Στάσιμοι πράκτορες ενθυλακώνουν τη λειτουργία δικτυακών οντοτήτων και ταυτόχρονα συνεργάζονται με διάφορους ΚΠ. Η συνεργασία αυτή περιλαμβάνει την παροχή υπολογιστικών πόρων του δικτύου, του περιβάλλοντος εκτέλεσης και της κατάλληλης λογικής εκτέλεσης. Μια γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου πλαισίου απεικονίζεται στην Εικόνα 4-1.

Οι πράκτορες που συμμετέχουν στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχουν τις ακόλουθες λειτουργίες και ευθύνες:

#### **Πράκτορες Διαχείρισης Δικτύου (Network Management Agents)**

- **Ο Network Supervisor Agent (NSA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας αρμόδιος για τη διασύνδεση και τη διαχείριση δικτύων. Τα συνεργαζόμενα δίκτυα πρέπει να εγγραφούν στον NSA. Καθ' όλη τη λειτουργία του συστήματος ο NSA διατηρεί ένα λεπτομερή κατάλογο των υπηρεσιών που προσφέρονται από τα συνεργαζόμενα δίκτυα. Επίσης, ο NSA παρέχει πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών. Ο ρόλος του NSA θα μπορούσε επίσης να εκτελεσθεί από οποιοδήποτε (κατάλληλα «εμπλουτισμένο») Network Agent.
- **Ο Network Agent (NA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας αρμόδιος για τη διαχείριση ενός δικτύου. Ο NA μπορεί να λειτουργήσει και ως διαχειριστής για τη διασύνδεση των δικτύων που συμμετέχουν στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Οι κύριες ευθύνες του περιλαμβάνουν τη διαπίστευση των χρηστών,

την εγγραφή και επίβλεψη της σωστής λειτουργίας των RNC Agents και τη δρομολόγηση μηνυμάτων από και προς άλλα δίκτυα.

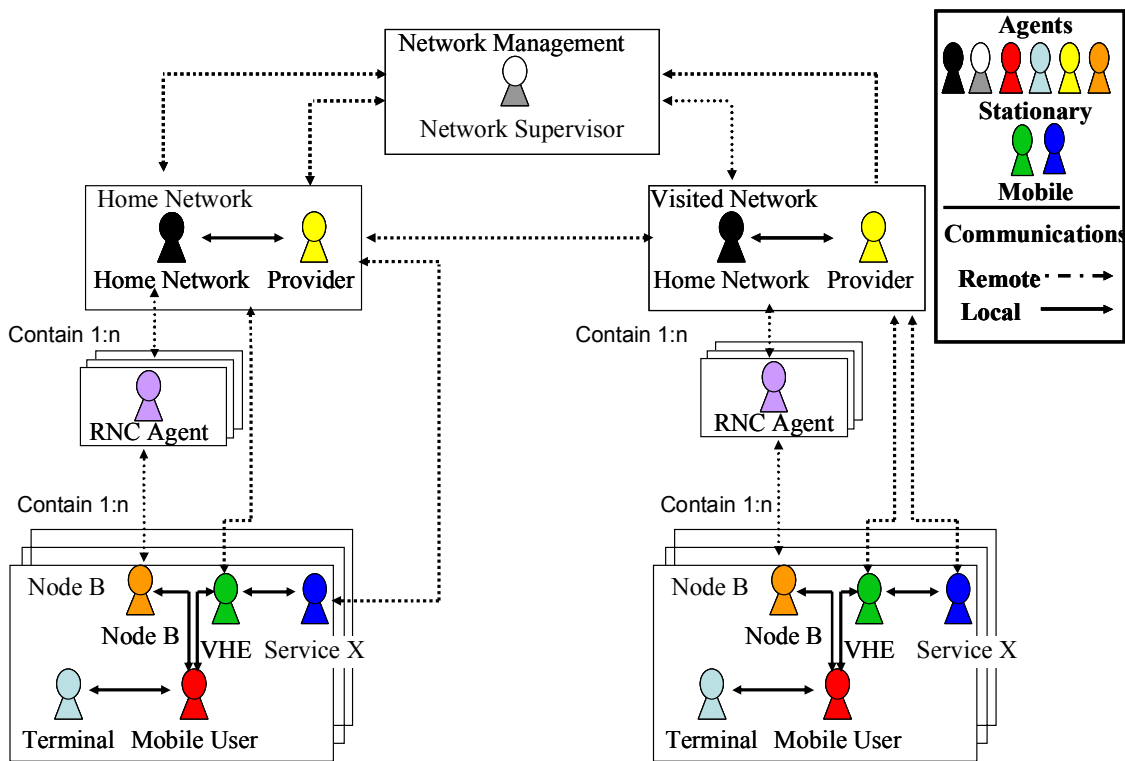
- **O Provider Agent (PA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας που διαχειρίζεται όλες τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες (οι οποίες υλοποιούνται με τους Service Agents). Ο PA διατηρεί την πλήρη λίστα όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών που παρέχονται από ένα δίκτυο. Ο PA είναι αρμόδιος για να δημιουργήσει τους Service Agents, (οι οποίοι περιέχουν τη λογική των υπηρεσιών), και τους αποστέλλει στην κατάλληλη δικτυακή οντότητα προκειμένου να παρασχεθεί η υπηρεσία στον αιτηθέντα χρήστη. Τέλος, ο PA δημιουργεί τους πράκτορες VHE εφοδιάζοντας τους με τα προσωπικά δεδομένα και τις προτιμήσεις των χρηστών (δηλαδή, με το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη).
- **O RNC Agent (RNCA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας αρμόδιος για τη διασύνδεση των NodeBs και τη δρομολόγηση μηνυμάτων από τα NodeB Agents στις διαχειριστικές οντότητες του δικτύου (δηλαδή, στα Network και Provider Agents) και αντίστροφα.
- **O NodeB Agent (NBA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας αρμόδιος για τη διαχείριση των NodeBs και τη δρομολόγηση μηνυμάτων από τους χρήστες στο RNCA στο οποίο ανήκει, και αντίστροφα.

#### Πράκτορες πλατφόρμας VHE

- **O Service Agent (SA)** είναι ένας ΚΠ που αντιπροσωπεύει μια προσφερόμενη υπηρεσία. Ανάλογα με το σενάριο προσφοράς υπηρεσιών, ο SA μεταφέρει είτε δεδομένα, αρχεία, λογική υλοποίησης υπηρεσιών ή αποτελέσματα υπηρεσιών είτε όλα τα προηγούμενα από το οικείο δίκτυο (Home Network - HN) του χρήστη. Την ίδια λογική μπορεί να προσφέρει ο SA από κάποιο πάροχο υπηρεσιών στο δίκτυο όπου βρίσκεται προσωρινά ο χρήστης.
- **O Mobile User Agent (MUA)** είναι ένας ΚΠ που αντιπροσωπεύει τον (κινητό) χρήστη στο σταθερό δίκτυο.
- **O VHE Agent (VHEA)** είναι ένας ΚΠ που δημιουργείται από τον PA και αποστέλλεται στη θέση που βρίσκεται ο MUA. Ο VHEA περιέχει πληροφορίες για το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη, όπως για παράδειγμα είναι τα προ-

σωπικά στοιχεία και τις προτιμήσεις που έχει ο χρήστης σε σχέση με τις υπό συνδρομή υπηρεσίες του, κ.λπ.

- **O Terminal Agent (TA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας που επιτρέπει στο τερματικό να ενημερώσει το δίκτυο για τις δυνατότητές του (που εκφράζονται χρησιμοποιώντας το CC/PP).



Εικόνα 4-1: Αρχιτεκτονική πλαισίου VHE βασισμένη στην τεχνολογία των ΚΠ

#### 4.3.1 Δομή ΚΠ

Η βασική φιλοσοφία ενός ΚΠ είναι να χρησιμοποιείται ως αντιπρόσωπος του χρήστη στο δίκτυο. Ο ΚΠ μετακινείται, βρίσκει και εκτελεί υπηρεσίες και στη συνέχεια παρέχει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Η δομή ενός ΚΠ περιλαμβάνει τα ακόλουθα συστατικά: κατάσταση δεδομένων (data state), πολιτικές μετακίνησης (migration policies), επικοινωνία (communication) και τον κώδικα (code). Το συστατικό κατάσταση δεδομένων περιέχει πληροφορίες-δεδομένα που φέρονται από τον ΚΠ κατά τη διάρκεια των μετακινήσεών του. Το συστατικό πολιτικών μετακίνησης καθορίζει την αυτόνομη συμπεριφορά του ΚΠ σε σχέση με τις μετακινήσεις του στο δίκτυο.

Το συστατικό επικοινωνίας είναι αρμόδιο για την επικοινωνία του ΚΠ με άλλους πράκτορες ή άλλες δικτυακές οντότητες. Τέλος το συστατικό του κώδικα υλοποιεί την αυτόνομη συμπεριφορά του ΚΠ με την υποστήριξη των προηγούμενων τριών συστατικών.

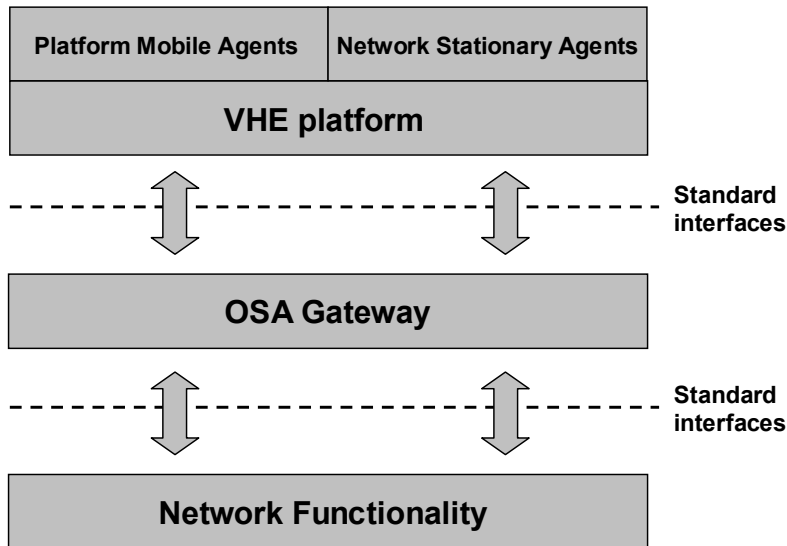
Κάθε συστατικό διαμορφώνεται ανάλογα με την εργασία που ανατίθεται στον ΚΠ. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες, για να εκτελέσει τις εργασίες του ένας πράκτορας θα πρέπει κάθε κόμβος να υποστηρίζεται από ένα περιβάλλον εκτέλεσης. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο το ρόλο αυτό έχει αναλάβει η πλατφόρμα του Grasshopper. Η πλατφόρμα Grasshopper παρέχει ένα βασικό πλαίσιο επικοινωνίας για τους ΚΠ καθώς επίσης και Java κλάσεις για τη βασική λειτουργία των στάσιμων και ΚΠ. Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζεται μια αφηρημένη δομή των πρακτόρων που χρησιμοποιούνται για την παρούσα πραγματοποίηση του VHE.

**Πίνακας 4-1: Δομή Πρακτόρων**

	Data State	Code	Migration Policies	Communication
Mobile User Agent (MUA)	Περιέχει την περιγραφή των δυνατοτήτων του χρησιμοποιούμενου από τον χρήστη τερματικού.		Δημιουργείται από τον πράκτορα NodeB (Στο συγκεκριμένο NodeB που εξυπηρετεί τον χρήστη) Ακολουθεί τον χρήστη στο κάθε NodeB που τον εξυπηρετεί κάθε στιγμή.	Αλληλεπιδρά και επικοινωνεί με τους πράκτορες TA, NBA, VHEA και SA.
VHE Agent (VHEA)	Περιέχει το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη ( περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις υπηρεσίες που ο χρήστης έχει συνδρομή, τον πάροχο που παρέχει κάθε υπηρεσία, παραμέτρους σχετικά με την κλήση των υπηρεσιών αυτών, τις διάφορες προτιμήσεις και εξατομικεύσεις του χρήστη καθώς και παραμέτρους διαμόρφωσης που πρέπει να εφαρμοστούν στα επισκεπτόμενα δίκτυα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στις υπηρεσίες του χρήστη).	Μέθοδοι λειτουργίας του ΚΠ για την επίτευξη του αυτόνομου χαρακτήρα	Δημιουργείται από το PA (του τρέχοντος δικτύου) και μετακινείται στο Node B που ανήκει ο χρήστης. Ακολουθεί τον κινητό χρήστη σε κάθε NBA που εξυπηρετεί τον χρήστη ( καλείται σε κάθε μετακίνηση του χρήστη από τοMUA (από Node B σε ένα άλλο ή άλλο δίκτυο).	Αλληλεπιδρά και επικοινωνεί με τους πράκτορες PA, MUA και SA.
Service Agent (SA)	Περιέχει δεδομένα, τον κώδικα της υπηρεσία ή τα αποτελέσματα που είναι υπεύθυνο να προσφέρει (Service Data, Logic ή Service Results.		Υλοποιεί μεθόδους ώστε να μετακινείται αυτόνομα μεταξύ των NA, των RNC ή των NBA.	Αλληλεπιδρά και επικοινωνεί με τους πράκτορες NA, VHEA και MUA.

Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική, οι ΚΠ χρησιμοποιούν το Open Service Access (OSA) API για να επικοινωνήσουν με τους στάσιμους πράκτορες (Εικόνα 4-2). Οι

σταθεροί πράκτορες ενθυλακώνουν τη λειτουργία των διαφόρων δικτυακών οντοτήτων OSA και παρέχουν στους ΚΠ δικτυακούς πόρους από το περιβάλλον στο οποίο εκτελούνται.



**Εικόνα 4-2: Μοντέλο Επικοινωνίας**

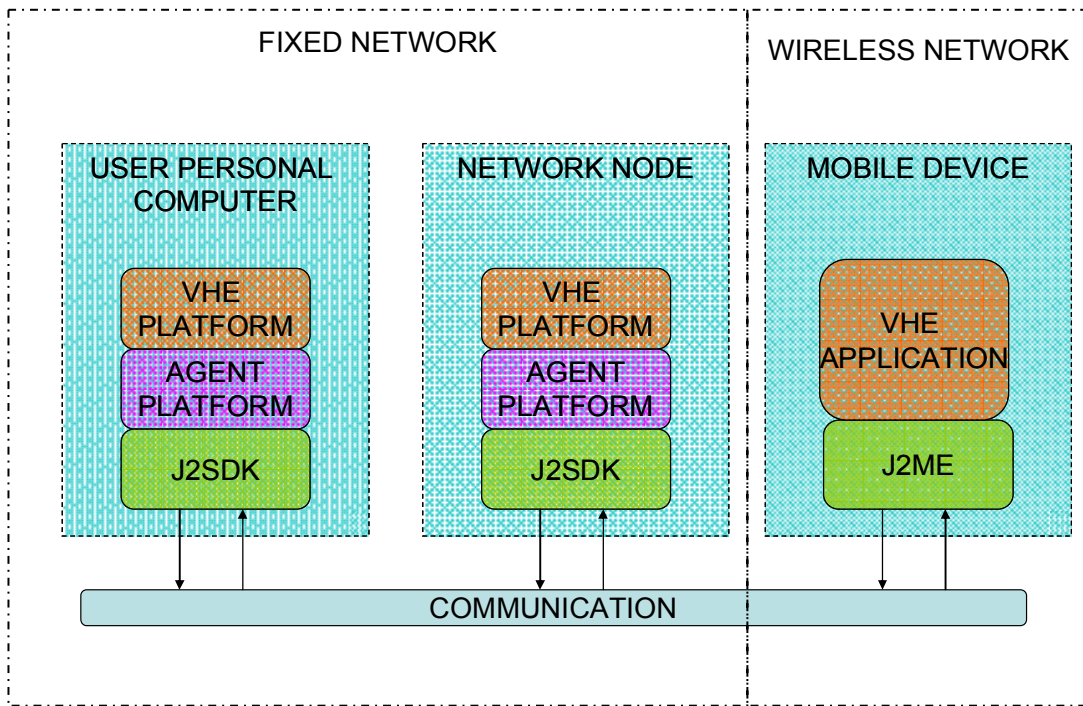
Η λειτουργία του προτεινομένου VHE πλαισίου έχει επεκταθεί για να καλύψει και τα κινητά τερματικά. Στην προκειμένη περίπτωση η Java 2 Micro Edition (J2ME) [46] χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει κάθε διαλειτουργικότητα με την πλατφόρμα των ΚΠ. Οι πράκτορες εκτελούνται στο σταθερό δίκτυο και αποστέλλουν τα αιτήματα του κινητού χρήστη στις κατάλληλες σταθερές δικτυακές οντότητες (Εικόνα 4-3).

#### 4.3.2 Υλοποίηση Προτεινόμενου Πλαισίου

Το προτεινόμενο VHE πλαίσιο αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα ΚΠ Grasshopper. Το Grasshopper βασίζεται σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον επεξεργασίας (Distributed Agent Environment), το οποίο είναι συμβατό με το πρότυπο MASIF [60] και ορίζει ένα Κατανεμημένο Περιβάλλον Πρακτόρων (Distributed Agent Environment-DAE) που αποτελείται από τις ακόλουθες οντότητες: Region, Place, Agency και Agent. Το Agency παρέχει το περιβάλλον εκτέλεσης των πρακτόρων. Το Place παρέχει μια λογική ομαδοποίηση λειτουργιών σε ένα Agency. Τέλος, το Region χρησιμοποιεί μια περιοχή εγγραφών (Registry) για να κρατήσει πληροφορίες για



όλα τα Agencies, Places και Agents που υπάρχουν στην αντίστοιχη περιοχή. Κάθε Agency παρέχει διάφορες υπηρεσίες που είναι συνήθως κοινές για όλες τις πλατφόρμες ανάπτυξης πρακτόρων (π.χ., Execution, Communication, Management, Persistence, Registration, Security και Transport). Η επικοινωνία μπορεί να εκτελεσθεί μέσω CORBA IIOP, Java RMI ή απλά sockets ενώ τα δύο τελευταία υποστηρίζουν Secure Socket Layer (SSL).

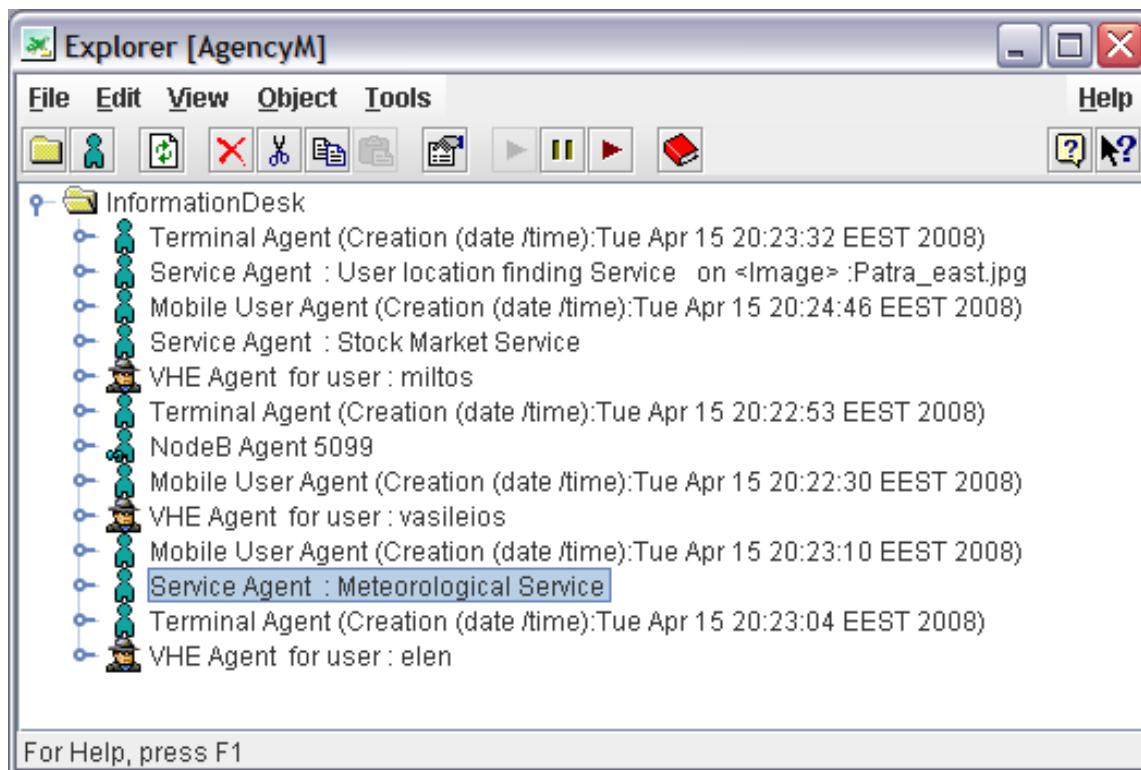


Εικόνα 4-3: Επικοινωνία Δικτύου με κινητές συσκευές

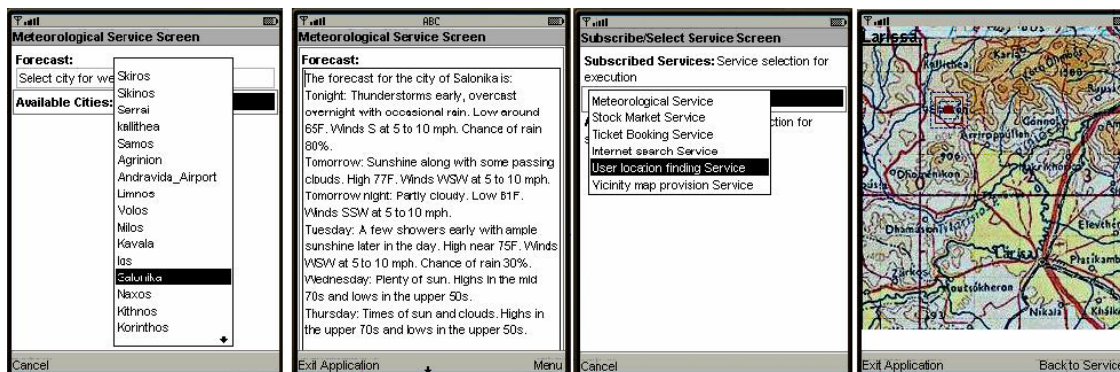
Στην υπόψη υλοποίηση κάθε οντότητα διαχείρισης δικτύου (δηλ., NSA, RNCA, και NBA) δημιουργείται σε ένα χωριστό Agency. Το NA και το PA εκτελούνται στο ίδιο Agency. Η δημιουργία και η αρχικοποίηση αυτών των πρακτόρων περιγράφονται λεπτομερέστερα στις επόμενες παραγράφους. Στην Εικόνα 4-4, παρουσιάζεται ένα Agency που περιέχει ένα NBA που έχει τρεις ενεργούς κινητούς χρήστες (που αντιπροσωπεύονται από τα αντίστοιχα TA, MUA και VHEA). Κάθε χρήστης καλεί μια υπηρεσία (που αντιπροσωπεύεται από ένα Service Agent). Τα παραδείγματα των υπηρεσιών στη συσκευή ενός κινητού χρήστη παρουσιάζονται στην Εικόνα 4-5. Στην Εικόνα 4-5 (α) παρουσιάζεται η υπηρεσία για παροχή μετεωρολογικών πληροφοριών και στην Εικόνα 4-5 (β) παρουσιάζει η υπηρεσία που παρέχει χάρτες

Κινητοί Πράκτορες: Εφαρμογή σε Υπηρεσίες Κινητού Υπολογισμού και Αρχιτεκτονικές Βελτιώσεις

της περιβάλλουσας περιοχής του χρήστη. Στο κινητό τηλέφωνο τρέχει J2ME που επιτρέπει την επικοινωνία με το VHE.



Εικόνα 4-4: Ένα agency με ένα NBA και τρεις ενεργούς κινητούς χρήστες.



Εικόνα 4-5: (α) Υπηρεσία Μετεωρολογικών Πληροφοριών και (β) Υπηρεσία παροχής χαρτών περιοχής σε ένα κινητό τηλέφωνο.

#### 4.4 Περιγραφή πλατφόρμας και σενάρια υπηρεσιών

Η περιγραφή της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής διαιρείται σε τρία κύρια τμήματα:

- Έναρξη/αρχικοποίηση (Setup /Initialization) της πλατφόρμας των ΚΠ όπου περιγράφεται πώς δημιουργούνται οι πράκτορες διαχείρισης δικτύου και

πώς εγκαθιστούν τις μεταξύ τους συνδέσεις. Παρέχεται μια λεπτομερής παρουσίαση για το πώς ολοκληρω η πλατφόρμα των ΚΠ ενεργοποιείται (σειρά δημιουργίας των απαιτούμενων πρακτόρων και βάσεων δεδομένων) καθώς και πώς αντιμετωπίζονται οι διάφορες αστοχίες-αποτυχίες στη λειτουργία της πλατφόρμας των ΚΠ.

- Αλληλεπιδράσεις χρηστών με την πλατφόρμα, όπου περιγράφονται τα αιτήματα που οι χρήστες μπορούν να υποβάλουν και πώς τα αιτήματα διαχειρίζεται η πλατφόρμα.
- Σενάρια παροχής υπηρεσιών, τα οποία ταξινομούνται σύμφωνα με τη θέση εκτέλεσης των παρεχομένων υπηρεσιών ως εξής:
  - Εκτέλεση της υπηρεσίας στο επισκεπτόμενο δίκτυο
  - Εκτέλεση της υπηρεσίας στο οικείο δίκτυο ή στον πάροχο της υπηρεσίας και
  - Εκτέλεση της υπηρεσίας στην συσκευή του χρήστη.

Η προτεινόμενη VHE πλατφόρμα επιτρέπει στους χρήστες να αιτούνται υπηρεσίες από διαφορετικών δυνατοτήτων συσκευές (π.χ., σταθερούς προσωπικούς υπολογιστές(PCs) και κινητά τηλέφωνα). Επομένως, διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί για την έναρξη και την παρουσίαση της πλατφόρμας στον τελικό χρήστη. Εάν ένας χρήστης επιθυμεί να έχει πρόσβαση στην υπηρεσία μέσω ενός σταθερού Η/Υ (PC) ή ενός φορητού Η/Υ (laptop), η υπηρεσία παρουσιάζεται μέσω μιας Java- ιστοσελίδας. Ο χρήστης, αρχικά, πιστοποιείται στην πλατφόρμα. Στη συνέχεια, ένας εξυπηρετητής πρακτόρων ενεργοποιείται στο τερματικό του χρήστη προκειμένου να φιλοξενήσει τους πράκτορες που είναι αρμόδιοι για τη διαχείριση και παροχή των υπηρεσιών. Στην περίπτωση χρήσης κινητού τηλεφώνου, οι δυνατότητες της χρησιμοποιούμενης κινητής συσκευής λαμβάνονται υπόψη στην όλη διαδικασία.

#### **4.4.1 Έναρξη /Αρχιτοποίηση της πλατφόρμας των ΚΠ**

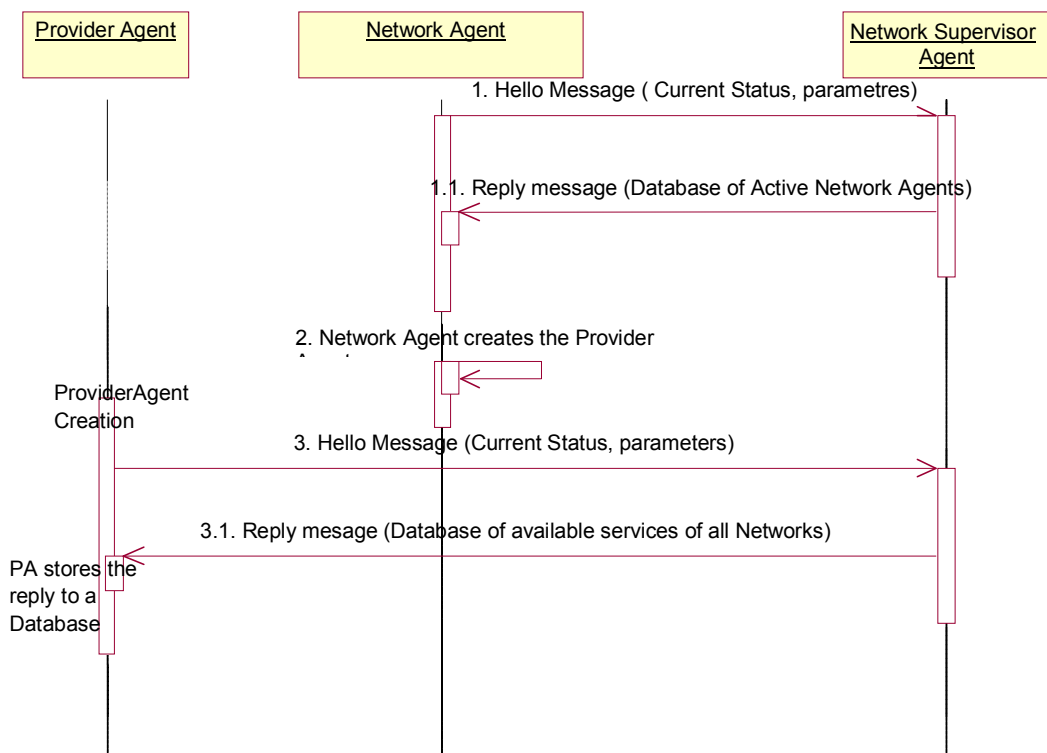
Κατά τη διαδικασία έναρξης και αρχιτοποίησης της πλατφόρμας των πρακτόρων, δημιουργείται πρώτα ένας NSA ο οποίος χειρίζεται την εγγραφή των συνεργαζόμενων δικτύων και των παρεχομένων υπηρεσιών. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένας

NA (πιο συγκεκριμένα, ένα για κάθε δίκτυο) και ενημερώνει για την ύπαρξη του το NSA. Το NSA παρέχει στο NA ένα κατάλογο με τα διαθέσιμα δίκτυα συμπεριλαμβανομένων των διευθύνσεών τους και τη θέση όλων των NAs που έχουν εγγραφεί στο NSA με την ίδια διαδικασία. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-6. Ακολούθως, κάθε NA δημιουργεί έναν PA ο οποίος είναι αρμόδιος για τις υπηρεσίες που προσφέρονται στο δίκτυο. Επίσης, ο PA διατηρεί πληροφορίες για τις υπηρεσίες που προσφέρονται από άλλα εγγεγραμμένα δίκτυα στο NSA. Κατά τη διάρκεια της έναρξης και αρχικοποίησης του δικτύου, ο PA επικοινωνεί με το NSA προκειμένου να λάβει μια ενημερωμένη λίστα από τις υπηρεσίες που παρέχονται από άλλα δίκτυα. Σε περίπτωση οποιασδήποτε αποτυχίας του δικτύου, ο PA ρωτά το NSA εάν υπάρχει οποιαδήποτε αλλαγή στον κατάλογο υπηρεσιών που έχει λάβει αρχικά. Ακολούθως της δημιουργίας των NA και PA, δημιουργούνται οι πράκτορες RNCA (ένας RNCA για κάθε RNC του δικτύου). Κάθε πράκτορας RNC, κατά τη δημιουργία του, δημοσιοποιεί την ύπαρξή του στο NA στο οποίο ανήκει. Αυτά τα μηνύματα «ύπαρξης» του RNCA περιέχουν παραμέτρους διαμόρφωσης και πληροφορίες κατάστασης για τον κάθε κόμβο. Στη συνέχεια, σε κάθε RNC, δημιουργούνται οι NBA. Κάθε NBA, κατά την δημιουργία του, δημοσιοποιεί την ύπαρξή του στο RNCA στο οποίο ανήκει με την αποστολή ενός μηνύματος «ύπαρξης» που περιέχει παραμέτρους διαμόρφωσης και πληροφορίες κατάστασης. Η διαδικασία της ιεραρχικής δημιουργίας των RNCA από το NA είναι παρόμοια με αυτή της δημιουργίας των NBA από το αντίστοιχο RNCA.

Ο NA στέλνει και λαμβάνει περιοδικά “heart-beat” μηνύματα από τα RNCAs του δικτύου του. Τα μηνύματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας των RNCAs. Όταν ένα RNCA λάβει ένα μήνυμα “heart-beat”, απαντά με ένα μήνυμα που περιέχει πληροφορίες για την κατάστασή του και τους τρέχοντες χρήστες του. Αν ο NA δε λάβει μια απάντηση “heart-beat” από ένα RNCA σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, τότε θεωρεί ότι το RNCA είναι μη λειτουργικό. Εάν το προηγούμενο RNCA τεθεί σε κατάσταση “failed” το NA σταματά να διαβιβάζει κυκλοφορία σε αυτό. Όταν ένας NA αρχίσει να λαμβάνει κυκλοφορία από ένα αποτυχημένο RNCA, το τελευταίο αφού αλλάξει την κατάστασή του από “failed” RNCA σε “active”, αποστέλλει ένα μήνυμα “heart-beat” σε στο RNCA προκειμένου να λάβει ένα μήνυμα της κατάστασης του RNCA. Η ίδια διαδικασία ελέγχου-συντήρησης με την αποστο-

λή και απάντηση μηνυμάτων “heart-beat” πραγματοποιείται μεταξύ κάθε RNCA και των υποστηριζόμενων από αυτό NBAs, με το κάθε RNCA να ζητά περιοδικά μηνύματα συντήρησης-κατάστασης από τα από υποστηριζόμενα NBA του.

Ο NA διατηρεί μια βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για όλα τα RNCA του (π.χ., διεύθυνση δικτύων, στατιστικές χρήσης υπηρεσιών χρηστών και πληροφορίες κατάστασης). Μια παρόμοια βάση δεδομένων διατηρείται επίσης σε κάθε RNCA με πληροφορίες για τα παρακείμενα σε αυτό RNCAs για τα οποία ενημερώνεται περιοδικά από το NA. Τέλος, κάθε NBA διατηρεί μια βάση δεδομένων με πληροφορίες για τα παρακείμενα NBAs, η οποία ενημερώνεται περιοδικά από το RNCA.



Εικόνα 4-6: Αρχικοποίηση δικτύου

Ο NA διατηρεί μια βάση δεδομένων των υπαρχόντων ενεργών δικτύων. Σε αυτή τη βάση, περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τις διευθύνσεις των NAs και την λειτουργική τους κατάσταση. Οι πληροφορίες αυτές ενημερώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με την αποστολή μηνυμάτων από το NSA. Επιπλέον, δύο πρόσθετες βάσεις δεδομένων υπάρχουν σε κάθε PA. Οι βάσεις αυτές περιέχουν πλη-

ροφορίες τόσο για τις διαθέσιμες υπηρεσίες στο τρέχον δίκτυο όσο και για τις διαθέσιμες υπηρεσίες από άλλα δίκτυα. Για κάθε βάση δεδομένων προβλέπονται διαδικασίες συχνής ενημέρωσης.

#### **4.4.2 Αλληλεπιδράσεις Χρηστών με την πλατφόρμα.**

Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφονται οι πιθανές αλληλεπιδράσεις χρηστών με την πλατφόρμα των ΚΠ. Επίσης, παρέχονται λεπτομέρειες για τη λειτουργικότητα της πλατφόρμας όσον αφορά στην εξυπηρέτηση αιτημάτων των χρηστών.

#### **4.4.3 Εγγραφή Χρηστών στο Δίκτυο**

Οι χρηστές εγγράφονται στο δίκτυο με την παροχή των πιστοποιητικών τους είτε μέσω της διεπαφής Ιστού της πλατφόρμας είτε από σταθερούς Η/Υ είτε από φορητές συσκευές.

##### *4.4.3.1 Περίπτωση Φορητής Συσκευής-κινητού τηλεφώνου (cellular phone)*

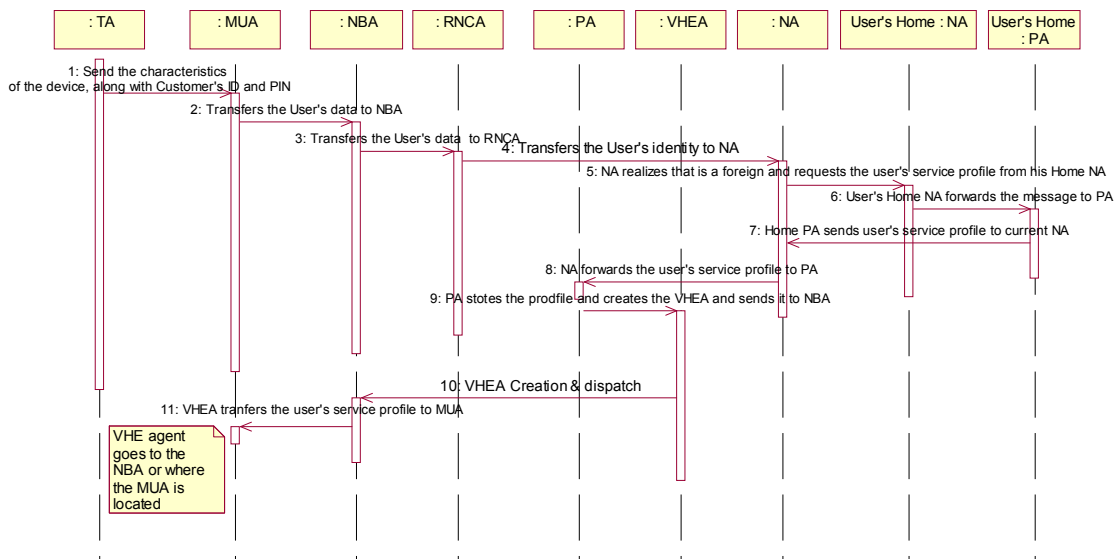
Ο κινητός χρήστης ανοίγει τη συσκευή του και παρέχει τον προσωπικό του αριθμό (Personal Identification Number). Μετά από την εγγραφή του στην πλατφόρμα δημιουργείται αυτόματα ο πράκτορας MUA, ο οποίος αντιπροσωπεύει το χρήστη στο σταθερό δίκτυο. Δεδομένου ότι, η κινητή συσκευή δεν έχει την ικανότητα να φιλοξενήσει αυτόν τον πράκτορα, ο τελευταίος βρίσκεται στο Node B το οποίο εξυπηρετεί, την τρέχουσα στιγμή, το χρήστη. Την ίδια στιγμή, ο NA εκκινεί μια διαδικασία για να βρει το προφίλ υπηρεσιών του συγκεκριμένου χρήστη. Στην περίπτωση που ο χρήστης βρίσκεται στο οικείο δίκτυό του, τότε ο NA ζητά απλά το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη από τον PA. Στην περίπτωση που πρόκειται για ένα χρήστη που δεν ανήκει στο συγκεκριμένο δίκτυο, ο NA ζητά το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη από τον αντίστοιχο PA του οικείου δικτύου του χρήστη. Ο NA μεταφέρει το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη από το PA του οικείου δικτύου του χρήστη στο PA του τρέχοντος δικτύου και στη συνέχεια συγκρίνει τις υπηρεσίες που έχει συνδρομή ο χρήστης (λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις προτιμήσεις του) με τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες από το τρέχον δίκτυο. Ο χρήστης ενημερώνεται για κάθε υπηρεσία που περιλαμβάνεται στο προφίλ υπηρεσιών του και που μπορεί να προσφερθεί από το τρέχον δίκτυο. Ένα πλεονέκτημα, στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι ότι

για κάθε υπηρεσία που θα προσφερθεί μέσω του τρέχοντος δικτύου συνεπάγεται και μείωση του λειτουργικού κόστους.

Στη συνέχεια, ο PA δημιουργεί το VHEA που περιέχει το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη και το στέλνει στο Node B που εξυπηρετεί το χρήστη. Ο VHEA έχει τις πληροφορίες για τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο επισκεπτόμενο δίκτυο. Ο MUA λαμβάνει από το VHEA το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη και σύμφωνα με τις δυνατότητες της συσκευής πρόσβασης του χρήστη παρουσιάζει τις υπηρεσίες στις οποίες ο χρήστης έχει συνδρομή. Οι δυνατότητες της κινητής συσκευής εκφράζονται μέσω του CC/PP και διαβιβάζονται από τον TA στο MUA.

Το προφίλ υπηρεσιών ενός χρήστη που μεταφέρεται από το οικείο δίκτυό του δεν είναι το ίδιο με το προφίλ υπηρεσιών που τελικά λαμβάνει ο MUA από το VHEA. Το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη που λαμβάνεται από το NA περιέχει πληροφορίες για τις υπηρεσίες που ο χρήστης έχει συνδρομή, τον πάροχο κάθε τέτοια υπηρεσίας, τις παραμέτρους κλήσης κάθε υπηρεσίας, τις προτιμήσεις/ προσαρμογές του χρηστή καθώς και παραμέτρους διαμόρφωσης που θα πρέπει να εφαρμοστούν αν ο χρήστης βρεθεί σε ένα ξένο δίκτυο προκειμένου να του παρασχεθούν οι υπηρεσίες του. Σε αυτή τη φάση, ο VHEA περιλαμβάνει μόνο ένα περιορισμένο μέρος του προφίλ υπηρεσιών του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τον κατάλογο των υπηρεσιών που έχει κάποια συνδρομή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να μη χρησιμοποιήσει κάποια από αυτές τις υπηρεσίες. Η παραπάνω διαδικασία εμποδίζει την άσκοπη μεταφορά δεδομένων. Κάθε φορά που ο χρήστης ζητά μια υπηρεσία, οι κατάλληλες πληροφορίες υπηρεσιών λαμβάνονται, μέσω του VHEA, από τον PA του ξένου δικτύου, όπου και διατηρούνται τα πλήρη προφίλ υπηρεσιών των χρηστών. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 4-7.

Στην περίπτωση που το οικείο δίκτυο του χρήστη είναι το τρέχον δίκτυο η διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο απλοποιείται. Ο NA παρέχει στον PA το PIN του χρήστη και ο τελευταίος βρίσκει το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη, δημιουργεί το VHEA και τον αποστέλλει στην τοποθεσία του δικτύου όπου βρίσκεται ο MUA για το συγκεκριμένο χρήστη.



Εικόνα 4-7: Εγγραφή χρήστη από κινητό τηλέφωνο

#### 4.4.3.2 Περίπτωση πρόσβασης από Προσωπικό Υπολογιστή (desktop PC, laptop) ή προσωπικό ψηφιακό βοηθό (Personal Digital Assistant -PDA)

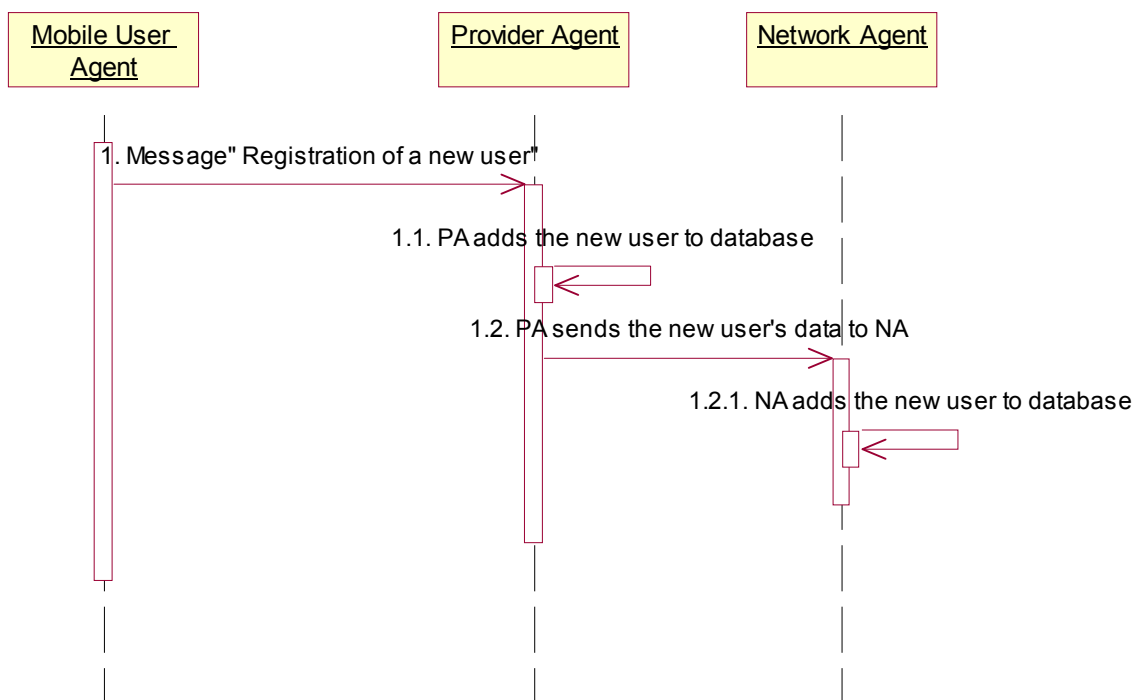
Ένα αρκετά παρόμοιο σενάριο υιοθετείται για συσκευές όπως Η/Υ με σταθερή πρόσβαση στο δίκτυο, laptop ή/και PDA. Οι ίδιες διαδικασίες ακολουθούνται για την εγγραφή ενός χρήστη στο σύστημα. Για ένα σταθερό Η/Υ η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων TA ή VHEA και δικτύου θεωρείται άμεση, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν τα Node Bs και τα RNCAs. Όταν χρησιμοποιείται ένα PDA ή ένα laptop, η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω των Access Points (AP). Η ανταλλαγή μηνυμάτων για την ανακάλυψη του προφίλ των υπηρεσιών του χρήστη είναι παρόμοια με αυτή που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο. Το προφίλ των υπηρεσιών του χρήστη μεταφέρεται από το οικείο δίκτυο του χρήστη στη συσκευή πρόσβασης του χρήστη. Ως εκ τούτου, ο VHEA μεταφέρει το πλήρες προφίλ των υπηρεσιών του χρήστη στο MUA. Το τελευταίο παρουσιάζει τις υπηρεσίες στο χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη τις προτιμήσεις του.

#### 4.4.4 Εγγραφή νέων χρηστών στο δίκτυο

Στην πλατφόρμα του VHE υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται εγγραφή νέων χρηστών μέσω της διεπαφής της πλατφόρμας (ιστοσελίδα). Ο νέος χρήστης πρέπει να παρέχει διάφορες πληροφορίες προκειμένου να εγγραφεί σε κάποιο δίκτυο, όπως όνομα, επώνυμο κλπ. Σύμφωνα με την διαδικασία αυτή, όταν κάποιος χρήστης ε-



πιλέξει από την σελίδα της πλατφόρμας την εγγραφή νέου χρήστη τότε αμέσως εμφανίζεται η σελίδα της πλατφόρμα που ζητά από τον χρήστη να εισάγει τα στοιχεία του. Ταυτόχρονα, εκκινείται ένας πράκτορας εξυπηρετητή (Agent Server) στον οποίο δημιουργείται ο MUA ο οποίος αντιπροσωπεύει το χρήστη στο δίκτυο. Ο MUA αναλαμβάνει να αποστείλει τα στοιχεία του νέου χρήστη στον PA για να ολοκληρωθεί η εγγραφή του. Στη συνέχεια, ο PA ενημερώνει τη βάση δεδομένων (νέα εγγραφή, χωρίς καμία πληροφορία) και στέλνει μήνυμα στον αντίστοιχο NA προκειμένου και αυτός να ενημερώσει τη βάση δεδομένων των χρηστών του δικτύου που αντιπροσωπεύει. Η διαδικασία εγγραφής ενός χρήστη σε κάποιο δίκτυο περιγράφεται στην Εικόνα 4-8. Μετά την ενημέρωση του δικτύου ο χρήστης προτρέπεται να επανέλθει στην αρχική σελίδα της πλατφόρμας και να εισέλθει κανονικά στην πλατφόρμα του VHE χρησιμοποιώντας τους κωδικούς του.

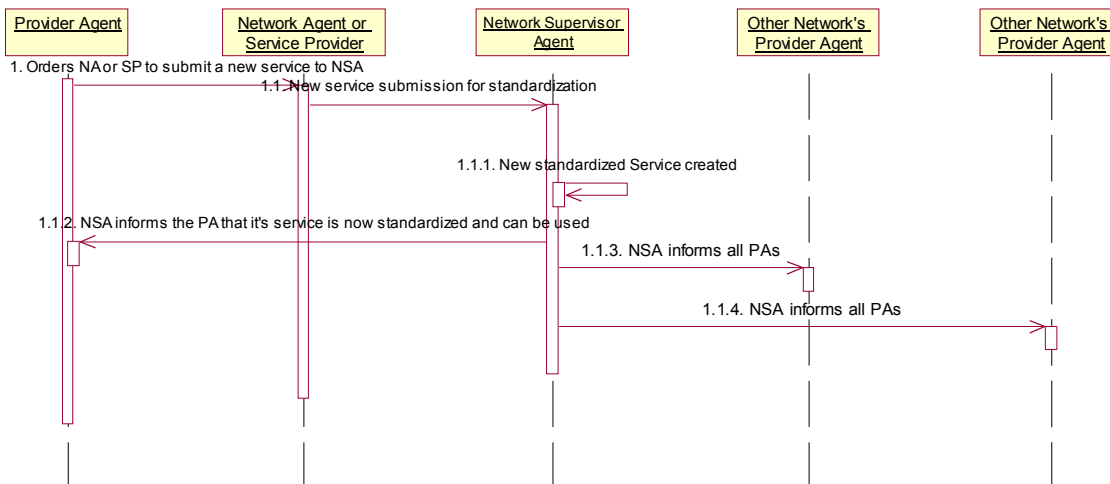


Εικόνα 4-8: Εγγραφή νέου χρήστη

#### 4.4.5 Διαφήμιση Υπηρεσιών και συνδρομή χρηστών σε αυτές.

Ας θεωρήσουμε τώρα την περίπτωση που ένα δίκτυο έχει δημιουργήσει μια υπηρεσία και θέλει να γνωστοποιήσει την ύπαρξή της. Αρχικά, το δίκτυο (μέσω του NA) πρέπει να ενημερώσει το NSA στο οποίο πιστοποιούνται όλες οι υπηρεσίες. Ο

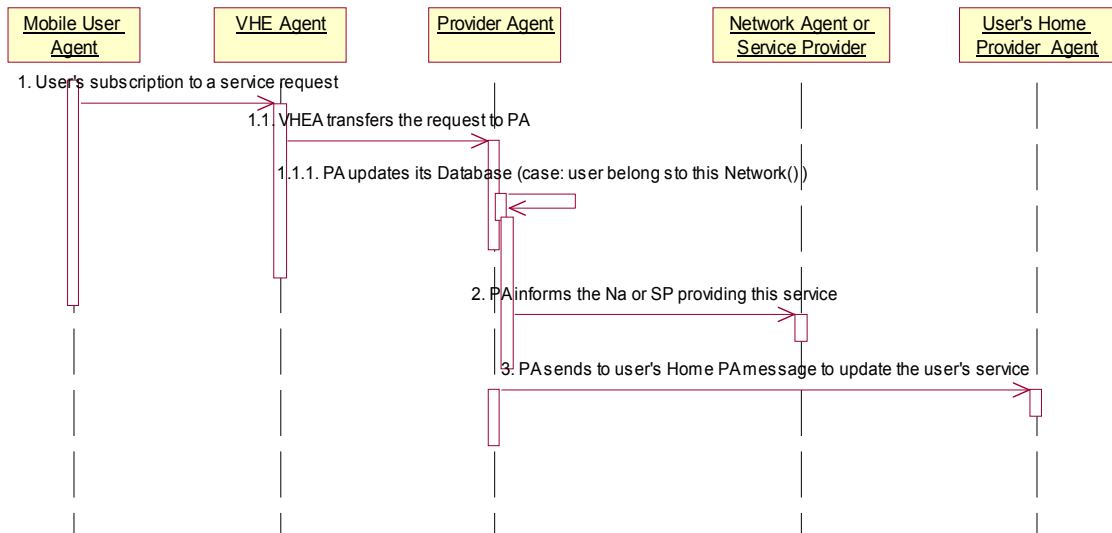
PA παρέχει στο NSA όλα τα χαρακτηριστικά της νέας υπηρεσίας, δηλαδή παραμέτρους εισόδου, τρόπος εκτέλεσης της υπηρεσίας (στο Home Network ή στο εκάστοτε Visited Network ) και ο κώδικας της υπηρεσίας. Ο NSA αφού λάβει όλα τα δεδομένα, κατηγοριοποιεί την υπηρεσία σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της (για παράδειγμα σε πιο γκρουπ υπηρεσιών θα ανήκει). Στη συνέχεια, ο NSA αφού ενημερώσει πρώτα το δίκτυο που υπέβαλλε την αίτηση, στέλνοντας μήνυμα στον αντίστοιχο PA, ενημερώνει με αντίστοιχα μηνύματα τους PAs των δικτύων που συμμετέχουν ώστε να προσθέσουν στη βάση δεδομένων τους τη νέα υπηρεσία με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της. Η διαδικασία περιγράφεται στην Εικόνα 4-9.



**Εικόνα 4-9: Διαφήμιση Υπηρεσιών**

Όταν ένας χρήσης εισέλθει στο δίκτυο που πρόσφατα γνωστοποίησε μια νέα υπηρεσία, ο PA αυτού του δικτύου συμπεριλαμβάνει και τη νέα υπηρεσία στις πληροφορίες κάθε VHEA που δημιουργείται από αυτό. Η νέα υπηρεσία παρουσιάζεται στο χρήστη από το MUA σε ξεχωριστή επιλογή, (για παράδειγμα σαν διαθέσιμη υπηρεσία από το δίκτυο). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει την υπηρεσία είτε κάνοντας συνδρομή, είτε δοκιμαστικά για περιορισμένο χρόνο. Να σημειωθεί ότι όταν ένας χρήστης λάβει ενημέρωση για νέες υπηρεσίες ή για τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο δίκτυο που βρίσκεται, μπορεί να γίνει συνδρομητής σε όποια υπηρεσία επιθυμεί. Ας θεωρήσουμε λοιπόν την περίπτωση όπου ο χρήστης επιθυμεί να γίνει συνδρομητής σε μια υπηρεσία. Ο χρήστης επιλέγει μέσω της διεπαφής της VHE πλατφόρμας την υπηρεσία και δηλώνει ότι θέλει να κάνει

συνδρομή. Η επιλογή αυτή μεταφράζεται σε ένα μήνυμα το οποίο μεταφέρεται από το MUA στο VHEA που διατηρεί το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη. Οι δικτυακές οντότητες που θα πρέπει να ενημερωθούν είναι ο PA του δικτύου και το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη στο οικείο δίκτυό του. Αυτό μπορεί να γίνει με το Provider Agent του δικτύου που βρίσκεται ο χρήστης. Όταν ο VHEA λάβει αίτηση για συνδρομή, αποστέλλει την αίτηση στο PA του δικτύου του. Ο PA αφού έχει όλα τα στοιχεία και το προφίλ υπηρεσιών του χρήστη, ενημερώνει το PA του οικείου δικτύου του χρήστη και το PA του δικτύου ή του παρόχου της υπηρεσίας. Στην περίπτωση που το ίδιο δίκτυο παρέχει την υπηρεσία και είναι και το οικείο δίκτυο του χρήστη, η διαδικασία ολοκληρώνεται με την ενημέρωση του PA. Η διαδικασία περιγράφεται στην Εικόνα 4-10.

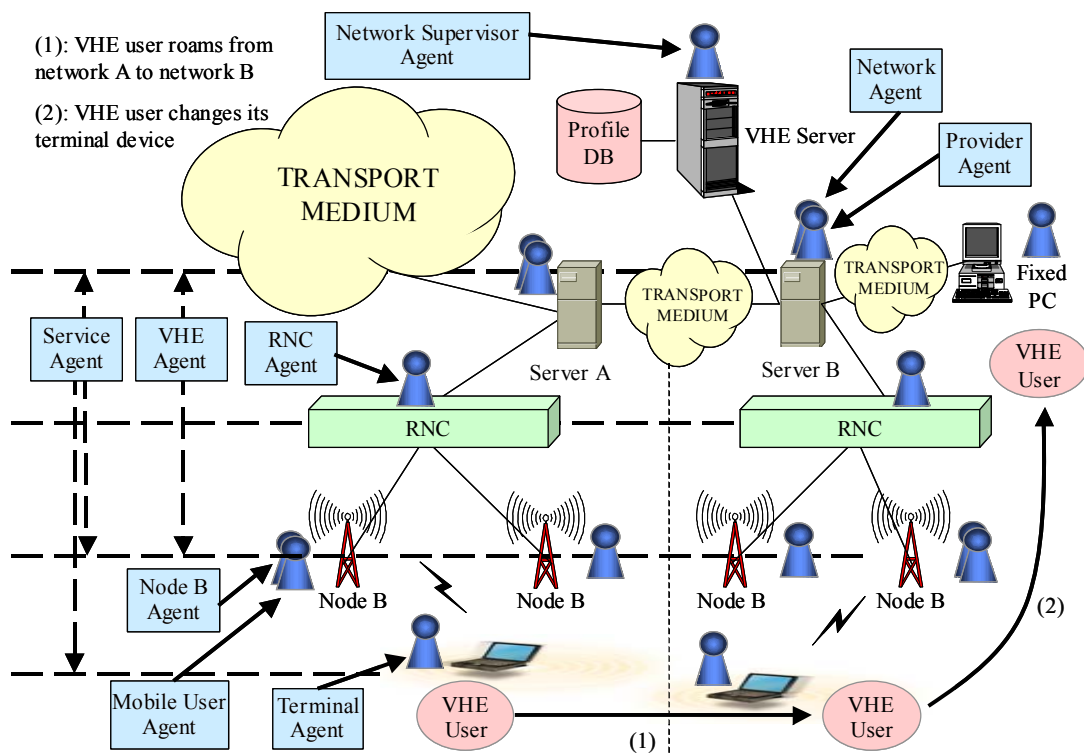


Εικόνα 4-10: Εγγραφή και συνδρομή ενός χρήστη σε μια υπηρεσία

#### 4.5 Παροχή Υπηρεσιών

Στην Εικόνα 4-11 παρουσιάζεται η τοπολογία του δικτύου που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των διαδικασιών της VHE πλατφόρμας. Στην ίδια εικόνα παρουσιάζονται οι θέσεις των πρακτόρων και οι τερματικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν. Η παροχή υπηρεσιών εκτελείται μετά από την εγγραφή ενός χρήστη στη VHE πλατφόρμα. Αρχικά, ο χρήστης ζητά μια υπηρεσία μέσω του MUA. Ο τελευταίος μεταδίδει το αίτημα στο VHEA. Ο VHEA, που γνωρίζει τις λεπτομέρειες εκτέλεσης των υπηρεσιών αλλά, και το προφίλ των υπηρεσιών του χρήστη, καλεί την αιτηθεί-

σα υπηρεσία. Στην περίπτωση που ο VHEA περιέχει μια περιορισμένη έκδοση του προφίλ των υπηρεσιών του χρήστη, ζητά την πλήρη περιγραφή (για παράδειγμα, παραμέτρους κλήσης, θέση υπηρεσίας κλπ) της υπηρεσίας από το PA του τρέχοντος δικτύου. Ο VHEA αφού λάβει τις πρόσθετες πληροφορίες που απαιτούνται για την κλήση της υπηρεσίας, αποστέλλει το αίτημα στη δικτυακή οντότητα (πάρoχο υπηρεσίας) που παρέχει την υπηρεσία αυτή. Αυτό το αίτημα μεταφέρεται μέσω των ακόλουθων δικτυακών οντοτήτων: VHEA→NBA→RNCA→NA→Service Provider, ανάλογα με τη συσκευή και το δίκτυο πρόσβασης (οικείο ή επισκεπτόμενο) του χρήστη. Στην περίπτωση ενός σταθερού Η/Υ, PDA ή laptop, οι οντότητες Node B και RNC δεν συμμετέχουν σε αυτή την επικοινωνία.



Εικόνα 4-11: Τοπολογία δικτύου και θέση πρακτόρων

Τα σενάρια παροχής υπηρεσιών ταξινομούνται με βάση τον κόμβο στον οποίο εκτελείται η υπηρεσία. Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

**Εκτέλεση υπηρεσιών στο επισκεπτόμενο δίκτυο:** Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η εκτέλεση υπηρεσιών πραγματοποιείται στο επισκεπτόμενο δίκτυο. Τα δεδομένα και η λογική των προσφερομένων υπηρεσιών πρέπει να μεταφερθούν σε αυτό το

δίκτυο. Συνεπώς, όταν ένας πάροχος υπηρεσιών ή ένα οικείο δίκτυο λάβει ένα αίτημα εκτέλεσης μιας υπηρεσίας, δημιουργεί ένα Service Agent (SA) που περιλαμβάνει τα δεδομένα και τη λογική της υπόψη υπηρεσίας. Ο SA αποστέλλεται στο NA που ζήτησε την υπηρεσία. Ο τελευταίος είτε εκτελεί την υπηρεσία τοπικά και διαβιβάζει τα αποτελέσματα στο MUA είτε προωθεί τον ίδιο το SA στο Node B από όπου προήλθε αρχικά το αίτημα ή βρίσκεται αυτή τη στιγμή ο χρήστης (περίπτωση χρήσης κινητού τηλεφώνου) προκειμένου να εκτελεστεί εκεί η υπηρεσία του SA και να διαβιβάστούν τα αποτελέσματα στο MUA.

**Εκτέλεση υπηρεσιών στο Οικείο Δίκτυο ή στον Πάροχο Υπηρεσιών:** Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η εκτέλεση των υπηρεσιών πραγματοποιείται στο οικείο δίκτυο του χρήστη ή στον πάροχο υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα της υπηρεσίας μεταβιβάζονται στη συνέχεια στο δίκτυο που βρίσκεται ο χρήστης. Η διαδικασία αιτήματος και παροχής υπηρεσιών είναι παρόμοια με αυτή που αναλύθηκε προηγουμένως με την διαφορά ότι ο SA μεταφέρει τα αποτελέσματα της αιτηθείσας υπηρεσίας. Η μετακίνηση του SA στο δίκτυο που βρίσκεται ο χρήστης είναι ανεξάρτητη από την τελική θέση εκτέλεσης της υπηρεσίας. Τέλος, όταν ο χρήστης σταματά την υπηρεσία, ένα μήνυμα “stop” διαβιβάζεται από το MUA στο VHEA. Το μήνυμα αυτό μεταδίδεται στον πάροχο της υπηρεσίας ο οποίος απαντά με μια θετική αναγνώριση του μηνύματος αυτού.

**Εκτέλεση υπηρεσιών στη συσκευή του χρήστη:** Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η εκτέλεση υπηρεσιών πραγματοποιείται στη συσκευή του χρήστη εφόσον οι δυνατότητες της χρησιμοποιούμενης συσκευής το επιτρέπουν (αυτό γίνεται γνωστό στο δίκτυο από το TA). Δεδομένου ότι στη κινητή συσκευή μπορούν να εκτελεστούν πράκτορες, ένα VHEA δημιουργείται από το PA του τρέχοντος δικτύου και αποστέλλεται στη συσκευή του χρήστη. Όταν ο χρήστης ζητά μια υπηρεσία τότε ο MUA παραδίδει αυτό το αίτημα στο VHEA. Το τελευταίο αφού λάβει συμπληρωματικές πληροφορίες υπηρεσιών από το PA, στέλνει το αίτημα στην οντότητα που παρέχει την υπηρεσία (π.χ., το οικείο δίκτυο του χρήστη ή κάποιον πάροχο υπηρεσίας). Ο PA του παρόχου δημιουργεί ένα SA. Ο τελευταίος αποστέλλεται στο NA του τρέχοντος δικτύου, ο οποίος το προωθεί στο NBA από το οποίο εξυπηρετείται ο χρήστης. Ο NBA διαβιβάζει το SA στη συσκευή του χρήστη. Ο SA εκτελεί την υπηρεσία

και παραδίδει τα αποτελέσματα στο MUA ο οποίος χειρίζεται την παρουσίαση της υπηρεσίας στον χρήστη.

#### 4.6 Μοντέλο Αξιολόγησης απόδοσης συστήματος

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται το μοντέλο προσομοίωσης που ακολουθήθηκε για την αξιολόγηση της απόδοσης του προτεινόμενου πλαισίου. Ποιο συγκεκριμένα εξετάζονται δύο περιπτώσεις:

α. Ένα πλαίσιο παροχής υπηρεσιών με την χρήση των ΚΠ (Mobile Agent - MA) και

β. Ένα πλαίσιο παροχής υπηρεσιών με συμβατικό τρόπο – δηλαδή χωρίς ΚΠ (Conventional Service Provision -Without Mobile Agents -WMA).

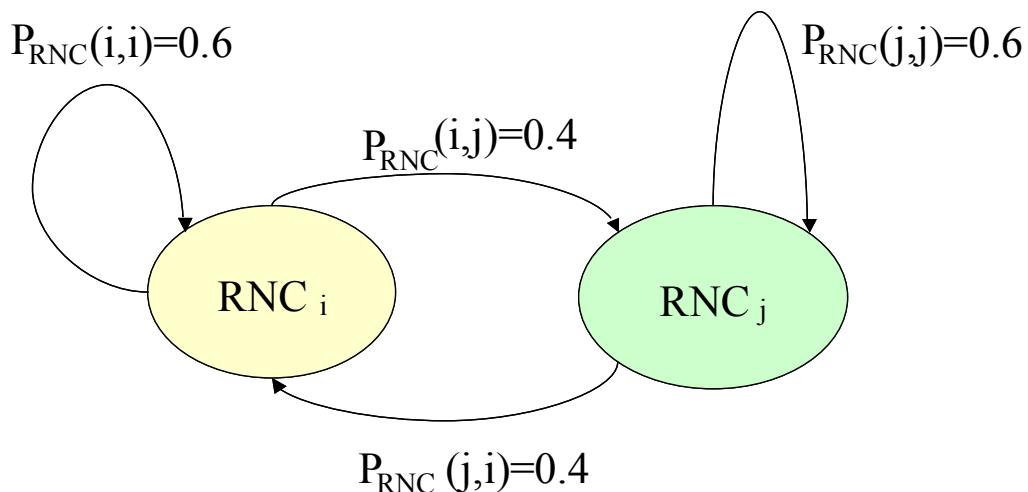
Η μελέτη της προσομοίωσης αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος μελετάται η συμπεριφορά των ανωτέρω πλαισίων για την προσφορά υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες σε διάρκεια μιας ημέρας, ενώ στο δεύτερο μέρος μελετάται, σε διάρκεια μισής ώρας, η χωρητικότητα των δικτυακών οντοτήτων. Και στα δύο μέρη της προσομοίωσης η συμπεριφορά των χρηστών και του συστήματος είναι η ίδια. Ο χρήστης κινείται μεταξύ των Node Bs και RNCs των ιδίων ή διαφορετικών δικτύων με συγκεκριμένες πιθανότητες. Λαμβάνοντας υπόψη την ιεραρχική δομή του υπό προσομοίωση συστήματος ορίζουμε πιθανότητες για την κινητικότητα του κάθε χρήστη. Επιπλέον, λόγω του ότι οι χρήστες που βρίσκονται σε κάποιο επισκεπτόμενο δίκτυο επιδεικνύουν διαφορετική συμπεριφορά κίνησης, έχουν καθορισθεί τρεις κατηγορίες χρηστών για να μοντελοποιήσουν αυτή τη συμπεριφορά. Οι κατηγορίες αυτές καθορίζονται σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης των χρηστών δεδομένου ότι οι μεταπομπές (handover) εμφανίζονται πιο νωρίς στους πιο γρήγορα κινούμενους χρήστες από ότι στους πιο αργά κινούμενους χρήστες. Τέλος, έχουν καθορισθεί διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών σύμφωνα με τις πιθανότητες ενεργοποίησης και απαιτήσεις του εύρους ζώνης που έχουν.

#### 4.6.1 Κινητικότητα Χρηστών

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται το μοντέλο κινητικότητας που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα μελέτη.

##### 4.6.1.1 Πιθανότητες μετακίνησης μεταξύ RNC

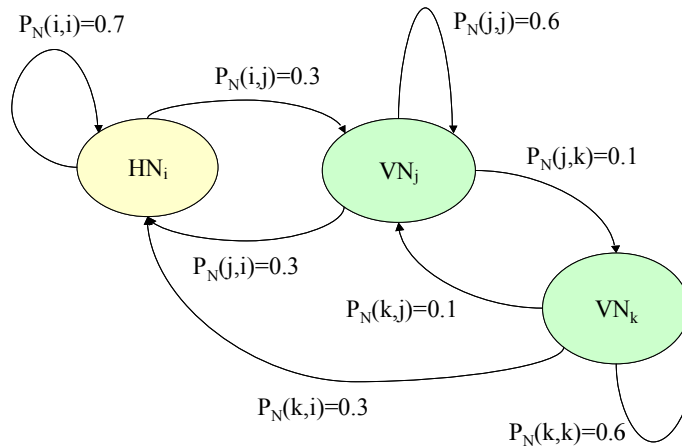
Ο όρος  $P_{RNC}(i,j)$  δείχνει την πιθανότητα κίνησης ενός χρήστη από το RNC<sub>i</sub> προς το RNC<sub>j</sub> (Εικόνα 4-12). Ο χρήστης παραμένει στο ίδιο RNC<sub>i</sub> με  $P_{RNC}(i,i) = 0.6$  ή μετακινείται από το RNC<sub>i</sub> προς το RNC<sub>j</sub> με πιθανότητα  $P_{RNC}(i,j) = 1 - P_{RNC}(i,i)$



Εικόνα 4-12: Πιθανότητες μετακίνησης μεταξύ RNC

##### 4.6.1.2 Πιθανότητες Μετακίνησης μεταξύ δικτύων

Ο όρος  $P_N(i,j)$  δείχνει την πιθανότητα μετακίνησης ενός χρήστη από το δίκτυο  $i$  προς το δίκτυο  $j$ . Ένας χρήστης παραμένει στο οικείο δίκτυό του με πιθανότητα  $P_N(i,i)=0.7$  και μετακινείται σε κάποιο άλλο δίκτυο (επισκεπτόμενο δίκτυο με πιθανότητα  $P_N(i,j) = 1 - P_N(i,i)$  μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος. Ένας χρήστης σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο, έχει πιθανότητα  $P_N(i,j) = 0,3$  να επιστρέψει στο οικείο δίκτυό του,  $P_N(i,i) = 0,6$  να παραμείνει στο ίδιο δίκτυο και  $P_N(i,z) = 0,1$  να κινηθεί προς ένα άλλο τρίτο δίκτυο (Εικόνα 4-13).



Εικόνα 4-13: Πιθανότητες Μετακίνησης μεταξύ δικτύων

#### 4.6.2 Διαδικασία Άφιξης / αναχώρησης χρηστών από το σύστημα

Οι χρήστες εισέρχονται στο σύστημα σύμφωνα με την διαδικασία Poisson και κατανέμονται ομοιόμορφα στο δίκτυο. Η εισαγωγή τους σε οικείο ή σε επισκεπτόμενο δίκτυο είναι ισο-πίθανη. Τέλος, οι χρήστες φεύγουν από το σύστημα με τυχαίο τρόπο και σε τυχαίο χρόνο.

#### 4.6.3 Χρονικές Παράμετροι

Κάθε «κίνηση» ενός χρήστη συνεπάγεται μια δικτυακή σηματοδosis μεταξύ των διασυνδεδεμένων δικτύων, ώστε ο χρήστης να εξυπηρετείται συνεχώς και διαφανώς. Η σηματοδosis αυτή έχει κάποιο χρονικό κόστος. Για το λόγο αυτό καθορίζονται οι ακόλουθες τυχαίες μεταβλητές:

- T1: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την κλήση υπηρεσιών όταν ο χρήστης βρίσκεται στο οικείο δίκτυό του.
- T2: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την κλήση υπηρεσιών όταν ο χρήστης βρίσκεται σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο.
- T3: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την κίνηση ενός χρήστη από το Node  $B_i$  στο Node  $B_j$  τα οποία ανήκουν στο ίδιο δίκτυο.
- T4: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την κίνηση ενός χρήστη από το Node  $B_i$  στο Node  $B_j$  τα οποία ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα.



- T5: Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την κίνηση ενός χρήστη από το RNC<sub>i</sub> στο RNC<sub>j</sub> τα οποία ανήκουν στο ίδιο δίκτυο.

Τέλος, ορίζουμε το χρόνο μεταπομπής RNC σταθερό και ίσο με α= 1,5 δευτερόλεπτα. Επομένως, υποθέτουμε ότι ο χρόνος T4= T3+α. Οι ανωτέρω τυχαίες μεταβλητές ακολουθούν Gaussian κατανομές και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-2.

Χρονικό Κόστος		Τιμή (δευτ.)
Service window time	Σταθερή τιμή	360
T <sub>1</sub>	Μέση τιμή	0.2
	Τυπική απόκλιση	0.05
T <sub>2</sub>	Μέση τιμή	183
	Τυπική απόκλιση	5
T <sub>3</sub>	Μέση τιμή	2.012
	Τυπική απόκλιση	0.331
T <sub>4</sub>	Μέση τιμή	183
	Τυπική απόκλιση	5
T <sub>5</sub>	Σταθερή τιμή	1.5

Πίνακας 4-2: Χαρακτηριστικά κατανομών

Μια πολύ σημαντική πτυχή της υπόψη προσομοίωσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα χρήστη να διασχίσει κάθε κυψέλη (Cell Residence Time (CRT)). Χρησιμοποιήθηκε η Γενικευμένη Κατανομή Γάμμα (Generalized Gamma Distribution GGD), για να εξομοιωθεί ο χρόνος που ένας χρήστης παραμένει σε μια κυψέλη, η οποία θεωρείται ότι δίνει αρκετά αντιπροσωπευτικούς χρόνους παραμονής χρηστών σε κυψέλες δικτύων κινητής τηλεφωνίας [55]. Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Γενικευμένης Κατανομής Γάμμα είναι:

$$f(t; \alpha, b, c) = \frac{c}{b^{\alpha c} \Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{b}\right)^c} \quad (1)$$

$t, \alpha, b, c > 0$

$$\text{όπου } \Gamma(y) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{y-1} dx, \quad y > 0$$

Οι σταθερές στην f(t,a,b,c) ορίζονται ως ακολούθως: α=2.31, c=1.173 και b=1.22·R (όπου R είναι η ισοδύναμη ακτίνα κυψέλης – equivalent cell radius). Η ισοδύναμη ακτίνα κυψέλης ορίζεται ως ακολούθως :

$$R = R_c \frac{V'}{V}$$

Όπου  $R_c$ ,  $V'$  και  $V$  είναι η ακτίνα της κυψέλης, η ταχύτητα αναφοράς και η ταχύτητα του χρήστη αντιστοίχως. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου η γεωμετρία της κυψέλης είναι γνωστή, η τιμή της  $R_c$  μπορεί να είναι διαφορετική από κυψέλη σε κυψέλη. Η ισοδύναμη ακτίνα κυψέλης έχει ορισθεί στην εργασία [55]. Η ισοδύναμη ακτίνα κυψέλης  $R$  λαμβάνει μεγάλες τιμές όταν, άσχετα από την πραγματική ακτίνα της κυψέλης, ο χρόνος παραμονής του χρήστη μεγαλώνει (λόγω της μικρής ταχύτητας του). Έτσι, παρόλο που η πραγματική ακτίνα της κυψέλης είναι της τάξης των 100 μέτρων, η ισοδύναμη ακτίνα κυψέλης για ένα χρήστη που βαδίζει (ταχύτητα 6 χλμ/ώρα) είναι 5 με 6 χλμ. Η ταχύτητα αναφοράς  $V'$  είναι μια μέση ταχύτητα που χρησιμοποιείται στην αναφορά [55] για τον υπολογισμό των  $a$ ,  $b$  και  $c$ . Στις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, υιοθετήθηκαν οι παρακάτω τιμές για όλες τις κυψέλες:

$$R_c = 0.1 \text{ km}, \quad V' = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}, \quad V = 6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad 4-1$$

Η κατανομή Pareto χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση του χρόνου που ο χρήστης αλληλεπιδρά με μια υπηρεσία (User Think Time- UTT) και του χρονικού διαστήματος μεταξύ δυο κλήσεων υπηρεσιών από ένα χρήστη (User Service Request Time -USRT). Η κατανομή Pareto δίδεται:

$$F(x) = P[X \leq x] = \begin{cases} 1 - \left(\frac{v}{x}\right)^w, & v \leq x \\ 0, & x < v \end{cases} \quad 4-2$$

Όπου  $w$  είναι ένας παράγοντας διαμόρφωσης. Στο μοντέλο προσομοίωσης που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, το  $w=1.5$  για την προσομοίωση του UTT και σαν κατώτερο όριο για την τυχαία μεταβλητή  $X$  χρησιμοποιήθηκε η τιμή 20 ( $v=20$ ).

Τέλος, ως Service Retrieval Time (SRT) ορίζεται ο χρόνος για το «κατέβασμα» μιας υπηρεσίας από έναν πάροχο υπηρεσιών. Χρησιμοποιήθηκαν τα χρονικά κόστη που περιγράφονται στον Πίνακα 4-2 ώστε να παραχθούν Gaussian τιμές με-

ταβλητών. Εάν ένας χρήστης ζητήσει μια νέα υπηρεσία μέσα σε έναν προκαθορισμένο χρόνο (service cache time ή service window time) τότε αυτή η υπηρεσία δεν ανακτάται από τον αντίστοιχο φορέα παροχής υπηρεσιών (δηλαδή, ο χρόνος Service Retrieval Time (SRT) δεν προστίθεται) καθώς θεωρείται ότι είναι ήδη cached στο τρέχον δίκτυο. Ο υπόψη προκαθορισμένος χρόνος (Service window time) είναι 360 δευτερόλεπτα.

#### 4.6.4 Κατηγορίες Χρηστών

Στις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο εξετάστηκαν τρεις κατηγορίες κινητών χρηστών: Υψηλής, Μέτριας και Χαμηλής (High, Medium και Low Mobility – HM, MM και LM) κινητικότητας χρήστες. Οι νέοι χρήστες παράγονται με τις πιθανότητες  $P(HM)=0.2$ ,  $P(MM)=0.3$  και  $P(LM)=0.5$  αντίστοιχα. Κάθε κατηγορία χρηστών χαρακτηρίζεται από διαφορετικές παραμέτρους στην Γενικευμένη Γάμμα Κατανομή και συγκεκριμένα της παραμέτρου  $V$  (Εξίσωση 4-1). Η παράμετρος  $V$  λαμβάνει τις τιμές 6, 30 και 50 χιλ/ώρα για τις κατηγορίες LM, MM και HM αντίστοιχα.

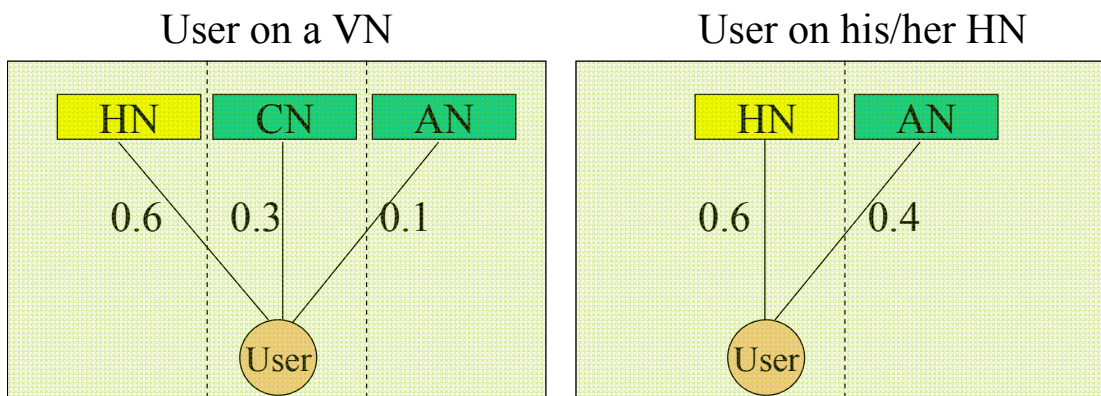
#### 4.6.5 Τύποι Υπηρεσιών

Στις προσομοιώσεις που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο προσφέρονται στους χρήστες τρεις τύποι υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες ενεργοποιούνται τυχαία σύμφωνα με την αντίστοιχη πιθανότητα ενεργοποίησής τους και έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε δικτυακούς πόρους (Πίνακας 4-3). Ο τύπος υπηρεσιών Α αντιπροσωπεύει κλίσεις φωνής, ο τύπος υπηρεσιών Β αντιστοιχεί σε εφαρμογές υπηρεσιών που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης και τέλος, ο τύπος υπηρεσιών Γ αφορά υπηρεσίες browsing στο Διαδίκτυο.

Υπηρεσία	Πιθανότητα ενεργοποίησης	Bandwidth (Kbps)
A	0.5	13
B	0.3	256
C	0.2	128

Πίνακας 4-3: Είδη υπηρεσιών- Πιθανότητες ενεργοποίησης και απαιτήσεις σε B/W

Η κλήση υπηρεσιών έχει μοντελοποιηθεί σύμφωνα με την τρέχουσα θέση του χρήστη. Όταν ένας χρήστης βρίσκεται σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο (Visited Network - VN) ζητά μια υπηρεσία με πιθανότητα  $P(S_i) = 0,6$  από το οικείο δίκτυο του (Home Network - HN), με  $P(S_i) = 0,3$  από το δίκτυο στο οποίο βρίσκεται (Current Network - CN) και με  $P(S_i) = 0,1$  από κάποιο άλλο δίκτυο (Another Network - AN) (Εικόνα 4-14 αριστερά). Όταν ένας χρήστης εξυπηρετείται από το οικείο δίκτυό του ζητά μια υπηρεσία από το οικείο δίκτυο του με πιθανότητα  $P(S_i) = 0,6$  και από κάποιο άλλο δίκτυο με πιθανότητα  $P(S_i) = 0,4$  (Εικόνα 4-14 δεξιά).



Εικόνα 4-14: Πιθανότητες κλήσης υπηρεσιών.

#### 4.6.6 Χωρητικότητα Δικτύου και γραμμών δικτύου

Η χωρητικότητα κάθε δικτυακής οντότητας μοντελοποιήθηκε σύμφωνα με την αναφορά [57]. Ο Πίνακας 4-4 παρουσιάζει τις διάφορες δικτυακές οντότητες που χρησιμοποιήθηκαν στην υπόψη προσομοίωση μαζί με τις αντίστοιχες χωρητικότητες τους  $C_{Net}$ ,  $C_{RNC}$  και  $C_{NodeB}$ . Η χωρητικότητα του κάθε δικτύου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των RNCs του με τη χωρητικότητα του κάθε RNC, ενώ η χωρητικότητα κάθε RNC υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των Node B του με την χωρητικότητα του κάθε Node B. Η εξίσωση 4-3 συνοψίζει τους παραπάνω συσχετισμούς των χωρητικότητων:

$$C_{NET_i} = \sum_{j,k} (C_{RNC})_j + (C_{NodeB})_{j,k} \quad 4-3$$

όπου το  $i$  δείχνει ότι το δίκτυο  $i$  έχει  $j$  RNC και κάθε RNC έχει το  $k$  NodeB που συνδέονται σε αυτό.

Entity	Capacity (Mbps)	Number
Network (Home or Visited)	1830	5
RNC	366	5 per Network
Node B	18,3	20 per RNC

**Πίνακας 4-4 Δικτυακές οντότητες και η αντίστοιχη χωρητικότητά τους**

Επιπλέον, μοντελοποιήθηκε η χωρητικότητα των γραμμών που διασυνδέουν τις προαναφερθείσες δικτυακές οντότητες. Η χωρητικότητα γραμμής (Line Capacity 1 – LC1) είναι η χωρητικότητα της γραμμής που διασυνδέει ένα Node B με ένα RNC και είναι ίση με 1830 Mbps, ενώ η LC2 αναφέρεται στη χωρητικότητα της γραμμής που συνδέει ένα RNC με το Network που είναι ίσο με 366 Mbps. Η χωρητικότητα γραμμής που διασυνδέει ένα Network με τα άλλα Networks είναι ίση με 1830 Mbps διαιρούμενη με το συνολικό αριθμό δικτύων που προσομοιώθηκαν. Τέλος, η συνολική χωρητικότητα γραμμών του προσομοιωμένου δικτύου είναι η LC3 και είναι ίση με 1830 Mbps. Οι χωρητικότητες των γραμμών συσχετίζονται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$LC_3 = \sum_{j=2}^L (LC_2)_j \quad 4-4$$

$$LC_{2_j} = \sum_{k=2}^R (LC_1)_k \quad 4-5$$

όπου το j αντιπροσωπεύει το j RNC που υποστηρίζει k Node B(s).

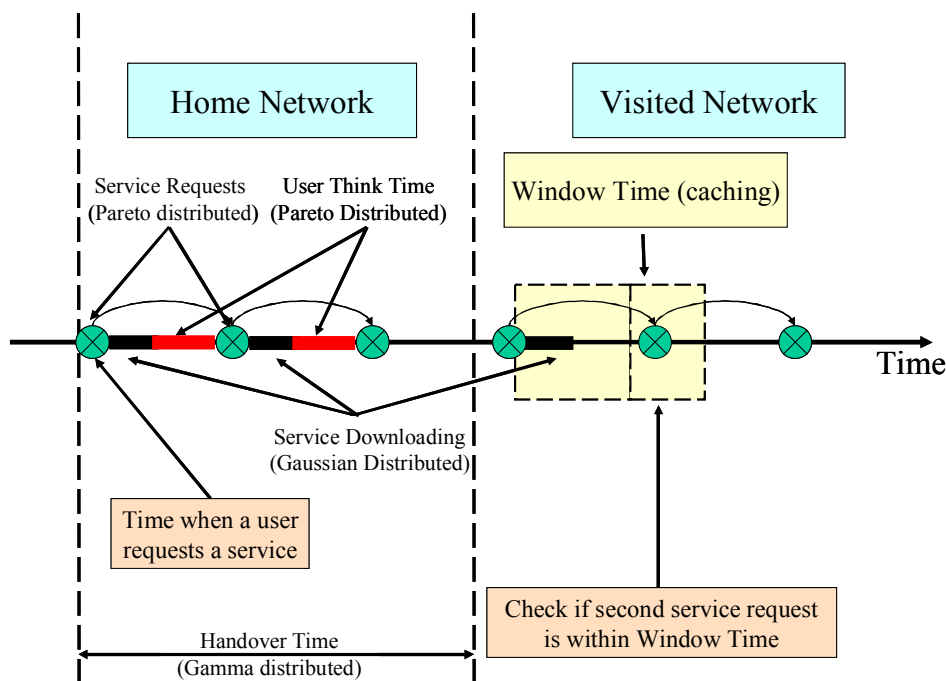
#### 4.6.7 Σενάρια Προσομοίωσης

Το προτεινόμενο πλαίσιο παροχής υπηρεσιών προσομοιώθηκε και συγκρίθηκε με ένα συμβατικό πλαίσιο παροχής υπηρεσιών. Στις επόμενες παραγράφους αναλύεται κάθε σενάριο προσομοίωσης καθώς και οι σχετικές υποθέσεις που έγιναν στο κάθε ένα.

##### 4.6.7.1 Σενάριο με ΚΠ (Mobile Agent)

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, ένας χρήστης εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης ενός NodeB που ανήκει στο οικείο δίκτυό του και ζητά την εκτέλεση μιας υπηρεσίας. Ο χρόνος αίτησης για την υπηρεσία (Service Request Time) μοντελοποιείται με τιμές από Pareto κατανομή ενώ ο χρόνος ανάκτησης της υπηρεσίας (Service Retrieval

Time) από μια κανονική (normal) κατανομή. Ο χρόνος αλληλεπίδρασης του χρήστη με μια υπηρεσία (User Think Time) μοντελοποιείται με Pareto κατανομή. Εάν ο χρόνος του επόμενου αιτήματος για την ίδια υπηρεσία είναι μικρότερος από ένα προκαθορισμένο χρονικό παράθυρο, η υπηρεσία θεωρείται αποθηκευμένη σε μια τοπική λανθάνουσα μνήμη (cache). Στο πρώτο αίτημα της υπηρεσίας η τοπική cache θεωρείται κενή ενώ στις επόμενες κλήσεις της ίδιας υπηρεσίας (δηλαδή, ο Service Agent) είτε ανακτάται από το οικείο δίκτυο του (στην προκειμένη περίπτωση αποτελεί τον πάροχο υπηρεσιών) είτε ανακτάται από την τοπική cache. Οι αλληλεπιδράσεις του χρήστη με τις υπηρεσίες πραγματοποιούνται μέχρι να πραγματοποιηθεί η επόμενη μεταπομπή (handover) του χρήστη. Ο χρόνος μεταπομπής (handover time) ακολουθεί τη Γάμμα κατανομή. Ο χρήστης μετά από μια μεταπομπή, αρχίζει να αλληλεπιδρά με τις υπηρεσίες μέχρι να συμβεί η επόμενη μεταπομπή του. Στην Εικόνα 4-15 εμφανίζονται οι προαναφερθείσες υποθέσεις.



Εικόνα 4-15: Υποθέσεις προσομοίωσης πλαισίου

#### 4.6.7.2 Σενάριο χωρίς ΚΠ ( Without Mobile Agents -WMA)

Στο δεύτερο πλαίσιο εξετάστηκε μια συμβατική οργάνωση παροχής υπηρεσιών που πραγματοποιεί την έννοια του VHE χωρίς τη χρήση ΚΠ (παρακάτω αναφέρεται ως Without Mobile Agents "WMA"). Τα αιτήματα του χρήστη διαβιβάζονται από το δίκτυο που βρίσκεται (επισκεπτόμενο δίκτυο) στο οικείο δίκτυό του και η υπηρε-

σία μεταφέρεται από το οικείο δίκτυο του χρήστη στο δίκτυο που τον εξυπηρετεί. Λόγω της απουσίας ΚΠ, κάθε φορά που μετακινείται ο χρήστης σε ένα διαφορετικό δίκτυο και ζητά μια υπηρεσία, η υπηρεσία ανακτάται από το οικείο του δίκτυό του και είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια της τρέχουσας συνόδου του χρήστη.

Στο σενάριο αυτό γίνονται οι ακόλουθες υποθέσεις:

- Υιοθετείται το ίδιο μοντέλο κινητικότητας χρηστών όπως και στην περίπτωση του πλαισίου που χρησιμοποιούνται οι ΚΠ (δηλαδή, ίδιες πιθανότητες ελέγχου).
- Τα χρονικά κόστη είναι τα ίδια όπως και στην προηγούμενη περίπτωση με τους ΚΠ, αλλά χρεώνονται διαφορετικά:
  1. Το χρονικό κόστος για ένα αίτημα υπηρεσίας που εκτελείται στο οικείο δίκτυο του χρήστη είναι της τάξης των 0.2 δευτερολέπτων (μικρό χρονικό κόστος)
  2. Το χρονικό κόστος για ένα αίτημα υπηρεσίας που εκτελείται σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο είναι της τάξης των 183 δευτερολέπτων (μεγάλο χρονικό κόστος).
  3. Δεν γίνεται αποθήκευση των υπηρεσιών στα επισκεπτόμενα δίκτυα. Στο οικείο δίκτυο δεν υπάρχει καμία ανάγκη αποθήκευσης δεδομένου ότι το χρονικό κόστος για μια κλήση υπηρεσιών είναι εξαιρετικά χαμηλό.

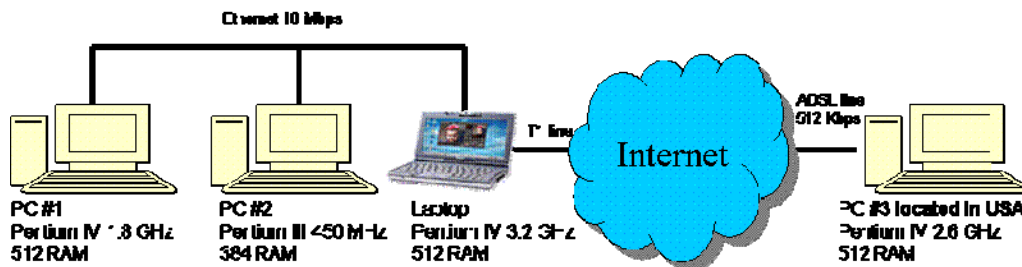
Ο Πίνακας 4-5 συνοψίζει τα χρονικά κόστη που καταλογίζονται στον χρήστη σε κάθε κλήση υπηρεσίας για τα δύο προαναφερθέντα σενάρια.

Υπηρεσία / Δίκτυο		MA	WMA
Επαναχρησιμοποίηση Υπηρεσίας < Service window	Οικείο Δίκτυο	Μικρός	Μικρός
	Επισκεπτόμενο Δίκτυο	Μικρός	Μεγάλος
Επαναχρησιμοποίηση Υπηρεσίας > Service window	Οικείο Δίκτυο	Μικρός	Μικρός
	Επισκεπτόμενο Δίκτυο	Μεγάλος	Μεγάλος

**Πίνακας 4-5 Χρονικά Κόστη που καταλογίζονται στον χρήστη για κάθε κλήση υπηρεσιών**

#### 4.7 Αξιολόγηση Απόδοσης

Η υποδομή του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της προτεινόμενης πλατφόρμας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-16. Το σύστημα είναι ένα τοπικό LAN με τρεις τερματικούς σταθμούς, δύο Η/Υ και ένα laptop, με το τελευταίο να συνδέεται με το Διαδίκτυο μέσω μιας T1 γραμμής. Ένας τερματικός σταθμός που βρίσκεται στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται για τη φιλοξενία των κινητών χρηστών (επισκεπτόμενο δίκτυο). Οι μετρήσεις που λήφθηκαν από αυτό το σύστημα χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι εισαγωγής στην προσομοίωση των διαφόρων περιπτώσεων.



Εικόνα 4-16: Τοπολογία δικτύου αξιολόγησης απόδοσης

##### 4.7.1 Μετρικές Συστήματος

Στην μελέτη προσομοίωσης του συστήματος που βασίστηκε στα προηγούμενα σενάρια κίνησης των χρηστών διακρίνουμε τις μεταπομπές (handovers) των χρηστών που συμβαίνουν στο οικείο τους δίκτυο (HN) από αυτές που συμβαίνουν στα επισκεπτόμενα δίκτυα (VN) για να παρουσιαστεί η διαφορετική συμπεριφορά των συστημάτων στα HNs και VNs αντίστοιχα.

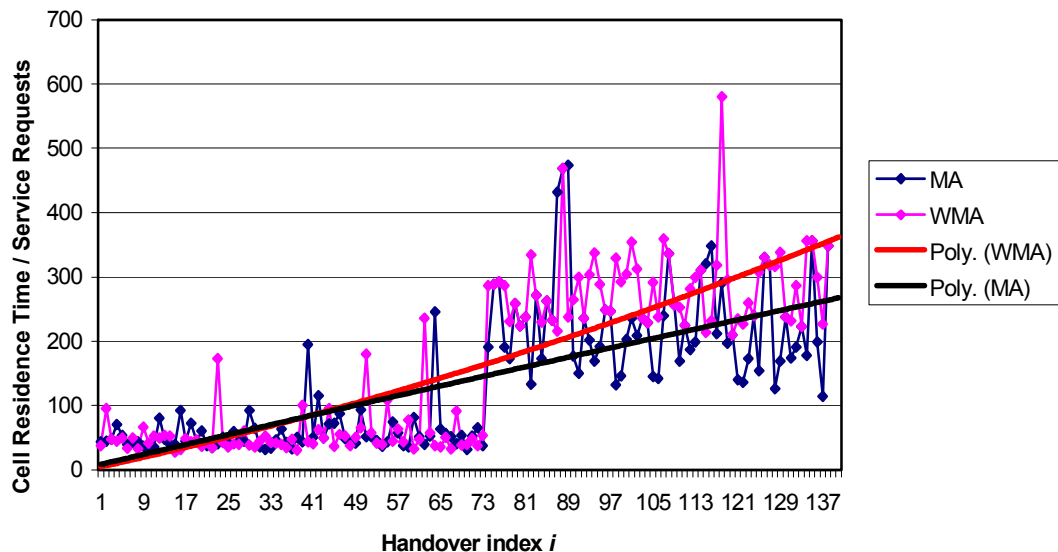
Στην εξίσωση 4-6, ορίζεται η μετρική Service per Cell (SpC) ως το κλάσμα του χρόνου παραμονής του χρήστη σε μία κυψέλη (Cell Resistant Time) προς τον αριθμό των αιτηθέντων υπηρεσιών (Requested Services -RS<sub>i</sub>) που ζητά ο χρήστης πριν από την μεταπομπή του σε κάποια άλλη κυψέλη (i):

$$SpC_i = \frac{CRT_i}{RS_i} \quad 4-6$$

Στην Εικόνα 4-17 (με τη χρήση 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής), απεικονίζονται οι μεταπομπές που πραγματοποιούνται στα δύο συστήματα. Οι με-



ταπομπές από τους δείκτες 1 έως 74 εμφανίστηκαν στα οικεία δίκτυα (HN) των χρηστών όπου και τα δύο συστήματα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά (δηλαδή, κλήση περίπου του ίδιου αριθμού υπηρεσιών). Οι μεταπομπές από τους δείκτες 75 έως 138 εμφανίστηκαν σε επισκεπτόμενα δίκτυα των χρηστών (VN) όπου το πλαίσιο των ΚΠ επιτρέπει στους χρήστες να καλούν περισσότερες υπηρεσίες από ότι στο συμβατικό σύστημα.



Εικόνα 4-17: Χρόνος Παραμονής στην κυψέλη  $i$  / Αιτήσεις Υπηρεσιών vs. Handovers

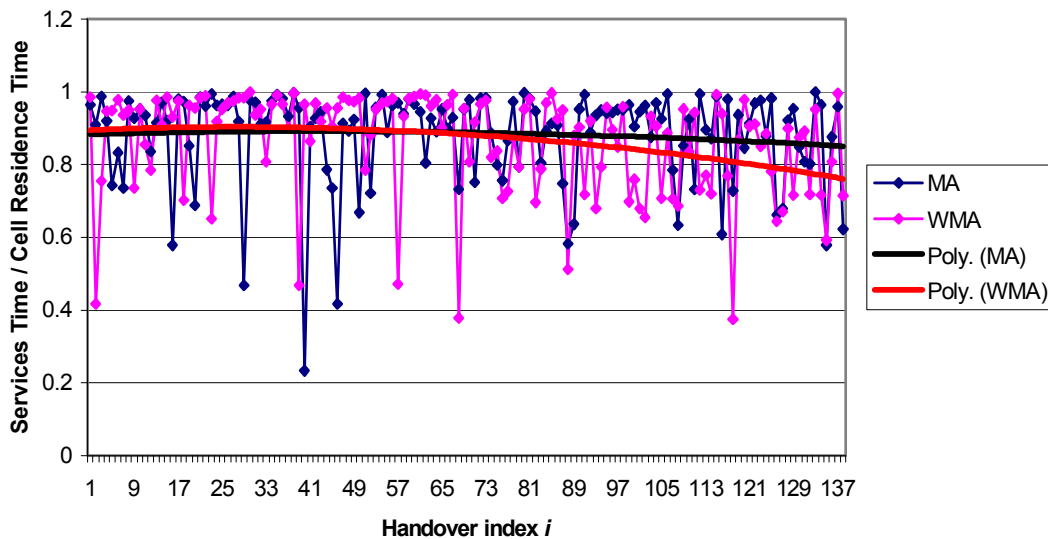
Στην εξίσωση 4-7, ορίζεται ο χρόνος χρήσης μιας υπηρεσίας (Service Usage Time -SUT) ως ο συνολικός χρόνος των αιτηθέντων και χρησιμοποιηθέντων από το χρήστη υπηρεσιών πριν από την επόμενη μεταπομπή ( $i$ ):

$$SUT_i = \frac{1}{CRT_i} \sum_{j=1}^{RS_i} (SRT + UTT)_j \quad \begin{matrix} 4-7 \\ (7) \end{matrix}$$

όπου το  $j$  δείχνει τον αριθμό των αιτηθέντων υπηρεσιών πριν από τη μεταπομπή ( $i$ ).

Στην Εικόνα 4-18 (με τη χρήση 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής), απεικονίζεται ο συνολικός χρόνος υπηρεσιών σε σχέση με τον αριθμό των μεταπομπών που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αντίστοιχα με πριν, μεταπομπές από τους δείκτες 1 έως 74 εμφανίστηκαν στα οικεία δίκτυα

(HN) των χρηστών, όπου και τα δύο συστήματα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Οι μεταπομπές από τους δείκτες 75 έως 138 εμφανίστηκαν σε επισκεπτόμενα δίκτυα των χρηστών (VN). Στα επισκεπτόμενα δίκτυα (VN), οι ΚΠ ξεπερνούν το συμβατικό σύστημα δεδομένου ότι πετυχαίνουν βελτιωμένο χρόνο χρήσης υπηρεσιών (π.χ., παρέχονται περισσότερες υπηρεσίες στο χρήστη).



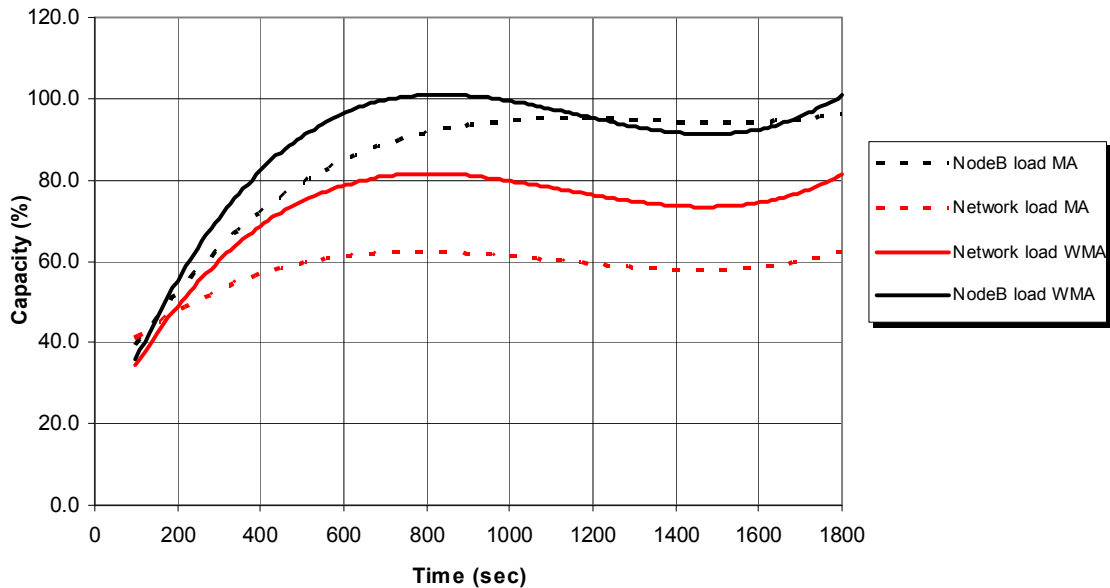
Εικόνα 4-18: Χρόνος Υπηρεσιών/Χρόνος Παραμονής σε Κυψέλες vs. Μεταπομπές

#### 4.7.2 Χωρητικότητα

Στην Εικόνα 4-19 απεικονίζεται ο φόρτος των δικτυακών οντοτήτων κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης (με τη χρήση πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής). Η προσομοίωση αρχίζει με την τυχαία άφιξη των χρηστών στο δίκτυο. Οι χρήστες εισάγονται τυχαία σε κάποιο Node B και ταυτόχρονα αξιολογούνται τα αποτελέσματα των δύο συστημάτων MA και WMA. Αρχικά, τα δύο συστήματα παρουσιάζουν παρόμοιο φόρτο καθώς οι χρήστες που ζητούν υπηρεσίες από το οικείο δίκτυό τους ή από κάποιο άλλο δίκτυο περιμένουν την ίδια χρονική περίοδο για την υπηρεσία να “κατέβει” (χρόνος T2 στον Πίνακα 4-2). Με την πάροδο του χρόνου, αυξάνονται και τα αιτήματα των χρηστών. Παρατηρείται ότι το φορτίο στο WMA αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από αυτό του συστήματος MA.

Όταν μια αιτηθείσα υπηρεσία “κατεβαίνει” από κάποιο δίκτυο (με μέσο χρόνο 180sec), αποθηκεύεται προσωρινά στο Node B και προσφέρεται στο χρήστη. Η ανάκτηση υπηρεσιών για διαφορετικούς χρήστες στο ίδιο Node B για την ίδια υπηρεσία (ίδιος τύπος υπηρεσίας και από το ίδιο δίκτυο) εκτελείται από το προσωρινή

cache του Node B. Οι υπηρεσίες που ανακτώνται από την τοπική cache παρέχονται στους χρήστες χωρίς επιφόρτιση του υπολοίπου δικτύου. Εάν κατά τη διάρκεια της παροχής υπηρεσιών ένα Node B ζητήσει περαιτέρω στοιχεία για την υπηρεσία, τότε επιπλέον φορτίο προστίθεται στο δίκτυο. Αυτό εξηγεί γιατί ο μέσος φόρτος των Node B και στα δύο συστήματα είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτό των Networks. Γύρω στα 800 δευτερόλεπτα ο μέσος φόρτος των Node B στο WMA σύστημα έχει φθάσει στο 100 τοις εκατό και ο φόρτος στα Networks είναι 80 τοις εκατό. Ταυτόχρονα στο σύστημα MA ο μέσος φόρτος των Node B 95 τοις εκατό και ο φόρτος στα Networks είναι 60 τοις εκατό.



Εικόνα 4-19: Φόρτος στα Δίκτυα και στα NodeB και στα δύο συστήματα

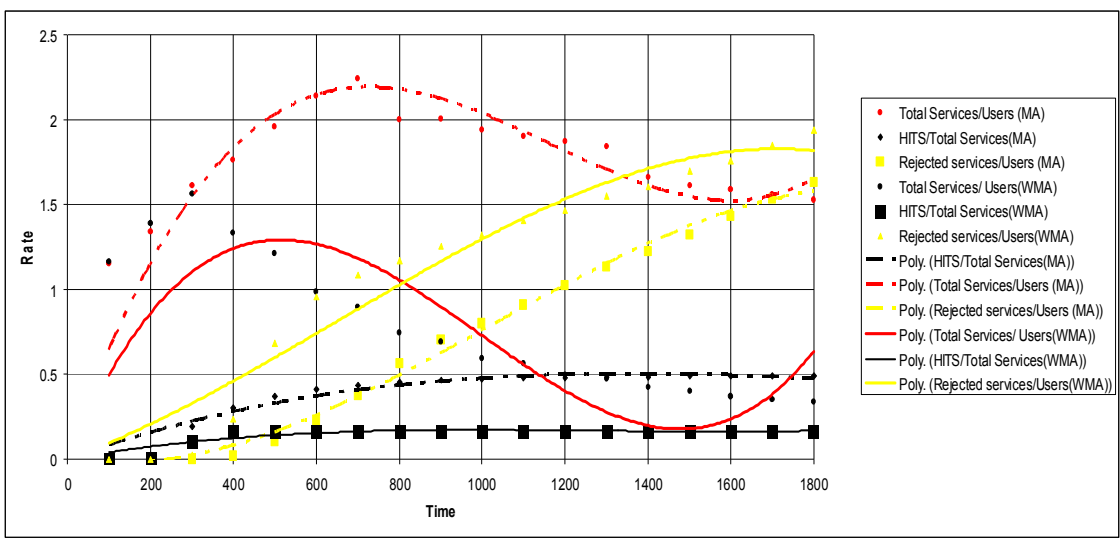
Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων ο μέσος αριθμός χρηστών που εισήλθαν/μετακινήθηκαν και έφυγαν από το σύστημα ήταν περίπου ο ίδιος και στα δύο συστήματα ενώ οι υπηρεσίες που προσφέρονται από το σύστημα MA είναι κατά μέσο όρο τρεις φορές περισσότερες από τις υπηρεσίες που προσφέρονται από το σύστημα WMA (Πίνακας 4-6).

		MA	WMA
Χρήστες	Created	458.375	412.050
	Deleted	68.953	57.504
	Moved/Roamed	396.684	349.762
Υπηρεσίες	Συνολικά	598.936	173.605

Πίνακας 4-6: Παράμετροι Προσομοίωσης

Σε Εικόνα 4-20 απεικονίζονται (με τη χρήση πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής τρίτης τάξης) ο μέσος όρος των παρακάτω αναλογιών:

- (α) Υπηρεσίες που ανακτώνται από την τοπική cache ενός Node B (σημειώνεται ως HITS) προς τις συνολικές υπηρεσίες που καλούνται σε αυτό,
- (β) Τον αριθμό των υπηρεσιών που προσφέρονται επιτυχώς στους χρήστες προς το συνολικό αριθμό των χρηστών, και
- (γ) Τον αριθμό των αποτυχημένων αιτήσεων για υπηρεσίες προς το συνολικό αριθμό των χρηστών.



Εικόνα 4-20: Σύγκριση παροχής υπηρεσιών

Στην Εικόνα 4-20 παρατηρείται ότι καθώς η προσομοίωση εξελίσσεται το σύστημα MA ξεπερνά το σύστημα WMA. Συγκεκριμένα, στη (β) περίπτωση, η αναλογία MA/WMA είναι «σχεδόν» σταθερή, όταν ο χρόνος προσομοίωσης ξεπερνά τα 600 δευτερόλεπτα ενώ για την (α) περίπτωση η ίδια αναλογία διατηρείται σταθερή όταν ο χρόνος προσομοίωσης ξεπερνά τα 800 δευτερόλεπτα. Τέλος, για τη (γ) περίπτωση στο σύστημα MA οι αιτήσεις για υπηρεσίες που δεν έγιναν δεκτές λόγω φόρτου είναι «σχεδόν» οι μισές από τις απορριφθείσες υπηρεσίες στο σύστημα WMA σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Από τις εικόνες Εικόνα 4-18 Εικόνα 4-19 παρατηρούμε ότι το σύστημα MA προσφέρει περισσότερες υπηρεσίες από το σύστημα WMA ακόμα κι όταν και τα δύο συστήματα έχουν περίπου τον ίδιο μέσο φόρτο στα NodeBs (χρόνος προσομοίωσης μεγαλύτερος των 800sec). Επιπλέον, καθώς η αναλογία των απορριφθεισών υπηρεσιών προς τους χρήστες αυξάνεται

και στα δύο συστήματα, η συνολική προσφορά υπηρεσιών μειώνεται αντίστοιχα στα δύο συστήματα. Μετά από χρόνο προσομοίωσης 1200sec, τα δύο συστήματα σταθεροποιούνται σε σχέση με τα αιτήματα υπηρεσιών μέχρι το τέλος της προσομοίωσης.

#### 4.8 Συμπεράσματα

Η παροχή υπηρεσιών σήμερα, είναι μια πολύ σημαντική πτυχή στην βιομηχανία των κινητών επικοινωνιών. Η τρέχουσα τεχνολογία στο κεντρικό δίκτυο και στα τερματικά χρηστών είναι αρκετά ώριμη να υποστηρίξει και να ωθήσει τους φορείς παροχής υπηρεσιών προς αυτήν την κατεύθυνση. Η υπηρεσία VHE, μια έννοια που εισάγεται στα δίκτυα 3 γενιάς, ενισχύει την υποδομή για μετακίνηση υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες. Ο χρήστης λαμβάνει την ίδια υπηρεσία ανεξάρτητα από το τρέχον δίκτυο, την τεχνολογία πρόσβασης και την τερματική συσκευή του.

Υποστηρίζουμε την ιδέα ότι το VHE είναι εφικτό με τη χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ αναλαμβάνοντας όλες τις απαραίτητες διαδικασίες επικοινωνίας στο επίπεδο εφαρμογής, ανεξάρτητα από το υποκείμενο δίκτυο. Στις προηγούμενες ενότητες, παρουσιάστηκε μια τέτοια εφαρμογή. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα ευπροσάρμοστο πλαίσιο για την παροχή υπηρεσιών στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Η χρήση των ΚΠ επιτρέπει τη φορητότητα των υπηρεσιών, ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα στις ετερογενείς υποδομές των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Στο υπόψη σύστημα, η λογική των υπηρεσιών ενθυλακώνεται από τους ΚΠ που προσφέρουν έτσι υψηλή απόδοση, βελτιωμένη ασφάλεια και μεταβλητότητα. Ένας σημαντικός παράγοντας στην αποδοτικότητα είναι η αποθήκευση υπηρεσιών σε δικτυακές οντότητες των διαφορετικών από τα οικεία δίκτυα των χρηστών. Η αποθήκευση αυτή αυξάνει την αποδοτικότητα, τη χρησιμοποίηση των δικτυακών οντοτήτων και τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών. Επιπλέον, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική κληρονομεί τα προφανή οφέλη που προέρχονται από την υιοθέτηση των ΚΠ (π.χ., αυτόνομη λειτουργία).

Τα πειράματα, που εκπονήθηκαν στην παρούσα εργασία έδειξαν τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και τα πλεονεκτήματά της σε σχέση με συμβατικά παραδείγματα εφαρμογής/κλήσης υπηρεσιών. Επίσης, οι ποι-

Κινητοί Πράκτορες: Εφαρμογή σε Υπηρεσίες Κινητού Υπολογισμού και Αρχιτεκτονικές Βελτιώσεις

οτικές πτυχές, όπως για παράδειγμα η ουδετερότητα που προσφέρει η χρήση της πλατφόρμας αναδεικνύεται μέσω των πειραμάτων αξιολόγησης της απόδοσης.

Τα θέματα που αναλύθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται στις δημοσιεύσεις: [164],[165], [169] και [171].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΠΑΡΟΧΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

#### 5.1 Εισαγωγή

Η αποδοτική εκτέλεση ασύρματων εφαρμογών είναι υψίστης σημασίας δεδομένου του δυναμικού περιβάλλοντος των ασυρμάτων δικτύων. Οι διακοπές των συνδέσεων που εμφανίζονται με σχεδόν πιθανολογικό τρόπο, καθιστούν την εκτέλεση των εφαρμογών αρκετά κουραστική και αβέβαιη. Η έρευνα στον κινητό υπολογισμό έχει εστιάσει σε αυτήν την συγκεκριμένη πτυχή της ασύρματης εκτέλεσης εφαρμογών [78]. Σε αυτή την εργασία υιοθετείται η τεχνολογία των ΚΠ προκειμένου να υπερνικηθούν οι δυσκολίες που ήδη συζητήθηκαν. Σίγουρα, δεν είναι η πρώτη φορά που οι ΚΠ προτείνονται ως μέσο για την εφαρμογή των ασύρματων/ κινητών εφαρμογών. Η αυτόνομη φύση και το ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών τους, παρέχουν την τεχνολογική πλατφόρμα που καθιστά δυνατό το αναδυόμενο πρότυπο υπολογισμού παντού (ubiquitous computing).

Ο κινητός υπολογισμός δεν είναι η μόνη τεχνολογική ανάπτυξη που έχει σημαντικό αντίκτυπο στη βιομηχανία των υπολογιστών σήμερα. Οι αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες προς τις υπηρεσίες (Service Oriented Architectures-SOA) αλλάζουν βαθμιαία τη σύγχρονη δομή του Διαδικτύου και γίνονται βασικός βοηθός στις εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου και στους συναφείς τομείς. Στο προτεινόμενο πλαίσιο οι ΚΠ αποστέλλονται από τα κινητά τερματικά προκειμένου αποτελεσματικά και ακίνδυνα να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες ανάγκες υπολογισμού του κινητού ιδιοκτήτη τους. Η πρωταρχική μέριμνα αφορά στον ακριβή προσδιορισμό των υπηρεσιών που ταιριάζουν περισσότερο με το αίτημα του χρήστη ώστε να ελαχιστοποιηθούν κλίσεις ανεπιθύμητων (ή μη συναφών) υπηρεσιών. Η ακρίβεια του μηχανισμού εύρεσης υπηρεσιών πρέπει να βελτιωθεί για να ωθήσει πραγματικά τον ΚΠ και την προσανατολισμένη στις υπηρεσίες αρχιτεκτονική. Για να επισπεύσουμε τη διαδικασία επερώτησης υπηρεσίας και να απλοποιήσουμε τη σημασιολο-

γία της αίτησης, χρησιμοποιούμε σημασιολογικά εμπλουτισμένους καταλόγους υπηρεσιών. Ένας ακριβής καθορισμός της απαίτησης του χρήστη αντικατοπτρίζεται στις υπάρχουσες υπηρεσίες μέσω ενός σημασιολογικά εμπλουτισμένου καταλόγου.

Το προτεινόμενο πλαίσιο προορίζεται κυρίως για ασύρματα περιβάλλοντα όπου οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε Σημασιολογικές Υπηρεσίες Ιστού (Semantic Web Services -SWS) στο σταθερό δίκτυο. Αυτό το πλαίσιο ενισχύει το σταθερό δίκτυο με τη νοημοσύνη που απαιτείται για να αποστείλει τα αιτήματα για υπηρεσίες του ασύρματου χρήστη κατά τρόπο αποδοτικό, αξιόπιστο και διαφανή. Η προτεινόμενη προσέγγιση επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν πολλαπλές υπηρεσίες με την ελάχιστη αλληλεπίδραση και χωρίς την απαίτηση για σύνδεση του χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια της συνόδου. Επιπλέον, το προτεινόμενο πλαίσιο παρέχει καλύτερη σταθερή χρησιμοποίηση δικτύων δεδομένου ότι, οι περιπτές επικοινωνίες αποφεύγονται και παραδίδονται αξιόπιστα τα αποτελέσματα των υπηρεσιών.

## 5.2 Σχετική Βιβλιογραφία

Σε αυτή την παράγραφο παρέχεται μια επισκόπηση σχετικών εργασιών που υπάρχουν στους τομείς των σημασιολογικών Υπηρεσιών Ιστού και των πολυπρακτορικών συστημάτων και ειδικά στις ερευνητικές δραστηριότητες που συνδυάζουν αυτές τις δύο τεχνολογίες.

Στις εργασίες [63] και [64], χρησιμοποιείται η γλώσσα BPEL (Business Process Execution Language) για να διαμορφώσει απλούς κανόνες που περιγράφουν φυσικές συμπεριφορές των ΚΠ (π.χ., μετακίνηση και κλωνοποίηση). Τέτοιοι απλοί κανόνες είναι χωρισμένοι από τη λογική ενοποίησης (μεταξύ των υπηρεσιών και των ΚΠ) και επιτρέπουν την προσθήκη ή την αλλαγή των φυσικών συμπεριφορών χωρίς τροποποίηση της περιγραφής BPEL. Αυτός ο διαχωρισμός θεωρείται χρήσιμος στο δυναμικό περιβάλλον των Υπηρεσιών Ιστού, εντούτοις, το εν λόγω πλαίσιο υποστηρίζει μόνο προκαθορισμένα συμβάντα. Οι κανόνες φυσικής συμπεριφοράς των ΚΠ δεν εξετάζουν τα δυναμικά γεγονότα που πιθανόν να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας Υπηρεσίας Ιστού αλλά και της κίνησης των ΚΠ. Επιπλέον, και σημαντικότερο, οι υπηρεσίες καταλόγου και τα πολλαπλής εκπομπής πρωτόκολλα (Multicast protocols) υποτίθεται ότι είναι διαθέσιμα και δεν αναφέρο-



νται. Το υπόψη πλαίσιο αναφέρεται μόνο στις αλληλεπιδράσεις που εμφανίζονται μεταξύ των ΚΠ και των Υπηρεσιών Ιστού χωρίς την εξέταση των αλληλεπιδράσεων των καταλόγων υπηρεσιών με τους ΚΠ οι οποίες είναι ίσης σημασίας σε τέτοια συστήματα. Τέλος, η περιγραφή του πλαισίου δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε υλοποίηση και ως εκ τούτου δεν μπορεί να αξιολογηθεί.

Υπάρχουν διάφορα προτεινόμενα μοντέλα που υιοθετούν την BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services) ως γλώσσα έκφρασης της κοινωνικής συμπεριφοράς των πολυ-πρακτορικών συστημάτων κάτι που δίνει τη δυνατότητα στους ΚΠ να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος εκτέλεσης τους ([76], [77]). Επιπλέον, στις εργασίες [79] και [80], προτείνεται ένα πλαίσιο βασισμένο σε πολιτικές εκτέλεσης ΚΠ για την ευέλικτη διαχείριση και δυναμική επαναδιαμόρφωση της κινητικότητας των ΚΠ, προκειμένου να μειωθούν οι αποτυχίες που οφείλονται στην κινητικότητα τους και να υποστηριχθεί η γρήγορη προσφορά υπηρεσιών βασισμένη σε ΚΠ. Οι πολιτικές εκτέλεσης καθορίζουν πότε, που, πώς και ποια μέρη του ΚΠ που θα εκτελέσουν μια συγκεκριμένη εργασία (π.χ., μετανάστευση σε έναν κόμβο και εκτέλεση μιας υπηρεσίας). Εντούτοις, αυτά τα μοντέλα δεν προβλέπουν τη σημασιολογική περιγραφή των Υπηρεσιών Ιστού που περιλαμβάνονται και εκτελούνται στα προτεινόμενα συστήματα. Άλλα προτεινόμενα πλαίσια υιοθετούν την DAML-S (DARPA Agent Markup Language for Services) για την περιγραφή Υπηρεσιών Ιστού επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την αναζήτηση υπηρεσιών σύμφωνα με τις δυνατότητές τους και σημασιολογικό ταίριασμα μεταξύ των περιγραφών των Υπηρεσιών Ιστού με τις αιτήσεις υπηρεσιών ([71], [67]). Εντούτοις, τα προτεινόμενα συστήματα προορίζονται για σταθερά δίκτυα, και τα προβλήματα σχετικά με τα ασύρματα περιβάλλοντα δεν εξετάζονται.

Μια προσέγγιση βασισμένη στους ΚΠ για τη σύνθεση Υπηρεσιών Ιστού προτείνεται στην εργασία [88] όπου παρουσιάζονται τρεις μέθοδοι: παράλληλη, διαδοχική και υβριδική των προηγούμενων σύνθεση. Το σενάριο σύνθεσης υπηρεσιών είναι ότι ένας χρήστης με μια ασύρματη συσκευή αιτείται να εκτελέσει μια Υπηρεσία Ιστού και ένας ΚΠ εκτελεί την υπηρεσία εξ ονόματος του χρήστη. Ο ΚΠ εκτελεί την αίτηση του χρήστη με την κίνηση προς τον κατάλογο υπηρεσιών, αναζητά στον κατάλογο τις υπηρεσίες που ταιριάζουν στην αιτηθείσα υπηρεσία, λαμβάνει τις περι-

γραφές των υπηρεσιών αυτών (εκφρασμένες σε WSDL), και εκτελεί την υπηρεσία. Η εκτέλεση υπηρεσιών, ανάλογα με την ίδια την Υπηρεσία Ιστού, γίνεται με μια από τις προαναφερθείσες μεθόδους σύνθεσης. Αυτή η προσέγγιση δεν λαμβάνει υπόψη της τις σημασιολογικές πληροφορίες που περιγράφουν τις Υπηρεσίες Ιστού και κατά συνέπεια οι υπηρεσίες επιλέγονται από απλές ερωτήσεις λέξης κλειδιού στον κατάλογο UDDI. Επιπλέον, δεν περιλαμβάνονται μηχανισμοί που να καθορίζουν ποια προσέγγιση σύνθεσης θα ακολουθηθεί. Η σύνθεση εξαρτάται από τη φύση της Υπηρεσίας Ιστού (εάν η υπηρεσία είναι μια σύνθεση άλλων υπηρεσιών πρέπει να εκτελεστεί διαδοχικά, εάν όχι, θα πρέπει να εκτελεστεί παράλληλα). Μια παρόμοια προσέγγιση προτείνεται στην εργασία [84] με τη διαφορά ότι ένας προσωπικός πράκτορας και ένας πράκτορας υπηρεσιών χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν την εργασία του ΚΠ που περιγράφηκε στην προηγούμενη προσέγγιση.

Στην ερευνητική βιβλιογραφία έχει προταθεί η χρήση των Ασύγχρονων Υπηρεσιών Ιστού (Asynchronous Web Services-AWS) προκειμένου να εκτελεστούν Υπηρεσίες Ιστού, με ασύγχρονη αλληλεπίδραση. Το μοντέλο των Ασύγχρονων Υπηρεσιών Ιστού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τομείς όπου το τυποποιημένο μοντέλο των Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Business Model) έχει μερικούς περιορισμούς ([69]), όπως όταν:

1. ο χρόνος εκτέλεσης των υπηρεσιών αναμένεται να είναι πάρα πολύ μεγάλος,
2. ο χρόνος απόκρισης των υπηρεσιών δεν είναι προβλέψιμος, και
3. ο χρήστης μπορεί να μην είναι συνδεδεμένος στο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης καθ' όλη την διάρκεια εκτέλεσης της υπηρεσίας.

Ο πιο κοινός τρόπος να επιτευχθούν ασύγχρονες κλήσεις σε Υπηρεσίες Ιστού είναι με τη χρησιμοποίηση μιας ταυτότητας συσχετισμού ή συνομιλίας ([69], [89]). Αυτή η μοναδική ταυτότητα ορίζεται αρχικά από τους παρόχους των Υπηρεσιών Ιστού σε κάθε συναλλαγή και ενσωματώνεται σε κάθε μήνυμα που ανταλλάσσεται μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών. Με αυτό τον τρόπο, ο πελάτης είναι σε θέση να συσχετίσει και να ανακτήσει τα δεδομένα των εφαρμογών σχετικών με την εκάστοτε συνεδρία – συνομιλία. Το μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι η παραγωγή πιθανών κακών συνδυασμών. Συγκεκριμένα, εάν στο πλαίσιο μια συνεδρίας

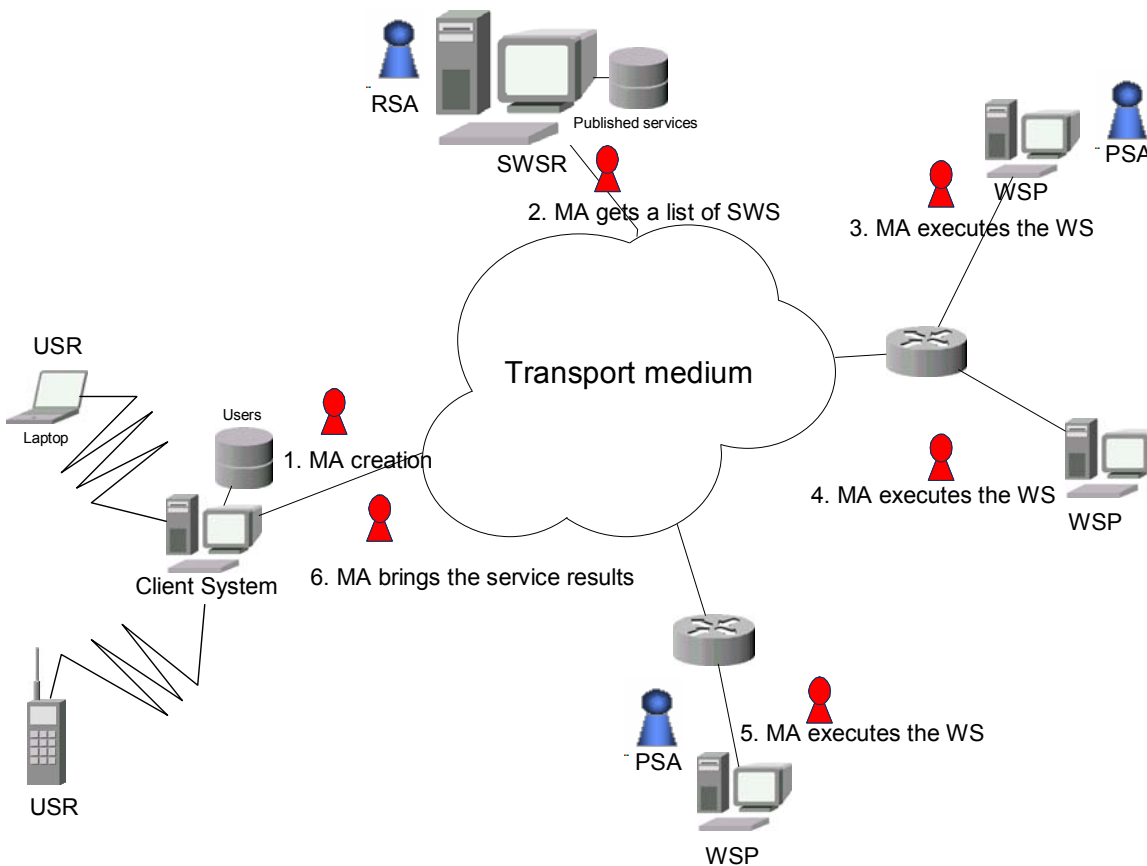
πραγματοποιούνται πολλαπλές κλήσεις σε Υπηρεσίες Ιστού, πολλές από τις απαντήσεις των Υπηρεσιών Ιστού δεν αντιστοιχιστούν με σαφή τρόπο στις κλήσεις αυτές ([69]).

### 5.3 Προτεινόμενο Πλαίσιο

Το προτεινόμενο πλαίσιο αποτελείται από τον κινητό χρήστη που χρησιμοποιεί Υπηρεσίες Σηματολογικού Ιστού (ΥΣΙ), τους ΚΠ που αντιπροσωπεύουν τον κινητό χρήστη στο σταθερό δίκτυο, τον κατάλογο υπηρεσιών και τον Πάροχο των ΥΣΙ. Οι τελευταίες δύο οντότητες υλοποιούνται ως στάσιμοι πράκτορες. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η βασική ιδέα της λειτουργικότητας του προτεινόμενου πλαισίου περιγράφεται το σενάριο εκτέλεσης υπηρεσιών της Εικόνα 5-1. Ένας κινητός χρήστης ο οποίος έχει πρόσβαση στο προτεινόμενο πλαίσιο, στέλνει αιτήματα εκτέλεσης υπηρεσιών στα οποία περιέχονται και τα κριτήρια επιλογής και εκτέλεσης των σχετικών υπηρεσιών. Στη συνέχεια, το σύστημα δημιουργεί ένα ΚΠ (βήμα 1) που μετακινείται στον κατάλογο υπηρεσιών για να βρει την/τις ΥΣΙ που καλύπτει/καλύπτουν καλύτερα τις απαιτήσεις του χρήστη (βήμα 2). Ο κατάλογος υπηρεσιών επιτρέπει την αναζήτηση ΥΣΙ βάσει των σηματολογικών περιγραφών τους. Ο ΚΠ, αφού λάβει τη λίστα με τις τεχνικές λεπτομέρειες των ΥΣΙ που ταιριάζουν στα αίτημα του χρήστη, μετακινείται στο φορέα ή στους φορείς παροχής υπηρεσιών, εκτελεί την/τις υπηρεσία/υπηρεσίες, συλλέγει τα αποτελέσματα (βήματα 3-5) και επιστρέφει στο χρήστη για να του παραδώσει τα αποτελέσματα (βήμα 6). Στο συγκεκριμένο σενάριο οι ΥΣΙ που ταίριαζαν με το αίτημα υπηρεσιών ήταν τρεις. Συνεπώς, ο ΚΠ μετακινείται και εκτελεί τις τρεις αυτές υπηρεσίες (βήματα 3-5). Εάν το αίτημα υπηρεσιών ταίριαζε με περισσότερες από τρεις υπηρεσίες στο βήμα 2, τότε ο ΚΠ θα μετακινιόταν και θα εκτελούσε όλες αυτές τις ΥΣΙ (Η Εικόνα 5-1 θα περιλάμβανε περισσότερα βήματα). Τα πλεονεκτήματα αυτού του σεναρίου είναι ότι ο ΚΠ έχει την απαραίτητη νοημοσύνη για να εκτελέσει μόνο την υπηρεσία ή τις υπηρεσίες που οι δυνατότητες τους είναι σηματολογικά «κοντύτερα» στην αίτηση του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγονται τόσο οι περιττές κλήσεις υπηρεσιών (βέλτιστη χρήση του δικτύου), και ο κινητός χρήστης δεν αναγκάζεται να είναι συνδεδεμένος καθ' όλη την διάρκεια της αλληλεπίδρασής του με την υπηρεσία. Αντί-

θετα, ο χρήστης μπορεί να λάβει τα αποτελέσματα των υπηρεσιών σε μελλοντικό χρόνο.

Στο προτεινόμενο πλαίσιο η διαδρομή του ΚΠ ποικίλει ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη και της τοπολογίας του δικτύου. Όπως θα εξηγηθεί παρακάτω, ο χρήστης μπορεί δυναμικά να αναγκάσει τον ΚΠ να στείλει τους κλώνους του στους παρόχους υπηρεσιών για να εκτελέσουν τις υπηρεσίες παράλληλα, παρά να μετακινείται σειριακά από τον ένα πάροχο στον άλλο και να εκτελεί μία-μία τις υπηρεσίες. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να αναγκάσει τον ΚΠ να εφαρμόσει διαφορετικές στρατηγικές εκτέλεσης υπηρεσιών όπως για παράδειγμα να εκτελέσει όλες τις υπηρεσίες τοπικά ή απομακρυσμένα, να αλλάξει το χρονικό όριο που ο ΚΠ θα περιμένει για την εκτέλεση μιας υπηρεσίας, κλπ..



Εικόνα 5-1: Σενάριο εκτέλεσης υπηρεσιών

Το προτεινόμενο πλαίσιο αποτελείται από τα ακόλουθα λειτουργικά συστατικά:

- (1) **Το χρήστη (User Service Requestor-USR)** που αιτείται την εκτέλεση υπηρεσιών μέσω της διεπαφής του προτεινόμενου πλαισίου (**Client System**) το οποίο βρίσκεται στο σταθερό δίκτυο και παρέχει στο χρήστη πρόσβαση στις υπηρεσίες.
- (2) **Ο κινητός πράκτορας (Mobile Agent)** που είναι ο αντιπρόσωπος του κινητού χρήστη στο σταθερό δίκτυο.
- (3) **Ο Σταθερός Πράκτορας Παρόχου (Provider Stationary Agent -PSA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας που βρίσκεται στον πάροχο των υπηρεσιών και προσφέρει ορισμένες ΥΣΙ (η χρήση του είναι προαιρετική).
- 4) **Ο Σταθερός Πράκτορας Καταλόγου Υπηρεσιών (Registry Stationary Agent RSA)** είναι ένας στάσιμος πράκτορας που ενεργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ του ΚΠ και του καταλόγου υπηρεσιών (η χρήση του είναι προαιρετική).
- (5) **Ο Κατάλογος Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού (Semantic Web Services Registry SWSR)**, στον οποίο οι πάροχοι υπηρεσιών δημοσιεύουν τις υπηρεσίες τους και οι ενδιαφερόμενοι χρήστες μπορούν να βρουν τις υπηρεσίες που επιθυμούν.
- (6) **Ο Πάροχος Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Provider -WSP)** ο οποίος παρέχει ΥΣΙ στους ενδιαφερόμενους χρήστες.

Η δομή και οι λειτουργίες των ανωτέρω λειτουργικών συστατικών περιγράφονται ακολούθως:

### 5.3.1 Ο χρήστης (User Service Requestor-USR).

Ο USR είναι ο χρήστης που αιτείται την εκτέλεση της ΥΣΙ. Ο USR αρχικά συνδέεται με το Client System το οποίο επικοινωνεί με την πλατφόρμα των ΚΠ χρησιμοποιώντας IIOP (Internet Inter ORB Protocol). Η πλατφόρμα των ΚΠ είναι αρμόδια για τη δημιουργία και το χειρισμό των ΚΠ, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις προτιμήσεις των χρηστών. Το Client System είναι αναπτυγμένο σε JSP/Servlet, και πολλοί χρήστες μπορούν να φιλοξενηθούν χωρίς την προϋπόθεση να έχουν προεγκατεστημένο στη συσκευή πρόσβασής τους το περιβάλλον εκτέλεσης της Java (Java Runtime Environment - JRE) ή της πλατφόρμας των ΚΠ. Η μόνη απαίτηση

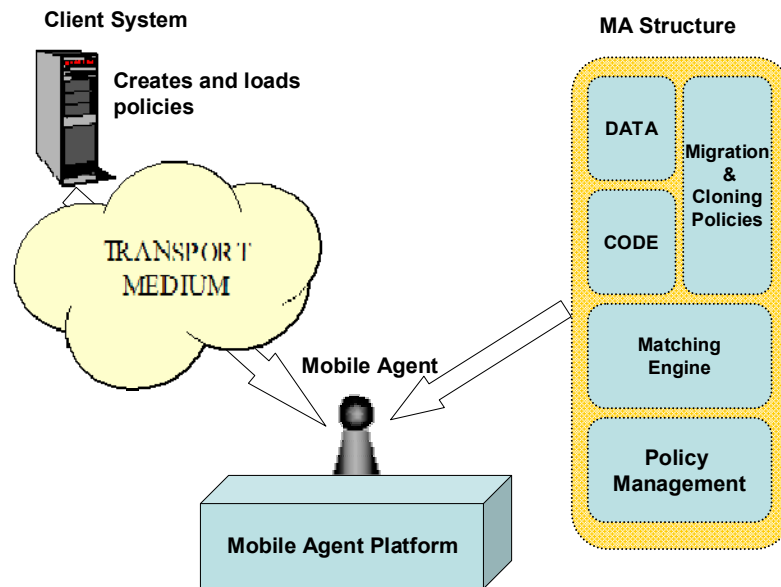
για τους χρήστες είναι να διαθέτουν ένα φυλλομετρητή (browser) ώστε να καθιστούν εφικτή την πρόσβαση στο Client System.

Το Client System προσφέρει υπηρεσίες στους πελάτες όπως: δημιουργία λογαριασμού, σύνδεση-αποσύνδεση χρηστών, σύνταξη πολιτικών για την εκτέλεση υπηρεσιών και έλεγχος των υπαρχόντων ενεργών πρακτόρων. Επιπλέον, ο διαχειριστής μπορεί να προσθέτει/αφαιρεί/συντάσσει τις ιδιότητες και τα προφίλ των χρηστών. Επίσης, οι πολιτικές εκτέλεσης υπηρεσιών των χρηστών αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων που επιτρέπει τη διαφανή παροχή υπηρεσιών.

Επιπλέον το προτεινόμενο πλαίσιο είναι ικανό να επικοινωνήσει με τις κινητές συσκευές που είναι σε θέση να εκτελέσουν JADE/LEAP (Lightweight Extensible Agent Platform) [65]. Η τεχνολογία LEAP είναι μια επέκταση της πλατφόρμας JADE που επιτρέπει στους ΚΠ να εκτελούνται σε ασύρματες συσκευές με περιορισμένες ικανότητες επεξεργασίας. Συνεπώς ο ΚΠ δημιουργείται στην κινητή συσκευή και συλλέγει τις προτιμήσεις/προδιαγραφές του χρήστη είτε από τη συσκευή του χρήστη είτε από το Client System. Η συμπεριφορά του συστήματος και της συσκευής που δημιούργησε τον ΚΠ είναι ακριβώς η ίδια.

### 5.3.2 Κινητός Πράκτορας (Mobile Agent)

Ο ΚΠ είναι ο αντιπρόσωπος του χρήστη στο σταθερό δίκτυο και είναι σε θέση να μετακινείται, να βρίσκει, να εκτελεί υπηρεσίες και να παρέχει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Επίσης, ο ΚΠ μπορεί να δημιουργήσει κλώνους του οι οποίοι μπορούν να εκτελέσουν μια ΥΣΙ παράλληλα με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας. Οι κλώνοι μπορούν να μετακινηθούν και να εκτελέσουν ταυτόχρονα την επιλεγμένη ΥΣΙ και να επιστρέψουν στον αιτηθέντα της υπηρεσίας τα αποτελέσματα. Ο ΚΠ έχει τα ακόλουθα συστατικά (Εικόνα 5-2): (1) Κατάσταση δεδομένων (data state), (2) τον κώδικα του (code), (3) Τις πολιτικές μετανάστευσης και κλωνοποίησής του (migrating and Cloning Policies), (4) Τη Μηχανή ταιριάσματος (Matching engine), και, (5) Το τμήμα διαχείρισης πολιτικών (Policy management Component).



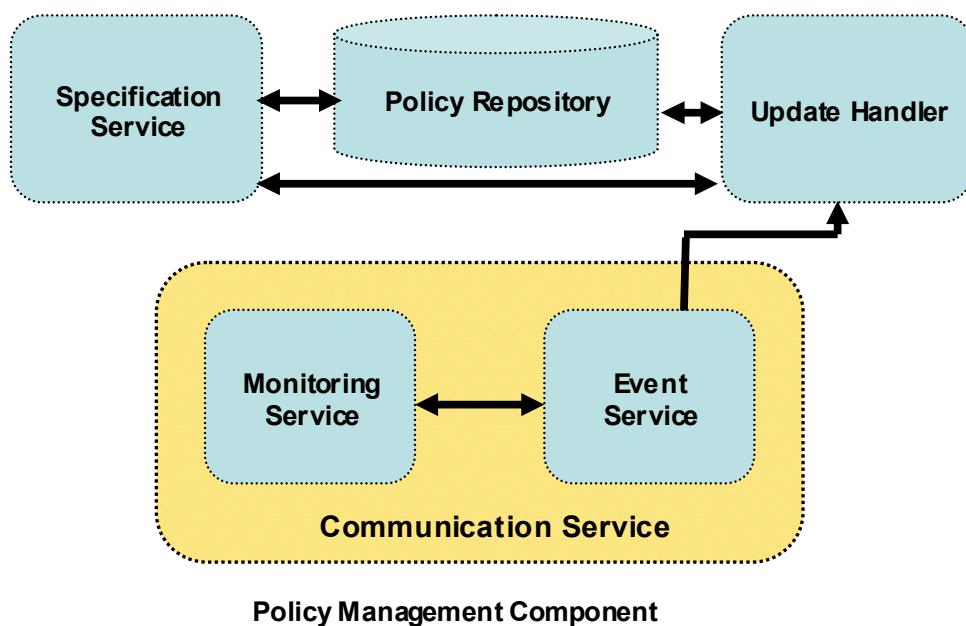
Εικόνα 5-2: Δομή Κινητού Πράκτορα.

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του ΚΠ διαχωρίζει τη λογική του από την υλοποίησή του. Αυτό καθιστά τη μοντελοποίηση του ΚΠ ανεξάρτητη από την υποκείμενη πλατφόρμα των ΚΠ. Συνεπώς, οι φυσικές συμπεριφορές του ΚΠ είναι φορητές σε οποιαδήποτε πλατφόρμα ΚΠ (είτε Jade, ή Grasshopper, κ.λπ.). Στη συνέχεια, περιγράφονται τα συστατικά ενός ΚΠ.

Το τμήμα Κατάστασης δεδομένων (data state) περιέχει τις πληροφορίες που συλλέγονται από τον ΚΠ από τις κλήσεις (εκτέλεση) των ΥΣΙ. Διάφοροι αλγόριθμοι συμπίεσης μπορούν να εφαρμοστούν προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος των συλλεγμένων πληροφοριών. Το τμήμα με τις πολιτικές μετανάστευσης και κλωνοποίησης (migrating and Cloning Policies) καθορίζει την αυτόνομη συμπεριφορά του ΚΠ. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κοινωνική συμπεριφορά του ΚΠ (μετακίνηση, κλωνοποίηση) είναι χωρισμένη από τη λογική ενοποίησης και υλοποίησης του κώδικα. Αυτός ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με τις πολιτικές εκτέλεσης υπηρεσιών του χρήστη που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ΚΠ, οι οποίες είναι εξωτερικές και ανεξάρτητες από τον κώδικά του και την ενοποίηση του με τις ΥΣΙ. Επίσης, το τμήμα της Μηχανής ταιριάσματος (Matching engine) είναι αρμόδιο για τη μετα-επεξεργασία των αποτελεσμάτων εύρεσης στους καταλόγους υπηρεσιών, δηλαδή επιβεβαιώνει

τη διαθεσιμότητα των φορέων παροχής υπηρεσιών πριν από τη μετανάστευση του ΚΠ σε αυτά.

Το τμήμα διαχείρισης πολιτικών (Policy management Component) είναι αρμόδιο για την εξωτερική επικοινωνία του ΚΠ και τη διαφανή εγκατάσταση νέων πολιτικών εκτέλεσης των υπηρεσιών στην αποθήκη του ΚΠ.



Εικόνα 5-3: Τμήμα διαχείρισης πολιτικών (Policy management Component)

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-3, το τμήμα διαχείρισης πολιτικών παρέχει τα κάτωθι: την υπηρεσία επικοινωνίας (Communication), την υπηρεσία χειρισμού γεγονότων αναπροσαρμογής (Update Handler), την υπηρεσία προδιαγραφών (Specification Service) και την αποθήκη πολιτικών εκτέλεσης υπηρεσιών. Η τελευταία περιέχει τις προτιμήσεις χρηστών και οι πολιτικές εκτέλεσης υπηρεσιών που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ΚΠ. Η υπηρεσία επικοινωνίας επιτρέπει στον ΚΠ να αλληλεπιδρά με τους χρήστες και άλλες δικτυακές οντότητες. Τέτοια λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω της ελεγκτικής υπηρεσίας (Monitoring Service) που ελέγχει τα μηνύματα που έρχονται από το Client System και μέσω της υπηρεσίας Γεγονότων που χειρίζεται γεγονότα που αφορούν στην αλλαγή των πολιτικών εκτέλεσης των ΥΣΙ.



Όταν συμβεί ένα γεγονός αλλαγής πολιτικής, ο χειριστής γεγονότων αναπροσαρμογών ειδοποιείται για να ενημερώσει την αποθήκη πολιτικών εκτέλεσης υπηρεσιών. Η υπηρεσία προδιαγραφών είναι αρμόδια για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας. Οι πολιτικές του ΚΠ καθορίζουν τη φυσική συμπεριφορά του κατά την διάρκεια που μετακινείται στο δίκτυο και εκτελώντας τις ΥΣΙ. Ο ΚΠ εξετάζει τις πολιτικές (βλ. Πίνακας 5-1), οι οποίες είναι είτε αριθμητικές μεταβλητές, είτε μεταβλητές με λογικές τιμές (Boolean). Οι πολιτικές αυτές εκφράζονται σε XML και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων του Client System και του ΚΠ. Για κάθε εγγραμμένο χρήστη υπάρχει ένα σχετικό αρχείο πολιτικής, για να παρέχει την εξατομικευμένη πρόσβαση στις ΥΣΙ.

Όνομασία Πολιτικής	Τύπος	Περιγραφή
<Migrating> and <Cloning>	Boolean	MA's ability to migrate to another host and spawn clones respectively.
<retryTimes>	Numerical	The number of attempts that MA will perform when a WS is unavailable.
<timeBetweenReattempts>	Numerical	The time that MA will wait between consecutive reattempts.
<suspendWhenFinished>	Boolean	States if the user wishes (dis)-connected operation and what the MA should do when returns to the Client System (suspend its state and wait user to connect back or to deliver immediately the service results).
<rollBackBehaviour>	Boolean	Specifies in a case of failure if a roll back solution will be followed.
<maxNumberOfHits>	Numerical	The maximum number of services to be invoked.
<minNumberOfResults>	Numerical	The minimum number of results when searching the semantically enriched service registry (it is accomplished through the similarity level that is returned from the semantic engine that enables the system to always return a result, even though it does not always satisfy completely the request).
<pingServer>	Boolean	States that the MA should check if the targeted service provider is alive, before MA starts the migrating process to this host.
<migrateToServer>	Boolean	Specifies if the service will be invoked locally or remotely.
<remoteCall>	Boolean	MA invokes the chosen services using SOAP/RPC (remotely from other host) without migrating to each provider.
<callThroughStationary>	Boolean	Indicates if communication between WS and MA will take place with or without the Provider's Sta-

		tionary Agent (PSA).
<HitAllServices>	Boolean	Forces the MA to invoke all retrieved services from service registry.
<cloneToServer>	Boolean	Enables the agent to decide whether to serially migrate to each located service provider or sent clones to accomplish the task in parallel and return service results to their parent agent and then are self destroyed.
<UserDisconnectedOperation>	Boolean	States that user wishes to retrieve results in a future time, by reconnecting to the Client System.
<timeBetweenReattempts>	Numerical	The time that MA will wait between consecutive reattempts.

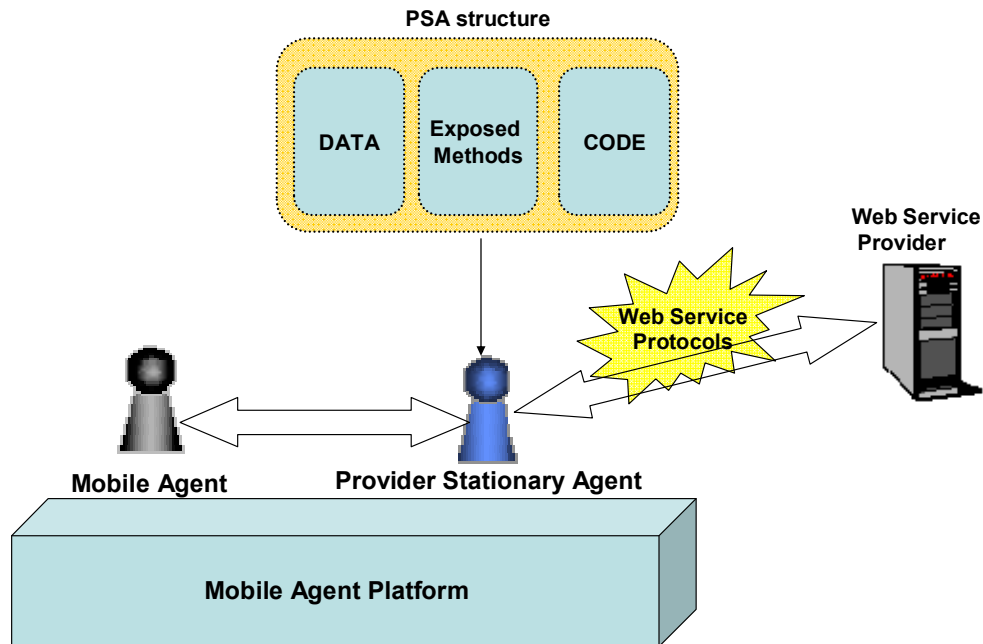
Πίνακας 5-1: Πολιτικές Εκτέλεσης Υπηρεσιών

### 5.3.3 Σταθερός Πράκτορας Παρόχου - ΣΠΠ (Provider Stationary Agent -PSA)

Ο ΣΠΠ είναι ένας στατικός πράκτορας που βρίσκεται και εκτελείται στο σύστημα του παρόχου της ΥΣΙ και ενθυλακώνει τη λειτουργία της προσφερόμενης υπηρεσίας. Ο ΣΠΠ δημιουργείται και διατηρείται από τον πάροχο υπηρεσιών. Ο ΣΠΠ επικοινωνεί με τον πάροχο υπηρεσιών μέσω πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται για την κλήση και την αλληλεπίδραση με τις ΥΣΙ (π.χ. SOAP). Όταν ο ΚΠ μετακινηθεί σε ένα σύστημα παρόχου ΥΣΙ που περιλαμβάνει ΣΠΠ, τότε ο ΚΠ αλληλεπιδρά με το ΣΠΠ ώστε να έχει πρόσβαση στην ΥΣΙ (αιτείται την εκτέλεση της ΥΣΙ και λαμβάνει τα αποτελέσματα της μέσω του ΣΠΠ). Αυτή η επικοινωνία πραγματοποιείται είτε με πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ πρακτόρων (Agent to Agent protocols), είτε με RMI (Remote Method Invocation) είτε με την ανταλλαγή μηνυμάτων FIPA/ACL χρησιμοποιώντας το FIPA/Message Transport Protocol - MTP [62] (αντί του πρωτοκόλλου SOAP). Με βάση την τελευταία προσέγγιση επικοινωνίας, οι ΚΠ δεν χρειάζεται να υποστηρίζουν βιβλιοθήκες του πρωτοκόλλου SOAP, οδηγώντας κατά συνέπεια σε μια πιο «ελαφριά» υλοποίηση. Επίσης, η υλοποίηση αυτή διατηρεί την ανεξαρτησία πλατφορμών όσον αφορά στον πάροχο ΥΣΙ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ΣΠΠ «ενθυλακώνει» τη λειτουργικότητα της ΥΣΙ καθώς μπορεί να επικοινωνήσει με ανταλλαγή μηνυμάτων SOAP και να προσφέρει την ίδια λειτουργικότητα της ΥΣΙ με εγγενή μορφή στον ΚΠ.

Στην Εικόνα 5-4 παρουσιάζεται η δομή του ΣΠΠ. Η διεπαφή του ΣΠΠ παρέχει τις διαθέσιμες μεθόδους της ΥΣΙ όπως περιγράφονται με την OWL-S. Ο ΣΠΠ αποτε-

λείται από δύο μέρη: (1) την κατάσταση δεδομένων (data state) και (2) τον κώδικά του (code). Ο ΣΠΠ περιλαμβάνει πολυ-νηματικές μεθόδους (multithreaded methods) για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλαπλών ΚΠ.



Εικόνα 5-4: Δομή Σταθερού Πράκτορα Παρόχου

#### 5.3.4 Σταθερός Πράκτορας Καταλόγου Υπηρεσιών –ΣΠΚΥ (Registry Stationary Agent RSA)

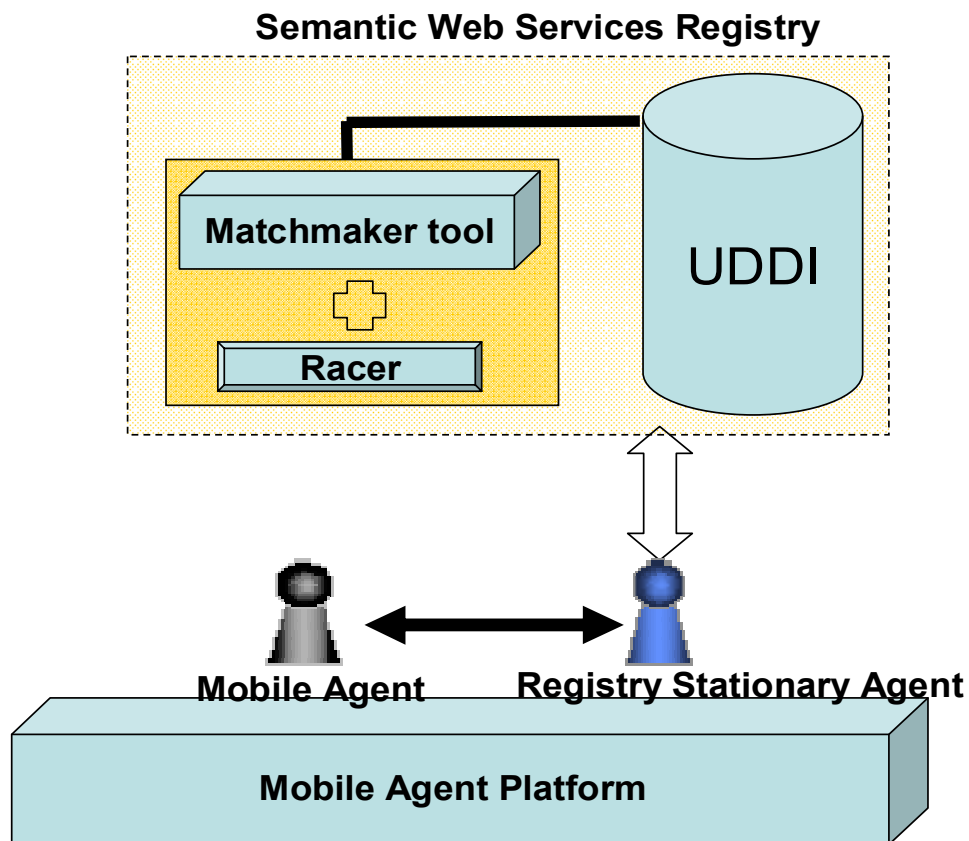
Ο ΣΠΚΥ είναι ένας στάσιμος πράκτορας που ενεργεί ως διαμεσολαβητής μεταξύ του ΚΠ και του καταλόγου Υπηρεσιών (Εικόνα 5-5). Ο ΣΠΚΥ υλοποιεί μέρος της λειτουργικότητας του καταλόγου υπηρεσιών και εξυπηρετεί τα αιτήματα των ΚΠ. Με τη χρησιμοποίηση του ΣΠΚΥ στον κατάλογο υπηρεσιών, οι ΚΠ δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουν την υλοποίηση του καταλόγου υπηρεσιών. Κατά συνέπεια μέσω ενός ΣΠΚΥ μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί κατάλογοι υπηρεσιών. Το προτεινόμενο πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς καταλόγους υπηρεσιών που υπάρχουν διαθέσιμοι (π.χ., ebXML [61], OWL-MX [75] και TUB OWLSM ([74]).

### 5.3.5 Κατάλογος Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού - ΚΥΣΙ (Semantic Web Services Registry SWSR)

Το ΚΥΣΙ (Εικόνα 5-5) αποτελείται από το ΣΠΚΥ, το μηχανισμό αντιστοίχισης και τον κατάλογο υπηρεσιών UDDI. Ο μηχανισμός αντιστοίχισης (Matchmaker engine) (OWL/UDDI Matchmaker Web Interface [73]) είναι ένα εργαλείο που ενισχύει τη λειτουργικότητα του UDDI με την προσθήκη σε αυτό της δυνατότητας εύρεσης υπηρεσιών έχοντας ως κριτήριο τις δυνατότητες των υπηρεσιών. Επίσης, σε συνδυασμό με τη χρήση του Racer [81], επεξεργάζεται τις οντολογίες που εκφράζονται με τη γλώσσα OWL. Οι δημοσιεύσεις των υπηρεσιών υποβάλλονται σε επεξεργασία αρχικά από το UDDI και αν περιλαμβάνουν σημασιολογικές πληροφορίες τότε αυτές παρέχονται στο μηχανισμό αντιστοίχισης OWL-S. Τέλος, ο μηχανισμός αντιστοίχισης επεξεργάζεται τις αιτήσεις υπηρεσιών και επιστρέφει τα αποτελέσματα στο UDDI, το οποίο στη συνέχεια τα αποστέλλει στον αιτούντα των υπηρεσιών.

Ο αλγόριθμος ταιριάσματος, που χρησιμοποιείται από την υπόψη μηχανή, για να ταιριάξει ένα αίτημα υπηρεσιών με μια περιγραφή υπηρεσίας, βασίζεται στο ταίριασμα όλων των output του πρώτου με τα output της δεύτερης, και όλα τα input της δεύτερης αναφερθείσας με τα input του πρώτου. Ο βαθμός ταιριάσματος (degree of Match) (μεταξύ του I/O ενός αιτήματος και του I/O μιας περιγραφής υπηρεσίας) εξαρτάται από το συσχετισμό των εννοιών των περιοχών των οντολογιών που συνδέονται με αυτά τα I/O. Η μηχανή ταιριάσματος περιλαμβάνει τέσσερις βαθμούς ταιριάσματος (κατά φθίνουσα σειρά ταιριάσματος): exact, plugin, subsumes, fail. Η γλώσσα διατύπωσης ερωτήσεων που χρησιμοποιείται στον κατάλογο υπηρεσιών είναι η τυποποιημένη γλώσσα διατύπωσης ερωτήσεων του Racer που έχει ως βάση της τη LISP. Είναι αρκετά καλή και έχει περισσότερες λειτουργίες από τις τυποποιημένες γλώσσες διατύπωσης ερωτήσεων της OWL. Επαφίεται, λοιπόν, στο Racer το μεγαλύτερο μέρος του ταιριάσματος, υπό την έννοια ότι ο Racer, σα μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων, βασίζεται στις λογικές περιγραφής (Description Logics) στις οποίες βασίζεται και η OWL, οφείλει να βγάλει το συμπέρασμα σχετικά με το ταίριασμα της οντολογίας προφίλ του χρήστη και της οντολογίας που περιγράφει τη δημοσιευμένη υπηρεσία.

Η μηχανή ταιριάσματος είναι ένα εργαλείο που ενσωματώνεται σε καταλόγους υπηρεσιών όπως το UDDI. Στο σύστημά μας χρησιμοποιήσαμε μια τοπική υλοποίηση του UDDI, αποκαλούμενη jUDDI ([66]), το οποίο είναι μια υλοποίηση τεχνολογίας Ιστού για τον Apache Tomcat. Η μηχανή ταιριάσματος είναι αρμόδια για την αντιστοίχιση της περιγραφής των υπηρεσιών εκφρασμένες σε OWL-S στο jUDDI. Η μηχανή ταιριάσματος είναι συνδεδεμένη με το jUDDI και είναι διαθέσιμη σε δύο εκδόσεις: μια βασισμένη σε τεχνολογία Ιστού και μια αυτόνομη έκδοση. Η αυτόνομη έκδοση παρέχει τη μηχανή ταιριάσματος και ένα API (Application Programming Interface) ώστε να καλείται η μηχανή. Στο προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε η αυτόνομη έκδοση της μηχανής ταιριάσματος. Εκτενής περιγραφή του της μηχανής ταιριάσματος περιλαμβάνεται στα [31] και [32].

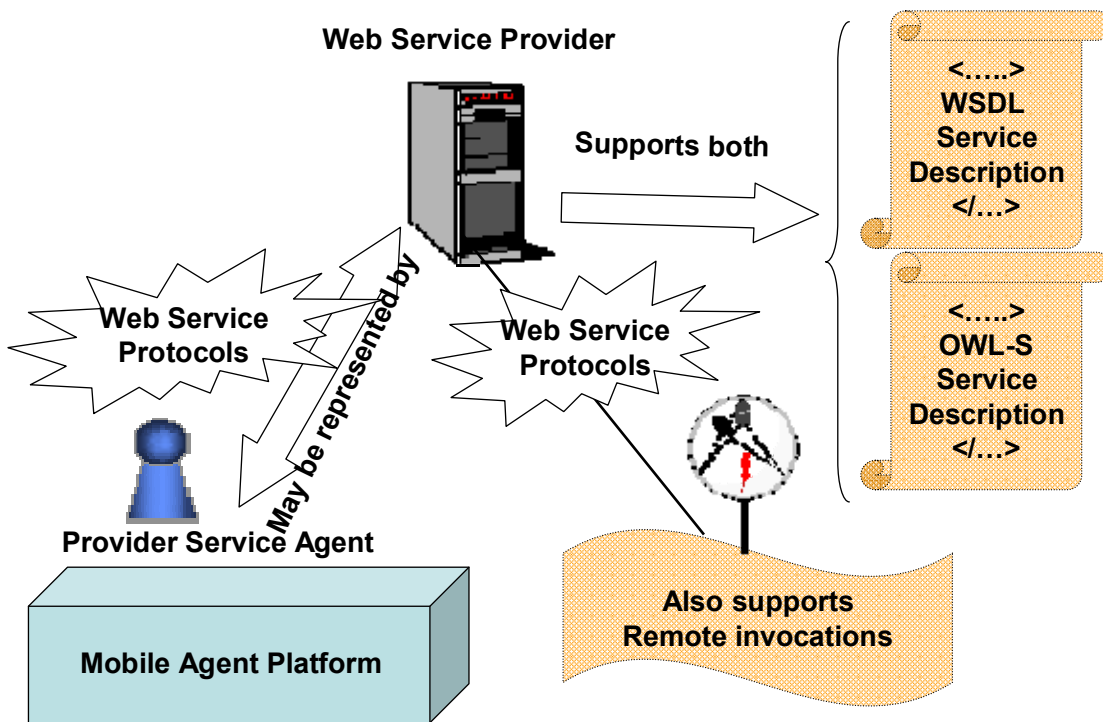


Εικόνα 5-5: Κατάλογος Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού

### 5.3.6 Πάροχος Υπηρεσιών Ιστού ΠΥΙ (Web Service Provider - WSP)

Ο ΠΥΙ παρέχει την ΥΣΙ στους ενδιαφερόμενους χρήστες και διατηρεί μια περιγραφή της ΥΣΙ που εκφράζεται σε WSDL και σε OWL-S. Στην Εικόνα 5-6 απεικονίζεται ο

ΠΥΙ και οι λειτουργίες που υποστηρίζει. Η κλήση μιας ΥΣΙ από τον ΚΠ εξαρτάται από την περιγραφή OWL-S της υπηρεσίας. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, η κλήση των ΥΣΙ από τον ΚΠ πραγματοποιείται είτε άμεσα είτε μέσω του ΣΠΠ. Στην περίπτωση της άμεσης πρόσβασης, ο πράκτορας πρέπει να μπορεί να ανταλλάξει μηνύματα SOAP, γεγονός που θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους του ΚΠ κατά την κίνησή του στο δίκτυο (αφού θα πρέπει να μεταφέρει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες για το SOAP). Μέσα στην περιγραφή OWL-S της ΥΣΙ, περιλαμβάνεται εάν ο ΠΥΙ έχει υλοποιημένο ΣΠΠ που ενθυλακώνει τη λειτουργικότητα της υπηρεσίας. Η ύπαρξη του ΣΠΠ θα επιτρέψει στον μετακινούμενο ΚΠ να αλληλεπιδράσει με το ΣΠΠ και όχι απευθείας με την ΥΣΙ.



Εικόνα 5-6: Πάροχος Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Provider)

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, η OWL-S χρησιμοποιείται για να ενισχύσει την εκφραστικότητα της γλώσσας WSDL με την προσθήκη σημασιολογικών πληροφοριών στις περιγραφές των υπηρεσιών. Για το λόγο αυτό, στο προτεινόμενο πλαίσιο η ΥΣΙ περιγράφεται σε WSDL με OWL-S. Η περιγραφή σε WSDL χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τεχνικές λεπτομέρειες της υπηρεσίας (πληροφορίες που πε-

ριλαμβάνονται στο Service Grounding) και η περιγραφή σε OWL-S για να καθορίσει τις input και output οντολογίες. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται η εύρεση υπηρεσιών βασισμένη στις δυνατότητες των υπηρεσιών αυτών (service profile και service model). Μετά την ανάκτηση των επιθυμητών υπηρεσιών από τον κατάλογο υπηρεσιών, η περιγραφή WSDL χρησιμοποιείται για να βρει τους απαραίτητους τεχνικούς ορισμούς και παραμέτρους για την επιτυχή κλήση της υπηρεσίας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ΠΥΙ μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιο ΣΠΠ που ενεργεί ως ο εκπρόσωπός του και να αλληλεπιδρά με τους ΚΠ. Αυτό γίνεται γνωστό στους ΚΠ μέσω της περιγραφής OWL-S της υπηρεσίας. Εάν δεν υπάρχει τέτοια περιγραφή στο OWL-S της υπηρεσίας, ο ΚΠ συμπεραίνει ότι η ΥΣΙ πρέπει να εκτελεστεί απευθείας (χωρίς κάποιον ενδιάμεσο).

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται ένα σενάριο εκτέλεσης υπηρεσιών, στο οποίο εφαρμόζονται όλοι οι πιθανοί και εναλλακτικοί τρόποι εκτέλεσης των υπηρεσιών.

### 5.3.7 Περιγραφή χρήσης Υπηρεσιών

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται η λειτουργία του προτεινόμενου πλαισίου, με την βοήθεια ενός σεναρίου παροχής υπηρεσιών. Σύμφωνα με το σενάριο ένας χρήστης επιθυμεί να βρει και να εκτελέσει μια συγκεκριμένη ΥΣΙ μέσω μιας κινητής συσκευής. Αρχικά, ο χρήστης συνδέεται στο Client System, που αποτελεί και τη διεπαφή του προτεινόμενου πλαισίου. Μετά από την επιτυχή εγγραφή, ο χρήστης θέτει τα επιθυμητά κριτήρια για την εύρεση και εκτέλεση της ΥΣΙ (ή των ΥΣΙ). Επίσης, ο χρήστης καθορίζει την πολιτική εκτέλεσης υπηρεσιών για τον ΚΠ ώστε ο τελευταίος να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη πολιτική κατά τη μετακίνησή του στο δίκτυο. Στη συνέχεια, δημιουργείται ο ΚΠ, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με την ταυτότητα του χρήστη και την πολιτική εκτέλεσης υπηρεσιών και συμπεριφοράς, για να αντιπροσωπεύσει το χρήστη στο σταθερό δίκτυο και να αποστείλει τα αιτήματα του χρήστη για την εκτέλεση των υπηρεσιών. Οι προαναφερθείσες πολιτικές μεταβιβάζονται στον ΚΠ με ένα XML σχήμα και αποθηκεύονται στην αποθήκη πολιτικών του ΚΠ. Υπενθυμίζεται ότι η υπηρεσία χειρισμού γεγονότων αναπροσαρμογής έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις πολιτικές του ΚΠ, σύμφωνα με τα μηνύματα που λαμβάνει αυτός από το χρήστη ή άλλες δικτυακές οντότητες. Στη συνέχεια, ο ΚΠ

μεταναστεύει στο ΚΥΣΙ. Το ΚΥΣΙ παρέχει τις περιγραφές των ΥΣΙ και επιτρέπει αναζητήσεις υπηρεσιών βάσει των δυνατοτήτων τους. Όταν ο ΚΠ φθάσει στο ΚΥΣΙ, επικοινωνεί με το ΣΠΚΥ ώστε να εκτελέσει την αναζήτηση υπηρεσιών. Το ΣΠΚΥ επικοινωνεί με το ΚΥΣΙ εξ ονόματος του ΚΠ. Το ΣΠΚΥ ανακτά την περιγραφή της υπηρεσίας ή των υπηρεσιών που ικανοποιούν περισσότερο τις ανάγκες του χρήστη και τις παραδίδει στον ΚΠ. Ο ΚΠ ανάλογα με τις πολιτικές εκτέλεσης υπηρεσιών και συμπεριφοράς του αποφασίζει πως θα ενεργήσει στο επόμενο βήμα.

Ο ΚΠ μπορεί να ακολουθήσει διάφορες εναλλακτικές λύσεις εκτέλεσης των ΥΣΙ, οι οποίες είναι:

1. Μπορεί να ελέγξει τους παρόχους όπου βρίσκονται οι ανακτηθείσες υπηρεσίες για να ελέγξει τη διαθεσιμότητά τους, προκειμένου να μετακινηθεί μόνο σε εκείνους που είναι διαθέσιμοι και ενεργοί. Αυτή η στρατηγική βελτιώνει την απόδοση του προτεινόμενου πλαισίου με την αποφυγή των περιττών μετακινήσεων των ΚΠ.
2. Μπορεί να καλέσει τις ανακτηθείσες υπηρεσίες από μακριά χωρίς να μετακινηθεί στον πάροχο. Η απομακρυσμένη κλήση υπηρεσιών ή η μετακίνηση του ΚΠ περιγράφεται στις πολιτικές συμπεριφοράς του ΚΠ. Συγκεκριμένα, ανάλογα με το μέγεθος του ΚΠ ή την απόσταση μεταξύ της τρέχουσας θέσης του και της θέσης του παρόχου, μπορεί να είναι προτιμητέο να μην μετακινηθεί στο πάροχο να εκτελέσει την ΥΣΙ, αλλά να τις εκτελέσει από μακριά.
3. Μπορεί να μετακινηθεί στον ΠΥΙ και να αλληλεπιδράσει με το ΣΠΠ. Ο ΚΠ εκτελεί και λαμβάνει τα αποτελέσματα από την ΥΣΙ μέσω του ΣΠΠ.
4. Μπορεί να μετακινηθεί στον ΠΥΙ και να εκτελέσει άμεσα την ΥΣΙ. Αυτή η επιλογή απαιτεί ο ΚΠ να φέρει πρόσθετες βιβλιοθήκες κώδικα για να ανταλλάσσει μηνύματα το SOAP. Η υλοποίηση του ΠΥΙ είναι απλούστερη δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή στο παραδοσιακό πρότυπο υλοποίησης της ΥΙ.
5. Τέλος, ο ΚΠ μπορεί να στείλει κλώνους του σε κάθε ΠΥΙ, αντί να μετακινηθεί σειριακά από τον ένα στον άλλο. Αυτό το σενάριο οδηγεί σε μια παράλληλη εκτέλεση των ΥΣΙ, όπου κάθε κλώνος του ΚΠ εκτελεί μια ΥΙ. Με αυτό



τον τρόπο, ο ολικός χρόνος εκτέλεσης υπηρεσιών μειώνεται σε σύγκριση με τις προηγούμενες εναλλακτικές λύσεις εκτέλεσης ΥΙ.

Όλες αυτές οι εναλλακτικές προσεγγίσεις εκτέλεσης υπηρεσιών αποφασίζονται κατά το χρόνο εκτέλεσης μέσω των καθορισμένων από το χρήστη πολιτικών εκτέλεσης υπηρεσιών και συμπεριφοράς των ΚΠ. Όταν οι ΚΠ συλλέξουν τα αποτελέσματα των υπηρεσιών, ανάλογα με τις επιλεγμένες πολιτικές, υπάρχουν δύο επιλογές:

1. Αν ο ΚΠ εκτελεί όλες τις ανακτηθείσες από τον ΚΥΣΙ υπηρεσίες, μετακινείται πίσω στο Client System. Εάν ο χρήστης είναι συνδεδεμένος στο σύστημα, ο ΚΠ παρέχει σε αυτόν τα αποτελέσματα. Διαφορετικά, ο ΚΠ περιμένει τον χρήστη να συνδεθεί στο σύστημα και να ζητήσει τα αποτελέσματα των υπηρεσιών.
2. Αν ο ΚΠ χρησιμοποιεί τους κλώνους του για να εκτελέσουν τις ΥΙ, αυτοί επιστρέφουν στο Client System και παραδίδουν τα αποτελέσματα υπηρεσιών στον «πατέρα» τους ΚΠ. Μετά από αυτή την αλληλεπίδραση οι κλώνοι αυτοί διαγράφονται. Τελικά, ο «πατέρας» ΚΠ παρέχει τα αποτελέσματα υπηρεσιών στο χρήστη με τρόπο παρόμοιο όπως στην περίπτωση 1.

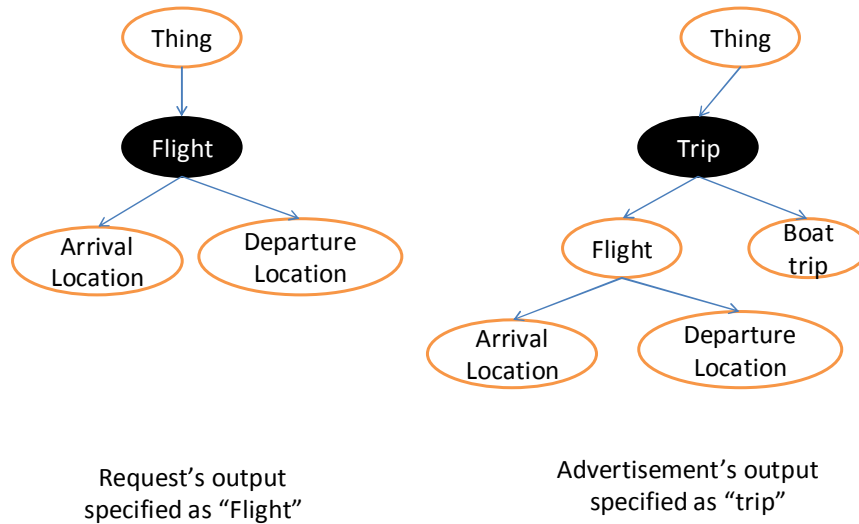
Όταν ο χρήστης λάβει τα αποτελέσματα από τις υπηρεσίες που εκτελέστηκαν, μπορεί να ζητήσει από τον ΚΠ να επαναλάβει ένα από τα ανωτέρω σενάρια αλλάζοντας, εάν είναι απαραίτητο, την πολιτική εκτέλεσης των υπηρεσιών ή του ΚΠ του, ή μπορεί να ακυρώσει την εκτέλεση του ΚΠ. Επίσης, ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να εντοπίσει τον ΚΠ, και να τον καθοδηγήσει για να επιστρέψει ή να ακυρώσει την εκτέλεσή του.

Ένα πρακτικό παράδειγμα χρήσης του προτεινόμενου πλαισίου θα μπορούσε να είναι η κράτηση για ένα ταξίδι από μια θέση Α σε μια θέση Β. Επίσης, στην επιλογή της διαδρομής μπορεί να υπάρχουν κάποιες προτιμήσεις του ταξιδιώτη (π.χ., η πτήση του να έχει μια ενδιάμεση στάση στη θέση Γ). Ο χρήστης ζητά μια υπηρεσία που μπορεί να κάνει αυτή την κράτηση παρέχοντας τις προτιμήσεις του. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, δημιουργείται ένας ΚΠ ο οποίος εκτελεί όλο το συγκεκριμένο αίτημα. Ο ΚΠ έχει τη νοημοσύνη για να ρωτήσει το ΚΥΣΙ και με τη βοήθεια της δυνατότητας σημασιολογικής ταύτισης (ταιριάσματος) του ΚΥΣΙ ανακτά την ακριβέστερη υπηρεσία (η οποία καλύπτει τις απαιτήσεις του χρήστη), μετακινείται στον πάροχο

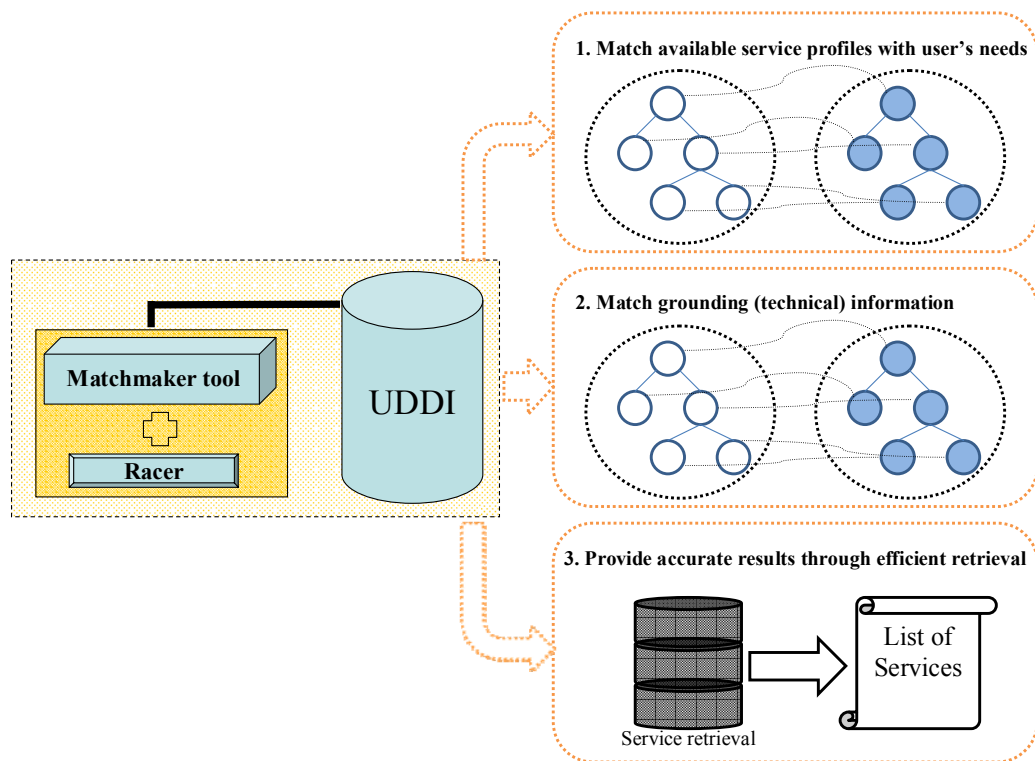
που παρέχει την υπηρεσία, την εκτελεί και τελικά παρέχει με σύγχρονο ή ασύγχρονο τρόπο τα αποτελέσματα στο χρήστη. Η σημασιολογική περιγραφή των ΥΙ στο ΚΥΣΙ και του σαφούς ταιριάσματος των απαιτήσεων του χρήστη στις δυνατότητες των διαθέσιμων ΥΣΙ, οδηγεί σε όσο το δυνατόν καλύτερα και ακριβέστερα αποτελέσματα σχετικά με την εύρεση κατάλληλων υπηρεσιών και στη μεγιστοποίηση της ανάκλησης υπηρεσιών (recall).

Η μεγιστοποίηση της απόδοσης του ταιριάσματος είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι είναι πιθανό να μην υπάρχει σχετική υπηρεσία στο ΚΥΣΙ. Εντούτοις, η πλησιέστερη υπηρεσία πρέπει να ανακτηθεί. Ο αλγόριθμος ταιριάσματος που χρησιμοποιείται στο ΚΥΣΙ εξασφαλίζει αυτό το γεγονός: καθορίζει έναν ευέλικτο μηχανισμό ταιριάσματος βασισμένο στις σχέσεις υπαγωγής (subsumption) της OWL-S. Ο βαθμός ταιριάσματος μεταξύ του αιτήματος και των διαθέσιμων υπηρεσιών εξαρτάται από την αντιστοίχιση των εννοιών των δύο οντολογιών. Συγκεκριμένα, ο μηχανισμός ταιριάσματος στηρίζεται στο σημασιολογικό ταίριασμα μεταξύ των εννοιών, παρά στο συντακτικό ταίριασμα. Στο παράδειγμα μας, ο χρήστης κάνει μια κράτηση σε μία πτήση (“flight”) από τη θέση A στη θέση B, ενώ ο ΚΥΣΙ περιέχει μια υπηρεσία που δεν ταιριάζει ακριβώς με το αίτημα του χρήστη υπό την έννοια ότι στην περιγραφή των ΥΙ το output της υπηρεσίας καθορίζεται ως “trip”, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-7. Αν και δεν υπάρχει καμία ακριβής αντιστοιχία μεταξύ του output του αιτήματος και της περιγραφής της ΥΙ, ο αλγόριθμος ταιριάσματος αναγνωρίζει μια αντιστοιχία-ομοιότητα, καθόσον η έννοια “trip” υπάγει (subsumes) την έννοια “flight”. Αυτό είναι ένα σαφές πλεονέκτημα πέρα από ένα απλό ταίριασμα λέξεων κλειδιών που πραγματοποιείται σε καταλόγους υπηρεσιών όπως το UDDI.

Η Εικόνα 5-8 επεξηγεί την διαδικασία σημασιολογικού ταιριάσματος η οποία εξασφαλίζει την αποδοτική ανάκτηση ΥΣΙ με το να συγκρίνει έννοιες των υπηρεσιών που είναι σαφώς ορισμένες και καθορίζονται σε τρία επίπεδα: το service profile, το service model και το service grounding.



Εικόνα 5-7: Σημασιολογικό Ταίριασμα



Εικόνα 5-8: Ανάκτηση ΥΣΙ

Εάν ακολουθηθεί ο παραδοσιακός τρόπος εκτέλεσης ΥΙ, αυτή η κράτηση του ανωτέρω παραδείγματος θα εκτελούνταν ως εξής: ο χρήστης θα έψαχνε μέσω κάποιου

φυλλομετρητή (browser) σε ένα UDDI και θα ανακτούσε όλες τις σχετικές ΥΙ που παρέχουν υπηρεσία κρατήσεων. Λόγω της έλλειψης σημασιολογικής περιγραφής στον κατάλογο υπηρεσιών (το UDDI δεν υποστηρίζει σημασιολογική περιγραφή των ΥΙ) και λόγω της αναζήτησης ΥΙ που πραγματοποιείται με απλό ταίριασμα λέξεων κλειδιών, ο χρήστης θα λάμβανε ΥΙ που παρέχουν υπηρεσίες κρατήσεων, πιθανώς είτε άσχετες με αυτό που ζητά είτε ΥΙ που δεν είναι ταξινομημένες σύμφωνα με τη σχετικότητά τους με το αίτημα. Κατά συνέπεια, ο χρήστης θα χρειαζόταν να εκτελέσει είτε διαδοχικά είτε τυχαία κάθε ΥΙ μέχρι να βρει την υπηρεσία που καλύπτει πραγματικά τις απαιτήσεις του. Αυτή η αλληλεπίδραση απαιτεί φυσικά τη συνεχή σύνδεση του χρήστη στο δίκτυο καθ' όλη τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης.

#### **5.4 Αξιολόγηση Απόδοσης Προτεινόμενου Πλαισίου**

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η αξιολόγηση της απόδοσης του προτεινόμενου πλαισίου. Συγκεκριμένα, συγκρίνεται η απόδοση του προτεινόμενου πλαισίου σε σχέση με το καθιερωμένο μοντέλο χρήσης των ΥΙ (Conventional Web Service Business Model-WSBM). Στο WSBM ένας χρήστης ζητά να εκτελεστεί μια υπηρεσία και το σύστημα αποστέλλει (είτε αυτόματα είτε με την εμπλοκή του χρήστη) το αίτημα αυτό στον κατάλογο υπηρεσιών ώστε να ανακτηθεί από εκεί η κατάλληλη υπηρεσία ή οι κατάλληλες υπηρεσίες. Στη συνέχεια, το σύστημα εκτελεί τις ΥΙ (εκείνες τις ΥΙ των οποίων ανέκτησε τις περιγραφές τους από τον κατάλογο υπηρεσιών), λαμβάνει και διαβιβάζει/παρουσιάζει στο χρήστη τα αποτελέσματά τους. Για το WSBM έγινε ακριβής υλοποίηση όπως περιγράφεται στο κείμενο αρχιτεκτονικής των ΥΙ [90]. Όλη η επικοινωνία μεταξύ των δικτυακών οντοτήτων που συμμετέχουν πραγματοποιείται με την ανταλλαγή μηνυμάτων SOAP. Το προτεινόμενο πλαίσιο έχει υλοποιηθεί και εξεταστεί σε δύο διαφορετικές πλατφόρμες ΚΠ: τις JADE και Grasshopper. Τα ακόλουθα συστήματα έχουν αναπτυχθεί :

- i. Ένα σύστημα ΥΙ που υλοποιήθηκε σύμφωνα με το “Conventional Web Service Business Model” και αναφέρεται ακολούθως ως WSBM.
- ii. Το προτεινόμενο πλαίσιο που αναφέρεται ως Semantic Web Services and Mobile Agents (SWS&MA)

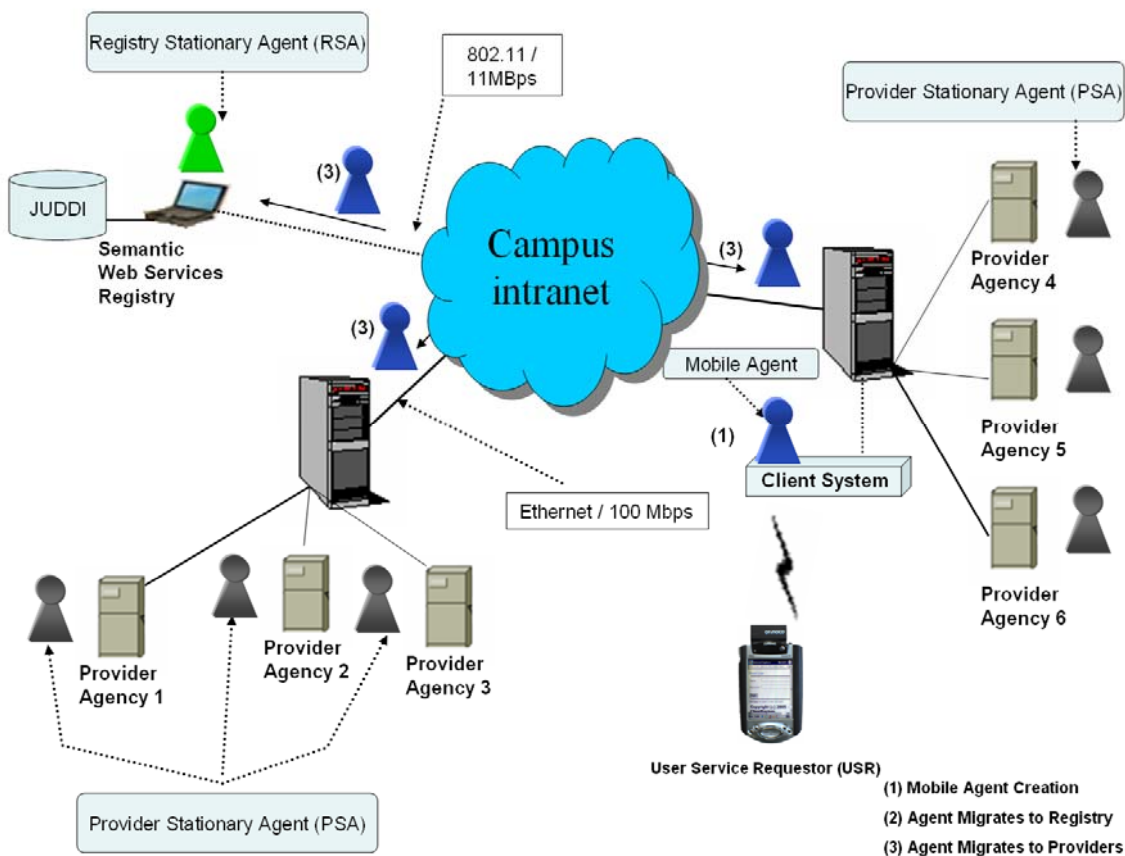
Η λογική των ΥΣΙ που υλοποιήθηκαν στα ακόλουθα πειράματα είναι η εξής : οι ΥΣΙ έχουν μια εκτενή περιγραφή των υπηρεσιών που προσφέρουν, δηλώνοντας σαφώς τις ικανότητές τους με τη χρήση της γλώσσας OWL-S. Αυτή η περιγραφή δημοσιεύεται στο ΚΥΣΙ (SWSR). Η εσωτερική λειτουργία των ΥΣΙ είναι αρκετά απλή, επιστρέφοντας μια προκαθορισμένη ποσότητα δεδομένων σε κάθε αίτημα εκτέλεσής τους. Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, αυτά τα αποτελέσματα των υπηρεσιών ήταν 1 KB, 10 KB, 100KB και 1 MB. Επιπλέον, έχουν υλοποιηθεί έξι ΥΣΙ και έχουν κατανεμηθεί στο δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε.

#### **5.4.1 Αξιολόγηση προτεινόμενου πλαισίου σε JADE**

Το σενάριο αξιολόγησης απόδοσης στη JADE πλατφόρμα θεωρεί ότι ένας χρήστης ζητά μια υπηρεσία, παρέχοντας τις προτιμήσεις του στα ανωτέρω συστήματα WSBM και SWS&MA και αποστέλλει αυτό το αίτημα στον κατάλογο υπηρεσιών. Ο κατάλογος υπηρεσιών στο σύστημα WSBM είναι ένα απλό τοπικό UDDI παρέχοντας αναζητήσεις υπηρεσιών με απλό ταίριασμα λέξεων κλειδίων, ενώ στο σύστημα SWS&MA ο κατάλογος υπηρεσιών (όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 5.3) προσφέρει αναζητήσεις βάσει των δυνατοτήτων των υπηρεσιών. Στην αξιολόγησή μας, η περιγραφή των ΥΣΙ είχαν ορισμένες μικρές διαφορές στις OWL-S περιγραφές τους. Κατά συνέπεια, στο σύστημα WSBM, η αναζήτηση υπηρεσιών στον κατάλογο υπηρεσιών UDDI είχε ως αποτέλεσμα την ανάκτηση κατά μέσο όρο τριών “συναφών” υπηρεσιών ανά αίτημα αναζήτησης ενώ στο σύστημα SWS&MA ο ΚΠ είχε την απαραίτητη νοημοσύνη και γνώση για να φιλτράρει τα αποτελέσματα από το σημασιολογικό κατάλογο υπηρεσιών (ΚΥΣΙ) και να εκτελέσει μόνο μια ΥΣΙ όπου η σημασιολογική περιγραφή της ταίριαζε περισσότερο με το αίτημα και τις προτιμήσεις του χρήστη. Συνεπώς, στο σύστημα WSBM εξετάστηκε ο μέσος χρόνος που απαιτείται από το σύστημα για να εκτελέσει μια υπηρεσία πολλαπλασιαζόμενο επί 3 (τον μέσο αριθμό υπηρεσιών που ανακτώνται σε κάθε αναζήτηση από τον κατάλογο υπηρεσιών), ενώ στο σύστημα SWS&MA εξετάζεται ο μέσος χρόνος που απαιτείται για να εκτελεσθεί μόνο μια ΥΣΙ. Επίσης, στο σύστημα SWS&MA ο αναφερόμενος μέσος χρόνος είναι ο μέσος χρόνος που χρειάστηκε κάθε παραλλαγή του προτεινόμενου πλαισίου για να εκτελεσθεί μια ΥΣΙ. Αυτές οι παραλλαγές του προτεινόμενου πλαισίου είναι: (α) ένα σύστημα που οι ΚΠ χρησιμοποιούν τους

κλώνους τους ώστε να επιτύχουν την ανατιθέμενη εργασία τους, (β) ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ΣΠΠ, και (γ) ένα σύστημα που χρησιμοποιεί κλώνους και ΣΠΠ.

Η τοπολογία του δικτύου δοκιμής που χρησιμοποιήθηκε απεικονίζεται στην Εικόνα 5-9. Το σύστημα είναι ένα τοπικό δίκτυο (LAN) που αποτελείται από δύο τερματικούς σταθμούς και ένα φορητό PC τα οποία συνδέονται με το Διαδίκτυο μέσω του MAN του Πανεπιστημίου.



**Εικόνα 5-9: Τοπολογία δικτύου δοκιμών**

Κατωτέρω, παρέχονται λεπτομέρειες σχετικά με τις μετρικές που υιοθετήθηκαν για την αξιολόγηση της απόδοσης των δύο συστημάτων. Στην εξίσωση 5.1, ο συνολικός χρόνος υπηρεσίας (Total Service Time -  $TST_{MA}$ ) για το σύστημα SWS&MA είναι το άθροισμα του χρόνου αλληλεπίδρασης με τον κατάλογο υπηρεσιών (Registry Interaction Time - RIT), του χρόνου μετακίνησης του ΚΠ σε κάποιο πάροχο υπηρεσίας (Migration of MA to a Service Provider Time-MSPT) και τέλος, του χρόνου που αλληλεπιδρά ο ΚΠ με το συγκεκριμένο πάροχο (Interaction Time with this Service Provider - ITSP):

$$TST_{MA} = RIT + MSPT + ITSP \quad 5.1$$

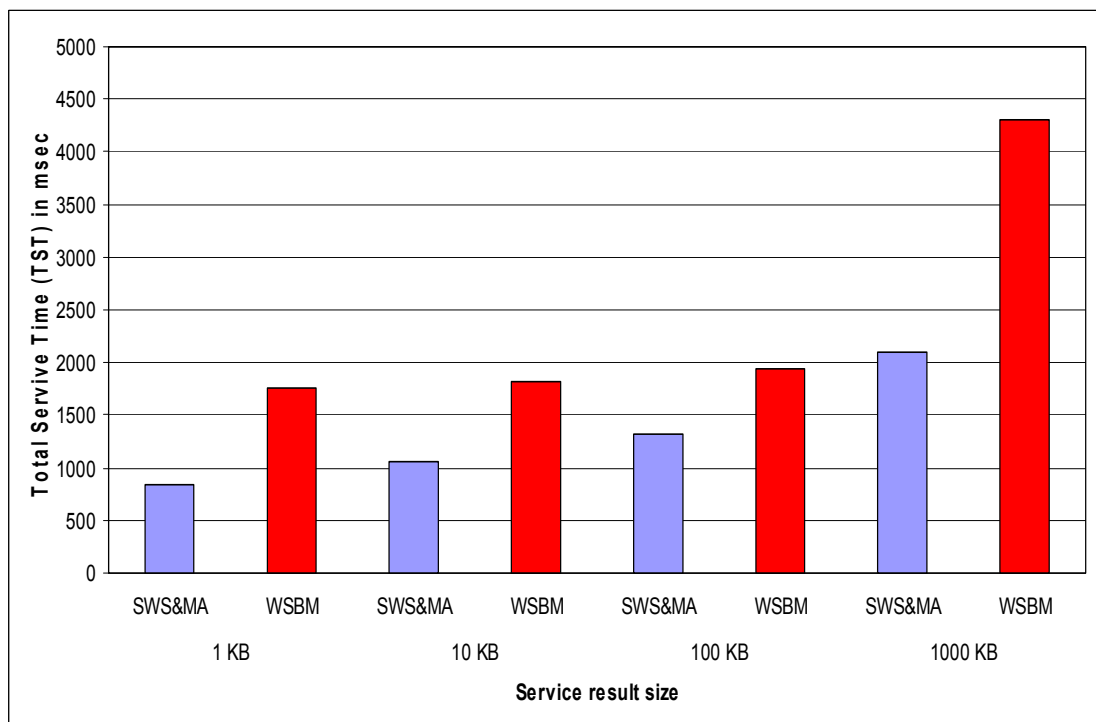
Στο σύστημα WSBM η εξίσωση (5.1) είναι αντιστοίχως:

$$TST_{WSBM} = RIT + \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor * \overline{ITSP} \quad 5.2$$

όπου ο όρος  $\overline{ITSP}$  ορίζεται ως ακολούθως:

$$\overline{ITSP} = N^{-1} * \sum_{i=1}^N ITSP_i \quad 5.3$$

Στην εξίσωση (5.2) όρος  $ITSP_i$  είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από το αίτημα εκτέλεσης υπηρεσιών μέχρι τη λήψη των αποτελεσμάτων εκτέλεσης υπηρεσιών αυτών.



**Εικόνα 5-10: Συνολικός Χρόνος Εκτέλεσης Υπηρεσιών (TST) σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών**

Στην Εικόνα 5-10, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της απόδοσης του προτεινόμενου πλαισίου σε σχέση με το Conventional WS Business Model. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίζεται ο μέσος χρόνος που το σύστημα WSBM χρειάστηκε να εκτελέσει 3 υπηρεσίες σε σχέση με τον μέσο χρόνο που απαιτήθηκε

από το σύστημα SWS&MA να εκτελέσει 1 ΥΣΙ για κάθε μέγεθος αποτελέσματος υπηρεσίας (1 KB, 10 KB, 100KB και 1 MB). Παρατηρούμε ότι ο συνολικός χρόνος υπηρεσίας (TST) στο σύστημα SWS&MA είναι περίπου ο μισός σε σχέση με το WSBM σύστημα, ανεξάρτητα από το μέγεθος των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρόνος αλληλεπίδρασης με τον κατάλογο υπηρεσιών (RIT) στο προτεινόμενο πλαίσιο (SWS&MA) είναι αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με αυτό του συστήματος WSBM, και αυτό εξηγεί το γεγονός ότι ο συνολικός χρόνος υπηρεσίας TST του SWS&MA είναι μισός και όχι το ένα τρίτο (ή ακόμα και μικρότερος) του TST του συστήματος WSBM. Ο υψηλός χρόνος αλληλεπίδρασης με τον κατάλογο υπηρεσιών (RIT) του προτεινόμενου πλαισίου SWS&MA αποδίδεται στη συγκεκριμένη σημασιολογική υλοποίηση του καταλόγου υπηρεσιών και πιθανόν να ήταν λιγότερος εάν είχε χρησιμοποιηθεί κάποιος άλλος σημασιολογικός κατάλογος υπηρεσιών όπως τα OWLS-MX [75] ή TUB OWLSM [74].

#### 5.4.2 Αξιολόγηση προτεινόμενου πλαισίου σε Grasshopper

Στην πλατφόρμα Grasshopper εκτός από τα συστήματα που αναφέρθηκαν στην ενότητα 5.4.1 υλοποιήθηκαν και τα ακόλουθα συστήματα που αποτελούν παραλλαγές του πλαισίου SWS&MA:

1. Ένα πλαίσιο ΚΠ με στάσιμους πράκτορες (ΣΠΚΥ) στο ΚΥΣΙ και τους παρόχους υπηρεσιών (ΣΠΠ). Το σύστημα αναφέρεται ακολούθως από τον αντίστοιχο αγγλικό όρο WITH PSA.
2. Ένα πλαίσιο ΚΠ χωρίς στάσιμους πράκτορες στο ΚΥΣΙ και στους παρόχους. Το σύστημα αναφέρεται ακολούθως από τον αντίστοιχο αγγλικό όρο NO-PSA.
3. Ένα υβριδικό σύστημα όπου κάποιος από τους παρόχους φιλοξενεί ένα στατικό πράκτορα, ενώ άλλοι όχι. Το σύστημα αναφέρεται ακολούθως από τον αντίστοιχο αγγλικό όρο Hybrid.

Η λογική και το σενάριο χρήσης των ΥΙ είναι όπως στα πειράματα στην πλατφόρμα JADE με 6 ΥΙ και προκαθορισμένο μέγεθος αποτελεσμάτων. Η μόνη διαφορά με πριν έγκειται στο ότι ο κατάλογος υπηρεσιών σε κάθε αίτηση εύρεσης υπηρεσιών επιστρέφει το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή, και τις 6 υπάρχουσες υπηρεσίες. Με αυτή



την προσέγγιση κάθε αίτημα οδηγεί στην εκτέλεση όλων των ΥΙ που υπάρχουν με την ίδια σειρά. Η τοπολογία του δικτύου δοκιμής είναι η ίδια με αυτή που απεικονίζεται στην Εικόνα 5-9.

Στα συγκεκριμένα πειράματα μετρήθηκε ο χρόνος μετακίνησης των ΚΠ από ένα ΠΥΙ σε ένα άλλο και ο χρόνος αλληλεπίδρασης των ΚΠ με κάθε ΥΙ. Στο σύστημα WSDM μετρήθηκε ο χρόνος αλληλεπίδρασης (με το κατάλογο υπηρεσιών και με τις ΥΙ).

Οι μητρικές των εξισώσεων 5.1 και 5.2 είναι τώρα:

$$TST_{MA} = RIT + \sum_{i=1}^N (MSPT_i + ITSP_i) \quad 5.4$$

$$TST_{WSBM} = RIT + \sum_{i=1}^N ITSP_i \quad 5.5$$

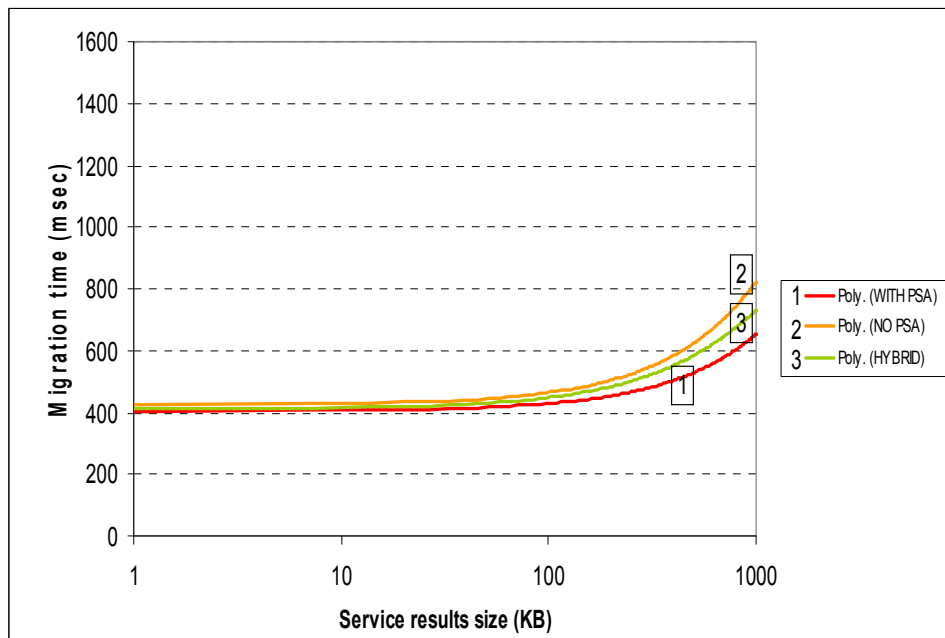
όπου και στις δύο εξισώσεις στο δεύτερο μέρος τους έχει προστεθεί το άθροισμα από τους χρόνους  $MSPT_i + ITSP_i$  και  $ITSP_i$  αντίστοιχα. Ο χρόνος  $MSPT_i$  είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο ΚΠ να μετακινηθεί προς τον ΠΥΙ<sub>i</sub> και ο χρόνος  $ITSP_i$  είναι ο χρόνος αλληλεπίδρασης με την ΥΙ που προσφέρει ο συγκεκριμένος ΠΥΙ<sub>i</sub>. Επίσης, ο όρος  $\overline{ITSP}$  (μέσος χρόνος αλληλεπίδρασης) ορίζεται ως ακολούθως:

$$\overline{ITSP} = N^{-1} * \sum_{i=1}^N ITSP_i \quad 5.6$$

Όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών που εκτελεστήκαν

Στην Εικόνα 5-11 απεικονίζεται ο χρόνος μετακίνησης του ΚΠ από έναν ΠΥΙ σε έναν άλλο σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών (με τη χρήση 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής). Παρατηρούμε ότι οι ΚΠ στο σύστημα “With PSA” έχουν συνεχώς μικρότερο χρόνο μετακίνησης από το Hybrid σύστημα ενώ το δεύτερο έχει συνεχώς μικρότερο χρόνο από το σύστημα “No PSA”. Επιπλέον, καθώς το μέγεθος των αποτελεσμάτων αυξάνεται η προηγούμενη διαφορά γίνεται πιο έντονη και το σύστημα “With PSA” έχει την καλύτερη απόδοση από τα άλλα συστήματα. Η συμπεριφορά αυτή δικαιολογείται επειδή στο σύστημα “With PSA” ο ΚΠ δεν είναι φέρει μαζί του SOAP βιβλιοθήκες προκειμένου να υπο-

στηρίζει τη SOAP επικοινωνία. Στο σύστημα “With PSA” ο ΚΠ είναι «ελαφρύτερος» από ότι στα άλλα δύο συστήματα όπου ο αντίστοιχος ΚΠ πρέπει να είναι εξοπλισμένος τις πρόσθετες SOAP βιβλιοθήκες προκειμένου να μπορεί να ανταλλάσσει μηνύματα SOAP.

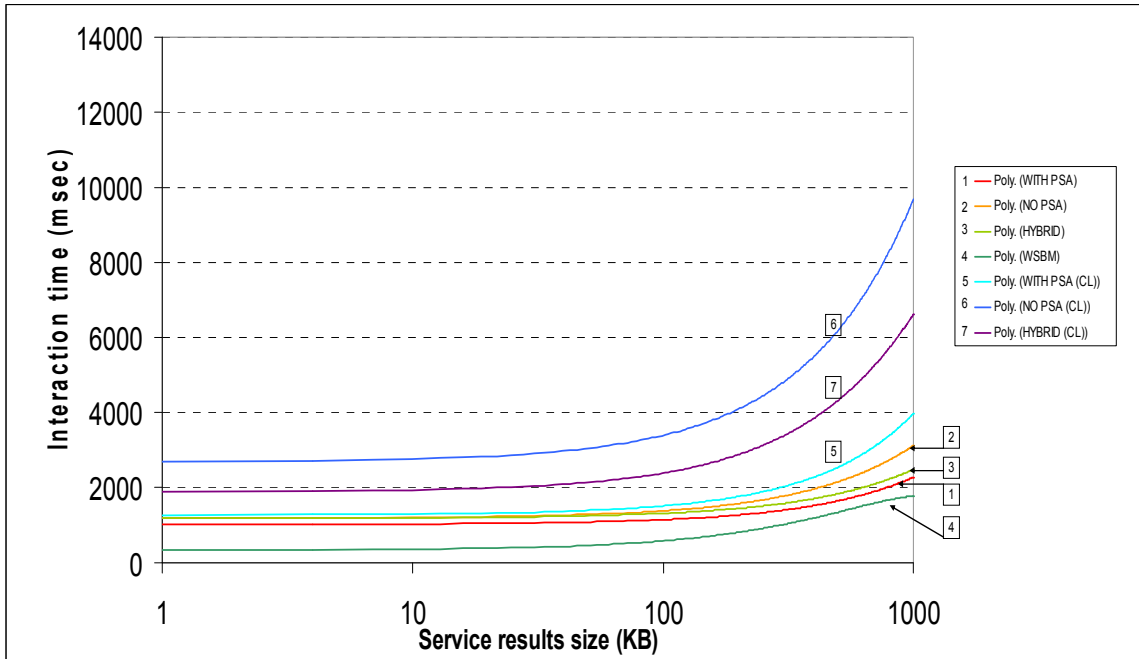


Εικόνα 5-11: Χρόνος Μετακίνησης ΚΠ σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των ΥΙ

Στην Εικόνα 5-12 απεικονίζεται ο χρόνος αλληλεπίδρασης του ΚΠ με τον ΠΥΙ (ITSP) σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών (με τη χρήση 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής). Το CL (Cloning) σημαίνει ότι ο ΚΠ αντί να εκτελέσει διαδοχικά τις ΥΙ αποστέλλει τους κλώνους του για να εκτελέσουν την κάθε ΥΙ (παράλληλη εκτέλεση υπηρεσιών).

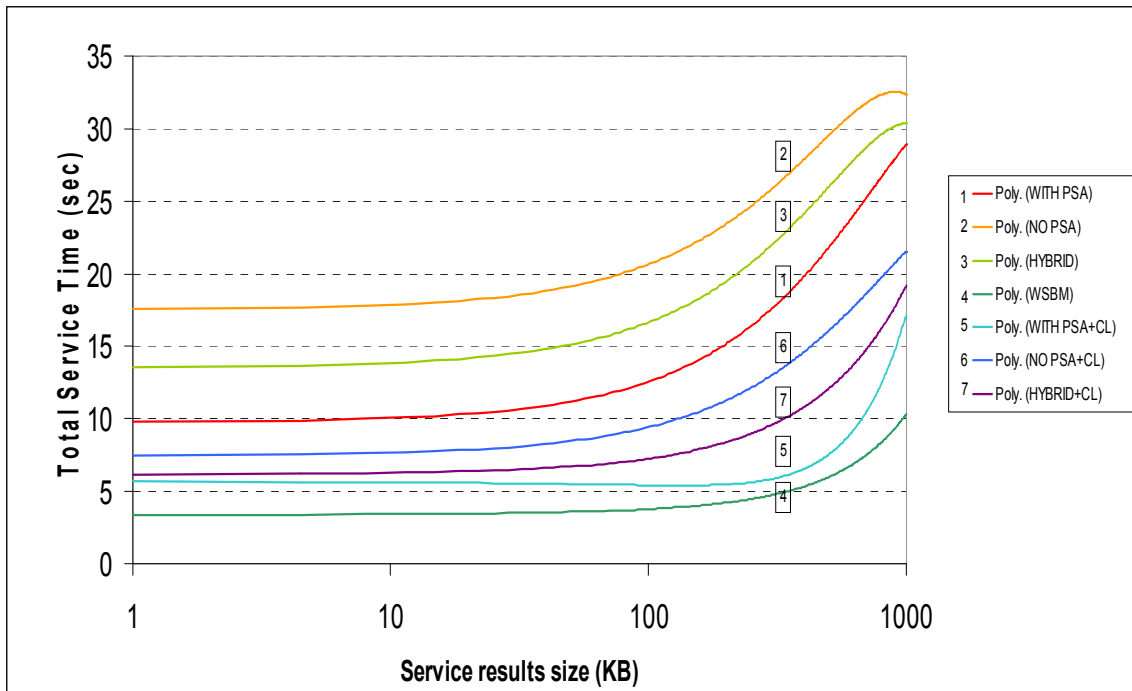
Παρατηρούμε ότι το σύστημα WSBM εμφανίζει το μικρότερο χρόνο αλληλεπίδρασης σε όλες τις περιπτώσεις, και ακολουθούν το “With PSA”, το “Hybrid” και, τελικά, το σύστημα “No PSA”. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα προαναφερθέντα τρία συστήματα με κλωνοποίηση των ΚΠ., Το ITSP είναι σχετικά υψηλό σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται κλωνοποίηση των ΚΠ. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο μικρό αριθμό παρόχων υπηρεσιών που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές μας. Με την κλωνοποίηση των ΚΠ η πλατφόρμα διαποτίζεται από τους πρόσθετους κλώνους που οδηγεί σε σημαντική μείωση της απόδοσης. Επιπλέον, το σύστημα που έχει στάσιμους πράκτορες στους παρόχους και στον κατάλογο υπηρεσιών επικοινωνεί

καλύτερα με τους ΚΠ από ότι το σύστημα όπου ο ΚΠ επικοινωνεί μέσω μηνυμάτων SOAP. Η καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των ΚΠ αποδίδεται στην πλατφόρμα Grasshopper, όπου οι πράκτορες επικοινωνούν με την ανταλλαγή μηνυμάτων με σύγχρονο τρόπο.



Εικόνα 5-12: Χρόνος Αλληλεπίδρασης σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των ΥΙ

Τέλος, στην Εικόνα 5-13, απεικονίζεται ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται κάθε σύστημα να εκτελέσει όλες τις υπηρεσίες (Total Service Time TST) σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των υπηρεσιών (με τη χρήση 2<sup>ου</sup> βαθμού πολυωνυμικών γραμμών παρεμβολής). Παρατηρείται ότι, εκτός από το σύστημα WSBM που παρουσιάζει το χαμηλότερο TST, το σύστημα με το μικρότερο χρόνο υπηρεσιών είναι αυτό που χρησιμοποιεί κλωνοποίηση ΚΠ και παράλληλα χρησιμοποιεί σταθερούς πράκτορες στους παρόχους ΥΙ και στον κατάλογο υπηρεσιών. Επίσης παρατηρείται ότι η κλωνοποίηση των ΚΠ αυξάνει το χρόνο αλληλεπίδρασης μεταξύ του ΚΠ και της ΥΙ αλλά, τελικά, επιφέρει ιδιαίτερη βελτίωση στο σύστημα εξαιτίας του ότι οι ΥΙ εκτελούνται παράλληλα. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου δεν χρησιμοποιείται κλωνοποίηση, οι ΥΙ εκτελούνται διαδοχικά.



Εικόνα 5-13: Συνολικός χρόνος Αλληλεπίδρασης σε σχέση με το μέγεθος των αποτελεσμάτων των ΥΙ

## 5.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο που παρέχει ασύρματη πρόσβαση σε ΥΣΙ χρησιμοποιώντας ΚΠ για να βρουν και να εκτελέσουν ΥΣΙ στο σταθερό τμήμα του δικτύου. Οι ΥΙ είναι σημασιολογικά εμπλουτισμένες και εκφράζονται με τη χρήση της γλώσσας OWL-S. Επιπλέον, στο προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιείται ένας κατάλογος υπηρεσιών ΥΙ που εμπλουτίζεται με σημασιολογικές πληροφορίες των ΥΙ και παρέχει τη δυνατότητα σημασιολογικού ταιριάσματος μεταξύ του αιτήματος για εκτέλεση κάποιας υπηρεσίας και των περιγραφών των ΥΙ που είναι ήδη δημοσιευμένες σε αυτόν. Τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου πλαισίου είναι:

1. Οι χρήστες μπορούν να εκτελούν ένα σύνολο ΥΙ με μόνο μια αλληλεπίδραση με το σταθερό δίκτυο (αποστολή αιτήματος και λήψη αποτελεσμάτων).
2. Οι χρήστες δεν είναι απαραίτητο να είναι συνδεδεμένοι σε όλη τη διάρκεια της ανάκτησης και της εκτέλεσης των ΥΙ. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας μπορούν να μεταφερθούν στην κινητή συσκευή του χρήστη όταν αυτός επανασυνδεθεί στο δίκτυο.

3. Οι κλήσεις των ΥΙ εκτελούνται τοπικά ή σύμφωνα με τις προκαθορισμένες πολιτικές εκτέλεσης των χρηστών και οι περιττές πληροφορίες δε διαβιβάζονται μέσα στο δίκτυο, γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.
4. Το προτεινόμενο πλαίσιο εξασφαλίζει την αξιόπιστη παράδοση των αποτελεσμάτων των ΥΣΙ στο χρήστη.
5. Η δυναμική συμπεριφορά των ΚΠ βελτιώνει την σθεναρότητα των συστημάτων και την ανοχή ελαττωμάτων.
6. Νέες υπηρεσίες, ΚΠ, κατάλογοι υπηρεσιών, χρήστες και υπηρεσίες μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο προτεινόμενο πλαίσιο παρέχοντας ένα επεκτάσιμο και ανοικτό σύστημα.

Τα θέματα που αναλύθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται στις δημοσιεύσεις: [166], [172] και [168].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CASE BASE REASONING

#### 6.1 Εισαγωγή

Η αυξανόμενη απαίτηση των σημερινών χρηστών για πρόσβαση σε υπηρεσίες από οπουδήποτε, οποτεδήποτε και ανεξάρτητα από το δίκτυο και τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων τερματικών συσκευών δημιουργεί νέες απαιτήσεις για την εύρεση, επιλογή και παροχή υπηρεσιών. Επιπλέον, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για την εξατομίκευση υπηρεσιών, ενώ οι χρήστες απαιτούν οι προσφερόμενες υπηρεσίες όχι μόνο να προσαρμόζονται σύμφωνα με τις πληροφορίες του τρέχοντος πλαισίου τους (user context) αλλά να προσαρμόζονται και σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Επίσης, νέες υπηρεσίες δημιουργούνται και προσφέρονται στα κινητά δίκτυα που θα δημιουργήσουν έναν αυξανόμενο αριθμό δυνητικών χρηστών, πράγμα που σημαίνει ότι η ετερογένεια χρηστών/συσκευών θα αυξηθεί επίσης. Η κατάλληλη επιλογή και προσαρμογή υπηρεσιών στο πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι σημαντικής σπουδαιότητας στα περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών. Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να συνεκτιμηθούν προκειμένου να καθοριστεί ρητά το πλαίσιο των χρηστών (user context) είναι: οι προτιμήσεις υπηρεσιών των χρηστών (user service profile), οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών, καθώς και οι δυνατότητες του δικτύου που βρίσκεται ο χρήστης. Το βασικό θέμα στην επιλογή και προσαρμογή μιας υπηρεσίας είναι η περιγραφή του πληροφοριών πλαισίου με σημασιολογικές πληροφορίες, οι οποίες τις περιγράφουν σαφώς και μονοσήμαντα.

Σε αυτή την εργασία προτείνεται ένα νέο πλαίσιο για την επιλογή και την προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα το οποίο λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις χρηστών και τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών μαζί με τα αιτήματα των υπηρεσιών προκειμένου να επιλεγθούν οι πιο κατάλληλες από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Όλο τα δεδομένα εκφράζονται (ή κατάλληλα αντιστοιχίζονται

/εμπλουτίζονται) με σαφή τρόπο με τη χρήση κατάλληλης σημασιολογίας και ένα σύστημα Case Base Reasoning χρησιμοποιείται για να επιλέξει την πιο κατάλληλη υπηρεσία με την επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων. Το σύστημα Case Based Reasoning System (CBRS) ανακτά την πιο κατάλληλη υπηρεσία με τη σύγκριση προηγούμενων περιπτώσεων (αντίστοιχων αιτήσεων και υπηρεσιών που τελικά επιλέχθηκαν) με το τρέχον αίτημα υπηρεσιών. Αυτή η σύγκριση εκτελείται χρησιμοποιώντας σχετικές μετρικές ομοιότητας. Παρέχονται λεπτομέρειες σχετικά με τις διαφορετικές πτυχές της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και ενδεικτικά παραδείγματα για την επεξήγηση της μεταβλητότητας του προτεινόμενου πλαισίου.

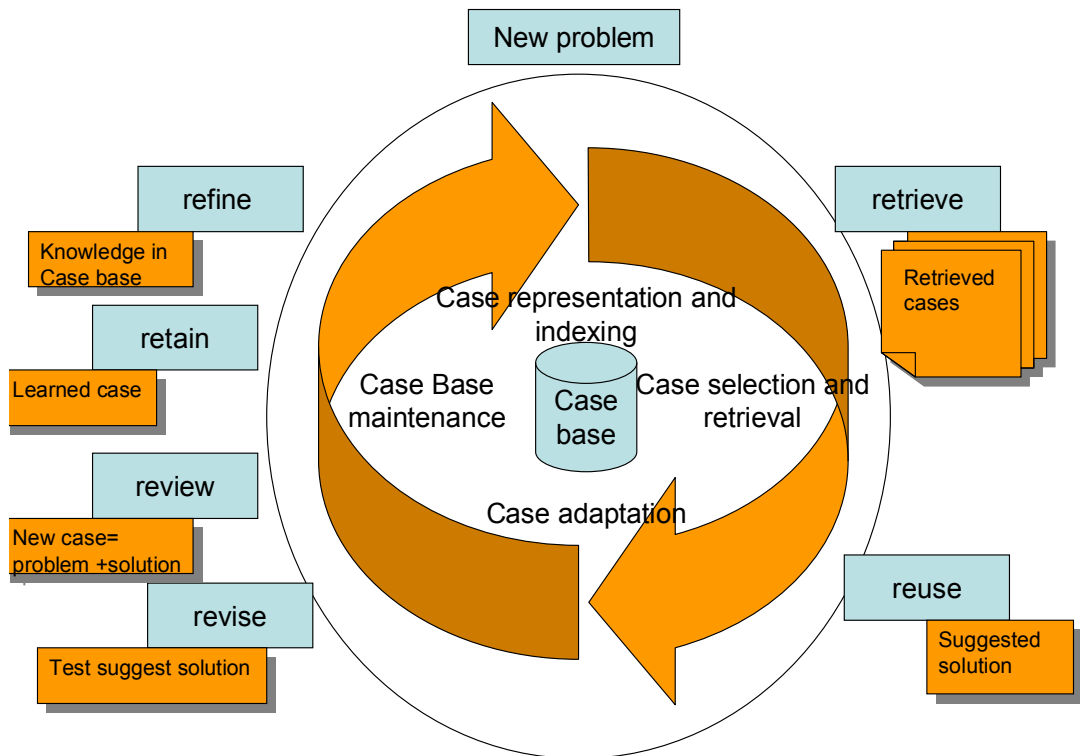
## 6.2 Σχετική θεωρία

Αρχικά παρέχεται μια σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας Case Based Reasoning και στη συνέχεια, παρουσιάζονται μερικές βασικές έννοιες του σημασιολογικού Ιστού. Τελικά συζητείται πώς οι υπηρεσίες περιγράφονται στα 3G δίκτυα.

Η μεθοδολογία CBR βασίζεται στο ότι *“λύνει ένα νέο πρόβλημα με την ανάκληση μιας προηγούμενης παρόμοιας κατάστασης και με την επαναχρησιμοποίηση των πληροφοριών και της γνώσης εκείνης της κατάστασης”* [93]. Η μεθοδολογία CBR μοιάζει με τη φύση του ανθρώπινου συλλογισμού, όπου η προσπάθεια για την επίλυση νέων προβλημάτων γίνεται με την αναφορά σε παρόμοιες προηγούμενες περιπτώσεις. Στη μεθοδολογία CBR, η αρχική πηγή γνώσης δεν είναι μερικοί γενικευμένοι ή ρητοί κανόνες αλλά μια μνήμη αποθηκευμένων προηγούμενων περιπτώσεων. Η πείρα είναι ενσωματωμένη σε μια βάση δεδομένων των προηγούμενων περιπτώσεων, με κάθε περίπτωση να περιέχει την περιγραφή του προβλήματος, τη λύση και την έκβαση της όλης διαδικασίας. Η διαδικασία συλλογισμού που χρησιμοποιείται για να φθάσει σε μια λύση δεν καταγράφεται, αλλά είναι κρυμμένη στη λύση. Η γνώση που αποκτάται κατά τη διάρκεια του κύκλου του CBR είναι ενσωματωμένη μέσα στις νέες καταστάσεις που παρεμβάλλονται στη βάση δεδομένων με τις παλαιότερες περιπτώσεις. Η επίλυση ενός νέου προβλήματος με την μεθοδολογία του CBR περιλαμβάνει τα εξής βήματα (Εικόνα 6-1):



- I. Τη διαδικασία ανάκτησης παρόμοιας περίπτωσης (ή περιπτώσεων) από τη βάση περιπτώσεων (Case Base) χρησιμοποιώντας κατάλληλο ταίριασμα (το νέο πρόβλημα σε σχέση με τις αποθηκευμένες περιπτώσεις στη βάση),
- II. Την επαναχρησιμοποίηση της ανακτημένης περίπτωσης (ή περιπτώσεων) ή μερών αυτής με την ενσωμάτωση αυτής της περίπτωσης ή το συνδυασμό αυτών των περιπτώσεων και την παροχή μιας πρότασης για την επίλυση του τρέχοντος προβλήματος.
- III. Την αναθεώρηση ή/και προσαρμογή των ανακτημένων περιπτώσεων στο τρέχον πρόβλημα προκειμένου να παρασχεθεί μια ρεαλιστική λύση
- IV. Τη διατήρηση – αποθήκευση της νέας λύσης ως νέα περίπτωση στη βάση περιπτώσεων.



Εικόνα 6-1: Επίλυση προβλήματος με την μεθοδολογία CBR.

Οι προαναφερθείσες διαδικασίες αντιστοιχίζονται στις ακόλουθες εργασίες:

- I. Αντιπροσώπευση περιπτώσεων και ευρετηρίαση,

- II. Ταίριασμα περιπτώσεων και ανάκτηση,
- III. Προσαρμογή περιπτώσεων
- IV. Συντήρηση βάσης περιπτώσεων

Για κάθε τέτοια εργασία ένας μεγάλος αριθμός προσεγγίσεων θα μπορούσε να υιοθετηθεί. Η αντιπροσώπευση περιπτώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε από την απλή αντιστοίχιση κλειδιού – τιμής των κύριων χαρακτηριστικών, είτε από μια σχεσιακή βάση δεδομένων ή μια αντικειμενοστραφής μορφής (object oriented form). Το ταίριασμα περιπτώσεων εκτελείται από τον υπολογισμό της απόστασης της νέας περίπτωσης (προβλήματος) από τις περιπτώσεις στη βάση περιπτώσεων, είτε με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων μετρικών ομοιότητας, είτε με την αναδρομή στη δομή του ευρετηρίου για την εύρεση παρόμοιας περίπτωσης ή περιπτώσεων. Η προσαρμογή περιπτώσεων στο νέο πρόβλημα εκτελείται είτε με την αντιγραφή της λύσης της ανακτώμενης περίπτωσης στο νέο πρόβλημα, είτε με την επιλογή μερών της λύσεως και την αντιγραφή τους στο νέο πρόβλημα, είτε με την αντικατάσταση μερών από την ανακτημένη λύση (ή λύσεις) χρησιμοποιώντας προγενέστερη γνώση και περιορισμών. Στη συντήρηση της βάσης περίπτωσης υπάρχουν δύο εργασίες συντήρησης: μια ποιοτική και μια ποσοτική. Η πρώτη αφορά στη διασφάλιση της ακρίβειας, της συνέπειας και της πληρότητας του συστήματος CBR και η δεύτερη με την αποδοτικότητα επίλυσης του προβλήματος, τα όρια αποθήκευσης και την επανα-ευρετηρίαση της βάσης περιπτώσεων.

Οι περιπτώσεις μπορούν να εκφραστούν με έναν σαφή τρόπο π.χ. μέσω οντολογιών. Κάθε αποθηκευμένη περίπτωση είναι μέρος μιας οντολογίας που διευκρινίζει σαφώς τα συστατικά της. Οι οντολογίες βοηθούν στον διαμοιρασμό της γνώσης μεταξύ ετερογενών συστημάτων, μέσω των ρητών επίσημων προδιαγραφών των όρων που χρησιμοποιούνται σε μια περιοχή γνώσης καθώς και των σχέσεων μεταξύ αυτών [94]. Μέχρι σήμερα, διάφορες γλώσσες έχουν προταθεί για την περιγραφή υπηρεσιών Ιστού (Web Services). Στην παρούσα εργασία υιοθετείται η γλώσσα OWL-S [72], δεδομένου ότι έχει καλά καθορισμένες προδιαγραφές και είναι ευρέως αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα. Η οντολογία OWL-S καθορίζει εμμέσως τους τύπους μηνυμάτων (ως τύπους εισαγωγής/εξόδου των διαδικασιών) σε όρους των κλάσεων OWL-S, το οποίο επιτρέπει ένα πλούσιο, σημασι-

ολογικά ιεραρχικό δόμημα εννοιών. Συγκεκριμένα, η OWL-S μοντελοποιεί τις υπηρεσίες μέσω τριών υπο-οντολογιών που περιλαμβάνουν:

- i. Ένα προφίλ υπηρεσίας που περιγράφει τι απαιτεί και τι παρέχει η υπηρεσία στους χρήστες (service profile).
- ii. Ένα μοντέλο της υπηρεσίας που καθορίζει πώς δουλεύει η υπηρεσία (service model).
- iii. Πληροφορίες για το πώς χρησιμοποιείται η υπηρεσία (service grounding).

Στο προτεινόμενο πλαίσιο, οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών από τους χρήστες για να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες περιγράφονται με σαφή τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη σημασιολογικών πληροφοριών στα τυποποιημένα μέσα περιγραφής δυνατοτήτων συσκευών. Στα κινητά δίκτυα, το Composite Capabilities/Preference Profile (CC/PP) [95] έχει προταθεί από την κοινοπραξία World Wide Web για την περιγραφή κινητών συσκευών. Το CC/PP παρέχει περιγραφή των δυνατοτήτων συσκευών και των προτιμήσεων των χρηστών και χρησιμοποιείται για να κάνει γνωστό το context του χρήστη προκειμένου να επιτρέψει στους παρόχους υπηρεσιών να προσαρμόσουν το περιεχόμενο των υπηρεσιών τους σε αυτό το πλαίσιο. Το CC/PP είναι βασισμένο στο πλαίσιο περιγραφής πόρων (Resource Description Framework-RDF) [29] και κύρια μέρη που περιγράφει το δέντρο περιγραφής του CC/PP είναι: το λογισμικό, το υλικό και πληροφορίες σχετικά με τις χρησιμοποιούμενες εφαρμογές (όπως π.χ ο διαθέσιμος browser τους).

Επίσης, το προτεινόμενο πλαίσιο λαμβάνει υπόψη υπηρεσίες που εκφράζονται χρησιμοποιώντας σημασιολογική περιγραφή. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Parlay X υπηρεσιών ιστού [96], οι υπηρεσίες Ιστού στα κινητά δίκτυα περιγράφονται με τα ακόλουθα στοιχεία:

- I. Το κείμενο καθορισμού τύπων που περιέχει ορισμούς των δεδομένων (προαιρετικό).
- II. Το κείμενο των κοινών σφαλμάτων που περιλαμβάνει την περιγραφή και καθορισμό των σφαλμάτων (προαιρετικό).

- III. Το κείμενο διεπαφής υπηρεσίας που περιέχει την περιγραφή και τον καθορισμό των μηνυμάτων και των διεπαφών των υπηρεσιών που εκφράζονται σε Web Service Description Language (WSDL) (γλώσσα περιγραφής υπηρεσιών Ιστού).
- IV. Το κείμενο διασύνδεσης υπηρεσίας που περιλαμβάνει τόσο την περιγραφή διασύνδεσης της υπηρεσίας και τον καθορισμό της υπηρεσίας (προαιρετικό).

Οι προδιαγραφές στην αναφορά [96] καλύπτουν όλες τις πτυχές της περιγραφής και της κλήσης υπηρεσιών. Προκειμένου το προτεινόμενο πλαίσιο να επεξεργαστεί τις υπηρεσίες αυτές πρέπει η περιγραφή αυτών των υπηρεσιών να μετατραπεί σε OWL-S.

### 6.3 Σχετική βιβλιογραφία

Σε αυτό το τμήμα, παρέχεται μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας για την επιλογή και προσαρμογή υπηρεσιών που πραγματοποιείται κυρίως στα κινητά δίκτυα.

Στην αναφορά [91] η εμπειρία εκτέλεσης υπηρεσιών ιστού (ΥΙ) μοντελοποιείται ως περιπτώσεις που περιέχουν λειτουργικές και μη λειτουργικές εξαρτώμενες ιδιότητες ΥΙ και περιγράφονται χρησιμοποιώντας σημασιολογική περιγραφή. Στο προτεινόμενο πλαίσιο ένας Case Based reasoner αντιστοιχίζει το νέο αίτημα για κάποια υπηρεσία με τις περιπτώσεις στη βάση περιπτώσεων χρησιμοποιώντας την τεχνική ταιριάσματος του Nearest Neighbor (κοντινότερου γείτονα). Ο reasoner υπολογίζει την ομοιότητα κάθε ιδιότητας μεταξύ του νέου προβλήματος και των περιπτώσεων στην βάση περιπτώσεων και ποσοτικοποιεί το βάρος της ομοιότητας τους και τελικά επιλέγει την περίπτωση με το μέγιστο βαθμό ομοιότητας. Στο υπόψη πλαίσιο, τα αιτήματα υπηρεσιών από το χρήστη λαμβάνονται υπόψη με μονολιθικό και αδιαφανή τρόπο, δεδομένου ότι οι χρήστες πρέπει ρητά να καθορίσουν τις απαιτήσεις των υπηρεσιών. Στην παρούσα εργασία, το προτεινόμενο πλαίσιο λαμβάνει υπόψη δεδομένα σχετικά με τον χρήστη, όπως το προφίλ υπηρεσιών του χρηστών και οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών, ενώ τα αιτήματα υπηρεσιών αντιστοιχίζονται/ευθυγραμμίζονται κατάλληλα χρησιμοποιώντας σημασιολογι-

κές γλώσσες προκειμένου να ανακτηθούν ακριβώς οι κατάλληλες υπηρεσίες από τη βάση περιπτώσεων.

Η βάση της προσέγγισης στην εργασία [92], είναι να παρουσιαστούν στους κινητούς χρήστες υπηρεσίες που παρέχονται από τοπικούς παρόχους και να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της έννοιας του VHE (Virtual Home Environment). Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση αυτό θα μείωνε την πρόσθετη κίνηση στο δίκτυο, θα οδηγούσε στην καλύτερη χρησιμοποίηση των υπολογιστικών πόρων και θα ελάττωνε τις απειλές ασφάλειας. Αν και τα κύρια χαρακτηριστικά της έννοιας VHE διατηρούνται, η εγγραφή και η προσαρμογή υπηρεσιών, τα προφίλ υπηρεσιών των χρηστών, ο έλεγχος των οικείων δικτύων και των παρερχομένων υπηρεσιών δεν εξετάζονται. Επιπλέον, γίνεται χρήση σημασιολογικής περιγραφής των προσφερομένων υπηρεσιών και των υπηρεσιών πλαισίου με τη χρησιμοποίηση οντολογιών. Οι υπηρεσίες περιγράφονται με το αποκαλούμενο Service Profile (που περιγράφεται κατάλληλα με την Service ontology) και εγγράφονται και αποθηκεύονται στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE. Οι χρήστες έχουν ένα ή πολλά προφίλ υπηρεσιών που διατηρούνται στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE. Χρησιμοποιείται μια οντολογία πλαισίου (context ontology) για να “συλλάβει” τη γνώση του περιβάλλοντος των χρηστών και να επηρεάσει την προσαρμογή ή την παροχή των υπηρεσιών (π.χ., χρόνος, θέση χρηστών, δίκτυο, τερματικό και σχετικές με το χρήστη πληροφορίες). Η περιγραφή πλαισίου αποκαλύπτεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του αιτήματος ή της εκτέλεσης υπηρεσιών. Η προτεινόμενη προαναφερθείσα προσέγγιση έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως η υιοθέτηση της περιγραφής υπηρεσιών και πλαισίου με σημασιολογικές πληροφορίες αλλά και ενός σημαντικού μειονεκτήματος: Το ενδιάμεσο λογισμικό VHE θα πρέπει να διατηρεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων για τα προφίλ υπηρεσιών των χρηστών (αυτό μπορεί να συγκριθεί με τη λειτουργία των καταλόγων UDDI στις ΥΙ) για να εκτελέσει ένα ταίριασμα μεταξύ των υπηρεσιών που είναι εγγραμμένος ο χρήστης και περιλαμβάνονται στο προφίλ του και στις διαθέσιμες υπηρεσίες στο ενδιάμεσο λογισμικό VHE προκειμένου να βρεθεί μια παρόμοια υπηρεσία. Αν και ένα πρωτότυπο της προτεινόμενης προσέγγισης δεν έχει υλοποιηθεί, τα προβλήματα κλιμάκωσης και αξιοπιστίας είναι σοβαρά.

Ένα πλαίσιο αποκαλούμενο Personalized Service Framework (PSF) παρουσιάζεται στην αναφορά [97], το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και

να εκτελούν ΥΙ στην κινητή συσκευή τους. Οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών και το πλαίσιο (context) των χρηστών εκφράζονται με το CC/PP. Ένα συγκεκριμένο τμήμα, που ονομάζεται Service Searcher, είναι υπεύθυνο για να εντοπίσει τις ΥΙ (που εκφράζονται με OWL-S) οι οποίες είναι αποθηκευμένες σε μια βάση δεδομένων υπηρεσιών. Επίσης εκτελεί την διαδικασία αντιστοίχισης μεταξύ του αιτήματος και των αποθηκευμένων υπηρεσιών, η οποία βασίζεται κυρίως στη σύγκριση των Inputs/Outputs των αιτημάτων υπηρεσιών και των διαθέσιμων υπηρεσιών.

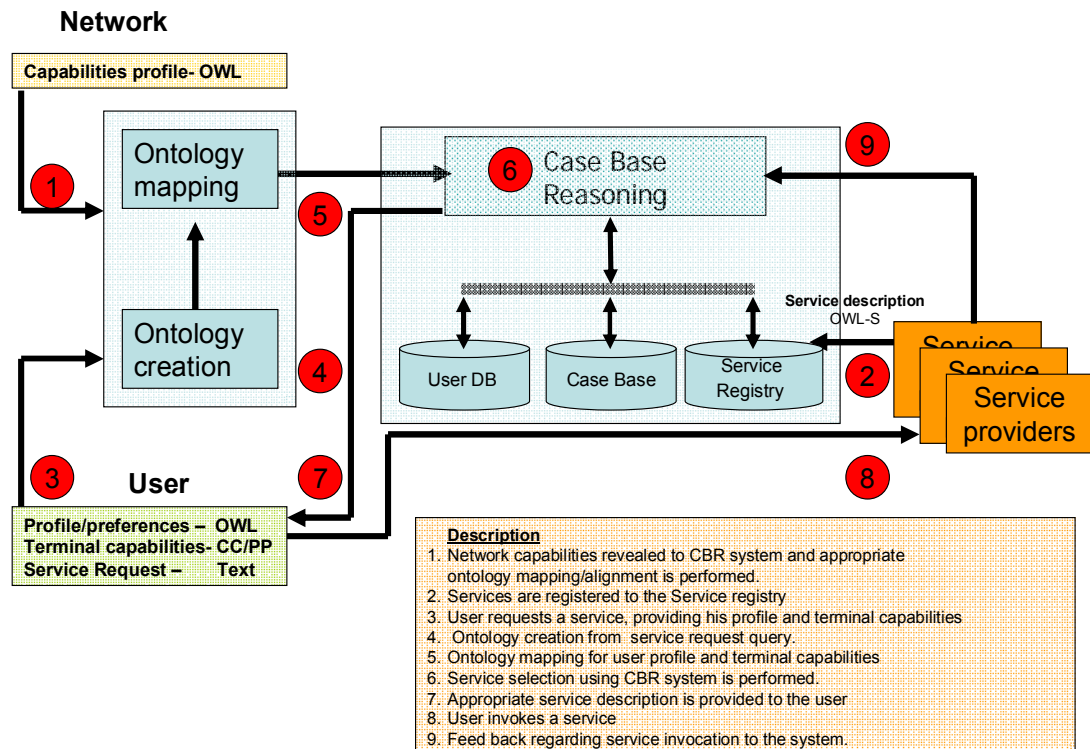
Το πλαίσιο Delivery Context :Client Interface (DCCI) [112] (το οποίο είναι υπό τυποποίηση), μπορεί να παρέχει πληροφορίες πλαισίου (contextual information) (όπως ιδιότητες συσκευών, δικτύου και προτιμήσεις χρηστών) στους παρόχους υπηρεσιών, επιτρέποντας κατά συνέπεια την προσαρμογής πλαισίου και την ανεξαρτησία συσκευών. Το DCCI καλύπτει τα μέρη του χρήστη και του δικτύου στην διαδικασία προσαρμογής υπηρεσιών.

#### **6.4 Αρχιτεκτονική Πλαισίου**

Το προτεινόμενο πλαίσιο ενισχύει την περιγραφή των υπηρεσιών που εκφράζονται με την γλώσσα WSDL με τον εμπλουτισμό τους με σημασιολογικές πληροφορίες με την χρήση οντολογιών, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα OWL-S. Επιπλέον, με τον σημασιολογικό εμπλουτισμό των περιγραφών των υπηρεσιών και των αιτημάτων εύρεσης και εκτέλεσης υπηρεσιών, το πλαίσιο είναι σε θέση να παρέχει αντιστοίχιση μεταξύ των αιτημάτων αυτών και των διαθέσιμων υπηρεσιών. Οι αντιπροσωπευτικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την υπόψη αντιστοίχιση περιγράφονται στην αναφορά [87] είναι:

- Σημασιολογικό ταίριασμα δυνατοτήτων (Semantic Capability Matching)
- Αντιστοίχιση Πολλαπλών επιπέδων (Multilevel Mapping)
- Αντιστοίχιση με τη χρήση λογικής περιγραφής και οντολογιών προφίλ υπηρεσίας (Description Logic Matching with service profile ontologies)
- Τεχνικές που βασίζονται στην ανάκτηση πληροφοριών και σε γράφους (Information retrieval and Graph-based approaches).

Στην Εικόνα 6-2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου πλαισίου. Στη συνέχεια, παρέχεται μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του υπόψη συστήματος. Το σύστημα αποτελείται από τις ακόλουθες οντότητες:



Εικόνα 6-2: Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Πλαισίου

- **Δίκτυο (Network):** Παρέχει το προφίλ δυνατοτήτων του δικτύου όπως παράμετροι που αφορούν στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS), χωρητικότητα και διαθέσιμα πρωτόκολλα κλπ.
- **Χρήστες (Users):** Αιτούνται την εύρεση και εκτέλεση υπηρεσιών ενώ παρέχουν το προφίλ υπηρεσιών τους και τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών τους.
- **Πάροχοι Υπηρεσιών (Service providers):** Δημοσιοποιούν τις περιγραφές των υπηρεσιών τους στον κατάλογο υπηρεσιών (εκφρασμένες σε OWL-S), παρέχουν τις υπηρεσίες τους στους χρήστες και παρέχουν ανατροφοδότηση στο σύστημα CBR σχετικά με την χρήση των υπηρεσιών τους.

- **Ενότητα Δημιουργίας Οντολογιών (Ontology creation):** Χρησιμοποιεί τα αιτήματα για υπηρεσίες για να δημιουργήσει στιγμιότυπα (instances) οντολογιών υπηρεσιών.
- **Ontology mapping:** Παρέχει αντιστοίχιση στις οντολογίες του προφίλ υπηρεσιών του χρήστη και στην περιγραφή των δυνατοτήτων των χρησιμοποιούμενων τερματικών συσκευών.
- **Case Based Reasoning system (CBRS):** Πραγματοποιεί επιλογή κατάλληλων υπηρεσιών βασισμένη σε προηγούμενες περιπτώσεις και παρέχει την περιγραφή της επιλεγμένης υπηρεσίας στον χρήστη.

Στο προτεινόμενο πλαίσιο, οι δυνατότητες του δικτύου γίνονται γνωστές στο CBRS και πραγματοποιείται κατάλληλη αντιστοίχιση ώστε η παραχθείσα οντολογία να αναφέρεται στις ίδιες έννοιες που υπάρχουν στην Βάση Περιπτώσεων, όπως η ποιότητα υπηρεσίας (QoS), η τεχνολογία και ο τύπος δικτύου κλπ. Οι διαθέσιμες υπηρεσίες δημοσιεύονται στον κατάλογο υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες εκφράζονται με την χρήση της OWL-S, με την απαραίτητη προσθήκη επιπλέον περιγραφών στην περιγραφή WSDL. Πρέπει να σημειωθεί ότι η δημοσίευση δυνατοτήτων δικτύου στο CBRS και η εγγραφή υπηρεσιών στον κατάλογο υπηρεσιών εκτελούνται off-line και όχι κατά τον χρόνο εκτέλεσης (δηλ. με κάθε αίτημα για κάθε υπηρεσία). Κάθε χρήστης ζητά μια υπηρεσία, που παρέχει τις παραμέτρους-προτιμήσεις και τις δυνατότητες της τερματικής συσκευής του. Οι παράμετροι - προτιμήσεις εκφράζονται σε OWL, οι δυνατότητες της τερματικής συσκευής σε CC/PP και το αίτημα υπηρεσίας είναι απλό κείμενο (π.χ., Πώς είναι ο καιρός στη Ρώμη τώρα (How is the weather in Rome now) ή *“How long does it take to travel from Rome to Paris by train?”*). Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η δημιουργία της σχετικής οντολογίας για το αίτημα υπηρεσιών και εκτελείται η αντιστοίχιση της οντολογίας για τις παραμέτρους του χρήστη και τις δυνατότητες της τερματικής συσκευής του. Το CBR λαμβάνει τα αιτήματα υπηρεσιών και βρίσκει τις καταλληλότερες περιγραφές υπηρεσιών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιότητα. Η διαδικασία ταιριάσματος εκτελείται σε δύο βήματα: α. Ερωτώντας την βάση δεδομένων των χρηστών (user DB) για παρόμοιο αίτημα υπηρεσιών από τον ίδιο χρήστη, και β. Ανακτώντας παρόμοιες προηγούμενες περιπτώσεις από τη βάση περιπτώσεων (η διαδικασία αναλύεται περαιτέρω παρακάτω). Η περιγραφή της υπηρεσίας (ή περιγραφές υπηρεσιών) με

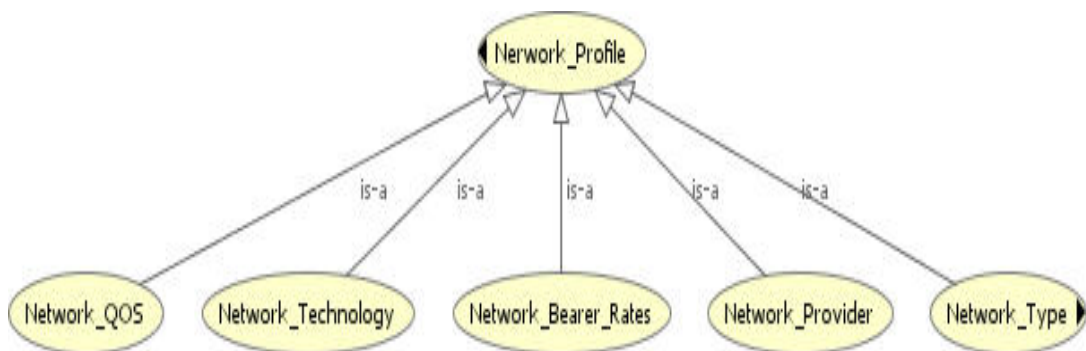


το καλύτερο αποτέλεσμα παρέχεται στο χρήστη. Ο χρήστης λαμβάνει την περιγραφή της υπηρεσίας και είτε καλεί την υποδειγμένη υπηρεσία είτε απορρίπτει την πρόταση του CBRS. Το γεγονός της εκτέλεσης ή όχι της προτεινόμενης υπηρεσίας παρέχεται στο πλαίσιο είτε άμεσα σε περίπτωση εκτέλεσης της υπηρεσίας είτε έμμεσα, π.χ. όταν παρέλθει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και ο χρήστης έχει ή δεν έχει εκτελέσει την προτεινόμενη υπηρεσία. Στις ακόλουθες παραγράφους αναλύονται περαιτέρω τα διάφορα τμήματα του προτεινόμενου πλαισίου.

#### 6.4.1 Δίκτυο

Κάθε δίκτυο περιγράφεται με ένα προφίλ δικτύου, το οποίο εκφράζεται με μια οντολογία εκφρασμένη σε OWL. Αυτή η οντολογία περιέχει τις ακόλουθες έννοιες (Εικόνα 6-3):

- Network\_Provider, επιπλέον πληροφορίες για τον πάροχο Δικτύου (όπως στατική διαμόρφωση)
- Network\_Type, τύπος δικτύου
- Network\_Technology, τεχνολογία δικτύου, όπως, UMTS, WLAN, GSM, Wi-Fi)
- Network\_Bearer\_Rates, όπως εύρος ζώνης δικτύου
- Network\_QOS, παράμετροι απόδοσης δικτύου όπως χωρητικότητα, αξιοπιστία, πρότυπα ασφάλειας, κόστος χρήσης

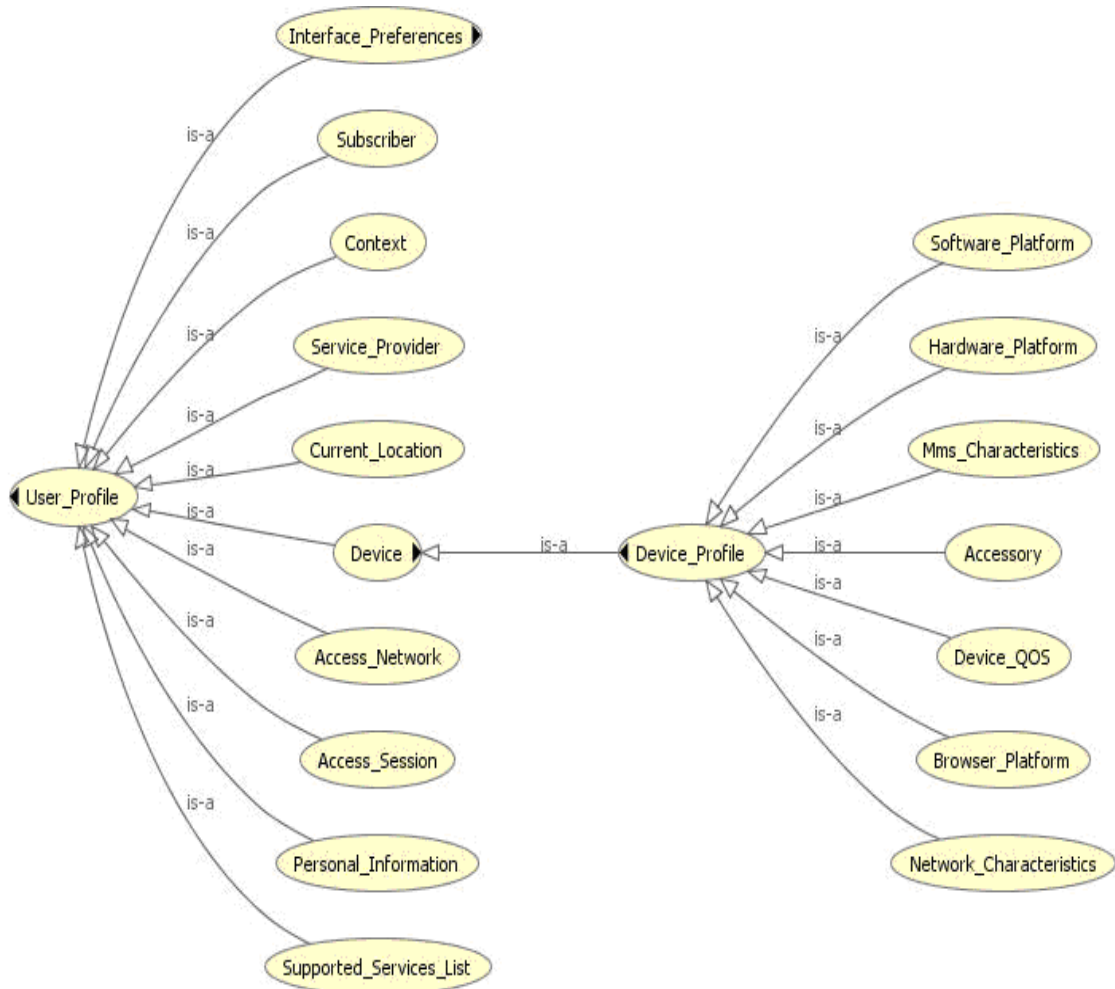


Εικόνα 6-3: Οντολογία προφίλ δικτύου

### 6.4.2 Χρήστες

Υιοθετήσαμε μια παρόμοια προσέγγιση με την αναφορά [111] για τη διαμόρφωση του προφίλ υπηρεσιών των χρηστών, σχετικά με τις ενότητες που πρέπει να περιέχει αυτό. Κάθε τέτοιο προφίλ αναπαρίσταται από μια γενική οντολογία που παράγεται από τις προτιμήσεις των χρηστών και την περιγραφή των δυνατοτήτων των χρησιμοποιούμενων συσκευών (Εικόνα 6-4). Η οντολογία παραμέτρων χρήστη περιέχει έννοιες όπως συγκεκριμένες προτιμήσεις του χρήστη που μπορεί να επηρεάσουν την παροχή υπηρεσιών, υπηρεσίες στις οποίες ο χρήστης έχει κάποια συνδρομή, προσωπικές πληροφορίες, τρέχουσα θέση και τρέχουσα συσκευή. Η έννοια της συσκευής περιγράφεται με λεπτομέρεια δεδομένου ότι έχει ιδιαίτερη επίδραση στη διαδικασία επιλογής και προσαρμογής υπηρεσιών. Οι δυνατότητες των συσκευών εκφράζονται με CC/PP και η ενότητα δημιουργίας οντολογιών είναι αρμόδια για να δημιουργήσει μια αντίστοιχη οντολογία που περιγράφει τη χρησιμοποιούμενη συσκευή. Η ενότητα αντιστοίχισης οντολογίας είναι υπεύθυνη για να αντιστοιχήσει παρόμοιες έννοιες. Οι διαδικασίες της δημιουργίας και της αντιστοίχισης των οντολογιών παραμέτρων χρήστη και συσκευών στο σύστημα CBR εκτελούνται από το προτεινόμενο πλαίσιο με τα αντίστοιχα λειτουργικά συστατικά.

Η περιγραφή δυνατοτήτων των συσκευών και οι παράμετροι χρήστη παρέχονται στο πλαίσιο κατά τη διάρκεια της εγγραφής των χρηστών και ενημερώνονται όποτε πραγματοποιείται κάποια αλλαγή. Οι αντίστοιχες διαδικασίες της δημιουργίας και της αντιστοίχισης οντολογιών εκτελούνται ταυτόχρονα με την εγγραφή των χρηστών.



Εικόνα 6-4: Οντολογία προφίλ υπηρεσιών χρήστη

### 6.4.3 Πάροχοι υπηρεσιών

Οι Πάροχοι Υπηρεσιών (Service Providers-SP) προσφέρουν τις υπηρεσίες στους ενδιαφερόμενους χρήστες. Οι υπηρεσίες περιγράφονται σε WSDL. Επομένως οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει να προσθέσουν σημασιολογικές πληροφορίες στις υπηρεσίες τους (δηλ., να αναπαραστήσουν τις υπηρεσίες Ιστού τους με ένα Service Profile, Service Model και Service Grounding) και να δημιουργήσουν μια περιγραφή εκφρασμένη σε OWL-S. Το Service Grounding είναι ισοδύναμο με WSDL ενώ το Service Profile και Model μπορούν να παραχθούν από το WSDL χρησιμοποιώντας είτε την ενότητα δημιουργίας οντολογιών (όπως περιγράφεται στην παράγραφο 6.4.4). Οι υπηρεσίες με τις σημασιολογικές πληροφορίες δημοσιεύονται

στον κατάλογο υπηρεσιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι SP μπορούν να εγγράψουν μια υπηρεσία με διαφορετικές διαμορφώσεις προκειμένου να την καταστήσουν προσβάσιμη από διαφορετικές συσκευές (π.χ., συσκευές με χαμηλή ανάλυση οθόνης) και να επιτραπεί στο reasoning σύστημα να επιλέξει την κατάλληλη διαμόρφωση υπηρεσιών που καλύτερα ταιριάζει με το πλαίσιο (user context) ενός αιτηθέντα χρήστη. Επιπλέον, όταν επιλέγεται μια υπηρεσία και παρέχεται σε έναν χρήστη από το προτεινόμενο πλαίσιο, ο SP που προσφέρει αυτήν την υπηρεσία ειδοποιείται αναλόγως. Ο SP είναι αρμόδιος για να ενημερώσει το CBRS, σχετικά με τη συγκεκριμένη κλήση υπηρεσίας προκειμένου να καταγραφεί ολόκληρο το αίτημα υπηρεσίας, η πρόταση υπηρεσιών και η εμπειρία χρηστών ως νέα περίπτωση στη βάση περιπτώσεων.

#### 6.4.4 Δημιουργία Οντολογιών

Στη γενική περίπτωση, η ενότητα δημιουργίας οντολογιών περιλαμβάνει τις ακόλουθες εργασίες:

- Προσδιορισμός των βασικών εννοιών της οντολογίας. Αυτό το βήμα στοχεύει στον προσδιορισμό των κύριων καταχωρήσεων της οντολογίας, δηλ. τις έννοιες.
- Δημιουργία του ταξονομικού σκελετού της οντολογίας. Ο στόχος δημιουργίας της ταξονομίας είναι να κατατάξει τις προσδιορισμένες έννοιες κατά ιεραρχικό τρόπο σύμφωνα με τη σχέση υπαγωγής (subsumption relation).
- Εμπλουτισμός με λοιπές σημασιολογικές σχέσεις. Ο σκοπός του τελικού βήματος είναι να προσδιοριστούν άλλες σημασιολογικές σχέσεις που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ των εννοιών, εκτός από τη σχέση υπαγωγής. Παραδείγματα τέτοιων σχέσεων είναι οι σχέσεις «μέρους-όλου» (part-of relations), οι σχέσεις «σκοπού» (purpose relations - το X χρησιμοποιείται για το Y), οι σχέσεις δημιουργίας ή αλλαγής κατάστασης μιας έννοιας (agentive relations), οι σχέσεις αιτιότητας (causation relations - το X οδηγεί στο Y), και οι σχέσεις ιδιοτήτων (attribute relations - το X του Y).

Σύμφωνα με την αντίστοιχη περίπτωση και το επίπεδο λεπτομέρειας για τη δημιουργία της οντολογίας, μπορούν να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί των προαναφερθέντων βημάτων.

Στο προτεινόμενο πλαίσιο, όπου η προγενέστερη γνώση, καθώς επίσης οι πηγές πληροφοριών δεν είναι διαθέσιμες, αλλά ο χρήστης παρέχει μόνο μια ερώτηση με κάποιες λέξεις ως εισαγωγή στην ενότητα δημιουργίας οντολογιών, υπάρχουν δύο καθορισμένα με σαφήνεια σενάρια για την κατασκευή οντολογίας.

Στην πρώτη περίπτωση, ένα σύστημα προσδιορισμού του μέρους του λόγου (ΣΠΜΛ) της κάθε λέξης (Part-of-Speech – POS tagger) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα ουσιαστικά που εμφανίζονται στην ερώτηση. Κατόπιν, με τη χρήση του θησαυρού WordNet [98], ανακτάται το σύνολο των σχετικών με αυτά τα ουσιαστικά εννοιών. Αυτό το σύνολο περιλαμβάνει τις έννοιες που τα ονόματά τους είναι αυτούσια με αυτών των ουσιαστικών, καθώς επίσης και τις έννοιες που εμφανίζονται κοντά στα ουσιαστικά μαζί με τις σημασιολογικές σχέσεις τους. Το WordNet παρέχει για κάθε εγγραφή, σημασιολογικές σχέσεις όπως υπονημία (hyponymy), υπερνημία (hypernymy), μερωνυμία (meronymy), κ.λ.π. Επιπλέον, παρέχει ερμηνείες για τις ανακτημένες έννοιες, δηλαδή, μικρές περιγραφές που εξηγούν το νόημα κάθε έννοιας. Στο τελικό βήμα, οι ανακτημένες έννοιες και οι σημασιολογικές σχέσεις τους μετασχηματίζονται στην οντολογία που αναπαριστά την ερώτηση του χρήστη. Οι σχέσεις υπονημίας και υπερνημίας μεταφράζονται σε σχέσεις υπαγωγής μεταξύ των εννοιών καθώς αυτό υποδεικνύει ουσιαστικά η σημασιολογία τους, ενώ άλλες σημασιολογικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για να εμπλουτίσουν περαιτέρω τον ταξονομικό σκελετό της οντολογίας. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα ερώτησης που αναφέρθηκε στην αρχή αυτού του τμήματος: “How is the weather in Rome now” το ΣΠΜΛ προσδιορίζει τη λέξη “weather” ως ουσιαστικό και η ενότητα συμβουλευεται το WordNet προκειμένου να ανακτηθούν οι άμεσες έννοιες που συσχετίζονται με αυτό τον όρο.

Στη δεύτερη περίπτωση, το σύστημα δημιουργεί μία συλλογή από αρχεία κειμένου προκειμένου να κατασκευαστεί η οντολογία βασισμένη σε αυτή τη συλλογή. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα που περιδιαβαίνει τον παγκόσμιο ιστό (web crawler), το οποίο αλληλεπιδρά με την διεπαφή της Google (Google API) και ανακτά τα σχετικά κείμενα με την ερώτηση του χρήστη με σκοπό να κατασκευάσει ένα σύνολο κειμένων. Σε αυτό το σημείο, διάφορες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν για να κατασκευάσουν την οντολογία. Στατιστικά μέτρα και συχνότητες εμφάνισης λέξεων στα κείμενα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κοινού με διάφορα πιθανο-

τικά θεματικά μοντέλα (probabilistic topic models), όπως αυτό του Latent Dirichlet Allocation (LDA) [99], προκειμένου να προσδιοριστούν τα θεματικά μέρη (thematic topics) που θα αποτελέσουν τις καταχωρήσεις έννοιας της οντολογίας. Σχετικά με την κατασκευή ταξονομίας, η οικογένεια των ιεραρχικών πιθανοτικών θεματικών μοντέλων (hierarchical probabilistic topic models) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποκτηθεί μια ιεραρχία των εννοιών. Τα μοντέλα Hierarchical Probabilistic Latent Semantic Analysis (HPLSA) [100] και Hierarchical Latent Semantic Analysis (HLSA) [101] μπορούν να εφαρμοστούν για να παράγουν τις ιεραρχικές εξαρτήσεις μεταξύ των εννοιών. Τέλος, όσον αφορά στις στατιστικές μεθόδους και αυτές της μηχανικής μάθησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος από την εργασία της αναφοράς [102]. Από την άλλη μεριά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γλωσσικές προσεγγίσεις, όπως η εφαρμογή συγκεκριμένων προτύπων (patterns) προκειμένου να ανακτηθούν σχέσεις υπαγωγής για τη δημιουργία της ταξονομίας. Τα πρότυπα Hearst [103] είναι ευρύτατα χρησιμοποιημένα και μπορούν να υποδείξουν τις σχέσεις υπαγωγής μεταξύ ονοματικών προτάσεων, της μορφής: «NP such as NP,....., NP and NP”.

Τέλος, για τον εμπλουτισμό με άλλες σημασιολογικές σχέσεις, αξιοποιούνται τα ρήματα μέσα στο κείμενο. Τα ρήματα διευκρινίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των συμμετεχόντων κάποιας δράσης. Κατά συνέπεια, από οντολογική άποψη, τα ρήματα υποτίθεται ότι εκφράζουν μια σχέση μεταξύ δύο εννοιών μέσα σε μια οντολογία. Κατά συνέπεια οι σημασιολογικές σχέσεις μπορούν να ανακτηθούν με την οργάνωση των ρημάτων και τον καθορισμό διαφόρων ευριστικών προτύπων βασισμένων σε ρήματα (heuristic verb patterns) [104] που θα εφαρμοστούν στα έγγραφα κειμένου.

Το τμήμα δημιουργίας οντολογιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί off-line προκειμένου να μοντελοποιηθούν η συσκευή/οι δυνατότητες των τερματικών συσκευών, καθώς επίσης και για να περιγράψουν σημασιολογικά οι παρεχόμενες υπηρεσίες. Με την αποθήκευση των περιγραφών των CC/PP διάφορων χρηστών, καθώς επίσης και τις WSDL περιγραφές όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών, δημιουργούνται δύο σώματα κειμένων. Το πρώτο επικεντρώνεται στην περιγραφή των δυνατοτήτων των τερματικών συσκευών, ενώ το δεύτερο στην περιγραφή των διαθέσιμων υπηρεσιών. Κατά συνέπεια, δύο κύριες οντολογίες περιοχών δημιουργούνται: μία οντο-

λογία συσκευών (DevOnto) και μία οντολογία προσανατολισμένη στις υπηρεσίες Ιστού (ServOnto). Αυτές οι οντολογίες δημιουργούνται σύμφωνα με την προσέγγιση [106]. Και στις δύο περιπτώσεις, μετά από την εφαρμογή του ΣΠΜΛ στις περιγραφές RDF/WSDL, δύο τύποι επιφανειακών προτύπων εφαρμόζονται για να ανακτήσουν τις ενδεχομένως ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την δημιουργία της οντολογίας: ένα πρότυπο για τον προσδιορισμό των εννοιών περιοχής (συνήθως ουσιαστικά), και ένα πρότυπο για τον προσδιορισμό των λειτουργιών που προσφέρονται συχνά στην περιοχή. Ακολούθως, η δημιουργία οντολογίας στηρίζεται σε μια ιεραρχική σύνθεση, όπου τα ονόματα των εννοιών απεικονίζουν τις σχέσεις υπαγωγής μεταξύ τους. Επιπλέον, η μοντελοποίηση των λειτουργιών των OWL-S και WSMO έχει ακολουθηθεί με τη συμπερίληψη του ρήματος δράσης και ενός άμεσου στοιχείου δεδομένων στη λειτουργία (π.χ., BookTicket). Το τελικό βήμα περιλαμβάνει την περικοπή των άσχετων εννοιών με μια στρατηγική περικοπής που υποστηρίζει ότι οι συχνοί όροι στα σώματα υποδεικνύουν έννοιες περιοχών ενώ λιγότερο συχνοί οδηγούν σε έννοιες που μπορούν να αποβληθούν ακίνδυνα από τις οντολογίες [107].

#### 6.4.5 Αντιστοίχιση Οντολογιών

Όπως αναμένεται, δε θα ήταν ρεαλιστικό να υποτεθεί ότι η οντολογία που κατασκευάζεται από το αίτημα για κάποια υπηρεσία από τους χρήστες (που παρέχεται ως ελεύθερο κείμενο), το δίκτυο και οι δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών και οι οντολογίες που αποθηκεύονται στη βάση περιπτώσεων να καθορίζονται σαφώς, δηλ., στοιχεία με την ίδια έννοια να αντιμετωπίζονται ως ισοδύναμες έννοιες. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητο το προτεινόμενο πλαίσιο να είναι σε θέση να καθορίσει τις αντιστοιχίες μεταξύ τέτοιων στοιχείων (π.χ., έννοιες οντολογίας ή άλλα γενικά στοιχεία).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες προσεγγίσεις [113] για τη αντιστοίχιση οντολογιών και περιλαμβάνουν

- Μεθόδους βασισμένες στην ομοιότητα αλφαριθμητικών χαρακτήρων (String similarity based approaches) η οποίες βασίζονται στο πόσο παρόμοια είναι τα ονόματα και οι περιγραφές των στοιχείων των οντολογιών και επεξεργασία αυτών σαν αλληλουχία χαρακτήρων. Η βασική ιδέα πίσω από αυτή την

προσέγγιση είναι ότι όσο πιο παρόμοια λεξικογραφικά είναι δύο στοιχεία οντολογίας (π.χ. έννοιες), τότε πολύ πιθανόν είναι να κωδικοποιούν το ίδιο πράγμα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας φυσικών γλωσσών (Natural Language Processing techniques), όπως η διάσπαση ονοματικών φράσεων σε σύμβολα (tokenization), η εξαγωγή των λημμάτων των λέξεων (lemmatization) και η εξάλειψη των κενών λέξεων (stop-words elimination). Με αυτό τον τρόπο, αντί να επεξεργάζονται οι οντολογικές περιγραφές ως αλληλουχίες χαρακτήρων, επεξεργάζονται ως αλληλουχίες από λέξεις.

- Η ανάπτυξη της προηγούμενης κατηγορίας οδηγεί σε μια νέα προσέγγιση βασισμένη στην ανάκτηση πληροφοριών (information retrieval based approach). Σε αυτή την κατηγορία, στοιχεία των οντολογιών αναπαρίσταται ως κείμενα (στα οποία δε μας ενδιαφέρει η σειρά των λέξεων, παρά μόνο η κατανομή τους, και έτσι αντιμετωπίζονται ως απλά σύνολα λέξεων –“bag of words” assumption), αποτελούμενη από ένα σύνολο από λέξεις που συλλέγονται από διάφορα οντολογικά χαρακτηριστικά (e.g., όπως labels, comments, properties και instances). Οι πιο κοινές αναπαραστάσεις βασίζονται στην συχνότητα εμφάνισης των λέξεων, στις τιμές TF/IDF [114] ή ακόμα στα στατιστικά παραγόμενα χαρακτηριστικά [108]. Η ομοιότητα μεταξύ δύο εννοιών υπολογίζεται με την χρήση διαφόρων μετρικών όπως Ευκλείδεια απόσταση, συντελεστή συνημίτονου ή απόκλιση Kullback-Leibler.
- Προσεγγίσεις βασισμένες στην δομή των οντολογιών για να εντοπίσουν αντιστοιχίες ή να βρουν στοιχεία για πιθανές αντιστοιχίες. Η βασική ιδέα σε αυτή την προσέγγιση είναι, σε ένα δεδομένο σύνολο από αντιστοιχιζόμενα ζεύγη, τα σχετιζόμενα με αυτά στοιχεία που περιλαμβάνονται στην αντιστοίχιση, πρέπει να είναι παρόμοια. Για παράδειγμα μια έννοια  $a$  και μια  $b$  είναι παρόμοιες τότε και οι έννοιες που αυτά ανήκουν (υπερέννοιες) πρέπει να είναι επίσης παρόμοιες. Διάφορες τεχνικές όπως δίκτυα Bayes (Bayesian Networks) έχουν χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσουν την επιρροή των νέων αντιστοιχήσεων με τις ήδη υπάρχουσες, που εξαρτώνται από την δομή των οντολογιών εισόδου [115]. Επίσης, στη προσέγγιση Similarity Flooding [116] για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιούνται τεχνικές γράφων.



- Προσεγγίσεις που βασίζονται σε εξωτερικούς πόρους, όπως λεξικά (π.χ., WordNet), χρήση αναλογικών λεξικών ή οντολογιών περιοχών γνώσης [117]. Αυτές οι προσεγγίσεις εκμεταλλεύονται την ήδη κωδικοποιημένη γνώση, όπως στα συνώνυμα για να εντοπίσουν σχέσεις μεταξύ των στοιχείων των οντολογιών που πρέπει να αντιστοιχιστούν.
- Προσεγγίσεις που βασίζονται στη σημασιολογική περιγραφή, που στηρίζεται στην ιδέα ότι τα στοιχεία των οντολογιών με την ίδια σημασία έχουν την ίδια ερμηνεία [118]. Με άλλα λόγια αυτές οι προσεγγίσεις εκμεταλλεύονται τους λογικούς τύπους αναπαράστασης των στοιχείων των οντολογιών για να αξιολογήσουν την σχέση που υπάρχει μεταξύ τους.

Τα διάφορα συστήματα αντιστοίχησης οντολογίας, εκμεταλλεύονται συνδυασμούς των προαναφερθεισών προσεγγίσεων για τον καθορισμό των ζευγαριών αντιστοίχησης. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, ακολουθούμε την ίδια στρατηγική προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα του τμήματος αντιστοίχησης οντολογιών. Πιο συγκεκριμένα, εκμεταλλευόμαστε το εργαλείο αντιστοίχησης SEMA [109] που έχει αξιολογηθεί στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας αξιολόγησης ευθυγράμμισης οντολογίας (Ontology Alignment Evaluation Initiative), επιτυγχάνοντας αρκετά υψηλή ακρίβεια και ανάκληση (precision and recall). Το SEMA συνδυάζει μεθόδους βασισμένες σε αλφαριθμητικές, σημασιολογικές και δομικές ομοιότητες οντολογιών: Μια μέθοδος σημασιολογικής αντιστοίχησης που εκμεταλλεύεται το μοντέλο Latent Dirichlet Allocation (LDA) [20] που δεν απαιτεί κανέναν εξωτερικό πόρο, σε συνδυασμό με το λεξικολογικό αλγόριθμο ταιριάσματος COCLU (Compression-based CLUstering) [110] και μια μέθοδο αντιστοίχησης που εκμεταλλεύεται τα δομικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οντολογιών με τη βοήθεια απλών κανόνων. Αυτός ο συνδυασμός προσεγγίσεων συμβάλλει στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας αντιστοίχησης με την εκμετάλλευση των λεξικολογικών, δομικών και σημασιολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των οντολογιών πηγής, που οδηγεί σε αυξανόμενη ακρίβεια και ανάκληση (precision and recall).

#### 6.4.6 Case Base Reasoning System

Το CBRS είναι αρμόδιο για τη λήψη των αιτημάτων υπηρεσιών, την ανάκτηση των πιο σχετικών περιγραφών υπηρεσιών από τη βάση περιπτώσεων και την αποθήκη υπηρεσιών και παρέχει τελικά τις πιο κατάλληλες περιγραφές υπηρεσιών στους χρήστες. Η διαδικασία αντιστοίχισης εκτελείται σε δύο βήματα:

1. Ερευνάται η τοπική βάση δεδομένων χρηστών (user DB) εάν ο ίδιος χρήστης έχει ζητήσει μια παρόμοια υπηρεσία στο παρελθόν και εάν ναι τότε η περιγραφή υπηρεσιών ανακτάται από τον κατάλογο υπηρεσιών.
2. Εάν το πρώτο βήμα είναι ανεπιτυχές, ερευνάται η βάση περιπτώσεων για ύπαρξη παρομοίων περιπτώσεων και ανακτώνται οι πιο σχετικές περιπτώσεις.

Η περιγραφή υπηρεσίας με την μεγαλύτερη συνάφεια (είτε ανακτημένη από την User DB είτε τη βάση περιπτώσεων), είτε εκτελείται, είτε παρέχεται στο χρήστη (ανάλογα με την ίδια την υπηρεσία και το πλαίσιο χρηστών). Επιπλέον, το CBRS συλλέγει δεδομένα χρήσης υπηρεσιών με ανατροφοδότηση από τους παρόχους υπηρεσιών προκειμένου να ενημερωθεί η βάση περιπτώσεων με νέες περιπτώσεις. Κάθε τέτοια νέα περίπτωση δημιουργείται από το αίτημα υπηρεσίας, την περιγραφή υπηρεσιών που παρέχεται από το σύστημα μαζί με την επιτυχία αυτής της πρότασης, που ποσοτικοποιείται με έναν αριθμό μεταξύ μηδενός και εκατό. Αυτός ο αριθμός συλλαμβάνει την ικανοποίηση των χρηστών από την εκτέλεση υπηρεσιών στο διάστημα [1,100] (μηδέν ορίζεται όταν ο χρήστης δεν χρησιμοποιεί την υπηρεσία και το εκατό όταν ο χρήστης χρησιμοποιεί την προτεινόμενη υπηρεσία για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα συγκεκριμένο για κάθε υπηρεσία). Η απλούστερη μορφή σύλληψης της εμπειρίας χρηστών από την εκτέλεση υπηρεσιών είναι να εξεταστεί ο πραγματικός χρόνος εκτέλεσης των υπηρεσιών. Εάν ο χρήστης εκτελέσει την υπηρεσία για ένα χρονικό διάστημα ίσο ή μεγαλύτερο από ένα μέσο χαρακτηριστικό χρόνο εκτέλεσης υπηρεσίας, αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να εκτιμηθεί με εκατό τοις εκατό ενώ όταν δεν χρησιμοποιεί ο χρήστης την υπηρεσία μπορεί να εκτιμηθεί με μηδέν. Όλες οι άλλες περιπτώσεις μπορούν να εκτιμηθούν εξετάζοντας τον πραγματικό χρόνο εκτέλεσης υπηρεσιών και να παρέχουν έναν αριθμό στο διάστημα [1--99].

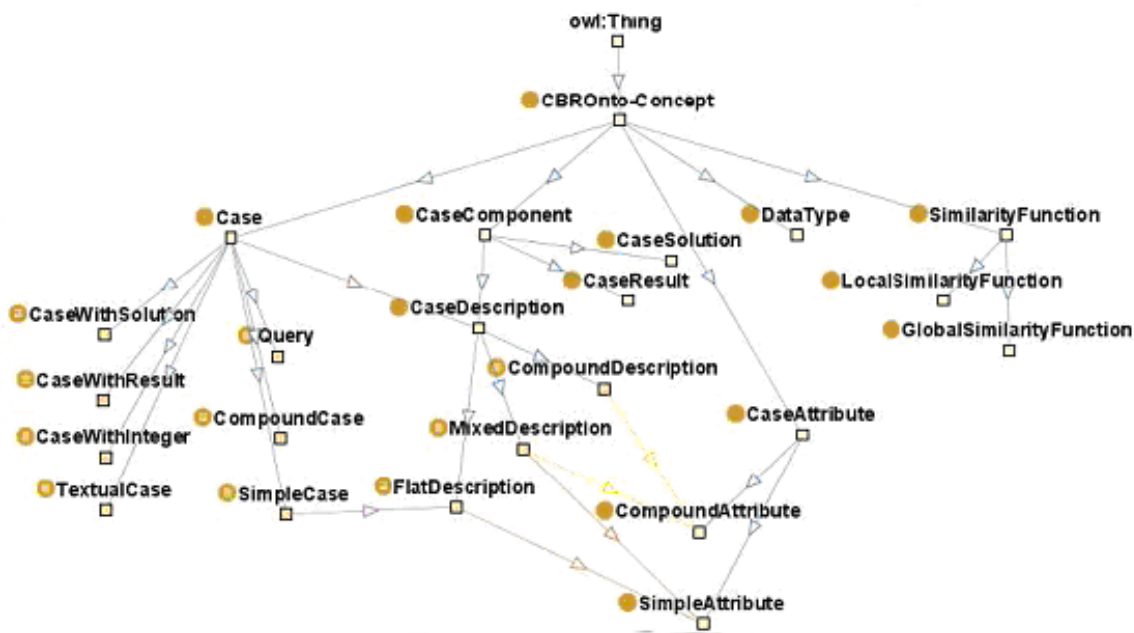
Η κατάλληλη επιλογή υπηρεσιών είναι βασισμένη στο ταιρίασμα μεταξύ του αιτήματος υπηρεσιών, του πλαισίου χρηστών, της παρούσας κατάστασης του δικτύου και των προηγούμενων περιπτώσεων που καταγράφηκαν ήδη στη βάση περιπτώσεων. Κάθε στοιχείο των εξεταζόμενων δεδομένων εκφράζεται με σαφή τρόπο χρησιμοποιώντας σημασιολογική περιγραφή και καθορίζει τον τύπο μετρικών ομοιότητας που πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία ταιριάσματος. Το CBRS μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφορετικές προσεγγίσεις ταιριάσματος για κάθε συγκρινόμενο στοιχείο προκειμένου να υπολογιστεί ο βαθμός ομοιότητας. Επιπρόσθετα, σε κάθε διαδικασία υπολογισμού ομοιότητας μεταξύ δύο στοιχείων μπορεί να οριστεί ένας διαφορετικός παράγοντας βάρους στο διάστημα  $[0,1]$ , επιτρέποντας στην ομοιότητα μερικών στοιχείων να ασκεί μεγαλύτερη ή μικρότερη επίδραση στην διαδικασία ταιριάσματος. Αξίζει να σημειωθεί πως με την κατάλληλη ρύθμιση των βαρών ταιριάσματος η διαδικασία μπορεί να είναι παρόμοια ή ένας συνδυασμός των σημασιολογικών τεχνικών ταιριάσματος που περιγράφονται στην παράγραφο 6.4.

Όσον αφορά στην προσαρμογή υπηρεσιών, πρέπει να σημειωθεί ότι εκτελείται κυρίως με την κατάλληλη διαμόρφωση των υπηρεσιών που κάθε πάροχος παρέχει στον κατάλογο υπηρεσιών. Το CBRS έχει μια περιεκτική αντιπροσώπευση του πλαισίου των χρηστών και επομένως είναι σε θέση να επιλέξει την κατάλληλη διαμόρφωση υπηρεσιών που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες του χρήστη.

Στο προτεινόμενο πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε το JColibri [105] σαν πυρήνας του CBRS. Το JColibri είναι ένα πλαίσιο ανοικτού λογισμικού για την δημιουργία συστημάτων CBR και περιλαμβάνει τις περισσότερες εργασίες που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής των CBR συστημάτων. Οι περιπτώσεις σε αυτό το πλαίσιο οργανώνονται σε μια εσωτερική οντολογία που περιγράφει τη δομή των περιπτώσεων, τα πεδία της περίπτωσης και τις συναρτήσεις ομοιότητας κάθε τέτοιου πεδίου. Αυτή η οντολογία CBR (που καλείται CBR<sub>Onto</sub>) διαμορφώνει μια εκτενή οντολογία πέρα από την ορολογία CBR παρέχοντας έτσι μια κοινή γλώσσα για να οριστούν τα στοιχεία που περιλαμβάνουν ένα σύστημα CBR. Συγκεκριμένα, η οντολογία CBR<sub>Onto</sub> έχει τρεις κατηγορίες: οι CBR<sub>CASE</sub> και CBR<sub>DESCRIPTION</sub> αναφέρονται στη δομή της βάσης περίπτωσης και κάθε περιγραφή περίπτωσης αντίστοιχα, ενώ

η CBRINDEX περιέχει την ευρετηρίαση στη δομή και το περιεχόμενο της βάσης περίπτωσης.

Σχετικά με τις μετρικές ομοιότητας περιπτώσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις ομοιότητας που παρέχονται στο JColibri. Συγκεκριμένα, αυτές οι συναρτήσεις παρέχουν συγκρίσεις ομοιότητας σε τοπικό (όπως cosine) και συνολικό επίπεδο όπου το πρώτο αναφέρεται στην ομοιότητα μεταξύ των στοιχείων σε ένα προς ένα ενώ το τελευταίο αναφέρεται κυρίως στον υπολογισμό μέσου όρου των αριθμητικών τιμών των στοιχείων μιας ολόκληρης περίπτωσης. Οι παρεχόμενες συναρτήσεις ομοιότητας, μαζί με την ικανότητα να κατασκευαστούν νέες συναρτήσεις ομοιότητας όπως K-κοντινότερος γείτονας (K-nearest neighbor), χρησιμοποιήθηκαν για να εφαρμόσουν και να εξετάσουν τη λειτουργία του προτεινόμενου πλαισίου.



Εικόνα 6-5: Αναπαράσταση μιας περίπτωσης με βάση την οντολογία CBROnto

## 6.5 Παράδειγμα Χρήσης

Σε μια ρεαλιστική κατάσταση, ένας χρήστης θέλει να ενημερωθεί για τον παρών καιρό σε κάποιο μέρος. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα της παραγράφου 6.4, η ερώτηση του χρήστη είναι "How is the weather in Rome". Η ενότητα δημιουργίας οντολογιών προσδιορίζει τη λέξη "weather" ως πιθανή έννοια και συμβουλευεται το WordNet προκειμένου να κατασκευαστεί την αντίστοιχη οντολογία για αυτήν την

ερώτηση. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας είναι μια οντολογία με μια κύρια έννοια αποκαλούμενη “weather” που έχει την άμεση υπερέννοια (super concept) την έννοια “atmospheric\_phenomenon” και τις άμεσες υποέννοιες (sub-concepts) “good\_weather”, “bad\_weather”, “cold\_weather”, “hot\_weather”, “fair\_weather”, ακριβώς όπως ανακτάται από το WordNet. Μάλιστα, η έννοια “weather” είναι περαιτέρω εμπλουτισμένη με άλλες σημασιολογικές σχέσεις, όπως αυτή που δείχνει πως ανήκει στο “meteorology”. Επιπλέον, τα στιγμιότυπα οντολογίας ServOnto και DevOnto ανακτώνται από τα αρχεία WSDL και CC/PP που περιγράφουν τις υπηρεσίες και τις δυνατότητες των τερματικών συσκευών αντίστοιχα.

Όταν μια νέα ερώτηση τίθεται στο πλαίσιο, δημιουργείται μια οντολογία και ευθυγραμμίζεται με την οντολογία στη βάση περιπτώσεων. Αυτό είναι ένα απαραίτητο βήμα προκειμένου να είναι σε θέση να καθορίσει σαφώς όλες τις έννοιες και να είναι σε θέση να εφαρμόσει τους αλγορίθμους ομοιότητας μεταξύ αυτών των εννοιών. Παραδείγματος χάριν, δύο διαφορετικά επονομαζόμενες έννοιες, όπως το “weather” και “weatherCondition”, μπορούν να έχουν την ίδια σημασία-έννοια. Σε αυτήν την περίπτωση, μια μέθοδος βασισμένη στην ομοιότητα αλφαριθμητικών χαρακτήρων (String similarity) θα μπορούσε να εντοπίσει μια πιθανή αντιστοίχιση ισοδυναμίας. Επιπλέον, μια τεχνική διάσπασης ονοματικών φράσεων σε σύμβολα (tokenization), θα μπορούσε να χωρίσει τη δεύτερη έννοια σε δύο νέους τύπους: “weather” και “condition”, και σε συνδυασμό με ένα εξωτερικό λεξικό (π.χ., WordNet) θα μπορούσε περαιτέρω να αξιολογήσει τις έννοιες “weather” και “weather Condition”, ως συνώνυμα, αφού αυτά τα σύνολα όρων καθορίζονται στο ίδιο σύνολο εννοιών του WordNet (WordNet synset). Το CBRS λαμβάνει και επεξεργάζεται τα αιτήματα υπηρεσιών. Η επεξεργασία περιλαμβάνει την ανάκτηση της καταλληλότερης υπηρεσίας (ή υπηρεσιών) που «ταιριάζει» καλύτερα σε κάθε αίτημα. Το σύστημα αρχικά ψάχνει την user DB για ένα παρόμοιο αίτημα υπηρεσίας από τον ίδιο χρήστη και εάν υπάρχει ένα τέτοιο αίτημα, ανακτά την περιγραφή της υπηρεσίας από την user DB (εάν ένας χρήστης Α έχει ζητήσει μια υπηρεσία με τις ίδιες παραμέτρους π.χ. “How is the weather in place B”). Εάν ο χρήστης δεν έχει ζητήσει προηγουμένως μια παρόμοια υπηρεσία, το σύστημα προσπαθεί να ανακτήσει μια παρόμοια προηγούμενη περίπτωση από τη βάση περιπτώσεων. Εάν υπάρχει παρόμοια περίπτωση (ή περιπτώσεις) στη υπόψη βάση, ανακτώνται εκείνες με τον

υψηλότερο βαθμό ομοιότητας. Ανάλογα με το σχέδιο κλήσης υπηρεσιών, η επιλεγμένη υπηρεσία (που περιλαμβάνεται η περιγραφή της στην περίπτωση που ανακτήθηκε) είτε εκτελείται από το πλαίσιο και τα αποτελέσματα παρέχονται στο χρήστη, ή η περιγραφή υπηρεσιών διαβιβάζεται στο χρήστη. Στην πρώτη περίπτωση το πλαίσιο ενημερώνεται με την κλήση της υπηρεσίας και οι λεπτομέρειες ολοκλήρωσης της διαδικασίας (ερώτηση υπηρεσίας και επιλεγμένη υπηρεσία) καταγράφονται ως νέα περίπτωση στη βάση περιπτώσεων. Στη δεύτερη περίπτωση, ο χρήστης λαμβάνει την περιγραφή υπηρεσιών και είτε καλεί την προτεινόμενη υπηρεσία είτε όχι. Το γεγονός της εκτέλεσης υπηρεσιών ή όχι από το χρήστη παρέχεται στο πλαίσιο από τον αντίστοιχο πάροχο υπηρεσιών. Ο πάροχος, παρέχει έναν δείκτη ικανοποίησης των χρηστών που εκλαμβάνεται είτε άμεσα σε περίπτωση εκτέλεσης υπηρεσιών (π.χ. με τη σύγκριση του χρόνου της αλληλεπίδρασης του χρήστη με ένα μέσο χρόνο κλήσης της υπηρεσίας υπηρεσιών), είτε έμμεσα, π.χ., όταν παρέρχεται ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και ο χρήστης έχει ή δεν έχει εκτελέσει την προτεινόμενη υπηρεσία. Η διαδικασία τελειώνει με τη δημιουργία μιας νέας περίπτωσης στη βάση περιπτώσεων που περιέχει τις παραμέτρους της όλης διαδικασίας (αίτημα, επιλεχθείσα υπηρεσία, βαθμός ικανοποίησης χρήστη).

## 6.6 Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκε ένα νέο πλαίσιο για την επιλογή και την προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα που λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις των χρηστών, τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών μαζί με τα νέα αιτήματα υπηρεσιών προκειμένου να επιλεχθούν οι πιο κατάλληλες διαθέσιμες υπηρεσίες. Όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη εκφράζονται με σαφή τρόπο με τη χρήση σημασιολογικής περιγραφής και ένα σύστημα CBR και επιλέγει την πιο κατάλληλη υπηρεσία, σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα. Τεχνικές δημιουργίας οντολογιών και ταιριάσματος αυτών χρησιμοποιήθηκαν για το μετασχηματισμό και το ταίριασμα των απαιτήσεων των χρηστών σε καθορισμένα με σαφήνεια δεδομένα που οδηγούν στην αποδοτική σημασιολογική ανάκτηση υπηρεσιών.

Το πλαίσιο που αναλύθηκε σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στην δημοσίευση [167].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

#### 7.1 Εισαγωγή

Ο κατανεμημένος υπολογισμός αποτελεί πλέον βασική περιοχή στη σύγχρονη πληροφορική, κυρίως λόγω της ταχύτητα αυξανόμενης ανάπτυξης των τεχνολογιών Διαδικτύου. Προσελκύει σημαντική ερευνητική προσοχή και αναπτύσσεται γρήγορα σε ώριμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται εκτενώς στην βιομηχανία των υπολογιστών. Οι ΚΠ αποτελούν ένα βασικό συστατικό του κατανεμημένου υπολογισμού. Η τεχνολογία των ΚΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση, τη μεταφορά και την επικοινωνία των λειτουργικών συστατικών σε μια ευρύτερη υποδομή δικτύων. Ένας ΚΠ ενσωματώνει τη λογική της εφαρμογής και έχει τη μοναδική δυνατότητα να μεταφερθεί αυτόνομα από έναν κόμβο σε κάποιον άλλο και να συνεχίσει την εργασία του. Οι ΚΠ λειτουργούν ασύγχρονα, ανεξάρτητα και μεταφέρουν τη νοημοσύνη που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ο στόχος τους.

Στην εργασία αυτή ερευνάται το πολύ σημαντικό ζήτημα της δρομολόγησης των ΚΠ στους κόμβους (που ανήκουν στον ίδιο ή διαφορετικό διαχειριστικό τομέα) μιας ευρύτερης υποδομής. Ο καθορισμός του σωστού κόμβου μετακίνησης των ΚΠ είναι πολύ κρίσιμος για την αποδοτικότητα της υποδομής των ΚΠ και του κατανεμημένου ανατεθειμένου έργου τους. Οι ΚΠ μετακινούνται όποτε τα ακόλουθα κριτήρια ισχύουν από κοινού:

- I. Ο επόμενος εξυπηρετητής έχει τις απαιτούμενες κατάλληλες διαδικασίες ή υπολογιστικούς πόρους για τους ΚΠ (ποιοτικός περιορισμός), και,
- II. Ο επόμενος εξυπηρετητής έχει επαρκείς πόρους για να χειριστεί αποτελεσματικά την εισερχόμενη διαδικασία δηλαδή τον ΚΠ (ποσοτικός περιορισμός). Αυτό σημαίνει ότι επόμενος εξυπηρετητής έχει περισσότερους πόρους από τον κόμβο που βρίσκεται ο ΚΠ αλλά και από τους άλλους κόμβους στην περιοχή που βρίσκεται ο ΚΠ.

Η επιλογή του καλύτερου επόμενου εξυπηρετητή για τους ΚΠ είναι μια δύσκολη διαδικασία που πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά. Δεδομένου ότι η οργάνωση των ΚΠ περιλαμβάνει την αυτόνομη, ταυτόχρονη λειτουργία (εκτέλεση, μετακίνηση) των πολυάριθμων μετακινούμενων συστατικών, οι μετακινήσεις των ΚΠ πρέπει να αποφασιστούν έξυπνα ώστε να εξισορροπείται ο φόρτος στην ευρύτερη δικτυακή υποδομή. Προφανώς, η απαίτηση αυτή μπορεί να οδηγήσει στην υψηλότερη αποδοτικότητα και αυξημένη απόδοση. Στην υπό εξέταση αρχιτεκτονική, δεν υπάρχει κανένας συγκεντρωτικός έλεγχος, επομένως, ο κίνδυνος συμφορήσεων δεν είναι αμελητέος. Εάν για παράδειγμα  $N$  ΚΠ ( $N \geq 2$ ), που βρίσκονται σε δύο διαφορετικούς κόμβους, κατορθώσουν να εντοπίσουν έναν κόμβο με μικρό φορτίο και εάν η απόφαση μετακίνησης είναι απλοϊκή, οι δύο πράκτορες θα φθάσουν στον ίδιο κόμβο, και ως εκ τούτου η σχεδόν παράλληλη μετακίνησή τους θα υπονομεύσει το γενικό πλαίσιο επεξεργασίας (π.χ., ο ΚΠ θα λάβει λιγότερους πόρους από τους αρχικά προγραμματισμένους-εάν ήταν μόνος του σε αυτόν τον κόμβο). Αυτό είναι ένα παθολογικό φαινόμενο που οι στρατηγικές επιλογής κόμβων που προτείνονται εδώ, προσπαθούν να αποφύγουν.

Μια κατάλληλη εφαρμογή του προτεινόμενου πλαισίου είναι η εξισορρόπηση φόρτου στους κατανεμημένους εξυπηρετητές διαδικτύου [148], όπου οι ΚΠ χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν πληροφορίες φόρτου από τους κατανεμημένους εξυπηρετητές και να αναδιανείμουν εργασίες από υπερφορτωμένους εξυπηρετητές σε λιγότερο φορτωμένους [156]. Εντούτοις, στα περισσότερα προτεινόμενα πλαίσια, οι ΚΠ χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν πληροφορίες της κινητικότητας στο δίκτυο, ενέργεια που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, οι πληροφορίες χρήσης και κινητικότητας του δικτύου και των υπολογιστικών πόρων συγκεντρώνονται από έναν επικεφαλής κεντρικό εξυπηρετητή που εποπτεύει μια ομάδα εξυπηρετητών που μπορεί να φιλοξενήσει την εκτέλεση εργασιών ΚΠ.

## 7.2 Σχετική Βιβλιογραφία

Σε αυτό το τμήμα, παρέχεται μια επισκόπηση της τρέχουσας βιβλιογραφίας στη μελέτη και την εφαρμογή του SFBP και των σχετικών αλγορίθμων και παρουσιάζονται επίσης οι διαφορετικές προσεγγίσεις που ακολουθούνται στην δρομολόγηση



ΚΠ σε πολυπρακτορικά συστήματα για τη διαχείριση του δικτύου και την κατανομή των υπολογιστικών πόρων.

Στα προηγούμενα έτη, διάφορες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί για την εξισορρόπηση του φόρτου στα κατανεμημένα συστήματα. Η περιορισμένη ορθολογιστική ικανότητα παρουσιάζεται ως βασικό στοιχείο στην επιτυχή κατανομή του φόρτου μεταξύ των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων. Στην εργασία [119] προτάθηκε το Santa Fe Bar Problem όπου πράκτορες παίρνουν αποφάσεις βασισμένες σε προβλέψεις της μελλοντικής κατάστασης του συστήματος. Εντούτοις, έχει αποδειχθεί ότι για τη σταθερότητα του όλου συστήματος, η ακρίβεια των προβλέψεων είναι λιγότερο σημαντική από την ετερογένεια τους. Στην αναφορά [121], η αιτιοκρατική διαδικασία απόφασης της αναφοράς [119] αξιολογήθηκε και προτάθηκε μια τυχαία διαδικασία απόφασης που φροντίζει για τον γρηγορότερο συντονισμό, καλύτερη σταθερότητα και λιγότερο bursty μακροπρόθεσμη ισορροπία του συστήματος. Στην αναφορά [120], παρουσιάζεται μια αναλυτική μελέτη του SFBP και αποδεικνύεται ότι η ορθολογιστική ικανότητα και η προγνωστικότητα, δύο όροι απαραίτητοι για τη σύγκλιση σε Nash ισορροπία [122], είναι εγγενώς ασυμβίβαστες μεταξύ τους. Από την άλλη οι διάφοροι αλγόριθμοι εκμάθησης, όπου οι πράκτορες ενεργούν περιστασιακά παράλογα, παρουσιάζουν συμπεριφορά που συγκλίνει σε ισορροπία [123]

Στις αναφορές [127] και [128] τα παίγνια μειονότητας (Minority Games-MG) παρουσιάζονται και αναλύονται μέσω πειραμάτων προσομοίωσης. Τα MG είναι μια ειδική περίπτωση του SFBP, όπου πράκτορες ανεξάρτητα και επανειλημμένα ανταγωνίζονται για να είναι στην ομάδα μειονότητας. Οι πράκτορες έχουν παρόμοιες δυνατότητες και βασίζονται τις αποφάσεις τους σε κοινό ιστορικό χρήσης. Κάθε πράκτορας έχει δύο επιλογές:

- είτε να πάει σε ένα μπαρ (ή ισοδύναμα να αγοράσει ή να πουλήσει ένα απόθεμα, να κάνει μια προσφορά/παραμονή σε μια δημοπρασία)
- είτε να μείνει στο σπίτι.

Ένας πράκτορας κάνει μια επιτυχή επιλογή εάν μετά αυτήν την επιλογή είναι στην ομάδα μειονότητας (η χωρητικότητα του μπαρ θεωρείται ίση με 50%). Οι πράκτορες που είναι στην ομάδα μειονότητας θεωρούνται νικητές και στην απλούστερη

έκδοση του παιχνιδιού συλλέγουν ένα σημείο. Ένας πράκτορας παίρνει τυχαία έναν πεπερασμένο αριθμό στρατηγικών  $S$ , από μια ομάδα των όλων πιθανών στρατηγικών. Έχει αποδειχθεί ότι όλα τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των MG είναι απολύτως ανεξάρτητα από τη μνήμη (ιστορικό των προηγούμενων εκβάσεων) ή τη νοημοσύνη των πρακτόρων και η μόνη κρίσιμη απαίτηση είναι ότι όλοι οι πράκτορες πρέπει να κατέχουν τις ίδιες πληροφορίες, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι αυτές οι πληροφορίες είναι αληθινές ή ψεύτικες [130]. Εντούτοις, μια γενικευμένη έκδοση του MG όπου χρησιμοποιούνται αυθαίρετα cutoffs (δηλαδή η χωρητικότητα του μπαρ ποικίλλει) [129], δείχνει ότι η μέση συμμετοχή στις διαφορετικές ομάδες τείνει να διαιρεθεί σε δύο ομάδες με πολύ διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα δεν αναπαράγονται εάν χρησιμοποιηθεί τυχαίο ιστορικό εκβάσεων, οι οποίες υπογραμμίζουν τη σημασία της δυναμικής ανατροφοδότησης και επομένως της μνήμης στα παίγνια MG

Μια άλλη προσέγγιση σχετικά με την εξισορρόπηση και τη σταθεροποίηση των κατανεμημένων /αποκεντρωμένων συστημάτων εισάγεται στην αναφορά [126] όπου καθορίζεται μια κατηγορία παιγνίων αποκαλούμενων Παίγνια Διασποράς (Dispersion Games- DG). Τα παίγνια DG διαμορφώνουν έναν σημαντικό τύπο παιγνίων δεδομένου ότι το κίνητρο των πρακτόρων είναι η διανομή τους μεταξύ των πόρων.

Η αποδοτική δρομολόγηση των ΚΠ έχει ερευνηθεί και μελετηθεί από την αρχή της ύπαρξης των ΚΠ. Οι διάφορες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές μετρικές και προσεγγίσεις προκειμένου να εξεταστεί η αποδοτική δρομολόγηση των ΚΠ και έχουν εφαρμοσθεί σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων. Τέτοιες μετρικές και προσεγγίσεις είναι:

- I. Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψει ένας ΚΠ, μέσω ενός προκαθορισμένου δρομολογίου μέσα σε ένα δίκτυο εξυπηρετητών, όπου εκτελεί κάποια εργασία ή συγκεντρώνει κάποια στοιχεία [138], (το πρόβλημα έχει αποδειχθεί ότι είναι NP- Complete και σε αντιστοιχία με το πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (Traveling Salesman Problem-TSP), έχει διατυπωθεί το πρόβλημα του πλανόδιου πράκτορα (Traveling Agent Problem-TAP) [137] ενώ έχουν προταθεί διάφορες απλοποιημένες λύσεις σε αυτό το πρόβλημα [140]).

- II. Η δρομολόγηση των πρακτόρων χρησιμοποιώντας μετρικές βασισμένες στο κόστος όπως ο ελάχιστος αριθμός πρακτόρων που απαιτείται, ο χρόνος δρομολόγησης των πρακτόρων ή και χρονικοί περιορισμοί (και συνδυασμός αυτών των τριών μετρικών) για την ανάκτηση πληροφοριών από ένα κατανεμημένο υπολογιστικό περιβάλλον)[139].
- III. Δρομολόγηση ΚΠ βασισμένη σε γράφους με βάρη, όπως η απόσταση μεταξύ των κόμβων, η καθυστέρηση λόγω φόρτου του δικτύου, η χωρητικότητα και η επεξεργαστική ισχύς των κόμβων κ.λπ., και εφαρμόζεται σε κινητά, ad-hoc και ασύρματα δίκτυα [141]
- IV. Δρομολόγηση ΚΠ με την χρησιμοποίηση του παραδείγματος της αποικίας μυρμηγκιών [142][143].
- V. Βέλτιστη δρομολόγηση ΚΠ με την χρησιμοποίηση γενετικών αλγορίθμων [144] και
- VI. Δρομολόγηση ΚΠ με την χρησιμοποίηση της θεωρίας παιγνίων (αυτή η προσέγγιση συζητείται περαιτέρω στο υπόλοιπο αυτής της παραγράφου).

Η τεχνολογία των ΚΠ έχει εφαρμοστεί σε διάφορους ερευνητικούς τομείς όπως η ανάκτηση πληροφοριών σε κατανεμημένα ετερογενή περιβάλλοντα, τη διαχείριση δικτύων, τον κινητό υπολογισμό και το ηλεκτρονικό εμπόριο. Επιπλέον, τα ΚΠ έχουν εφαρμοστεί επίσης σε διάφορα σενάρια όπως η κατανομή πόρων σε εφαρμογές πολυμέσων [146] δρομολόγηση δεδομένων [155], τη διαχείριση δικτύων, σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου [159] σε κινητά ad-hoc δίκτυα, συνεργατική ανίχνευση στόχων [147] και μετάδοση δεδομένων [157] και σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Στην συνέχεια συζητούνται δραστηριότητες και πρακτικές που εφαρμόζουν προσεγγίσεις βασισμένες στην θεωρία παιγνίων στις ερευνητικές περιοχές της δρομολόγησης ΚΠ και της κατανομής υπολογιστικών πόρων.

Στην εργασία [124] προτείνεται ένα ομοιόμορφο μοντέλο κατανομής σταθερού αριθμού ΚΠ, όπου οι πράκτορες κερδίζουν περισσότερο εισόδημα από τους εξυπηρετητές εάν επισκέπτονται εξυπηρετητές που έχουν μικρό αριθμό επισκέψεων. Επίσης παρουσιάζεται ότι σε μια τέλεια περίπτωση πληροφοριών, υπάρχει μια μο-

ναδική ισορροπία Nash, η οποία είναι επίσης Pareto βέλτιστη. Το προτεινόμενο μοντέλο της κατανομής πρακτόρων μοιάζει στη φύση με τα Dispersion Games.

Στην αναφορά [131] προτείνεται μια μέθοδος βασισμένη σε πράκτορες, για την εξισορρόπηση φόρτου και επιμερισμό υπολογιστικών πόρων. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, οι εξυπηρετητές ταξινομούνται σε πλέγματα Galois, ενώ οι πράκτορες αντιπροσωπεύουν τις εργασίες των κατόχων τους στο δίκτυο. Μερικοί πράκτορες διαχειρίζονται τους εξυπηρετητές όπου οι πράκτορες εκτελούν τις ανατιθέμενες εργασίες τους, ενώ άλλοι πράκτορες μετακινούνται στο δίκτυο ώστε να βρουν εξυπηρετητές που έχουν πολύ περισσότερους διαθέσιμους υπολογιστικούς πόρους. Αυτές οι πληροφορίες κοινοποιούνται στους πράκτορες που επιθυμούν να εκτελέσουν κάποια εργασία και χρησιμοποιούνται από αυτούς για να ταξινομήσουν τους εξυπηρετητές του δικτύου και τις προτιμήσεις των χρηστών, χρησιμοποιώντας πλέγματα Galois. Πιστεύουμε ότι αυτό το σύστημα είναι αρκετά στατικό και μη εξελικτικό. Τα δεδομένα για τη χρησιμοποίηση των εξυπηρετητών συγκεντρώνονται από μετακινούμενους πράκτορες, οι οποίοι παράγουν πρόσθετο φόρτο επικοινωνίας μεταξύ των εξυπηρετητών και φόρτο επεξεργασίας στους εξυπηρετητές. Επιπλέον, εάν νέοι εξυπηρετητές προστεθούν στο σύστημα η επεξεργασία του υπολογισμού πλεγμάτων Galois αυξάνεται εκθετικά και οι πληροφορίες της χρησιμοποίησης των εξυπηρετητών είναι δύσκολο να ενημερωθούν και τελικά οι πράκτορες λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε ξεπερασμένες ή λανθασμένες πληροφορίες.

Στην αναφορά [133] προτείνεται ένα ειδικό είδος πρακτόρων (αποκαλούμενων Behaviosites) το οποίο χρησιμοποιείται για να μολύνει και να αλλάξει έτσι τη συμπεριφορά άλλων πρακτόρων σε ένα πολύ-πρακτορικό (multiagent) σύστημα, προκειμένου να επιτευχθεί αλλαγή και ενδεχομένως βελτιωμένη απόδοση του γενικού συστήματος. Επιπλέον, οι πράκτορες μελετώνται σε ένα σύστημα πρακτόρων, ένα παρασιτικό SFBP και παρουσιάζεται ότι μπορεί να αυξήσει την απόδοση του συστήματος.

Στις αναφορές [134] και [135] προτείνεται η χρήση ΚΠ για την εκτέλεση βασικών διαδικασιών ελέγχου και εξισορρόπησης του υπολογιστικού φόρτου ενός δικτύου. Οι πράκτορες που εφαρμόζουν γενετικούς αλγορίθμους, χρησιμοποιούνται για να βρουν διαδρομές μεταξύ παρόχων υπηρεσιών και παρόχων περιεχομένου. Αν και το προτεινόμενο σύστημα έχει ενδιαφέροντα στοιχεία, παρουσιάζει διάφορα τεχνι-

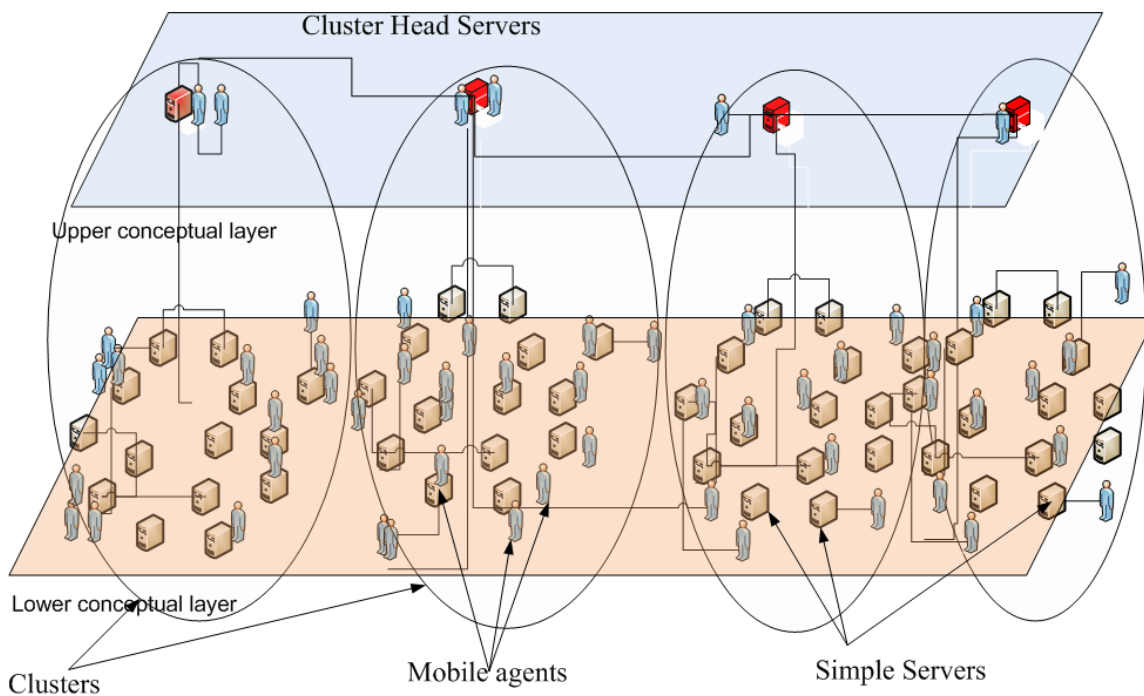
κά προβλήματα. Η χρήση των ΚΠ, δεν είναι να παραδοθούν μηνύματα μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών επικοινωνίας, αλλά να εκτελούν ορισμένες εργασίες που με άλλα παραδείγματα επικοινωνίας (όπως Remote Procedure Call ή το Remote Method Invocation) θα αύξανε την κίνηση στο δίκτυο. Οι ΚΠ είναι ευφυείς οντότητες λογισμικού, ικανές για την επίτευξη σύνθετων στόχων και η χρήση τους για την παράδοση μηνυμάτων είναι μια τετριμμένη εργασία. Η παράδοση μηνυμάτων μπορεί να εκτελεστεί με απλούστερες τεχνολογίες όπως η Java Message Service (JMS) [136]. Επιπλέον, αν και το εξεταζόμενο σύστημα εφαρμόζεται σε ένα δυναμικό μεταβαλλόμενο περιβάλλον, οι παράμετροι ελέγχου δικτύου (όπως ποιότητα υπηρεσίας (QoS), κυκλοφορία δικτύου, διαθέσιμο εύρος ζώνης) υποτίθεται ότι είναι διαθέσιμα και γνωστά σε κάποιο ορισμένο “χρόνο” στις δικτυακές οντότητες που υπολογίζουν τις καλύτερες διαδρομές από τους παρόχους υπηρεσιών στους παρόχους περιεχομένου. Επιπλέον, ο υπολογισμός της καλύτερης διαδρομής με γενετικούς αλγορίθμους παράγει μια πλημμύρα πρακτόρων που επιβάλλει επιπλέον φόρτο στο δίκτυο και αλλάζει πιθανώς την κατάσταση του δικτύου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις εργασίες που παρουσιάζονται σε αυτήν την παράγραφο, ο έλεγχος της κατάστασης του δικτύου θεωρείται “διαθέσιμος” και οι ΚΠ λαμβάνουν τα μηνύματα κατάστασης δικτύου ή αντιλαμβάνονται τις συνθήκες του δικτύου χωρίς να περιγράφουν ή να διαθέτουν κάποιο τέτοιο μηχανισμό. Η εργασία που προτείνεται σε αυτό το κεφάλαιο, παρέχει έναν πλήρη μηχανισμό για την αξιόπιστη και ενημερωμένη διαχείριση δικτύου στους ΚΠ.

### **7.3 Αρχιτεκτονική Προτεινόμενου Συστήματος**

Η γενική τοπολογία του εξεταζόμενου συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 7-1. Το σύστημα έχει διάφορους εξυπηρετητές που συνδέονται μεταξύ τους με έναν πλήρως meshed τρόπο και οργανώνονται σε συστάδες. Υπάρχουν δύο εννοιολογικά στρώματα, το ανώτερο και το χαμηλότερο στρώμα. Το ανώτερο στρώμα περιλαμβάνει εξυπηρετητές που ηγούνται στις αντίστοιχες συστάδες, που καλούνται Cluster Head Servers (CHSs), και το χαμηλότερο στρώμα που περιλαμβάνει εξυπηρετητές που συμμετέχουν σε μια συστάδα, που καλούνται Simple Servers (SSs). Ένας CHS έχει την ίδια λειτουργία όπως ένας SS, όπως το να παρέχει υπο-

λογιστικούς πόρους στους ΚΠ προκειμένου να εκτελέσουν τις εργασίες τους, και παράλληλα είναι αρμόδιος για να παρέχει πληροφορίες για τον φόρτο της συστάδας των εξυπηρετητών του στους άλλους CHS. Ένας ΚΠ είναι ελεύθερος να μετακινηθεί από έναν εξυπηρετητή σε ένα άλλο (είτε CHS είτε SS) και να εκτελέσει μια εργασία. Ένας ΚΠ έχει την απαραίτητη νοημοσύνη-γνώση για να επιλέξει τον καλύτερο εξυπηρετητή για να μετακινηθεί, προκειμένου να εκτελέσει την εργασία του. Ο αλγόριθμος μετακίνησης των ΚΠ καθορίζεται από τη στρατηγική μετακίνησης του. Σε περίπτωση του αλγορίθμου SFBP κάθε ΚΠ χρησιμοποιεί τον ενεργό προγνώστη φόρτου (Predictor) του για να προβλέψει το φόρτο των εξυπηρετητών μέσα στη συστάδα που βρίσκεται σε αυτήν την χρονική περίοδο και για να προβλέψει το φόρτο όλων των συστάδων συνολικά. Αυτό σημαίνει ότι ο πράκτορας συμμετέχει σε δύο παίγνια (SFBP ή άλλο εξεταζόμενο παίγνιο που συζητείται στις ακόλουθες παραγράφους): ένα στο χαμηλότερο εννοιολογικό στρώμα-μεταξύ των SSs μέσα στη συστάδα που βρίσκεται και σε ένα δεύτερο στο ανώτερο εννοιολογικό στρώμα μεταξύ των CHS που περιέχουν πληροφορίες φόρτου για κάθε συστάδα συνολικά.



Εικόνα 7-1: Τοπολογία προτεινόμενου συστήματος

### 7.3.1 Διαμόρφωση σε Συστάδες (Clustering)

Το υπό συζήτηση πλαίσιο έχει διάφορους εξυπηρετητές που συνδέονται μεταξύ τους με πλήρως meshed τρόπο. Το δίκτυο διαιρείται σε διάφορα μέρη, αποκαλούμενα συστάδες. Κάθε συστάδα έχει έναν συγκεκριμένο εξυπηρετητή, τον CHS, ο οποίος είναι αρμόδιος για τη συγκέντρωση πληροφοριών για το μέσο φόρτο των εξυπηρετητών που ανήκουν στην συστάδα την οποία εποπτεύει και μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες σε όλους του εξυπηρετητές που ανήκουν σε αυτή την συστάδα. Επιπλέον ο CHS είναι αρμόδιος για τον υπολογισμό του μέσου φόρτου ολόκληρης της συστάδας ως σύνολο και τη διανομή αυτής της πληροφορίας σε άλλα CHS. Οι εξυπηρετητές που συμμετέχουν σε μια συστάδα καλούνται Simple Servers (SS).

Η διαμόρφωση του δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών μπορεί να προκαλεί πρόσθετη κυκλοφορία στους CHS αλλά μειώνει σημαντικά τα μηνύματα πληροφοριών φόρτου μεταξύ των εξυπηρετητών δεδομένου ότι αυτά τα μηνύματα διαβιβάζονται μόνο στους CHS και όχι σε κάθε εξυπηρετητή του δικτύου. Στην περίπτωση της διαμόρφωσης του δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών, που περιλαμβάνει  $K+1$  εξυπηρετητές σε κάθε χρονική στιγμή, μόνο τα  $K$  μηνύματα φόρτου διαβιβάζονται στον CHS. Ο τελευταίος αθροίζει τους φόρτους των εξυπηρετητών τα καταγράφει σε ένα μήνυμα το οποίο και προωθεί σε κάθε εξυπηρετητή, επομένως, απαιτώντας έτσι  $O(k)$  ανταλλαγές μηνυμάτων ώστε κάθε εξυπηρετητής να ενημερωθεί για τον φόρτο όλων των άλλων εξυπηρετητών μέσα στην συστάδα που ανήκει. Χωρίς τον CHS, αυτή η λειτουργία απαιτεί  $O(k^2)$  μηνύματα να ανταλλαχθούν μεταξύ των εξυπηρετητών, πράγμα που αυξάνει σημαντικά την ποσότητα πληροφοριών ελέγχου που ανταλλάσσεται σε κάθε χρονική στιγμή.

Η διαμόρφωση του δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές. Οι συστάδες μπορούν να είναι είτε διακριτές είτε επικαλυπτόμενες, στατικές ή δυναμικές. Οι διακριτές συστάδες είναι εκείνες στις οποίες κάθε SS μετέχει σε μια και μόνο συστάδα, ενώ στις επικαλυπτόμενες μπορεί να μετέχει σε περισσότερες από μια συστάδες. Η στατική διαμόρφωση του δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών πραγματοποιείται όταν ορισμένος και συγκεκριμένος αριθμός εξυπηρετητών ανήκουν σε μια συστάδα ενώ δυναμική όταν δια-

μορφώνονται σε συστάδες σύμφωνα με κριτήρια που μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια του χρόνου ή της κατάστασης των εξυπηρετητών.

Επιπλέον, οι εξυπηρετητές που είναι επικεφαλής των συστάδων, μπορούν να εκλεχτούν μέσω ψηφοφορίας μεταξύ των εξυπηρετητών της συστάδας ή να επιλεγτούν σύμφωνα με κάποια ορισμένη διαδικασία ή κριτήριο (πχ χωρητικότητα, CPU, διαθέσιμο εύρος ζώνης κλπ) ή να εκλεχτούν με κυκλικό τρόπο ή να ορισθούν στην αρχή και όταν συμβεί κάποια βλάβη σε αυτόν να αναλάβει κάποιος άλλος εξυπηρετητής στην θέση του.

Η διαμόρφωση ενός δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών, έχει προταθεί σε διάφορα ερευνητικά περιβάλλοντα όπως τα κινητά ad-hoc δίκτυα [151], [152]. Η συστάδα περιορίζει την ποσότητα της δρομολόγησης πληροφοριών που μεταδίδονται μέσα σε ένα δίκτυο, με την ομαδοποίηση των δικτυακών κόμβων σε διάφορες επικαλυπτόμενες (ή μη επικαλυπτόμενες) συστάδες. Αυτό επιτρέπει τη συγκέντρωση των πληροφοριών δρομολόγησης και συνεπώς αυξάνει την εξελξιμότητα των αλγορίθμων δρομολόγησης. Η ομαδοποίηση σε συστάδες, καθιστά δυνατή μια ιεραρχική δρομολόγηση, στην οποία οι διάφορες δικτυακές διαδρομές καταγράφονται μεταξύ των συστάδων (αντί μεταξύ των κόμβων) πράγμα που αυξάνει τη διάρκεια ζωής των διαδρομών αυτών, μειώνοντας, κατά συνέπεια, την ανταλλαγή μηνυμάτων ελέγχου δρομολόγησης [153], [154], [158].

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι προαναφερθέντες τρόποι της διαμόρφωση ενός δικτύου σε συστάδες εξυπηρετητών και του σχήματος εκλογής των CHS, δεν παρέχουν οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή στο περιγραφόμενο σύστημά και αναφέρονται μόνο για πληρότητα της υπόψη εργασίας.

### **7.3.2 Εξυπηρετητές Επικεφαλής Συστάδων (Cluster Head Servers)**

Ένας CHS εκτός από τις λειτουργίες που παρέχονται από ένα SS είναι αρμόδιος για τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Λαμβάνει τις πληροφορίες φόρτου των εξυπηρετητών που ανήκουν στην συστάδα εξυπηρετητών που εποπτεύει και τις αποθηκεύει για κάποια χρονική περίοδο.



- Υπολογίζει το συνολικό μέσο φόρτο της συστάδας (το άθροισμα του φόρτου όλων των SS που ανήκουν στη συστάδα του, συν το φόρτο του ίδιου του CHS και το διαιρεί με τον αριθμό αυτών των εξυπηρετητών).
- Μεταδίδει τις πληροφορίες φόρτου των εξυπηρετητών της συστάδας σε όλους τους SS της συστάδα του.
- Μεταδίδει τις πληροφορίες φόρτου της συστάδας του σε όλα τα άλλα CHS.
- Διατηρεί για κάποια χρονική περίοδο, το ιστορικό φόρτου όλων των άλλων συστάδων.
- Διατηρεί για κάποια χρονική περίοδο, το ιστορικό του μέσου φόρτου της συστάδας του σαν σύνολο.

Σε κάθε χρονική στιγμή (εννοείται κάποια ορισμένη χρονική περίοδος), κάθε SS αποστέλλει τις πληροφορίες φόρτου του στον CHS που ανήκει. Ο CHS αφού λάβει τις πληροφορίες φόρτου από όλους τους SS δημιουργεί ένα μήνυμα ενημέρωσης το οποίο καλείται Διάνυσμα Φόρτου Εξυπηρετητών (Server Load Vector -SLV). Η δομή του SLV παρουσιάζεται στον Πίνακας 7-1. Ο όρος  $S_i$ , με το  $i=1, \dots, n$  υποδεικνύει τον  $i^{\text{th}}$  SS, ενώ το  $n$  είναι ο αριθμός των SS στην συστάδα εξυπηρετητών. Ο όρος  $X_i$ , με το  $i=0, \dots, 100$  είναι ο μέσος φόρτος ενός SS, ενώ ο όρος  $C_i$ , με το  $i=1, \dots, k$  δείχνει την  $i^{\text{th}}$  συστάδα και το  $k$  είναι ο αριθμός των συστάδων. Ο όρος  $X_i$ , με το  $i=0, \dots, 100$ , είναι ο μέσος φόρτος μιας συστάδας και τέλος ο όρος  $(S_i, X_i)$  δείχνει τον  $S_i$  SS που έχει το μικρότερο μέσο φόρτο  $X_i$  στην συστάδα.

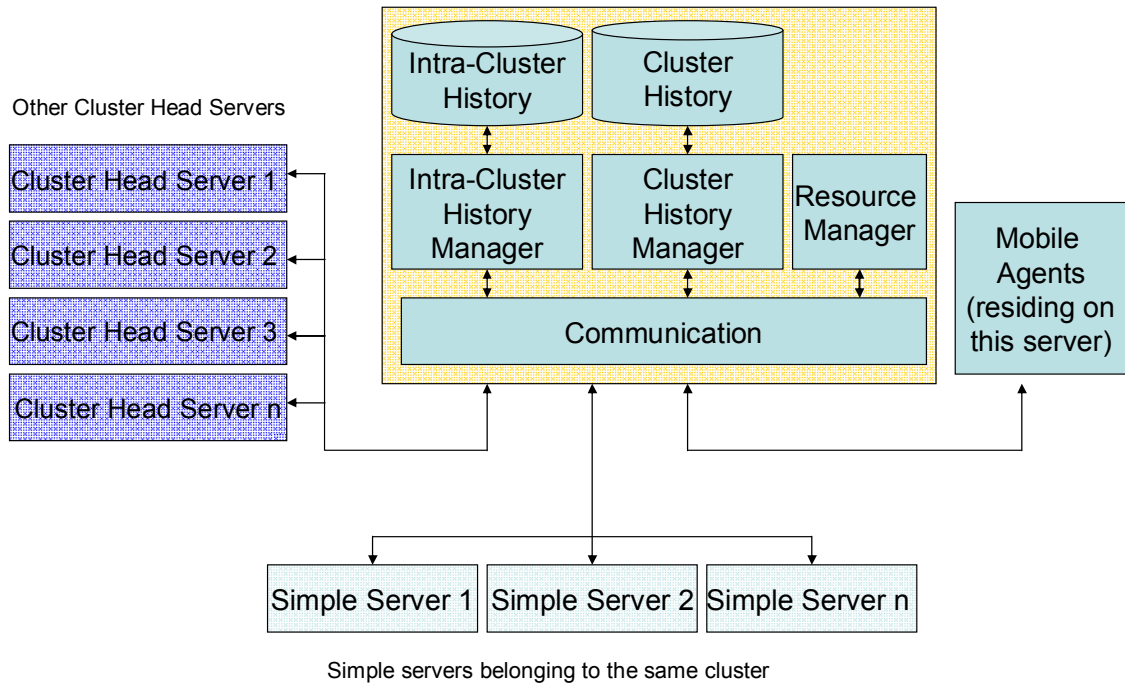
	Intra Cluster Load information						Cluster Load information					
Server or Cluster Identification	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	..	$S_n$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	..	$C_k$
Average load	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	..	$X_n$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	..	$X_k$
Lowest Average load							$(S_i, X_i)$	$(S_i, X_i)$	$(S_i, X_i)$	$(S_i, X_i)$	..	$(S_i, X_i)$

Πίνακας 7-1 : Server Load Vector την χρονική στιγμή  $t$  (SLV(t))

Η υπηρεσία ενημέρωσης φόρτου εκτελείται σε κάθε χρονική στιγμή (εννοείται κάποια ορισμένη χρονική περίοδος). Κάθε εξυπηρετητής (Simple ή Cluster Head) λαμβάνει το SLV(t) στο τέλος της χρονικής περιόδου.

Η δομή του CHS απεικονίζεται στην Εικόνα 7-2. Το τμήμα επικοινωνίας είναι αρμόδιο για την επικοινωνία με τις άλλες δικτυακές οντότητες όπως άλλοι CHS, ή SS ή ΚΠ. Ο διαχειριστής του ιστορικού φόρτου της συστάδας (Intra-Cluster History manager) συγκεντρώνει πληροφορίες φόρτου από όλους τους SS της συστάδας για να δημιουργήσει το SLV (το μέρος που αφορά τα SS της συστάδας) και αποθηκεύει αυτό το διάνυσμα σε μια προσωρινή μνήμη (Intra-Cluster History). Ο διαχειριστής του ιστορικού φόρτου συστάδων (Inter-Cluster History manager) συγκεντρώνει πληροφορίες φόρτου όλων των υπάρχοντων CHS, δημιουργεί το SLV (το μέρος που αφορά τα CHS) και αποθηκεύει αυτή την πληροφορία σε μια προσωρινή μνήμη (Cluster History). Ο διαχειριστής των υπολογιστικών πόρων είναι αρμόδιος για την παροχή των πόρων των εξυπηρετητών στους επισκεπτόμενους ΚΠ προκειμένου να εκτελέσουν τις εργασίες τους καθώς και για την παρακολούθηση της χρησιμοποίησης των πόρων των εξυπηρετητών.

Το ιστορικό φόρτου στις προσωρινές μνήμες (Intra-Cluster και Cluster) περιλαμβάνει τις τιμές από τις δέκα προηγούμενες χρονικές στιγμές προσομοίωσης, δεδομένου αυτές είναι επαρκείς για να τροφοδοτήσουν τους προγνώστες φόρτου και να παράγουν ορθές προγνωστικές τιμές. Οι δύο αυτές μνήμες περιέχουν τις δέκα πιο πρόσφατες μετρήσεις και χρησιμοποιούνται από τους προγνώστες φόρτου προκειμένου να προβλεφθεί η χρησιμοποίηση των πόρων των εξυπηρετητών.



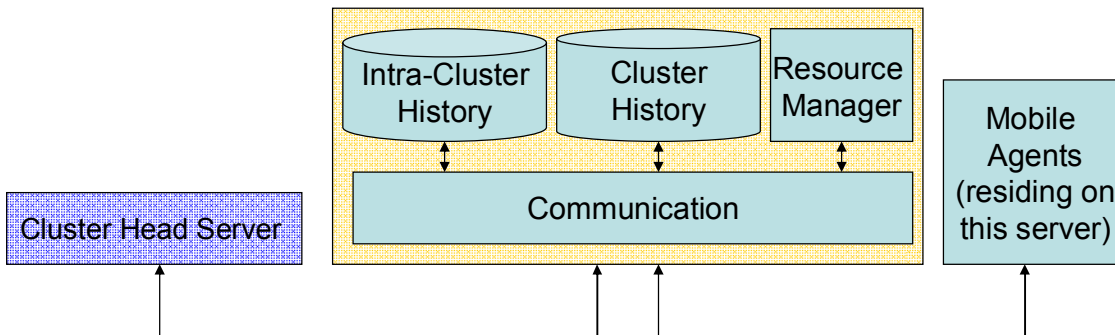
**Εικόνα 7-2: Δομή ενός Εξυπηρετητή Επικεφαλής Συστάδας (Cluster Head Server)**

### 7.3.3 Απλοί Εξυπηρετητές (Simple Servers)

Η δομή ενός Απλού Εξυπηρετητή (Simple Server-SS) απεικονίζεται στην Εικόνα 7-3. Οι μνήμες ιστορικού φόρτου Intra-Cluster και Cluster περιέχουν τις ίδιες πληροφορίες όπως περιγράφονται στο CHS (λαμβάνουν και αποθηκεύουν σε κάθε χρονική περίοδο το συνολικό φόρτο των άλλων συστάδων και το μέσο φόρτο των εξυπηρετητών μέσα στη συστάδα αντίστοιχα). Επιπλέον το τμήμα επικοινωνίας είναι αρμόδιο για την αποστολή των μηνυμάτων ενημέρωσης φόρτου στο CHS και της επικοινωνίας κατά την επίσκεψη των ΚΠ προκειμένου να παρασχεθεί σε αυτά το SLV για τις προηγούμενες χρονικές περιόδους (οι χρονικές περιόδους που υπάρχει ιστορικό φόρτου εξαρτάται από τη μνήμη του εξυπηρετητή). Νέα αφικνούμενοι ΚΠ σε αυτήν την συστάδα εξυπηρετητών, λαμβάνουν το  $SLV(t)$  και ενημερώνουν τους προγνώστες φόρτου τους. Τέλος ο διαχειριστής υπολογιστικών πόρων παρέχει τους πόρους στους πράκτορες και στέλνει σε κάθε χρονική περίοδο μηνύματα πληροφοριών φόρτου στο CHS.

Στο περιγραφόμενο σύστημα όλοι οι εξυπηρετητές θεωρείται ότι έχουν την ίδια χωρητικότητα και δυνατότητες. Ο φόρτος κάθε εξυπηρετητή μετριέται σε κλίμακα επί τοις εκατό (ένας εξυπηρετητής με μηδέν φόρτο είναι μη απασχολημένος και ένας

εξυπηρετητής το φόρτο 100% είναι πλήρως απασχολημένος). Ένας εξυπηρετητής θεωρείται πλήρως απασχολημένος οπότε ο φόρτος του τείνει στο 98%,



Εικόνα 7-3: Δομή Απλού Εξυπηρετητή (Simple Server)

Ο φόρτος κάθε εξυπηρετητή υπολογίζεται και εξομαλύνεται χρησιμοποιώντας τον Uniformly Weighted Moving Average (UWMA). Σε ένα αλγόριθμο κινούμενου μέσου όρου, διάφορες στιγμιαίες παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη ρυθμαπόδοση προκειμένου να εξομαλυνθεί η τιμή που παρατηρείται και να αποφευχθούν υψηλές διακυμάνσεις. Σημειώνεται ότι η ρυθμαπόδοση είναι η παραγόμενη τιμή του μετρητή ( $Dx/Dt$ ). Η απλούστερη μορφή είναι ο UWMA στον οποίο κάθε στιγμιαία παρατήρηση ρυθμαπόδοσης δίνεται το ίδιο βάρος στον υπολογισμό της μέσης ρυθμαπόδοσης. Η μέση τιμή στον UWMA υπολογίζεται ως εξής (εξίσωση 7-1):

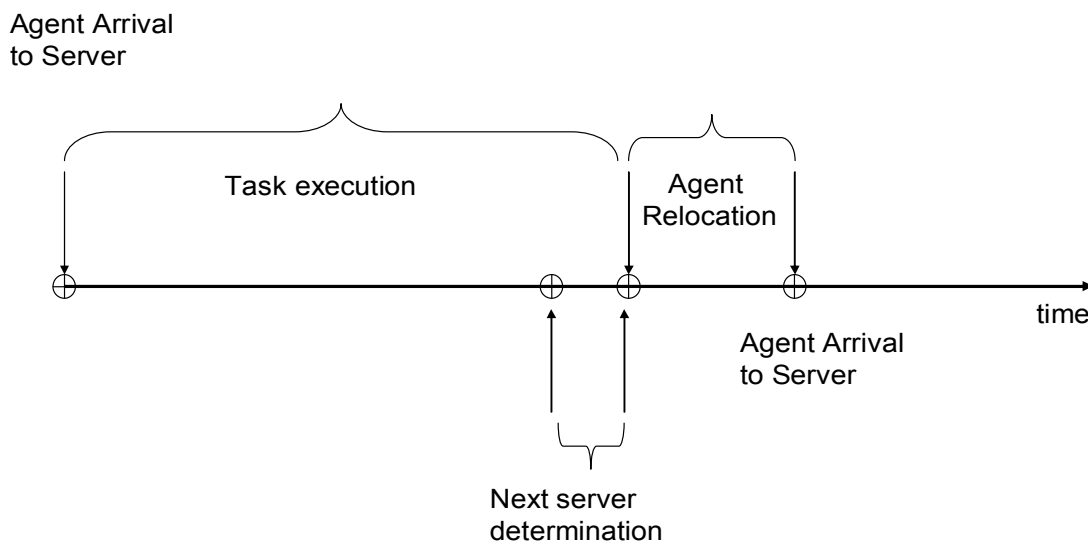
$$M(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} V[t - (i * Dt)] \quad 7-1$$

Όπου το  $M(t)$  είναι η εκτίμηση της μέσης τιμής στο χρόνο  $t$ , το  $V(t)$  είναι η στιγμιαία ρυθμαπόδοση στο χρόνο  $t$ , δηλαδή  $[C(t)-C(t-Dt)] / Dt$ , το  $C(t)$  είναι η καθαρή τιμή μετρητή ενδιαφέροντος στο χρόνο  $t$ ,  $Dt$  είναι η περίοδος μεταξύ των διαδοχικών παρατηρήσεων του  $C(t)$  και του  $V(t)$  και το  $N$  είναι ο αριθμός υπολογισμών  $V(t)$  που απαιτούνται για να υπολογίσουν το μέσο όρο. Σημειώνεται ότι για τους  $N$  υπολογισμούς της στιγμιαίας ρυθμαπόδοσης  $V(t)$  απαιτούνται  $N+1$  τιμές καθαρών μετρήσεων. Ένα παράδειγμα της μέσης εκτίμησης για  $N=3$  είναι  $M(t)=1/3[V(t)+V(t-Dt)+V(t-2*Dt)]$ .

### 7.3.4 Κινητοί Πράκτορες

Ένας ΚΠ έχει την ικανότητα να μετακινηθεί στο δίκτυο και να εκτελέσει τις διάφορες εργασίες του. Ο ΚΠ κατέχει την απαραίτητη νοημοσύνη για να επιλέξει τον καλύτερο εξυπηρετητή για να μετακινηθεί σε αυτόν, χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους προγνώστες φόρτου του. Η επιλογή του κόμβου εξυπηρετητή εκτελείται ως εξής: όταν ένας ΚΠ φθάσει σε έναν εξυπηρετητή (είτε SS είτε CHS καθόσον και οι δύο είναι σε θέση να φιλοξενήσουν μετακινούμενους ΚΠ) αρχίζει την εκτέλεση της εργασίας του (Εικόνα 7-4). Ταυτόχρονα, ο ΚΠ λαμβάνει το ιστορικό φόρτου των SS που συμμετέχουν στην τρέχουσα συστάδα και ενημερώνει τους προγνώστες φόρτου του. Ο ΚΠ χρησιμοποιώντας τους προγνώστες φόρτου του, υπολογίζει το πιθανό μελλοντικό φόρτο όλων των εξυπηρετητών μέσα στη συστάδα και υπολογίζει το κόστος μετακίνησης για να μετακινηθεί σε αυτούς. Ο ΚΠ λαμβάνει επίσης από τον τρέχοντα εξυπηρετητή το ιστορικό φόρτου των συστάδων συνολικά, και χρησιμοποιώντας τους προγνώστες φόρτου του υπολογίζει το μελλοντικό μέσο φόρτο κάθε συστάδας και υπολογίζει το κόστος μετακίνησης του για να μετακινηθεί σε κάθε συστάδα. Ο πράκτορας βρίσκει τον εξυπηρετητή που έχει το χαμηλότερο κόστος μετακίνησης για να μετακινηθεί και να εκτελέσει την νέα εργασία του όταν η τρέχουσα εργασία του τελειώσει. Εάν το χαμηλότερο κόστος μετακίνησης παρατηρείται σε μια συστάδα τότε ο ΚΠ μετακινείται στον εξυπηρετητή της συστάδας (με μικρότερο κόστος μετακίνησης) αυτής που την προηγούμενη χρονική περίοδο είχε τον χαμηλότερο φόρτο. Ο εξυπηρετητής που έχει τον χαμηλότερο φόρτο περιλαμβάνεται στο SLV που διαβιβάζεται σε κάθε εξυπηρετητή κάθε χρονική περίοδο. Εάν ένας ΚΠ μεταναστεύσει σε έναν εξυπηρετητή που ανήκει σε μια διαφορετική συστάδα, ο ΚΠ λαμβάνει το ιστορικό φόρτου των εξυπηρετητών της τρέχουσας συστάδας και ενημερώνει τους προγνώστες φόρτου του με το ιστορικό φόρτου της νέας συστάδας. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο χρόνος διάρκειας της εργασίας του ΚΠ είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τη χρονική περίοδο που απαιτείται για τη δημιουργία και τη διανομή του SLV, ο ΚΠ έχει τον αρκετό χρόνο να εκπαιδεύσει τους προγνώστες φόρτου του και να επιλέξει τον προγνώστη που προβλέπει το ελάχιστο φορτίο στην εξίσωση 3-1 (δηλαδή να επιλέξει τον ενεργό προγνώστη για να προβλέψει το μελλοντικό φόρτο των εξυπηρετητών/συστάδων). Ο ΚΠ μπορεί να

μετακινηθεί μέσω μιας προκαθορισμένης διαδρομής εξυπηρετητών, μπορεί να εκτελέσει εργασίες σε εξυπηρετητές με συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις (βιβλιοθήκες, χωρητικότητα κ.λ.π.) ή μπορεί να εκτελέσει τις ανατιθέμενες σε αυτό εργασίες σε οποιοδήποτε εξυπηρετητή. Στο υπόψη σύστημα, οι ΚΠ είναι σε θέση να μετακινούνται οπουδήποτε επιλέξουν στο δίκτυο και να εκτελέσουν τις εργασίες τους.



**Εικόνα 7-4: Κύκλος εκτέλεσης μιας εργασίας ενός ΚΠ σε ένα εξυπηρετητή**

Η κινητικότητα των ΚΠ είναι ταξινομημένη σε ισχυρή και ως αδύνατη (strong and weak mobility). Η ισχυρή κινητικότητα αναφέρεται στη διαδικασία που επιτρέπει σε έναν πράκτορα να κινηθεί, κατά τρόπο διαφανή, με τη διατήρηση της κατάστασης εκτέλεσής της (π.χ., δείκτης οδηγίας instruction pointer, call stack) κατά τη μετακίνηση του στο νέο εξυπηρετητή και να επανακτήσει την εκτέλεσή του αμέσως μετά την οδηγία που προκάλεσε τη μετανάστευση αυτή. Η αδύνατη κινητικότητα επιτρέπει τη μεταφορά του κώδικα του ΚΠ σε έναν άλλο εξυπηρετητή και στον προορισμό, ο κώδικας αρχίζει να εκτελείται πάλι από την αρχή. Τα σενάρια μετακίνησης που παρουσιάζονται σε αυτό την εργασία, είναι βασισμένα στην υπόθεση ότι οι εργασίες των ΚΠ είναι ανεξάρτητες οντότητες και οι ΚΠ μετακινούνται προκειμένου να εκτελέσουν μια εργασία κάθε φορά και επομένως, η κατάλληλη μετακίνηση των υπόψη ΚΠ είναι η αδύνατη κινητικότητα. Εντούτοις, οι στρατηγικές μετακίνησης

που συζητούνται σε αυτήν εργασία, ισχύουν και για ισχυρή αλλά και για αδύνατη κινητικότητα ΚΠ.

Το συνολικό κόστος μετακίνησης (total relocation cost) ( $TotalCost(MA_i)_{x \rightarrow y}$ ) το οποίο υπολογίζει ένας  $KPI_i$ , για να μετακινηθεί από τον εξυπηρετητή  $x$  στον  $y$  (οι εξυπηρετητές  $x, y$  ανήκουν στην ίδια συστάδα εξυπηρετητών ή σε διαφορετική), καθορίζεται ως ακολούθως:

$$TotalCost(MA_i)_{x \rightarrow y} = \frac{a \cdot [ClusterRC(MA_i)_{x \rightarrow y} + ServerRC(MA_i)] \cdot Size(MA_i)}{Bandwidth_{x \leftrightarrow y}} + (1 - a) \cdot Pr_y(t + 1) \quad 7-2$$

Παράμετρος	Επεξήγηση παραμέτρου
ClusterRC	(Cluster Relocation Cost) is the cost for a $MA_i$ to migrate to another server that is located on a different cluster. We consider that clusters are arranged in a ring topology and the cost is a function of the relative position of the nodes.
ServerRC	(Server Relocation Cost) is the cost for a MA to migrate to a server within the same cluster. In our system we consider this cost to be constant and equal to 1.
$Pr_y(t + 1)$	The estimated load of the destination server $y$ at time $t+1$ , as predicted with the use of the active predictor at time $t$
$Size(MA_i)$	size of the $MA_j$ (explained in the following paragraph).
$a$	a scale factor $\sim 0.6$

Ο ΚΠ μετακινείται από εξυπηρετητή σε εξυπηρετητή προκειμένου να εκτελέσει κάποια εργασία. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης κάποιας εργασίας ο ΚΠ μπορεί να συγκεντρώσει ή να παραδώσει δεδομένα. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος του ΚΠ αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια των μετακινήσεών του. Επομένως, το μέγεθος του ΚΠ μετά από κάθε επίσκεψη και ολοκλήρωση της εκτέλεσης κάποιας εργασίας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (7-3). Η χρησιμοποίηση της εξίσωσης (7-3) αποτρέπονται οι απότομες διακυμάνσεις στο μέγεθος του ΚΠ.

$$Size(MA_i)_j = b \cdot Size(MA_i)_{j-1} + (1 - b) \cdot MA_{i,new} \quad 7-3$$

Παράμετρος	Επεξήγηση παραμέτρου
$Size(MA_i)_{j-1}$	is the current size of the MA
$MA_{i,new}$	is the added or subtracted size of the MA that is generated using a lognormal distribution with mean 9.357 and standard deviation 1.318 [132]

b	is a scale parameter and is equal to 0.6.
---	---

Οι εργασίες που εκτελούνται από τους ΚΠ χαρακτηρίζονται από δύο ιδιότητες: την διάρκειά τους και το φορτίο που επιφέρουν στον επισκεπτόμενο εξυπηρετητή. Η διάρκεια μιας εργασίας διαμορφώνεται σύμφωνα με την εκθετική κατανομή ενώ το φορτίο που επιφέρει μια εργασία σε έναν εξυπηρετητή ακολουθεί  $\chi^2$  κατανομή με τους βαθμούς ελευθερίας  $n=15$ , μέση τιμή  $n=15$  και διασπορά  $= 2n=30$ .

### 7.3.5 Προγνώστες Φόρτου (Predictors)

Οι προγνώστες φόρτου που χρησιμοποιήθηκαν στο προτεινόμενο πλαίσιο, μαζί με τις αντίστοιχες συναρτήσεις πρόγνωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-2.. Οι προγνώστες που περιγράφονται είναι ενδεικτικοί και έχουν υιοθετηθεί από τις εργασίες [119] και [125] (πολλοί διαφορετικοί προγνώστες μπορούν να εφαρμοστούν στο υπόψη πλαίσιο). Οι περισσότεροι τύποι των προγνωστών φόρτου είναι παραμετροποιήσιμες οικογένειες προγνωστών. Με διαφορετικές τιμές στις εν λόγω παραμέτρους είναι δυνατόν να παραχθεί μεγαλύτερος αριθμός προγνωστών που σχηματίζουν ένα σύνολο  $M$  διαθέσιμων προγνωστών, από το οποίο κάθε χρήστης επιλέγει τυχαία  $K$  προγνώστες. Μεγάλη τιμή του  $K$  (περισσότεροι προγνώστες που λειτουργούν ταυτόχρονα) έχει ως αποτέλεσμα χρήστες με αυξημένη «ευφυΐα»· παρόλα αυτά, όταν το  $K$  αυξάνεται, περισσότεροι προγνώστες γίνονται κοινοί μεταξύ των χρηστών [163]. Αυτό σημαίνει ότι η ετερογένεια των χρηστών (διαφορετικός τρόπος σκέψης) υπονομεύεται κι η συνολική απόδοση του συστήματος υποβαθμίζεται, λόγω ταλαντώσεων. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται στο **Παράρτημα Α** όπου παρουσιάζονται αποτελέσματα προσομοιώσεων για διαφορετικούς αριθμούς προγνωστών ανά χρήστη αλλά και με διαφορετικό τρόπο υπολογισμού του μέσου φόρτου κάθε εξυπηρετητή. Το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής των τιμών των παραμέτρων  $K$  και  $M$  είναι αρκετά δύσκολο να αναλυθεί, καθώς εξαρτάται κι από την ίδια φύση των προγνωστών και της μεταβλητής που μελετάται.

Ο χρόνος θεωρείται ότι διαιρείται σε χρονοθυρίδες με κάθε χρονοθυρίδα να έχει διάρκεια  $T$ . Ο όρος  $Pr(t)$  καθορίζει την πρόγνωση φόρτου ενός εξυπηρετητή την χρονική στιγμή  $t$ , ενώ ο όρος  $Load(t)$  είναι ο πραγματικός φόρτος ενός εξυπηρετητή την χρονική στιγμή  $t$ . Οι δύο αυτοί όροι λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0, 100]$



υποδηλώνοντας επί τις εκατό το φόρτο του εξυπηρετητή. Κάθε ΚΠ επιλέγει τυχαία 2 προγνώστες από ένα σύνολο από 15 προγνώστες φόρτου.

Περιγραφή προγνώστη φόρτου	Συνάρτηση Πρόγνωσης
Στατικός προγνώστης ίσος με x.	$Pr(t) = x \quad x \in [0,100]$
Προγνώστης μέσης τιμής: Μέση τιμή των τελευταίων k χρονοθυρίδων.	$Pr(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} Load(t-T \cdot i) \quad k = 1,2,..$
Κυκλικός προγνώστης: Όμοιος φόρτος όπως πριν i χρονοθυρίδες	$Pr(t) = Load(t - i \cdot T) \quad i = 0,1,2,..$
Προγνώστης μέσης τιμής k τιμών: Μέση τιμή με βάρη για τις τελευταίες k χρονοθυρίδες	$Pr(t) = \sum_{i=0}^{k-2} \frac{1}{2^{i+1}} Load(t-T \cdot i) + \frac{1}{2^{k-1}} Load(t-(k-1) \cdot T)$
Συμμετρικός προγνώστης: Συμμετρικά γύρω από 50 (μισή χωρητικότητα) της τελευταίας χρονοθυρίδας	$Pr(t) = 50 + \text{sign}(50 - Load(t)) \cdot  Load(t) - 50  = 100 - Load(t)$
Προγνώστης Παρεμβολής: Παρεμβολή από τις τελευταίες δύο χρονοθυρίδες	$Pr(t) = Load(t) + (Load(t) - Load(t - T)) = 2 \cdot Load(t) - Load(t - T)$

Πίνακας 7-2: Προγνώστες φόρτου

Επίσης για να αποφευχθούν συνεχείς ενεργοποιήσεις/ απενεργοποιήσεις των ενεργών προγνωστών φόρτου καθορίζεται ένα κατώφλι με το οποίο αλλάζει ένας ενεργός προγνώστης. Επομένως η εξίσωση 3-1 γίνεται ως ακολούθως:

$$\text{active} = i : | (Load(t) - (Pr_{\text{active}}(t) \pm \text{Threshold}) | \geq \text{minimum} \quad 7-4$$

Το υπόψη κατώφλι πρέπει να επιλεγθεί με προσοχή, καθόσον μεγάλες τιμές μπορούν να οδηγήσουν σε καταστάσεις όπου όλοι οι ΚΠ να χρησιμοποιούν τους ίδιους προγνώστες και η διαδικασία πρόγνωσης φόρτου να μην επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις στο φόρτο των εξυπηρετητών. Το κατώφλι αυτό έχει την τιμή 5.

### 7.3.6 Στρατηγικές Μετακίνησης

Σε αυτό το τμήμα περιγράφονται άλλες τέσσερις στρατηγικές μετακίνησης που εξετάστηκαν στα πειράματα των προσομοιώσεων της εργασίας αυτής. Τα συστήματα που εφαρμόζουν αυτές τις στρατηγικές είναι τα ακόλουθα:

- α. Best Response Server Selection
- β. Probabilistic Server Selection
- γ. Random Server Selection
- δ. Randomized Server Selection

Σε όλα αυτά τα συστήματα η τοπολογία του δικτύου και η λειτουργία των CHS και SS είναι όπως έχει περιγράψει στις προηγούμενες παραγράφους.

#### 7.3.6.1 Best Response Server Selection System (BSSS)

Σε αυτό το σύστημα ένας ΚΠ επιλέγει να μετακινηθεί σε έναν εξυπηρέτη που έχει το χαμηλότερο φόρτο. Ο επόμενος εξυπηρέτης που θα μετακινηθεί ο ΚΠ, επιλέγεται σε κάθε χρονοθυρίδα χρησιμοποιώντας το  $SLV(t)$ , για την επιλογή του εξυπηρέτη ή της συστάδας με το χαμηλότερο φόρτο. Εάν επιλεγεί ένας εξυπηρέτης από την ίδια συστάδα που βρίσκεται ο ΚΠ, τότε ο ΚΠ μετακινείται σε αυτόν την επόμενη χρονοθυρίδα. Εάν επιλεγεί μια συστάδα, ο ΚΠ μετακινείται σε αυτήν την συστάδα και συγκεκριμένα στον εξυπηρέτη εκείνης της συστάδας που έχει το χαμηλότερο φόρτο (ο εξυπηρέτης με το λιγότερο φορτίο κάθε συστάδας περιλαμβάνεται στο  $SLV(t)$  κάθε χρονοθυρίδας).

#### 7.3.6.2 Probabilistic Server Selection System (PSSS)

Σε αυτό το σύστημα οι ΚΠ υιοθετούν έναν πιθανολογικό αλγόριθμο για να επιλέξουν τον εξυπηρέτη που θα μετακινηθούν. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι τα ακόλουθα: κάθε ΚΠ σε κάθε χρονοθυρίδα, επιλέγει να μετακινηθεί σε κάποιον από τους διαθέσιμους εξυπηρετητές, σύμφωνα με μια κατανομή πιθανότητας. Οι προαναφερθείσες πιθανότητες υπολογίζονται σύμφωνα με το  $SLV(t)$ , που λαμβάνει κάθε χρονοθυρίδα ο ΚΠ. Συγκεκριμένα, ο ΚΠ υπολογίζει το κόστος μετακίνησης σε για κάθε εξυπηρέτη  $j$ ,  $\forall j \neq i$ , ως εξής:

$$Cost(MA_l)_{S_i \rightarrow S_j} = \frac{a * [ClusterRC(MA_l)_{S_i \rightarrow S_j} + ServerRC(MA_l) * Size(MA_l)]}{Bandwidth_{S_i \rightarrow S_j}} + (1 - a) * Load(t)_{S_j}$$

7-5

Έπειτα και βάσει των υπολογισμένων κοστών, αναθέτει σε κάθε εξυπηρετή την πιθανότητα μετακίνησης σε αυτόν ίση με

$$P(S_j) = \frac{1}{n-1} * \left[ 1 - \frac{Cost(MA_l)_{S_c \rightarrow S_j}}{\sum_{i=1}^n Cost(MA)_{S_c \rightarrow S_j}} \right]$$

7-6

$$n = k + m \geq 2, \quad i, j \in [2, n]$$

Επισημαίνεται ότι η πιθανότητα επίσκεψης μειώνεται στο ανωτέρω κόστος επίσκεψης (όπως δίδεται στην εξίσωση 7-5). Ο παράγοντας  $1/(n-1)$  χρησιμοποιείται ώστε η κατανομή να είναι έγκυρη (δηλαδή  $\sum_i P(S_i) = 1$ ). Στη εξίσωση 7-6, το  $k$  είναι ο αριθμός των συστάδων,  $m$  είναι ο αριθμός των εξυπηρετητών που μετέχουν σε κάθε συστάδα,  $Load(t)_{S_j}$  είναι ο μέσος φόρτος του εξυπηρετητή  $S_j$  όταν ο ΚΠ υπολογίζει την μετακίνηση του σε αυτόν και  $S_c$  είναι ο εξυπηρετητής που βρίσκεται τώρα ο ΚΠ. Όταν ο ΚΠ υπολογίζει το κόστος μετακίνησης σε κάποιο εξυπηρετητή σε κάποια άλλη συστάδα τότε το  $Load(t)_{S_j}$  είναι ίσο με το μέσο φόρτο της συστάδα  $C_i$ ,  $Load(t)_{C_i}$ . Κάθε ΚΠ επιλέγει ένα εξυπηρετητή/ συστάδα να μετακινηθεί ώστε να εκτελέσει κάποια εργασία, σύμφωνα με τις ανωτέρω υπολογισμένες πιθανότητες επίσκεψης. Εάν ένας ΚΠ επιλέξει να μετακινηθεί σε κάποια άλλη συστάδα, τότε μετακινείται στον εξυπηρετητή αυτής της συστάδας που είχε το μικρότερο φόρτο την χρονική στιγμή  $t$  (αυτή η πληροφορία περιλαμβάνεται στο  $SLV(t)$ , Πίνακας 7-1).

### 7.3.6.3 Random Server Selection System (RSSS)

Στο σύστημα RSSS, κάθε ΚΠ επιλέγει τυχαία τον επόμενο εξυπηρετητή για να μετακινηθεί. Κάθε φορά που επιθυμεί να μετακινηθεί κάποιος ΚΠ, επιλέγει τυχαία έναν εξυπηρετητή από  $[(n \cdot k) + k]$  διαθέσιμους (είτε από τους  $n$  SS κάθε συστάδας από τις  $K$  συστάδες και τους  $K$  επικεφαλής αυτών). Το RSSS καθορίζει ίσες πιθανότητες επίσκεψης σε κάθε εξυπηρετητή.

### 7.3.6.4 Randomized Server Selection System (RmSSS)

Σε αυτό το σύστημα, ο ΚΠ επιλέγει πρώτα την συστάδα για να μετακινηθεί, με την πραγματοποίηση ενός Bernoulli πειράματος. Ο ΚΠ αφού πρώτα καθορίσει την επόμενη συστάδα, επιλέγει τυχαία τον εξυπηρετητή μέσα σε αυτήν την συστάδα για να μεταναστεύσει ( $n + 1$  διαθέσιμοι εξυπηρετητές).

### 7.3.7 Μετρικές Προσομοίωσης

Προκειμένου να αξιολογηθεί το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιήθηκε μια μετρική που ποσοτικοποιεί την δυνατότητα ισορροπίας φόρτου του. Όρος  $D_i(t)$  δηλώνει το φόρτο κάποιου εξυπηρετητή  $i$  την χρονική στιγμή  $t$ . Αν υποθέσουμε ότι έχουμε  $k$  εξυπηρετητές, ο φόρτος σε κάθε εξυπηρετητή θα πρέπει να παρατηρηθεί σε ένα ισορροπημένο (ιδανικό) σενάριο θα ήταν:

$$\bar{D}(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k D_i(t) \quad \text{όπου } t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad 7-7$$

Για να ποσοτικοποιηθεί πόσο ισορροπημένη είναι η κατανομή του φόρτου μεταξύ των εξυπηρετητών εισάγουμε το τετραγωνικό λάθος:

$$\text{dev}_i(t) = [D_i(t) - \bar{D}(t)]^2, i \in \{1, 2, \dots, k\} \quad \text{όπου } t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad 7-8$$

το οποίο είναι η τετραγωνική απόσταση του ιδανικού φόρτου με τον τρέχοντα φόρτο του εξυπηρετητή  $i$ . Έπειτα καθορίζεται :

$$dev(t) = \frac{1}{k \cdot D^2(t)} \sum_{i=1}^k dev_i(t), \dots t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad 7-9$$

το οποίο είναι ένας κανονικοποιημένος μέσος όρος της τετραγωνικής απόστασης  $dev_i(t)$  για όλους τους  $k$  εξυπηρετητές και δείχνει τη συνολική τετραγωνική απόσταση/ απόκλιση από την ιδανική ισορροπημένη κατανομή φόρτου.

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια γενικότερη εικόνα για την συμπεριφορά του συστήματος όσον αφορά στην εξισορρόπηση φόρτου, χρησιμοποιείται η μετρική του χρονικού μέσου όρου  $dev(t)$  κατά την διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης. Η μετρική αυτή ορίζεται ως ακολούθως:

$$Dev = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T dev(t) \quad 7-10$$

Επίσης στις προσομοιώσεις του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η μετρική του δικτυακού κόστους (Network cost metric) το οποίο ποσοτικοποιεί το κόστος που χρειάζεται ένας ΚΠ να μετακινηθεί από ένα εξυπηρετητή σε έναν άλλο και παρέχει ένα μέτρο για το συνολικό όγκο των δεδομένων τα οποία μετακινούνται μέσα στο δίκτυο λόγω των μετακινήσεων των ΚΠ.

$$NetworkCost(MA_x(t))_{i \rightarrow j} = \begin{cases} 0 & \text{όταν } i=j \\ Size(MA_x(t)) \cdot ServerRC(MA_x) & \text{όταν } i \text{ και } j \in C_k \\ \text{(ίδια συστάδα)} \\ Size(MA_x(t)) \cdot \left[ a \cdot ClusterRC(MA_x)_{i \rightarrow j} + (1-a) \cdot U \right] & \text{Όταν } i \in C_l \text{ και } j \in C_k \text{ και } l \neq k \end{cases} \quad 7-11$$

Σύμφωνα με την εξίσωση 7-11, το δικτυακό κόστος ενός ΚΠ που την χρονική στιγμή  $t$  παραμένει στον ίδιο εξυπηρετητή είναι 0 και όταν επιλέγει να μετακινηθεί σε κάποιο άλλο εξυπηρετητή μέσα στην ίδια συστάδα εξυπηρετητών είναι ίσο με  $Size(MA_x(t)) \cdot ServerRC(MA_x)$ . Τέλος, όταν ένας  $MA_x$  μετακινηθεί σε ένα εξυπηρετητή σε άλλη συστάδα εξυπηρετητών το δικτυακό κόστος είναι ίσο με το γινόμενο του μεγέθους του την χρονική στιγμή  $t$ , με το  $ClusterRC(MA_x(t))$  και του όρου  $U$ . Ο τελευταίος όρος είναι μια τυχαία μεταβλητή που λαμβάνει τιμές στο  $[2,6]$ . Ο μέσος όρος του δικτυακού κόστους την χρονική στιγμή  $t$  (το οποίο παρέχει το συνολικό μέγεθος των δεδομένων που μετακινούνται στο δίκτυο λόγω των ΚΠ αυτή την χρονική στιγμή  $t$ ) καθορίζεται ως ακολούθως:

$$NetworkCost(t) = \frac{1}{m} \sum_{x=0}^m NetworkCost(MA_x(t))_{i \rightarrow j} \quad 7-12$$

Επίσης ορίζεται η μετρική του πρακτορικού κόστους (Agent Cost metric) ως ακολούθως:

$$AgentCost(MA_x(t))_{i \rightarrow j} = a \cdot Distance(MA_x(t))_{i \rightarrow j} + \frac{(1-a) \cdot Load_j(t)}{100} \quad 7-13$$

Όπου ο όρος  $Distance(MA_x(t))_{i \rightarrow j}$  είναι μια μετρική η οποία λαμβάνει υπόψη της την δικτυακή απόσταση μεταξύ του τρέχοντα εξυπηρετητή και του επόμενου που θα μετακινηθεί ο ΚΠ και ορίζεται ως ακολούθως:

$$\text{Distanse}(MA_x(t))_{i \rightarrow j} = \begin{cases} \frac{\text{Size}(MA_x(t)) \cdot \text{ServerRC}(MA_x)}{\text{Bandwidth}_{i \rightarrow j}} & \text{όταν } i \text{ και } j \in C_k \\ \text{(ίδια συστάδα)} \\ \frac{\text{Size}(MA_x(t)) \cdot \text{ClusterRC}(MA_l)_{i \rightarrow j}}{\text{Bandwidth}_{i \rightarrow j}} & \text{Όταν } i \in C_l \text{ and } j \in C_k \text{ and } l \neq k \end{cases} \quad \text{7-14}$$

Όπου ο όρος  $\text{Bandwidth}_{i \rightarrow j}$  είναι το εύρος ζώνης μεταξύ του  $i$  και του  $j$  εξυπηρετητή (θεωρείται ότι είναι 2 Mbps). Τέλος το μέσο πρακτορικό κόστος την χρονική στιγμή  $t$  ορίζεται ως ακολούθως:

$$\text{AgentCost}(t) = \frac{1}{m} \sum_{x=0}^m \text{AgentCost}(MA_x(t)) \quad \text{7-15}$$

Όπου  $m$  είναι ο αριθμός των ΚΠ ή MA οι οποίοι μετακινούνται κατά την χρονική στιγμή  $t$ .

Η μετρική του πρακτορικού κόστους λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την απόσταση μεταξύ της τρέχουσας και της μελλοντικής θέσης του ΚΠ και το μέγεθος των δεδομένων που μετακινούνται στο δίκτυο (λόγω των μετακινήσεων των ΚΠ), αλλά και το φόρτο στον τελικό εξυπηρετητή αφού ο ΚΠ έχει μετακινηθεί σε αυτόν. Είναι μια μετρική που υπολογίζεται μετά την μετακίνηση του ΚΠ και αναπαριστά το πραγματικό κόστος που χρεώνεται για κάποια συγκεκριμένη μετακίνηση.

#### 7.4 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

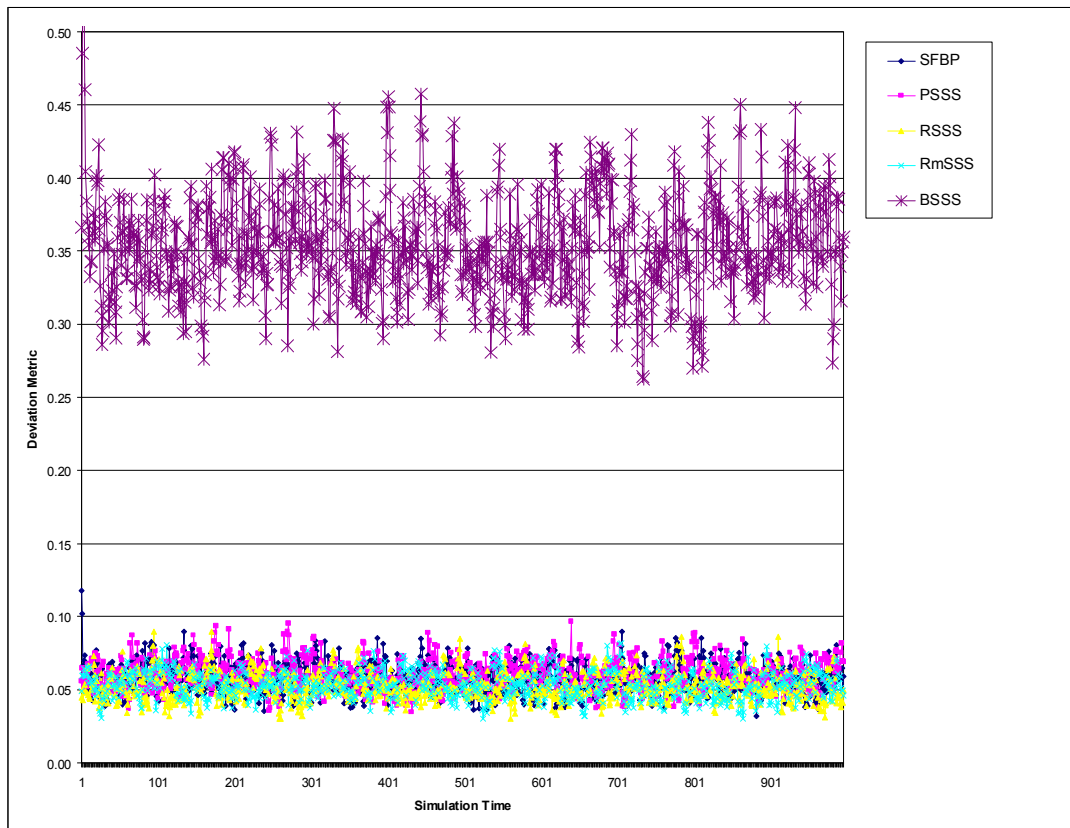
Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των πέντε εξεταζόμενων συστημάτων. Κάθε σύστημα περιλαμβάνει πέντε συστάδες, και επομένως έχει πέντε CHS. Κάθε συστάδα αποτελείται από 10 SS και κατά συνέπεια κάθε διαμόρφωση συστημάτων περιλαμβάνει πενήντα πέντε εξυπηρετητές. Η προσομοίωση διαρκεί 1000 χρονοθυρίδες. Στις υπόψη προσομοιώσεις εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια:

- I. Όλα τα εξεταζόμενα συστήματα έχουν 1000 ΚΠ που εκτελούν τις εργασίες τους κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Στην αρχή της προσομοίωσης όλοι οι ΚΠ διανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των υπαρχόντων εξυπηρετητών.
- II. Όλα τα συστήματα αρχικοποιούνται με 100 ΚΠ που διανέμονται ομοιόμορφα μόνο σε 5 εξυπηρετητές (από τους 55) και την χρονική στιγμή προσομοίωσης 500 άλλοι 1000 νέοι ΚΠ εισέρχονται σε κάθε σύστημα (πάλι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στους ίδιους 5 εξυπηρετητές).
- III. Όλα τα συστήματα αρχικοποιούνται με 1000 ΚΠ που διανέμονται ομοιόμορφα σε όλους τους διαθέσιμους εξυπηρετητές και μεταξύ των χρονικών στιγμών 500 και 700 της προσομοίωσης, οι ΚΠ στα συστήματα PSSS, RSSS, RmSSS και SFBP υιοθετούν τη στρατηγική μετανάστευσης του BSSS.

#### **7.4.1 Πρώτο Σενάριο Προσομοιώσεων**

Στο Εικόνα 7-5 σχεδιάζεται η μετρική απόκλισης φόρτου του πρώτου σεναρίου προσομοίωσης. Όπως φαίνεται όλα τα συστήματα, εκτός από BSSS, παρουσιάζουν περίπου την ίδια συμπεριφορά. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η μέση απόκλιση του BSSS είναι περίπου 7 φορές μεγαλύτερη από αυτή των άλλων συστημάτων. Η μέση μετρική απόκλισης φόρτου για το BSSS είναι 0,35 ενώ για τα τέσσερα άλλα συστήματα η υπόψη μετρική έχει τιμές γύρω στο 0,05. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι η ταλάντωση του συστήματος BSSS είναι μεγαλύτερη από αυτή των άλλων συστημάτων και κυμαίνεται από 0,30 έως 0,45 ενώ για τα τέσσερα άλλα συστήματα κυμαίνεται από 0,04 έως 0,08. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα SFBP έχει μια ελαφρώς χειρότερη απόδοση στην αρχή της προσομοίωσης και κάπως καλύτερη απόδοση στο τέλος της περιόδου προσομοίωσης.

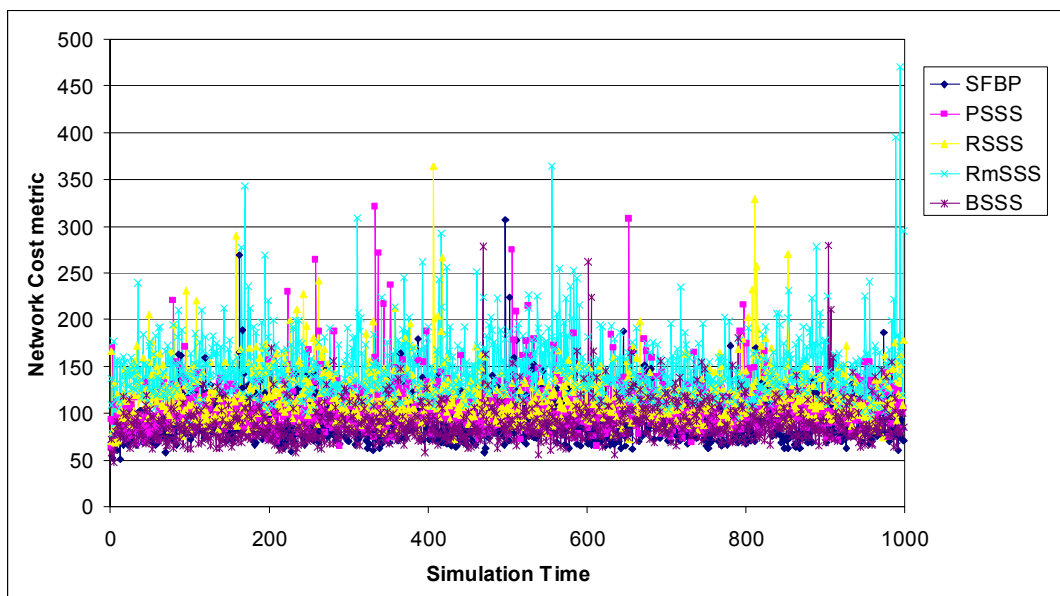




Εικόνα 7-5: Μετρική Απόκλισης φόρτου(Deviation metric)

Στην Εικόνα 7-6 απεικονίζεται η μετρική του δικτυακού κόστους (που είναι αποτελεί μετρική του συνολικού όγκου των δεδομένων που μετακινούνται στο δίκτυο λόγω των μετακινήσεων των ΚΠ) του πρώτου σεναρίου προσομοίωσης. Παρατηρείται ότι το SFBP και το BSSS έχουν καλύτερη απόδοση όσον αφορά στην μετρική του δικτυακού κόστους, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα συστήματα. Αυτό εμφανίζεται κυρίως επειδή στο BSSS οι ΚΠ μετακινούνται στον πιο κοντινό εξυπηρετητή που έχει το χαμηλότερο φόρτο, γεγονός που οδηγεί μερικούς εξυπηρετητές σε μια συστάδα να είναι υπερφορτωμένοι ενώ άλλοι να είναι υποχρησιμοποιούμενοι. Αυτό έχει ως συνέπεια στην επόμενη χρονοθυρίδα που ένας ΚΠ αποφασίσει να μετακινηθεί σε έναν άλλο εξυπηρετητή, μεταναστεύει πάντα στον κοντινότερο της ίδιας συστάδας. Αποτέλεσμα αυτής της συμπεριφορά είναι ότι, σύμφωνα με την εξίσωση 7-12 της μετρικής του δικτυακού κόστους, οι πράκτορες που μετακινούνται μέσα στην ίδια συστάδα έχουν αρκετά χαμηλότερο δικτυακό κόστος σε σχέση με τους ΚΠ που μετακινούνται μεταξύ διαφορετικών συστάδων. Σε αυτό το είδος της “τοπικότητας” στην μετακίνηση των ΚΠ οφείλονται οι μικρές τιμές

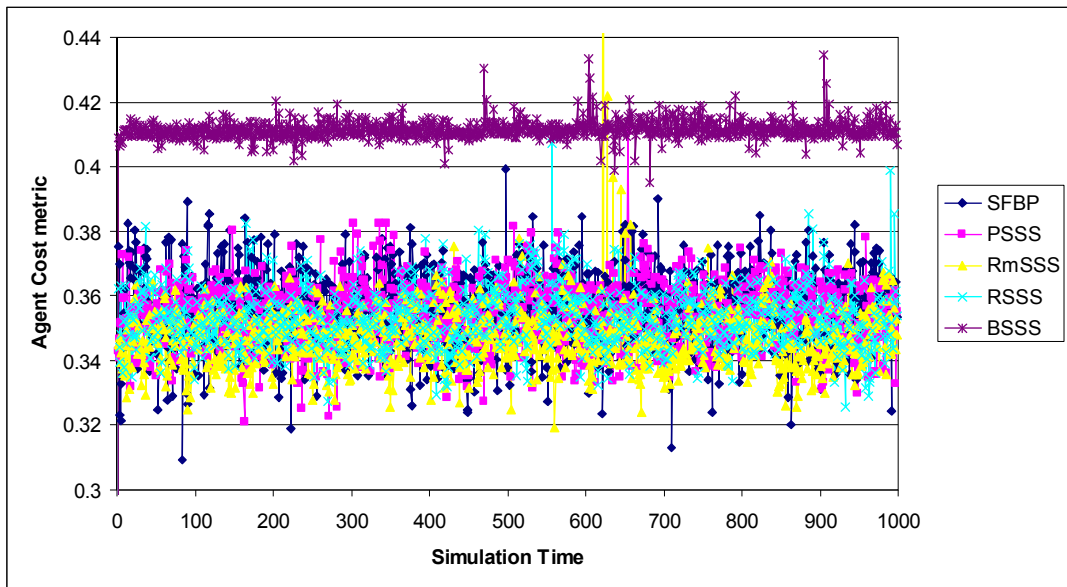
δικτυακού κόστους στο σύστημα BSSS. Επιπλέον παρατηρείται ότι το σύστημα SFBP παρουσιάζει επίσης πολύ καλή απόδοση σε σχέση με τη μετρική δικτυακού κόστους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένας ΚΠ εξετάζει το προβλεφθέντα φόρτο του εξυπηρετητή προορισμού και το αντίστοιχο δίκτυο κόστος που θα χρεωθεί για μια μετακίνηση και το οποίο έχει σημαντική συμβολή στην εξίσωση 7-2. Επιπλέον, το σύστημα PSSS δείχνει καλή απόδοση δεδομένου ότι εξετάζει όχι μόνο τον τρέχοντα πραγματικό φόρτο του πιθανού εξυπηρετητή προορισμού (σε σύγκριση με το σύστημα SFBP που χρησιμοποιεί τους ενεργούς προγνώστες φόρτου του για να προβλέψει το μελλοντικό φόρτο των πιθανών εξυπηρετητών προορισμού), αλλά και την δικτυακή απόσταση μεταξύ του τρέχοντος και του εξυπηρετητή προορισμού (εξίσωση 7-5). Επιπλέον, το σύστημα RSSS, έχει το υψηλότερο δίκτυο κόστος δεδομένου ότι η μετακίνηση των ΚΠ πραγματοποιείται τυχαία και έτσι η στρατηγική μετακίνησης δεν λαμβάνει υπόψη την δικτυακή απόσταση. Τελικά το RmSSS παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από το RSSS, καθώς η χρήση των πιθανοτήτων στη στρατηγική μετανάστευσής του, βοηθά τα ΚΠ να μετακινηθούν σε εξυπηρετητές που ανήκουν στην ίδια συστάδα.



Εικόνα 7-6: Μετρική δικτυακού κόστους (Network cost metric)

Στην Εικόνα 7-7 παρουσιάζεται η μετρική του πρακτορικού κόστους (Agent Cost Metric) του πρώτου σεναρίου προσομοίωσης. Παρατηρείται ότι τα συστήματα SFBP, PSSS και RSSS έχουν περίπου την ίδια συμπεριφορά στις τιμές της μετρι-

κής του Πρακτορικού κόστους ενώ το σύστημα RmSSS έχει μια ελαφρώς καλύτερη απόδοση. Το BSSS έχει τη χειρότερη απόδοση επειδή, η μετρική του Πρακτορικού κόστους λαμβάνει υπόψη το φόρτο του εξυπηρετητή προορισμού και στην περίπτωση του BSSS αυτός ο φόρτος είναι πάντα υψηλός (πάντα πολλοί ΚΠ μετακινούνται στο λιγότερο απασχολημένο εξυπηρετητή και επομένως γρήγορα τον καθιστούν υπερφορτωμένο). Σε περίπτωση του συστήματος RmSSS, οι ΚΠ μετακινούνται συχνά μέσα στην ίδια συστάδα εξυπηρετητών (έτσι η απόσταση στην εξίσωση 7-15 είναι μικρή), και όλοι οι εξυπηρετητές έχουν ίση πιθανότητα επίσκεψης, επομένως, ο φόρτος διανέμεται εξίσου σε όλους τους εξυπηρετητές μέσα σε μια συστάδα. Αυτό έχει κατά συνέπεια ο παράγοντας φόρτου στην εξίσωση 7-15 να είναι σχετικά χαμηλός.



Εικόνα 7-7: Μετρική Πρακτορικού Κόστους (Agent Cost metric)

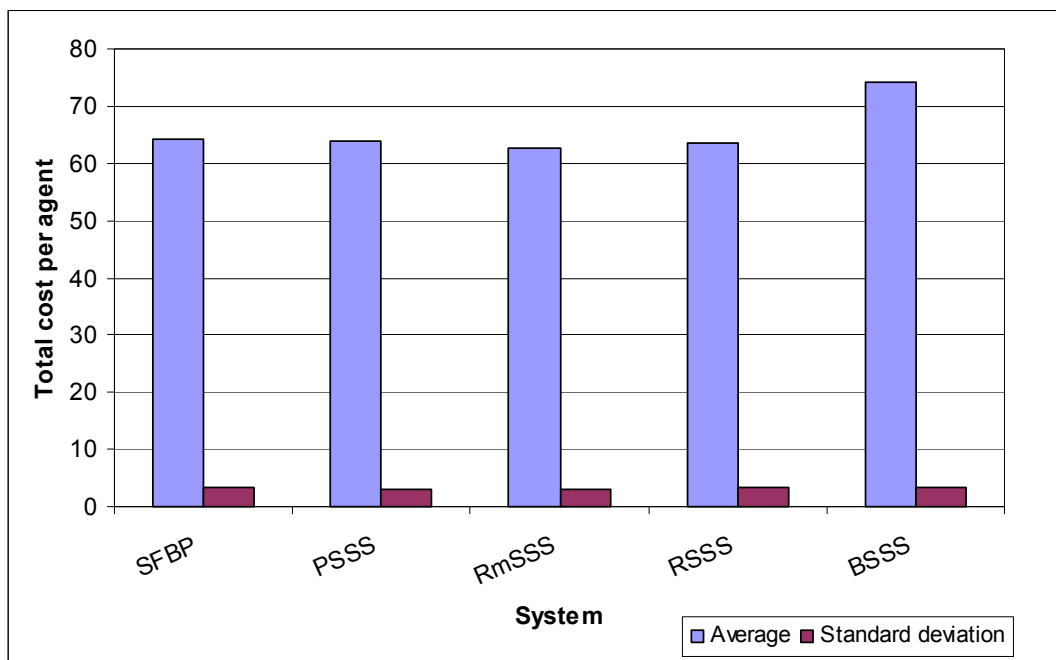
Στον Πίνακα 7-3 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η διακύμανση όλων των μετρικών όλων των συστημάτων για το πρώτο σενάριο προσομοίωσης.

Metric System	Deviation		Network cost		Agent cost	
	Average	Variance	Average	Variance	Average	Variance
<b>SFBP</b>	0.05823	0.000104	90.54248	496.0682	0.355948	0.000145
<b>PSSS</b>	0.06043	0.000105	106.1462	681.7343	0.354216	0.000098
<b>BSSS</b>	0.35435	0.001196	89.89842	463.5619	0.411418	0.000008
<b>RSSS</b>	0.05241	0.000090	118.6435	812.0379	0.353130	0.000087
<b>RmSSS</b>	0.05351	0.000085	147.6153	1140.838	0.347433	0.000302

Πίνακας 7-3: Μέση τιμή και διακύμανση όλων των μετρικών για το πρώτο σενάριο προσομοίωσης

Στην Εικόνα 7-8 παρουσιάζεται η μέση τιμή και τυπική απόκλιση του συνολικού πρακτορικού κόστους για κάθε πράκτορα (εξίσωση 7-16) για την ολόκληρη περίοδο προσομοίωσης. Παρατηρούμε ότι σύστημα BSSS έχει την μεγαλύτερη μέση τιμή και περίπου την ίδια τυπική απόκλιση με τα άλλα συστήματα.

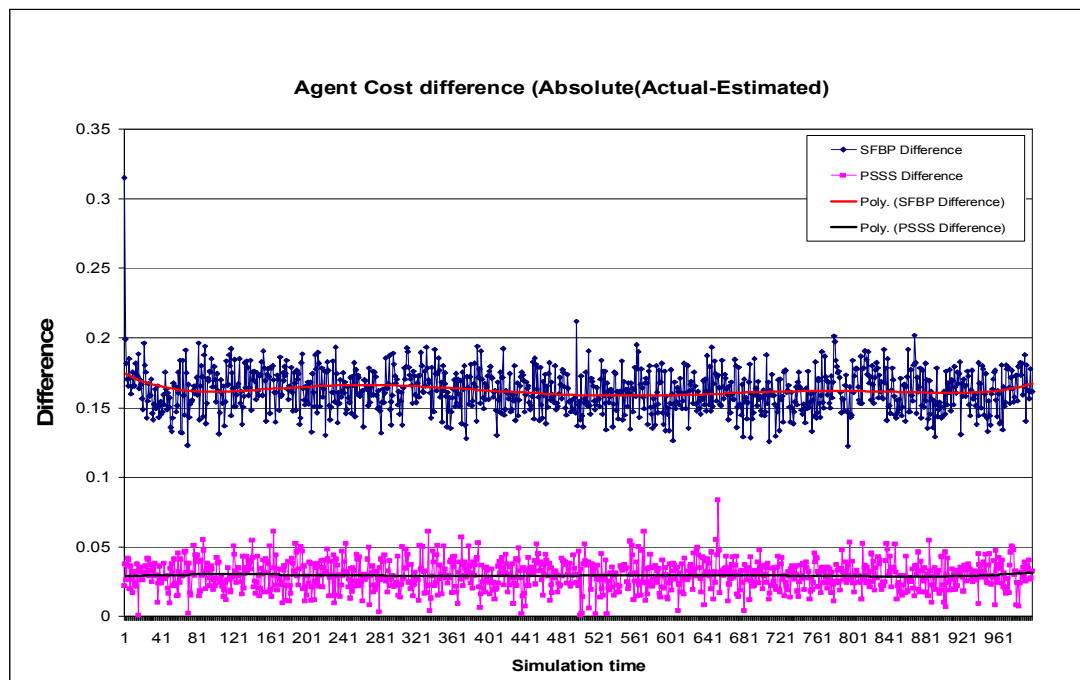
$$TotalAgentCost(MA_x(t)) = \sum_{i=1}^N AgentCost(MA_i(t)) \quad 7-16$$



Εικόνα 7-8: Πρακτορικό κόστος για κάθε Πράκτορα (Agent Cost per agent)

Τέλος στην Εικόνα 7-9 περιγράφεται η διαφορά μεταξύ της εκτίμησης της μετρικής του Πρακτορικού Κόστους με την πραγματική τιμή της για τα συστήματα PSSS και SFBP. Όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση αυτών των δύο συστημάτων, οι ΚΠ χρησιμοποιούν μια εκτίμηση του φόρτου των εξυπηρετητών προορισμού (το σύστημα PSSS χρησιμοποιεί τον πραγματικό φόρτο και το SFBP προβλέπει με την χρήση των προγνωστών φόρτου του, το φόρτο των εξυπηρετητών προορισμού) και βασίζονται σε αυτήν την εκτίμηση για να υπολογίζουν τις μετρικές μετακίνησης τους προκειμένου να αποφασίσουν σε ποιο εξυπηρετητή να μετακινηθούν. Το εκτιμώμενο Πρακτορικό Κόστος υπολογίζεται πριν από τη μετακίνηση του ΚΠ και επίσης άλλο ένα Πρακτορικό Κόστος υπολογίζεται μετά από τη μετακίνηση του ΚΠ στον

εξυπηρετητή που επιλέχθηκε. Η Εικόνα 7-7, περιγράφει την μετρική του Πρακτορικού Κόστους με το πραγματικό κόστος (δηλαδή αυτό που τελικά χρεώνεται ο ΚΠ).



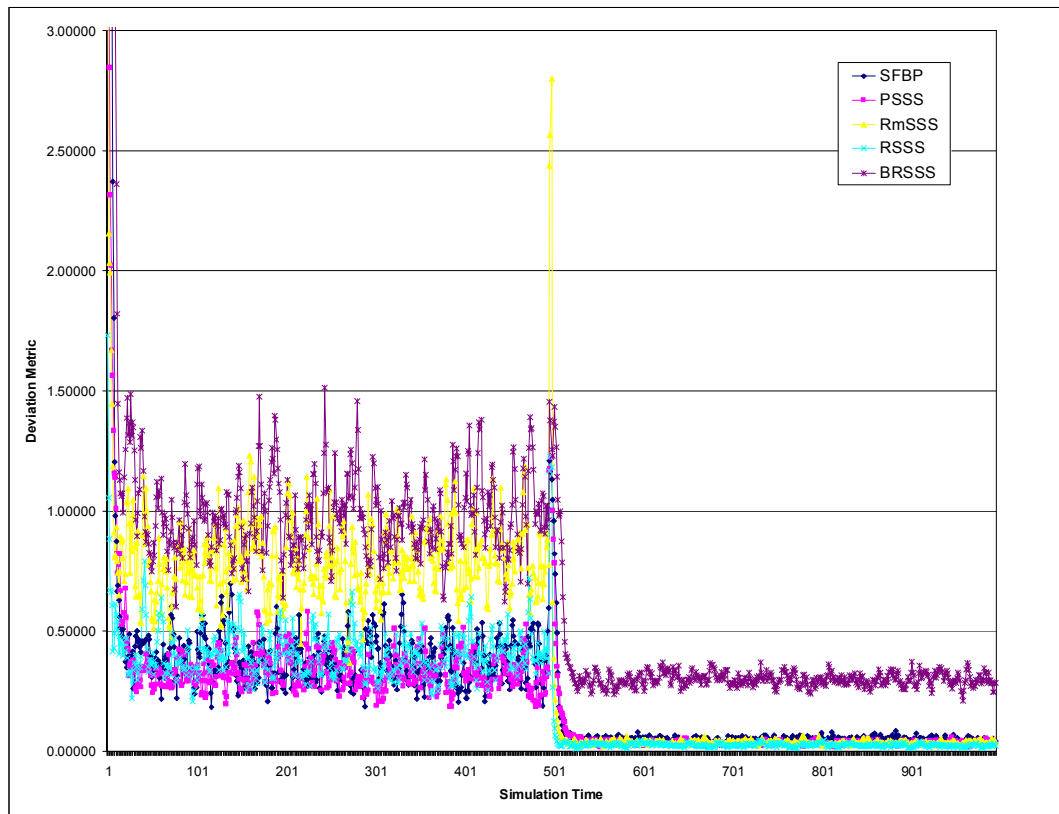
Εικόνα 7-9: Διαφορά Πρακτορικού Κόστους για τα συστήματα SFBP και PSSS

Η Εικόνα 7-9 απεικονίζει τη διαφορά μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών τιμών του Πρακτορικού Κόστους. Παρατηρείται ότι το σύστημα PSSS έχει πολύ καλή εκτίμηση όσον αφορά στο Πρακτορικό Κόστος, δεδομένου ότι η διαφορά μεταξύ αυτών του εκτιμώμενου και του πραγματικού είναι σχετικά μικρή, ενώ στο σύστημα SFBP η εκτίμηση του Πρακτορικού Κόστους έχει σημαντική διακύμανση. Αυτό αποδίδεται κυρίως στο γεγονός ότι το PSSS χρησιμοποιεί τον πραγματικό φόρτο του εξυπηρετητή προορισμού για να υπολογίσει το Πρακτορικό Κόστος (εξίσωση 7-13), ενώ το SFBP χρησιμοποιεί τους προγνώστες φόρτου του για να υπολογίσει το φορτίο του εξυπηρετητή προορισμού και για να υπολογίσει το εκτιμώμενο Πρακτορικό κόστος. Στην περίπτωση του PSSS η διαφορά φόρτου του εξυπηρετητή προορισμού, πριν και μετά από τη μετακίνηση του ΚΠ σε αυτόν, είναι σχετικά μικρή, ενώ στο SFBP υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του εκτιμώμενου και πραγματικού Πρακτορικού κόστους. Στο σύστημα SFBP κάθε ΚΠ έχει διαφορετικό ενεργό προγνώστη φόρτου προκειμένου να υπάρξουν οι διαφορετικές προσδοκίες σχετικά με το φόρτο των εξυπηρετητών παρέχοντας έτσι διαφορετικές τιμές φόρτου

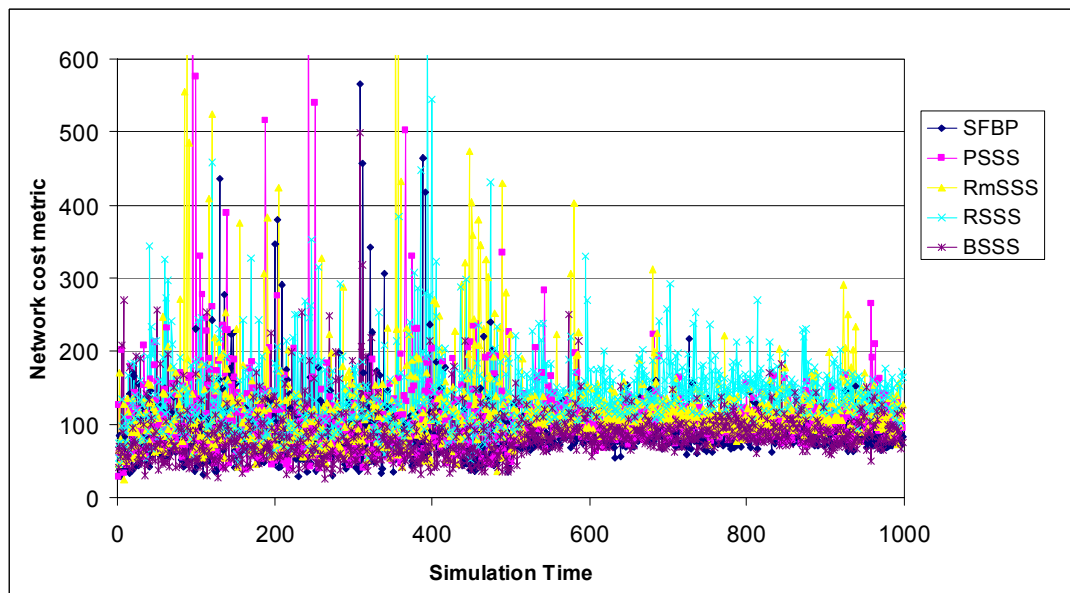
που σε πολλές περιπτώσεις είναι μη ρεαλιστικές. Αυτές οι προβλέψεις φόρτου των εξυπηρετητών παράγουν διαφορετικές εκτιμήσεις στην τιμή της μετρικής του Πρακτορικού κόστους και δημιουργούν έτσι την επιθυμητή διαφοροποίηση στη στρατηγική μετανάστευση των ΚΠ στο σύστημα SFBP.

#### **7.4.2 Δεύτερο Σενάριο Προσομοιώσεων**

Στην Εικόνα 7-10 απεικονίζεται η μετρική απόκλισης φόρτου του δεύτερου σεναρίου προσομοίωσης όπου όλα τα συστήματα αρχικοποιούνται με 100 πράκτορες που διανέμονται ομοιόμορφα σε 5 εξυπηρετητές (από τους 55 συνολικά ) ενώ στο χρόνο προσομοίωσης 500 άλλοι 1000 νέοι πράκτορες εισάγονται σε κάθε σύστημα που κατανέμονται ομοιόμορφα στους ίδιους 5 εξυπηρετητές. Παρατηρούμε ότι όλα τα συστήματα στις στιγμές προσομοίωσης από 1 έως και 500 παρουσιάζουν υψηλές τιμές απόκλισης αλλά γρήγορα όλα τα συστήματα, με εξαίρεση το BSSS, παρουσιάζουν ισορροπημένη συμπεριφορά. Στην πρώτη φάση της προσομοίωσης, όταν έχουν όλα τα συστήματα έχουν μόνο 100 ΚΠ, παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά όλων των συστημάτων παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις σε σχέση με την μετρική της απόκλισης φόρτου. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι 100 πράκτορες παράγουν μη ισορροπημένο φόρτο στους 5 διαθέσιμους εξυπηρετητές δεδομένου ότι κάποιοι ΚΠ μπορούν να μετακινηθούν στον ίδιο εξυπηρετητή και να παραγάγουν σχετικά υψηλό φόρτο σε αυτόν, ενώ άλλοι εξυπηρετητές να έχουν ένα ή κανένα ΚΠ και κατά συνέπεια μηδενικό ή φόρτο που να τείνει στο μηδέν. Στη δεύτερη φάση της προσομοίωσης, (μετά τον χρόνο προσομοίωσης 500), όλα τα συστήματα έχουν 1100 ΚΠ και παρουσιάζουν ισορροπημένη συμπεριφορά δεδομένου ότι οι προαναφερθείσες ταλαντώσεις παύουν να υπάρχουν (με εξαίρεση το BSSS).



Εικόνα 7-10: Μετρική Απόκλισης φόρτου(Deviation metric)

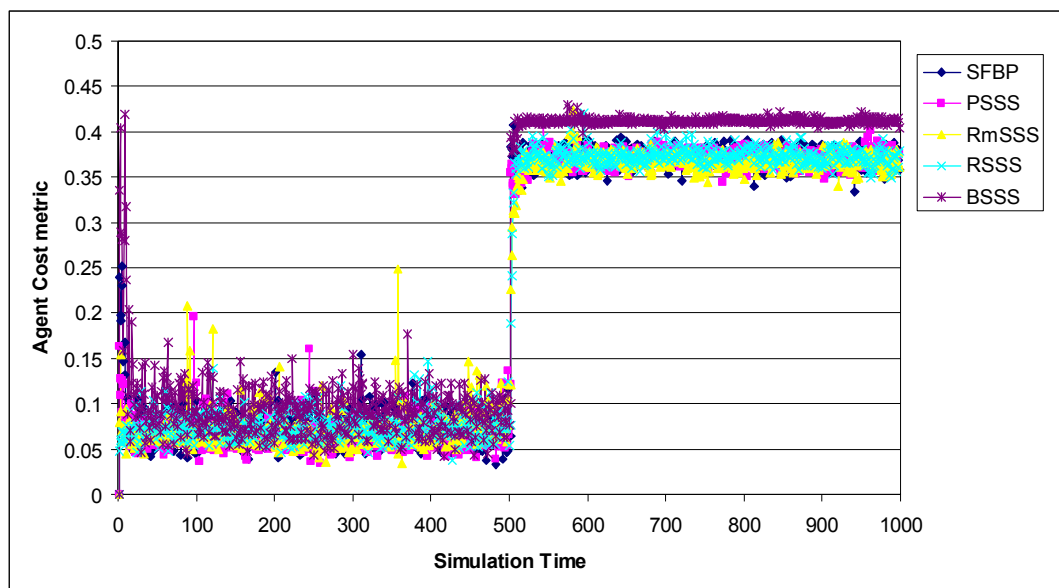


Εικόνα 7-11: Μετρική δικτυακού κόστους (Network cost metric)

Στην Εικόνα 7-11 παρουσιάζεται η μετρική του δικτυακού κόστους για το δεύτερο σενάριο προσομοίωσης. Στην εικόνα αυτή παρατηρούνται οι διακυμάνσεις της μετρικής του δικτυακού κόστους για όλα τα συστήματα στην πρώτη φάση της προ-



σομοίωσης (αρχή της προσομοίωσης μέχρι το χρόνο προσομοίωσης 500) όπου άλλοι 1000 ΚΠ εισάγονται σε κάθε σύστημα. Αυτές οι διακυμάνσεις εμφανίζονται κυρίως λόγω του μικρού αριθμού των ΚΠ που υπάρχουν σε κάθε σύστημα (μόνο 100 ΚΠ). Επιπλέον, παρατηρούμε στη δεύτερη φάση προσομοίωσης (από το χρόνο 500 μέχρι το τέλος της προσομοίωσης), ότι το σχήμα είναι παρόμοιο με την Εικόνα 7-6 για τους ίδιους λόγους που αναφέρονται στην περιγραφή της Εικόνα 7-6.



Εικόνα 7-12: Μετρική Πρακτορικού Κόστους (Agent cost metric)

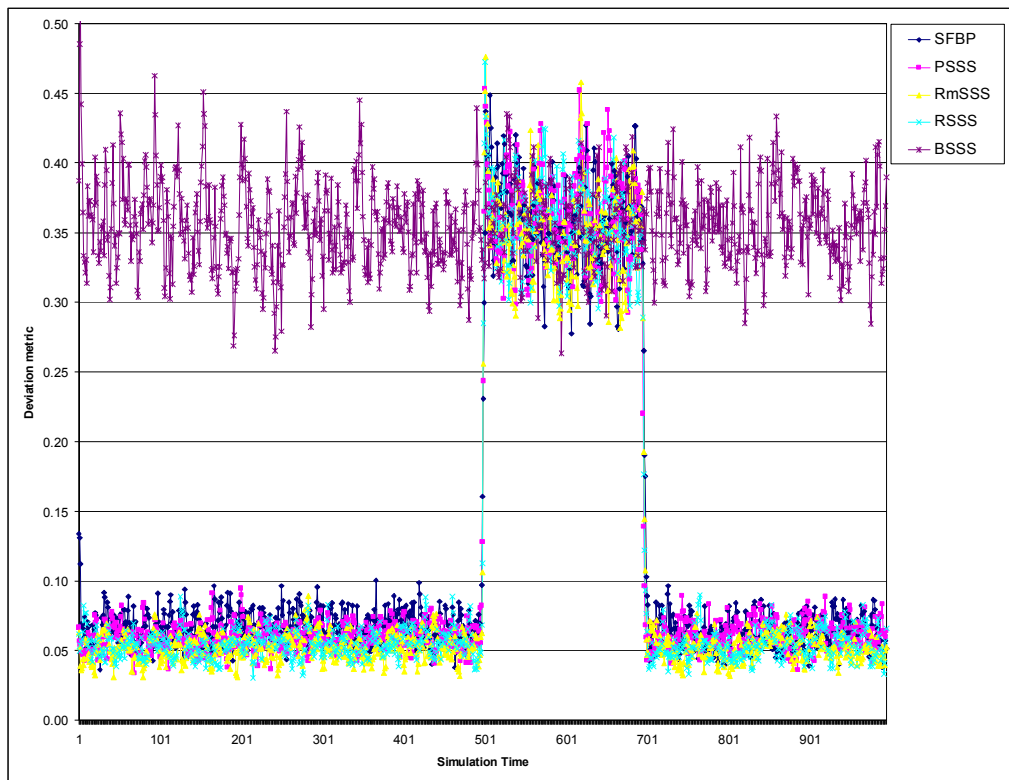
Στην Εικόνα 7-12 απεικονίζεται η μετρική του Πρακτορικού Κόστους για το δεύτερο σενάριο προσομοίωσης. Παρατηρούμε την χαμηλή τιμή της μετρικής όταν υπάρχουν μόνο 100 ΚΠ σε κάθε σύστημα. Αυτό εμφανίζεται λόγω του χαμηλού φόρτου των εξυπηρετητών στην εξίσωση 7-13. Μετά από το χρόνο προσομοίωσης 500, η συμπεριφορά όλων των συστημάτων είναι παρόμοια με την αντίστοιχη τους στην Εικόνα 7-7, δεδομένου ότι όλα τα συστήματα εκθέτουν παρόμοια συμπεριφορά. Επιπλέον, σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε την γρήγορη επιδείνωση της απόδοσης όσον αφορά στη μετρική Πρακτορικού Κόστους, όταν νέοι ΚΠ εισέρχονται στο κάθε σύστημα στο χρόνο 500 της προσομοίωσης.

### 7.4.3 Τρίτο Σενάριο Προσομοιώσεων

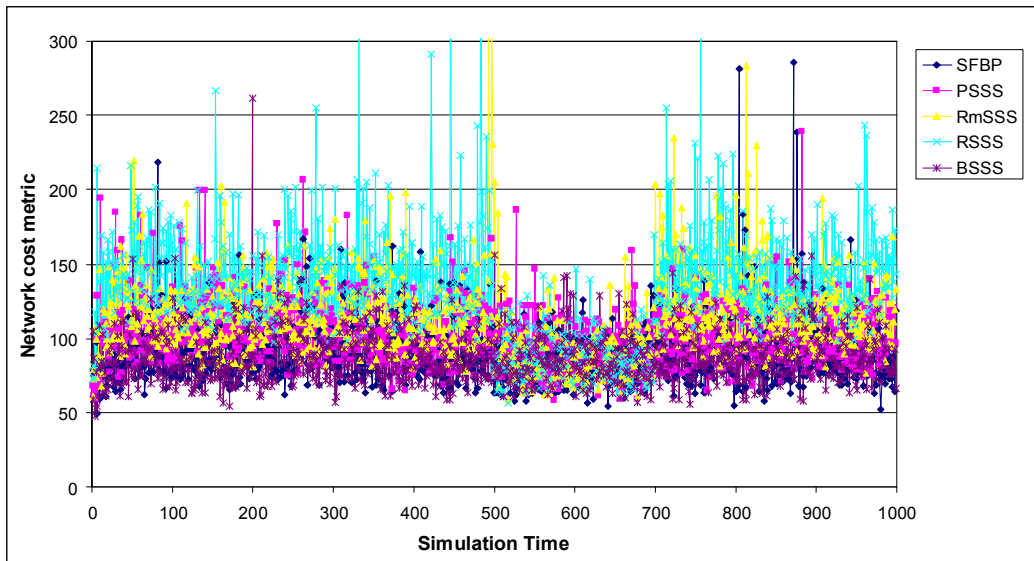
Η Εικόνα 7-13 παρουσιάζει την συμπεριφορά της μετρικής απόκλισης φόρτου στο τρίτο σενάριο προσομοίωσης. Παρατηρούμε ότι όλα τα συστήματα μεταξύ της χρονικής στιγμής 1 και 500 της προσομοίωσης και μεταξύ της 702 και 1000 παρουσιάζ-



ζουν παρόμοια συμπεριφορά όπως στην Εικόνα 7-5. Επιπλέον, από τις εικόνες Εικόνα 7-13 , Εικόνα 7-14 και Εικόνα 7-15 είναι εμφανές η γρήγορη μετάβαση όλων των συστημάτων από την κανονική συμπεριφορά τους σε αυτή που παρουσιάζουν όταν υιοθετούν τη στρατηγική μετακίνησης του συστήματος BSSS (την χρονική στιγμή 500 της προσομοίωσης). Η ίδια συμπεριφορά σε όλα τα συστήματα εμφανίζεται όταν επανα-υιοθετούν τη δική τους στρατηγική μετακίνησης (χρόνος προσομοίωσης 700).

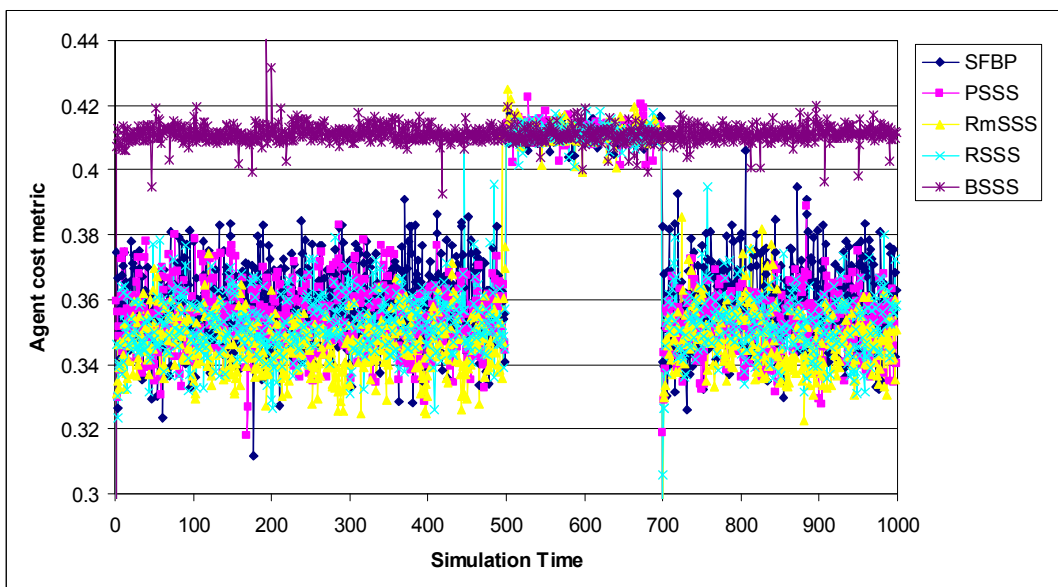


**Εικόνα 7-13: Μετρική Απόκλισης φόρτου(Deviation metric)**



Εικόνα 7-14: Μετρική δικτυακού κόστους (Network cost metric)

Στην Εικόνα 7-14 παρουσιάζεται η μετρική του δικτυακού κόστους για την τρίτη περίπτωση προσομοίωσης. Η εικόνα είναι παρόμοια με την Εικόνα 7-6 όταν όλα τα συστήματα ακολουθούν τη στρατηγική μετακίνησης τους και μεταξύ της χρονικής περιόδου 500 και 700 της προσομοίωσης όλα τα συστήματα παρουσιάζουν συμπεριφορές παρόμοιες με το BSSS (όσον αφορά στη μετρική του δικτυακού κόστους).



Εικόνα 7-15: Μετρική Πρακτορικού Κόστους (Agent cost metric)

Στην Εικόνα 7-15 απεικονίζεται η μετρική του Πρακτορικού Κόστους για την τρίτη περίπτωση προσομοίωσης. Παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά των συστημάτων, κατά τη διάρκεια των διαστημάτων προσομοίωσης  $[1, 500]$  και  $[702, 1000]$  είναι ίδια με τη συμπεριφορά που παρουσιάζεται στην Εικόνα 7-7, ενώ όταν υιοθετούν όλα τα συστήματα τη στρατηγική μετακίνησης του BSSS, όλα έχουν την ίδια απόδοση όπως το σύστημα BSSS.

## 7.5 Συζήτηση

Τα σενάρια προσομοίωσης που παρουσιάζονται στις προηγούμενες διαφορετικές παραγράφους εξετάζουν και μελετούν διαφορετικές περιπτώσεις στην κατάσταση του φόρτου κάθε συστήματος. Το πρώτο σενάριο μελετά τη συμπεριφορά των συστημάτων όταν ο φόρτος των ΚΠ είναι αρκετά υψηλός ώστε να μπορεί να επιφέρει μη ισορροπημένες καταστάσεις φόρτου, ενώ στο δεύτερο και τρίτο σενάριο, μελετάται η εξελξιμότητα και η σθεναρότητα των στρατηγικών μετακίνησης.

Σε όλα τα σενάρια προσομοίωσης, οι στρατηγικές μετακίνησης που ακολουθούν κάποια τυχειότητα στην επιλογή του εξυπηρετητή παρουσιάζουν περίπου την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά την μετρική απόκλισης φόρτου, ενώ το μοναδικό που αποδίδει χειρότερα είναι το BSSS (greedy policy-άπληστη πολιτική), όπου όλοι οι πράκτορες μετακινούνται στο λιγότερο απασχολημένο εξυπηρετητή, με τις αναμενόμενες συνέπειες της υπερφόρτωσης του και με συνέπεια τις ταλαντώσεις στην απόδοση του και όλο το σύστημα να λειτουργεί suboptimally. Το BSSS έχει επίσης τη χειρότερη απόδοση σχετικά με την μετρική Πρακτορικού Κόστους, δεδομένου ότι αυτή η μετρική εξετάζει το φόρτο στον εξυπηρετητή προορισμού του ΚΠ. Εντούτοις, η άπληστη συμπεριφορά του BSSS είναι υπεύθυνη για την τοπικότητα στις μετακινήσεις των ΚΠ και παρουσιάζει μικρές τιμές στην μετρική του δικτυακού κόστους. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις ισχύουν για την απόδοση όλων των στρατηγικών μετακίνησης και στα τρία σενάρια προσομοίωσης.

Εκτός από τις στρατηγικές τυχαίας επιλογής (RSSS και RmSSS), τα συστήματα SFBP και PSSS παρουσιάζουν υψηλή απόδοση σε σχέση με τις υιοθετημένες μετρικές, σε όλα τα σενάρια προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα, στο σύστημα SFBP, κάθε ΚΠ επιλέγει τυχαία δύο προγνώστες φόρτου από μια ομάδα δεκαπέντε δια-

θέσιμων προγνωστών και σε κάθε κύκλο ενεργοποιεί αυτόν που έχει αποδώσει καλύτερα στον προηγούμενο κύκλο. Στις προσομοιώσεις, παρατηρήθηκε ότι το σύστημα SFBP, όπου οι ΚΠ έχουν δύο προγνώστες φόρτου, αποδίδει καλύτερα από τα συστήματα όπου οι ΚΠ έχουν πέντε ή περισσότερους προγνώστες φόρτου. Επιπλέον, στα πειράματά μας, τα συστήματα SFBP με τους ΚΠ που χρησιμοποιούν όλους τους διαθέσιμους προγνώστες φόρτου παρουσιάζουν συμπεριφορά παρόμοια με το BSSS. Αυτό συμβαίνει διότι οι ΚΠ που χρησιμοποιούν όλους τους διαθέσιμους (διαφορετικούς) προγνώστες φόρτου, λαμβάνουν όλοι τις ίδιες αποφάσεις, όπως στην περίπτωση του BSSS και παρατηρούνται οι ταλαντώσεις στην συμπεριφορά τους. Επίσης, επειδή οι ΚΠ χρησιμοποιούν όλους τους διαθέσιμους (διαφορετικούς) προγνώστες φόρτου, σύντομα θα συγκλίνουν στον καλύτερο προγνώστη από αυτούς (ο οποίος εκτιμά καλύτερα το φόρτο των εξυπηρετητών) και έτσι όλοι οι ΚΠ μεταναστεύουν στο λιγότερο απασχολημένο εξυπηρετή που έχει ως αποτέλεσμα τον γρήγορο κορεσμό του. Αυτό σημαίνει ότι η χρήση λίγων προγνωστών φόρτου αναγκάζει τους ΚΠ να κάνουν μη λογικές προβλέψεις για τον φόρτο των εξυπηρετητών παράγοντας με αυτό τον τρόπο ισορροπημένα σε φόρτο συστήματα, ενώ στην περίπτωση χρήσης όλων των προγνωστών φόρτου οι ΚΠ προβλέπουν σωστά τον φόρτο των εξυπηρετητών δίνοντας έτσι μη ισορροπημένα σε φόρτο συστήματα. Σημειώνεται επίσης ότι όσο οι προγνώστες φόρτου δεν απεικονίζουν την παρούσα κατάσταση του συστήματος, αλλά μια λίγο πολύ αυθαίρετη μελλοντική εικόνα, οι αποφάσεις μερικές φορές μπορούν να αποδειχθούν χειρότερες από αυτές του συστήματος BSSS.

Τέλος στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται διάφορα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με διαφορετικό αριθμό προγνωστών φόρτου αλλά και με διαφορετική μνήμη ιστορικού κάθε συστάδας.

## 7.6 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο αποκεντρωμένου ελέγχου για την διαχείριση των μετακινήσεων των ΚΠ. Οι ΚΠ ενημερώνονται για το επίπεδο κορεσμού κάθε εξυπηρετητή (πιθανού προορισμού μετακίνησης του ΚΠ) και χρησιμοποιούν τους αλγορίθμους δρομολόγησής τους για να αποφασίσουν σχετικά με το πού θα μετακινηθούν για να εκτελέσουν τις ανατιθέμενες σε αυτούς εργασίες

τους. Η βασική ιδέα είναι να ενισχυθούν οι ιδιότητες εξισορρόπησης φόρτου των τεχνικών επιλογής εξυπηρετητών ώστε να αποφευχθούν παθολογικές καταστάσεις όπως συμφορήσεις ή ταλαντώσεις στο φόρτο τους. Πέντε διαφορετικές στρατηγικές μετακίνησης μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν λεπτομερώς μέσω προσομοιώσεων. Τα συμπεράσματά μας έδειξαν ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα αποδοτικό πλαίσιο ελέγχου δικτύου όπου διάφοροι αλγόριθμοι δρομολόγησης ΚΠ μπορούν να εφαρμοστούν. Δύο από τις εξεταζόμενες στρατηγικές μετακίνησης ΚΠ, δηλαδή η στρατηγική με την χρήση του SFBP και του PSSS, αποδείχθηκαν αρκετά αποδοτικές. Κατά συνέπεια η χρήση των υπολογιστικών πόρων σε όλο το δίκτυο βελτιστοποιήθηκε και οργανώθηκε ορθολογικά.

Τα θέματα που αναλύθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στην δημοσίευση [170]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

#### 8.1 Συμπεράσματα

Στη διατριβή αυτή, παρουσιάστηκαν μελέτες που αφορούν σε θέματα μοντελοποίησης και προσφοράς υπηρεσιών σε κινητά-ασύρματα δίκτυα, στο Σημασιολογικό Ιστό, καθώς και θέματα διαχείρισης πόρων σε κατανεμημένα συστήματα με τη δρομολόγηση ΚΠ. Κοινός παρανομαστής για τη μοντελοποίηση και εφαρμογή των πλαισίων που αναφέρθηκαν είναι η χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ. Η τεχνολογία των ΚΠ χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες (όπως του Σημασιολογικού Ιστού) και θεωρίες (όπως της θεωρίας παιγνίων και της μεθοδολογίας συμπερασμού βάσει περιπτώσεων) ώστε να επιτευχθεί η μοντελοποίηση και εφαρμογή των υπόψη πλαισίων. Τα θέματα που παρουσιάστηκαν στο πλαίσιο αυτής της διατριβής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο θεματικές ενότητες: α. Σε θέματα που αφορούν στη μοντελοποίηση διαφανών τρόπων για την προσφορά και επιλογή υπηρεσιών σε κινητά δίκτυα με την χρήση των ΚΠ και β. Θέματα που αφορούν στη μοντελοποίηση και μελέτη της διαχείρισης πόρων σε δίκτυα ΚΠ (που μπορεί να είναι είτε ενσύρματα ή ασύρματα).

Στην πρώτη ενότητα παρουσιάστηκαν 3 πρωτότυπα πλαίσια που προσφέρουν με διαφανή τρόπο υπηρεσίες σε κινητούς χρήστες. Συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο που υποστηρίζει τη φορητότητα και την προσαρμοστικότητα υπηρεσιών στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Στο υπόψη πλαίσιο ο χρήστης λαμβάνει την ίδια υπηρεσία ανεξάρτητα από το τρέχον δίκτυο, την τεχνολογία πρόσβασης και το τερματικό του. Υποστηρίζουμε την ιδέα ότι το VHE είναι εφικτό με τη χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ αναλαμβάνοντας όλες τις απαραίτητες διαδικασίες επικοινωνίας στο επίπεδο εφαρμογής, ανεξάρτητα από το υποκείμενο δίκτυο. Σε αυτή την εργασία, παρουσιάστηκε μια τέτοια εφαρμογή. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα ευπροσάρμοστο πλαίσιο για την παροχή υπηρεσιών στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Η χρήση των ΚΠ επιτρέπει τη φορητότητα υπηρεσιών, ένα πολύ σημαντικό

πλεονέκτημα στις ετερογενείς υποδομές παρόμοιες με αυτές που αντιμετωπίζονται στο σύγχρονο τοπίο τηλεπικοινωνιών. Στο υπόψη σύστημα, η λογική των υπηρεσιών ενθυλακώνεται από τους ΚΠ που προσφέρουν έτσι υψηλή απόδοση, βελτιωμένη ασφάλεια και μεταβλητότητα. Ένας συμβάλλοντας παράγοντας στην αποδοτικότητα είναι η αποθήκευση υπηρεσιών σε δικτυακές οντότητες των επισκεπτόμενων δικτύων. Η αποθήκευση αυτή αυξάνει την αποδοτικότητα, τη χρησιμοποίηση των δικτυακών οντοτήτων και τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών. Εκτός από αυτές τις πτυχές, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική κληρονομεί τα προφανή οφέλη που προέρχονται από την υιοθέτηση των ΚΠ (π.χ., αυτόνομη λειτουργία). Τα πειράματα έδειξαν σαφώς τη δυνατότητα πραγματοποίησης της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και την υπεροχή της σε σχέση με τα συμβατικά παραδείγματα εφαρμογής/κλήσης υπηρεσιών. Επίσης, οι ποιοτικές πτυχές όπως η ουδετερότητα πλατφορμών υποδείχθηκαν μέσω των παρουσιασμένων πειραμάτων αξιολόγησης της απόδοσης.

Στο δεύτερο κομμάτι αυτής της ενότητας παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο που παρέχει ασύρματη πρόσβαση σε ΥΣΙ χρησιμοποιώντας ΚΠ. Γίνεται εκτενής χρήση των τεχνολογιών του Σημασιολογικού Ιστού προκειμένου να επιλεχθούν οι ΥΣΙ που είναι κοντύτερα στις απαιτήσεις των χρηστών. Τα πλεονεκτήματα του προτεινόμενου πλαισίου είναι:

- (1) Ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης κινητών χρηστών με το σταθερό δίκτυο (αποστολή αιτήματος και λήψη αποτελεσμάτων).
- (2) Ελαχιστοποίηση του χρόνου σύνδεσης των χρηστών για την εκτέλεση των ΥΙ.
- (3) Οι κλήσεις των ΥΙ εκτελούνται σύμφωνα με προκαθορισμένες πολιτικές εκτέλεσης των χρηστών.
- (4) Βελτιστοποίηση της χρήσης του δικτύου καθόσον περιττές πληροφορίες δε διαβιβάζονται μέσα στο δίκτυο.
- (5) Εξασφάλιση της αξιόπιστης παράδοσης αποτελεσμάτων των ΥΣΙ στο χρήστη.
- (6) Επεκτασιμότητα πλαισίου: Νέες υπηρεσίες, ΚΠ, κατάλογοι υπηρεσιών, χρήστες και υπηρεσίες μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο προτεινόμενο πλαίσιο παρέχοντας ένα επεκτάσιμο και ανοικτό σύστημα.



Στο τρίτο κομμάτι αυτής της ενότητας παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο για την επιλογή και την προσαρμογή υπηρεσιών στα κινητά δίκτυα που λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις των χρηστών, τις δυνατότητες των χρησιμοποιούμενων συσκευών μαζί με τα νέα αιτήματα υπηρεσιών προκειμένου να επιλεγούν οι πιο κατάλληλες διαθέσιμες υπηρεσίες. Γίνεται εκτενής χρήση σημασιολογικών περιγραφών για όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη από το σύστημα συμπερασμού βάσει παλαιότερων περιπτώσεων, ώστε το τελευταίο να μπορεί να επιλέξει την πιο κατάλληλη υπηρεσία. Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές δημιουργίας και ταιριάσματος οντολογιών για το μετασχηματισμό και το ταίριασμα των απαιτήσεων των χρηστών σε καθορισμένα με σαφήνεια δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η αποδοτικότερη σημασιολογική ανάκτηση των υπηρεσιών.

Στην δεύτερη ενότητα της υπόψη διατριβής εξετάστηκαν θέματα που αφορούν στη μοντελοποίηση και μελέτη της διαχείρισης πόρων σε δίκτυα ΚΠ. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο αποκεντρωμένου ελέγχου για τη διαχείριση των μετακινήσεων των ΚΠ. Οι ΚΠ χρησιμοποιούν διάφορους αλγόριθμους δρομολόγησης για να αποφασίσουν σχετικά με το πού θα μετακινηθούν ώστε να εκτελέσουν τις εργασίες τους. Η βασική ιδέα είναι να ενισχυθούν οι ιδιότητες εξισορρόπησης φόρτου των τεχνικών επιλογής εξυπηρετητών ώστε να αποφευχθούν παθολογικές καταστάσεις όπως συμφορήσεις ή ταλαντώσεις στο φόρτο των εξυπηρετητών. Πέντε διαφορετικές στρατηγικές μετακίνησης μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν λεπτομερώς μέσω προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρέχει ένα αποδοτικό πλαίσιο ελέγχου δικτύου όπου διάφοροι αλγόριθμοι δρομολόγησης ΚΠ μπορούν να εφαρμοστούν.

## **8.2 Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις**

Μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας που διενεργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μπορούν να προκύψουν με αφετηρία κάθε ένα από τα επιμέρους προβλήματα και θέματα που μελετήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Σχετικά με τα θέματα της φορητότητας και προσαρμοστικότητας των υπηρεσιών σε δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς ενδιαφέρον θα είχε ο συνδυασμός των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 6 και συγκεκριμένα η χρήση σημασιολογικών πληροφοριών για την περιγραφή των δεδομένων και των διαθέσιμων υπηρεσιών. Επίσης όσον

αφορά στην επέκταση της μελέτης χωρητικότητας του προτεινόμενου πλαισίου ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της απόδοσης διαφορετικών αλγορίθμων και πολιτικών αποθήκευσης των ΚΠ στα διάφορα ενδιάμεσα επίπεδα της ιεραρχικής δομής των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Όσον αφορά στη μοντελοποίηση του πλαισίου αναζήτησης/επιλογής και προσφοράς ΥΣΙ σε κινητούς χρήστες με την χρήση της τεχνολογίας των ΚΠ, ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη της κινητικότητας των ΚΠ για τη δυναμική κλήση και σύνθεση ΥΣΙ, που θα λαμβάνει υπόψη την πραγματική κατάσταση του δικτύου. Τα διάφορα συμβάντα που μπορούν να εμφανιστούν σε ένα δίκτυο (όπως π.χ., αποτυχίες κόμβων, υπερφόρτωση) όταν η εκτέλεση ΥΣΙ είναι εν εξελίξει, μπορούν να αναγκάσουν τον ΚΠ να επανα-προγραμματίσει δυναμικά το δρομολόγιο του. Ο ΚΠ θα εφαρμόζει τους αλγορίθμους δρομολόγησης που θα παράγουν δυναμικά το δρομολόγιο που θα ακολουθήσει με την εξέταση των πληροφοριών δικτύων που δημοσιεύονται και περιλαμβάνονται στην περιγραφή της ΥΣΙ καθώς και την κατάσταση και τοπολογία του δικτύου. Επίσης θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η απεικόνιση των διαφόρων διαστάσεων του προβλήματος της σύνθεσης σημασιολογικών υπηρεσιών (μια υπηρεσία να είναι σύνθεση κάποιων άλλων που προσφέρονται από διαφορετικούς παρόχους), με τη βοήθεια της θεωρίας γράφων σε διαφορετικά επίπεδα, με τελικό στόχο τη δημιουργία ενός ή περισσότερων overlay δικτύων που θα αναπαριστούν τις πιθανές διαδρομές που θα μπορεί να ακολουθήσει ο πράκτορας προκειμένου να εκτελέσει μια σύνθετη υπηρεσία.

Σχετικά με το μοντέλο του παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 6, ως μελλοντική εργασία ενδιαφέρον έχει η ποσοτική αξιολόγηση ολόκληρων των τμημάτων του πλαισίου και η περαιτέρω έρευνα και μελέτη των μεθόδων για την εμπειρία χρηστών που συλλέγει το πλαίσιο.

Τέλος μελλοντική επέκταση της εργασίας του αναφέρεται στο Κεφάλαιο 7, θα μπορούσε να περιλάβει τη χρήση περισσότερων παραμέτρων ελέγχου δικτύου όπως: χρήση I/O του εξυπηρετητή, διαθέσιμη μνήμη που θα εξετάζεται κατά τη μετακίνηση των ΚΠ. Κάθε ΚΠ θα αποφασίσει τον επόμενο εξυπηρετητή για να μετακινηθεί, με την εξέταση των απαιτήσεων της ανατιθεμένης εργασίας του, εκφρασμένων ως συνάρτηση των δικτυακών λειτουργικών πόρων που παρακολουθούνται από το σύστημα.





## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΤΩΝ ΦΟΡΤΟΥ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SFBP

Στο παρόν παράρτημα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στην αξιολόγηση του αλγόριθμου του SFBP που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η συμπεριφορά του αλγορίθμου όταν κάθε ΚΠ χρησιμοποιεί διαφορετικό αριθμό  $K$  προγνωστών από τους  $M$  διαθέσιμους για να προγνώσει το μελλοντικό φόρτο των διαθέσιμων εξυπηρετητών. Στις προσομοιώσεις του αλγορίθμου το  $M = 15$  ενώ έγιναν πειράματα με το  $K$  να λαμβάνει τις τιμές 2, 3, 5, 10 και 15. Εάν και στα υπόψη πειράματα το  $K \leq M$ , εντούτοις μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από το  $M$ , καθόσον ένας προγνώστης μπορεί να επιλεγθεί από έναν ΚΠ παραπάνω από μια φορά. Αυτό σημαίνει ότι το πλήθος των διακριτών προγνωστών ανά χρήστη είναι κατά μέσον όρο μικρότερο από το πλήθος των προγνωστών που έχουν ανατεθεί,  $K$ . Στα παρακάτω πειράματα, έχει θεωρηθεί ότι οι ΚΠ έχουν  $K$  διακριτούς προγνώστες από το σύνολο των  $M$  διαθέσιμων προγνωστών.

Επίσης μελετήθηκε η συμπεριφορά του αλγορίθμου SFBP όταν υπάρχει διαφορά στον τρόπο υπολογισμού του μέσου φόρτου των εξυπηρετητών (είτε CHS, ή SS είτε και ολόκληρης της συστάδας). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν τα ακόλουθα σενάρια προσομοιώσεων όσον αφορά το σύστημα SFBP:

α. Το σύστημα έχει 500 ΚΠ και ο υπολογισμός του φόρτου να πραγματοποιείται μόνο από το φόρτο που είχε ο εξυπηρετητής στην τελευταία χρονοθυρίδα (στιγμιαίος φόρτος) με κάθε ΚΠ να έχει 2,3,5,10 και 15 προγνώστες από τους 15 διαθέσιμους προγνώστες.

β. Το σύστημα έχει 1000 ΚΠ και την ίδια διαμόρφωση όπως παραπάνω.

γ. Το σύστημα έχει 1000 ΚΠ και ο υπολογισμός του φόρτου να πραγματοποιείται με το μέσο όρο του φόρτου του εξυπηρετητή κατά τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες με κάθε ΚΠ να έχει 3,5,10 και 15 προγνώστες από τους 15 διαθέσιμους προγνώστες.

Παρακάτω, ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων των υπόψη σεναρίων προσομοιώσεων.

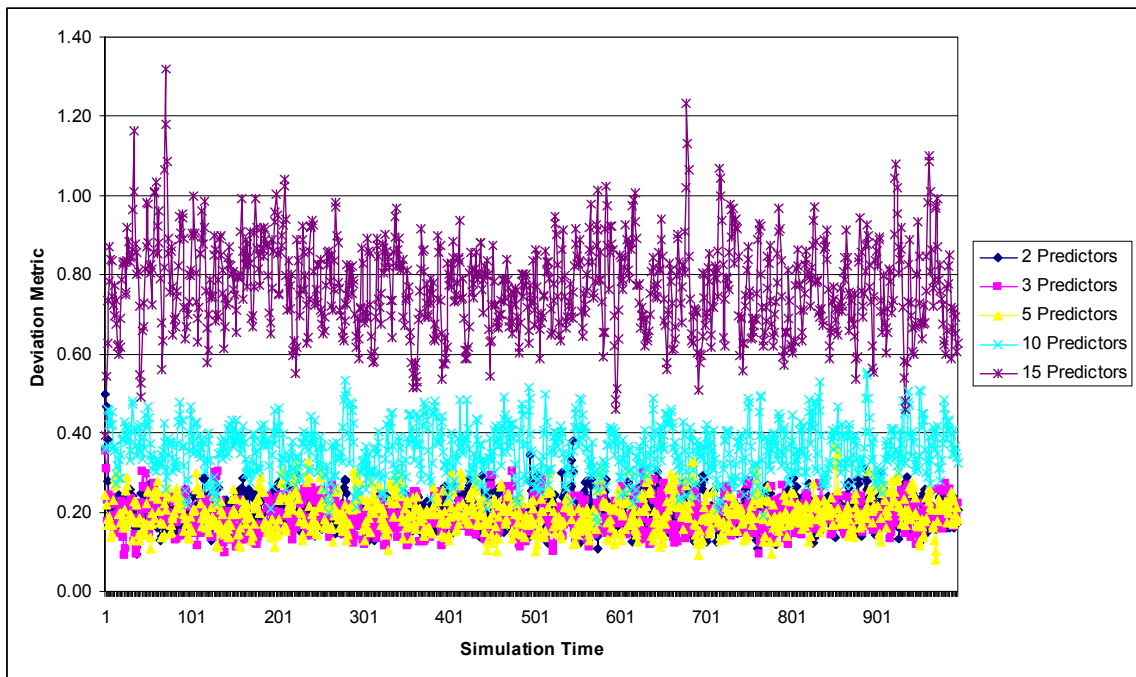
### **Σενάριο Πρώτο**

Σύμφωνα με την Εικόνα 8-1 όπου εμφανίζεται η μετρική της απόκλισης φόρτου, παρατηρείται, ότι όσους περισσότερους προγνώστες χρησιμοποιεί ο ΚΠ το σύστημα έχει χειρότερη απόδοση και τόσο μεγαλύτερη διακύμανση στο φόρτο τους έχουν οι εξυπηρετητές. Όταν οι ΚΠ χρησιμοποιούν 2 ή 3 προγνώστες από τους 15 διαθέσιμους προγνώστες φόρτου, το σύστημα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά, ενώ όταν αυξάνονται οι προγνώστες που χρησιμοποιεί ο κάθε ΚΠ η απόδοση του συστήματος χειροτερεύει προκαλώντας μεγάλες ταλαντώσεις στο φόρτο των εξυπηρετητών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση των χρησιμοποιούμενων προγνωστών αυξάνεται και η προγνωστικότητα των ΚΠ, με αποτέλεσμα να προβλέπουν σωστά το φόρτο των εξυπηρετητών, αλλά λόγω του ότι όλοι οι ΚΠ σκέφτονται και αποφασίζουν με τον ίδιο τρόπο, έχει ως αποτέλεσμα όλοι να λαμβάνουν τις ίδιες αποφάσεις μετακίνησης. Το σύστημα με 10 προγνώστες έχει περίπου την ίδια συμπεριφορά με το BSSS (βλ. Εικόνα 7-5) ενώ το σύστημα με 15 προγνώστες έχει ακόμα πιο χειρότερη συμπεριφορά με την μέση απόκλιση να είναι στο 0.80. Σημειώνεται ότι το σύστημα παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις λόγω του ότι οι 500 ΚΠ που υπάρχουν στο σύστημα δεν παράγουν μεγάλο φόρτο στους εξυπηρετητές αλλά και στο γεγονός της νομαδικότητας που παρουσιάζουν λόγω των παρόμοιων αποφάσεων που λαμβάνουν όταν αυξάνονται οι προγνώστες που χρησιμοποιούν.

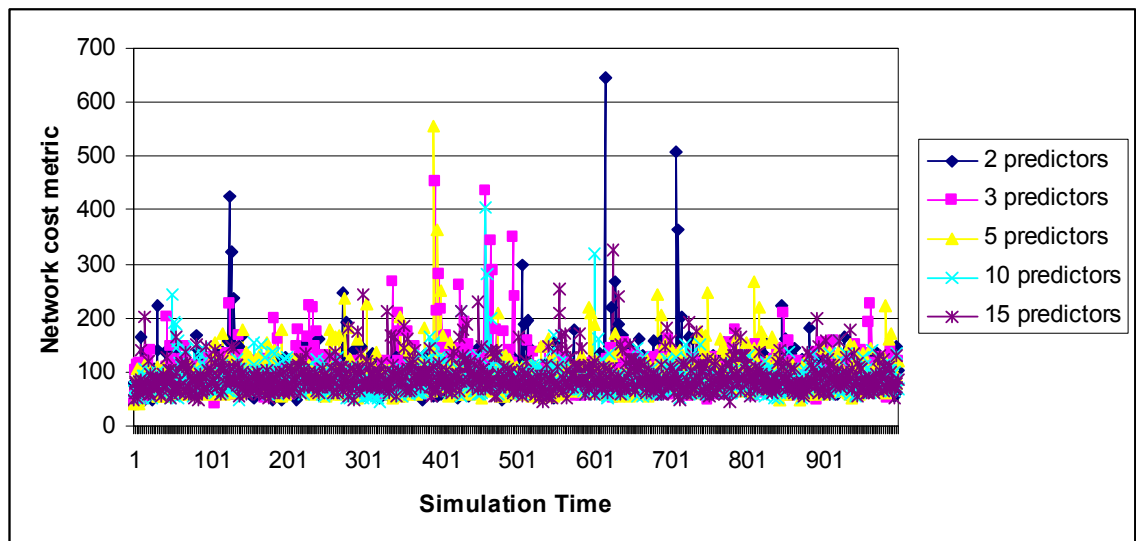
Όσον αφορά στην μετρική του δικτυακού κόστους (Εικόνα 8-2), δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των συστημάτων που οι ΚΠ χρησιμοποιούν διαφορετικό αριθμό προγνωστών. Σχετικά με τη μετρική του Πρακτορικού κόστους (Εικόνα 8-3 και Εικόνα 8-4) παρατηρείται επίσης ότι με την αύξηση των προγνωστών φόρτου των ΚΠ χειροτερεύει η απόδοση του συστήματος σε σχέση με την υπόψη μετρική.

Στην Εικόνα 8-5 εμφανίζεται η διαφορά του πρακτορικού κόστους (διαφορά του πραγματικού με το εκτιμώμενο) και παρατηρείται ότι μικρότερη διαφορά υπάρχει στα συστήματα που οι ΚΠ έχουν 2 ή 3 προγνώστες. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός των

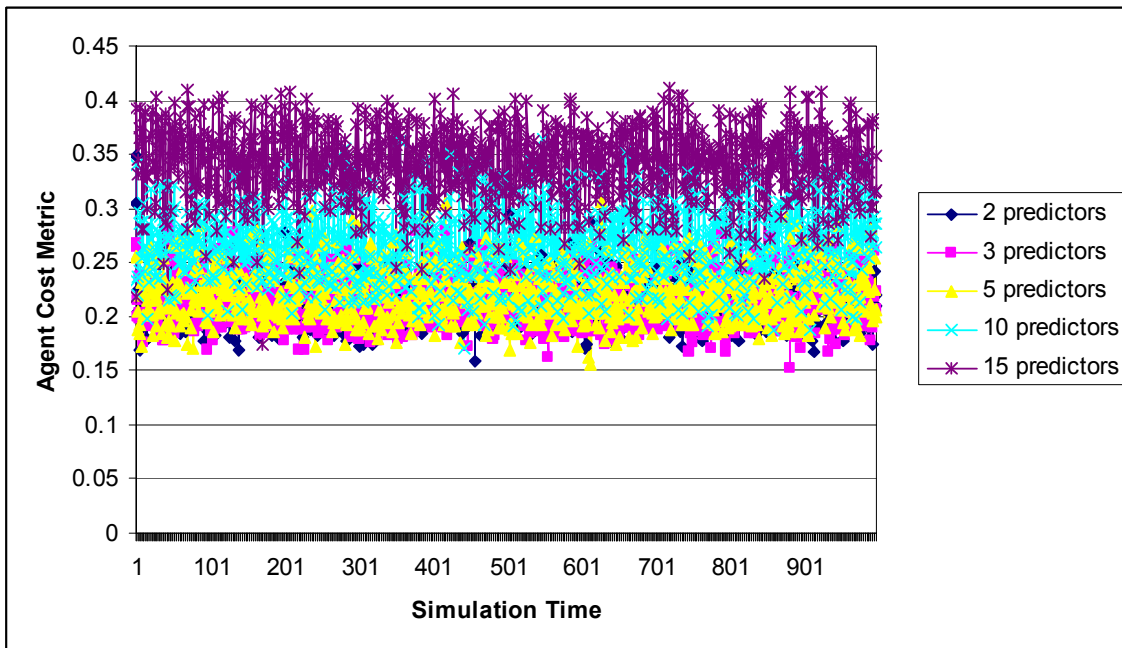
προγνωστών των ΚΠ τόσο μεγαλώνει και η διαφορά του πραγματικού με το εκτιμώμενο πρακτορικό κόστος.



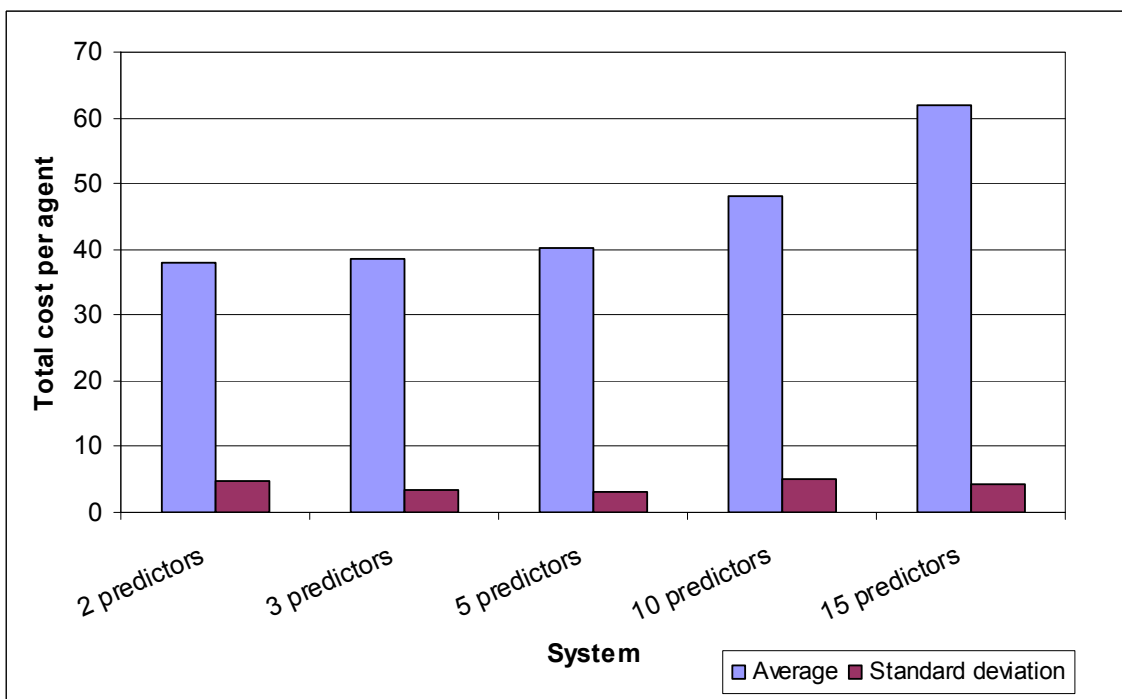
Εικόνα 8-1: Μετρική Απόκλιση φόρτου με 500 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο



Εικόνα 8-2: Μετρική δικτυακού κόστους με 500 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο

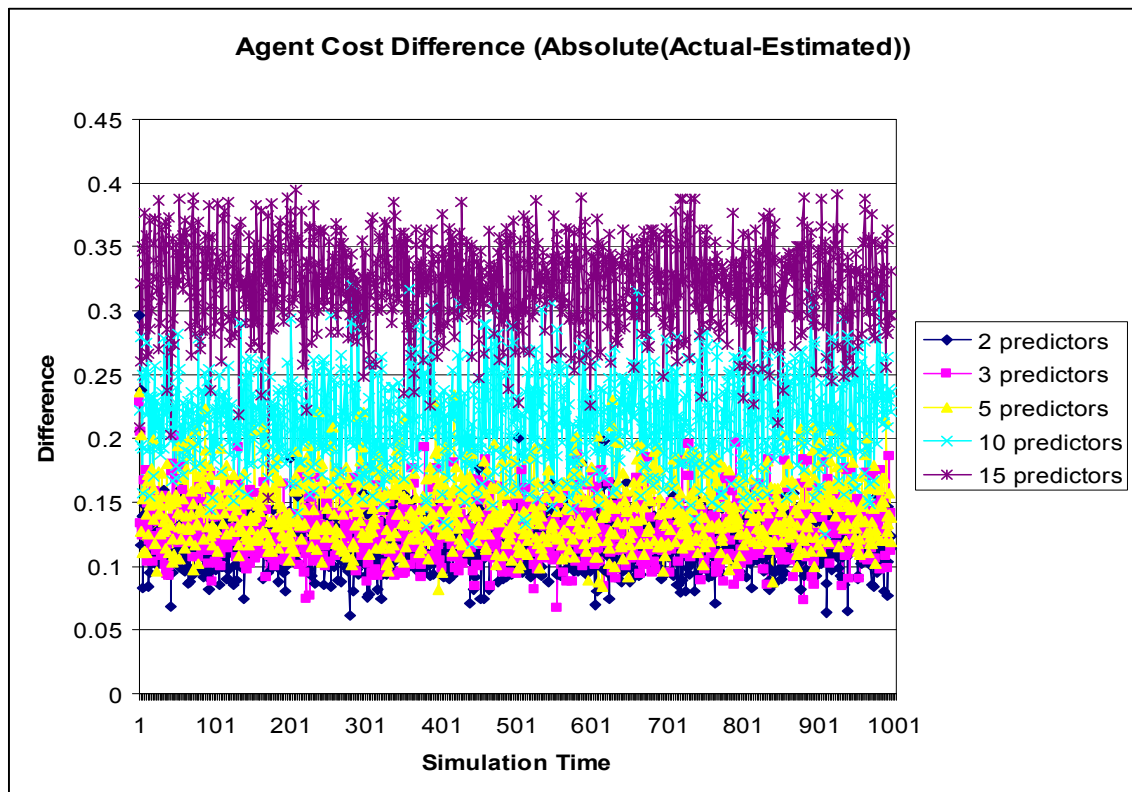


Εικόνα 8-3: Μετρική Πρακτορικού Κόστους με 500 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο



Εικόνα 8-4: Πρακτορικό κόστος για κάθε Πράκτορα με 500 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο





Εικόνα 8-5: Διαφορά Πρακτορικού Κόστους για διαφορετικούς προγνώστες

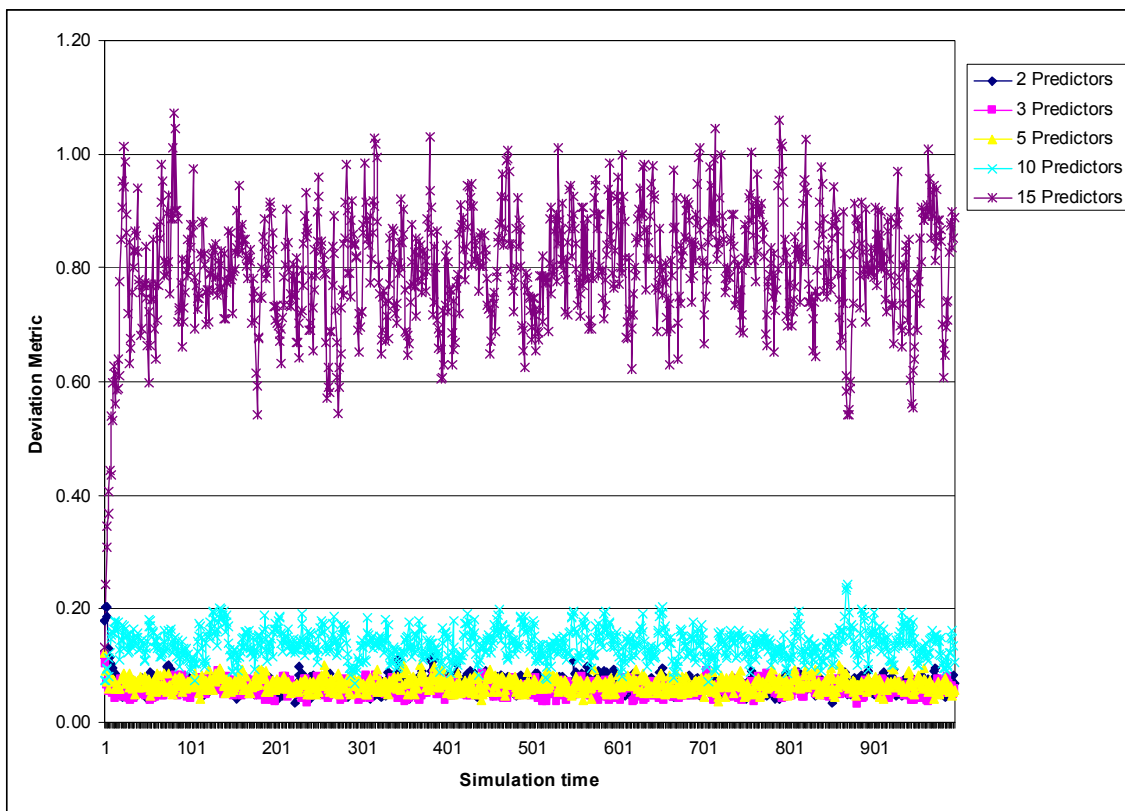
### Σενάριο Δεύτερο

Σε αυτό το σενάριο παρατηρείται ότι με την αύξηση των ΚΠ (1000 πράκτορες κινούνται μεταξύ των εξυπηρετητών) βελτιώνεται η απόδοση των συστημάτων με λίγους προγνώστες όσον αφορά στην μετρική της απόκλισης φόρτου (Εικόνα 8-6). Σε σύγκριση με την συμπεριφορά των ίδιων των συστημάτων με 500 ΚΠ (Εικόνα 8-1), παρατηρείται ότι όλα τα συστήματα δεν παρουσιάζουν μεγάλες ταλαντώσεις και έχουν σημαντικά βελτιωμένη συμπεριφορά, εκτός του συστήματος με 15 ΚΠ. Το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζει μεν μικρότερες ταλαντώσεις αλλά εξακολουθούν οι εξυπηρετητές να έχουν μέση τιμή απόκλισης στο 0.80 της μετρικής απόκλισης φόρτου.

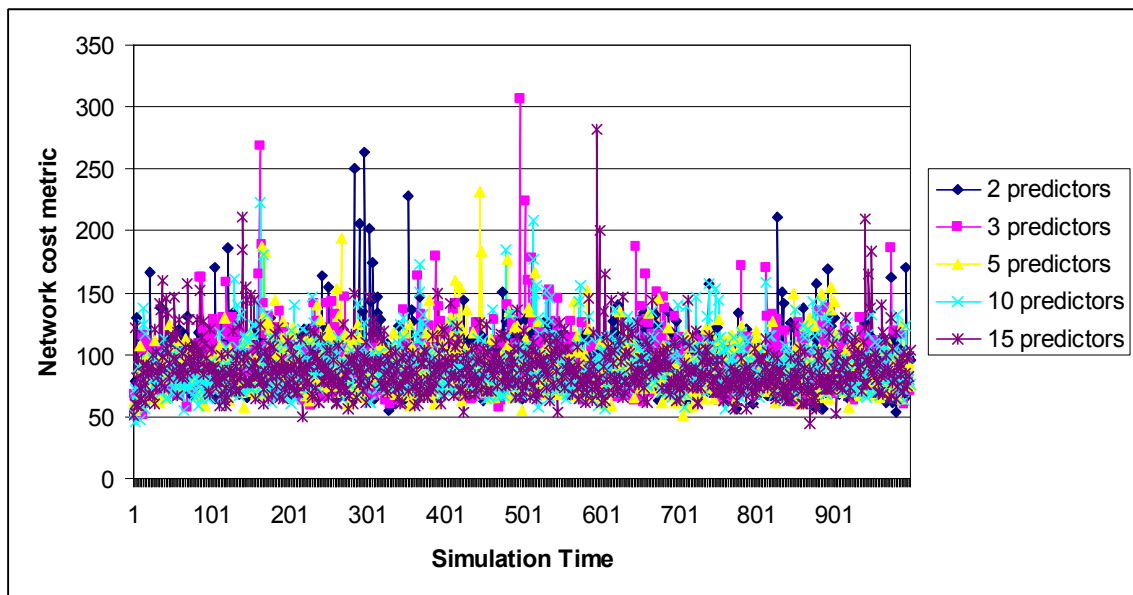
Όσον αφορά στην μετρική του δικτυακού κόστους (Εικόνα 8-7), δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των συστημάτων που οι ΚΠ χρησιμοποιούν διαφορετικό αριθμό προγνωστών. Σχετικά με τη μετρική του Πρακτορικού κόστους (Εικόνα 8-8 και Εικόνα 8-9) παρατηρείται επίσης ότι με την αύξηση των προγνωστών φόρτου των ΚΠ χειροτερεύει η απόδοση του συστήματος σε σχέση με την υπόψη μετρική. Σημειώνεται ότι η απόδοση όλων των συστημάτων χειροτερεύει σε

σχέση με την αντίστοιχη συμπεριφορά που παρουσιάζουν με 500 ΚΠ (βλ. Εικόνα 8-3 και Εικόνα 8-4)

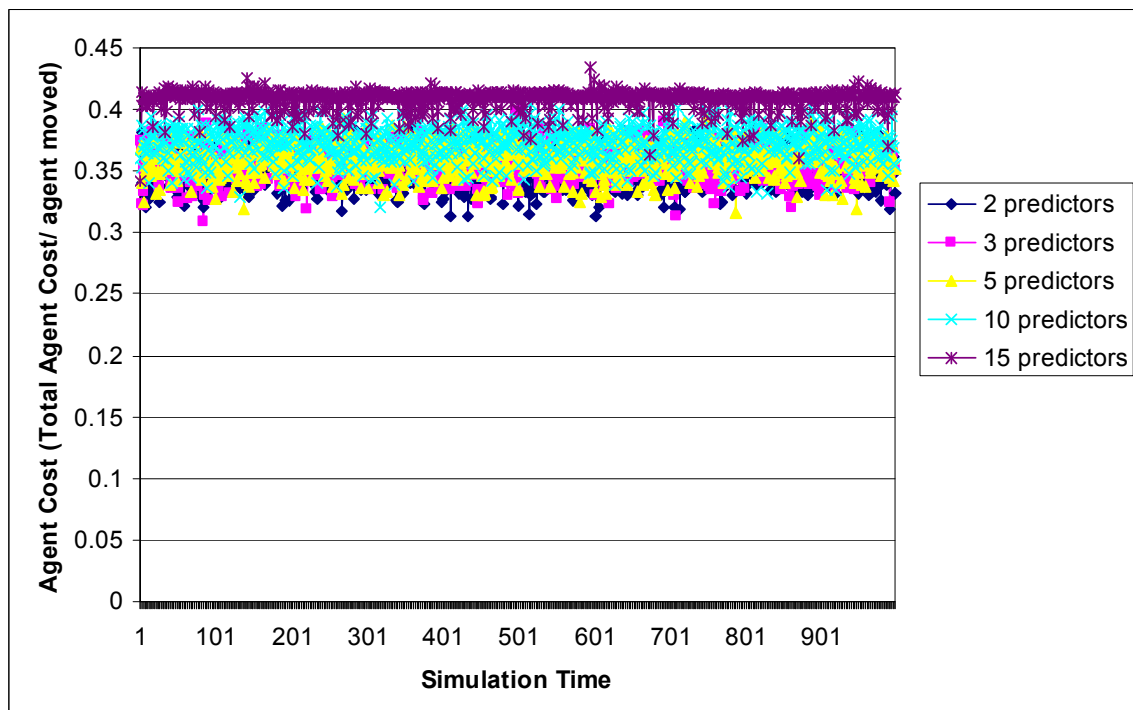
Στην Εικόνα 8-10 εμφανίζεται η διαφορά του πρακτορικού κόστους (διαφορά του πραγματικού με το εκτιμώμενο) και παρατηρείται ότι μικρότερη διαφορά υπάρχει στα συστήματα που οι ΚΠ έχουν 2 ή 5 προγνώστες. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός των προγνωστών των ΚΠ τόσο μεγαλώνει και η διαφορά του πραγματικού με το εκτιμώμενο πρακτορικό κόστος. Επίσης διαπιστώνεται ότι η διαφορά αυτή αυξάνεται όταν χρησιμοποιούνται περισσότεροι ΚΠ, γεγονός που είναι εμφανές συγκρίνοντας τις διαφορές στις εικόνες Εικόνα 8-5 και Εικόνα 8-10.



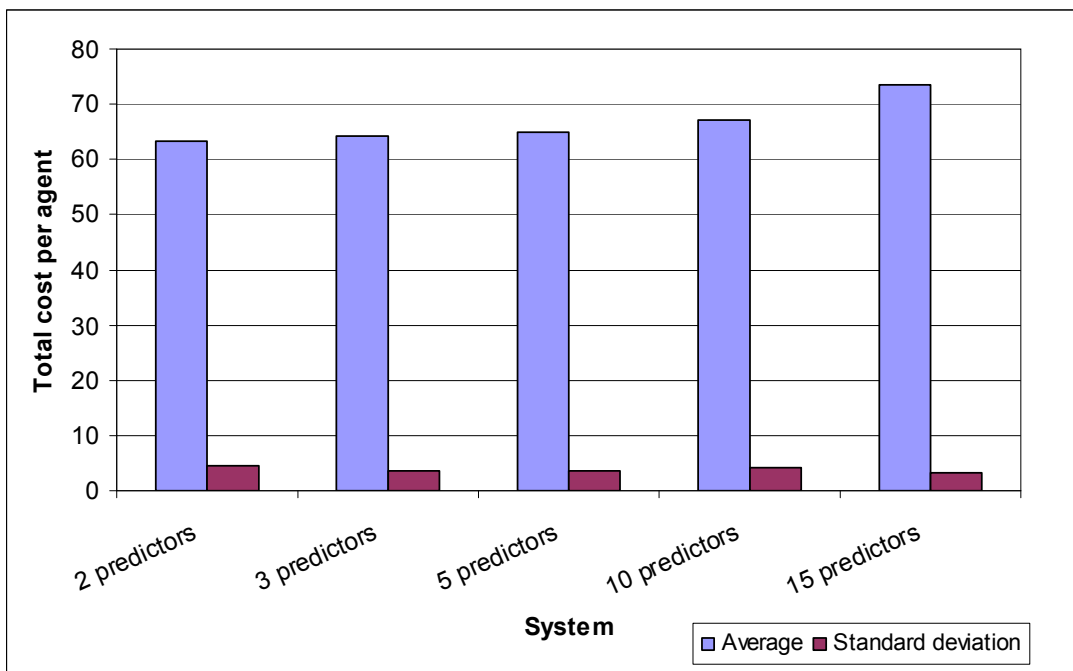
**Εικόνα 8-6: Μετρική Απόκλισης φόρτου με 1000 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο**



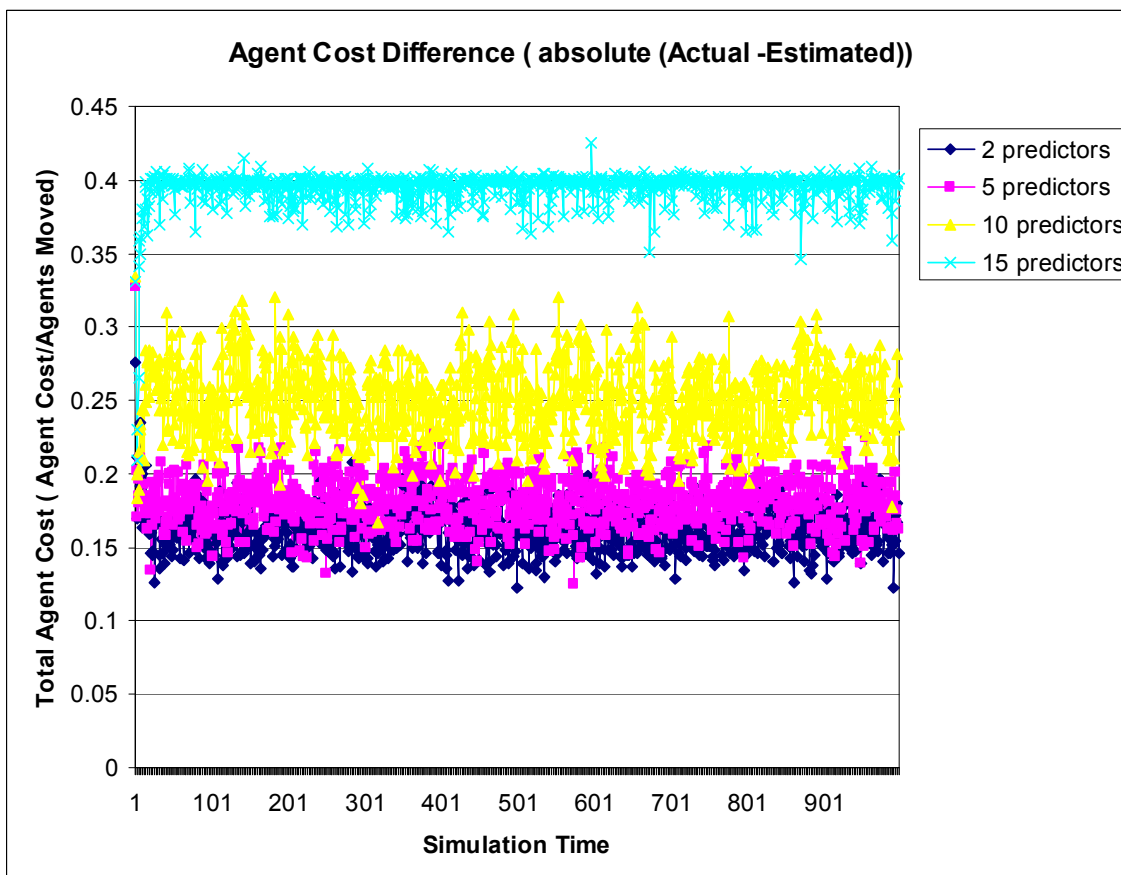
Εικόνα 8-7: Μετρική δικτυακού κόστους με 1000 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο



Εικόνα 8-8: Μετρική Πρακτορικού κόστους με 1000 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο



Εικόνα 8-9: Πρακτορικό κόστος για κάθε Πράκτορα με 1000 ΚΠ και στιγμιαίο φόρτο.



Εικόνα 8-10: Διαφορά πρακτορικού Κόστους για διαφορετικούς προγνώστες.

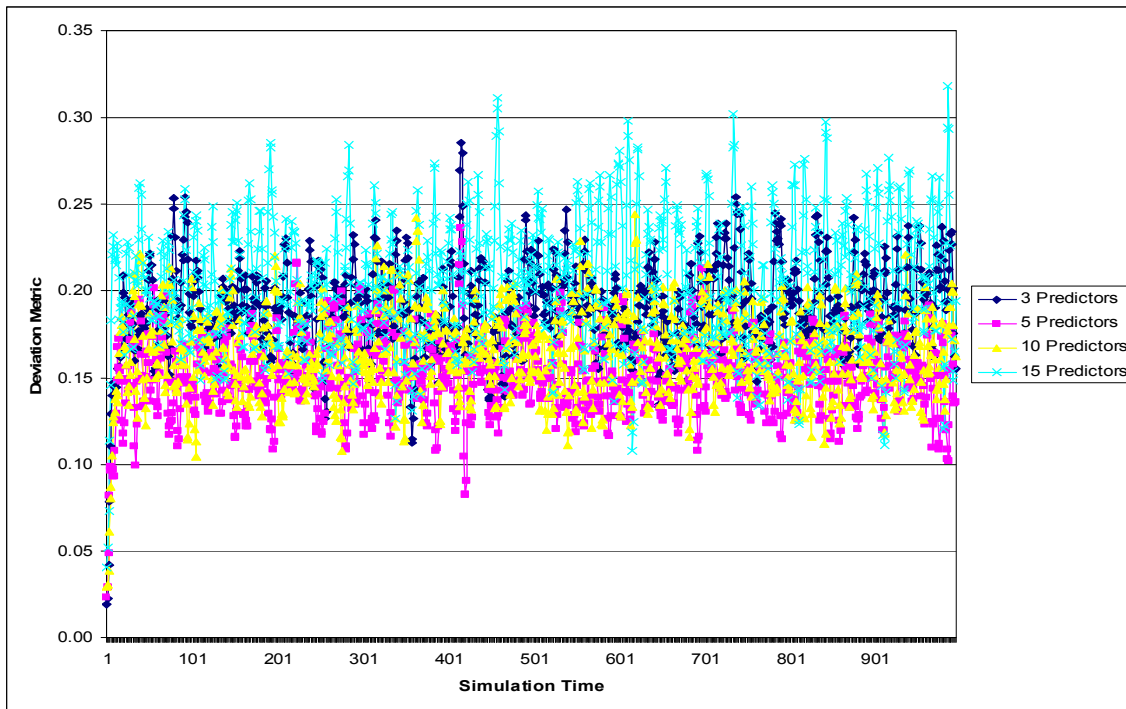
### **Σενάριο Τρίτο**

Σύμφωνα με το σενάριο αυτό, το SFBP σύστημα έχει 1000 ΚΠ και ο υπολογισμός του φόρτου πραγματοποιείται με το μέσο όρο του φόρτου του εξυπηρετητή κατά τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες με κάθε ΚΠ να έχει 3,5,10 και 15 προγνώστες από τους 15 διαθέσιμους προγνώστες. Σε αυτό το σενάριο παρατηρείται ότι με την αύξηση των χρονικών περιόδων, που λαμβάνεται υπόψη ο φόρτος των εξυπηρετητών, για τον υπολογισμό του μέσου φόρτου τους, βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση του συστήματος με 15 προγνώστες, ενώ σε όλα τα υπόλοιπα συστήματα χειροτερεύει λίγο η απόδοσή τους, όσον αφορά στην μετρική της απόκλισης φόρτου (Εικόνα 8-11 σε σύγκριση με τις εικόνες Εικόνα 8-1 και Εικόνα 8-6). Επίσης τα συστήματα παρουσιάζουν μικρές ταλαντώσεις στην συμπεριφορά τους, οι οποίες αυξάνονται σε κάθε σύστημα καθώς μεγαλώνει ο αριθμός των προγνωστών (δηλαδή το σύστημα με τους 15 προγνώστες παρουσιάζει μεγαλύτερες ταλαντώσεις στην συμπεριφορά του από αυτή του συστήματος με τους 3 ή 5 προγνώστες)

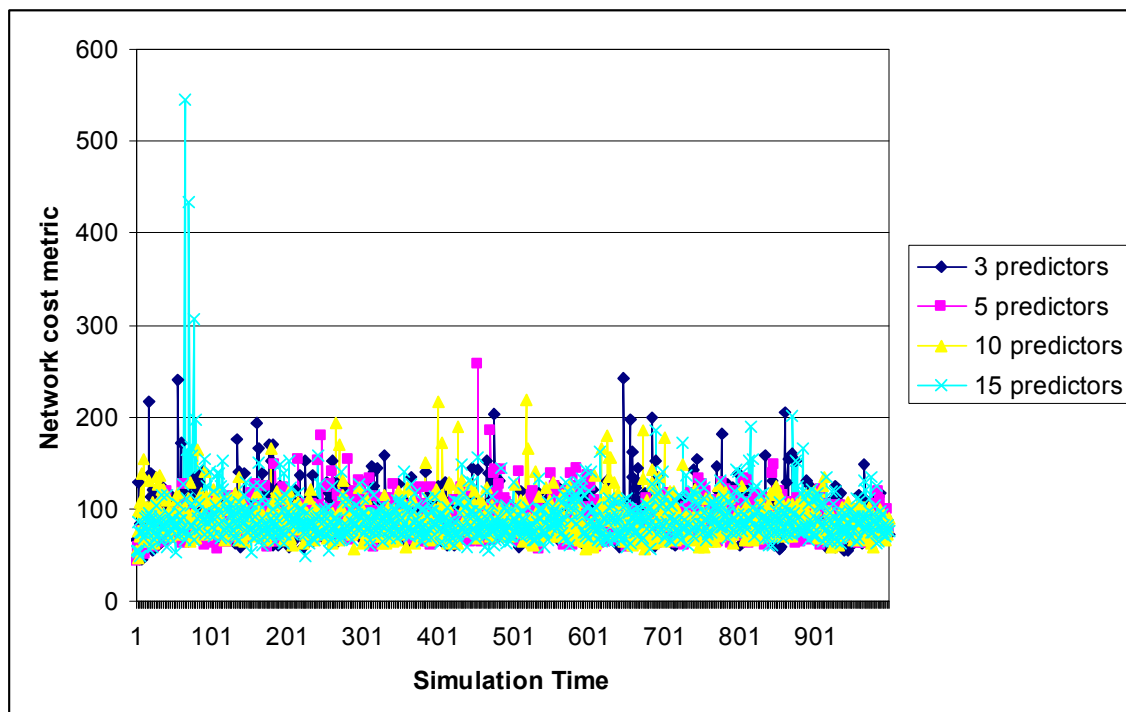
Όσον αφορά στην μετρική του δικτυακού κόστους (Εικόνα 8-12), δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των συστημάτων που οι ΚΠ χρησιμοποιούν διαφορετικό αριθμό προγνωστών αλλά και σε σχέση με τα αποτελέσματα των προηγούμενων σεναρίων. Σχετικά με τη μετρική του Πρακτορικού κόστους παρατηρείται ότι με την αύξηση των προγνωστών φόρτου των ΚΠ χειροτερεύει η απόδοση του συστήματος σε σχέση με την υπόψη μετρική. Σημειώνεται ότι η απόδοση όλων των συστημάτων χειροτερεύει σε σχέση κυρίως με την αντίστοιχη συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα συστήματα με 500 ΚΠ (βλ. Εικόνα 8-3 και Εικόνα 8-4) και λαμβάνοντας υπόψη μόνο τον φόρτο των εξυπηρετητών κατά τελευταία χρονοθυρίδα. Παρατηρείται όμως παρόμοια συμπεριφορά για την μετρική του Πρακτορικού κόστους, στα συστήματα από το δεύτερο σενάριο με τους 1000 ΚΠ (βλ. Εικόνα 8-8 και Εικόνα 8-9).

Στην Εικόνα 8-15 εμφανίζεται η διαφορά του πρακτορικού κόστους και παρατηρείται ότι η μικρότερη διαφορά υπάρχει στα συστήματα που οι ΚΠ έχουν 3 ή 5 προγνώστες. Όσο μεγαλώνει ο αριθμός των προγνωστών των ΚΠ τόσο μεγαλώνει και η διαφορά του πραγματικού με το εκτιμώμενο πρακτορικό κόστος. Επίσης διαπιστώνεται ότι στο σενάριο αυτό βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση του συστήματος SFBP με 15 προγνώστες, σε σύγκριση με το σύστημα του δεύτερου σεναρίου (Εικόνα 8-10) ενώ χειροτερεύουν οι αποδόσεις (ή αλλιώς η προγνωστικότητα) των

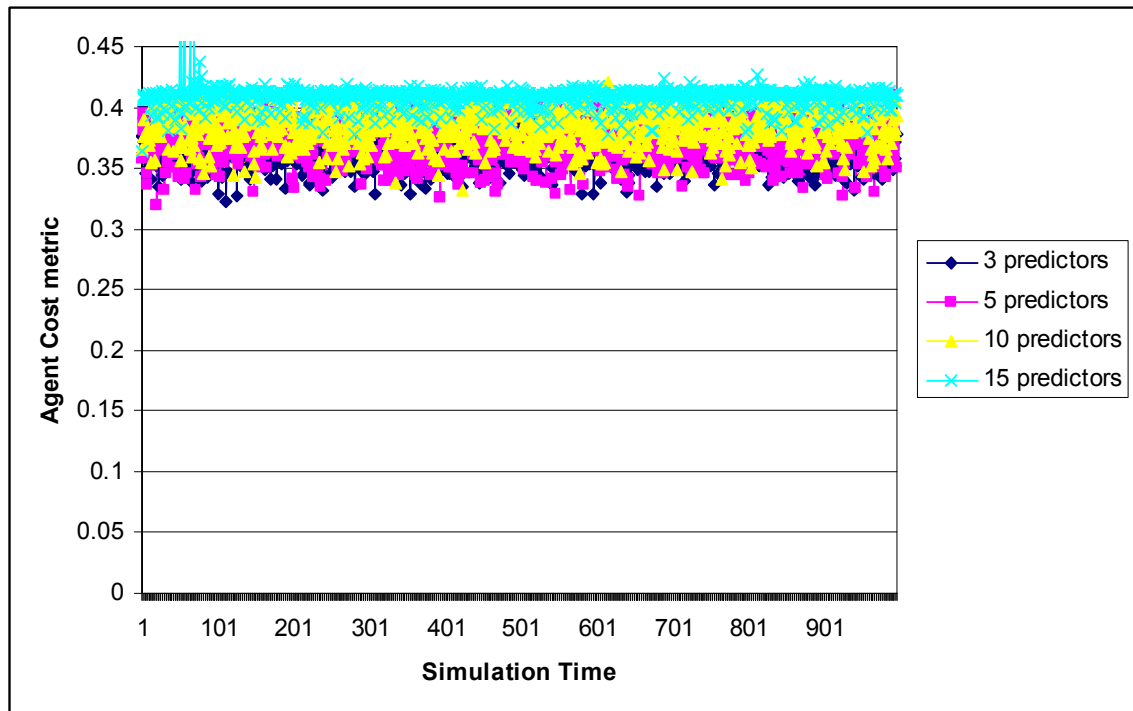
άλλων συστημάτων SFBP με λιγότερους προγνώστες. Το ίδιο παρατηρείται και με αντίστοιχη σύγκριση με τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου.



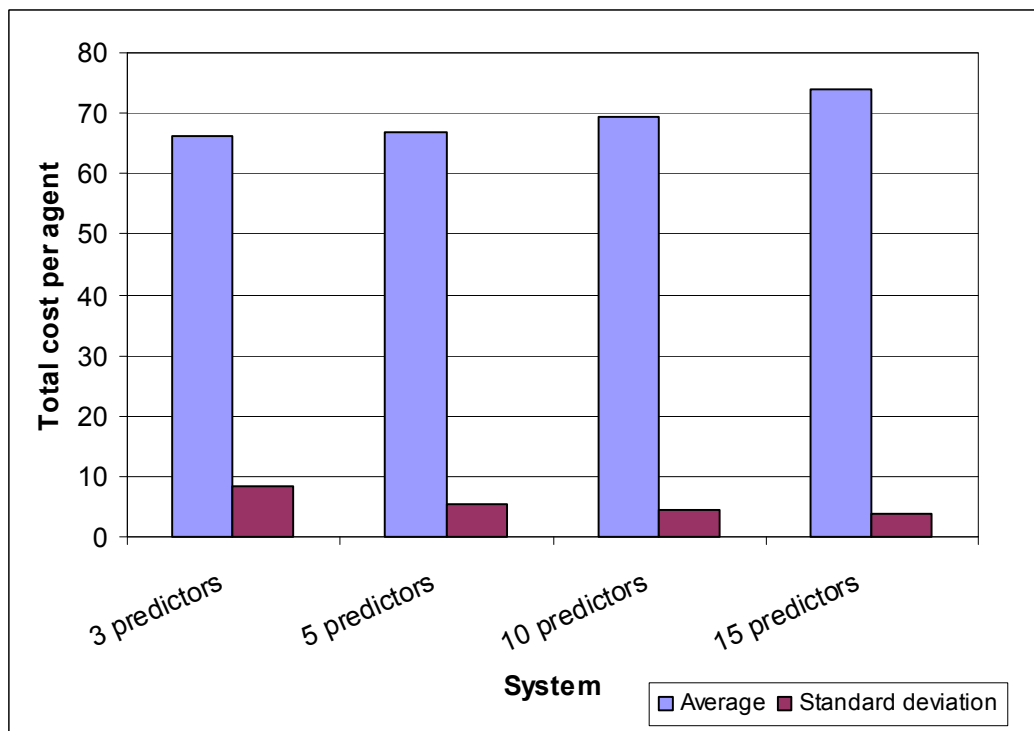
Εικόνα 8-11: Μετρική απόκλισης φόρτου με 1000 ΚΠ και μέσος όρος φόρτου από τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες



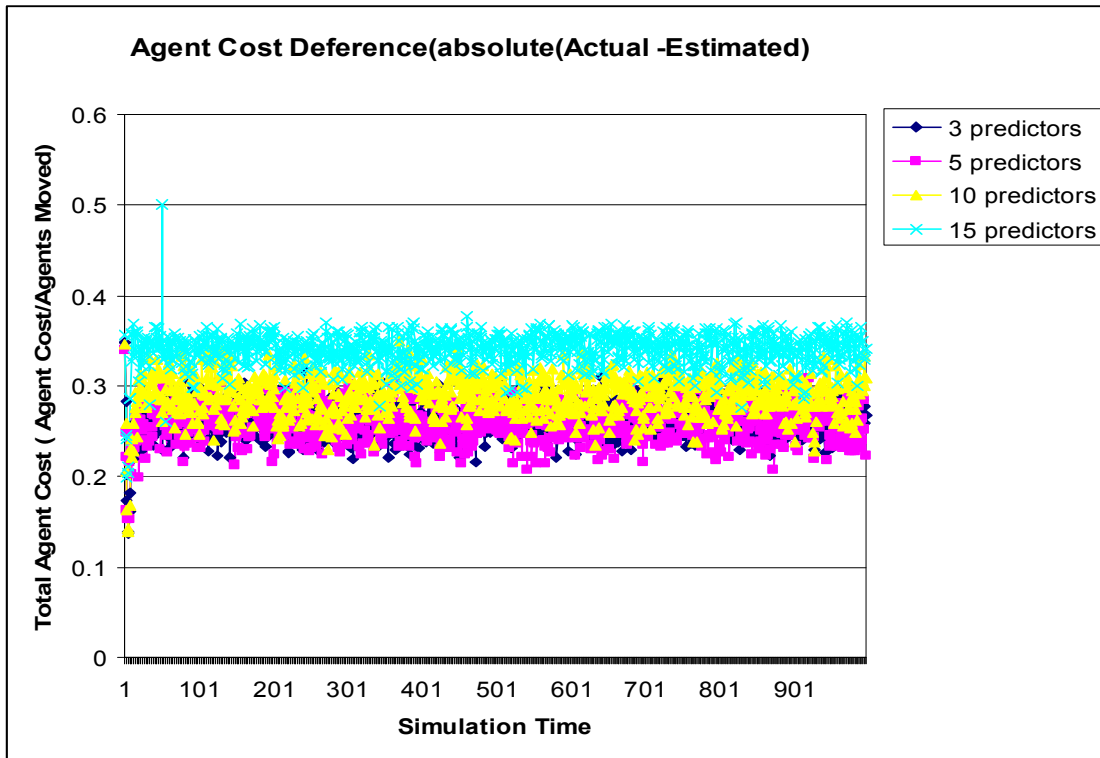
Εικόνα 8-12: Μετρική δικτυακού κόστους με 1000 ΚΠ και μέσος όρος φόρτου από τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες



Εικόνα 8-13: Μετρική πρακτορικού κόστους με 1000 ΚΠ και μέσος όρος φόρτου από τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες



Εικόνα 8-14: Πρακτορικό κόστος για κάθε πράκτορα με 1000 ΚΠ και μέσος όρος φόρτου από τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες



Εικόνα 8-15: Διαφορά πρακτορικού Κόστους για διαφορετικούς προγνώστες (με 1000 ΚΠ και μέσος όρος φόρτου από τις 6 τελευταίες χρονοθυρίδες)

### Συζήτηση

Στο παρόν παράρτημα, παρουσιάστηκαν αποτελέσματα προσομοιώσεων που αφορούν στην αξιολόγηση του αλγόριθμου του SFBP όταν κάθε ΚΠ χρησιμοποιεί διαφορετικό αριθμό  $K$  προγνωστών από τους  $M$  διαθέσιμους για να προγνώσει το μελλοντικό φόρτο των διαθέσιμων εξυπηρετητών. Επίσης παρουσιάστηκε η συμπεριφορά του αλγόριθμου SFBP όταν υπάρχει διαφορά στον τρόπο υπολογισμού του μέσου φόρτου των εξυπηρετητών. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι γενικά ο αλγόριθμος έχει ως αποτέλεσμα οι εξυπηρετητές του συστήματος να έχουν σχετικά σταθερό φόρτο όταν οι ΚΠ που μετακινούνται και εκτελούν εργασίες παράγουν ικανοποιητικό φόρτο ώστε να μην υπάρχουν μεγάλες ταλαντώσεις στη μετρική της απόκλισης φόρτου. Οι ταλαντώσεις αυτές σημαίνουν γενικά το σύστημα δεν κατανέμει σωστά το φόρτο που παράγεται από τους μετακινούμενους ΚΠ. Σημαντικός είναι επίσης και ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται ο φόρτος των εξυπηρετητών, καθώς όπως διαπιστώνεται είναι καθοριστικός στην απόδοση του αλγόριθμου. Όσο αυξάνεται το ιστορικό φόρτου που χρησιμοποιείται που λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του μέσου φόρτου τους των εξυπηρετητών, το  $N$  στην εξίσωση



7-1, τόσο βελτιώνεται ο αλγόριθμος όταν οι ΚΠ χρησιμοποιούν πολλούς προγνώστες ενώ χειροτερεύει η απόδοση του όταν οι ΚΠ χρησιμοποιούν λίγους προγνώστες. Αποδεικνύεται ότι η απόδοση του αλγόριθμου εξαρτάται από τους προγνώστες που χρησιμοποιούν οι ΚΠ αλλά και από τον αριθμό των προηγούμενων φόρτων των εξυπηρετητών που λαμβάνονται υπόψη. Αποδοτικότερος είναι ο αλγόριθμος όταν οι ΚΠ χρησιμοποιούν όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό προγνωστών φόρτου και αριθμό προηγούμενων φόρτων εξυπηρετητών.



## ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Διακομιστής- Εξυπηρετητής	Server
Διάχυτος υπολογισμός	Pervasive computing
Κατά Pareto αποτελεσματικός	Pareto efficient
Κατά Pareto αποτελεσματικός	Pareto optimal
Κλιμάκωση	Scalability
Λογικός	Rational
Παίγνιο διασποράς	Dispersion game
Παίγνιο μειονότητας	Minority game
Περιορισμένη λογική	Bounded rationality
Ποιότητα υπηρεσίας	Quality of service
Πράκτορας	Agent
Προδραστικός	Proactive
Ρυθμοαπόδοση	Throughput
Στάσιμος	Stationary
Τοπική ευστοχία	Hit
Χρονοθυρίδα	Timeslot
Ωφέλεια	Payoff, Utility



## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΑΓΓΛΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

CRT	Cell residence time
GSM	Global system mobile
HTTP	Hyper-text transport protocol
QoS	Quality of service
SFBP	Santa Fe bar problem
WLAN	Wireless local area network
WWW	World Wide Web
DAE	Distributed Agent Environment
DPE	Distributed Processing Environment
CORBA	Common Object Requesting Broker Architecture
FIPA	Foundation for the Intelligent Physical Agents
MASIF	Mobile Agent System Interoperability Facility
ICM	Intelligent Communication Manager
PDQ	Personal Data Query
IRS	Information Retrieval Service
APM	Adaptive Profile Manager
APM-PA	Adaptive Profile Manager-Provider Agent

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

ΚΠ	Κινητός Πράκτορας
ΚΤ	Κινητό τερματικό
ΣΒ	Σταθμός βάσης
ΥΙ	Υπηρεσία Ιστού
ΥΣΙ	Υπηρεσία Σημασιολογικού Ιστού
ΣΠΠ	Σταθερός Πράκτορας Παρόχου
ΣΠΚΥ	Σταθερός Πράκτορας Καταλόγου Υπηρεσιών
ΠΥΙ	Πάροχος Υπηρεσιών Ιστού
ΚΥΣΙ	Κατάλογος Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού
ΚΠΕ	Κατανεμημένο Περιβάλλον Επεξεργασίας-
ΚΣΠ	Κατανεμημένο Σύστημα Πρακτόρων



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Russell S, Norvig P (1995) "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice Hall Series in Artificial Intelligence. Englewood Cliffs, New Jersey.
- [2] Wooldridge Michael (2002) "An introduction to multiagent systems" John Wiley and Sons ISBN 07149691X".
- [3] Maes, Pattie (1995), "Artificial Life Meets Entertainment: Life like Autonomous Agents," Communications of the ACM, 38, 11, 108-114.
- [4] Hayes-Roth, B. (1995). "An Architecture for Adaptive Intelligent Systems," Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, 72, 329-365.
- [5] Jennings N, Wooldridge M (1998) Applications of Intelligent Agents. In: Jennings N, Wooldridge M (eds) "Agent Technology: Foundations, Application, and Markets". Springer-Verlag.
- [6] Shoham Y, (1993)"Agent-oriented programming" Artificial Intelligence, 60(1):51–92.
- [7] Bates, J., Loyall Bryan, A., and Scott Reilly, W. (1992). "An architecture for action, emotion, and social behaviour". Technical Report CMU–CS–92–144, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA.
- [8] Bates, J. (1994). The role of emotion in believable agents. Communications of the ACM, 37(7):122–125.
- [9] Newell A, Simon H (1976) "Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search". In: the Communications of the ACM, vol 19 issue 3, pp 113-126
- [10] Bratman M (1987) "Intentions, Plans, and Practical Reason" Harvard University Press.
- [11] Müller J (1996) "The Design of Intelligent Agents: A Layered Approach" vol 1177 of the LNAI series. Springer-Verlag.
- [12] Rao A, Georgeff M (1992) "An Abstract Architecture for Rational Agents" in the Proceedings of the 3rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'92), pp 439-449, Morgan Kaufmann.

- [13] Nwana H., Ndumu D. (1998) “A Brief Introduction to Software Agent Technology” in Jennings N, Wooldridge M (eds) “Agent Technology: Foundations, Application, and Markets”, Springer-Verlag.
- [14] Franklin S, Graesser A (1996) “Is it an Agent or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents”. In the Proceedings of the 3rd International Workshop on Agents Theories, Architectures, and Languages. Springer-Verlag και στο <http://www.mscl.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html>.
- [15] Klusch M (1999) “Intelligent Information Agents: Agent-Based Information Discovery and Management on the Internet” Springer-Verlag.
- [16] Lange Danny, Oshima Mitsuru “Programming and Deploying Java Mobile Agents with aglets” Addison –Wesley ISBN-0-20132582-9, 1998.
- [17] Vigna Giovanni, “Mobile Agents: Ten Reasons For Failure,” in IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM'04), 2004.
- [18] Carzaniga A, Picco G, and Vigna G, “Designing Distributed Applications with Mobile Code Paradigms” in Proceedings of the 19th International Conference on Software Engineering (ICSE '97), Boston, MA, April 1997.
- [19] Web Services Architecture Working Group: <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>.
- [20] Uniform Resource Identifiers: <http://www.w3.org/Addressing/>.
- [21] OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards*) <http://www.oasis-open.org/home/index.php>.
- [22] *Berners-Lee Tim, Hendler James, Lassila Ora “ The Semantic Web” Scientific American 2001.*
- [23] XML Schema: <http://www.w3.org/XML/Schema>
- [24] Remote Procedure Call, “DCE 1.1: Remote Procedure Call”: <http://www.opengroup.org/products/publications/catalog/c706.htm>, Technical Standard, Open Group, 1997
- [25] Apache Axis: <http://ws.apache.org/axis/>
- [26] HTTP: <http://www.w3.org/Protocols/>
- [27] FTP: <http://www.w3.org/Protocols/rfc959/>
- [28] DARPA Agent Markup Language Services: <http://www.daml.org/>
- [29] RDF: <http://www.w3.org/RDF/>
- [30] DAML+OIL: <http://www.daml.org/2001/03/daml+oil-index.html>



- [31] Sycara Katia, Paolucci Massimo, Ankolekar Anupriya, Shrinivasan Naveen. "Automated discovery, interaction and composition of semantic web services". *Journal of Web Semantics*, July 2004.
- [32] Paolucci Massimo, Kawamura Takahiro, Payne Terry, Sycara Katia "Semantic matching of Web services Capabilities" *International Semantic Web Conference 2002*: 333-347.
- [33] Srinivasan Naveen, Paolucci Massimo and Sycara Katia "Adding OWL-S to UDDI, implementation and throughput.", *First International Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition (SWSWPC 2004)* 6-9, 2004, San Diego, California, USA.
- [34] 3GPP Technical Specification 22.121 v5.3.1: "The Virtual Home Environment (Release 5)", June 2002.
- [35] 3GPP Technical Specification TS 23.127 V6.0.0 "Virtual Home Environment/Open Service Access" December 2002.
- [36] Breugst Markus, Hagen Lars and Magendanz Tomas "Impacts of Mobile Agent Technology on Mobile Communication System Evolution" *IEEE Personal Communication Magazine*. August 1998.
- [37] Farjami P, Gorg C, Bell F, "Advanced Service Provisioning based on Mobile Agents" *Computer Communications, Special Issue: Mobile Software Agents for Telecommunication Applications*, Vol. 23, pp. 754-760, April 2000.
- [38] Hartmann Jens, Georg Carmelita, Farjami Peyman "Agent Technology for the UMTS VHE Concept" In *Proceeding of the First ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia in Conjunction with ACM/IEEE MobiCom'98*, pp. 203-208, University of North Texas, Dallas, USA, October 1998, ACM.
- [39] Hagen L, Mauersberger J., Weckerle C, "Mobile agent based service subscription and customisation using the UMTS VHE" *Computer Networks*, Volume 31, Issue 19, 31 August 1999, Pages 2063-2078.
- [40] Marenic Tomislav, Mlinaric Kresimir "Designing Reference Architecture for Providing Virtual Home Environment", *7th International Conference on Telecommunications (CONTEL)*, Zagreb, Croatia, June 2003.
- [41] IST-1999-10825: VESPER, Website: <http://vesper.intranet.gr> (last accessed 10/2003)

- [42] Songtao Lin, Chen Junliang “An agent-based approach to VHE” proceedings of ICCT2003.
- [43] Kanter Theo “An open service architecture for adaptive personal mobile communication” IEEE Personal Communications December 2001.
- [44] Songtao Lin, Chen Junliang "Semantic Web Enabled VHE for 3rd Generation Telecommunications", 4th Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS'05).
- [45] Richman Geoff and Napolitano Antonella “The Virtual Home Environment – Architectures and Trials”, IST Mobile Summit, 1-4 October 2000, Galway, Ireland.
- [46] J2ME : Java 2 Micro Edition : <http://java.sun.com/j2me/>
- [47] Puliafito A, Riccobene S, Scarpa M, “Which paradigm should I use?: An analytical comparison of the client-server, remote evaluation and mobile agents paradigms”, IEEE Concurrency and Computation: Practice & Experience, vol. 13, pp. 71-94, 2001.
- [48] Ravi Jain, Farooq Anjum, Amjad Umar “A Comparison of Mobile Agent and Client-Server Paradigms for Information Retrieval Tasks in Virtual Enterprises”, Academia/Industry Working Conference on Research Challenges (AI-WORC'00), Buffalo, New York, pp. 209-214, April 2000.
- [49] Gray S. Robert, Kotz David, Peterson Ronald, Barton Joyce, Chacon Daria, Gerken Peter, Hofmann Martin, Bradshaw Jeffrey, Breedy Maggie, Jeffers Renia, and Suri Niranjana. “Mobile-Agent versus Client/Server Performance: Scalability in an Information-Retrieval Task.” in Proceedings of Mobile Agents, pages 229-243, 2001.
- [50] Strasser Markus and Schwehm Markus “A Performance Model for Mobile Agent Systems”, In Proc. of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'97), Las Vegas, Vol. 2, pp. 1132-1140, June 1997.
- [51] Ismail L, and Hagimont D, “A Performance Evaluation of the Mobile Agent Paradigm”, ACM SIGPLAN Notices, 34(10), pp. 306-313, October 1999.
- [52] Baldi M, and Picco G, “Evaluating the tradeoffs of mobile code design paradigms in network management applications”, In the Proceedings of the 20th

- International Conference on Software Engineering, Kyoto, Japan, pp. 146 – 155, April, 1998.
- [53] Aderounmu G. A “Performance comparison of remote procedure calling and mobile agent approach to control and data transfer in distributed computing environment” *Journal of Network and Computer Applications*, v.27 n.2, p.113-129, April 2004.
- [54] Dikaiakos M, Samaras G, "Performance Evaluation of Mobile Agents: Issues and Approaches." In *Performance Engineering. State of the Art and Current Trends*, Dumke, Rautenstrauch, Schmietendorf and Scholz (eds). *Lecture Notes of Computer Science series - Springer state of the art survey*, vol. 2047, May 2001.
- [55] Zonoozi M, and Dassanayake P, “User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.15, No.7, 1997.
- [56] ETSI : European Telecommunications Standards Institute [www.etsi.org/](http://www.etsi.org/)
- [57] Huawei's End-to-End WCDMA Solution : <http://www.huawei.com/publications/>
- [58] Bumer C. and Magedanz T., “Grasshopper - an agent platform for mobile agent-based services in fixed and mobile telecommunications environments”, *Book Article: Hayzelden, A.L.G.: Software agents for future communication systems*, Springer, 1999, pp. 326-357.
- [59] European Coordination Action for Agent-Based Computing : <http://www.agentlink.org>.
- [60] MASIF : Mobile Agent System Interoperability Facility: [www.omg.org](http://www.omg.org)
- [61] ebXML. Retrieved June 1, 2007 from <http://www.ebxml.org>.
- [62] FIPA: Foundation for the Intelligent Physical Agents. Retrieved June 1, 2007 from <http://www.fipa.org>.
- [63] Ishikawa Fuyuki, Yoshioka Nobukazu, Tahara Yasuyuki, and Honiden Shini-chi “Mobile Agent System for Web Services Integration in Pervasive Networks”, in the proceedings of the International Workshop on Ubiquitous Computing (IWUC 2004), pp.38-47, Porto, Portugal.
- [64] Ishikawa Fuyuki, Tahara Yasuyuki, Yoshioka Nobukazu, and Honiden Shini-chi, “Behavior Descriptions of Mobile Agents for Web Services Integration”, in

the proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2004), pp.342--349, San-Diego, CA.

- [65] JADE (2007): Java Agent Development Environment. Retrieved June 1, 2007 from <http://jade.tilab.com>.
- [66] jUDDI: Open source Java implementation of the Universal Description, Discovery, and Integration (UDDI) specification for Web Services. Retrieved June 1, 2007 from <http://ws.apache.org/juddi/>.
- [67] Lagana Kagal et al “Agents making sense of the semantic web”, in the proceedings of the First International Workshop on Radical Agent Concepts, (WRAC 2002), McLean, VA, USA.
- [68] Li, K., Verma, K., Mulye, R., Rabbani, R., Miller, J., & Sheth, “Designing Semantic Web Processes: The WSDL-S Approach” In J. Cardoso, A. Sheth (Ed.), Semantic Web Services, Processes and Applications, Springer-Verlag.
- [69] Brambilla Marco, Ceri Stefano, Passamani Mario, Riccio Alberto “Managing Asynchronous Web Services Interactions”, in Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS '04).
- [70] McIlraith, S, & Martin D, “Bringing semantics to web services”, IEEE Intelligent Systems, 18(1), 90–93.
- [71] Gibbins Nicholas, Harris Stephen, Shadbolt Nigel, “Agent based Semantic Web services” Journal of Web Semantics, Volume 1.
- [72] OWL-S (2007): OWL Web Ontology Language for Services. Retrieved June 1, 2007 from <http://www.w3.org/Submission/2004/07/>.
- [73] OWL-S/UDDI Matchmaker Web Interface: Retrieved June 1, 2007 <http://www.daml.ri.cmu.edu/matchmaker/>.
- [74] OWLSM. The TUB OWL-S Matcher. Retrieved June 1, 2007 from <http://kbs.cs.tu-berlin.de/ivs/Projekte/owlsmatcher/index.html>
- [75] OWLS-MX. Hybrid OWL-S Web Service Matchmaker. Retrieved June 1, 2007 from <http://www.dfki.de/~klusck/owls-mx/>.
- [76] Buhler P, et al “Adaptive Workflow = Web services + Agents”, in the proceedings of the International Conference on Web Services 2003 (ICWS03), Las Vegas, USA.

- [77] Buhler P, Jose M. Vidal “Enacting BPEL4WS specified workflows with multi-agent systems”, in the proceedings of the Workshop on Web Services and Agent-Based Engineering (WSABE04), New York, USA.
- [78] Pour G, Laad N, “Enhancing the Horizons of Mobile Computing with Mobile Agent Components.” Proceedings of the 5th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science and 1st IEEE/ACIS International Workshop on Component-Based Software Engineering, Software Architecture and Reuse (ICIS-COMSAR’06), pages 225- 230.
- [79] Montanari R, Tonti G, Stefanelli C, “A Policy-based Mobile Agent Infrastructure”, in the proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINT03) IEEE Computer Society Press, Orlando, USA.
- [80] Montanari R., Tonti G., Stefanelli C, “Policy-based Separation of Concerns for Dynamic Code Mobility Management”, in the proceedings of the 27th International Computer Software and Applications Conference, (COMPSAC’03), IEEE Computer Society Press, Dallas.
- [81] RACER: DL Reasoner. Retrieved June 1, 2007 from <http://www.racer-systems.com>.
- [82] Raghavan, V.V. and Wong, S.K.M. “A Critical Analysis of Vector Space Model for Information Retrieval”, JASIS 37(5), 279-287.
- [83] Keller Roman, Lausen D, et al “Web Service Modeling Ontology, Applied Ontology”, 1(1), 77–106.
- [84] Sheng-Tzong Cheng et al “A new framework for Mobile Web Services”, in the proceedings of the Symposium on Applications and the Internet (SAINT’02w) Nara City, Japan.
- [85] SWSL Committee (2007): Semantic Web Services Framework (SWSF). Retrieved June 1, 2007 from <http://www.daml.org/services/swsf>.
- [86] Gruber R. Tomas, “A Translation Approach to Portable Ontology Specification”, Knowledge Acquisition, Vol. 5.
- [87] Tsetsos V, Anagnostopoulos C, and Hadjiefthymiades S, "Semantic Web Service Discovery: Methods, Algorithms and Tools", chapter in "Semantic Web Services: Theory, Tools and Applications" (Ed. Dr. Jorge Cardoso), IDEA Group Publishing.

- [88] Wassam Zahreddine, Qusay H. Mahmoud “An agent-based approach to composite mobile web services” in the proceedings of the 19th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA05), Taipei, Taiwan.
- [89] Ying Huang, Jen-Yao Chung , “A Web Services-based Framework for Business Integration Solutions”, Electronic Commerce Research and Applications, 2(1):15-26. Volume 2.
- [90] W3C Web Service Architecture: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>.
- [91] Dhavalkumar Thakker et al, "Semantic-Driven Matchmaking and Composition of Web Services Using Case-Based Reasoning," Fifth European Conference on Web Services (ECOWS'07), p. 67-76, 2007.
- [92] Songtao Lin , Junliang Chen "Semantic Web Enabled VHE for 3rd Generation Telecommunications" Fourth Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS'05).
- [93] Aamodt A, Plaza E, “Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches” AI Communications 7(1) (1994), S.39-59.
- [94] Gruber R. Tomas (June 1993) “A Translation Approach to Portable Ontology Specification”, Knowledge Acquisition, Vol. 5.
- [95] CC/PP (2008): Composite Capabilities/Preference Profiles Retrieved January 2008, from <http://www.w3.org/Mobile/CCPP/>.
- [96] OSA Parlay X Web Services (2008): Parlay X Web Services Specifications. Retrieved January 2008 from <http://www.parlay.org/en/specifications/pxws.asp> .
- [97] Wassam Zahreddine, Qusay H. Mahmoud. "A Framework for Automatic and Dynamic Composition of Personalized Web Services." In 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'05), 2005.
- [98] Fellbaum C., WordNet: An On-Line Lexical Database and Some of its Applications. Cambridge, MIT Press, 1998.
- [99] D.M. Blei, A.Y. Ng, and M.I. Jordan “Latent dirichlet allocation” in Journal of Machine Learning Research, 3:993–1022, 2003.

- [100] Gaussier E, Goutte C, Popat K, and Chen F, “A hierarchical model for clustering and categorising documents” in *Advances in Information Retrieval – Proceedings of the 24th BCS-IRSG European Colloquium on IR Research (ECIR-02)*, pages 229–247. Springer, 2002.
- [101] Paaß G, Kindermann J, and Leopold E, “Learning prototype ontologies by hierarchical latent semantic analysis” in *Knowledge Discovery and Ontologies (KDO-2004)*, 2004.
- [102] Zavitsanos E, Paliouras G, Vouros G., and Petridis S, “Discovering subsumption hierarchies of ontology concepts from text corpora” in *Proceedings of the IEEE/WIC/ ACM International Conference on Web Intelligence - WI '07*. Springer-Verlag, 2007.
- [103] Hearst M, “Automatic Acquisition of Hyponyms from Large Text Corpora” in *14th International Conference on Computational Linguistics, Nantes, France, 1992*.
- [104] Roux C, et al “An Ontology Enrichment Method for a Pragmatic Information Extraction System Gathering Data on Genetic Interactions” in *Workshop on Ontology Learning, ECAI-2000, 2000*.
- [105] Bello Juan Jose et al “JColibri: An object oriented Framework for building CBR Systems” book chapter in *Advances in Case-Based-Reasoning*, SpringerLink, ISBN-978-3-5400-22882-0, November 2004.
- [106] Sabou “Learning Web Service Ontologies: an Automatic Extraction Method and its Evaluation” in *Ontology Learning and Population*. Eds. P. Buitelaar, P. Cimiano, B. Magnini. IOS Press, 2005.
- [107] Maedche A, “*Ontology Learning for the Semantic Web*” Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [108] Spiliopoulos V, Vouros G, Karkaletsis V, “Mapping Ontologies Elements using Features in a Latent Space” in the *2007 IEEE / WIC / ACM International Conference on Web Intelligence (WI 07)*, Silicon Valley, USA.
- [109] Spiliopoulos V, Valarakos A, Vouros G, Karkaletsis V, “SEMA: Results for the ontology alignment contest OAEI 2007” in *2nd Ontology Matching International Workshop, OAEI, Busan, Korea (2007)*.

- [110] Valarakos A et al "A name-Matching Algorithm for supporting Ontology Enrichment". In Proceedings of SETN'04, 3rd Hellenic Conference on Artificial Intelligence, Samos, Greece (2004).
- [111] Francois Bougant et al "The user profile for the virtual home environment" IEEE Communication magazine, January 2003, p. 93-98
- [112] Delivery Context: Client Interfaces (DCCI): <http://www.w3.org/TR/DPF/>
- [113] Shvaiko, P., Euzenat, J.: A survey of schema-based matching approaches. Journal on Data Semantics IV, LNCS, vol. 3730, pp. 14--171 (2005).
- [114] Le B.T., Dieng-Kuntz R., Gandon F., "On Ontology Matching Problems - for Building a Corporate Semantic Web in a Multi-Communities Organization". ICEIS, 4, 2004, pp. 236-243.
- [115]. Mitra P, Noy N, Jaiswal A. R.: Ontology Mapping Discovery with Uncertainty. In Proceedings of ISWC, 2005.
- [116] S. Melnik, H. Garcia-Molina, E. Rahm: Similarity Flooding: A Versatile Graph Matching Algorithm. In Proceedings of ICDE, 2002.
- [117] Kotis, G. Vouros, K. Stergiou, "Towards Automatic Merging of Domain Ontologies: The HCONE-merge approach", J. Web Semantics (JWS), 2006, pp. 60-79.
- [118] Giunchiglia, F., Yatskevich, M., Shvaiko, P.: Semantic Matching: Algorithms and implementation. Journal on Data Semantics, IX (2007).
- [119] Arthur B. W. "Inductive Reasoning and Bounded Rationality" American Economic Review, (A.E.A. Papers and Proc.), 84, p. 406-411, 1994
- [120] Greenwald A, Mishra B, and Parikh R. "The Santa Fe bar problem revisited: Theoretical and practical implications". Unpublished Manuscript, April 1998. [http://citeseer.ist.psu.edu/greenwald\\_98santa.html](http://citeseer.ist.psu.edu/greenwald_98santa.html), December 1998
- [121] Parkes David, Steinig Debbie "The Santa Fe Bar Problem: A Study in Multi-agent Learning"
- [122] Luce D. R, and Raiffa H, "Games and Decisions: Introduction and Critical Survey", John Wiley and Sons, 1957.
- [123] Farago J, Greenwald A, and Hall K, "Fair and Efficient Solutions to the Santa Fe Bar Problem," in proceedings of the Grace Hopper Celebration of Women in Computing 2002, Vancouver, October, 2002.



- [124] Sugar Robert, Imre Sándor "Mobile Agent Distribution in a Game-Theoretic Approach" *Mobility Aware Technologies and Applications/Mobile Agents for Telecommunication Applications (MATA) 2002*: p.163-170, Barcelona, Spain, 2002.
- [125] Alyfantis George, Hadjiefthymiades Stathes, and Merakos Lazaros, "An Overlay Smart Spaces System for Congestion-Free & Load Balanced Wireless LANs", in the *Mobile Networks and Applications (MONET)*, Special Issue on *Internet Wireless Access: 802.11 and Beyond*, Kluwer Academic Publishers.
- [126] Grenager Trond, Powers Rob, Shoham Yoav "Dispersion games: general definitions and some specific learning results" *Eighteenth national conference on Artificial intelligence* Edmonton, Alberta, Canada Pages: 398 - 403, 2002
- [127] Challet D, Zhang C. Y, "Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game" *Physica A*, Volume 246, Issue 3-4, p. 407-418, 02/1997
- [128] Zhang C. Y "Modelling Market Mechanism with Evolutionary Games" *Europhysics News* (March/April Issue, 1998)
- [129] Johnson N.F.1; Hui P.M.; Zheng D.; Tai C.W."Minority game with arbitrary cutoffs" *Physica A*, Volume 269, Number 2, 15 July 1999, pp. 493-502(10)
- [130] Cavagna Andrea "Irrelevance of memory in the minority game" *Phys. Rev. E* 59, R3783 - R3786 (1999) Issue 4 – April 1999
- [131] Suna, Alexandru and Klein, Gilles and El Fallah Seghrouchni, Amal (2004) "Using mobile agents for resource sharing". In *IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*, pp.389--392, IEEE Computer Society, 20-24 September 2004, Beijing, China.
- [132] Barford P, and Crovella M, "Generating representative web workloads for network and server performance evaluation" In *Proceedings of the ACM SIGMETRICS Conference*, Madison, WI, July 1998.
- [133] Shabtay Amit, Radinovich Zinovi, and Rosenschein Jeffrey "Behaviosites: A novel paradigm for affecting distributed behavior" in the proceeding of the *Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems AAMAS 06*, Hakodate, Japan, May 8-12, 2006
- [134] Papavassiliou S, Puliafito A, Tomarchio O, and Ye J, "Integration of Mobile Agents and Genetic Algorithms for Efficient Dynamic Network Resource Allo-

- cation”, In Proc. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC2001), pp. 456-463, July 2001
- [135] Papavassiliou S, Puliafito A, Tomarchio O, and Ye J, “Mobile Agent Based Approach for Efficient Network Management and Resource Allocation: Framework and Applications”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications (IEEE JSAC), vol.20:4, pp. 858-872, May 2002
- [136] Java Message Service (JMS) : <http://java.sun.com/products/jms/>
- [137] Moizumi Katsuhiko, Cybenko George, “The Travelling Agent Problem”
- [138] Rus Daniela, Gray Robert and Kotz David " Autonomous and Adaptive Agents that Gather Information" AAAI'96 International Workshop on Intelligent Adaptive Agents", pp"107--116", 1996
- [139] Baek Jin-Wook, Yeom Heon-Young, "d-Agent: an approach to mobile agent planning for distributed information retrieval," in IEEE Transactions on Consumer Electronics , vol.49, no.1, pp. 115-122, Feb. 2003.
- [140] Brewington Brian and Gray Robert and Moizumi Katsuhiko and Kotz David and Cybenko George and Rus Daniela. “Mobile Agents for Distributed Information Retrieval”. In Matthias Klusch, editor, Intelligent Information Agents, chapter 15, Springer-Verlag, 1999.(Available at <http://agent.cs.dartmouth.edu/papers/>)
- [141] Marwaha, S, Chen Khong Tham; Srinivasan, D., "A novel routing protocol using mobile agents and reactive route discovery for ad hoc wireless networks," 2002. ICON 2002. 10th IEEE International Conference on Networks, pp. 311-316, 2002
- [142] Di Caro, G., Ducatelle, F. and Gambardella, L. M. “AntHocNet: an Ant-Based Hybrid Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks" in the proceedings of the 8th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN VIII), Birmingham, UK, September 2004.
- [143] Ducatelle, F., Di Caro, G. and Gambardella, L. M." Ant Agents for Hybrid Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks " in the proceedings of the Second Annual Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS 2005), St. Moritz, Switzerland, January 2005.

- [144] Selamat, A.; Omatu, S., "Analysis on route selection by mobile agents using genetic algorithm," SICE 2003 Annual Conference , pp. 2088-2093 Vol.2, 4-6 Aug. 2003.
- [145] A. Fei, G. Pei, R. Liu, and L. Zhang, "Measurements on delay and hop-count of the Internet", in IEEE GLOBECOM'98 - Internet Mini-Conference, 1998.
- [146] G. Varaprasad, R.S.D Wahidabanu and P. Venkataram " An Efficient resource allocation scheme for multimedia application in MANET", Journal of Network and Computer Applications 31, 2008, p. 577-588
- [147] Yingyue Xu, Hairong Qi " Mobile agent migration modeling and design for target tracking in wireless sensor networks" Ad Hoc Networks 6, 3, 2008, p.1-16.
- [148] Jiannong Cao, Yodon Sun, Xianbin Wang, and Sajal K. Das " Scalable load balancing on distributed web servers using mobile agents" Journal of Parallel and Distributed Computing, 63, 2003, p. 996-1005
- [149] Hayfa Zgaya, Slim Hammadi and Khaled Ghedira "A migration strategy of mobile agents for the transport network applications" Mathematics and Computers in Simulation 76, 2008, p -345-362.
- [150] Ichiro Satoh "Reusable mobile agents for cluster computing" International Journal of High Performance Computing and Networking (IJHPCN), Vol. 2, No. 2/3/4, 2004
- [151] Sugar Robert, Imre Sándor, "Adaptive Clustering Using Mobile Agents in Wireless Ad-Hoc Networks", Proceedings of the 8th International Workshop on Interactive Distributed Multimedia Systems, p.199-204, September 04-07, 2001
- [152] Chlamtac Imrich, Conti Marco, J.-N Liu Jennifer. "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges" Ad Hoc Networks 1 (2003) p. 13–64
- [153] Belding-Royer Elizabeth, "Routing approaches in mobile ad hoc networks", in: S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, I. Stojmenovic (Eds.), Ad Hoc Networking, IEEE Press Wiley, New York, 2003.
- [154] Gerla Mario, Tsai Jack, "Multicenter, mobile, multimedia radio network", ACM/Baltzer Journal of Wireless Networks 1 (3) (1995) 255–265
- [155] W.J. Buchanan, N. Migas, G. Sinclair and K. McArtney "Analysis of an agent-based metric-driven method for ad-hoc, on-demand routing" Ad Hoc Networks Volume 4, Issue 2, March 2006, Pages 147-167

- [156] Aramudhan, M. et al “ELDMA: Enhanced Load Balancing Decision making using Decentralized Mobile Agent framework” International Conference on Computer and Communication Engineering,(ICCCE 2008), May 2008
- [157] Min Chen, Taekyoung Kwon, Yong Yuan and Victor C.M. Leung “Mobile Agent Based Wireless Sensor Networks” Journal of Computers Volume : 1 ,Issue : 1, April 2006
- [158] R.B. Patel, Manpreet Singh “Cluster computing: a mobile code approach” Journal of Computer Science, Oct, 2006.
- [159] Choudhury R.R.; Paul K. and Bandyopadhyay S. “MARP: A Multi-Agent Routing Protocol for Mobile Wireless Ad Hoc Networks” Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Volume 8, Number 1, January 2004, pp. 47-68(22).
- [160] A. Puliafito, S. Riccobene, M. Scarpa, “Which paradigm should I use?: An analytical comparison of the client-server, remote evaluation and mobile agents paradigms”, IEEE Concurrency and Computation: Practice & Experience, vol. 13, pp. 71-94, 2001.
- [161] Ravi Jain, Farooq Anjum, Amjad Umar “A Comparison of Mobile Agent and Client-Server Paradigms for Information Retrieval Tasks in Virtual Enterprises”, Academia/Industry Working Conference on Research Challenges (AI-WORC'00), Buffalo, New York, pp. 209-214, April 2000.
- [162] Robert S. Gray, David Kotz, Ronald A. Peterson, Joyce Barton, Daria Chacon, Peter Gerken, Martin Hofmann, Jeffrey Bradshaw, Maggie R. Breedy, Renia Jeffers, and Niranjana Suri. “Mobile-Agent versus Client/Server Performance: Scalability in an Information-Retrieval Task.” In Proceedings of Mobile Agents, pages 229-243, 2001.
- [163] N. F. Johnson, S. Jarvis, R. Jonson, P. Cheung, Y. R. Kwong, and P. M. Hui, “Volatility and agent adaptability in a self-organizing market”, preprint cond-mat/9802177, February 1998.

## ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

### Conferences/Workshops

- [164] Miltiadis Kyriakakos, Vasileios Baousis, Stathes Hadjiefthymiades, Lazaros Merakos “Ubiquitous Service Provision in Next Generation Mobile Networks” , in the proceedings of the 13th IST Mobile & Wireless Communications Summit, Lyon, France, June 2004.
- [165] Vasileios Baousis, Miltiadis Kyriakakos, Stathes Hadjiefthymiades, L. Merakos, “Performance Evaluation of a Mobile Agent-Based VHE Architecture in 3G Networks”, in the proceedings of the IEEE International Conference of Pervasive Services (ICPS), Santorini, Greece, July, 2005.
- [166] Vasileios Baousis, Elias Zavitsanos, Vasileios Spiliopoulos, Stathes Hadjiefthymiades, L. Merakos, G. Veronis “Wireless Web Services using Mobile Agents and Ontologies” in the proceedings of the IEEE International Conference of Pervasive Services (ICPS), Lyon, France, June 26-29, 2006
- [167] Vasileios Baousis, Konstantinos Tzannetakos, Elias Zavitsanos, Vasileios Spiliopoulos, Stathes Hadjiefthymiades “A Case Based Reasoning framework for service selection and adaptation in mobile networks” to be presented in the Pervasive Adaptation (PERADA) Workshop, 2nd IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems , Venice, October 2008.

### Journals

- [168] Vasileios Baousis, Vassilios Spiliopoulos, Elias Zavitsanos, Stathes Hadjiefthymiades, L. Merakos, “Semantic Web Services and Mobile Agents integration for efficient Mobile Services” in the International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), January - March 2008, p. 1-19
- [169] Vasileios Baousis, Miltiadis Kyriakakos, Stathes Hadjiefthymiades, L. Merakos “Performance Evaluation of a Mobile Agent-Based Platform for Ubiquitous Service Provision” Pervasive and Mobile Computing (PMC) Journal /Elsevier, Volume 4, Issue 5, pp. 755-774, October, 2008.

- [170] Vasileios Baousis, Stathes Hadjiefthymiades, George Alyfantis, Lazaros Merakos “Mobile Agent routing for efficient server resource allocation ” The Journal of Systems and Software (2008), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2008.12.029>
- [171] Vasileios Baousis, Miltiadis Kyriakakos, Stathes Hadjiefthymiades, Lazaros Merakos “A Multiagent Platform for Ubiquitous Service Provision” accepted for publications in Journal of Network and Systems Management (JNSM) Vol. 17, No. 4 (December 2009).

## **Book Chapters**

- [172] Vasileios Baousis, Vassileios Spiliopoulos, Elias Zavitsanos, Stathes Hadjiefthymiades, L. Merakos, “Semantic Web Services and Mobile Agents integration for efficient Mobile Services” in “Mobile Computing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications” Information Science Reference , November 2008 (Editor David Taniar)