ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διαχείριση Σημασιολογικής Πληροφορίας για το Διάχυτο Υπολογισμό

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Σ. ΤΣΕΤΣΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Διαχείριση Σημασιολογικής Πληροφορίας για το Διάχυτο Υπολογισμό

Βασίλειος Σ. Τσέτσος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Αλέξης Δελής, Καθηγητής ΕΚΠΑ

Μανόλης Κουμπαράκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αλέξης Δελής
Καθηγητής ΕΚΠΑ

Γεώργιος Κουρουπέτρογλου
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Λάζαρος Μεράκος
Καθηγητής ΕΚΠΑ

Αχιλλέας Καμέας
Επίκουρος Καθηγητής ΕΑΠ

Παναγιώτης Σταματόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Μανόλης Κουμπαράκης
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης
Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Ημερομηνία Εξέτασης 05/02/2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση γνώσης και σημασιολογικής πληροφορίας έχουν βρει εφαρμογή σε πολλές περιοχές της Πληροφορικής & των Τηλεπικοινωνιών τα τελευταία χρόνια. Ο λόγος είναι ότι μια τέτοια διαχείριση μπορεί να προσδώσει στα σύγχρονα και μελλοντικά υπολογιστικά περιβάλλοντα ευελιξία, προστιθέμενη αξία και χρηστικότητα. Στην παρούσα διατριβή μελετούνται διάφοροι τρόποι διαχείρισης σημασιολογικής πληροφορίας, για διαφορετικές πτυχές των σύγχρονων μοντέλων υπολογισμού. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση της πληροφορίας πλαισίου όταν αυτή περιγράφεται με τεχνικές αναπαράστασης γνώσης. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται μια παρουσίαση μεθόδων ανακάλυψης σημασιολογικά σχολιασμένων υπηρεσιών και προτείνεται ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση των σχετικών συστημάτων. Το πλαίσιο αυτό, όπως αποδεικνύεται από ένα πλήθος πειραμάτων, είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση των συστημάτων αυτών καθώς είναι πλήρως συμβατό με τα χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο μέρος, διερευνάται η χρήση της πληροφορίας πλαισίου σε συνδυασμό με μεθόδους ανταλλαγής πληροφορίας σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού για την επίτευξη συνεργατικής επίγνωσης πλαισίου. Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στον σχεδιασμό και αξιολόγηση ενός αποδοτικού σχήματος για συνεργατική επίγνωση πλαισίου. Τέλος, στο τρίτο μέρος παρουσιάζεται η εφαρμογή ενός πλαισίου εξατομίκευσης υπηρεσιών σε δύο εφαρμογές: σημασιολογικές υπηρεσίες θέσης και εξατομικευμένη διαδραστική τηλεόραση. Το πλαίσιο βασίζεται στην χρήση κανόνων και οντολογιών για τη παροχή προηγμένων υπηρεσιών στους χρήστες. Στο μέρος αυτό θίγονται διάφορα σχεδιαστικά και τεχνολογικά θέματα που άπτονται της υλοποίησης των εν λόγω υπηρεσιών.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διάχυτος Υπολογισμός

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διάχυτος Υπολογισμός, Διαχείριση Σημασιολογικής Πληροφορίας, Επίγνωση Πληροφορίας Πλαισίου, Κινητός Υπολογισμός, Σημασιολογικές Υπηρεσίες, Εξατομίκευση Υπηρεσιών

ABSTRACT

In recent years, knowledge and semantics management has been applied to many areas of Informatics and Telecommunications. The main reason is that such management enables the creation of more flexible and usable computing environments, with higher added value for the users. In this thesis various different cases of semantics information management are studied, that refer to different aspects of modern and future computing paradigms. A special focus is put on context information management, when it is described through knowledge representation techniques. Specifically, in the first part of the thesis several methods for semantic service discovery are presented. Moreover, an evaluation framework for service discovery engines is proposed, which satisfies the special requirements of this discovery process. This framework, as shown by the experimental evaluation performed, is appropriate for evaluating such engines, since it is fully compatible with their special characteristics. In the second part the combination of context-awareness and information dissemination in autonomic computing environments is explored. The main goal for such combination is to be able to achieve collaborative context-awareness. The main contribution of this thesis is the design and evaluation of a efficient scheme for collaborative context-awareness. Finally, in the third part, a framework for personalized services is presented along with two case studies: semantic location services and personalized interactive TV. The proposed framework relies on rules and ontologies for providing advanced services to TV subscribers. In this part several issues of architectural and technological nature are addressed that are closely relevant to the implementation of such services.

SUBJECT AREA: Pervasive Computing

KEYWORDS: Pervasive Computing, Semantic Information Management, Context-Awareness, Mobile Computing, Semantic Services, Service Personalization

Στη Βασούλα

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ 15
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 17
1.1. Περιβάλλοντα Διάχυτου Υπολογισμού 17
1.2. Διαχείριση Σημασιολογικής Πληροφορίας – Σημασιολογικός Ιστός 18
1.2.1 Αναπαράσταση Σημασιολογικής Πληροφορίας - Οντολογίες 18
1.2.2 Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web) 20
1.3. Επίγνωση Πλαισίου 22
1.4. Υπηρεσιοστραφείς Αρχιτεκτονικές 23
1.5. Σύνθεση Προηγμένων Υπολογιστικών Περιβαλλόντων 24
1.6. Οργάνωση και Συνεισφορά της Διδακτορικής Διατριβής 24
2 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥΣ 29
2.1. Εισαγωγή - Βασικές Έννοιες 29
2.1.1 Τεχνολογίες Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού 29
2.1.2 Ανακάλυψη Υπηρεσιών Ιστού 30
2.1.3 Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού και Ανακάλυψή τους 33
2.2. Αλγοριθμικές Προσεγγίσεις στην Ανακάλυψη ΥΣΙ 35
2.3. Αξιολόγηση Ανακάλυψης Υπηρεσιών 38
2.3.1 Βασικές έννοιες αξιολόγησης 41
2.3.2 Δυαδική αξιολόγηση και μειονεκτήματά της 42
2.4. Σχετικές Εργασίες 45
2.4.1 Αξιολόγηση Ανακάλυψης Υπηρεσιών Ιστού 45
2.4.2 Μετρικές Αξιολόγησης 46
2.4.3 Αξιολόγηση με Ελλιπείς ή Χωρίς Κρίσεις Σχετικότητας 51
2.5. Γενικευμένο Σχήμα Αξιολόγησης 53
2.5.1 Ασαφείς κρίσεις σχετικότητας από τους ειδικούς 54
2.5.2 Ασαφοποίηση του βαθμού ταύτισης 56
2.5.3 Γενικευμένες ασαφείς μετρικές αξιολόγησης 57
2.6. Άλλες Μετρικές για την Αξιολόγηση Συστημάτων Ανακάλυψης ΥΣΙ 58
2.6.1 Ορισμοί 58
2.6.2 Επέκταση του Average Weighted Discounted Precision (AWDP) 59
2.6.3 Επέκταση του Q-measure 59
2.7. Αυτόματη Δημιουργία Κρίσεων Σχετικότητας 60
2.7.1 Μέθοδος Borda Count 61
2.7.2 Μέθοδος Condorcet 64
2.8. Πειραματική Αξιολόγηση 66
2.8.1 Περιβάλλον Αξιολόγησης 66
2.8.1.1 Μηχανές Ανακάλυψης Υπηρεσιων 66
2.8.1.2 Μετρικές και Άλλες Παράμετροι 69
2.8.1.3 Συλλογές Υπηρεσιών 71
2.8.2 Πειράματα και Αποτελέσματα 72
2.8.2.1 Αποτίμηση των Ψευδοκρίσεων Σχετικότητας 72
2.8.2.2 Αποτίμηση Μετρικών 75
2.8.2.3 Αποτίμηση Μηχανών Ανακάλυψης Υπηρεσιών 84
2.9. Συμπεράσματα 85
3 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 87
3.1. Εισαγωγή 87
3.2. Βασικές Υποθέσεις και Μοντέλο Συστήματος 88

3.2.1 Μοντελοποίηση Εφαρμογών και Πληροφορίας Πλαισίου 89
3.2.2 Υπολογισμός με επίγνωση κατάστασης 92
3.2.3 Επικοινωνίες και άλλες υποθέσεις 95
3.3. Αρχιτεκτονική Σχήματος 95
3.3.1 Ροή Εργασίας 95
3.3.2 Σχεδίαση Αιτούντα Πλαισίου 96
3.3.3 Σχεδίαση Παρόχου Πλαισίου 97
3.3.4 Ειδικές περιπτώσεις 100
3.3.5 Lazy Context Requesting 101
3.4. Αποτίμηση Επιδόσεων 102
3.4.1 Παράμετροι Προσομοίωσης 102
3.4.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης 105
3.5. Συναφή Συστήματα 109
3.6. Συμπεράσματα 110
4 ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΣΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΑΣ 111
4.1 Εισαγωγή 111
4.1.1 Ενδεικτικές Σχετικές Εργασίες 113
4.2. Αρχιτεκτονική Σημασιολογικού Πλαισίου Εξατομίκευσης Εφαρμογών 114
4.3. Μοντελοποίηση Χρήστη 117
4.3.1 Γενικά 117
4.3.2 Θέματα Επιδόσεων για Υλοποιήσεις Μοντέλων Χρήστη 120
4.3.3 Μοντελοποίηση χρήστη για υπηρεσίες θέσης 123
4.4. Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες για την Κατασκευή SWEA με Τεχνολογίες Κανόνων 128
4.4.1 Δομή Κανόνων 128
4.4.2 Semantic Web Rule Language 128
4.4.3 Άλλες Προσεγγίσεις 130
4.4.4 Μηχανές κανόνων 131
4.5. Πρότυπες Εφαρμογές 132
4.5.1 Σημασιολογικές Υπηρεσίες Θέσης 132
4.5.1.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος 133
4.5.1.1.1 Μοντέλα Συστήματος 134
4.5.1.2 Διαδικασία εξατομίκευσης 136
4.5.1.2.1 Ροές Εργασιών της Εφαρμογής 136
4.5.1.3 Τεχνολογίες Υλοποίησης Συστήματος 138
4.5.1.4 Αποτίμηση Επιδόσεων 139
4.5.1.5 Συναφή Συστήματα 142
4.5.2 Σημασιολογικές Υπηρεσίες Διαδραστικής Τηλεόρασης 143
4.5.2.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος 144
4.5.2.1.1 Σημασιολογικό Συστατικό 148
4.5.2.2 Διαδικασία Εξατομίκευσης 149
4.5.2.3 Τεχνολογίες Υλοποίησης Συστήματος 153
4.5.2.4 Συναφή Συστήματα 154
4.6. Συμπεράσματα 154
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ 157
5.1. Συμπεράσματα 157
5.1.1 Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού 157
5.1.2 Συνεργατική Επίγνωση Πλαισίου 157
5.1.3 Σημασιολογική Εξατομίκευση Εφαρμογών 158
5.2. Μελλοντικές Κατευθύνσεις 158
5.2.1 Αποτίμηση Ανακάλυψης Σημασιολογικά Εμπλουτισμένων Υπηρεσιών 158

5.2.2 Συνεργατική Επίγνωση Πλαισίου 159
5.2.3 Σημασιολογική Εξατομίκευση Εφαρμογών και Μοντελοποίηση Χρήστη..... 160
ΑΝΑΦΟΡΕΣ 165

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και μελετά την αξιοποίηση και διαχείριση σημασιολογικής πληροφορίας σε περιβάλλοντα Διάχυτου Υπολογισμού.

Στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής μελετήθηκε η αξιοποίηση της Σημασιολογικής Πληροφορίας σε διάφορες πτυχές τέτοιων περιβαλλόντων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται θέματα που αφορούν σε:

- υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού (ανακάλυψη και αξιολόγηση σχετικών συστημάτων), απαραίτητες για την υλοποίηση προηγμένων υπηρεσιοστραφών αρχιτεκτονικών.
- συνεργατική επίγνωση πλαισίου και κατάστασης σε πλήρως αδόμητα περιβάλλοντα
- εξατομίκευση υπηρεσιών μέσω ενός σημασιολογικού πλαισίου αναφοράς.

Για τα παραπάνω θέματα προτάθηκαν τεχνικές, μέθοδοι και μοντέλα ικανά να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτά.

Ολοκληρώνοντας την εκπόνησή της διδακτορικής μου διατριβής, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω εκείνους τους ανθρώπους, οι οποίοι συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της. Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής μου, Επίκουρο Καθηγητή Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη, Καθηγητή Αλέξη Δελή και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Μανόλη Κουμπαράκη για την υποστήριξη και τις συμβουλές που μου παρείχαν.

Ιδιαίτερα, ευχαριστώ θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη, ο οποίος με την κριτική σκέψη και την συνεχή συμπαράσταση του, τόσο σε επιστημονικό όσο και σε φιλικό επίπεδο, με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Με τη καθοδήγησή του με βοήθησε να ανακαλύψω ενδιαφέροντα θέματα και προβλήματα συναφή με τη διατριβή μου και στη συνέχεια να τα προσεγγίσω και αντιμετωπίσω με δημιουργικούς και καινοτόμους τρόπους.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής, υπήρξα ένα από τα ιδρυτικά μέλη της Ερευνητικής Ομάδας Διάχυτου Υπολογισμού του Εργαστηρίου Δικτύων Επικοινωνιών. Το πολύ όμορφο κλίμα συνεργασίας που έχει αναπτυχθεί στην

ομάδα αυτή (και που σε μεγάλο βαθμό πηγάζει από τον επικεφαλής της Επικ. Καθηγητή Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη) την καθιστά ένα ιδανικό περιβάλλον για τη διεξαγωγή έρευνας. Ως μέλος της ομάδας αυτής, είχα την ευκαιρία να συζητήσω επιστημονικά ή τεχνικά θέματα με ανθρώπους, οι οποίοι ήταν πάντα πρόθυμοι να με συμβουλέψουν και να με βοηθήσουν. Η συνεργασία μαζί τους υπήρξε άριστη και πάρα πολύ εποικοδομητική και τους ευχαριστώ για αυτό. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνεργάτες και φίλους μου: Οδυσσέα Σέκκα, Χρήστο Αναγνωστόπουλο, Γιώργο Αλυφαντή, Βασίλη Παπαταξιάρχη και Μαρία Τζάνου.

Τέλος, ευχαριστώ όλα τα μέλη της οικογένειας μου και τους φίλους μου, των οποίων η συμβολή σε όλα τα επίπεδα ήταν πολύ σημαντική για μένα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με διάφορες πτυχές των σύγχρονων και μελλοντικών υπολογιστικών περιβαλλόντων και υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα ασχολείται με το πώς μπορούμε να αναπτύξουμε πιο ευφυή περιβάλλοντα υπολογισμού και κατ' επέκταση προηγμένες υπηρεσίες προς τους χρήστες. Οι τεχνικές και μέθοδοι που παρουσιάζονται σχετίζονται με διάφορες έννοιες όπως ο Διάχυτος Υπολογισμός, η διαχείριση γνώσης και σημασιολογικής πληροφορίας, οι υπηρεσιοστραφείς αρχιτεκτονικές συστημάτων και η επίγνωση πλαισίου και κατάστασης (context and situation awareness). Στις επόμενες παραγράφους της ενότητας δίνεται μια συνοπτική περιγραφή για τις έννοιες αυτές που αποσκοπεί στο να εξοικειώσει τον αναγνώστη με αυτές και να διευκολύνει έτσι την ανάγνωση και κατανόηση των επόμενων ενοτήτων.

1.1. Περιβάλλοντα Διάχυτου Υπολογισμού

Ο όρος «Διάχυτος Υπολογισμός» (Pervasive ή Ubiquitous Computing) διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Mark Weiser το 1991 [9]. Ο όρος αυτός περιγράφει ένα νέο μοντέλο υπολογιστικών περιβαλλόντων όπου υπάρχουν «διασκορπισμένοι/διάχυτοι» στο χώρο πολλοί, συνήθως μικροσκοπικοί, υπολογιστές και οι οποίοι συνεργάζονται ώστε να δώσουν στο χρήστη μια εντελώς νέα εμπειρία. Οι υπολογιστές, σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, δεν θα πρέπει να γίνονται αντιληπτοί από τους χρήστες. Από την άλλη, θα πρέπει να διαθέτουν την απαραίτητη ευφυΐα ώστε να δρουν προδραστικά για αυτούς. Ένας ορισμός για το Διάχυτο Υπολογισμό είναι ο εξής:

Ορισμός 1. *Διάχυτος Υπολογισμός* Η σχεδίαση και δημιουργία υπολογιστικών περιβαλλόντων που περιλαμβάνουν υλικό, επικοινωνίες και λογισμικό και που είναι πλήρως και διαφανώς ενσωματωμένα στο φυσικό περιβάλλον του χρήστη. ■

Η υλοποίηση αυτού του μοντέλου περιλαμβάνει πολλά στάδια και πολλές διαφορετικές ερευνητικές περιοχές. Μερικές από αυτές είναι:

- Έξυπνες και αναπροσαρμοζόμενες διεπαφές χρήστη (adaptive user interfaces)
- Επίγνωση πλαισίου και κατάστασης (context and situation awareness)
- Κυβερνοβοσκή (cyber foraging)
- Προδραστικότητα (proactivity)
- Ευφυείς χώροι (smart spaces) [10]

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος διάχυτου υπολογισμού, και τα

οποία θα μας απασχολήσουν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, είναι τα εξής:

- Προσαρμογή του συστήματος στις αλλαγές που συμβαίνουν στη κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος, του χρήστη και των εφαρμογών
- Χρηστοκεντρική λειτουργία εφαρμογών, έτσι ώστε να μεγιστοποιούνται τα οφέλη από τη χρήση ενός τέτοιου περιβάλλοντος
- Ευφυείς υπηρεσίες που μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις των χρηστών πολύ καλύτερα από τις υπηρεσίες που προσφέρονται σήμερα.

Προκειμένου ένα απλό υπολογιστικό περιβάλλον να αποκτήσει τα ανωτέρω χαρακτηριστικά, και τα προφανή οφέλη που αυτά συνεπάγονται για το χρήστη, πρέπει να αναπτυχθούν νέες μεθοδολογίες, τεχνικές και υποδομές. Θέση αυτής της εργασίας είναι ότι μια τέτοια υποδομή πρέπει να αξιοποιεί τεχνολογίες γνώσεων και να μπορεί να διαχειριστεί την σημασιολογία των διαφόρων οντοτήτων ενός τέτοιου περιβάλλοντος. Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται κάποιες βασικές γνώσεις σε θέματα σημασιολογικής πληροφορίας και διαχείρισής της.

1.2. Διαχείριση Σημασιολογικής Πληροφορίας – Σημασιολογικός Ιστός

Η έννοια των μεταδεδομένων (metadata) είναι αρκετά διαδεδομένη στην επιστήμη της Πληροφορικής. Ένας απλός και γρήγορος ορισμός είναι ότι τα μεταδεδομένα είναι όλα τα δεδομένα που περιγράφουν άλλα δεδομένα. Τα μεταδεδομένα μπορεί να είναι δομημένα ή αδόμητα. Σε πολλές περιπτώσεις είναι απλές λέξεις κλειδιά ενώ σε άλλες μπορεί να είναι όροι από συγκεκριμένα λεξιλόγια (controlled vocabularies). Ο τρόπος περιγραφής των μεταδεδομένων καθορίζει και τη σημασιολογία τους. Όσο πιο δομημένα είναι, τόσο πιο ξεκάθαρα περιγράφεται η σημασιολογία των αντίστοιχων δεδομένων.

Ορισμός 2. *Σημασιολογική Πληροφορία* καλούμε τα μεταδεδομένα που έχουν καλά ορισμένη δομή, υπακούν σε τυπικές (formal) γλώσσες αναπαράστασης γνώσης και ορίζουν έτσι με εκφραστικό και σαφή τρόπο τη σημασιολογία των δεδομένων που περιγράφουν (χαρακτηριστικά, περιορισμοί, σκοπός, σχέσεις με άλλα δεδομένα).

Η διαχείριση αυτής της πληροφορίας περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την αναπαράστασή της, την αποθήκευσή της, τη χρήση της σε διαδικασίες συμπερασμού και τη διαχείριση των αλλαγών που γίνονται σε αυτήν.

1.2.1 Αναπαράσταση Σημασιολογικής Πληροφορίας - Οντολογίες

Η αναπαράσταση της σημασιολογικής πληροφορίας (ή σημασιολογίας, για συντομία)

λοιπόν, έχει μεγάλη σημασία κατά την ανάπτυξη συστημάτων ή εφαρμογών/υπηρεσιών καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα τις εμπλεκόμενες έννοιες, να τις λάβουμε ενεργά υπόψη κατά την εκτέλεση των διάφορων διαδικασιών και να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για αυτές. Έτσι, η αυξανόμενη ανάγκη για αποτύπωση της σημασιολογίας οδήγησε το πεδίο της αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation) στην εξερεύνηση μεθόδων για την τυπική αναπαράστασή της. Η έρευνα αυτή έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια και συνεχώς εξελίσσεται. Από τις αρχές, όμως, της δεκαετίας του '90 φάνηκε ότι μια συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει όλα τα κατάλληλα στοιχεία για τη πρακτική αναπαράσταση γνώσης και σημασιολογίας. Η «μέθοδος»[1] αυτή είναι η οντολογία.

Ο πιο εύστοχος και περιεκτικός ίσως ορισμός της οντολογίας είναι ο εξής:

«Ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization»

(R. Studer 1998, πρωτότυπος ορισμός από τον T. Gruber το 1993)

Ο ορισμός αυτός θα μπορούσε να αποδοθεί στα ελληνικά ακολούθως:

«Οντολογία είναι μια τυπική, ρητή προδιαγραφή μιας κοινής εννοιολογικής θεώρησης ενός φαινομένου»

Κάθε λέξη του ορισμού έχει ιδιαίτερη βαρύτητα. Καταρχήν ο όρος «conceptualization» εννοεί ένα αφαιρετικό μοντέλο ενός φαινομένου. Η περιγραφή του μοντέλου αυτού γίνεται με μια προδιαγραφή που ορίζει ρητά τις βασικές έννοιες, τις συσχετίσεις, τους περιορισμούς και τα αξιώματα αυτού του μοντέλου. Επίσης, η προδιαγραφή αυτή πρέπει να είναι γραμμένη σε μια τυπική μορφή (formal) που της επιτρέπει να γίνεται κατανοητή και από μηχανές. Τέλος, η θεώρηση αυτή του φαινομένου θα πρέπει να είναι κοινή για όσους ασχολούνται με αυτό.

Σε πιο τεχνικό επίπεδο μια οντολογία είναι καταρχήν μια ιεραρχία εννοιών (κλάσεων). Όσο πιο πλήρης και τυπική είναι μια οντολογία τόσο προστίθενται και άλλα στοιχεία στην αρχική ιεραρχία. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι τα γνωρίσματα των εννοιών (attributes), διάφοροι περιορισμοί (restrictions), αξιώματα (axioms) και ρόλοι ή συσχετίσεις (roles). Εν γένει, μια οντολογία δεν απέχει πολύ από τα σύνολα κλάσεων που συναντούμε στον αντικειμενοστραφή σχεδιασμό ή τα μοντέλα οντοτήτων-συσχετίσεων (Entity-Relationship, E-R) που συναντούμε στο σχεδιασμό βάσεων δεδομένων. Η βασική της διαφορά είναι ότι σε κάθε σχεδιαστικό στοιχείο της έχει αποδοθεί σαφής σημασιολογία (formal semantics). Έτσι μια οντολογία δεν μπορεί να

[1] Ο όρος «μέθοδος» χρησιμοποιείται κάπως καταχρηστικά

ερμηνευτεί παρά μόνο με βάση τη σημασιολογία της γλώσσας περιγραφής της.

Συνοψίζοντας, η σημασιολογία μια έννοιας είναι ένα σύνολο μετα-πληροφορίας για αυτήν και ο πιο ενδεδειγμένος σύγχρονος τρόπος για να αναπαρασταθεί αυτή η σημασιολογία είναι η χρήση οντολογιών. Η οντολογία που σχεδιάζουμε για ένα πεδίο ενδιαφέροντος (domain), χρησιμοποιείται τόσο για να υπάρχει ένα κοινά αποδεκτό λεξιλόγιο του πεδίου όσο και για να μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα εκμεταλλευόμενοι τα στοιχεία μοντελοποίησης και τη σημασιολογία τους.

Βέβαια, οι οντολογίες δεν είναι ούτε η μόνη μέθοδος αναπαράστασης γνώσης, ούτε επαρκεί για όλες τις πιθανές απαιτήσεις των εφαρμογών. Άλλες πιο παραδοσιακές μορφές αναπαράστασης γνώσης, όπως οι κανόνες και τα λογικά προγράμματα, είναι εξίσου σημαντικά σε μερικές εφαρμογές. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, έγινε μια προσπάθεια να αξιοποιηθούν οι οντολογίες όσο το δυνατό περισσότερο, λόγω της στενής συσχέτισής τους με το Σημασιολογικό Ιστό.

1.2.2 Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web)

Η αξία και η σημασία του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web ή WWW ή απλώς Web) στην σχέση του ανθρώπου με τον υπολογιστή είναι πάρα πολύ μεγάλη. Το WWW έδωσε τη δυνατότητα σε εκατομμύρια ανθρώπους να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν, ανεξαρτήτως που βρίσκονται, τι εθνικότητας είναι και τι ενδιαφέροντα έχουν. Ένα πολύ μεγάλο μέρος της ανθρώπινης επικοινωνίας μέσω υπολογιστή καλύπτεται σήμερα από το Διαδίκτυο και τη βασικότερη εφαρμογή του, το WWW.

Παρόλα αυτά το WWW έχει ένα βασικό μειονέκτημα: βασίζεται στην συντακτική περιγραφή του περιεχομένου (content), κύριος στόχος της οποίας είναι η ευκολία (ή δυνατότητα) κατανόησης του από τον άνθρωπο. Έτσι οι ιστοσελίδες περιέχουν κείμενα ή άλλου είδους δημοσιευμένο περιεχόμενο τα οποία είναι κατανοητά μόνο από τους ανθρώπους. Το χαρακτηριστικό αυτό του WWW θεωρείται σαν ένα από τα μειονεκτήματά του, αφού δεν επιτρέπει την αυτόματη επεξεργασία του περιεχομένου. Τέτοια επεξεργασία προϋποθέτει μια καταλληλότερη περιγραφή του δημοσιευμένου περιεχομένου και αλγόριθμους που να προσδίδουν την επιθυμητή «ευφυΐα» στο υπολογιστικό περιβάλλον. Μια τέτοια περιγραφή θα πρέπει εκτός από το βασικό περιεχόμενο των ιστοσελίδων να περιλαμβάνει και δεδομένα που προορίζονται αποκλειστικά για τους υπολογιστές και που θα περιγράφουν την σημασιολογία (semantics) του περιεχομένου. Όσον αφορά στους αλγόριθμους, εφόσον υπάρχει η σωστή περιγραφή θα αναπτύσσονται ανάλογα με τη περίσταση και τη χρήση της πληροφορίας.

Το παραπάνω περιορισμό του WWW καθώς και τη λύση του οραματίστηκε πρώτος ο ιδρυτής του, Tim Berners-Lee [11], ο οποίος ονόμασε αυτό το εξελικτικό στάδιο του WWW σαν «Σημασιολογικό Ιστό» (Semantic Web). Ο Σημασιολογικός Ιστός έχει σαν στόχο να προσδώσει δομή στο νόημα του περιεχομένου των ιστοσελίδων, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου οι πράκτορες λογισμικού (software agents) «περιπλανώμενοι» από σελίδα σε σελίδα θα μπορούν να εκτελούν προηγμένες εργασίες για τους χρήστες. Ο Σημασιολογικός Ιστός δεν είναι ένας διαφορετικός ιστός αλλά μια επέκταση του υπάρχοντος Παγκόσμιου Ιστού, στην οποία η πληροφορία αποκτά καλά ορισμένο νόημα, δίνοντας τη δυνατότητα για πιο αποτελεσματική συνεργασία ανάμεσα στον άνθρωπο και στον υπολογιστή, αφού πλέον θα υπάρχει μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας ανάμεσά τους (η σημασιολογική περιγραφή).

Θα μπορούσαμε χωρίς σφάλμα να πούμε ότι ο Σημασιολογικός Ιστός αποτελεί τη βάση για μια πλήρως κατανεμημένη μορφή τεχνητής νοημοσύνης. Όπως είναι γνωστό, η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται κυρίως με δύο θέματα: την αναπαράσταση γνώσης (knowledge representation) και τις μεθόδους αναζήτησης και συμπερασμού (reasoning). Έτσι, για να λειτουργήσει ο Σημασιολογικός Ιστός θα πρέπει οι υπολογιστές να έχουν πρόσβαση σε δομημένες βάσεις γνώσης και σε κανόνες συμπερασμού τους οποίους να μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να διενεργήσουν αυτόματη συλλογιστική.

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες αναπαράστασης γνώσης έχουν σημειώσει κάποια πρόοδο αλλά δεν είναι ακόμα ικανές να υλοποιήσουν τις προσδοκίες της τεχνητής νοημοσύνης. Οι κλασικές μέθοδοι αναπαράστασης γνώσης προϋποθέτουν μια κοινή, παγκόσμια βάση γνώσης και κανόνων έτσι ώστε όλοι να χρησιμοποιούν τους ίδιους κανόνες. Από την άλλη πλευρά ο Σημασιολογικός Ιστός δεν επιβάλει την απόλυτη συμφωνία μεταξύ των διάφορων συστημάτων που θα διασυνδέει, τηρώντας έτσι την αρχή του συμβατικού WWW: δεν είναι σίγουρο ότι μπορείς να βρεις κάτι που ψάχνεις, ακόμη κι αν υπάρχει. Με αυτό το τίμημα όμως παρέχει ευελιξία και εκφραστικότητα αφού δεν περιορίζει την διαδικασία της αναπαράστασης γνώσης. Έτσι μια πρόκληση για τον Σημασιολογικό Ιστό είναι να παρέχει μια γλώσσα που θα εκφράζει και δεδομένα και κανόνες συλλογιστικής και θα επιτρέπει την εξαγωγή στο WWW κάθε υπάρχοντος συστήματος αναπαράστασης γνώσης.

Η μεγαλύτερη συμβολή της πρωτοβουλίας του Σημασιολογικού Ιστού μέχρι σήμερα είναι, για πολλούς, στη προτυποποίηση που παρείχε σε γλώσσες και τεχνολογίες. Πιο συγκεκριμένα, σήμερα η πιο διαδεδομένη γλώσσα για δημιουργία οντολογιών είναι η Web Ontology Language (OWL) [110]. Το συντακτικό της γλώσσας αυτής βασίζεται

στην XML (eXtensible Markup Language) και στην RDF/RDF Schema (Resource Description Framework) [110]. Η εκφραστικότητα και η σημασιολογία της OWL καθορίζεται κυρίως από τις Περιγραφικές Λογικές (Description Logics) [154].

1.3. Επίγνωση Πλαισίου

Η επίγνωση πλαισίου (context awareness) αναφέρεται στην ικανότητα μιας εφαρμογής, ή ενός συστήματος γενικότερα, να μπορεί να αντιλαμβάνεται αλλαγές σε διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν τη λειτουργία του και να προσαρμόζεται κατάλληλα. Ο στόχος της προσαρμογής μπορεί να διαφέρει από σύστημα σε σύστημα. Κάποιοι πιθανοί στόχοι είναι η συνέχιση της εύρυθμης λειτουργίας, η επίδειξη ευφυούς συμπεριφοράς, η βελτιστοποίηση διεργασιών ή επιδόσεων, κ.α.

Απαραίτητα στοιχεία για να μπορεί κάποιο σύστημα να επιδείξει επίγνωση πλαισίου είναι να μπορεί να αντιληφθεί το τρέχον πλαίσιό του καθώς και μεταβολές του. Για παράδειγμα, αν το πλαίσιο αναφέρεται στην κίνηση του χρήστη, τότε πρέπει το σύστημα να έχει στη διάθεση του κάποιο τρόπο εντοπισμού του. Όμοια, αν το πλαίσιο αναφέρεται σε περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία κλπ) τότε πρέπει το σύστημα να διαθέτει τους κατάλληλους αισθητήρες. Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν τέτοιοι μηχανισμοί ή οι υπάρχοντες δεν είναι επαρκείς μπορούν να αξιοποιηθούν τεχνικές συνεργατικής επίγνωσης πλαισίου [1] ή πρόβλεψης πλαισίου [2]. Σε επόμενο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με αυτό το θέμα εκτενέστερα.

Ένα άλλο απαραίτητο συστατικό για την επίγνωση πλαισίου είναι η μοντελοποίησή του. Για να μπορεί να αξιοποιηθεί πρέπει να είναι εκφρασμένο σε μια κατάλληλη μορφή. Στην βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα πλαισίου [3][4][5]. Τα μοντέλα αυτά επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά τους και με τη αξιοποίηση της πληροφορίας πλαισίου από το εκάστοτε σύστημα. Για παράδειγμα, στη παρούσα εργασία ασχολούμαστε με διαχείριση σημασιολογικής πληροφορίας, οπότε η πληροφορία πλαισίου πρέπει να αναπαρασταθεί με κάποιον κατάλληλο τρόπο αναπαράστασης γνώσης για να είναι αξιοποιήσιμη από τις σχετικές εφαρμογές. Επίσης η πληρότητα και λεπτομέρεια του μοντέλου πλαισίου είναι θέματα που καθορίζονται από τις εφαρμογές. Για παράδειγμα μπορεί κάποια εφαρμογή να θέλει να αποτυπώσει την κατάσταση του πλαισίου με μεγάλη λεπτομέρεια (π.χ. «ο χρήστης βρίσκεται στον 2^{ο} όροφο, στο δωμάτιο Β9») ενώ κάποια άλλη όχι (π.χ. «ο χρήστης βρίσκεται στην Ελλάδα»).

1.4. Υπηρεσιοστραφείς Αρχιτεκτονικές

Οι σύγχρονες τάσεις ανάπτυξης λογισμικού επιτάσσουν το σχεδιασμό των πληροφοριακών συστημάτων με βάση ΥπηρεσιοΣτραφείς Αρχιτεκτονικές (ΥΣΑ - Service Oriented Architectures, SOA). Μια ΥΣΑ είναι μια συλλογή από υπηρεσίες που επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία μπορεί να περιλαμβάνει είτε απλή μεταφορά δεδομένων είτε το συντονισμό/ενορχήστρωση ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες υπηρεσίες που εκτελούν μια διαδικασία. Σε κάθε περίπτωση, η αλληλεπίδραση και η εκτέλεση των υπηρεσιών δεν ελέγχεται μέσα από τον κώδικα της υλοποίησής τους αλλά με τεχνολογίες και γλώσσες ειδικού σκοπού. Για να μπορεί να υπάρχει τέτοιου είδους ευελιξία πρέπει οι υπηρεσίες αυτές να συνοδεύονται από κατάλληλα μεταδεδομένα που εκφράζονται επίσης σε γλώσσες ειδικού σκοπού.

Ο λόγος που χρησιμοποιούνται εκτενώς τέτοιες αρχιτεκτονικές είναι τα πολλά πλεονεκτήματα που έχει αυτή η προσέγγιση. Τα βασικότερα μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Επιτρέπουν τη δυναμική προσθήκη και ανακάλυψη νέας λειτουργικότητας. Έτσι είναι κατάλληλες για δυναμικά περιβάλλοντα καθώς οι αλληλεπιδράσεις τους μπορεί να είναι «κατά περίπτωση» (ad hoc).
- Επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ υπηρεσιών από διαφορετικούς παρόχους. Αυτό δίνει μεγάλη ευελιξία στα επιχειρηματικά μοντέλα των συστημάτων που υλοποιούνται με ΥΣΑ, καθώς υπηρεσίες από διάφορους παρόχους μπορούν να συνδυαστούν.
- Επιτρέπουν την υλοποίηση των υπηρεσιών με ετερογενείς τεχνολογίες.

Η πιο τυπική τεχνολογία για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών είναι οι Υπηρεσίες Παγκόσμιου Ιστού (Web Services) [149]. Αυτές αναπτύσσονται με ένα σύνολο προτύπων του W3C που βασίζονται στη γλώσσα XML. Μια επέκτασή τους είναι οι Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού (ΥΣΙ, Semantic Web Services), οι οποίες κάνουν εκτεταμένη χρήση σημασιολογικής πληροφορίας για την περιγραφή των λειτουργιών και χαρακτηριστικών κάθε υπηρεσίες. Η επιπλέον σημασιολογία που φέρουν οι τελευταίες, υλοποιημένη με τεχνολογίες ΣΙ (π.χ. WSDL-SA [6], OWL), επιτρέπουν πιο προηγμένη ανακάλυψη και σύνθεση υπηρεσιών. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο κατάλληλες για ανοικτά υπολογιστικά περιβάλλοντα, όπως αυτά με τα οποία ασχολούμαστε στη παρούσα διατριβή.

1.5. Σύνθεση Προηγμένων Υπολογιστικών Περιβαλλόντων

Όλα τα ανωτέρω, παρόλο που σχετίζονται με διαφορετικές περιοχές της επιστήμης των υπολογιστών, αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία προηγμένων, από άποψη ευελιξίας, απόδοσης και ευφυΐας, συστημάτων. Τα βασικά χαρακτηριστικά τέτοιων συστημάτων, όπως τα αντιλαμβανόμαστε, είναι:

Κατανεμημένος Υπολογισμός σε Ετερογενή Περιβάλλοντα. Οι εφαρμογές βασίζονται σε υπηρεσίες που παρέχονται από διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες του Παγκόσμιου και του Σημασιολογικού Ιστού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ανάπτυξη τέτοιων περιβαλλόντων με υπηρεσιοστραφείς αρχιτεκτονικές. Ειδικά οι σημασιολογικά σχολιασμένες υπηρεσίες του ΣΙ μπορούν να ανακαλυφθούν, συντεθούν και να εκτελεστούν με αρκετά αυτοματοποιημένο τρόπο.

Συνεργατικός Υπολογισμός (Collaborative Computing). Οι διάφορες οντότητες σε ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορούν πάντα να αρκεστούν στους ιδίους πόρους τους και στις δυνατότητές τους για να εκτελέσουν επιτυχώς τις απαιτητικές εφαρμογές των χρηστών. Έτσι πρέπει να υπάρχουν μηχανισμοί που να επιτρέπουν την συνεργατική εκτέλεση των εφαρμογών. Η συνεργατικότητα στα πλαίσια αυτής της εργασίας έχει το νόημα της ελεύθερης παροχής λειτουργικότητας, πληροφορίας ή μέσου επικοινωνίας από όλες τις οντότητες τους συνεργατικού περιβάλλοντος.

Ευφυής Συμπεριφορά και Εξατομίκευση Εφαρμογών. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι στο κέντρο κάθε πληροφοριακού συστήματος βρίσκεται ο άνθρωπος-χρήστης. Όλες οι εφαρμογές πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο ευφυείς και να απαιτείται η μικρότερη δυνατή παρέμβαση του ανθρώπου για την παροχή λειτουργικότητας υψηλής ποιότητας. Βασικές προϋποθέσεις για αυτό το χαρακτηριστικό είναι η επίγνωση πλαισίου αλλά και η δυνατότητα συλλογιστικής και συμπερασμού που μπορεί να επιτευχθεί με την υιοθέτηση τεχνολογιών γνώσης και την αναπαράσταση της σημασιολογίας των συστημάτων.

Τα χαρακτηριστικά αυτά θεωρούμε ότι είναι απαραίτητα για κάθε σύστημα Διάχυτου Υπολογισμού, ακόμα και αν μερικά από αυτά προέρχονται από άλλα υπολογιστικά μοντέλα (π.χ. Παγκόσμιος Ιστός).

1.6. Οργάνωση και Συνεισφορά της Διδακτορικής Διατριβής

Η παρούσα διατριβή οργανώνεται σε τρία βασικά μέρη που ασχολούνται με διαφορετικές πτυχές της διαχείρισης σημασιολογικής πληροφορίας σε σύγχρονα υπολογιστικά περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα διερευνώνται θέματα που άπτονται των χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Βασικός στόχος

της εργασίας δεν ήταν η ανάπτυξη κάποιου ολοκληρωμένου πλαισίου που να καλύπτει όλα αυτά τα θέματα με τη μέγιστη δυνατή συνοχή. Αντίθετα κάποια ενδιαφέρονται προβλήματα από κάθε θεματική περιοχή αναδείχθηκαν και προτάθηκαν συγκεκριμένες λύσεις.

Το πρώτο μέρος της εργασίας ασχολείται με θέματα αξιολόγησης συστημάτων ανακάλυψης υπηρεσιών (service discovery). Αρχικός στόχος της διατριβής, σε αυτή την ερευνητική περιοχή, ήταν όχι η αξιολόγηση αυτών των συστημάτων αυτή καθεαυτή αλλά ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός νέου συστήματος για την ανακάλυψη Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού (ΥΣΙ). Μετά, όμως, από μια εκτενέστατη βιβλιογραφική αναζήτηση που αποτυπώνεται στο [27], προέκυψε ότι αυτό που πραγματικά λείπει από τη διεθνή βιβλιογραφία, δεν είναι νέες μέθοδοι ανακάλυψης αλλά μεθοδολογίες και εργαλεία για την αξιολόγηση των υπαρχουσών ή μελλοντικών μεθόδων. Έτσι η διατριβή γρήγορα στράφηκε προς τη μελέτη κατάλληλων τρόπων αξιολόγησης σχετικών συστημάτων, οι οποίοι να λαμβάνουν υπόψη τους τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ΥΣΙ και των συστημάτων αυτών. Τα βασικά θέματα που μελετήθηκαν είναι δύο:

α) η εύρεση κατάλληλων μετρικών για την αξιολόγηση των συστημάτων, και

β) η δημιουργία μιας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση συστημάτων με βαθμωτή κλίμακα σχετικότητας (graded relevance) και χωρίς κρίσεις σχετικότητας από ειδικούς (relevance judgments).

Οι συνεισφορές της εργασίας στα παραπάνω προβλήματα συνοψίζονται στα εξής:

α) προτάθηκαν δύο μετρικές που χρησιμοποιούνται σε γενικευμένα συστήματα ανάκτησης πληροφορίας και είναι κατάλληλες για αξιολόγηση βαθμωτών αποτελεσμάτων και πιο ακριβείς από τις καθιερωμένες μετρικές (Ακρίβεια/Precision και Ανάκληση/Recall).

β) προτάθηκε μια μέθοδος που συνδυάζει διάφορες τεχνικές από το πεδίο της Ανάκτησης Πληροφορίας (Information Retrieval, IR) για την αξιολόγηση συστημάτων ανακάλυψης υπηρεσιών. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί την ύπαρξη κρίσεων σχετικότητας από ειδικούς καθώς παράγει αυτόματα κάποιες ψευδοκρίσεις σχετικότητας. Η μέθοδος αυτή τελικά αξιοποιεί τις μετρικές που προαναφέρθηκαν για να αξιολογήσει και να συγκρίνει τέτοια συστήματα.

Το δεύτερο μέρος της εργασίας αναφέρεται σε ένα θέμα που σχετίζεται άμεσα με το διάχυτο υπολογισμό. Συγκεκριμένα, μελετείται η συνεργατική επίγνωση πλαισίου (context-awareness) μέσω αποδοτικής ανταλλαγής μηνυμάτων σε νομαδικά περιβάλλοντα. Με τον όρο νομαδικά περιβάλλοντα εννοούμε αδόμητα (ad hoc) δίκτυα

κινητών κόμβων που δεν έχουν καμία οργάνωση και βασίζονται σε επικοινωνίες περιορισμένης εμβέλειας που υλοποιούνται κατά περίπτωση. Τέτοια δίκτυα για παράδειγμα είναι τα δίκτυα κινούμενων οχημάτων (vehicular networks). Σε τέτοια δίκτυα θέλουμε να εκτελούνται ευφυείς υπηρεσίες με επίγνωση πλαισίου. Ένας αποτελεσματικός τρόπος να γίνει αυτό είναι μέσω τεχνολογιών και τεχνικών αναπαράστασης γνώσης και συλλογιστικής. Όμως σε τέτοια δίκτυα οι πόροι που είναι διαθέσιμοι στους κόμβους είναι συνήθως περιορισμένοι. Για παράδειγμα, δεν έχουν όλοι οι κόμβοι διαθέσιμους αισθητήρες ή η μπαταρία τους μπορεί να διαθέτει περιορισμένη χωρητικότητα. Έτσι απαιτείται οι κόμβοι να συνεργαστούν για να παρέχουν τις επιθυμητές υπηρεσίες στους χρήστες και οι επικοινωνία μεταξύ τους να είναι αρκετά αποδοτική (π.χ., μικρός αριθμός ανταλλασσόμενων μηνυμάτων).

Η συνεισφορά της εργασίας έγκειται στην πρόταση ενός σχήματος publish/subscribe στο οποίο οι κόμβοι ανταλλάσουν μεταξύ τους με αποδοτικό τρόπο πληροφορία πλαισίου που παράγεται από αισθητήρες. Το σχήμα αυτό κάνει ελάχιστες υποθέσεις για το δίκτυο και τους κόμβους και προσπαθεί να παρέχει ικανοποιητική ευαισθησία στην ανίχνευση συμβάντων και καταστάσεων που εξαρτώνται από πληροφορία πλαισίου. Όπως περιγράφεται και στο Κεφάλαιο 3, το σχήμα αυτό είναι αρκετά αποδοτικό και παρέχει μεγάλη κλιμάκωση σε σχέση με άλλα σχήματα που μπορούν να εφαρμοστούν στο ίδιο περιβάλλον υπολογισμού.

Στο <u>τρίτο μέρος</u> της εργασίας μελετούνται <u>θέματα εξατομίκευσης υπηρεσιών και εφαρμογών επίγνωσης πλαισίου</u> (context-aware applications) με τη βοήθεια σημασιολογικής πληροφορίας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ένα γενικό πλαίσιο (framework) για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών. Βασικά στοιχεία αυτού του πλαισίου είναι μοντέλα που αναπαριστούν όλες τις βασικές οντότητες της εφαρμογής, με σημαντικότερο το μοντέλο χρήστη. Στα πλαίσια της εργασίας έγινε μια διεξοδική ανάλυση της μοντελοποίησης χρήστη, κυρίως από τη σκοπιά εφαρμογών επίγνωσης πλαισίου. Η μοντελοποίηση αυτή βασίστηκε σε οντολογίες. Η εξατομίκευση σε αυτό το πλαίσιο επιτυγχάνεται με κατάλληλο συνδυασμό των προαναφερθέντων μοντέλων, της πληροφορίας πλαισίου, και κανόνων εξατομίκευσης που χρησιμοποιούνται για το συμπερασμό (reasoning) της κατάστασης του χρήστη και τη λήψη αποφάσεων της εφαρμογής ώστε να του παρέχει προηγμένη λειτουργικότητα και εμπειρία κατά τη χρήση της (advanced user experience).

Το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιήθηκε, κατάλληλα προσαρμοσμένο, για την ανάπτυξη δύο διαφορετικών συστημάτων παροχής υπηρεσιών. Το πρώτο είναι ένα σύστημα παροχής

Σημασιολογικών Υπηρεσιών Θέσης (Semantic Location-based Services ή Semantic LBS). Στόχος του είναι να παρέχει προηγμένες υπηρεσίες θέσης, όπως πλοήγηση και πληροφορίες για κοντινά σημεία ενδιαφέροντος, σε χρήστες με αναπηρίες (ΑμεΑ). Για να επιτευχθεί αυτό, συνδυάζεται ένα μοντέλο χρήστη με ένα μοντέλο χώρου έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να επιλέξει διαδρομές που είναι προσβάσιμες από το χρήστη, λαμβάνοντας έτσι υπόψη του τις πιθανές αναπηρίες/δυσλειτουργίες του. Η εκτενής χρήση τεχνικών αναπαράστασης γνώσης σε αυτό το πεδίο εφαρμογής είναι μια από τις καινοτομίες της εργασίας.

Το δεύτερο σύστημα σχετίζεται με την εξατομίκευση πολυμεσικού περιεχομένου σε περιβάλλοντα διαδραστικής τηλεόρασης. Στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται πάλι ένα μοντέλο χρήστη και ένα αναλυτικό μοντέλο περιεχομένου, έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες ευφυείς υπηρεσίες κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής του πολυμεσικού περιεχομένου. Παρόλο που έχουν προταθεί παρόμοια συστήματα στη βιβλιογραφία, κανένα δεν κάνει τόσο εκτενή χρήση σημασιολογίας για να επιτύχει την εξατομίκευση των υπηρεσιών. Αυτό ο δηλωτικός τρόπος για να επηρεάζεται η παροχή και λειτουργία των υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας είναι, κατά τη γνώμη μας, πολύ βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη και διάδοσή τους. Η γενική αρχιτεκτονική του πλαισίου, οι αντίστοιχες τεχνολογίες και τα δύο συστήματα που το υλοποίησαν παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια σύνοψη των βασικών συμπερασμάτων της έρευνας που διεξήχθησε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής και θίγονται μερικά θέματα που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διδακτορική διατριβή συνείσφερε στα ακόλουθα επιστημονικά πεδία:

- Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού
- Διάχυτος Υπολογισμός
- Αυτόνομος Υπολογισμός (autonomic computing)
- Επίγνωση Πλαισίου
- Ανακάλυψη Πληροφορίας και Γνώσης
- Υπηρεσίες Θέσης
- Πολυμεσικές Εφαρμογές

2 ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

2.1. *Εισαγωγή - Βασικές Έννοιες*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, η υλοποίηση Υπηρεσιοστραφών Αρχιτεκτονικών αποτελεί πλέον μια από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις στη σχεδίαση πληροφοριακών συστημάτων. Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την υλοποίηση τέτοιων αρχιτεκτονικών είναι οι Υπηρεσίες Ιστού (ΥΙ, Web Services). Διάφορα πρότυπα και τεχνολογίες σχετίζονται με τις ΥΙ ώστε να υποστηριχθεί όλος ο κύκλος ζωής ενός τέτοιου συστήματος (για μια επισκόπηση της περιοχής βλ. [12]). Στη παρούσα ενότητα επειδή θα ασχοληθούμε με την ανακάλυψη των ΥΙ θα επικεντρωθούμε στις μεθόδους περιγραφής των ΥΙ και τις αντίστοιχες τεχνολογίες.

Η οργάνωση του παρόντος κεφαλαίου έχει ως εξής: Στο υπόλοιπο της ενότητας 2.1 και στην ενότητα 2.2 περιγράφουμε βασικές γνώσεις για τις Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού (ΥΣΙ) και ιδιαίτερα για τους τρόπους που έχουν προταθεί για την ανακάλυψή τους. Στη συνέχεια, στην ενότητα 2.3 παρουσιάζουμε τις βασικές έννοιες και προσεγγίσεις για την αποτίμηση της διαδικασίας ανακάλυψης υπηρεσιών. Στην ενότητα 2.4 γίνεται μια εκτενής επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Οι προτάσεις μας για νέες μετρικές που είναι πιο κατάλληλες για το πεδίο των ΥΣΙ περιγράφονται στις ενότητες 2.5 και 2.6. Στην ενότητα 2.7 μελετάμε το θέμα της αξιολόγησης με ελλιπείς ή χωρίς κρίσεις σχετικότητας. Εκεί προτείνουμε και κάποιες μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στην ενότητα 2.8 παρουσιάζουμε τα ευρήματα μας από την πειραματική αξιολόγηση των μεθόδων και μετρικών που προτάθηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Το κεφάλαιο κλείνει με μια επιγραμματική παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων και συνεισφορών της παρούσας εργασίας.

2.1.1 Τεχνολογίες Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού

Οι ΥΙ περιγράφονται με τη βοήθεια της Web Service Description Language (WSDL) που βρίσκεται στην 2η έκδοσή της [13]. Κάθε έγγραφο WSDL που συνοδεύει μια ΥΙ περιέχει το όνομά της και μια περιγραφή της συνολικής λειτουργικότητάς της. Επιπλέον, περιέχει το όνομα και μια περιγραφή για κάθε συγκεκριμένη λειτουργία (operation) της υπηρεσίας καθώς και περιγραφές για τις παραμέτρους των εισόδων/εξόδων κάθε

λειτουργίας. Όλες αυτές οι περιγραφές εκφράζονται μέσα από φράσεις φυσικής γλώσσας.

Μετά τη δημιουργία τους, τα WSDL έγγραφα δημοσιεύονται στα μητρώα υπηρεσιών (service registries). Η βασική τεχνολογία-πρότυπο για τέτοια μητρώα είναι το UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) [14]. Η προδιαγραφή του UDDI ορίζει:

- Ένα μοντέλο δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη περιγραφή εταιρειών και ΥΙ, και
- Μια προγραμματιστική διεπαφή (Application Programming Interface, API) για τη δημοσίευση και ανάκτηση UDDI δεδομένων

Το μοντέλο δεδομένων ορίζεται με έγγραφα XML Schema που αποτελούνται από τα ακόλουθα τέσσερα στοιχεία:

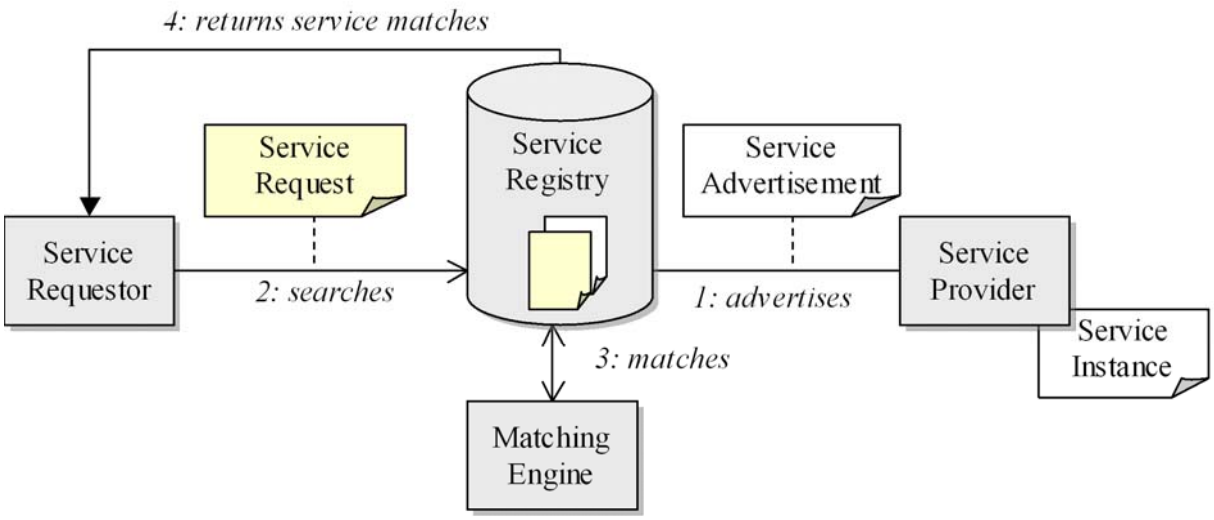
1. *businessEntity*: πληροφορίες για τον πάροχο της υπηρεσίας (όνομα, περιγραφή, στοιχεία επικοινωνίας). Συνήθως, υπάρχει και μια αναφορά σε κάποιο επιχειρηματικό κατάλογο (ταξινομία).
2. *businessService*: πληροφορίες για μια ΥΙ ή μια ομάδα ΥΙ (όνομα υπηρεσίας, περιγραφή και, προαιρετικά, μια λίστα με bindingTemplates)
3. *bindingTemplate*: πληροφορίες για τη τοποθεσία μιας ΥΙ και τον τρόπο πρόσβασής της
4. *tModel (technical Model)*: ένας δείκτης σε εξωτερικές τεχνικές προδιαγραφές της υπηρεσίας. Ο πιο συνήθης τύπος τέτοιων προδιαγραφών είναι τα WSDL έγγραφα. Τα tModels περιλαμβάνουν επίσης ένα όνομα και μια περιγραφή.

Στην αρχιτεκτονική του UDDI η ανακάλυψη υπηρεσιών γίνεται είτε χειροκίνητα (με περιήγηση σε ταξινομίες και σελίδες καταλόγου) ή προγραμματιστικά (μέσω του UDDI API).

2.1.2 Ανακάλυψη Υπηρεσιών Ιστού

Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός τυπικού συστήματος ανακάλυψης ΥΙ. Ο πάροχος υπηρεσιών (service provider) είναι η οντότητα που παρέχει υπηρεσίες σε άλλες οντότητες κατόπιν αιτήσεως. Κάθε πάροχος προσπαθεί να διαφημίσει τις υπηρεσίες του (service instances) σε πιθανούς χρήστες. Αυτό γίνεται δημοσιοποιώντας περιγραφές υπηρεσιών (service advertisements/descriptions) σε μητρώα υπηρεσιών. Οι οντότητες που θέλουν να ανακαλύψουν υπηρεσίες (service requestors) στέλνουν

αιτήσεις (service requests) στο μητρώο. Οι αιτήσεις αυτές είναι δομικά και εννοιολογικά όμοιες με τις περιγραφές των υπηρεσιών. Τελικά κάποια μηχανή ανακάλυψης (matching engine) προσπαθεί να ταιριάξει τις περιγραφές των υπηρεσιών με τις αιτήσεις και να επιστρέψει τις πιο σχετικές υπηρεσίες. Προφανώς, όσο πιο «ευφυής» είναι ο αλγόριθμος ταιριάσματος τόσο πιο αποδοτική θα είναι η διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών. Τόσο οι αιτήσεις όσο και οι περιγραφές εκφράζονται σε ειδικές γλώσσες (όπως, π.χ. η WSDL). Η εκφραστικότητα αυτών των γλωσσών, καθώς και η πληρότητα των αιτήσεων/περιγραφών, επηρεάζουν επίσης την αποτελεσματικότητα της ανακάλυψης των υπηρεσιών.



Σχήμα 2.1. Αρχιτεκτονική αναφοράς για ανακάλυψη ΥΙ

Όσον αφορά στις μεθόδους ανακάλυψης που πρακτικά χρησιμοποιούνται, τα τυπικά μητρώα που υλοποιούνται με βάση το πρότυπο UDDI, επιτρέπουν αναζήτηση υπηρεσιών με λέξεις κλειδιά. Πιο συγκεκριμένα, οι υπηρεσίες μπορεί να αναζητηθούν ανά κατηγορία, όνομα, τοποθεσία, πάροχο (π.χ., εταιρία), συνδέσεις (bindings) ή tModels. Η αναζήτηση μπορεί να βοηθηθεί και από κατάλληλους τελεστές που επιτρέπουν προσεγγιστική αναζήτηση με τη χρήση χαρακτήρων γενικής εφαρμογής (wildcards). Πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει βελτιώσεις στη διαδικασία αναζήτησης, κυρίως βασιζόμενοι σε τεχνικές της Ανάκτησης Πληροφορίας (Information Retrieval, IR). Η κεντρική ιδέα είναι να αναπαρασταθούν οι περιγραφές των υπηρεσιών με βάση μοντέλα δεδομένων IR (π.χ. ανύσματα εγγράφων) στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές IR (π.χ. μετρικές ομοιότητας, συσταδοποίηση). Περισσότερες λεπτομέρειες για τέτοιες προσεγγίσεις μπορούν να βρεθούν στα [15] [16].

Όμως γενικά όλες οι ανωτέρω μέθοδοι για ανακάλυψη ΥΙ έχουν κάποια προβλήματα που οφείλονται κατά κύριο λόγο στις τεχνολογίες περιγραφής υπηρεσιών και κατά

δεύτερον στους αλγορίθμους ανακάλυψης. Αυτά τα προβλήματα, που συνοψίζονται παρακάτω, πολλές φορές εμποδίζουν τις μηχανές ανακάλυψης υπηρεσιών να επιστρέψουν τις πιο σχετικές υπηρεσίες:

Α) Μη τυπική περιγραφή των δυνατοτήτων/λειτουργιών μιας υπηρεσίας: Η υψηλού επιπέδου λειτουργικότητα των υπηρεσιών περιγράφεται με αδόμητο ή ημι-δομημένο τρόπο (συνήθως φυσική γλώσσα ή λέξεις κλειδιά). Επιπλέον, τα μητρώα όπως το UDDI δεν μπορούν να εκτελέσουν κάποια προηγμένη συλλογιστική. Αυτό εμποδίζει τη διαδικασία ανακάλυψης αν οι περιγραφές και οι αιτήσεις υπηρεσιών δεν χρησιμοποιούν το ίδιο λεξιλόγιο. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία που ανήκει στην κατηγορία “Dating Services” του NAICS[2] δεν μπορεί να ταιριάξει με μια αίτηση για “Personal Relationships Services”.

Β) Ελλιπείς περιγραφές υπηρεσιών: Το επίπεδο λεπτομέρειας κάθε περιγραφής καθορίζεται από τον εκάστοτε πάροχο, εφόσον δεν υπάρχουν υποχρεωτικά πεδία. Έτσι είναι συχνό φαινόμενο να μην υπάρχουν αναλυτικές και αρκετά πλήρεις περιγραφές υπηρεσιών.

Γ) Συντακτική και πραγματική σχετικότητα: Το καθαρά συντακτικό ταίριασμα υπηρεσιών δεν μπορεί προφανώς να δώσει ποιοτικά αποτελέσματα (μόνο περιγραφές με ίδιες λέξεις κλειδιά θα ταιριάξουν). Αυτό το ακριβές ταίριασμα (exact matching) δεν μπορεί πάντα να αντικατοπτρίσει την πραγματική σημασιολογία των περιγραφών των υπηρεσιών ή των αιτήσεων. Επίσης, μπορούν να εμφανιστούν και φαινόμενα όπως η πολυσημία ή η αμφισημία. Επιπλέον, τέτοιου είδους περιγραφές δεν μπορούν να περιγράψουν λεπτομέρειες για την εσωτερική λειτουργία των υπηρεσιών (ροές εργασιών και δεδομένων) που πιθανότατα να μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε περιπτώσεις ανακάλυψης, αλλά και σύνθεσης, υπηρεσιών.

Δ) Αδυναμία προδιαγραφής περιορισμών: Εκτός από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών πολλές φορές είναι καλό να υπάρχει και πληροφορία για τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς μια υπηρεσία.

Ε) Ελλιπής εκφραστικότητα των σχημάτων κατηγοριοποίησης υπηρεσιών: δύο από τα πιο δημοφιλή σχήματα κατηγοριοποίησης σε UDDI μητρώα είναι το NAICS και το UNSPSC[3] που αποτελούν πρότυπες ταξινομίες, μη επεκτάσιμες.

[2] NAICS: North American Industry Classification System.
[3] UNSPSC: Universal Standard Products and Services Classification

2.1.3 Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού και Ανακάλυψή τους

Οι παραπάνω περιορισμοί των ΥΙ, αλλά και άλλες αιτίες που αναφέρονται όχι μόνο στην ανακάλυψη τους αλλά στην αυτοματοποίηση όλου του κύκλου ζωής τους, οδήγησαν στον «εμπλουτισμό» τους με σημασιολογικές επεκτάσεις. Οι νέες ΥΙ που περιγράφονται με σημασιολογικά μετα-δεδομένα αναφέρονται ευρέως με τον όρο Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού (ΥΣΙ, Semantic Web Services). Προφανώς, ο τρόπος που γίνεται η ανακάλυψη ΥΣΙ είναι διαφορετικός, όπως περιγράφεται στις ακόλουθες παραγράφους.

Σε μια αρχιτεκτονική ανακάλυψης ΥΣΙ, τα βασικά συστατικά που εμφανίζονται στο Σχήμα 2.1 διατηρούνται αλλά υλοποιούνται διαφορετικά. Επίσης εισάγονται και μερικά νέα συστατικά όπως οι Οντολογίες Σχολιασμού Υπηρεσιών (Service Annotation Ontologies) και οι Οντολογίες Πεδίου (Domain Ontologies). Τα νέα/διαφοροποιημένα συστατικά για την ανακάλυψη ΥΣΙ περιγράφονται παρακάτω:

Περιγραφή Υπηρεσίας (Service Advertisement): Οι περιγραφές των υπηρεσιών δεν γίνονται πλέον με τη χρήση της WSDL αλλά με βάση Οντολογίες Σχολιασμού Υπηρεσιών. Τέτοιες οντολογίες ορίζουν σημασιολογικά μοντέλα για την περιγραφή των διαφόρων πτυχών μιας ΥΙ (λειτουργικότητα, ροή εκτέλεσης, λεπτομέρειες κλήσης). Οι όροι που χρησιμοποιούνται για αυτές τις περιγραφές ορίζονται σε Οντολογίες Πεδίου. Συνοψίζοντας, οι περιγραφές των υπηρεσιών είναι έγγραφα συμβατά με συγκεκριμένα μοντέλα και με αναφορές σε εξωτερικούς όρους.

Οντολογίες Σχολιασμού Υπηρεσιών (Service Annotation Ontologies): Οι οντολογίες αυτές προσπαθούν να ορίσουν ρητά τη σημασιολογία της λειτουργικότητας, της ροής εκτέλεσης και των λεπτομερειών υλοποίησης/κλήσης μιας υπηρεσίας. Τα πιο ενδιαφέροντα και συνήθη γνωρίσματα αυτών των οντολογιών είναι τα λεγόμενα *IOPE (Inputs, Outputs, Preconditions and Effects)*[4], που ορίζονται ως:

- *Inputs*: η πληροφορία που η υπηρεσία χρειάζεται για την επιτυχή εκτέλεσή της
- *Outputs*: η πληροφορία που παράγεται από την εκτέλεση της υπηρεσίας
- *Preconditions*: όλες οι συνθήκες που πρέπει να ισχύουν για να μπορεί να εκτελεστεί επιτυχώς η υπηρεσία
- *Effects*: άλλες αλλαγές στην κατάσταση του «κόσμου» μετά την (επιτυχή ή ανεπιτυχή) εκτέλεση της υπηρεσίας

[4] Τα γνωρίσματα IOPE δεν είναι ο μόνος τρόπος να περιγραφεί η λειτουργικότητα μιας υπηρεσίας, παρόλο που θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία μιας τέτοιας περιγραφής. Ανάλογα με την Οντολογιά Σχολιασμού Υπηρεσιιών που χρησιμοποιείται κάθε φορά μπορεί να είναι διαθέσιμα και άλλα στοιχεία περιγραφής.

Οι τιμές των γνωρισμάτων IOPE είναι συνήθως όροι από τις Οντολογίες Πεδίου (βλ. επόμενες παραγράφους).

Διάφορες Οντολογίες Σχολιασμού Υπηρεσιών έχουν προταθεί. Η πρώτη ήταν η DAML-S [17], που βασίστηκε στη γλώσσα ορισμού οντολογιών DAML+OIL. Με την «επικράτηση» της Web Ontology Language (OWL), η DAML-S αντικαταστάθηκε από την OWL-S [18]. Άλλες οντολογίες είναι οι WSDL-S [19], WSMO [20] και SWSO [21]. Όλες αυτές οι διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν κάποια κοινά στοιχεία αλλά διαφέρουν σε εκφραστικότητα, πολυπλοκότητα και υποστήριξη από εργαλεία.

Οι περισσότερες οντολογίες σχολιασμού υπηρεσιών αποτελούνται από τρία *λογικά μέρη*. Για τη περιγραφή τους υιοθετούμε την ορολογία της δημοφιλούς OWL-S:

- *Προφίλ Υπηρεσίας (Service Profile)*. Αποτελείται από τρία μέρη: α) μια λεκτική περιγραφή της υπηρεσίας και λεπτομέρειες επικοινωνίας του παρόχου (κυρίως απευθύνεται σε χρήστες-ανθρώπους), β) μια λειτουργική περιγραφή της υπηρεσίας, που περιέχει μεταδεδομένα σχετικά με τα γνωρίσματα IOPE, και, γ) μια λίστα με επιπλέον παραμέτρους που περιγράφουν άλλες πτυχές της υπηρεσίας (π.χ., ποιότητα υπηρεσίας). Οι πιο πολλοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για ανακάλυψη ΥΣΙ αξιοποιούν αυτό το προφίλ.
- *Μοντέλο Υπηρεσίας (Service Model)*. Περιλαμβάνει μια αναλυτική περιγραφή της λειτουργικότητας μιας υπηρεσίας (μέσω της ροής δεδομένων και ελέγχου της υπηρεσίας).
- *«Γείωση» Υπηρεσίας (Service Grounding)*. Περιγράφει το πώς μπορεί να προσπελάσει κανείς την υπηρεσία (π.χ., πρωτόκολλο επικοινωνίας, μορφή μηνυμάτων, διευθυνσιοδότηση). Αυτό το μέρος επίσης περιέχει τη σύνδεση με τις WSDL περιγραφές.

Οντολογίες Πεδίου (Domain Ontologies): οι σημασιολογικές περιγραφές, όπως περιγράφονται από τις Οντολογίες Σχολιασμού Υπηρεσιών, δεν εκφράζονται πλέον μέσω αδόμητου κειμένου αλλά μέσω εννοιών (όρων, κλάσεων) από Οντολογίες Πεδίου. Τέτοιες οντολογίες περιγράφουν την ορολογία (terminology) και τις συσχετίσεις μεταξύ όρων σε συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής (domains). Για παράδειγμα, όταν περιγράφουμε υπηρεσίες για υπηρεσίες αναζήτησης προϊόντων σχετικών με κρασιά, μια Οντολογία Οίνου περιγράφει τα διάφορα είδη κρασιών και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Οι οντολογίες αυτές μπορούν να γραφούν σε διάφορες γλώσσες οντολογιών, όπως η OWL, η DAML+OIL ή η RDF(S) [22]. Τέτοιες γλώσσες γενικά έχουν

διαφορετική εκφραστικότητα. Όλες βέβαια μπορούν να μοντελοποιήσουν ιεραρχίες εννοιών και ρόλων. Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, τέτοιες ιεραρχίες βρίσκονται στο επίκεντρο των περισσότερων μεθόδων ταιριάσματος σημασιολογικών υπηρεσιών.

Αίτηση (Service Request): Ανεξάρτητα από τη μορφή της, η αίτηση πρέπει να περιέχει πληροφορία σχετική με αυτή που περιγράφεται από τη χρησιμοποιημένη οντολογία σχολιασμού υπηρεσιών (π.χ., τιμές IOPE). Γενικά, ίσως μετά από κατάλληλους μετασχηματισμούς, η αίτηση ομοιάζει δομικά με τις περιγραφές των υπηρεσιών. Επίσης, η χρήση των ίδιων οντολογιών πεδίου και από τους αιτούντες και από τους παρόχους υπηρεσιών, παρόλο που δεν είναι υποχρεωτική, απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία ταιριάσματος.

Μητρώο Υπηρεσιών (Service Registry): Τα παραδοσιακά μητρώα ΥΙ (π.χ., UDDI) χρησιμοποιούνται και στις αρχιτεκτονικές ανακάλυψης ΥΣΙ. Όμως εκτός από τις παραδοσιακές περιγραφές (π.χ., στοιχεία tModel, έγγραφα WSDL), έχουν και αναφορές σε σημασιολογική πληροφορία που περιγράφει τις ΥΣΙ. Για το σκοπό αυτό βέβαια πρέπει να επεκταθούν κατάλληλα [7].

Αλγόριθμος Ταύτισης (Matching Algorithm): Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι συνήθως πιο πολύπλοκοι και «ευφυείς» από αυτούς για ΥΙ, που βασίζονται κυρίως στη σύνταξη. Είναι σχεδιασμένοι για να εκμεταλλεύονται τη σημασιολογική πληροφορία που εμπεριέχεται στις αιτήσεις και στις περιγραφές υπηρεσιών.

2.2. *Αλγοριθμικές Προσεγγίσεις στην Ανακάλυψη ΥΣΙ*

Οι περισσότερες προσεγγίσεις χρησιμοποιούν το προφίλ μιας ΥΣΙ. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς κατά την ανακάλυψη ο αιτών ενδιαφέρεται κυρίως για το αν μια υπηρεσία μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του και όχι για το πως θα το κάνει αυτό ή πως θα κληθεί. Επιπλέον, οι πιο πολλές προσεγγίσεις εκμεταλλεύονται τα γνωρίσματα IOPE. Αυτό πάλι είναι διαισθητικά σωστό αφού δυο υπηρεσίες με όμοιες τιμές στα αντίστοιχα γνωρίσματα θεωρούνται γενικά όμοιες.

Όμως, ανεξάρτητα από τη προσέγγιση, ένα από τα βασικά προβλήματα στην ανακάλυψη υπηρεσιών είναι ότι δεν είναι ρεαλιστικό να υποθέτει κανείς ότι θα μπορούν να ταιριάξουν πάντα ερακριβώς οι αιτήσεις υπηρεσιών με τις διαθέσιμες περιγραφές. Η υιοθέτηση μιας αυστηρής λογικής ταιριάσματος θα απέρριπτε όσες υπηρεσίες ταιριάζουν μερικώς με μια αίτηση. Για αυτό το λόγο η έννοια του Βαθμού Ταύτισης κρίνεται αναγκαίο να εισαχθεί (Degree of Match, DoM). Ο βαθμός αυτός μπορεί να οριστεί σαν ένα ταξινομημένο σύνολο τιμών που εκφράζουν πόσο όμοιες είναι δύο

οντότητες, με βάση κάποια μετρική ομοιότητας (similarity metric). Τέτοιες οντότητες στη περίπτωσή μας μπορεί να είναι τα γνωρίσματα IOPE ή συγκεκριμένες λειτουργίες της υπηρεσίας. Ένας αλγόριθμος ανακάλυψης υπηρεσιών μπορεί έτσι να ταξινομήσει τις ανακαλυφθείσες υπηρεσίες με βάση την σχετικότητά τους (relevance) ως προς την αίτηση.

Διάφορες, ελαφρώς διαφορετικές, προτάσεις για το ορισμό του DoM έχουν παρουσιαστεί στην σχετική βιβλιογραφία [23][30][25]. Σαν παράδειγμα αλγορίθμου που χρησιμοποιεί την έννοια του DoM και συμπερασμό για την ανακάλυψη υπηρεσιών θα περιγράψουμε αυτόν που προτάθηκε στο [26]. Προηγουμένως όμως πρέπει να τονίσουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Οι σημασιολογικοί όροι στις περιγραφές και στις αιτήσεις των υπηρεσιών ανήκουν στις ίδιες Οντολογίες Πεδίου.
- Δεν γίνεται κάποια υπόθεση για την Οντολογία Σχολιασμού Υπηρεσιών ή τη γλώσσα των Οντολογιών Πεδίου.
- Για τη περιγραφή των αλγορίθμων χρησιμοποιείται ο συμβολισμός του Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Συμβολισμός αλγορίθμων

req	Η αίτηση υπηρεσίας
A	Το σύνολο όλων των περιγραφών υπηρεσίας στο μητρώο
adv	Μια περιγραφή υπηρεσίας στο A
req.O	Το σύνολο όλων των επιθυμητών εξόδων της αιτούμενης υπηρεσίας req
adv.O	Το σύνολο των εξόδων της περιγραφής adv
req.I	Το σύνολο όλων των εισόδων που παρέχονται από την req
adv.I	Το σύνολο όλων των απαιτούμενων εισόδων για τη περιγραφή adv
X.o	Μια έξοδος του συνόλου X.O (X=adv ή req)
X.i	Μια είσοδος του συνόλου X.I (X=adv ή req)
X.par	Κάποια παράμετρος par του X (X=adv ή req)

Μία από τις πρώτες εργασίες, με ιδιαίτερα μεγάλη επιρροή, στην περιοχή της ανακάλυψης ΥΣΙ είναι αυτή που περιγράφεται στο [26]. Η βασική ιδέα είναι ότι «*…μια περιγραφή υπηρεσίας ταιριάζει με μια αίτηση υπηρεσίας όταν όλες οι έξοδοι της αίτησης αντιστοιχίζονται με τις εξόδους της περιγραφής, και όλες οι είσοδοι της περιγραφής αντιστοιχίζονται με τις εισόδους της αίτησης*» (σελ. 338). Έτσι, αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη μόνο τις εισόδους και τις εξόδους των υπηρεσιών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2, τέσσερις βαθμοί ταιριάσματος χρησιμοποιούνται. Οι βαθμοί στον πίνακα υπολογίζονται ανά έξοδο. Για τις εισόδους, τα req.o και adv.o πρέπει να αντικατασταθούν από τα adv.i και req.i αντίστοιχα. Ο DoM ανάμεσα σε μια περιγραφή

και μια αίτηση υπηρεσίας είναι ο ελάχιστος DoM για όλες τις εισόδους και εξόδους. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται ο αλγόριθμος. Η συνάρτηση *degreeOfMatch* υλοποιεί τους κανόνες του Πίνακα 2.2. Ο αλγόριθμος επιστρέφει μια ταξινομημένη λίστα περιγραφών υπηρεσίας. Το πόσες από αυτές είναι σχετικές εξαρτάται από τον ελάχιστο αποδεκτό DoM που έχει ορίσει ο αιτών. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται σε ταίριασμα βασισμένο στη λογική (logic-based matching) και συγκεκριμένα στη ταύτιση με υπαγωγή (*subsumption matching)*. Λέμε ότι μια έννοια *υπάγει (subsumes)* μια άλλη, αν η πρώτη είναι πιο γενική από τη δεύτερη (π.χ., είναι πιο ψηλά στην ιεραρχία των εννοιών της οντολογίας πεδίου). Η ταύτιση με βάση την υπαγωγή κέρδισε μεγάλη δημοτικότητα στην περιοχή της ανακάλυψης γνώσης (knowledge discovery) επειδή πιο γενικές ή πιο ειδικές έννοιες από μια άλλη θεωρούνται σχετικές με αυτήν. Όμως η κατεύθυνση της υπαγωγής μεταξύ δύο γνωρισμάτων υπηρεσιών έχει διαφορετικό νόημα και συγκεκριμένες συνέπειες για τη διαδικασία ανακάλυψης. Αυτές οι συνέπειες συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3. Επιπλέον, το ταίριασμα των εξόδων θεωρείται πιο σημαντικό από αυτό των εισόδων, αφού ο αιτών συνήθως ψάχνει υπηρεσίες με βάση τις εξόδους τους και συνήθως είναι πρόθυμος να παρέχει ό,τι είσοδο απαιτείται για (ή κατά) την εκτέλεση της υπηρεσίας.

Πίνακας 2.2. Βαθμοί ταιριάσματος (ανά έξοδο)

Βαθμός Ταύτισης	Συνθήκες Ταύτισης
EXACT	Αν το req.o είναι ισοδύναμο (equivalent) με το adv.o, ή Αν το req.o είναι μια άμεση υποκλάση του adv.o
PLUGIN	Αν το adv.o *υπάγει* το req.o (όχι άμεση υποκλάσση)
SUBSUMES	Αν το req.o *υπάγει* το adv.o
FAIL	Αν δεν υπάρχει συσχέτιση υπαγωγής ανάμεσα στο req.o και το adv.o

Πίνακας 2.3. Σημασιολογία των συσχετίσεων μεταξύ εξόδων και εισόδων της αίτησης και μιας υπηρεσίας

Σχέση Υπαγωγής	Σημασία/Πιθανά προβλήματα
req.i υπάγει adv.i	Πιο συγκεκριμένες πληροφορίες εισόδου μπορεί να απαιτηθούν για την σωστή εκτέλεση της υπηρεσίας που περιγράφεται από το *adv*
adv.i υπάγει req.i	Η αίτηση περιέχει όλη την πληροφορία εισόδου που απαιτείται για τη σωστή εκτέλεση της υπηρεσίας που περιγράφεται από το *adv*
req.o υπάγει adv.o	Η έξοδος είναι έγκυρη για τον αιτούντα παρόλο που μπορεί να περιλαμβάνει μόνο μέρος των επιθυμητών αποτελεσμάτων.
adv.o υπάγει req.o	Η υπηρεσία μπορεί να μην είναι ικανή να παράγει τις απαιτούμενες εξόδους. Σε ακραίες περιπτώσεις, τα αποτελέσματα της υπηρεσίας μπορεί να είναι εντελώς άσχετα με την αίτηση.

```
Main algorithm: match(req, A)
1: matchedServices = {}
2: For all adv in A do
3:   If ((DoMI = Imatch(req, adv)) != FAIL AND (DoMO = Omatch(req, adv)) != FAIL)
4:     adv.DoM = min (DoMI, DoMO)
5:     matchedServices = matchedServices∪{adv}
6: Return sortByDoM(matchedServices)

Function: Omatch(req, adv)
7: DoM = {}
8: For all req.o in req.O do
9:   For all adv.o in adv.O do
10:   DoM = DoM ∪ {degreeOfMatch(req.o, adv.o)}
11: Return min(DoM)

Function: Imatch(req, adv)
12: DoM = {}
13: For all adv.i in adv.I do
14:   For all req.i in req.I do
15:     DoM=DoM ∪ {degreeOfMatch(adv.i, req.i)}
16: Return min(DoM)
```

Σχήμα 2.2. Ο αλγόριθμος ανακάλυψης υπηρεσιών του [26]

Φυσικά από τότε που οι ΥΣΙ ήρθαν στο προσκήνιο της έρευνας, πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις για την ανακάλυψή τους έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Αυτές δεν θα μας απασχολήσουν περισσότερο εδώ αλλά ο αναγνώστης μπορεί να βρει περισσότερα στοιχεία στο [27].

Πολλές από τις παραπάνω μεθόδους έχουν οδηγήσει και στην ανάπτυξη εργαλείων για την ανακάλυψη ΥΣΙ. Μερικά από αυτά είναι:

- OWL-S/UDDI Matchmaker (OWL-S/UDDIM) [28]
- IBM Semantic Tools for Web Services (STWS) [29]
- Hybrid OWL-S Web Service Matchmaker (OWLS-MX) [30]
- METEOR-S Web Service Discovery Infrastructure (MWSDI) and Lumina [31] [32]
- The TUB OWL-S Matcher (OWLSM) [33]
- WSMX Discovery Component (WSMX) [34]
- OWLS-SLR [35]

2.3. *Αξιολόγηση Ανακάλυψης Υπηρεσιών*

Όμοια με άλλα συστήματα αναζήτησης/ανάκτησης πληροφορίας (όπως οι μηχανές αναζήτησης του Web) τα συστήματα για ανακάλυψη ΥΣΙ θα πρέπει να αξιολογούνται ως

προς την *απόδοσή* τους (performance) και την *αποτελεσματικότητά* τους (*retrieval effectiveness ή απλά effectiveness*). Στα πλαίσια αυτού του κειμένου ο όρος «απόδοση» αναφέρεται στην υπολογιστική πολυπλοκότητα, τους χρόνους απόκρισης κλπ. των συστημάτων. Ο όρος «αποτελεσματικότητα» δείχνει πόσο καλό είναι ένα σύστημα στο να ανακαλύπτει «σχετικές» υπηρεσίες, όπως αυτές έχουν οριστεί από ειδικούς.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί εκτενώς με την αποτίμηση της απόδοσης και τη κλιμάκωση των σχετικών εργαλείων και συστημάτων (βλ. ενότητα 2.4). Αυτό όμως που ακόμα λείπει, και που έχει πιο πολύ νόημα για τα εν λόγω συστήματα, είναι μια ποσοτική ανάλυση και σύγκριση της αποτελεσματικότητας τους. Απ' όσο γνωρίζουμε, μόνο λίγοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί με τέτοιου είδους αξιολογήσεις συστημάτων όπως θα δούμε σε επόμενη ενότητα.

Βέβαια, αυτή η έλλειψη αξιόπιστης αξιολόγησης, οφείλεται σε διάφορους λόγους:

<u>Έλλειψη συλλογών υπηρεσιών και testbeds για ΥΣΙ</u>. Οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν υποτυπώδεις συλλογές υπηρεσιών απλά για να επαληθεύσουν τη λειτουργία των πρωτοτύπων τους. Έτσι δεν είναι εύκολο να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους με αυτά άλλων ερευνητών. Επιπλέον, οι συλλογές υπηρεσιών που υπάρχουν δεν είναι εντελώς κατάλληλες όπως θίγεται και στο [75]. Πιο συγκεκριμένα, οι υπηρεσίες σε αυτές τις συλλογές είναι «συνθετικές» και δεν έχουν πάντα σαφές νόημα. Επίσης, δεν υπάρχουν επαρκείς κρίσεις σχετικότητας (relevance judgments), οι οποίες απαιτούνται για την αξιολόγηση. Τα τελευταία χρόνια βέβαια έχει σημειωθεί κάποια πρόοδος σε αυτό το τομέα καθώς διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν δημοσιεύσει συλλογές υπηρεσιών που περιλαμβάνουν κάποιο ικανό πλήθος υπηρεσιών και κάπως πιο επαρκείς κρίσεις σχετικότητας [36] [37]. Βασικό κίνητρο για αυτές τις προσπάθειες είναι και ο διεθνής διαγωνισμός Semantic Web Service Challenge που διοργανώνεται κάθε χρόνο [38].

<u>Έλλειψη καθιερωμένων μετρικών αξιολόγησης</u>. Οι περισσότερες μετρικές που έχουν χρησιμοποιηθεί βασίζονται σε γνωστές μετρικές από τη περιοχή της ανάκτησης πληροφορίας. Οι πιο γνωστές μετρικές είναι η *ακρίβεια* (*precision)* και η *ανάκληση* (*recall),* καθώς και συνδυασμοί τους, (π.χ., το F-measure [39]). Τέτοιες μετρικές έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς και σε άλλα πεδία που περιλαμβάνουν ταίριασμα σχήματος ή δεδομένων [40]. Όμως, δεν είναι σίγουρο ότι οι μετρικές αυτές μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα και στο πεδίο της ανακάλυψης υπηρεσιών. Για παράδειγμα οι συγγραφείς στο [30] αναφέρουν ότι "*…for discovery of semantic web services, precision*

may be more important to the user than recall, since the set of relevant services is subject to continuous change in practice.”. Επιπλέον, πρέπει να αναλυθεί πώς οι στόχοι της ανακάλυψης υπηρεσιών μπορούν να εκφραστούν μέσα από τέτοιες μετρικές και πώς σχετίζονται με τις έννοιες των false positives και των false negatives.

Όλες οι μηχανές ταύτισης χρησιμοποιούν βαθμούς ταύτισης που βασίζονται στη λογική. Η σημασιολογία της διαδικασίας ανακάλυψης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση της. Ένα πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι κάθε μηχανή ταύτισης χρησιμοποιεί διαφορετικό βαθμό ταύτισης. Οι μετρικές αξιολόγησης θα πρέπει να είναι αρκετά σταθερές ώστε να μην εξαρτώνται από τον αριθμό και το είδος αυτών των βαθμών. Επιπλέον, οι περισσότερες μηχανές επιστρέφουν τα αποτελέσματα σαν «μερικές κατατάξεις» (partial rankings). Μια κατάταξη αποτελεσμάτων ονομάζεται «μερική» αν υπάρχουν ισοπαλίες μεταξύ των στοιχείων της. Οι υπάρχουσες μετρικές, στην πλειονότητά τους, δεν λαμβάνουν υπόψη τους τέτοιες κατατάξεις.

Ελλιπείς κρίσεις σχετικότητας. Γενικά η ανακάλυψη ΥΣΙ θα πρέπει να αξιολογείται με μεθόδους που μπορούν να ανταπεξέλθουν σε ελλιπείς ή απούσες κρίσεις σχετικότητας. Αυτό είναι μια πολύ σημαντική και ρεαλιστική απαίτηση για ανοικτά περιβάλλοντα όπως το Web, όπου το σύνολο των διαθέσιμων υπηρεσιών μεταβάλλεται δυναμικά. Μια τέτοια περίπτωση συναντούμε και στη σύνθεση υπηρεσιών. Η σύνθεση υπηρεσιών, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα είδος πιο πολύπλοκης ανακάλυψης υπηρεσιών, ή τουλάχιστον βασίζεται σε αυτήν. Η βασική διαφορά είναι ότι οι σύνθετες υπηρεσίες δημιουργούνται κατά περίπτωση και δεν προϋπάρχουν στο σύνολο των διαθέσιμων υπηρεσιών. Για αυτό και δεν μπορούν να προϋπάρχουν κρίσεις σχετικότητας για αυτές.

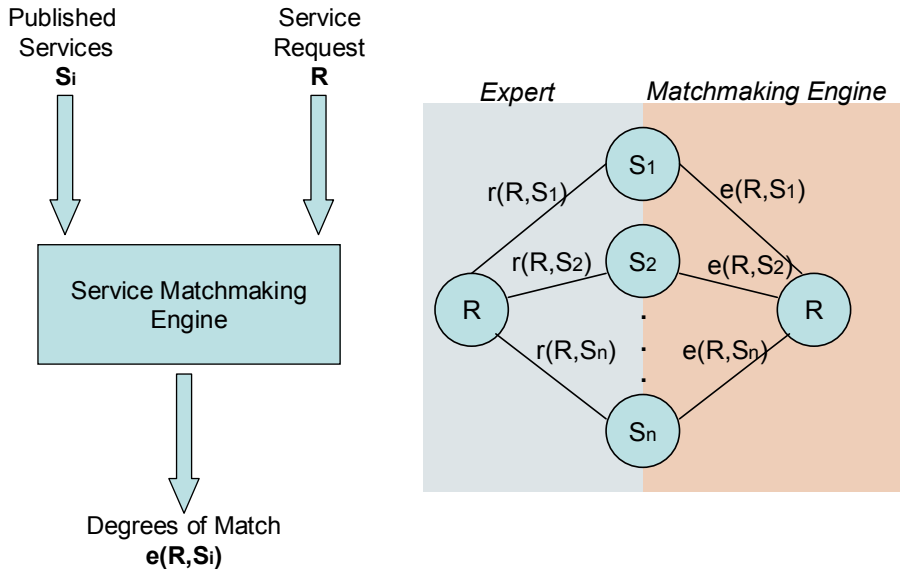
Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου, ασχολούμαστε με διάφορα θέματα που άπτονται της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των συστημάτων ανακάλυψης ΥΣΙ. Η βασική θέση μας είναι ότι τα «παραδοσιακά» σχήματα αξιολόγησης δεν αξιοποιούν την προστιθέμενη αξία της σημασιολογίας που περιγράφεται για τις υπηρεσίες ούτε λαμβάνουν υπόψη τους τη βαθμονόμηση (ranking) που υποστηρίζεται από τις περισσότερες μηχανές ανακάλυψης μέσω του DoM. Βασικός στόχος της παρούσας έρευνας είναι να προτείνει ένα εναλλακτικό σχήμα αξιολόγησης για ανακάλυψη ΥΣΙ που βασίζεται στη θεωρία της ανάκτησης πληροφορίας. Θα δείξουμε ότι αυτό το σχήμα μπορεί να βελτιώσει τα σχετικά εργαλεία αξιολόγησης εκλεπτύνοντας τα αποτελέσματα τους και δίνοντας πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τα υπό αξιολόγηση συστήματα ανακάλυψης.

2.3.1 Βασικές έννοιες αξιολόγησης

Στο Σχήμα 2.3.α απεικονίζεται μια γενική αρχιτεκτονική για αξιολόγηση της ανάκτησης υπηρεσιών. Οι εμπλεκόμενες οντότητες είναι οι περιγραφές των υπηρεσιών *(S_i)* που έχουν δημοσιευτεί σε ένα μητρώο υπηρεσιών, η αίτηση για υπηρεσία (*R*) που υποβάλλεται από το χρήστη, και η μηχανή ανακάλυψης που είναι υπεύθυνη για την ανακάλυψη των υπηρεσιών. Η μηχανή αυτή αναθέτει ένα βαθμό ταύτισης *$e(R, S_i)$* σε κάθε περιγραφή υπηρεσίας S_i. Αυτός ο βαθμός στην ορολογία της IR αναφέρεται και ως RSV (Retrieval Status Value) και καθορίζει την ταξινόμηση των υπηρεσιών ως προς τη σχετικότητά τους με μια αίτηση R. Για να αξιολογηθεί όμως η αποτελεσματικότητα της μηχανής χρειάζονται και κάποιες κρίσεις ειδικών (expert mappings ή relevance judgments) *$r(R, S_i)$* (βλ. Σχήμα 2.3.β). Έτσι, τα διανύσματα ***r*** και ***e*** ορίζονται ως:

$$\boldsymbol{r}: Q \times S \rightarrow W, \quad \boldsymbol{e}: Q \times S \rightarrow W$$

όπου Q είναι το σύνολο όλων των πιθανών αιτήσεων, S το σύνολο των περιγραφών υπηρεσιών και W το σύνολο των τιμών που εκφράζουν το βαθμό σχετικότητας (για το ***r***) ή το βαθμό ταύτισης (για το ***e***) ανάμεσα σε μια αίτηση από το Q και σε μια υπηρεσία από το S. Και το ***r*** και το ***e*** μπορούν να πάρουν διάφορους τύπους τιμών: Δυαδικές (W={0,1}), πραγματικούς αριθμούς (W=[0,1]), ασαφείς όρους (W={“irrelevant”, “relevant”, …}), κλπ. Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς, η αξιολόγηση μιας μηχανής ανακάλυψης είναι *ο προσδιορισμός του πόσο πολύ προσεγγίζει το άνυσμα **e** το άνυσμα **r**.*



(α) (β)

Σχήμα 2.3. Αξιολόγηση ανάκτησης υπηρεσιών. α) σχήμα αναφοράς, β) κρίσεις σχετικότητας

Πίνακας 2.4. Σχήματα αξιολόγησης

Σχήμα Αξιολόγησης	RSVs – $e(R,S_i)$	Expert Mappings – $r(R,S_i)$
EVS1	Boolean	Boolean
EVS2	Multi-valued (graded)	Multi-valued (graded)

Ανάλογα με το αν το W είναι δυαδικό (Boolean) σύνολο ή όχι, καταλήγουμε σε δυο βασικά σχήματα αξιολόγησης (Πίνακας 2.4). Να σημειωθεί ότι θεωρούμε την αίτηση πάντα σαν μια δυαδική επερώτηση με συζεύξεις (Boolean conjunctive query), χωρίς να ανατίθενται ειδικά βάρη στα στοιχεία της (είσοδοι / έξοδοι). Το σχήμα EVS1 (Boolean) είναι αυτό που γενικά χρησιμοποιείται στη σχετική βιβλιογραφία (βλ. ενότητα 2.4). Το EVS2, από την άλλη, προτείνεται σαν πιο κατάλληλο για την αξιολόγηση της ανακάλυψης ΥΣΙ.

2.3.2 Δυαδική αξιολόγηση και μειονεκτήματά της

Το σχήμα EVS1 βασίζεται σε δυαδικές συναρτήσεις ταύτισης (matchmaking) αίτησης-περιγραφής υπηρεσίας. Όποτε υποβάλλεται μια αίτηση στο σύστημα, υπολογίζεται για κάθε διαθέσιμη περιγραφή υπηρεσίας η αντίστοιχη τιμή RSV που υποδηλώνει αν η περιγραφή είναι «σχετική» με την αίτηση:

$$\boldsymbol{e}: \mathrm{Q} \times \mathrm{S} \rightarrow \{0,1\} \qquad (2.1)$$

όπου, $\boldsymbol{e}(R, S_i) = 1$ αν η περιγραφή $S_i \in$ S είναι «σχετική» με την $R \in$Q και $\boldsymbol{e}(R, S_i) = 0$ διαφορετικά.

Ανάλογα, οι ειδικοί (domain experts) θέτουν τις τιμές «1» και «0» σε όλες τις περιγραφές της συλλογής υπηρεσιών σε σχέση με την αίτηση *R*.

Σε αυτή τη περίπτωση οι βασικές μετρικές ακρίβεια και ανάκληση [41] χρησιμοποιούνται για να αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η ανάκληση (Recall), R_B, ορίζεται σαν το ποσοστό του πλήθους των «ανακτηθεισών και σχετικών» υπηρεσιών (retieved and relevant) ως προς τις «σχετικές» υπηρεσίες σε όλη τη συλλογή υπηρεσιών. Η ακρίβεια, P_B, ορίζεται σαν το ποσοστό του πλήθους των «ανακτηθεισών και σχετικών» υπηρεσιών ως προς τις «ανακτηθείσες» υπηρεσίες. Οι ακόλουθοι τύποι δείχνουν τους ορισμούς αυτών των μετρικών όπου RT και RL είναι τα σύνολα των ανακτηθεισών και σχετικών περιγραφών αντίστοιχα.

$$R_B = \frac{|RT \cap RL|}{|RL|}, \; P_B = \frac{|RT \cap RL|}{|RT|} \qquad (2.2)$$

Όπως έχει προαναφερθεί, η πλειοψηφία των συστημάτων ανακάλυψης ΥΣΙ χρησιμοποιούν πολλαπλές τιμές για το βαθμό ταιριάσματος. Όμως στην περίπτωση της δυαδικής αξιολόγησης αυτή η πληροφορία δεν λαμβάνεται υπόψη και άρα η αξιολόγηση *δεν εκμεταλλεύεται πλήρως τη διαθέσιμη σημασιολογία των υπηρεσιών*. Συγκεκριμένα, αν πρέπει να αξιολογήσουμε μια μηχανή που υποστηρίζει τέσσερις βαθμούς ταύτισης, θα έπρεπε να διαχωρίσουμε όλες τις υπηρεσίες που επιστρέφονται από τη μηχανή για δεδομένη αίτηση σε δύο συμπληρωματικά σύνολα. Ο διαχωρισμός αυτός θα γίνονταν με κάποιο όριο (π.χ. ελάχιστος αποδεκτός βαθμός ταύτισης) και με την υπόθεση ότι όλες οι υπηρεσίες που επεστράφησαν και έχουν βαθμό μεγαλύτερο από το όριο είναι σχετικές (και οι υπόλοιπες άσχετες) με την αίτηση του χρήστη. Με άλλα λόγια κβαντίζουμε το πλειότιμο άνυσμα ***e*** σε ένα δυαδικό ***e'***. Αυτό αναπαρίσταται και στο Σχήμα 2.4, όπου η τιμή "A" αναπαριστά τη πλήρη ταύτιση και η "D" ότι δεν ταιριάζει καθόλου η αίτηση με την υπηρεσία.

S_i	$e(R,S_i)$
S_1	A
S_2	B
S_3	A
S_4	D
S_5	D
S_6	C
S_7	B

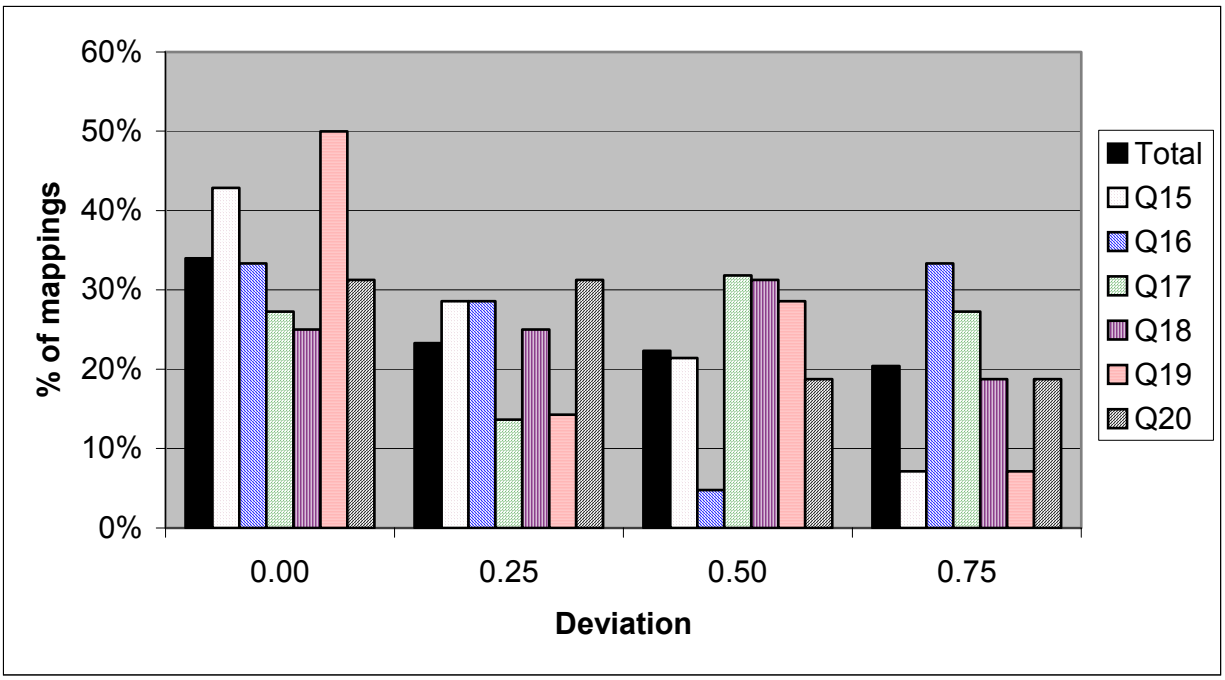
Threshold = "B"

S_i	$e'(R,S_i)$
S_1	1
S_2	1
S_3	1
S_4	0
S_5	0
S_6	0
S_7	1

Σχήμα 2.4. "Δυαδικοποίηση" βαθμωτής ταύτισης. Το όριο φιλτράρει τη σημασιολογία που έχει ανατεθεί στις υπηρεσίες

Άλλο ένα μειονέκτημα της δυαδικής αξιολόγησης προέρχεται από τη πλευρά των κρίσεων σχετικότητας. Μια δυαδική ανάθεση σχετικότητας (από τους ειδικούς) για περιγραφές υπηρεσιών είναι πολύ «χοντρική» (coarse-grained). Η διαπίστωση αυτή βρίσκεται σε αντιδιαστολή με τους στόχους της ανακάλυψης ΥΣΙ, δηλαδή πιο ακριβή και αποτελεσματική ανάκτηση υπηρεσιών. Για να φανεί πιο ξεκάθαρα αυτό το πρόβλημα, δημιουργήσαμε κάποιες βαθμωτές κρίσεις σχετικότητας για το υποσύνολο «education» της συλλογής υπηρεσιών TC2 [42] και υπολογίσαμε την απόκλισή τους από τις υπάρχουσες δυαδικές κρίσεις σχετικότητας για τη συλλογή αυτή. Το υποσύνολο αυτό περιλαμβάνει 135 υπηρεσίες, 6 επερωτήσεις/αιτήσεις (Q15-Q20) και τις σχετικές υπηρεσίες για κάθε αίτηση. Οι ενδεικτικές κρίσεις που κάναμε είχαν τιμές από το σύνολο W={0, 0.25, 0.5, 0.75, 1} για το βαθμό σχετικότητας (για την ακρίβεια χρησιμοποιήσαμε

τους λεκτικούς όρους του Σχήματος 2.7 αλλά στη προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε μόνο την αποσαφηνισμένη τιμή για κάθε όρο.

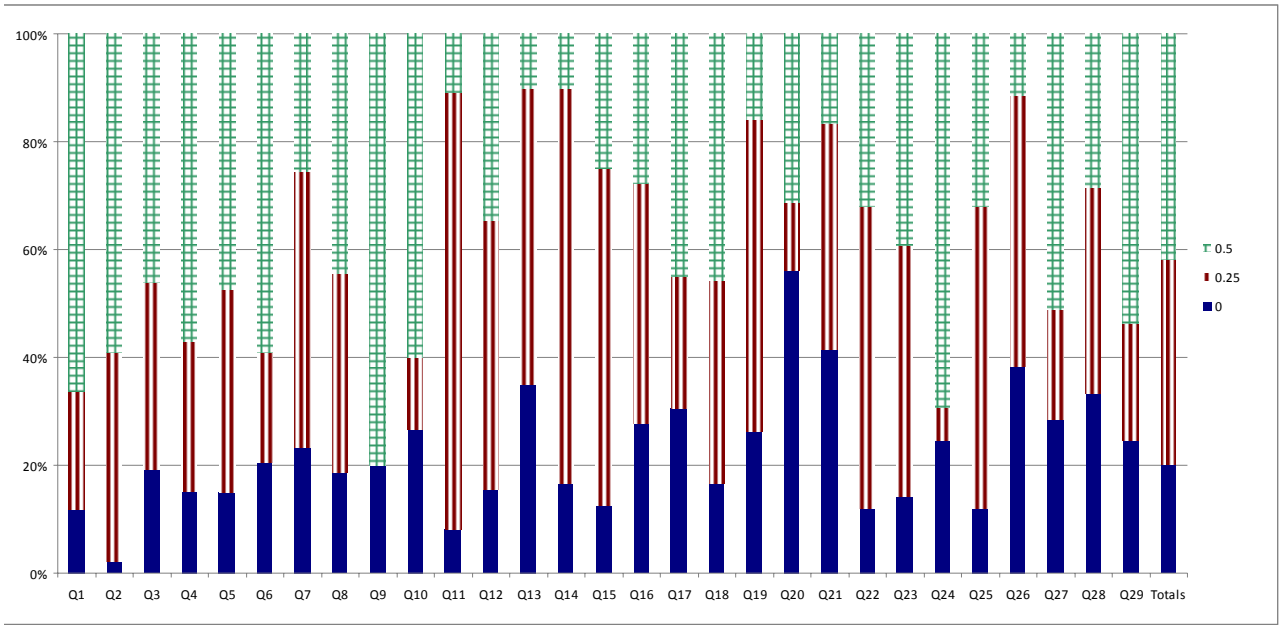


Σχήμα 2.5. Απόκλιση στην αντιστοίχηση ανάμεσα στις δυαδικές και τις βαθμωτές αναθέσεις σχετικότητας (TC2)

Η απόκλιση αυτών των αναθέσεων σχετικότητας από τις δυαδικές υπολογίζεται από τη διαφορά 1-X όπου το «1» αναπαριστά τη δυαδική σχετικότητα και $X \in W$. Η συνολική απόκλιση και η απόκλιση ανά αίτηση απεικονίζονται στο Σχήμα 2.5. Από αυτή την ανάλυση προκύπτει ότι κατά μέσο όρο, μόνο το 1/3 των δυαδικών αναθέσεων συμφωνεί πλήρως με τις βαθμωτές (δηλ. απόκλιση = 0). Επιπλέον, μόνο περίπου το 60% των δυαδικών αντιστοιχήσεων είναι αρκετά όμοιες με τις βαθμωτές (δηλ. απόκλιση ≤ 0.25). Με άλλα λόγια, ο «ειδικός» που κάνει δυαδικές αναθέσεις μπορεί να δηλώσει ότι μια υπηρεσία είναι πλήρως σχετική με μια αίτηση ακόμα και αν παρατηρεί μερική σχετικότητα (δηλ. περιπτώσεις με απόκλιση ≥ 0.5).

Επιπλέον συγκρίναμε την απόκλιση των δυαδικών κρίσεων σχετικότητας που περιλαμβάνονται στο TC3 [37] από τις αντίστοιχες βαθμωτές κρίσεις που περιλαμβάνονται στο ίδιο σύνολο. Το TC3 είναι μια εξέλιξη του TC2 και περιέχει 1351 υπηρεσίες, 29 αιτήσεις και τις σχετικές υπηρεσίες για κάθε αίτηση (με δυαδικές και βαθμωτές κρίσεις σχετικότητας). Οι βαθμωτές κρίσεις παίρνουν τιμές από το σύνολο W={0, 0.5, 0.75, 1}. Στη περίπτωση αυτή η συνολική αποκλιση και οι αποκλίσεις ανά αίτηση φαίνονται στο διάγραμμα του Σχήματος 2.6. Όπως φαίνεται, κατά μέσο όρο, μόνο το 20% των δυαδικών κρίσεων είναι πλήρως σύμφωνο με τις αντίστοιχες βαθμωτές (δηλ. απόκλιση = 0). Επιπλέον, μόνο 58% από τις δυαδικές συσχετίσεις είναι

αρκετά όμοιες (απόκλιση ≤ 0.25) με τις δυαδικές. Αυτά τα αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη ότι οι δυαδικές κρίσεις σχετικότητας δεν ταιριάζουν στο πεδίο της αξιολόγησης μηχανών ανακάλυψης.



Σχήμα 2.6. Απόκλιση στην αντιστοίχηση ανάμεσα στις δυαδικές και τις βαθμωτές αναθέσεις σχετικότητας (TC3)

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε τα εξής προβλήματα στο δυαδικό σχήμα αξιολόγησης:

Α) Τα αποτελέσματα του βαθμωτού αλγορίθμου ανακάλυψης μετατρέπονται σε δυαδικές τιμές, και έτσι αγνοείται η σημασιολογία του αλγορίθμου και των υπηρεσιών.

Β) Η εν λόγω μετατροπή προϋποθέτει τον ορισμό ενός ορίου. Η ανάθεση μιας βέλτιστης τιμής σε αυτή την παράμετρο του συστήματος δεν είναι γενικά εύκολη.

Γ) Οι δυαδικές κρίσεις σχετικότητας είναι αρκετά «χοντρικές» και δεν εκφράζουν πάντα την πραγματική πρόθεση του ειδικού.

2.4. *Σχετικές Εργασίες*

2.4.1 Αξιολόγηση Ανακάλυψης Υπηρεσιών Ιστού

Σε αυτή την ενότητα κάνουμε μια επισκόπηση των προσεγγίσεων που έχουν προταθεί για την αξιολόγηση μεθόδων ανακάλυψης υπηρεσιών. Οι πρώτες προσπάθειες βασίζονται στο δυαδικό σχήμα αξιολόγησης. Στο [43] χρησιμοποιούνται οι γνωστές μετρικές, ακρίβεια και ανάκληση. Συγκεκριμένα, για κάθε επερώτηση (ή αίτηση) όλες οι υπηρεσίες αξιολογούνται με βάση κάποια μετρική ομοιότητας. Στη συνέχεια, οι τιμές

ακρίβειας και ανάκλησης υπολογίζονται για το 50% των πιο υψηλά βαθμολογημένων υπηρεσιών.

Στο [16], οι συγγραφείς προτείνουν ότι κάποιες παραλλαγές της ακρίβειας μπορούν να αποτυπώσουν καλύτερα τη ποιότητα ανακάλυψης των συστημάτων. Μια από αυτές είναι η Top-k precision (P_k), που είναι όμοια με την ακρίβεια που υπολογίζεται στο [43]:

$$P_k = \frac{|RT \cap RL|_k}{k}$$

όπου ο αριθμητής δηλώνει τις σχετικές υπηρεσίες στα *top k* αποτελέσματα. Αυτή η μετρική χρησιμοποιείται και για την αξιολόγηση του συστήματος OWLS-SLR [35]. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται τα δημοφιλή γραφήματα ακρίβειας/ανάκλησης, που θεωρούνται από τα πιο ενημερωτικά γραφήματα για την αποτελεσματικότητα των συστημάτων αναζήτησης (π.χ. [30]).

Απ' όσο γνωρίζουμε, η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη προσπάθεια να εφαρμοστεί η έννοια της βαθμωτής σχετικότητας στην αξιολόγηση της ανακάλυψης υπηρεσιών (βλ. και σχετική δημοσίευση [44]). Τα πρώτα ευρήματα μας υιοθετήθηκαν από άλλους ερευνητές [45][46] που πρότειναν νέες μεθόδους και μετρικές για την αξιολόγηση της ανακάλυψης των ΥΣΙ. Στο [45] οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τις γενικευμένες μετρικές που προτείναμε (βλ. επόμενες ενότητες) για να αξιολογήσουν το σύστημά τους για σημασιολογική ταύτιση. Στο [46] προτείνεται μια βαθμωτή κλίμακα σχετικότητας για τη ταύτιση ΥΣΙ καθώς και μετρικές για την αξιολόγηση των σχετικών συστημάτων. Οι συγγραφείς έκαναν και πειράματα με πραγματικά τέτοια συστήματα. Όμως, παρόλο που οι συγγραφείς φτάνουν σε μερικά πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα, παραβλέπουν το γεγονός ότι τα συστήματα επιστρέφουν γενικά μερικώς ταξινομημένα αποτελέσματα. Επίσης, ένας άλλος περιορισμός που συναντάται σε όλες αυτές τις εργασίες είναι το γεγονός ότι οι κρίσεις σχετικότητας πρέπει να δημιουργηθούν με το χέρι. Στις επόμενες ενότητες προτείνουμε κάποιες λύσεις για όλους του προαναφερθέντες περιορισμούς.

2.4.2 Μετρικές Αξιολόγησης

Εκτός από τις καθιερωμένες μετρικές αξιολόγησης (Precision, Recall, F-measure, κλπ) έχει προταθεί ένα μεγάλο πλήθος μετρικών στη διεθνή βιβλιογραφία. Μια αρκετά δημοφιλής μετρική είναι η Μέση Ακρίβεια (Average Precision, AveP) για όλα τα στοιχεία που είναι σχετικά με μια αίτηση/επερώτηση. Μια επέκτασή της είναι η Mean Average Precision (MAP) που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο συνέδρια TREC [47] το 1994 και είναι αποδεκτή από τους περισσότερους ερευνητές καθώς δίνει μια μοναδική τιμή ανά

σύστημα, είναι ευαίσθητη και αξιόπιστη [48]. Όμως η τιμή που επιστρέφει η AveP είναι κάπως αφηρημένη και δεν μπορεί να ερμηνευτεί τόσο εύκολα όσο η ακρίβεια σε συγκεκριμένο πλήθος στοιχείων (P_k, k: το πλήθος των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της ακρίβειας). Επιπλέον, οι MAP και P_k μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν υπάρχουν όλες οι κρίσεις σχετικότητας. Για αυτό το λόγο, οι Buckley και Voorhees [49] πρότειναν μια νέα μετρική που ονομάζεται bpref (binary preference) για αξιολόγηση με ελλιπείς κρίσεις σχετικότητας. Αυτή η μετρική μοιάζει πολύ με την AveP όταν υπάρχουν όλες οι κρίσεις σχετικότητας. Άλλες προσεγγίσεις κατάλληλες για ελλιπείς κρίσεις σχετικότητας είναι οι RankEff [50], Ap_all [48], InducedAP, SubCollectionAP και InferredAP [51].

Όλες οι μετρικές που αναφέρθηκαν ως εδώ υποθέτουν την ύπαρξη μιας δυαδικής κλίμακας σχετικότητας. Αλλά όπως δείξαμε το δυαδικό σχήμα αξιολόγησης έχει πολλά μειονεκτήματα και για αυτό απαιτείται μια βαθμωτή κλίμακα σχετικότητας για την αξιολόγηση αλγορίθμων ταύτισης ΥΣΙ. Αυτό συνεπάγεται βέβαια και την ύπαρξη κατάλληλων μετρικών. Στο πεδίο της Ανάκτησης Πληροφορίας έχουν προταθεί διάφορες τέτοιες μετρικές. Άλλες από αυτές επεκτείνουν τις υπάρχουσες μετρικές για δυαδική αξιολόγηση ενώ άλλες βασίζονται σε νέες έννοιες.

Οι De Beer και Moens [52] πρότειναν το rpref που είναι μια βαθμωτή έκδοση του bpref. Όμοια οι συγγραφείς στο [53] επέκτειναν το AveP εισάγοντας το Average Weighted Precision (AWP).

Στο [54] οι Kekäläinen και Järvelin εισήγαγαν την έννοια του κέρδους (gain). Σε κάθε επίπεδο μιας κλίμακας σχετικότητας ανατίθεται μια τιμή κέρδους που αναπαριστά το κέρδος του χρήστη αν το σύστημα του επιστρέψει μια υπηρεσία σε αυτό το επίπεδο. Οι κρίσεις σχετικότητας λαμβάνουν τιμές από ένα σύνολο W. Έστω ότι $L \in W$ είναι ένα επίπεδο σχετικότητας και gain(L) το κέρδος από την ανάκτηση μια υπηρεσίας από το επίπεδο L. Για παράδειγμα, αν W={“Highly relevant”, “Relevant”, “Potentially relevant”, “Non relevant”}, τότε gain(“Highly relevant”)=3, gain(“Relevant”)=2, gain(“Potentially relevant”)=1 and gain(“Non relevant”)=0. Οι Kekäläinen και Järvelin πρότειναν και το Cumulated Gain (cg) στη θέση r που αναπαριστά το συνολικό κέρδος που λαμβάνει ο χρήστης βλέποντας τα αποτελέσματα μέχρι τη θέση r.

Όμως, το Cumulated Gain δεν «τιμωρεί» την καθυστερημένη ανάκτηση σχετικών υπηρεσιών. Αυτό είναι απαραίτητο καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η θέση στην οποία ταξινομείται μια σχετική υπηρεσία τόσο μικρότερη χρησιμότητα έχει για το χρήστη. Έτσι

προστέθηκε και ένας παράγοντας έκπτωσης στον υπολογισμό του Cumulated Gain που μειώνει το κέρδος των υπηρεσιών όσο μεγαλύτερη είναι η θέση τους στη ταξινόμηση των αποτελεσμάτων, Έτσι προκύπτει το Discounted Cumulated Gain (dcg). Για να μπορούν να συγκριθούν οι τιμές dcg διαφορετικών συστημάτων προτάθηκε ένα κανονικοποιημένο dcg (nDCG). Το nDCG υπολογίζεται διαιρώντας τις τιμές dcg με τις τιμές dcg από μια ιδανική ταξινόμηση, που ονομάζεται idcg (ideal dcg). Για παράδειγμα, με βάση τη κλίμακα *W* που χρησιμοποιήσαμε προηγούμενα, η ιδανική ταξινόμηση θα ήταν αυτή που έχει στις πρώτες θέσεις όλες τις *"Highly relevant"* υπηρεσίες και τελευταίες τις *"Non relevant"*.

Με βάση την έννοια του κέρδους έχουν προταθεί διάφορες μετρικές όπως η Q-Measure [55] και η Average Weighted Discounted Precision (AWDP) [46]. Επειδή θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς παρακάτω αυτές τις μετρικές, παραθέτουμε μερικές επιπλέον πληροφορίες για αυτές στις ακόλουθες παραγράφους.

Αρχικά ας υποθέσουμε ότι μια μηχανή ανακάλυψης υπηρεσιών επιστρέφει ένα διάνυσμα $V = \langle v_1, v_2, ..., v_n \rangle$ μήκους *n* σαν απάντηση σε μια συγκεκριμένη αίτηση. Για κάθε στοιχείο του *V* ισχύει ότι $v_i \succ v_{i+1}, 1 \le n < n$, δηλ., η υπηρεσία στη πρώτη θέση θεωρείται πιο σχετική από την υπηρεσία στη δεύτερη κ.ο.κ. Ο αριθμός όλων των σχετικών υπηρεσιών θεωρείται ότι είναι *R*.

Έτσι το Cumulated Gain στη θέση *r* της λίστας των αποτελεσμάτων ορίζεται σαν: $cg(r) = \sum_{1 \le i \le r} g(i)$, όπου $g(i) = gain(L)$ αν η υπηρεσία στη θέση *i* είναι *L-relevant*, αλλιώς $g(i) = 0$. Επιπλέον ορίζουμε σαν $icg(r)$ το Cumulated Gain μιας ιδανικής λίστας αποτελεσμάτων, για την οποία $g(r) > 0$ αν $1 \le r \le n$ και $g(r) \le g(r-1)$ για $r > 1$.

Το Discounted Gain στη θέση *r* της λίστας αποτελεσμάτων ορίζεται ως:

$$dg(r) = \frac{g(r)}{\log_a(r)}, r > a$$
$$dg(r) = g(r), r \le a$$

και το Discounted Gain στη θέση *r* της ιδανικής λίστας ονομάζεται *idg(r).*

Το Discounted Cumulated Gain στη θέση *r* δίνεται από τον τύπο $dcg(r) = \sum_{i=1}^{r} dg(i)$ και για την ιδανική λίστα από το *idcg(r)* που ορίζεται ανάλογα, ενώ η κανονικοποιημένη έκδοση του Discounted Cumulated Gain είναι:

$$nDCG(r) = \frac{dcg(r)}{idcg(r)}$$

Ο Sakai στο [55] προτείνει μια νέα μετρική για βαθμωτή σχετικότητα, την Q-Measure, που συνδυάζει τις AveP και AWP. Η Q-Measure ορίζεται ως:

$$Q-measure = \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{r\le n} isrel(r)BR(r)$$

$$BR(r) = \frac{b\cdot cg(r)+count(r)}{b\cdot icg(r)+r}$$

όπου *isrel(r)* είναι μια συνάρτηση που επιστρέφει 1 αν η υπηρεσία στη θέση *r* είναι σχετική (δηλ. *gain(r)>0*), και 0 σε διαφορετική περίπτωση.

Το $count(r) = \sum_{1\le i\le r} isrel(i)$ αναπαριστά το πλήθος των σχετικών υπηρεσιών μέχρι τη θέση *r*. Το *b* είναι μια παράμετρος που ρυθμίζει την «τιμωρία» μιας σχετικής υπηρεσίας, αν αυτή επιστραφεί στο τέλος της λίστας. Μια μεγάλη τιμή του (π.χ. b=100) εξαλείφει την τιμωρία, ενώ μια μικρή (π.χ. b=1) επιβάλει μεγαλύτερη τιμωρία.

Ο Sakai στο [56] πρότεινε ότι η εφαρμογή των Q-measure, normalized Discounted Cumulated Gain (nDCG) and AveP σε συμπτηγμένες λίστες (condensed lists), δηλαδή λίστες που δεν περιλαμβάνουν μη-κριθείσες υπηρεσίες, είναι καλύτερη λύση από το bpref (στη περίπτωση ελλιπών κρίσεων σχετικότητας). Αυτές οι μετρικές ονομάστηκαν Q'-measure, nDCG' και AveP' αντίστοιχα. Επίσης στο [57] έδειξε ότι το rpref δεν έχει κάποιο σοβαρό πλεονέκτημα έναντι των Q'-measure, nDCG' και AveP' παρά την πολυπλοκότητά του.

Οι Küster και König-Ries στο [46] πρότειναν το Average Weighted Discounted Precision (AWDP) για χρήση στην αξιολόγηση συστημάτων ανακάλυψης ΥΣΙ. Το AWDP είναι μια παραλλαγή του AWP που χρησιμοποιεί το DCG αντί για το CG. Οι συγγραφείς συνέκριναν το AWDP με το Q-Measure και έδειξαν ότι το πρώτο είναι πιο ευαίσθητο σε αλλαγές των παραμέτρων (π.χ., παράμετρος b, αλλαγές στις τιμές του κέρδους). Το AWDP ορίζεται ως:

$$AWDP = \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{n} isrel(r)\frac{dcg(r)}{idcg(r)}$$

Όλες οι μετρικές που περιγράφηκαν μέχρι εδώ είναι κατάλληλες μόνο αν τα αποτελέσματα ενός αλγορίθμου ταύτισης είναι πλήρως διατεταγμένα, δηλαδή δεν υπάρχουν ισοδυναμίες (ties) μεταξύ των στοιχείων τους. Γενικότερα, στο συγκεκριμένο θέμα της αξιολόγησης όταν οι λίστες είναι μερικώς διατεταγμένες (ή ταξινομημένες) δεν έχει γίνει πολλή δουλειά.

Ο Cooper στο [58] μελέτησε αρχικά την επίδραση των μερικών διατάξεων στις μετρικές αξιολόγησης και πρότεινε το Expected Search Length (ESL), σαν μια μετρική που δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη ισοδυναμιών. Αργότερα, οι Raghavan και Jung [59] μελέτησαν τη συμπεριφορά του precision και του recall. Στο [61], ο Yao πρότεινε μια μετρική που ονομάζεται normalized distance performance measure (NDPM) που βασίζεται στην έννοια της *προτίμησης του χρήστη*. Υπολογίζει την κανονικοποιημένη απόσταση ανάμεσα στην ταξινόμηση του συστήματος και σε μια ιδανική που αναπαριστά την προτίμηση του χρήστη. Το NDPM, σε αντίθεση με τις προηγούμενες εργασίες μπορεί να υποστηρίξει τόσο βαθμωτή σχετικότητα όσο και μερικώς διατεταγμένα αποτελέσματα. Οι McSherry και Najork [60] πρότειναν μια μέθοδο για να επεκτείνουν μετρικές που προορίζονταν για πλήρεις διατάξεις σε μερικές διατάξεις. Στην εργασία τους επέκτειναν τα Precision, Recall, F1-measure, Reciprocal Rank, Average Precision και nDCG (θα αναφερόμαστε σε αυτό σαν nDCGp' όταν εφαρμόζεται σε συμπτηγμένες λίστες).

Πίνακας 2.5. Κατηγοριοποίηση των μετρικών

Metric	Full relevance judgments	Incomplete relevance judgments	Binary relevance	Graded relevance	Full rankings	Partial rankings
Precision [41]	×		×		×	×
Recall [41]	×		×		×	×
AveP [41]	×		×		×	
P_k [48]	×		×		×	
bpref [49]		×	×		×	
AveP' [56]		×	×		×	
InducedAP [51]		×	×		×	
SubcollectionAP [51]		×	×		×	
InferredAP [51]		×	×		×	
RankEff [50]		×	×		×	
Ap_all [48]		×	×		×	
Q-measure [55]	×		×	×	×	
nDCG [54]	×		×	×	×	
Q'-measure [56]		×	×	×	×	
nDCG' [56]		×	×	×	×	
nDCGp' [60]		×	×	×	×	×
rpref [52]		×		×	×	
AWDP [46]	×			×	×	
NDPM [61]	×			×	×	×

Ο Πίνακας 2.5 δείχνει μια κατηγοριοποίηση των μετρικών που περιγράψαμε σε τρεις άξονες: α) ανάλογα με το αν απαιτούν πλήρεις κρίσεις σχετικότητας ή μπορούν να λειτουργήσουν και με ελλιπείς, β) ανάλογα με το αν υποστηρίζουν βαθμωτή σχετικότητα ή όχι, και γ) ανάλογα με το αν υποστηρίζουν μερικώς διατεταγμένες λίστες αποτελεσμάτων ή όχι. Συμπερασματικά, λιγότερες από τις μισές υποστηρίζουν

βαθμωτές κρίσεις σχετικότητας και ακόμα λιγότερες ελλιπείς κρίσεις. Τελικά, μόνο μια μετρική (που είναι και επισημασμένη στον πίνακα) είναι κατάλληλη για τον τύπο αξιολόγησης που απαιτείται στην ανακάλυψη ΥΣΙ. Στις επόμενες ενότητες περιγράφουμε πώς επεκτείνουμε την εργασία [60] για να προτείνουμε κατάλληλες παραλλαγές των μετρικών Q-measure και AWDP. Επίσης περιγράφουμε και δύο γενικευμένες μετρικές ακρίβειας και ανάκλησης που έχουν επίσης τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

2.4.3 Αξιολόγηση με Ελλιπείς ή Χωρίς Κρίσεις Σχετικότητας

Για κάθε αξιολόγηση διαδικασίας αναζήτησης απαιτείται να υπάρχουν κάποιες κρίσεις αξιολόγησης που να ορίζουν ποια είναι τα πιο σχετικά αντικείμενα (στη περίπτωσή μας υπηρεσίες) σε σχέση με την επερώτηση του χρήστη. Αυτό είναι και το πιο δύσκολο ίσως μέρος της διαδικασίας αξιολόγησης καθώς συνήθως γίνεται με το χέρι και πρέπει κάποιοι «ειδικοί» να κρίνουν κάθε υπηρεσία που είναι διαθέσιμη σε σχέση με την επερώτηση του χρήστη. Σύμφωνα με τον Soboroff [62] υπάρχουν δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι το συνεχώς αυξανόμενο μέγεθος και ο δυναμικός χαρακτήρας των συλλογών υπηρεσιών (π.χ., προσθήκη νέων υπηρεσιών) καθιστούν πολύ δύσκολη τη κρίση κάθε υπηρεσίας για κάθε αίτηση του χρήστη. Το δεύτερο είναι ότι η σχετικότητα είναι υποκειμενική έννοια και δεν είναι πάντα εύκολο να οριστεί.

Η λύση που προτείνεται στο [62] είναι η χρήση μεθόδων «σύναξης» (pooling). Σύμφωνα με αυτές τις τεχνικές, οι ειδικοί δεν κρίνουν όλα τα στοιχεία της συλλογής για κάθε επερώτηση αλλά μόνο ένα υποσύνολο αυτών. Το υποσύνολο αυτό δημιουργείται ακολούθως:

1. Κάθε σύστημα που αξιολογείται, υποβάλει τα πρώτα *n* ανακτηθέντα στοιχεία για κάθε αίτηση.
2. Από αυτά, επιλέγονται τα πρώτα *k* στοιχεία και, αφού εξαλειφθούν τα διπλά στοιχεία, εισάγονται στη δεξαμενή (pool).
3. Τέλος ο ειδικός του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής κρίνει μόνο τα στοιχεία στη δεξαμενή, δημιουργώντας ένα ελλιπές σύνολο κρίσεων σχετικότητας, αφού κάποια σχετικά στοιχεία μπορεί να μην έχουν συμπεριληφθεί στη δεξαμενή.

Η μέθοδος της σύναξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν το σύνολο των στοιχείων είναι πεπερασμένο και δεν μεταβάλλεται συχνά. Αυτό, όμως, δεν ισχύει για δυναμικά περιβάλλοντα όπως το World Wide Web (WWW). Για τέτοια περιβάλλοντα θα ήταν χρήσιμο να μπορούμε να αξιολογούμε τα συστήματα χωρίς να έχουν παραχθεί κρίσεις

σχετικότητας με χειροκίνητο τρόπο. Προς αυτή τη κατεύθυνση, έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές, που μπορούν να διαχωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

1. αυτές που δημιουργούν αυτόματα κρίσεις σχετικότητας από τα αποτελέσματα που επιστρέφονται από τα προς αξιολόγηση συστήματα, και
2. αυτές που αξιολογούν τα συστήματα χωρίς καθόλου κρίσεις σχετικότητας.

Η πρώτη μελέτη για τη πρώτη κατηγορία έγινε στην εργασία των Soboroff et al. στο [62]. Δημιούργησαν ένα σύνολο από ψευδοκρίσεις σχετικότητας (pseudo-relevance judgments) επιλέγοντας τυχαία στοιχεία από τη δεξαμενή σαν σχετικά. Αυτό το σύνολο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των συστημάτων. Η συνέπεια αυτών των κρίσεων ελέγχθηκε με βάση το μέγεθος της δεξαμενής, τον αριθμό των σχετικών στοιχείων και την ύπαρξη διπλοτύπων ή όχι στη δεξαμενή. Η μέθοδος συμπεριφέρεται καλύτερα υπό την παρουσία διπλοτύπων. Παρόλο που η ταξινόμηση των συστημάτων συσχετίζεται με τα επίσημα αποτελέσματα του TREC, η μέθοδος δεν είναι ικανή να διαχωρίσει τα συστήματα με την καλύτερη απόδοση από αυτά με τη χειρότερη.

Στα [63] και [64] προτείνεται η μέθοδος AWSEEM (Automatic Web Search Engine Evaluation Methodology). Σε αυτήν η δεξαμενή σχηματίζεται από τα πρώτα b στοιχεία που επιστρέφονται από κάθε σύστημα για κάθε επερώτηση. Στη συνέχεια, αυτά τα στοιχεία ταξινομούνται με τη βοήθεια ενός μοντέλου διανυσματικού χώρου (vector space model). Ένα υποσύνολο της ταξινόμησης που προκύπτει αποτελεί το σύνολο των κρίσεων σχετικότητας. Πειράματα έδειξαν ότι το AWSEEM μπορεί να ξεχωρίσει τα χειρότερα και τα καλύτερα συστήματα.

Στο [65] οι συγγραφείς προτείνουν τη χρήση τεχνικών σύντηξης δεδομένων για να δημιουργήσουν το σύνολο των κρίσεων σχετικότητας. Τέτοιες τεχνικές, εν γένει, παίρνουν δύο ή περισσότερες ταξινομημένες λίστες τις οποίες συνενώνουν σε μια που υποτίθεται είναι «καλύτερη» από τις προηγούμενες.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, αρχικά επιλέγουμε τα συστήματα που θα συντηχθούν. Αυτά μπορεί να είναι όλα τα συστήματα, τα καλύτερα κλπ. Στη συνέχεια, για κάθε επερώτηση, τα b πρώτα αποτελέσματα από κάθε σύστημα συντίθενται και ένα ποσοστό αυτών επιλέγεται σαν κρίσεις σχετικότητας. Το συγκεκριμένο άρθρο προτείνει τρεις διαφορετικούς αλγόριθμους σύντηξης:

- **Rank position**. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί μόνο τη θέση ταξινόμησης κάθε στοιχείου. Αν βρεθεί ένα στοιχείο δεύτερη φορά, τα αντίστροφα των θέσεων τους προστίθενται για να προκύψει ο βαθμός του, καθώς στοιχεία που επιστρέφονται από

περισσότερα τους ενός συστήματα είναι πιο πιθανό να είναι σχετικά. Τα στοιχεία τελικά ταξινομούνται σε αύξουσα σειρά.

- **Borda count**. Κάθε στοιχείο στη λίστα λαμβάνει έναν αριθμό ψήφων ανάλογα με τη θέση του. Αν από όλα τα συστήματα έχουν προκύψει n στοιχεία, τότε το πρώτο στοιχείο σε κάθε λίστα παίρνει n ψήφους, το δεύτερο n-1, το τρίτο n-2, κοκ. Τελικά, τα στοιχεία ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά σύμφωνα με το άθροισμα των ψήφων που έχουν λάβει.
- **Condorcet**. Σε αυτή τη μέθοδο μετράμε το πλήθος νικών, ηττών και ισοπαλιών που έχουν τα στοιχεία μεταξύ τους. Νικητής είναι το στοιχείο με τις περισσότερες νίκες. Αν υπάρχει ισοπαλία στις νίκες τότε νικητής είναι το στοιχείο με τις λιγότερες ήττες, αλλιώς τα στοιχεία παίρνουν την ίδια θέση στην τελική ταξινόμηση.

Οι μέθοδοι Borda Count και Condorcet προέρχονται από τη θεωρία ψηφοφορίας (social voting theory). Από τα πειράματα που έκαναν οι συγγραφείς κατέληξαν ότι η Condorcet είναι καλύτερη για τη σχετική ταξινόμηση συστημάτων από τις μεθόδους των Soboroff [62] και Wu και Crestani [66].

Στη δεύτερη μεγάλη κατηγορία υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές: η Reference Count [66] και η Overlap [67]. Η Reference Count μετρά τον αριθμό των εμφανίσεων ενός στοιχείου μιας λίστας σε όλες τις υπόλοιπες λίστες. Για κάθε σύστημα προστίθενται οι τιμές αυτές και χρησιμοποιούνται για τη ταξινόμησή του. Τα πειράματα έδειξαν ότι αυτή η μέθοδος είναι αρκετά αποτελεσματική και μερικές φορές πιο αποτελεσματική από αυτή του Soboroff, όμως δεν μπορεί να διακρίνει το καλύτερο σύστημα. Η μέθοδος Overlap [67] μπορεί να ταξινομήσει σωστά τα συστήματα με τις καλύτερες επιδόσεις και τα καταφέρνει το ίδιο καλά και για συστήματα με μέτριες ή κακές επιδόσεις. Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να υπολογίσει την επικάλυψη στις λίστες που επιστρέφουν τα συστήματα για κάθε επερώτηση.

2.5. *Γενικευμένο Σχήμα Αξιολόγησης*

Με δεδομένα τα προβλήματα που περιγράφηκαν, το σχήμα EVS1 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ακριβή αξιολόγηση ανακάλυψης ΥΣΙ. Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το σχήμα EVS2 το οποίο δεν έχει τα μειονεκτήματα αυτά. Στα πλαίσια του σχήματος αυτού, υποθέτουμε ότι ένα σύστημα αξιολόγησης υπηρεσιών είναι ένα γενικευμένο σύστημα ανάκτησης πληροφορίας, όμοιο με αυτό που περιγράφεται στο [68]. Με βάση αυτό το σχήμα, χρειάζονται οι ακόλουθες αλλαγές:

1) οι κρίσεις σχετικότητας γίνονται με βαθμωτό και όχι δυαδικό τρόπο. Συγκεκριμένα το *W* είναι ένα σύνολο από ασαφείς γλωσσικούς όρους (fuzzy linguistic terms),
2) οι βαθμοί ομοιότητας (RSVs) που υποστηρίζονται από τη μηχανή ανακάλυψης αναπαρίστανται επίσης από μια βαθμωτή κλίμακα (χρησιμοποιούμε ασαφείς γλωσσικούς όρους όμοια με τις κρίσεις των ειδικών), και
3) οι καθιερωμένες δυαδικές μετρικές ακρίβειας και ανάκλησης, αντικαθίστανται από γενικευμένες μετρικές.

2.5.1 Ασαφείς κρίσεις σχετικότητας από τους ειδικούς

Η αξιολόγηση του πόσο σχετικές είναι δύο περιγραφές υπηρεσιών (η μία από τις οποίες είναι η αίτηση) είναι μια δύσκολη διαδικασία. Ανάμεσα στους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάθεση της σχετικότητας αυτής είναι τα χαρακτηριστικά (εκφραστικότητα) της γλώσσας περιγραφής των υπηρεσιών και αν οι ειδικοί έχουν προηγούμενη εμπειρία με τις υπηρεσίες. Εξαιτίας της πολύπλευρης φύσης αυτής της διαδικασίας, ένας ειδικός πεδίου (domain expert) θα πρέπει να μπορεί να κάνει πιο λεπτομερείς αναθέσεις σχετικότητας από αυτές που επιτρέπονται από το δυαδικό σχήμα αξιολόγησης. Ένας τρόπος να επιτευχθεί αυτό είναι με τη χρήση αριθμητικών βαρών κατά το προσδιορισμό της σχετικότητας. Όμως, σύμφωνα με τον L. Zadeh η έννοια της σχετικότητας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν «αμορφική» (amorphic), δηλαδή δεν μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά εξαιτίας της πολυπλοκότητάς της [69]. Έτσι, η χρήση των προαναφερθέντων βαρών θα ανάγκαζε τον ειδικό να ποσοτικοποιήσει ένα σύνολο από αρκετά ασαφείς έννοιες (δηλ. να ποσοτικοποιήσει τα χαρακτηριστικά της σχετικότητας). Φυσικά, αν κάποιος χρησιμοποιεί αριθμητικά βάρη πρέπει να έχει και επίγνωση (ή να ορίσει ρητά) τη σημασιολογία τους [70]. Από την άλλη, η χρήση λέξεων φυσικής γλώσσας σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πολύ πιο βολική από τη χρήση αριθμητικών τιμών.

Για τους ανωτέρω λόγους προτείνουμε τη χρήση μιας ασαφούς[5] γλωσσικής προσέγγισης για να διαχωρίζουμε τις υπηρεσίες με βάση τη σχετικότητα τους ως προς την αίτηση. Σε αυτή τη προσέγγιση αντιστοιχίζεται μια γλωσσική περιγραφή σε κάθε περιγραφή υπηρεσίας όπως «κάπως σχετική» (“somewhat relevant”) ή «πολύ σχετική» (“very relevant”). Η θεωρητική βάση αυτής της προσέγγισης είναι η Θεωρία Ασαφών Συνόλων (Fuzzy Set Theory) [71], που χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί η χρήση

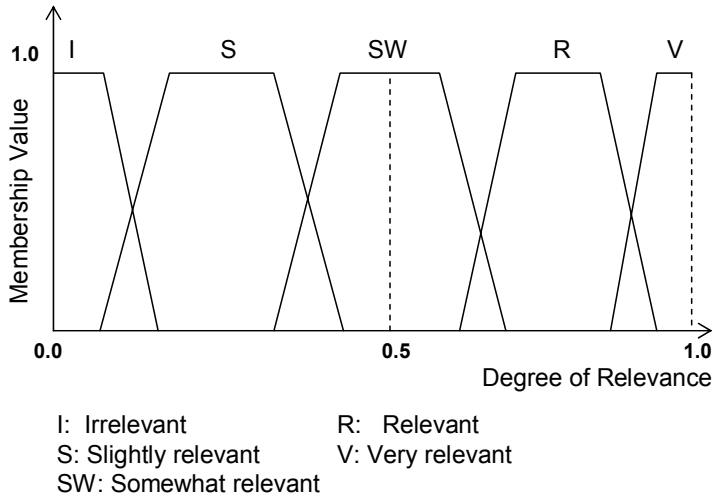
[5] Να σημειωθεί ότι το επίθετο “ασαφής” δεν προσδιορίζει την διαδικασία ταιριάσματος/ανακάλυψης (π.χ., ασαφείς επερωτήσεις ή ασαφής αλγόριθμος ταιριάσματος) αλλά μόνο τον τρόπο μοντελοποίησης της σχετικότητας και των βαθμών ταύτισης (μέσω ασαφών μεταβλητών)

βαρών για το χειρισμό αβέβαιης πληροφορίας σε διάφορα επίπεδα αναπαράστασης. Πιο συγκεκριμένα, διάφορες γλωσσικές τιμές μοντελοποιούνται με ασαφείς γλωσσικές μεταβλητές (fuzzy linguistic variables) [72]. Διάφορα συστήματα IR έχουν προταθεί που υιοθετούν μια τέτοια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση είτε βαρών στην επερώτηση είτε συναρτήσεων συγγένειας (membership functions) κατά την αποτίμηση της επερώτησης. Στη περίπτωσή μας χρησιμοποιούμε μια ασαφή γλωσσική προσέγγιση, που ορίζει το σύνολο των γλωσσικών όρων μέσα από μια *διατεταγμένη λίστα γλωσσικών όρων* σε σχέση με μια γλωσσική μεταβλητή. Ένας απλουστευμένος ορισμός της γλωσσικής μεταβλητής είναι:

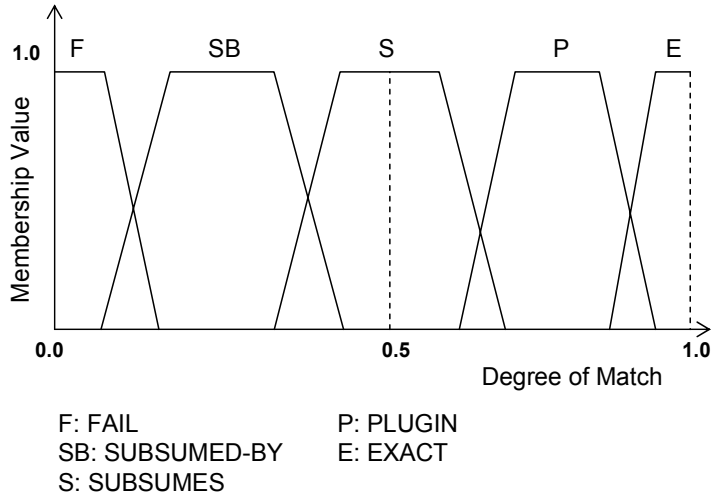
Ορισμός. Μια *γλωσσική μεταβλητή* χαρακτηρίζεται από μια πλειάδα (*L, H(L)*). Το *L* είναι το γλωσσικό όνομα της μεταβλητής (π.χ., "σχετικότητα") και το *H(L)* υποδηλώνει το σύνολο των γλωσσικών όρων του *L*, δηλαδή το σύνολο των ονομάτων των γλωσσικών τιμών του *L* (π.χ., "άσχετο", "κάπως σχετικό"). Κάθε γλωσσική τιμή μπορεί να αναπαρασταθεί από μια ασαφή μεταβλητή *u* σε ένα πεδίο ορισμού *U.* Ο βαθμός συγγένειας ενός στοιχείου $u \in U$ ορίζεται από μια συνάρτηση συγγένειας μ_u, τέτοια ώστε: $\mu_u:U\rightarrow[0,1]$. Η μηδενική τιμή σημαίνει καθόλου συγγένεια, ενώ η μοναδιαία τιμή σημαίνει πλήρη συγγένεια.[6] ■

Στο πλαίσιο της ανακάλυψης υπηρεσιών, το όνομα της γλωσσικής μεταβλητής *L* είναι «σχετικότητα» (relevance) και το σύνολο *H(L)* μπορεί να οριστεί ως: *H*("relevance") = {"irrelevant", "slightly relevant", "somewhat relevant", "relevant", "very relevant"}. Για παράδειγμα, αν μια αίτηση για υπηρεσία $R\in Q$ είναι "slightly relevant" με μια περιγραφή υπηρεσίας $S_i\in S$, τότε $\mu_{slightly_relevant}\simeq 1$. Οι συναρτήσεις συγγένειας αυτών των όρων μπορεί να είναι ή να μην είναι ισομερώς κατανεμημένες στο διάστημα [0, 1] σε σχέση με τη διατεταγμένη δομή των αντίστοιχων γλωσσικών όρων [73]. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται γραμμικές τραπεζοειδείς συναρτήσεις συγγένειας για να περιγραφεί η ασάφεια των γλωσσικών όρων (βλ. Σχήμα 2.7).

[6] Ένας πιο πλήρης ορισμός μπορεί να βρεθεί στο [70]



Σχήμα 2.7. Ένα σύνολο πέντε γλωσσικών όρων για ανάθεση σχετικότητας



Σχήμα 2.8. Ασαφείς βαθμοί ταύτισης

2.5.2 Ασαφοποίηση του βαθμού ταύτισης

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τους βαθμούς ταύτισης, που αναθέτουν οι μηχανές ανακάλυψης σε κάθε υπηρεσία, με τις αντίστοιχες κρίσεις σχετικότητας από τους ειδικούς πρέπει να τους εκφράσουμε με ένα όμοιο τρόπο. Άρα πρέπει να οριστούν κάποιες ασαφείς μεταβλητές που να αντιστοιχούν στους διάφορούς βαθμούς ταύτισης. Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να οριστούν όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Το όνομα της γλωσσικής μεταβλητής *L* είναι «DoM» και το σύνολο *H(L)* ορίζεται ως: *H*(“DoM”) = {“fail”, “subsumed-by”, “subsumes”, “plugin”, “exact”}.

2.5.3 Γενικευμένες ασαφείς μετρικές αξιολόγησης

Ένα πρόβλημα που αμέσως διαφαίνεται σχετικά με τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας ενός γενικευμένου συστήματος ανάκτησης πληροφορίας είναι ότι πρέπει να δοθεί μια νέα ερμηνεία για τα δυαδικά σύνολα RT και RL των τύπων (2.2). Αυτό το πρόβλημα μπορεί αν λυθεί μέσω ενός μετασχηματισμού των πληθικοτήτων των συνόλων αυτών σε ασαφείς πληθικότητες [74]. Οι προτεινόμενες μετρικές είναι γενικεύσεις των μετρικών ακρίβειας και ανάκλησης, υπολογιζόμενες από τις δύο ταξινομήσεις (δηλ. συναρτήσεις συγγένειας) ανάθεσης σχετικότητας, *fe* (δίνεται από τη μηχανή) και *fr* (δίνεται από τους ειδικούς), όμοια με τη δυαδική περίπτωση[7] (2.3). Χρησιμοποιώντας τις πληθικότητες (cardinalities) των ασαφών συνόλων, οι γενικευμένες μετρικές αξιολόγησης (R_G και P_G), που παρουσιάστηκαν στο [68], δίνονται στους τύπους (2.4).

$$\boldsymbol{fe}: \mathrm{Q} \times \mathrm{S} \rightarrow [0,1], \quad \boldsymbol{fr}: \mathrm{Q} \times \mathrm{S} \rightarrow [0,1] \qquad (2.3)$$

$$R_G = \frac{\sum_{S_i \in S} \min\{fr(R,S_i), fe(R,S_i)\}}{\sum_{S_i \in S} fr(R,S_i)}$$
$$P_G = \frac{\sum_{S_i \in S} \min\{fr(R,S_i), fe(R,S_i)\}}{\sum_{S_i \in S} fe(R,S_i)} \qquad (2.4)$$

Να σημειωθεί ότι αυτές οι μετρικές δεν αναπαριστούν το ποσοστό των «σχετικών ανακτηθεισών υπηρεσιών» προς το συνολικό αριθμό των «σχετικών» (ή «ανακτηθεισών» υπηρεσιών, αντίστοιχα). Αφού τα σύνολα των «σχετικών» και «ανακτηθεισών» υπηρεσιών είναι ασαφή, οι μετρικές λαμβάνουν υπόψη τους τις τιμές συγγένειας *όλων* των διαθέσιμων υπηρεσιών και αιτήσεων. Αυτό υποδεικνύεται και από τα αθροίσματα στους τύπους (2.4), που περιλαμβάνουν όλες τις $S_i \in S$. Άλλη μια παρατήρηση από τους τύπους (2.4) είναι ότι η ακρίβεια μεγιστοποιείται όταν οι εκτιμήσεις της μηχανής είναι πιο αυστηρές από αυτές των ειδικών, δηλαδή όταν ισχύει *min(fr,fe)=fe* για το μεγαλύτερο ποσοστό των περιγραφών υπηρεσιών. Το αντίθετο ισχύει για τη συμπεριφορά του R_G.

[7] Το πρόθεμα “f” προκύπτει από τη λέξη “fuzzy” (ασαφής)

2.6. *Άλλες Μετρικές για την Αξιολόγηση Συστημάτων Ανακάλυψης ΥΣΙ*

Από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας φάνηκε ότι εκτός από τη μετρική nDCGp' [60], οι Q-Measure και AWDP θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των εν λόγω συστημάτων, αν υποστήριζαν μερικώς διατεταγμένες λίστες αποτελεσμάτων[8]. Σε αυτή την ενότητα προτείνουμε κάποιες επεκτάσεις αυτών των μετρικών προς αυτή την κατεύθυνση.

2.6.1 Ορισμοί

Στη περίπτωση μερικής ταξινόμησης των αποτελεσμάτων σε |*DoM*| επίπεδα σχετικότητας (ένα για κάθε βαθμό ταύτισης), ένα σύστημα επιστρέφει ένα διάνυσμα της μορφής $V = \langle v_1, v_2, ..., v_n \rangle$ μήκους *n*, που μπορεί να διαχωριστεί σε *m* υπο-διανύσματα, $m \leq |DoM|$. Όλα τα στοιχεία σε κάθε υπο-διάνυσμα έχουν τον ίδιο βαθμό ταύτισης και άρα είναι ισοδύναμα.

Για να χειριστούμε τις ισοδυναμίες μεταξύ των στοιχείων χρησιμοποιούμε ένα διάνυσμα ισοδυναμιών (Tie Vector) $T=\langle t_1, t_2, \ldots, t_{m+1} \rangle$, του οποίου το πρώτο στοιχείο είναι 0 και τα υπόλοιπα είναι οι δείκτες του τελευταίου στοιχείου σε καθεμιά από τις m κλάσεις του V. Όλα τα στοιχεία στο $V_i = \langle v_{t_i+1}, ..., v_{t_{i+1}} \rangle$ έχουν τον ίδιο βαθμό ταύτισης.

Ας υποθέσουμε ότι το r_i, δηλώνει το πλήθος των σχετικών στοιχείων στο V_i , το n_i το πλήθος όλων των στοιχείων στο V_i και το R_i τον αριθμό όλων των σχετικών στοιχείων στο *V* που προηγούνται του V_i.

Από δω και στο εξής, για λόγους απλότητας, όταν θεωρούμε μια θέση j σε μια κλάση ισοδυναμίας θα θεωρούμε επίσης ότι το *i* είναι ο δείκτης αυτής της κλάσης, δηλ. $t_i < j \leq t_{i+1}$. Όλοι οι παραπάνω συμβολισμοί συνοψίζονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6. Χρήσιμοι συμβολισμοί

Σύμβολο	Ερμηνεία
R	Το πλήθος των σχετικών στοιχείων για μια επερώτηση
n	Το πλήθος των ανακτηθέντων στοιχείων για μια επερώτηση
m	Το πλήθος των κλάσεων ισοδυναμίας στη λίστα των ανακτηθέντων στοιχείων
r_i	Το πλήθος των σχετικών στοιχείων στο σύνολο V_i
n_i	Το πλήθος όλων των στοιχείων στο σύνολο V_i
R_i	Το πλήθος των σχετικών στοιχείων στο V που προηγούνται του V_i

[8] Για την ακρίβεια, αυτό θα ίσχυε αν οι μετρικές εφαρμοστούν σε συμπτηγμένες λίστες.

2.6.2 Επέκταση του Average Weighted Discounted Precision (AWDP)

Το AWDP είναι το άθροισμα των τιμών nDCG για τις σχετικές υπηρεσίες διαιρεμένο με το πλήθος τους. Στο [46] οι συγγραφείς όρισαν το AWDP για πλήρως διατεταγμένες λίστες αποτελεσμάτων με τον τύπο:

$$AWDP = \frac{1}{R}\sum_{r=1}^{n} isrel(r)\frac{dcg(r)}{idcg(r)}$$

Ο υπολογισμός του nDCG για μερικώς ταξινομημένες λίστες μπορεί να βρεθεί στο [60]. Έτσι η μόνη ποσότητα που πρέπει να αναπροσαρμοστεί είναι η συνάρτηση *isrel(r)*, που επιστρέφει 1 αν το στοιχείο στη θέση *r* είναι σχετικό ή 0 διαφορετικά.

Σε μια κλάση ισοδυναμίας, το στοιχείο στη θέση j είναι σχετικό για $\frac{r_i}{n_i}$ διαφορετικές αναδιατάξεις των στοιχείων της κλάσης, άρα:

$$isrel(j) = \frac{r_i}{n_i}$$

Συνεπώς μπορούμε να ορίσουμε το AWDP για μερικώς διατεταγμένες λίστες ως:

$$AWDP(V) = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{m}\left(\sum_{j=t_i+1}^{t_{i+1}} \frac{r_i}{n_i}\frac{dcg@j(V)}{idcg(j)}\right)$$

Ο τύπος για το *dcg@j(V)*, αναλύεται στο [60].

2.6.3 Επέκταση του Q-measure

Στην ενότητα 2.4.2 είδαμε πως ορίζεται το Q-measure στο [55]. Αυτή η μετρική διαιρεί το άθροισμα των *BR(j)* των σχετικών υπηρεσιών με το πλήθος τους. Στη περίπτωση των μερικών διατάξεων θα πρέπει να προσαρμόσουμε το *BR(j)*. Αρχικά, το *count(j)* υπολογίζει το πλήθος των σχετικών υπηρεσιών μέχρι τη θέση *j*. Αυτός ο αριθμός είναι το άθροισμα των σχετικών υπηρεσιών που προηγούνται του V_i, δηλαδή το $R_{i,}$, συν το πλήθος των σχετικών στοιχείων στο V_i που προηγούνται της θέσης *j*.

Σύμφωνα με το [60] όταν το στοιχείο στη θέση *j* είναι σχετικό, ο μέσος αριθμός των σχετικών στοιχείων που προηγούνται στη κλάση ισοδυναμίας του είναι $\frac{r_i - 1}{n_i - 1}$ φορές ο αριθμός των διαθέσιμων θέσεων στην ισοδυναμία, $j-t_i-1$. Έτσι ορίζουμε:

$count(j) = R_i + (j - t_i - 1)\frac{r_i - 1}{n_i - 1} + 1$, αν $n_i>1$, και $count(j)=R_i+1$, διαφορετικά.

Η επόμενη ποσότητα που πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα είναι το Cumulated Gain στη θέση *j*, *cg(j)*. Έστω ότι CG_i είναι το Cumulated Gain όλων των στοιχείων στο *V* που προηγούνται της κλάσης V_i. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί αθροίζοντας τις τιμές κέρδους όλων των στοιχείων που περιέχονται στις κλάσεις που προηγούνται του V_i. Η τιμή του CG_i είναι ανεξάρτητη από τη διάταξη των στοιχείων στις ισοδυναμίες. Αυτό που μένει να υπολογιστεί είναι το άθροισμα των τιμών κέρδους των στοιχείων που προηγούνται του *j* στο V_i. Η τιμή κέρδους κάθε στοιχείου σε μια ισοδυναμία ισούται με το μέσο όρο όλων των τιμών κέρδους που ανήκουν σε αυτή:

$$CG(j) = \frac{1}{n_i}\sum_{r=t_i+1}^{t_{i+1}} g(r)$$

Άρα το Cumulated Gain μέχρι τη θέση j είναι:

$$cg(j) = CG_i + \sum_{r=t_i+1}^{t_{i+1}} CG(r)$$

Το *icg(j)* της ιδανικής ταξινόμησης δεν χρειάζεται κάποια προσαρμογή, επειδή ο υπολογισμός του είναι ανεξάρτητος από ισοδυναμίες. Τελικά, μπορούμε να ορίσουμε το Q-measure για μερικώς διατεταγμένες λίστες ακολούθως:

$$Q-measure(V) = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{m}\left(\sum_{j=t_i+1}^{t_{i+1}} \frac{r_i}{n_i} BR(j)\right)$$

$$BR(j) = \frac{b(CG_i + \sum_{r=t_i+1}^{j} CG(r)) + count(j)}{b \cdot icg(j) + j}$$

Τέλος, να σημειωθεί ότι οι AWDP(V) και Q-measure(V) είναι ισοδύναμες με τις αρχικές μετρικές (για πλήρως διατεταγμένες λίστες) όταν κάθε κλάση ισοδυναμίας έχει ένα στοιχείο.

2.7. *Αυτόματη Δημιουργία Κρίσεων Σχετικότητας*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των συστημάτων χωρίς να δημιουργούμε χειροκίνητα κρίσεις σχετικότητας. Στην ενότητα 2.4.3 παρουσιάστηκαν διάφορες τεχνικές που μπορούν να το επιτύχουν αυτό. Στη παρούσα ενότητα μελετάμε δύο τέτοιες τεχνικές. Η πρώτη

βασίζεται στη μέθοδο Borda Count και η δεύτερη στη Condorcet. Η τελευταία φαίνεται να έχει καλύτερες ιδιότητες για το σκοπό που τη χρησιμοποιούμε.

2.7.1 Μέθοδος Borda Count

Στη μέθοδο Borda Count (BC) θεωρούμε ένα αριθμό *n* υποψήφιων και *m* ψηφοφόρων. Κάθε ψηφοφόρος ταξινομεί τους υποψήφιους σε φθίνουσα σειρά προτίμησης. Η τελική ταξινόμηση των υποψηφίων υπολογίζεται από αυτές τις *m* λίστες ψήφων. Η μέθοδος δίνει *n* ψήφους στον πιο δημοφιλή υποψήφιο, *n-1* στο επόμενο κ.ο.κ. Κάθε υποψήφιος που δεν περιλαμβάνεται σε μια λίστα ψηφοφόρου παίρνει μία ψήφο. Στη συνέχεια, οι ψήφοι κάθε υποψηφίου αθροίζονται και οι υποψήφιοι ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά με βάση το άθροισμα των ψήφων που μάζεψαν.

Στην περίπτωσή μας θεωρούμε ότι οι υπηρεσίες είναι οι υποψήφιοι και οι μηχανές ανακάλυψης είναι οι ψηφοφόροι. Έτσι, η λίστα που παράγει κάθε μηχανή για μια συγκεκριμένη αίτηση αναπαριστά τις ψήφους για τη επιλογή κάθε υπηρεσίας σαν κρίση σχετικότητας. Όμως, υπάρχουν τρεις βασικές διαφορές με τη κανονική BC:

- Μπορεί να υπάρχουν ισοδυναμίες ανάμεσα στις υπηρεσίες που επιστρέφει κάθε μηχανή
- Οι λίστες μπορεί να είναι ελλιπείς (δηλαδή κάποιες υπηρεσίες να μην συμπεριλαμβάνονται σε αυτές), και
- Κάθε μηχανή έχει διαφορετική κλίμακα σχετικότητας, όσον αφορά στο πλήθος των επιπέδων και τη σημασιολογία κάθε επιπέδου.

Προφανώς η κανονική μέθοδος Borda Count δεν εφαρμόζεται άμεσα, επειδή υποθέτει πλήρεις και διατεταγμένες λίστες. Άλλη μια απαίτηση είναι ότι η μέθοδος δεν πρέπει να κάνει υποθέσεις για τη σημασιολογία των κλιμάκων σχετικότητας που χρησιμοποιούνται.

Μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι για την επέκταση της κανονικής μεθόδου BC ώστε να ικανοποιεί τις ανωτέρω απαιτήσεις. Όσον αφορά την επέκταση ώστε να υποστηρίζει ελλιπείς λίστες, μελετήθηκε αρχικά η Modified BC εκδοχή της [150]. Αυτή κάνει την παραδοχή ότι οι ψηφοφόροι δεν ψηφίζουν όλους τους υποψήφιους. Έτσι αν ένας ψηφοφόρος ψηφίσει μόνο 2 από τους 5 υποψήφιους, στον πρώτο ανατίθεται η τιμή 2 και στον δεύτερο η τιμή 1. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι αυτό δεν είναι επιθυμητή συμπεριφορά για τη περίπτωσή μας, καθώς έτσι δεν επιβραβεύονται οι υπηρεσίες που επιστρέφονται από μηχανές υψηλής ακρίβειας (δηλαδή μηχανές που επιστρέφουν λίγα αλλά πολύ σχετικά αποτελέσματα). Αυτό συμβαίνει επειδή ο βασικός στόχος της

Modified BC είναι να δώσει κίνητρο στους ψηφοφόρους να ψηφήσουν όλους τους υποψήφιους, το οποίο δεν είναι σημαντικό για το πρόβλημά μας.

Μια άλλη εναλλακτική εκδοχή της BC που προτείνουμε (την καλούμε Partial BC ή PBC), υπολογίζει την τιμή BC κάθε υπηρεσίας όχι βασισμένη στο συνολικό πλήθος των υπηρεσιών αλλά στο πλήθος των διαφορετικών τιμών στην τελική ταξινόμηση. Σε αυτή τη προσέγγιση, ακόμα και αν οι μηχανές χρησιμοποιούν διαφορετικές κλίμακες σχετικότητας, μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές BC βασισμένοι στο μέγιστο αριθμό διακριτών επιπέδων σχετικότητας[9], *m.* Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε 3 μηχανές ανακάλυψης (E_A, E_B, και E_C) που επιστρέφουν τις ακόλουθες ταξινομημένες λίστες για μια δεδομένη αίτηση [10]:

$$E_A: \{S_1, S_3\} \succ S_2 \succ S_4$$
$$E_B: S_2 \succ \{S_1, S_3\} \succ S_5$$
$$E_C: \{S_1, S_3\} \succ \{S_2, S_5\}$$

Οι E_A και E_B χρησιμοποιούν 3 βαθμούς ταύτισης και η E_C μόνο 2. έτσι, η μέγιστη πληθικότητα των βαθμών είναι 3 και η πρώτη υπηρεσία σε κάθε λίστα θα λάβει 3 ψήφους, η δεύτερη 2 ψήφους κοκ. Οι υπηρεσίες που δεν επιστράφηκαν από κάποια μηχανή δεν λαμβάνουν ψήφους για τη συγκεκριμένη μηχανή.

Τελικά, οι τιμές BC για τις υπηρεσίες του παραδείγματος είναι:

$$BC(S_1) = 3 + 2 + 3 = 8$$
$$BC(S_2) = 2 + 3 + 2 = 7$$
$$BC(S_3) = 3 + 2 + 3 = 8$$
$$BC(S_4) = 1 + 0 + 0 = 1$$
$$BC(S_5) = 0 + 1 + 2 = 3$$

Και η τελική ταξινόμηση τους είναι:

$$\{S_1, S_3\} \succ S_2 \succ S_5 \succ S_4$$

Αν ο αριθμός των μηχανών που χρησιμοποιούνται είναι *k*, τότε ο μέγιστος αριθμός ψήφων είναι *maxVotes = m·k.* Διαιρώντας τις τιμές BC με το *maxVotes* λαμβάνουμε μια κανονικοποιημένη τιμή BC στο διάστημα [0,1] για κάθε υποψήφια υπηρεσία:

$$normBC(s) = \frac{BC(s)}{maxVotes}$$

[9] Προφανώς αν οι λίστες που προκύπτουν από τις μηχανές είναι πλήρως διατεταγμένες η μέθοδος PBC είναι ισοδύναμη με την κανονική BC.

[10] Οι υπηρεσίες που βρίσκονται σε άγκιστρα {} θεωρούνται ισοδύναμες ως προς τη σχετικότητά τους προς την αίτηση. Το ≻ δηλώνει διάταξη υπηρεσιών.

όπου *s* είναι μια υπηρεσία από τη τελική ταξινόμηση. Στο παράδειγμά μας:

$$\text{maxVotes} = 3 \cdot 3 = 9$$
$$\text{normBC}(S_1) = 8/9 = 0.89$$
$$\text{normBC}(S_2) = 7/9 = 0.78$$
$$\text{normBC}(S_3) = 8/9 = 0.89$$
$$\text{normBC}(S_4) = 1/9 = 0.11$$
$$\text{normBC}(S_5) = 3/9 = 0.33$$

Επιλέγοντας μια κλίμακα σχετικότητας, μπορούμε να παράγουμε τις τελικές ψευδοκρίσεις όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7. Οι ψευδοκρίσεις σχετικότητας όπως παράχθηκαν από τη μέθοδο PBC

Σχετικότητα	Διάστημα τιμών	Υπηρεσίες
Highly Relevant	(0.75, 1]	S_1, S_2, S_3
Relevant	[0.5, 0.75)	-
Potentially Relevant	[0.25, 0.5)	S_5
Non Relevant	[0, 0.25)	S_4

Η μέθοδος PBC υποστηρίζει ελλιπείς και μερικώς διατεταγμένες λίστες διαφορετικών κλιμάκων σχετικότητας. Όμως, μπορεί να υπάρξει μία ειδική περίπτωση που η μέθοδος παράγει λάθος (biased) αποτελέσματα. Αυτή παρατηρείται όταν οι πληθικότητες των κλιμάκων σχετικότητας είναι πολύ διαφορετικές για τις διάφορες μηχανές που συμμετέχουν. Αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, αν μια μηχανή επιστρέφει λίστες πλήρως διατεταγμένες ενώ οι υπόλοιπες μερικώς διατεταγμένες. Για να γίνει αυτό πιο ξεκάθαρο, ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια μηχανή E_D που επιστρέφει 30 υπηρεσίες πλήρως διατεταγμένες για μια αίτηση. Επίσης έχουμε και μια άλλη μηχανή E_E που ταξινομεί τις υπηρεσίες σε 4 βαθμούς ταύτισης:

$$E_D : S_1 \succ S_2 \succ \ldots \succ S_{29} \succ S_{30}$$

$$E_E : S_2 \succ \{S_3, \ldots, S_{20}\} \succ \{S_{21}, \ldots, S_{26}\} \succ S_1$$

Αν χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο PBC, η S_1 θα έχει μια κανονικοποιημένη τιμή 57/60 = 0.95, παρόλο που η υπηρεσία αυτή θεωρείται σαν η λιγότερο σχετική από την μηχανή E_E. Αυτό οφείλεται στο ότι η χειρότερη τιμή ψήφου για τη μηχανή E_E είναι 27, που είναι πολύ μεγαλύτερο από το 1, δηλαδή την ιδανική τιμή για τη χειρότερη ψήφο. Έτσι, υπάρχει μια σημαντική απόκλιση ανάμεσα στις τιμές που ανατίθενται στις χειρότερες υπηρεσίες για τις δύο μηχανές. Αυτό οφείλεται στο ότι η μέθοδος αναθέτει απόλυτες

τιμές στα στοιχεία για να συναθροίσει τις λίστες, και εξαρτάται έτσι από τις κλίμακες σχετικότητας που χρησιμοποιούνται.

2.7.2 Μέθοδος Condorcet

Σύμφωνα με τη μέθοδο Condorcet, οι ψηφοφόροι ταξινομούν τους υποψήφιους σε μια σειρά προτίμησης, ακριβώς όπως και στη μέθοδο Borda Count. Όμως, επιτρέπονται και ισοδυναμίες και ελλιπείς λίστες υποψηφίων από τους ψηφοφόρους. Η τελική ταξινόμηση υπολογίζεται βάση των νικών που έχει κάθε υποψήφιος (υπηρεσία).

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε τις μηχανές ανακάλυψης ΥΣΙ E_A-E_C, 5 υπηρεσίες, S_1-S_5, και τα αποτελέσματα που είχαμε και στη προηγούμενη παράγραφο. Αρχικά, η μέθοδος δημιουργεί ένα πίνακα συγκρίσεων CM διαστάσεων n x n, όπου n είναι η πληθικότητα του συνόλου όλων των υπηρεσιών που επιστρέφονται από τις μηχανές. Το στοιχείο CM[i,j] δηλώνει τις νίκες της υπηρεσίας *i* έναντι της υπηρεσίας *j*. Όταν μια υπηρεσία δεν έχει επιστραφεί από μια μηχανή, θεωρείται ότι έχει χάσει από όλες τις υπόλοιπες υπηρεσίες που επιστράφηκαν από αυτή τη μηχανή. Έτσι, στον Πίνακα 2.8, το κελί CM[S_1, S_2] δηλώνει ότι η S_1 έχει 2 νίκες, 1 ήττα και 0 ισοπαλίες έναντι της S_2.

Πίνακας 2.8. Δείγμα πίνακα συγκρίσεων για τη μέθοδο Condorcet

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
S_1	-	2, 1, 0	0, 0, 3	3, 0, 0	3, 0, 0
S_2	1, 2, 0	-	1, 2, 0	3, 0, 0	2, 0, 1
S_3	0, 0, 3	2, 1, 0	-	3, 0, 0	3, 0, 0
S_4	0, 3, 0	0, 3, 0	0, 3, 0	-	1, 2, 0
S_5	0, 3, 0	0, 2, 1	0, 3, 0	2, 1, 0	-

Στη συνέχεια, βρίσκουμε τη τελική ταξινόμηση για κάθε ζεύγος υπηρεσιών. Συγκρίνουμε ανά ζεύγη όλες τις υπηρεσίες και προσθέτουμε ένα βαθμό για κάθε νίκη, ήττα και ισοπαλία στις αντίστοιχες στήλες του Πίνακα 2.9. Οι κανόνες για τη ταξινόμηση των υπηρεσιών είναι:

- Νικητής είναι η υπηρεσία με τις περισσότερες νίκες.
- Αν δύο υπηρεσίες ισοβαθμούν στις νίκες, τότε νικητής είναι η υπηρεσία με τις λιγότερες ήττες.
- Αν ισοβαθμούν και στις ήττες, τότε οι υπηρεσίες κρίνονται σαν ισόπαλες.

Πίνακας 2.9. Τελικά αποτελέσματα σύγκρισης

	Νίκες	Ήττες	Ισοπαλίες
S_1	3	0	1
S_2	2	2	0
S_3	3	0	1
S_4	0	4	0
S_5	1	3	0

Στο παράδειγμά μας, προκύπτει η ταξινόμηση (που τυχαίνει να είναι η ίδια με αυτή της Borda Count):

$$\{S_1, S_3\} \succ S_2 \succ S_5 \succ S_4$$

Ο τελικός στόχος μας όμως, είναι να προσαρμόσουμε τη ταξινόμηση αυτή στη κλίμακα σχετικότητας που χρησιμοποιούμε, ώστε να προκύψουν οι ψευδοκρίσεις σχετικότητας. Για να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$f_i = \frac{m - rank_i}{m}$$

όπου *m* είναι ο αριθμός των επιπέδων σχετικότητας στην τελική ταξινόμηση, και $rank_i$ είναι η θέρη του i-στού στοιχείου στη ταξινόμηση. Για το παράδειγμά μας προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές:

f_{S1} = (4 – 1)/4 = 0.75
f_{S2} = (4 – 2)/4 = 0.50
f_{S3} = (4 – 1)/4 = 0.75
f_{S4} = (4 – 4)/4 = 0.00
f_{S5} = (4 – 3)/4 = 0.25

Όμως, όπως φαίνεται και από το παράδειγμα, αν m<10, τότε η τιμή f της πρώτης υπηρεσίας στη ταξινόμηση θα είναι μικρότερη από 0.9. Αυτό σημαίνει ότι οι τελικές τιμές σχετικότητας εξαρτώνται από τον αριθμό των υπηρεσιών που συμμετέχουν αλλά και από τις διακριτές θέσης ταξινόμησης που έχουμε. Επειδή μια τέτοια εξάρτηση της τιμής f από το πλήθος των υπηρεσιών και τις διακριτές βαθμίδες ταξινόμησης δεν είναι επιθυμητή, κάνουμε μια κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων με τους παρακάτω τύπους:

$$f_i = f_i + \frac{2f_i - 1}{m-2}, \text{ για } f_i \geq 0.5$$
$$f_i = f_i, \text{ αλλιώς}$$

Έτσι οι τελικές τιμές που παίρνουμε είναι:

f_{S1} = 1.00
f_{S2} = 0.50

$f_{S3} = 1.00$
$f_{S4} = 0.00$
$f_{S5} = 0.25$

Οι τελικές ψευδοκρίσεις που προκύπτουν παρατίθενται στον Πίνακα 2.10.

Πίνακας 2.10. Οι ψευδοκρίσεις σχετικότητας που παράχθηκαν από τη μέθοδο Condorcet

Σχετικότητα	Διάστημα τιμών	Υπηρεσίες
Highly Relevant	(0.75, 1]	S_1, S_3
Relevant	[0.5, 0.75)	S_2
Potentially Relevant	[0.25, 0.5)	S_5
Non Relevant	[0, 0.25)	S_4

2.8. *Πειραματική Αξιολόγηση*

Για να αποτιμήσουμε την εφαρμοσιμότητα των μετρικών που προτάθηκαν και σχεδιάστηκαν, κάναμε διάφορα πειράματα. Ο κύριος στόχος των πειραμάτων είναι να διερευνήσουν τη συμπεριφορά των μετρικών και των τεχνικών που περιγράφησαν στις προηγούμενες ενότητες. Επιπλέον, χωρίς να είναι αντικείμενο της αξιολόγησης, αποτιμήσαμε και την αποτελεσματικότητα των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν.

2.8.1 Περιβάλλον Αξιολόγησης

2.8.1.1 Μηχανές Ανακάλυψης Υπηρεσιων

Οι ακόλουθες μηχανές χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα:

- OWLS – MX [30], που παρέχει πέντε διαφορετικές εκδοχές αλγορίθμων ταύτισης. Η εκδοχή M0 χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο ταύτισης που βασίζεται σε λογική, σε αντίθεση με τις εκδοχές M1-M4 που χρησιμοποιούν υβριδικούς αλγόριθμους, οι οποίοι αξιοποιούν και τον αλγόριθμο λογικής ταύτισης και μετρικές ομοιότητας. Για τις εκδοχές M1-M4 πήραμε μετρήσεις και με ενεργοποιημένη την επιλογή “Integrative Hybrid Matching”. Η εκδοχή με την ενεργοποιημένη επιλογή διακρίνεται από το επίθεμα «mx2».
- OWLS-SLR [35], που κάνει συμπερασμό με περιγραφικές λογικές (Description Logics) και χρησιμοποιεί και δύο μετρικές απόστασης εννοιών σε μια οντολογία, τις edge distance (ED) και upwards cotopic distance (UCD). Οι μετρικές απόστασης εκμεταλλεύονται τη δομή της οντολογίας που περιέχει τις έννοιες (κλάσεις) με τις οποίες έχουν περιγραφεί οι υπηρεσίες.
- TUB OWL-S Matcher [33], που κάνει ανακάλυψη υπηρεσιών βασισμένος στις σχέσεις υπαγωγής μεταξύ των εννοιών που περιγράφουν διάφορες

παραμέτρους των υπηρεσιών. Ο TUB δεν επιστρέφει ένα συνολικό βαθμό ταύτισης για κάθε υπηρεσία. Αντίθετα, επιστρέφει διαφορετικούς βαθμούς ταύτισης για κάθε παράμετρο της υπηρεσίας. Στην αξιολόγηση χρησιμοποιούμε μόνο τους βαθμούς των εισόδων και των εξόδων, τις οποίες και συναθροίζουμε με τον ακόλουθο τύπο. Επιπλέον, δίνουμε μεγαλύτερο βάρος στο βαθμό ταύτισης των εξόδων, που αποτελεί μια τυπική παραδοχή στη σχετική βιβλιογραφία. Η τιμή 17 στον παρανομαστή κανονικοποιεί το αποτέλεσμα (οι βαθμοί των εισόδων κυμαίνονται από 1 έως 5 ενώ των εξόδων από 1 έως 6).

$$DoM_{TUB} = \frac{DegreeOfInput + 2DegreeOfOutput}{17}$$

Συνολικά όλες οι μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν μαζί με το μέσο μήκος των λιστών που επέστρεφαν παρουσιάζονται στο Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.11. Μέσος αριθμός αποτελεσμάτων ανά μηχανή ανακάλυψης

Μηχανή Αναζήτησης	Μέσος Αριθμός Αποτελεσμάτων (για όλες τις επερωτήσεις)
M0	25.7
M1	32.5
M1mx2	21.9
M2	26.3
M2mx2	9.0
M3	30.8
M3mx2	19.2
M4	37.1
M4mx2	29.8
UCD	37.6
ED	32.2
TUB	67.2

Κάθε μηχανή χρησιμοποιεί διαφορετική κλίμακα βαθμών ταύτισης (βλ. Πίνακα 2.12). Η OWLS-SLR επιστρέφει 17 διαφορετικούς βαθμούς που αντιστοιχίζουμε τελικά σε 5 μόνο, όπως φαίνεται και στον πίνακα. Αυτή η αντιστοίχιση έγινε επειδή η σημασιολογία των επιμέρους βαθμών δεν είναι τόσο ξεκάθαρη και διακριτή. Για τον TUB αντιστοιχήσαμε την τιμή του παραπάνω τύπου με την κλίμακα σχετικότητας του TC3 (βλ. Πίνακα 2.16). Για κάθε μηχανή χρησιμοποιήσαμε σαν κατώτατο όριο ταύτισης τον τελευταίο βαθμό της αντίστοιχης κλίμακας.

Κάτι που έχει ενδιαφέρον είναι ο τύπος των λιστών που επιστρέφει κάθε μηχανή. Αυτός εξαρτάται από τους αλγορίθμους που χρησιμοποιεί κάθε μηχανή. Οι μηχανές TUB και OWLS-MX M0 επιστρέφουν μόνο μερικώς ταξινομημένες λίστες υπηρεσιών. Αντίθετα,

οι εκδοχές M1-M4 του OWLS-MX επιστρέφουν πλήρως ταξινομημένες λίστες στις όποίες κάθες υπηρεσία έχει ένα βαθμό ταύτισης (DoM) και ένα βαθμό ομοιότητας (score value), που υπολογίζεται από αλγορίθμους ομοιότητας. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο OWLS-SLR.

Πίνακας 2.12. Βαθμοί ταύτισης για τις μηχανές ανακάλυψης των πειραμάτων

	Μηχανές Ανακάλυψης		
	OWLS-MX	**OWSL-SLR[11]**	**TUB**
Βαθμοί Ταύτισης	Exact	Exact (x-exact, xo-exact, xi-exact, exact)	Highly relevant
	Plugin	Plugin (x- plugin, xo-plugin, xi- plugin, plugin)	Relevant
	Subsumes	Subsume (x- subsume, xo- subsume, xi-subsume, subsume)	Potentially relevant
	Subsumed – By	Sibling (x- sibling, xo-sibling, xi- sibling, sibling)	Non relevant
	Nearest neighbor	Fail	
	Fail		

Αν αγνοήσουμε τους βαθμούς ομοιότητας μπορούμε να θεωρήσουμε τις λίστες των OWLS-MX M1-M4 και OWLS-SLR σαν μερικώς ταξινομημένες. Αυτό δεν είναι λάθος καθώς οι βαθμοί ομοιότητας πολλών στοιχείων που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο σχετικότητας (DoM) είναι ίσοι (ανά αίτηση). Για παράδειγμα, στον Πίνακα 2.13 φαίνονται τα πρώτα 21 στοιχεία για την επερώτηση Query 1 του TC3 και τη μηχανή M1. Παρόλο που θα χρησιμοποιήσουμε αυτή τη λίστα και σαν πλήρως και σαν μερικώς (αγνοώντας τους βαθμούς ομοιότητας) διατεταγμένη, μάλλον είναι πιο σωστό η μηχανή αυτή να θεωρηθεί ότι επιστρέφει μερικώς ταξινομημένες λίστες. Το ίδιο δεν ισχύει στον ίδιο βαθμό για την OWLS-SLR, όπου οι βαθμοί ομοιότητας είναι πιο διακριτοί. Όμως ακόμα και σε αυτή τη περίπτωση, η σημασιολογία της διαφοράς μεταξύ δύο συνεχόμενων στοιχείων της λίστας δεν είναι ξεκάθαρη. Συνοψίζοντας, ο Πίνακας 2.14 δείχνει μια κατηγοριοποίηση των παραπάνω μηχανών με βάση τη διάταξη των λιστών που θεωρούνται ότι επιστρέφουν για τα πειράματα.

[11] Οι βαθμοί ταύτισης εντός των παρενθέσεων είναι αυτοί που συμπεριλαμβάνονται στον βαθμό ταύτισης εκτός των παρενθέσεων

Πίνακας 2.13. Τα πρώτα στοιχεία της λίστας αποτελεσμάτων της OWLS-MX M1 (επερώτηση TC3- Q1)

Α/Α	Βαθμός Ταύτισης (DoM)	Βαθμός Ομοιότητας (Score Value)	Όνομα Υπηρεσίας
01	0	0.92	1personbicyclecar_price_TheBestservice.owls
02	0	0.62	car_yearprice_service.owls
03	0	0.62	car_taxedpriceprice_service.owls
04	0	0.62	car_priceauto_service.owls
05	0	0.62	car_price_service.owls
06	0	0.62	car_pricereport_service.owls
07	0	0.62	1personbicyclecar_price_Kohlservice.owls
08	0	0.62	lenthu_rentcar_service.owls
09	0	0.62	1personbicyclecar_price_service.owls
10	0	0.62	car_pricequality_service.owls
11	0	0.5	_digitalstandardpriceprice_MediaMarktservice.owls
12	0	0.5	_RedFerrariprice_service.owls
13	0	0.5	_3WheeledAudiCarprice_service.owls
14	0	0.5	_Toyotaprice_service.owls
15	0	0.5	_price_CannonCameraservice.owls
16	0	0.5	_3WheeledOpelCarPrice_service.owls
17	0	0.5	_cameraprice_MyShopservice.owls
18	0	0.5	KodakDigCamera_price_service.owls
19	0	0.5	_aps-slrpricereport_Musuemservice.owls
20	0	0.5	_pricecamera_Wallmartservice.owls
21	0	0.5	_price_Fishservice.owls

Πίνακας 2.14. Κατηγοριοποίηση μηχανών ανακάλυψης υπηρεσιών με βάση τα αποτελέσματα που επιστρέφουν

Μηχανή Ανακάλυψης	Διάταξη Λίστας Αποτελεσμάτων
OWLS-MX (M0)	Μερική
OWLS-MX (M1-M4, M1mx2-M4mx2)	Πλήρης και Μερική
OWLS-SLR (UCD, ED)	Πλήρης και Μερική
TUB	Μερική

2.8.1.2 Μετρικές και Άλλες Παράμετροι

Στην ενότητα 2.4.2 παρουσιάστηκαν διάφορες μετρικές που έχουν προταθεί για να αντιμετωπίσουν τα διαφορετικά προβλήματα στην αποτίμηση της ανάκτησης πληροφορίας (retrieval evaluation). Επιπροσθέτως, στις ενότητες 2.5 και 2.6, προτάθηκαν μερικές ακόμη μετρικές που ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της

αποτίμησης για ανακάλυψη ΥΣΙ: τα Q-measure(V), AWDP(V), nDCGp' και Generalized Precision/Recall. Πραγματοποιήθηκαν διάφορα πειράματα με τις παραπάνω μετρικές και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις ακόλουθες ενότητες. Για να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα των μηχανών που επιστρέφουν πλήρεις κατατάξεις υπηρεσιών χρησιμοποιήθηκαν οι μετρικές nDCG', Q'-measure και AWDP'. Οι ίδιες μετρικές χρησιμοποιήθηκαν σε κάποια πειράματα και για να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα μηχανών που επιστρέφουν μερικώς διατεταγμένες λίστες, ώστε να φανούν οι επιπτώσεις της λανθασμένης χρήσης τους.

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης βασιστήκαμε και σε μερικές παραλλαγές των προαναφερθεισών μετρικών. Για παράδειγμα, είναι επιθυμητό να παρουσιαστεί μια μέση τιμή για τη nDCG. Στο [8] οι συγγραφείς προτείνουν την χρήση του μέσου nDCG για μία αίτηση που μπορεί να υπολογιστεί μέχρι την κ-οστή θέση μιας κατάταξης. Όμως, οι μηχανές που αποτιμούμε επιστρέφουν πολύ διαφορετικά πλήθη υπηρεσιών ανά αίτηση. Μερικές μηχανές μπορεί να επιστρέψουν λιγότερες από 5 υπηρεσίες ανά αίτηση, ενώ άλλες μπορεί να επιστρέψουν περισσότερα από 100 αποτελέσματα. Για αυτό το λόγο είναι δύσκολος ο υπολογισμός της μέσης nDCG στο κ-οστο αποτέλεσμα και έτσι υπολογίζεται το μέσο nDCG για όλα τα αποτελέσματα (*r*) που επιστρέφονται από το σύστημα ανά ερώτημα.

$$avg_{nDCG} = \sum_{i=1}^{r} \frac{nDCG(i)}{r}$$

Επιπλέον, για την παρουσίαση των αθροιστικών αποτελεσμάτων για την γενικευμένη ακρίβεια ορίσαμε την Μέση Γενικευμένη Ακρίβεια (Average P_G ή APG), η οποία είναι το άθροισμα όλων των τιμών P_G για όλες τις σχετικές υπηρεσίες, διαιρούμενο με το πλήθος τους. Σχετικές υπηρεσίες θεωρούνται αυτές για τις οποίες *fr* >0. Τελικά υπολογίζεται η γενικευμένη καμπύλη P-R ανά ερώτημα αλλά και για όλα τα ερωτήματα. Για να κατασκευαστεί αυτή υπολογίζεται η παρεμβολή του P_G (interpolated P_G) στα 11 επίπεδα ανάκλησης (R_G) (0, 0.1, …,1) ανά ερώτημα. Στη συνέχεια βρίσκεται η μέση τιμή του P_G για την κατασκευή της μέσης P-R καμπύλης. Για τον υπολογισμό των *fe* στους τύπους των γενικευμένων μετρικών χρησιμοποιήθηκαν οι αντιστοιχίσεις του Πίνακα 2.15. Αυτές όπως φαίνεται επιλέχθηκαν έτσι ώστε να διαιρούν το διάστημα [0,1] σε ίσα υποδιαστήματα. Όπως θα αναφερθεί και σε ακόλουθη παράγραφο, η βέλτιστη αντιστοίχηση είναι ανοικτό θέμα προς διερεύνηση.

Πίνακας 2.15. Αντιστοιχίες μεταξύ DoM και fe για τις μηχανές των πειραμάτων.

OWLS-MX (M0)		OWLS-SLR		TUB	
DoM	**fe**	**DoM**	**fe**	**DoM**	**fe**
Exact	1.0	Exact	1.0	Highly relevant	1.0
Plugin	0.8	Plugin	0.75	Relevant	0.66
Subsumes	0.6	Subsume	0.5	Potentially relevant	0.33
Subsumed – By	0.4	Sibling	0.25	Non relevant	0.0
Nearest neighbor	0.2	Fail	0.0		
Fail	0.0				

Τέλος, κάποιες υποθέσεις που γίνονται είναι:

- Οι κατατάξεις που επιστρέφονται από τις μηχανές αποτελούν συμπτηγμένες λίστες (δηλαδή, οι μη κριθείσες υπηρεσίες δεν περιλαμβάνονται αφού δεν είναι γνωστό εάν είναι σχετικές ή όχι)
- Η παράμετρος b στην Q-measure(V) έχει τη τιμή 1, όπως προτείνεται και από τους Sakai et al. [57].
- Ο λογάριθμος στη φόρμουλα του Discounted Gain (βλ. ενότητα 2.4.2) είναι δυαδικός (δηλ., a=2)
- Για τον υπολογισμό των γενικευμένων μετρικών (P_G και R_G) θεωρείται ως σύνολο S η ένωση του συνόλου του υπηρεσιών που επιστρέφονται και του συνόλου όλων των σχετικών υπηρεσιών ανά αίτηση και μηχανή.

2.8.1.3 Συλλογές Υπηρεσιών

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε η συλλογή υπηρεσιών TC3. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της συλλογής είναι πως περιλαμβάνει ένα σχετικά μεγάλο αριθμό υπηρεσιών (περίπου 1351 δημόσιες υπηρεσίες ιστού και συνθετικές υπηρεσίες, 29 υπηρεσίες αιτημάτων και τις αντίστοιχες κρίσεις σχετικότητας που αποφασίστηκαν από «ειδικούς». Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θεωρείται ότι όλες αυτές οι κρίσεις είναι «λογικές» (rational) και έτσι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά θα πρέπει να αναφερθεί πως αυτή η θεώρηση δεν είναι εντελώς ρεαλιστική, καθώς οι συλλογές περιέχουν πολλά συνθετικά δεδομένα. Αυτό αναφέρεται και στο [75] όπου οι συγγραφείς, σωστά κατά τη γνώμη μας, επικρίνουν κάποιες πτυχές της OWLS-TC2, προκατόχου της OWLS-TC3. Πιο συγκεκριμένα, και οι δύο συλλογές περιλαμβάνουν μη ρεαλιστικές συνθετικές υπηρεσίες. Αυτό συνεπάγεται πως ακόμη και ένας «ειδικός» δεν μπορεί εύκολα να κατανοήσει την έννοια τους και την σχετικότητα τους με κάποιες αιτήσεις. Παρά τα προφανή θέματα που εγείρει μια τέτοια συλλογή, θα

την χρησιμοποιήσουμε για την αξιολόγησή μας, αφού είναι μια από τις μεγαλύτερες συλλογές και αρκετές από τις μηχανές που έχουν υλοποιηθεί και χρησιμοποιούνται από την παρούσα εργασία είναι συμβατές με αυτή.

Πίνακας 2.16. Κλίμακα σχετικότητας για τη TC3 και τις ψευδοκρίσεις σχετικότητας

Κλάση Σχετικότητας	Πεδίο Τιμών	Κέρδος
Highly Relevant	(0.75, 1]	3
Relevant	[0.5, 0.75)	2
Potentially Relevant	[0.25, 0.5)	1
Irrelevant	[0, 0.25)	0

Εκτός από τη TC3, σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιούνται επίσης και οι κρίσεις σχετικότητας που δημιουργήθηκαν αυτόματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι κρίσεις που παράχθηκαν από την μέθοδο Condorcet, αφού αυτή η μέθοδος υποτίθεται πως, θεωρητικά, έχει καλύτερη συμπεριφορά από την PBC. Στην πραγματικότητα, στα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν οι δύο μέθοδοι είχαν περίπου την ίδια συμπεριφορά (βλ. και Σχήμα 2.9 στην επόμενη ενότητα) και αυτός είναι άλλος ένα λόγος που τελικά χρησιμοποιήθηκε μόνο η μέθοδος Condorcet στα πειράματα που διεξήχθησαν. Και οι κρίσεις της TC3 και οι ψευδοκρίσεις σχετικότητας, έχουν την ίδια κλίμακα σχετικότητας (βλ. Πίνακα 2.16).

2.8.2 Πειράματα και Αποτελέσματα

2.8.2.1 Αποτίμηση των Ψευδοκρίσεων Σχετικότητας

Σε αυτή την ενότητα θα μελετηθεί η συσχέτιση ανάμεσα στις κρίσεις σχετικότητας που δημιουργήθηκαν αυτόματα (ψευδοκρίσεις σχετικότητας) και στις αντίστοιχες του TC3. Για να δημιουργηθεί το σύνολο των ψευδοκρίσεων χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαφορετικές μηχανές που συμμετέχουν στην παρούσα αξιολόγηση. Για την ακρίβεια, χρησιμοποιήθηκε η εκδοχή της OWLS-MX που βασίζεται στη λογική (M0), η υβριδική εκδοχή M3mx2 της OWLS-MX, η εκδοχή upwards cotopic distance (UCD) της OWLS-SLR και η TUB OWL-S Matcher. Επιλέξαμε την M0 επειδή είναι η μόνο εκδοχή της OWLS-MX που βασίζεται αποκλειστικά στη λογική και την OWLS-M3mx2 επειδή ήταν η εκδοχή της οποία τα αποτελέσματα είχαν τη μικρότερη συσχέτιση με την M0 (δηλαδή, η τιμή του συντελεστή συσχέτισης Kendal tau προσέγγιζε το μηδέν). Και οι δύο μετρικές απόστασης του OWLS-SLR επέστρεφαν παρόμοια αποτελέσματα αλλά επιλέξαμε την UCD επειδή επέστρεφε μεγαλύτερο αριθμό υπηρεσιών από την ED. Όλα τα αποτελέσματα που επιστρέφονταν από τις μηχανές για μια συγκεκριμένη επερώτηση θεωρούνταν ως μερικώς διατεταγμένα και η λίστα σχετικότητας που δημιουργούταν από

τις μεθόδους σύντηξης που χρησιμοποιήσαμε ήταν μερικώς διατεταγμένη επίσης. Η κλίμακα σχετικότητας στην οποία αντιστοιχίθηκαν οι ψευδοκρίσεις είναι αυτή της συλλογής TC3 (βλ. Πίνακα 2.16).

Οι ψευδοκρίσεις δημιουργήθηκαν με τις μεθόδους Condorcet και Partial Borda Count (PBC). Παρόλο που η μέθοδος PBC έχει τον περιορισμό που αναφέρθηκε στην ενότητα 2.7.1, αυτός δεν ισχύει για το συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών που χρησιμοποιούμε. Η συσχέτιση μεταξύ των (συμπτηγμένων λιστών) κρίσεων που δημιουργήθηκαν από τις μεθόδους και αυτών της συλλογής TC3 έγινε με το συντελεστή Kendall's tau-b. Χρησιμοποιήθηκε αυτός ο συντελεστής επειδή λαμβάνει υπόψη του ισοπαλίες μεταξύ των στοιχείων. Για κάθε επερώτηση, μόνο οι υπηρεσίες που επιστράφηκαν από τις μηχανές συμμετείχαν (ακόμα και αν είχαν κριθεί ως εντελώς άσχετες).

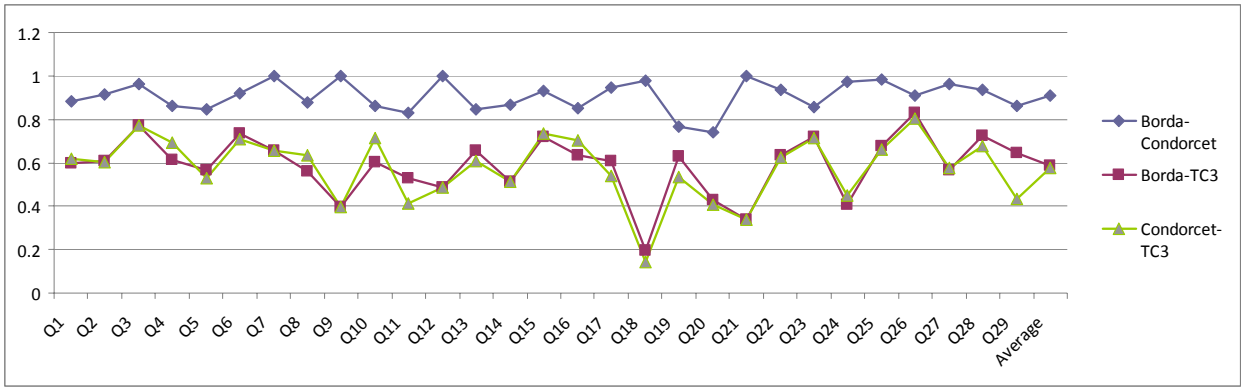
Τέλος, για να ελέγξουμε το πόσο «λογικές» (ή αντικειμενικές) είναι οι ψευδοκρίσεις, δημιουργήσαμε χειροκίνητα τις ακόλουθες εκδοχές των κρίσεων της συλλογής TC3:

- *TC3+30*: η τιμή του 30% των σχετικών κρίσεων (επιλέχθηκαν τυχαία) αναβαθμίστηκε στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο σχετικότητας (π.χ., από "Potentially Relevant" σε "Relevant"),
- *TC3-30*: η τιμή του 30% των σχετικών κρίσεων (επιλέχθηκαν τυχαία) υποβαθμίστηκε στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο σχετικότητας,
- *TC3r30*: η τιμή του 30% των σχετικών κρίσεων (επιλέχθηκαν τυχαία) είτε υποβαθμίστηκε είτε αναβαθμίστηκε κατά ένα επίπεδο.

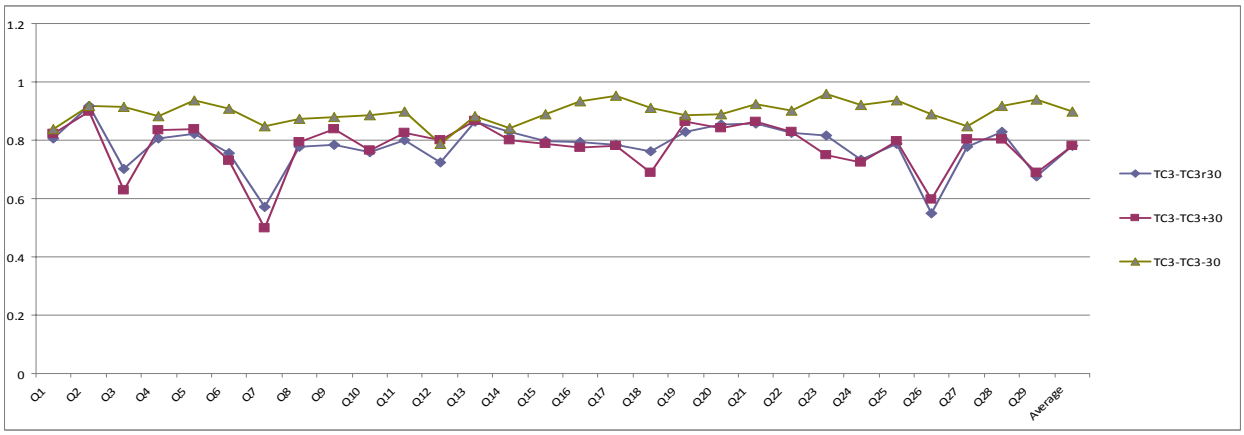
Διαισθητικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι κάθε εκδοχή αναπαριστά μια διαφορετική συμπεριφορά κάποιου ειδικού που είναι σε θέση να κρίνει τις υπηρεσίες ως προς τη σχετικότητά τους με μια επερώτηση.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων φαίνονται στα Σχήματα 2.9-2.12. Είναι προφανής η υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στη μέθοδο PBC και τη Condorcet. Στα Σχήματα 2.11 και 2.12 φαίνεται ότι οι κρίσεις που δημιουργήθηκαν με τις μεθόδους Condorcet και PBC συσχετίζονται περισσότερο με τις κρίσεις του TC3. Αν υποθέσουμε ότι οι τελευταίες είναι οι πιο "λογικές", τότε και οι ψευδοκρίσεις μας είναι "αρκετά λογικές", υπό την έννοια ότι δεν προσεγγίζουν κάποια από τις άλλες συμπεριφορές που δημιουργήσαμε. Άλλη μια παρατήρηση είναι ότι οι κρίσεις του κανονικού TC3 είναι πιο συσχετισμένες με αυτές του TC3-30 (Σχήμα 2.10). Αυτό είναι ίσως μια ένδειξη ότι οι ειδικοί που τις δημιούργησαν ήταν κάπως «επιφυλακτικοί» στις κρίσεις τους.

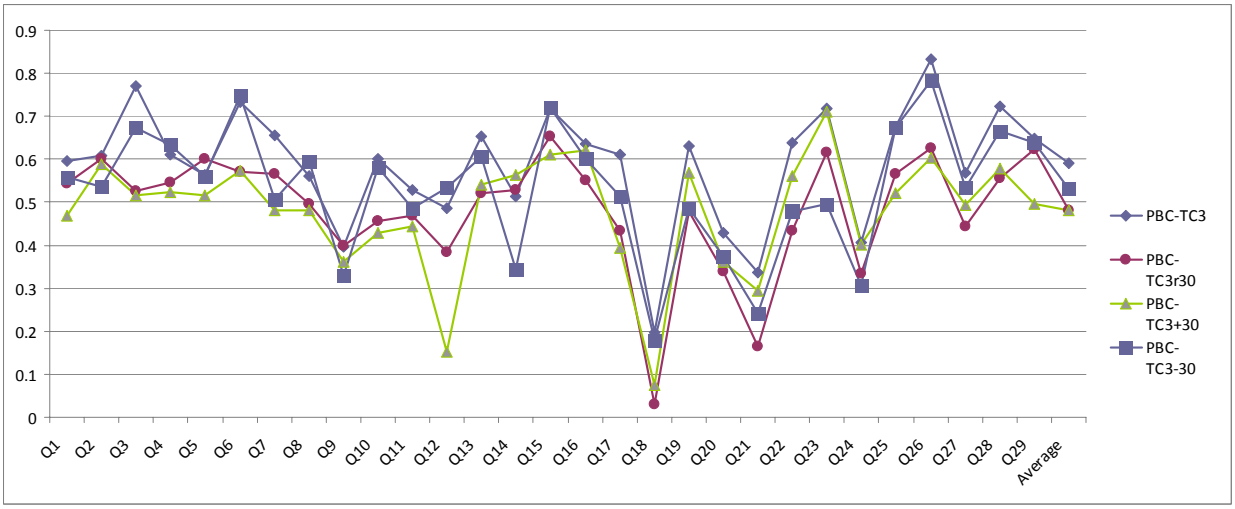
Περισσότερα συμπεράσματα για την αξία και εφαρμοσιμότητα των ψευδοκρίσεων σχετικότητας παρουσιάζονται και στα πειράματα της επόμενης ενότητας.



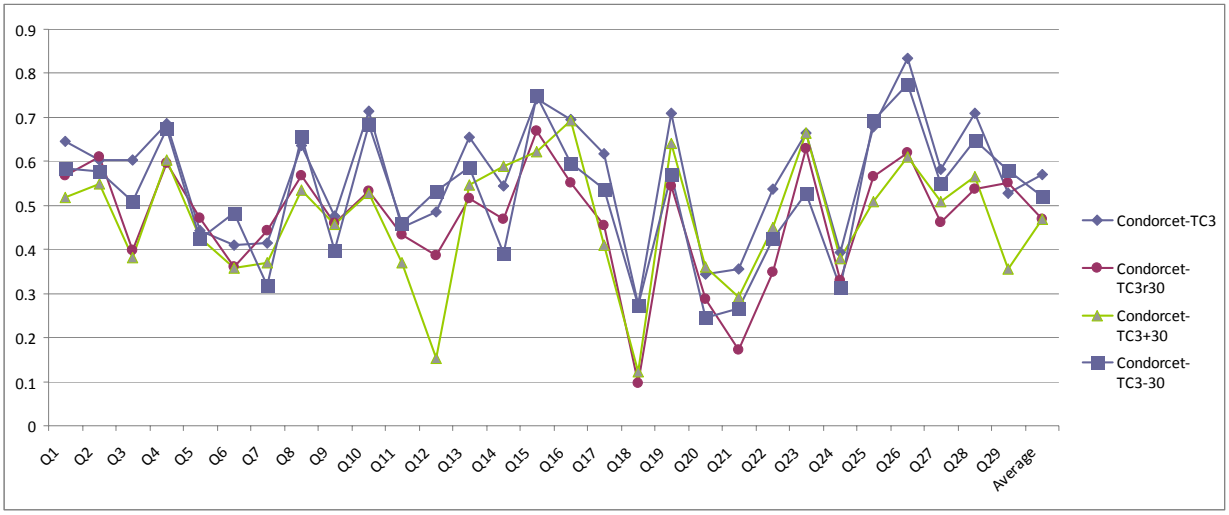
Σχήμα 2.9. Συντελεστές Kendall's tau-b: ψευδοκρίσεις και TC3



Σχήμα 2.10. Συντελεστές Kendall's tau-b: εκδοχές του TC3



Σχήμα 2.11. Συντελεστές Kendall's tau-b: PBC και εκδοχές του TC3



Σχήμα 2.12. Συντελεστές Kendall's tau-b: Condorcet και εκδοχές του TC3

2.8.2.2 Αποτίμηση Μετρικών

Σε αυτή την ενότητα μελετούμε τη συμπεριφορά των διαφόρων μετρικών κατά την αποτίμηση των μηχανών ανακάλυψης υπηρεσιών. Στα Σχήματα 2.13 έως 2.18 παρουσιάζονται οι τιμές των μετρικών και για τα δύο σύνολα κρίσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι ετικέτες στον άξονα x εξηγούνται ως:

- *Partial Rankings*: οι υπηρεσίες που επιστρέφονται από τις μηχανές είναι μερικώς διατεταγμένες (συμμετέχουν όλες οι μηχανές)
- *Full Rankings*: οι υπηρεσίες που επιστρέφονται από τις μηχανές είναι πλήρως διατεταγμένες (συμμετέχουν όλες οι μηχανές εκτός από τις TUB και M0)
- *Original Order*: η αρχική διάταξη των αποτελεσμάτων όπως επεστράφηκε από τις μηχανές
- *Random Order*: μια διάταξη των αποτελεσμάτων, όπου τα αποτελέσματα που βρίσκονται στην ίδια κλάση σχετικότητας είναι διατεταγμένα τυχαία. Η τυχαιότητα στη διάταξη υλοποιήθηκε ταξινομώντας αλφαριθμητικά (με βάση το όνομά τους) τις υπηρεσίες που συμμετέχουν σε μια ισοπαλία. Αυτό ισοδυναμεί με ένα τυχαίο τρόπο να διασπαστούν οι ισοπαλίες.

Κάποια συνολικά αποτελέσματα για καλύτερη σύγκριση παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.19 (για μερικώς διατεταγμένες λίστες/μετρικές και τις κρίσεις από τη συλλογή TC3) και στο Σχήμα 2.20 (όμοια αλλά για τις ψευδοκρίσεις της Condorcet). Σε όλα τα σχήματα οι διασταυρώσεις των γραμμών υποδηλώνουν διαφορές στις τελικές κατατάξεις των μηχανών. Η συσχέτιση ανάμεσα στα αποτελέσματα των μετρικών παρουσιάζεται στους Πίνακες 2.17 και 2.18.

Γενικά Συμπεράσματα

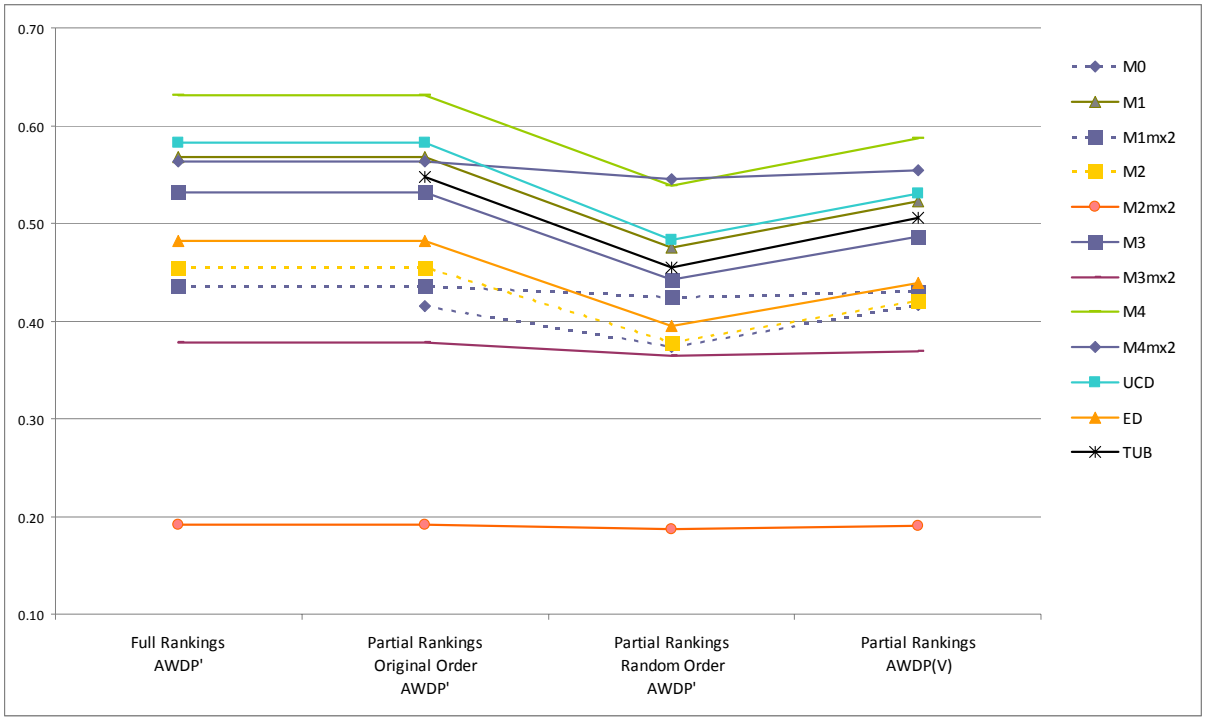
Μερικά γενικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα σχήματα των αποτελεσμάτων είναι:

1. Όλες οι μετρικές, εκτός από τη (μέση) nDCGp' συμφωνούν όσον αφορά στη σχετική αποτελεσματικότητα των μηχανών (Σχήμα 2.19). Η nDCGp' δεν λαμβάνει υπόψη της το πλήθος των σχετικών υπηρεσιών (για τις οποίες υπάρχουν κρίσεις σχετικότητας), για αυτό και οι μηχανές όπως η M2mx2 που επιστρέφουν λίγες αλλά σχετικές υπηρεσίες ανά αίτηση, τοποθετούνται σε υψηλές θέσεις. Γενικά, φαίνεται ότι η μετρική αυτή δεν είναι κατάλληλη για το πεδίο εφαρμογών μας.
2. Οι τιμές της APG ομοιάζουν αρκετά με αυτές της AWDP(V) και της Q-Measure(V), παρά το γεγονός ότι υιοθετεί μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση, δηλ. δεν βασίζεται στην έννοια του κέρδους (Σχήμα 2.19 και Πίνακας 2.17).

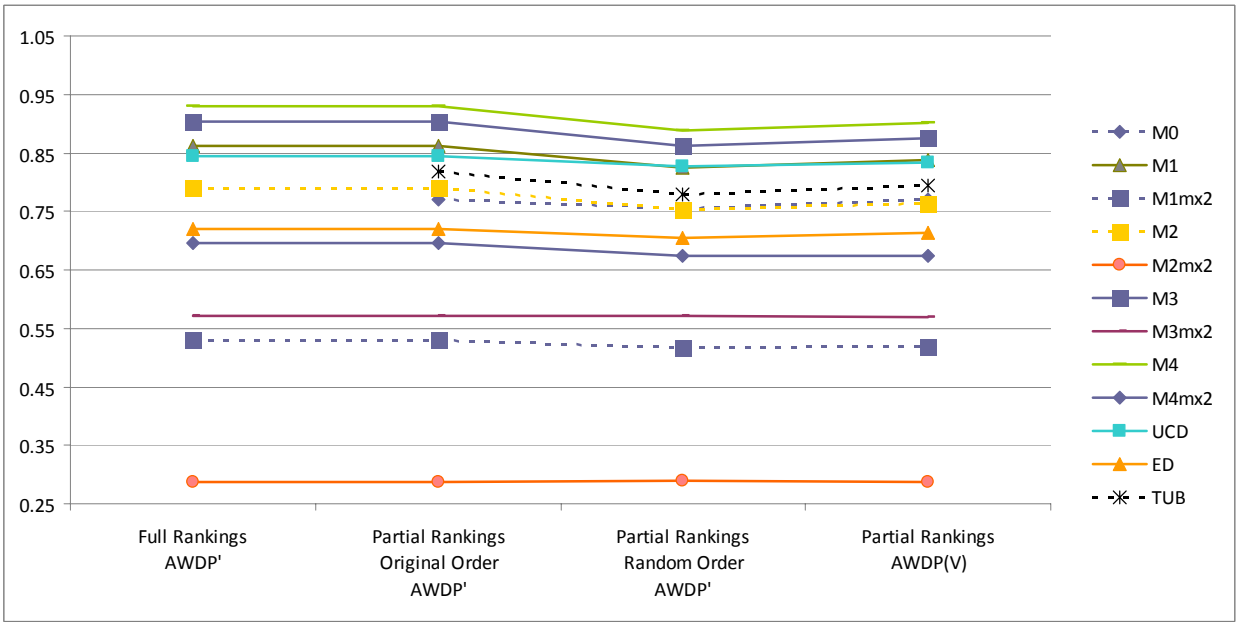
Συμπεριφορά των μετρικών σε σχέση με τις υπάρχουσες μετρικές

Από τα Σχήματα 2.13-2.18 είναι φανερό ότι οι μετρικές που χρησιμοποιούνται για πλήρεις ταξινομήσεις (AWDP', Q'-Measure και nDCG') εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο διασπώνται οι ισοπαλίες στην περίπτωση μερικώς διατεταγμένων κατατάξεων. Στα σχήματα αυτά φαίνεται πώς συμπεριφέρονται οι μετρικές για δύο τρόπους διάσπασης ισοπαλιών (tie breaking). Η αλλοίωση της αποτίμησης των συστημάτων είναι εμφανής σε κάθε ένα από τα εν λόγω σχήματα, άλλοτε σε μεγαλύτερο και άλλοτε σε μικρότερο βαθμό. Όμως και όταν αυτή είναι μικρή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι στα πειράματα δεν έχουμε πάρει μετρήσεις για όλους τους δυνατούς τρόπους διάσπασης ισοπαλιών, και άρα μπορεί κανείς να αναμένει και αλλοιώσεις μεγαλύτερου βαθμού.

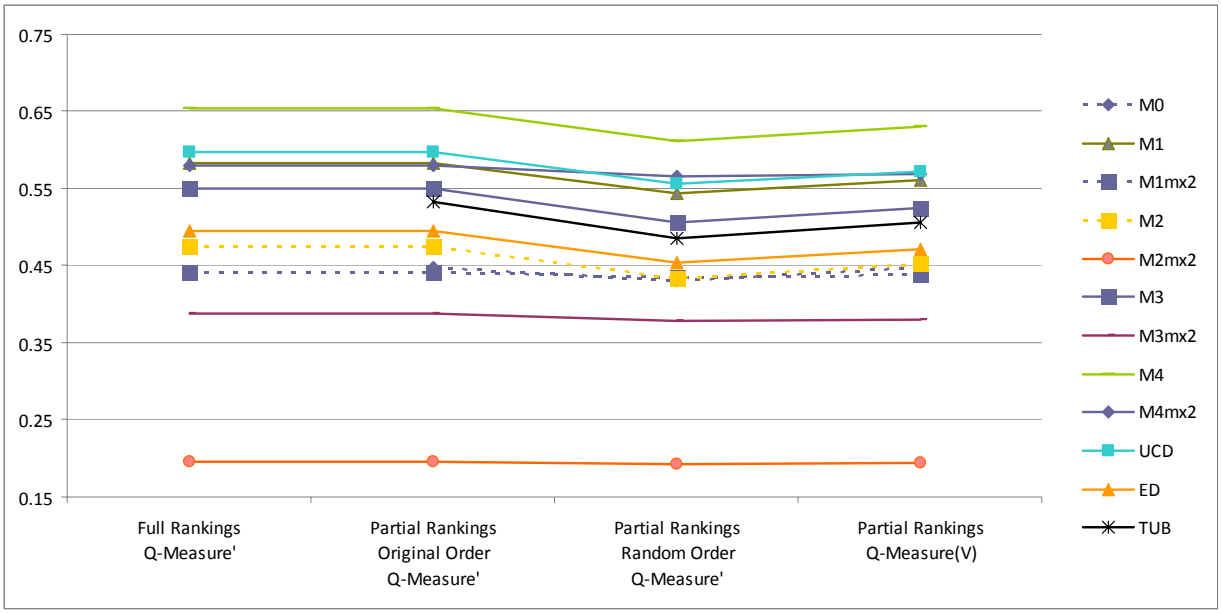
Η εξάρτηση που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παρατήρηση είναι μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιούνται οι κρίσεις της TC3. Αυτό συμβαίνει επειδή οι υπηρεσίες που βρίσκονται στις κρίσεις της μεθόδου Condorcet έχουν μεγάλη επικάλυψη με αυτές που επέστρεψαν οι μηχανές αναζήτησης. Άρα η διακύμανση του Cumulated Gain δεν μεταβάλλεται σημαντικά από τις αναδιατάξεις των αποτελεσμάτων.



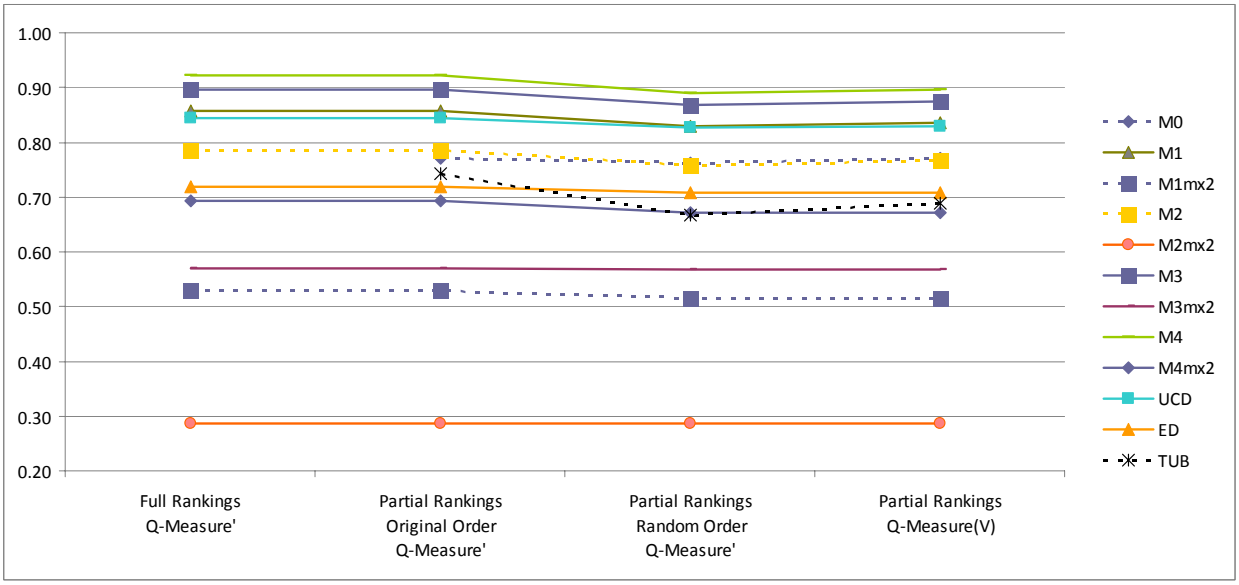
Σχήμα 2.13. Αποτελέσματα για το "AWDP" (TC3)



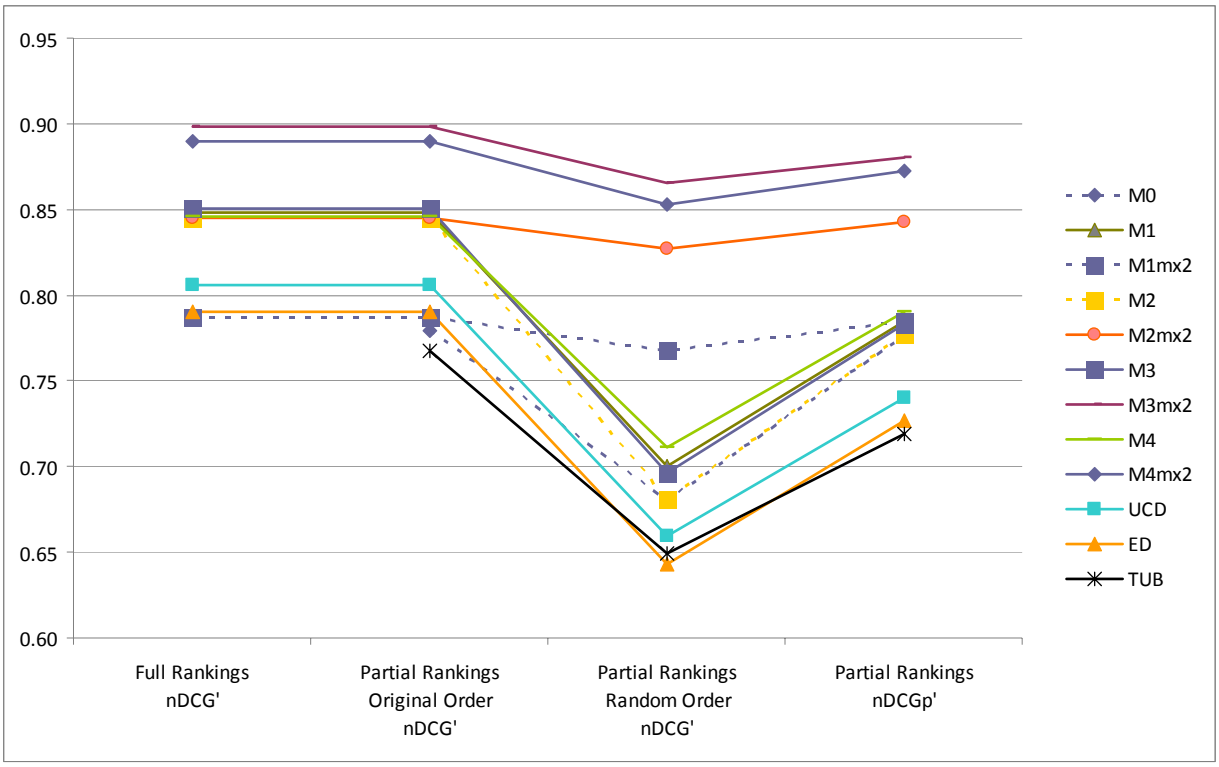
Σχήμα 2.14. Αποτελέσματα για το "AWDP" (Condorcet)



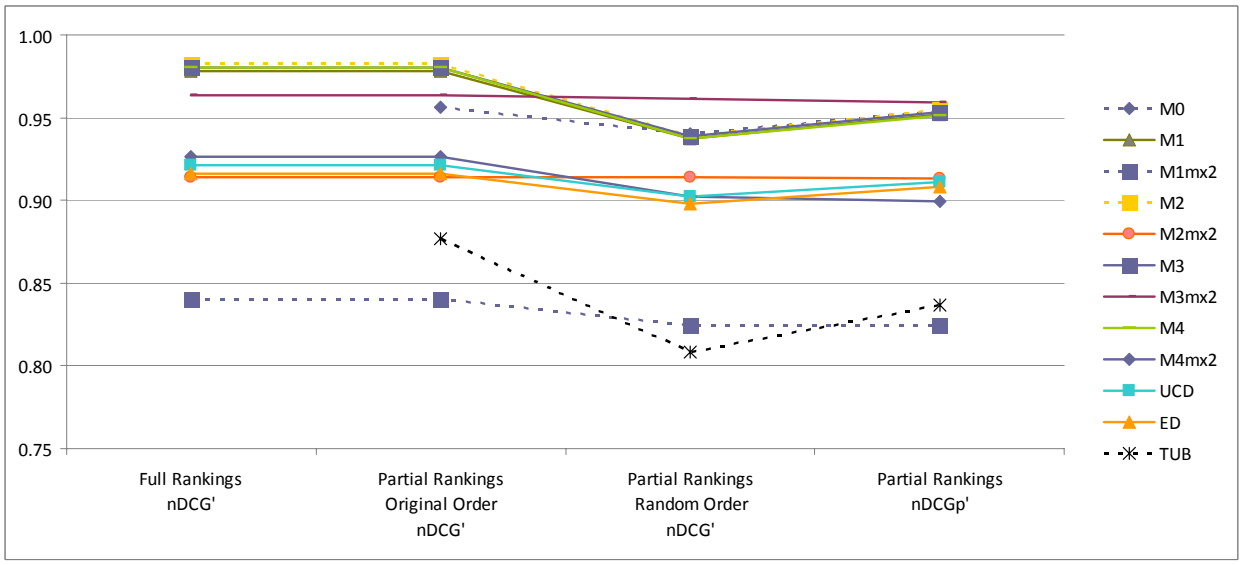
Σχήμα 2.15. Αποτελέσματα για το "Q-Measure" (TC3)



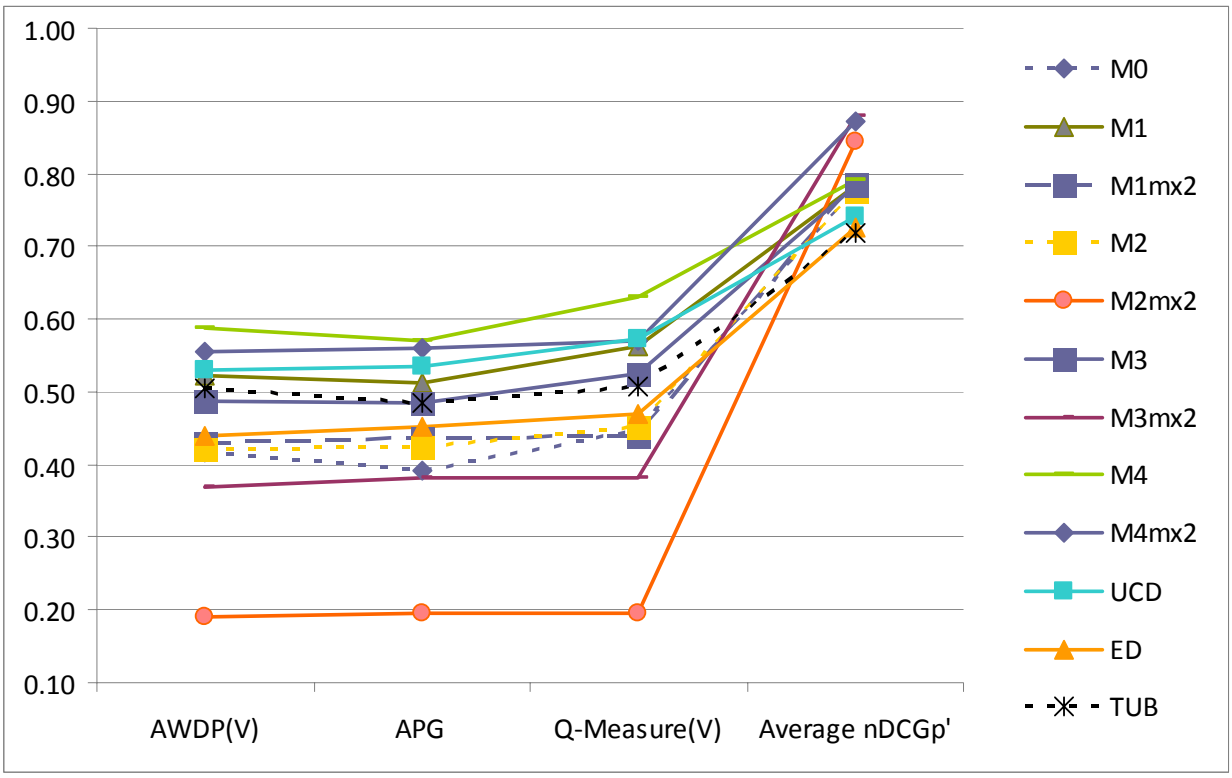
Σχήμα 2.16. Αποτελέσματα για το "Q-Measure" (Condorcet)



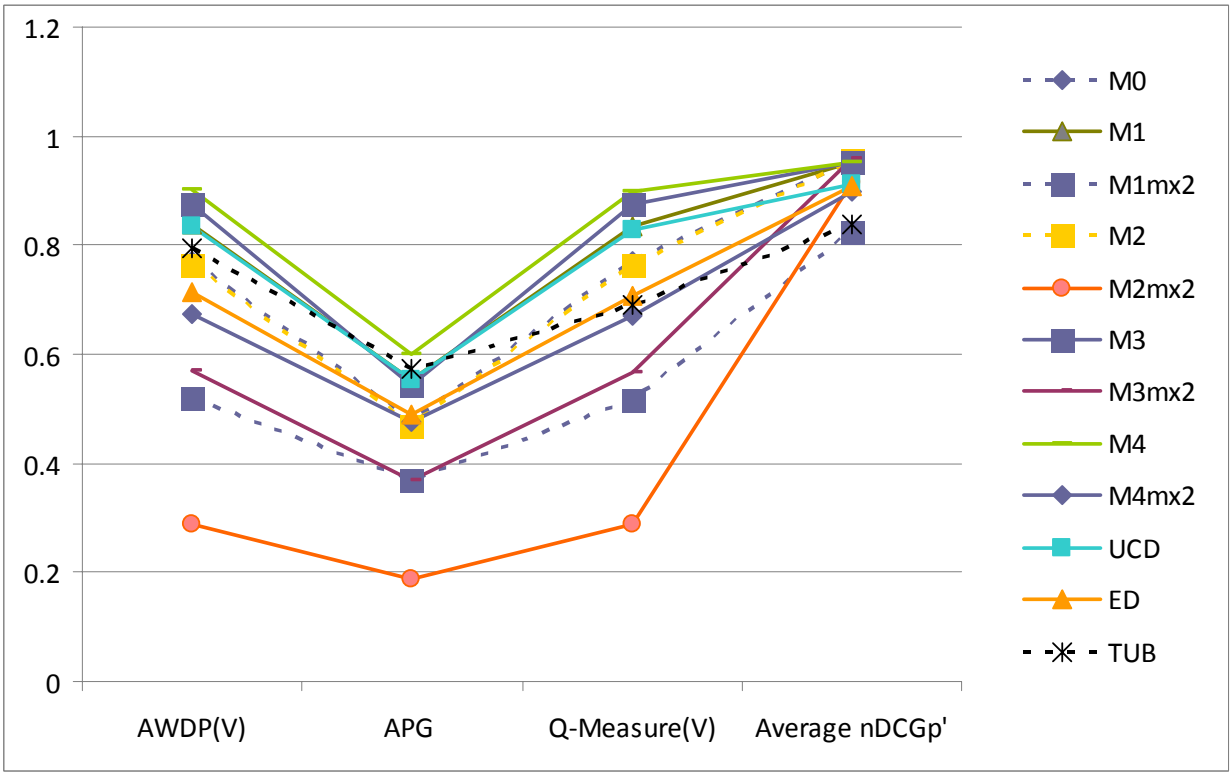
Σχήμα 2.17. Αποτελέσματα για το "nDCG" (TC3)



Σχήμα 2.18. Αποτελέσματα για το "nDCG" (Condorcet)



Σχήμα 2.19. Σύγκριση μετρικών και μηχανών για μερικώς διατεταγμένες κατατάξεις υπηρεσιών (TC3)



Σχήμα 2.20. Σύγκριση μετρικών και μηχανών για μερικώς διατεταγμένες κατατάξεις υπηρεσιών (Condorcet)

Πίνακας 2.17. Συσχέτιση των μετρικών ανά ζεύγη (TC3)

		Kendall's tau
AWDP(V)	APG	0.96
AWDP(V)	Q-Measure(V)	0.89
AWDP(V)	nDCGp'	-0.18
APG	Q-Measure(V)	0.92
APG	nDCGp'	-0.14
Q-Measure(V)	nDCGp'	-0.23

Πίνακας 2.18. Συσχέτιση των μετρικών ανά ζεύγη (Condorcet)

		Kendall's tau
AWDP(V)	APG	0.73
AWDP(V)	Q-Measure(V)	0.90
AWDP(V)	nDCGp'	0.29
APG	Q-Measure(V)	0.63
APG	nDCGp'	0.00
Q-Measure(V)	nDCGp'	0.40

Συμπεριφορά των μετρικών σε συνδυασμό με τη χρήση των ψευδοκρίσεων σχετικότητας

Όπως προκύπτει από τις μετρήσεις, οι μηχανές που συμμετείχαν στη δημιουργία των ψευδοκρίσεων επιβραβεύονται σε κάποιο βαθμό στα πειράματα που χρησιμοποιούνται αυτές οι κρίσεις. Παρόλα αυτά όμως, μπορούμε πάντα να διαχωρίσουμε τις καλύτερες και τις χειρότερες υπηρεσίες. Η εν λόγω επίδραση φαίνεται και στον Πίνακα 2.19 όπου βλέπουμε τους συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις αποτιμήσεις με τη χρήση TC3 και Condorcet. Όπως φαίνεται στο πίνακα, το nDCGp' έχει πολύ κακή συμπεριφορά με τις ψευδοκρίσεις, ενώ το APG την καλύτερη. Αν μελετήσουμε λίγο πιο προσεκτικά τα αποτελέσματα, π.χ. για το AWDP(V) και το APG, παρατηρούμε ότι οι μηχανές που υποβαθμίζουν τη συσχέτιση αυτή είναι οι M1mx2 και M4mx2 (Σχήματα 2.19 και 2.20) καθώς κατατάσσονται σε πολύ διαφορετική σειρά για τις δύο περιπτώσεις. Για την ακρίβεια αν τις αφαιρέσουμε από τις λίστες σύγκρισης, η τιμή Kendall's tau για το AWDP(V) γίνεται 0.72 από 0.50 που ήταν και η τιμή για το APG γίνεται 0.81 από 0.64. Οι συγκεκριμένες μηχανές, ήδη από τις προηγούμενες μετρήσεις που παρουσιάστηκαν, έχουν δείξει κάποια «ύποπτη» συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, η διάσπαση των ισοπαλιών με τους δύο διαφορετικούς τρόπους ελάχιστα επηρέασε τη τιμή του AWDP' και του nDCG' (Σχήματα 2.13 και 2.17) . Με το Q'-measure αυτό είναι λιγότερο ευδιάκριτο,

Σχήμα 2.15). Εξετάζοντας καλύτερα τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μηχανών ανά επερώτηση, παρατηρήσαμε ότι οι συγκεκριμένες μηχανές, αλλά και οι υπόλοιπες μηχανές με το επίθεμα “mx2” είναι πιο «συνεπείς» όσον αφορά τις υπηρεσίες που επιστρέφουν σε κάθε επίπεδο σχετικότητας. Δηλαδή, επιστρέφουν υπηρεσίες παρόμοιας σχετικότητας (με βάση το TC3) σε κάθε επίπεδο. Έτσι εξηγείται η μικρή διακύμανση των τιμών του AWDP(V) και του Q-Measure(V) για το TC3. Η επίδραση που έχουν στην κατάταξη των συστημάτων με τις ψευδοκρίσεις εξηγείται ως εξής: οι ψευδοκρίσεις δημιουργήθηκαν με τη συμβολή 4 μηχανών ανακάλυψης. Από αυτές η μόνη αρκετά «συνεπής» (όπως ορίστηκε πριν λίγο) είναι η M3mx2. Μάλιστα τυχαίνει αυτή να μην είναι από τις πολύ αποτελεσματικές. Άρα οι ψευδοκρίσεις έχουν επηρεαστεί πολύ λίγο από αυτή τη «κατηγορία μηχανών». Αυτό φαίνεται επίσης από το γεγονός ότι η μόνη που επιβραβεύεται κάπως από τις μετρήσεις με Condorcet είναι η M3mx2, ενώ οι υπόλοιπες “mx2” έχουν παρόμοια συμπεριφορά (βλ. σχετική κατάταξη μηχανών για APG στα Σχήματα 2.19 και 2.20).

Πίνακας 2.19. Συσχέτιση των μετρικών για διαφορετικά σύνολα κρίσεων σχετικότητας (TC3 - Condorcet)

	Kendall’s tau
AWDP(V)	0.50
Q-Measure(V)	0.53
nDCGp'	0.21
APG	0.64

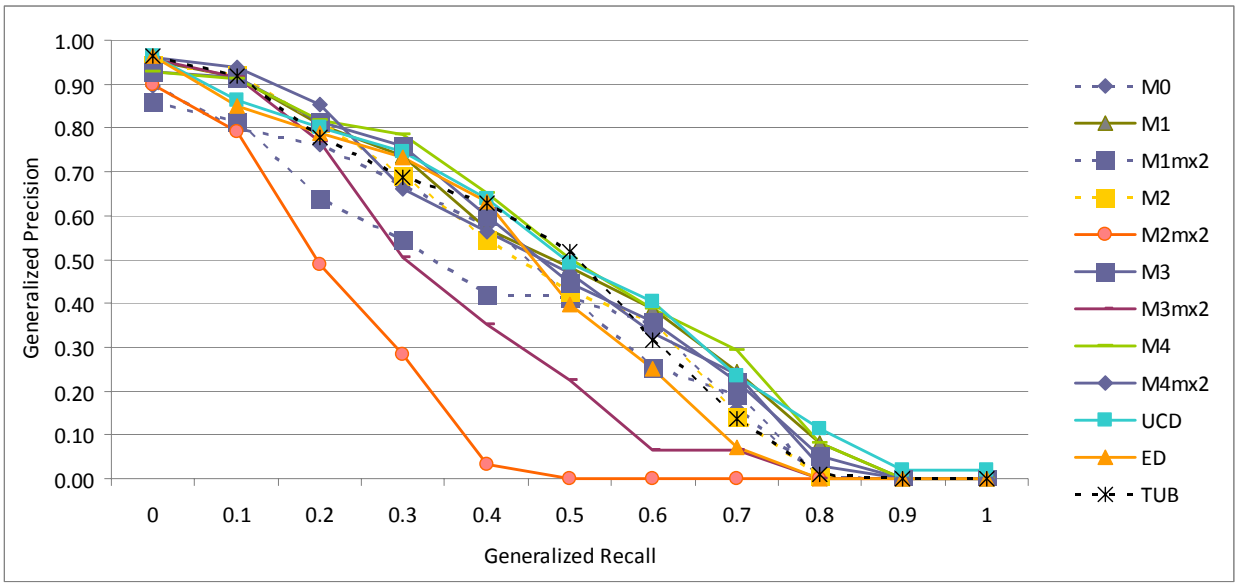
Συμπεράσματα για τις γενικευμένες μετρικές

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.17, η μετρική APG έχει μεγάλο συντελεστή συσχέτισης με τις άλλες δύο «αξιόπιστες» μετρικές, AWDP(V) και Q-Measure(V). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την προηγούμενη παρατήρηση, ότι δηλαδή επηρεάζεται λιγότερο από τη χρήση ψευδοκρίσεων, την καθιστά μια πολλά υποσχόμενη μετρική.

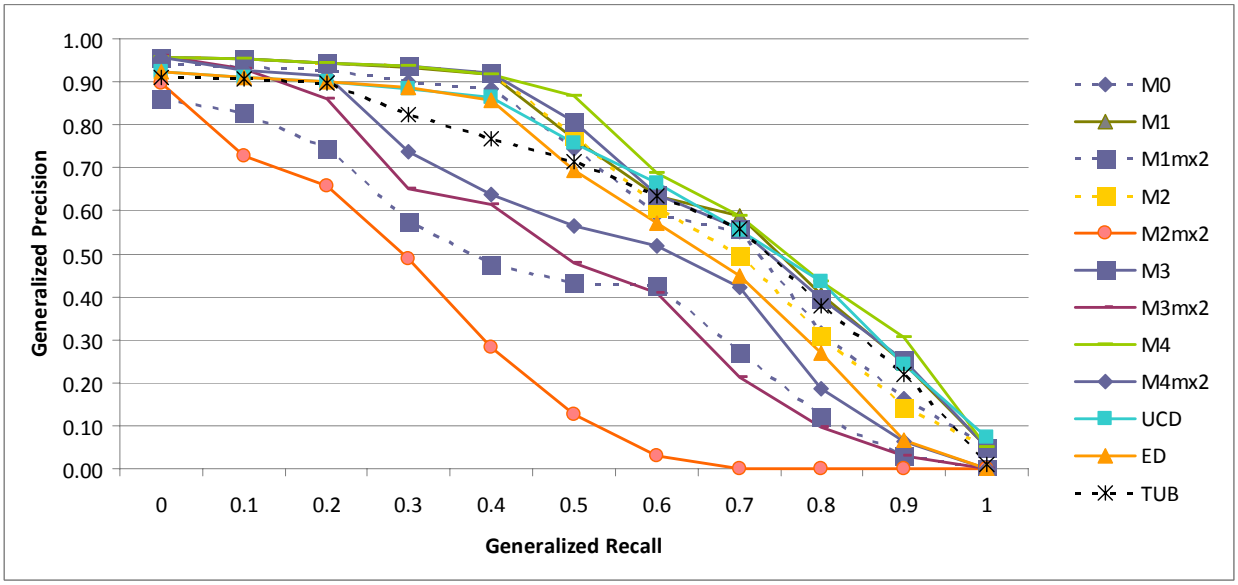
Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι άσχετα με τον αν χρησιμοποιούνται οι αρχικές κρίσεις ή οι παραγόμενες, οι απόλυτες τιμές του APG δεν επηρεάζονται σημαντικά (βλ. Σχήματα 2.19 και 2.20). Παρατηρούμε ότι δίνεται απλά μια «επιβράβευση» στις μηχανές M0 και TUB (που συμμετείχαν και στην δημιουργία των κρίσεων) αλλά εν γένει οι περισσότερες μηχανές κυμαίνονται σε παραπλήσιο εύρος τιμών (π.χ. παραπλήσιες ελάχιστες και

μέγιστες τιμές). Αντίθετα τα AWDP(V) και Q-Measure(V) αυξάνουν κατά πολύ τις τιμές αποτελεσματικότητας των μηχανών. Αυτό είναι άλλος ένας λόγος για τον οποίο οι γενικευμένες μετρικές φαίνονται να είναι πιο κατάλληλες όταν χρησιμοποιούνται ψευδοκρίσεις σχετικότητας.

Τέλος, με βάση τις μετρικές αυτές μπορούμε να εξάγουμε και τις γνωστές καμπύλες P-R (Σχήματα 2.21 και 2.22). Βέβαια οι καμπύλες αυτές όπως φαίνεται από τα σχήματα μπορεί να δείχνουν ξεκάθαρα τις «χειρότερες» και τις «καλύτερες» μηχανές αλλά δεν βοηθάνε το ίδιο και για τον διαχωρισμό των ενδιάμεσων μηχανών.



Σχήμα 2.21. Καμπύλη P-R για μερικώς διατεταγμένες κατατάξεις υπηρεσιών (TC3)



Σχήμα 2.22. Καμπύλη P-R για μερικώς διατεταγμένες κατατάξεις υπηρεσιών (Condorcet)

Παρόλα όμως τα καλά χαρακτηριστικά των μετρικών αυτών, υπάρχει πάντα το μειονέκτημα ότι οι τιμές τους επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τη κλίμακα σχετικότητας που υιοθετεί η εκάστοτε μηχανή και πιο συγκεκριμένα από τις τιμές *fe* που αντιστοιχίζονται σε αυτές. Για παράδειγμα, στη περίπτωσή μας οι τιμές *fe* που επιλέχθηκαν για τις μηχανές ανακάλυψης υπηρεσιών συνοψίζονται στον Πίνακα 2.15. Αυτές οι τιμές επιλέχθηκαν αυθαίρετα και με σκεπτικό να διαιρούν το διάστημα [0,1] σε ίσα υποδιαστήματα. Είναι αναμενόμενο μια άλλη αντιστοίχηση να επιφέρει αλλαγές και στις τιμές των γενικευμένων μετρικών P_G και R_G (κάνοντας τις είτε πιο δίκαιες είτε πιο άδικες για συγκεκριμένες μηχανές). Η επιλογή, με αυτοματοποιημένο τρόπο, των αντιστοιχήσεων που θα μεγιστοποιούν το συντελεστή συσχέτισης των μετρικών μεταξύ αποτελεσμάτων με πραγματικές κρίσεις και με ψευδοκρίσεις είναι ένα ανοικτό ερευνητικό θέμα.

Επίδραση της κλίμακας κέρδους στις μετρικές

Ένα άλλο πείραμα που κάναμε ήταν να αλλάξουμε τις τιμές κέρδους που ανατέθηκαν σε κάθε επίπεδο σχετικότητας του TC3 όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.20.

Πίνακας 2.20. Αρχικές και τελικές τιμές κέρδους

Επίπεδο Κλίμακας	Παλιά Τιμή Κέρδους	Νέα Τιμή Κέρδους
Highly Relevant	3	10
Relevant	2	7
Potentially Relevant	1	5
Non Relevant	0	0

Από τις μετρήσεις που κάναμε με τις νέες τιμές κέρδους, παρατηρήθηκαν μόνο αμελητέες αλλαγές στα αποτελέσματα. Αυτό συμφωνεί και με τα αποτελέσματα του [57] όπου αναφέρεται ότι οι μετρικές Q-measure και nDCG (και κατ' επέκταση το AWDP) δεν επηρεάζονται από αλλαγές στις τιμές κέρδους.

2.8.2.3 Αποτίμηση Μηχανών Ανακάλυψης Υπηρεσιών

Όπως προκύπτει, κυρίως από το Σχήμα 2.19 αλλά και από τις καμπύλες P-R, η πιο αποτελεσματική μηχανή ανακάλυψης είναι η M4 και σε αυτό συμφωνούν όλες οι μετρικές. Πολύ κοντά της είναι οι μηχανές UCD και M1. Σε κάθε περίπτωση τη χειρότερη αποτελεσματικότητα έχει η μηχανή M2mx2. Τα αποτελέσματα αυτά ταιριάζουν με τα ευρήματα και των δημιουργών των ανωτέρω μηχανών. Συγκεκριμένα, στο [30] αναφέρεται ότι η M4 είναι η πιο αποτελεσματική «παραλλαγή» του OWLS-MX Matcher, ενώ στο [35] τα αποτελέσματα της αξιολόγησης δείχνουν ότι η M4 είναι οριακά καλύτερη

της UCD όταν η τελευταία δεν χρησιμοποιεί ταξινομία, κάτι που ισχύει και στη περίπτωση μας.

2.9. *Συμπεράσματα*

Η βασική συνεισφορά της προαναφερθείσας έρευνας στα πεδίο των Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού αλλά και της Ανάκτησης Πληροφορίας (Information Retrieval) είναι:

- Πρόταση μεθόδων και μετρικών για την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των μηχανών ανακάλυψης Υπηρεσιών Σημασιολογικού Ιστού. Μέσα από ένα εκτενές πλήθος πειραμάτων φάνηκε ότι οι προτεινόμενες μέθοδοι και μετρικές είναι ικανές να αξιολογήσουν μηχανές ανακάλυψης που υιοθετούν μια βαθμωτή έννοια σχετικότητας ακόμα και αν επιστρέφουν μερικώς διατεταγμένες κατατάξεις αποτελεσμάτων. Μάλιστα, η αποτίμηση της αποτελεσματικότητάς τους μπορεί να γίνει σε ικανοποιητικό βαθμό και χωρίς να προϋπάρχουν κρίσεις σχετικότητας. Αυτό το τελευταίο βέβαια αποτελεί ένα ανοικτό ερευνητικό θέμα που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, όπως θα αναφερθεί και στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας.
- Εκτενής επισκόπηση της έρευνας για ανακάλυψη σημασιολογικών υπηρεσιών.

Τα θέματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται και στις δημοσιεύσεις [44][27]. Επίσης είναι υπό κρίση και η εργασία [152].

3 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1. *Εισαγωγή*

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ένα καινοτόμο σχήμα για την αποδοτική υλοποίηση συνεργατικών εφαρμογών επίγνωσης πλαισίου σε περιβάλλοντα Νομαδικού Υπολογισμού (Nomadic Computing). Συγκεκριμένα, οι κόμβοι σε ένα τέτοιο περιβάλλον ζητούν πληροφορία πλαισίου, που δεν μπορούν να παράγουν οι ίδιοι με τους αισθητήρες τους, από άλλους κοντινούς κόμβους. Ονομάζουμε αυτό το σχήμα διάχυσης πληροφορίας πλαισίου σαν «Context Foraging», σε αναλογία με το «Cyber Foraging» [77].

Με τον όρο «Νομαδικό Υπολογισμό» περιγράφουμε πολύ μεταβλητά περιβάλλοντα υπολογισμού και επικοινωνιών [76]. Τα βασικά χαρακτηριστικά των χρηστών σε τέτοια περιβάλλοντα είναι:

- Η συχνή αλλαγή θέσης, η οποία μπορεί να γίνεται με βάση διάφορα μοντέλα κινητικότητας,
- Η χρήση συσκευών με μπαταρία και χαμηλές δυνατότητες, και
- Η χρήση κινητών και προσαρμοστικών εφαρμογών

Το δικτυακό κομμάτι αυτών των περιβαλλόντων μοιάζει με αυτό των κινητών, αδόμητων δικτύων (mobile ad hoc network, MANET), αλλά η προστιθέμενη αξία τους δεν περιορίζεται στην αδόμητη επικοινωνία των κόμβων τους. Ένα βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η υποστήριξη εφαρμογών που προσαρμόζονται στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον με τρόπο διαφανή προς το χρήστη. Αυτό, φυσικά, είναι και ένα βασικό χαρακτηριστικό των περιβαλλόντων Διάχυτου Υπολογισμού.

Η αποδοτικότητα στα πρωτόκολλα και τους μηχανισμούς σε τέτοια περιβάλλοντα είναι πολύ σημαντική για δύο βασικούς λόγους:

1. Οι κόμβοι συνήθως έχουν περιορισμένους πόρους (περιορισμένες ή καθόλου διεπαφές χρήστη, περιορισμένη πηγή ενέργειας, περιορισμένη μνήμη και υπολογιστική ισχύ, κλπ.). Για αυτό το λόγο, οι εφαρμογές που εκτελούνται σε αυτούς πρέπει να χειρίζονται πολύ προσεκτικά τους πόρους που τους διατίθενται.

2. Δεν είναι εύκολο να υλοποιηθούν αξιόπιστα και αποδοτικά δικτυακά πρωτόκολλα (ούτε καν πρωτόκολλα δρομολόγησης σε αδόμητα δίκτυα), λόγω της υψηλής μεταβλητότητας στην τοπολογία τους. Έτσι είναι σύνηθες να αξιοποιούνται διάφορες παραλλαγές ευρυεκπομπής (broadcasting). Για αυτό το λόγο οι εφαρμογές πρέπει να είναι προσεκτικές ως προς τον όγκο των δεδομένων που διακινούν.

Από τα παραπάνω, γίνεται προφανές ότι κάθε υπηρεσία ή εφαρμογή που εκτελείται σε ένα τέτοιο περιβάλλον πρέπει να ελαχιστοποιεί το δικτυακό φόρτο που παράγει. Εφόσον οι υπηρεσίες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την παρούσα διατριβή είναι αυτές που έχουν επίγνωση πλαισίου, μια επιπλέον απαίτηση είναι το να είναι ικανοί οι κόμβοι να αντιληφθούν αλλαγές στην πληροφορία πλαισίου τους. Αυτό μπορεί να γίνει σε δύο φάσεις. Πρώτα, ο κόμβος συλλέγει όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις αισθητήρων που τον ενδιαφέρουν. Κατόπιν, οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για να γίνει συμπερασμός τοπικά και να εξαχθούν οι αλλαγές στο πλαίσιο και τη κατάστασή του. Στο κεφάλαιο αυτό ασχολούμαστε με τη πρώτη φάση. Με το συγκεκριμένο θέμα, όπως αναφέρεται και στη παρουσίαση των σχετικών εργασιών, δεν έχουν ασχοληθεί αρκετοί ερευνητές καθώς γενικά γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι κόμβοι έχουν τις μετρήσεις που χρειάζονται από τους δικούς τους αισθητήρες. Ασχοληθήκαμε με αυτό το θέμα επειδή θεωρούμε αυτή την υπόθεση μη-ρεαλιστική.

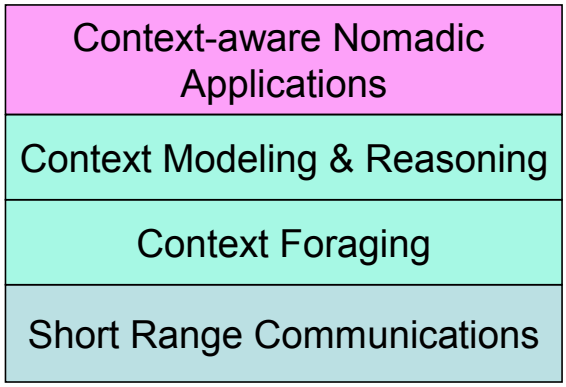
Το υπόλοιπο μέρος του κεφαλαίου είναι οργανωμένο ως εξής: Στην ενότητα 3.2 περιγράφονται τα χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος νομαδικού υπολογισμού και η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για το σχήμα Context Foraging. Επίσης αναφέρονται κάποιες υποθέσεις που γίνονται για τους κόμβους, τη μοντελοποίηση των εφαρμογών και τη δικτύωση των κόμβων. Στην ενότητα 3.3 περιγράφονται λεπτομερώς οι αλγόριθμοι που εμπλέκονται στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Μια πειραματική αποτίμηση του σχήματος, με τη βοήθεια προσομοίωσης, που επικυρώνει την αποτελεσμάτικότητα και τις καλές επιδόσεις του παρουσιάζεται στην ενότητα 3.4. Στην ενότητα 3.5 περιγράφονται κάποια συστήματα και εργασίες που είναι κάπως σχετικά με την γενική φιλοσοφία της παρούσας εργασίας. Το κεφάλαιο κλείνει με μια επιγραμματική παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων και συνεισφορών μας.

3.2. *Βασικές Υποθέσεις και Μοντέλο Συστήματος*

Στο νομαδικό περιβάλλον που θεωρούμε, υπάρχουν διάφοροι κινητοί κόμβοι. Κάθε κόμβος διαθέτει μια ασύρματη διεπαφή επικοινωνίας, και προεραιτικά κάποιους αισθητήρες που καθορίζουν τι είδους πληροφορία πλαισίου μπορεί να εξάγει. Ανάλογα

με το αν οι κόμβοι έχουν αισθητήρες τους διαχωρίζουμε σε 3 ρόλους: α) αιτούντες πλαισίου, β) πάροχοι πλαισίου και γ) αναμετδότες πλαισίου (βλ. ενότητα 3.3). Οι αιτούντες πλαισίου δεν διαθέτουν τους απαραίτητους αισθητήρες και στέλνουν σχετικές αιτήσεις στους παρόχους, με τη μέθοδο της ευρυεκπομπής. Αυτοί απαντούν με τις τιμές που έχουν από τους τοπικούς αισθητήρες τους.

Κάθε κόμβος που υλοποιεί το προτεινόμενο σχήμα έχει ένα επίπεδο Context Foraging στη στοίβα των πρωτοκόλλων του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί σαν μια μόνο υπηρεσία ενός γενικότερου ενδιάμεσου λογισμικού (Σχήμα 3.1). Παρόλο που το επίπεδο αυτό είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων, στη συνέχεια θα κάνουμε μερικές βασικές υποθέσεις για τη λειτουργία τους.



Σχήμα 3.1. Αρχιτεκτονική ενός κόμβου

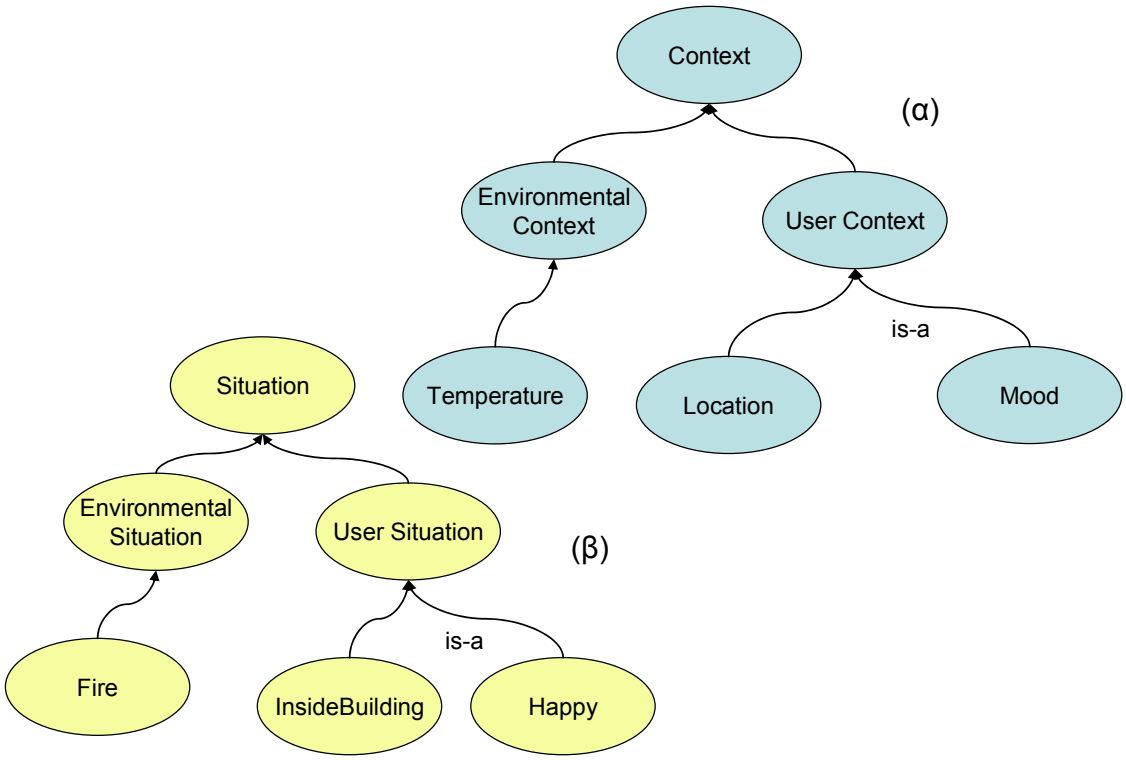
3.2.1 Μοντελοποίηση Εφαρμογών και Πληροφορίας Πλαισίου

Θεωρούμε ότι η εκτέλεση των εφαρμογών υποστηρίζεται από γλώσσες κανόνων. Η ανάπτυξη εφαρμογών επίγνωσης πλαισίου και κατάστασης (context- και situation-aware εφαρμογές) με δηλωτικές μεθόδους, που βασίζονται σε αναπαράσταση γνώσης, έχει υιοθετηθεί ευρέως και έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως αναφέρεται και στο [78]. Στις ακόλουθες παραγράφους ορίζουμε τα στοιχεία αναπαράστασης γνώσης που χρησιμοποιούνται στο προτεινόμενο σχήμα.

Η πληροφορία πλαισίου αναπαρίσταται μέσω μιας οντολογίας πλαισίου. Αυτή αποτελεί ένα εννοιολογικό μοντέλο για την ρητή περιγραφή των βασικών συνιστωσών πλαισίου. Σαν πλαίσιο θεωρούνται όλες οι οντότητες των οποίων οι τιμές μεταβάλλονται και μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά κάποιων κόμβων ή εφαρμογών που εκτελούνται σε αυτούς. Οι καταστάσεις αποτελούν ένα υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης και καθορίζονται από τις συνδυασμένες τιμές των τιμών πλαισίου. Και οι καταστάσεις σχηματίζουν μια ιεραρχία (οντολογία). Οι οντολογίες αυτές χρησιμοποιούνται και για σκοπούς συμπερασμού αλλα και σαν μια κοινά αποδεκτή ορολογία για την περιγραφή

των εφαρμογών. Οι συνιστώσες (κλάσεις) πλαισίου και οι καταστάσεις είναι και τα βασικά στοιχεία μοντελοποίησης των εφαρμογών (μαζί με τις ενέργειες που εκτελούν).

Η οντολογία πλαισίου περιλαμβάνει δύο τύπους συσχετίσεων μεταξύ των εννοιών της: υπαγωγής (subsumption, is-a) και μερεολογικών (part-of). Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται κυρίως για αναπαράσταση χωρικού πλαισίου. Μια ενδεικτική οντολογία πλαισίου φαίνεται στο Σχήμα 3.2.α. Άλλες παρόμοιες οντολογίες μπορούν να βρεθούν στα [78][79][80].



Σχήμα 3.2. α) ενδεικτική οντολογία πλαισίου, β) ενδεικτική οντολογία καταστάσεων

Ονομάζουμε C το σύνολο όλων των κλάσεων πλαισίου που ανήκουν στην οντολογία πλαισίου (βλ. και Σχήμα 3.2.α). LC_N είναι το σύνολο των κλάσεων που υποστηρίζονται από τον κόμβο *N,* είναι δηλαδή το τοπικό πλαίσιό του (local context). Με άλλα λόγια, θεωρούμε ότι ο κόμβος *N* έχει όλους τους αισθητήρες που απαιτούνται για να παράγει τιμές για αυτές τις κλάσεις πλαισίου. Κάθε κλάση C_i έχει και μια ιδιότητα val_i, το σύνολο τιμών της οποίας ορίζεται σαν $R(C_i)$. Η συσχέτιση αυτή είναι συναρτησιακή (functional) άρα μπορεί να έχει μία μόνο τιμή. Για απλότητα λέμε ότι η τιμή της ιδιότητας αυτής είναι η τιμή της κλάσης. Να σημειωθεί ότι αναφερόμαστε και χρησιμοποιούμε κλάσεις επειδή διευκολύνουν τη μοντελοποίηση της εφαρμογής και επιτρέπουν κάποιους τύπους συμπερασμού. Κατά τα άλλα οι κλάσεις μπορούν να θεωρηθούν σαν απλές ιδιότητες. Επιπλέον, κάθε κλάση C_i έχει μια προκαθορισμένη τιμή χωρικής εγκυρότητας (spatial

validity) SV_{Ci}, που καθορίζει την απόσταση από τον κόμβο μέσα στην οποία οι τιμές για τη συγκεκριμένη κλάση θεωρούνται έγκυρες (βλ. και Ορισμό 3.3).

Μια κλάση πλαισίου βέβαια μπορεί να μην αντιστοιχεί πάντα σε έναν αισθητήρα. Πιο εξειδικευμένες κλάσεις μπορούν να περιγραφούν μέσα από κανόνες σύζευξης της μορφής:

$$(val_1 \text{ op } V_1) \wedge (val_2 \text{ op } V_2) \wedge \ldots \wedge (val_m \text{ op } V_m) \rightarrow C_i$$

όπου $i>m$, $C_i \in C$, $V_i \in R(C_i)$, op $\in \{>, <, =, <=, >=\}$ και το σύμβολο → αναπαριστά την περιγραφή της κλάσης C_i από τις *αναγκαίες συνθήκες* στο σώμα του κανόνα.

Να σημειωθεί πως η οντολογία πλαισίου θεωρούμε ότι είναι κοινή για όλους τους κόμβους του νομαδικού περιβάλλοντος. Η οντολογία καταστάσεων μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε κόμβο, ανάλογα και με τις εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες σε αυτόν.

Ορισμός 3.1*. Αίτηση Πλαισίου (Context Request, CReq)*

Μια *ατομική αίτηση πλαισίου* που δημιουργείται από ένα κόμβο ορίζεται σαν:

$$CReq := val_i \text{ op } V_i,\ V_i \in R(C_i),\ \text{op} \in \{>, <, =, <=, >=\}$$

Μια *σύνθετη αίτηση πλαισίου* που δημιουργείται από ένα κόμβο N ορίζεται σαν ένα σύνολο/πλειάδα (δηλ. ουσιαστικά διάζευξη) από ατομικές αιτήσεις:

$$CReq' := \{val_1 \text{ op } V_1, \ldots, val_i \text{ op } V_i, \},\ V_i \in R(C_i),\ \text{op} \in \{>, <, =, <=, >=\}$$

Ορισμός 3.2*. Απάντηση Πλαισίου (Context Response, CRes)*

Μια απάντηση πλαισίου είναι ένα σύνολο από ένα ή περισσότερα ζεύγη (κλάση πλαισίου, τιμή):

$$CRes := \{val_1 = V_1, \ldots, val_i = V_i\},\ V_i \in R(C_i).$$

Μια απάντηση πλαισίου έχει επίσης μια παράμετρο χωρικής εγκυρότητας που η τιμή της είναι η μέγιστη από τις επιμέρους τιμές των χωρικών εγκυροτήτων που περιλαμβάνονται στην απάντηση. Ο λόγος που χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή είναι για να μπορούν να φτάσει η απάντηση και στον πιο απομακρυσμένο αιτούντα και άρα σε όλους τους παραλήπτες της.

Ορισμός 3.3*. Χωρική Εγκυρότητα μιας Αίτησης Πλαισίου (SV_{CReq})*

Χωρική Εγκυρότητα είναι η εμβέλεια στην οποία οι τιμές πλαισίου για τις κλάσεις που περιλαμβάνονται στην αίτηση πλαισίου *CReq* είναι έγκυρες και χρήσιμες για τον αιτούντα κόμβο. Αυτή η εμβέλεια μπορεί να εξαρτάται από το βαθμό τοπικότητας (degree of locality) της κλάσης ή και από τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής. Αν υποθέσουμε ότι υιοθετούμε ένα κυκλικό μοντέλο για την εμβέλεια (δηλ. ορίζει μια κυκλική περιοχή γύρω από ένα κόμβο), τότε το SV_{CReq} είναι η ακτίνα ενός κύκλου με κέντρο τη θέση του κόμβου που στέλνει την αίτηση πλαισίου. Δεν κάνουμε κάποια ιδιαίτερη υπόθεση για το χώρο (π.χ., οι μονάδες απόστασης μπορεί να είναι «άλματα» σε ένα ασύρματο δίκτυο ή μονάδες μήκους σε ένα δισδιάστατο γεωμετρικό χώρο). Αυτός ο κύκλος περιλαμβάνει όλους τους κόμβους που μπορούν να παρέχουν έγκυρες τιμές για τις κλάσεις της *CReq*. Έτσι αυτή η τιμή τελικά ελέγχει το πόσο μακρυά θα φτάσει μια αίτηση από τον κόμβο που τη παρήγαγε. Αν το SV_{CReq} ορίζεται ρητά από την εφαρμογή για μια αίτηση τότε ισχύει για όλες τις κλάσεις που αυτή περιλαμβάνει. Αλλιώς, για κάθε ατομική *CReq* ισχύει η προκαθορισμένη τιμή χωρικής εγκυρότητας (SV_{Ci}). Ανάλογα με τις αιτήσεις, και οι απαντήσεις πλαισίου έχουν μια αντίστοιχη τιμή εγκυρότητας που ελέγχει τη διάδοσή τους.

Ορισμός 3.4. Χρονική Εγκυρότητα μιας Αίτησης Πλαισίου (TV_{CReq})

Είναι η χρονική περίοδος, που μετριέται από τη στιγμή που η αρχική αίτηση δημιουργήθηκε και στάλθηκε μέχρι τη στιγμή που η αίτηση δεν θεωρείται έγκυρη πλέον. Αυτή η τιμή είναι ένα μέτρο για τη «φρεσκάδα» της πληροφορίας πλαισίου. Εναλλακτικά, μπορεί κανείς να σκεφτεί το TV_{CReq} σαν το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εκπομπές της αίτησης από τον αιτούντα κόμβο.

3.2.2 Υπολογισμός με επίγνωση κατάστασης

Οι καταστάσεις μπορούν να θεωρηθούν σαν υψηλότερου επιπέδου περιγραφές για τις τρέχουσες δραστηριότητες και την κατάσταση των κόμβων ή χρηστών και επηρεάζουν τις ενέργειες που πρέπει να λάβουν οι εφαρμογές. Έστω ότι *S* είναι το σύνολο όλων των κλάσεων κατάστασης της αντίστοιχης οντολογίας (βλ. και παράδειγμα στο Σχήμα 3.2.β). Αν υποθέσουμε ότι ενδιαφερόμαστε για τις καταστάσεις των χρηστών, των κόμβων και του περιβάλλοντος, τότε το σύνολο αυτό μπορεί να διαχωριστεί σε τρία υποσύνολα, τα S_u, S_n και S_e, αντίστοιχα. Για την ταξινόμηση των καταστάσεων αυτών μέσα στην οντολογία χρησιμοποιούνται ειδικοί κανόνες.

Ορισμός 3.5*. Κανόνας Ταξινόμησης Κατάστασης (Situation Classification Rule, SCR)*

Κανόνας Ταξινόμησης Κατάστασης είναι ένας κανόνας που ορίζει, μέσω αναγκαίων ή ικανών και αναγκαίων συνθηκών, μια κατάσταση του χρήστη, του κόμβου ή του περιβάλλοντος. Η γενική μορφή ενός τέτοιου κανόνα είναι:

$$SCR_i := S_1 \wedge \ldots \wedge S_k \wedge (val_1 \text{ op } V_1) \wedge (val_2 \text{ op } V_2) \wedge \ldots \wedge (val_m \text{ op } V_m) \rightarrow S_i (SV_{Si}, TV_{Si})$$

όπου i>k, $\{S_1, \ldots, S_k, S_i\} \in S$ και το → δηλώνει αναγκαάιες συνθήκες στο σώμα του κανόνα (το ≡ χρησιμοποιείται για ικανές και αναγκαίες συνθήκες). Το SV_{Si} είναι η χωρική εγκυρότητα του SCR_i. Μόνο οι καταστάσεις S_i που είναι υποκλάσεις της S_e μπορούν να έχουν χωρική εγκυρότητα (σε αυτό το κεφάλαιο ασχολούμαστε μόνο με τέτοιες καταστάσεις). Το TV_{Si} είναι η χρονική εγκυρότητα του SCR_i.

Κάθε συνθήκη στο σώμα του κανόνα μπορεί να αποτιμηθεί σε μία από τις ακόλουθες τιμές κατάστασης (*status values)*:

Άγνωστη (Unknown): η κλάση πλαισίου της συνθήκης <u>*δεν ανήκει*</u> στο LC_N

Αληθής: η κλάση πλαισίου της συνθήκης ανήκει στο LC_N και η συνθήκη <u>*ικανοποιείται*</u> από τη τρέχουσα τιμή της κλάσης αυτής

Ψευδής: η κλάση πλαισίου της συνθήκης ανήκει στο LC_N και η συνθήκη <u>*δεν ικανοποιείται*</u> από τη τρέχουσα τιμή της κλάσης αυτής.

Οι συνθήκες που αποτιμούνται σε αληθείς ή ψευδείς καλούνται *τοπικές (local conditions)* επειδή μπορούν να αποτιμηθούν από τον ίδιο τον κόμβο, ενώ οι συνθήκες με *άγνωστη* κατάσταση ονομάζονται *απομακρυσμένες (remote conditions).* Οι τελευταίες αυτες συνθήκες είναι αυτές που τελικά συμμετέχουν σε μια αίτηση πλαισίου. Η αίτηση πλαισίου που δημιουργείται από αυτές κληρονομεί τις τιμές SV_{Sj} και TV_{Sj}.

Τέλος, κάθε SCR έχει ένα *«επίπεδο σκανδαλισμού»* (*trigger level)*. Αυτό το επίπεδο είναι μία τιμή που δείχνει πόσο κοντά είναι ο κανόνας στο να εκτελεστεί (είναι δηλαδή ο αριθμός των τοπικών συνθηκών που είναι αληθείς προς το σύνολο των τοπικών συνθηκών). Η χρήση της τιμής αυτής περιγράφεται στην ενότητα 3.3.5.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι καταστάσεις χρησιμεύουν στο να καθορίζονται οι ενέργειες των εφαρμογών με ένα δηλωτικό τρόπο.

Ορισμός 3.6*. Κανόνας Ενέργειας (Action Rule, AR)*

Κανόνας Ενέργειας είναι ένας κανόνας που ορίζει τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν αν όλες οι συνθήκες στο σώμα του ικανοποιούνται. Για παράδειγμα αυτές οι ενέργειες μπορεί να είναι κλήσεις μεθόδων (αν υποστηρίζονται από τη γλώσσα κανόνων που χρησιμοποιείται). Οι συνθήκες περιλαμβάνουν καταστάσεις, και άρα έμμεσα, τιμές πλαισίου. Η γενική μορφή ενός τέτοιου κανόνα είναι:

$$AR_i := S_1 \wedge S_2 \wedge \ldots \wedge S_m \rightarrow \text{Κάποια_Ενέργεια } (SV_{ARi})$$

όπου η παράμετρος SV_{ARi} δηλώνει τη χωρική εγκυρότητά του.[12]

Παράδειγμα

Το ακόλουθο παράδειγμα εξηγεί καλύτερα τους ανωτέρω ορισμούς. Ας υποθέσουμε ότι ένας κόμβος N1 έχει μόνο ένα αισθητήρα θερμοκρασίας και τον κανόνα ενέργειας:

$$Fire \rightarrow \text{BroadcastAlert } (100)$$

που σημαίνει ότι αν ανιχνευτεί φωτιά σε μια εμβέλεια 100 χωρικών μονάδων, τότε ο κόμβος θα πρέπει να εκπέμψει μια προειδοποίηση. Έστω επίσης ότι η κατάσταση *Fire* ορίζεται από τον ακόλουθο SCR:

$$\text{Temperature} > 80 \wedge Humidity < 10 \rightarrow Fire\ (100, 10)$$

όπου το 100 (SV_{CReq}) υποδηλώνει την εμβέλεια στην οποία οι τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας είναι έγκυρες. Η τιμή 10 (TV_{CReq}), ορίζει πόσο συχνά θα μεταδίδονται στο δίκτυο οι αιτήσεις πλαισίου για τις κλάσεις που δεν είναι διαθέσιμες τοπικά (δηλ. υγρασία στην περίπτωσή μας). Συνεπώς ο κόμβος N1 θα δημιουργεί και αποστέλλει κάθε 10 χρονικές μονάδες μια αίτηση CReq της μορφής:

$$\text{Humidity} < 10$$

Και αυτή θα φτάνει μόνο σε κόμβους εντός 100 χωρικών μονάδων. Όταν κάποιος από αυτούς τους κόμβους που έχει αισθητήρα υγρασίας ικανοποιεί τη συνθήκη της CReq (π.χ., η υγρασία να είναι 5 μονάδες) θα προχωρήσει στην ευρυεκπομπή της απάντησης πλαισίου CRes:

$$Humidity = 5\ (100)$$

[12] Οι κανόνες ενέργειας δεν έχουν χρονική εγκυρότητα

η οποία επίσης θα φτάσει σε όλους τους κόμβους σε εμβέλεια 100 χωρικών μονάδων. Να σημειωθεί ότι οι όροι Fire, Temperature και Humidity θα πρέπει να έχουν οριστεί στις αντίστοιχες οντολογίες.

3.2.3 Επικοινωνίες και άλλες υποθέσεις

Για το επίπεδο επικοινωνιών η βασική υπόθεση που κάνουμε είναι ότι δεν έχουμε δικτυακά πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου και ότι η ανταλλαγή πληροφορίας γίνεται μέσα από παραλλαγές σχημάτων ευρυεκπομπής. Η επικοινωνία βασίζεται σε διεπαφές μικρής εμβέλειας όπως το ZigBee, το IEEE 1609 WAVE και το IEEE 802.11 (ad hoc mode). Διάφορα αποδοτικά σχήματα ευρυεκπομπής έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία, όπως η επιδημική διάχυση πληροφορίας [81], το gossiping [82] κλπ. Μια ακόμη υπόθεση είναι ότι υπάρχουν κάποια ειδικά πεδία (flags) στις επικεφαλίδες των πακέτων που ορίζουν το τύπο του μηνύματος (αίτηση πλαισίου, απάντηση πλαισίου).

Τέλος, το προτεινόμενο σχήμα υποθέτει ένα περιβάλλον εφαρμογών με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- όλοι οι κόμβοι είναι κινητοί,
- δεν γίνεται καμία υπόθεση για το πόσοι και ποιοι κόμβοι φέρουν αισθητήρες,
- όλοι οι κόμβοι είναι πρόθυμοι να συνεργαστούν έτσι ώστε να μπορούν να εκτελεστούν οι εφαρμογές επίγνωσης πλαισίου που είναι εγκατεστημένες σε αυτούς,
- κάθε κόμβος μπορεί να προσδιορίσει τη θέση του (με τη βοήθεια κάποιου κατάλληλου αισθητήρα, π.χ. GPS)

3.3. *Αρχιτεκτονική Σχήματος*

3.3.1 Ροή Εργασίας

Κάθε κόμβος μπορεί να έχει κάποιον από τους παρακάτω ρόλους:

1. *Αιτών Πλαισίου* (Context Requestor, CR), αν ο κόμβος ζητάει τιμές πλαισίου από άλλους κόμβους.
2. *Αναμεταδότης Πλαισίου* (Context Relay, CRel), αν ο κόμβος δεν έχει τους αισθητήρες που απαιτούνται από μία αίτηση πλαισίου ή δεν ενδιαφέρεται για τα περιεχόμενα των απαντήσεων πλαισίου. Οι CRels απλά προωθούν τα μηνύματα που δεν έχουν ξαναπροωθήσει.

3. *Πάροχος Πλαισίου*, (Context Provider, CP), αν ο κόμβος έχει αισθητήρες και μπορεί να στείλει σε άλλους κόμβους κάποιο τύπο πλαισίου.

Σε κάθε κόμβο υπάρχει ένα στιγμιότυπο της οντολογίας πλαισίου και της οντολογίας καταστάσεων, καθώς και οι κανόνες SCR. Κάθε εφαρμογή, μετά την εγκατάστασή της σε ένα κόμβο, προσθέτει τους κανόνες ενέργειας της (και πιθανώς κάποιους επιπλέον SCR) στη βάση γνώσης του. Αν οι κανόνες ενέργειας κάποιας εφαρμογής περιέχουν καταστάσεις με *απομακρυσμένες συνθήκες* τότε δημιουργούνται και αποστέλλονται οι αντίστοιχες αιτήσεις πλαισίου. Όταν μια αίτηση φτάσει σε ένα Πάροχο Πλαισίου τότε εγγράφεται σε αυτόν σαν *φίλτρο συμβάντος (event filter)*. Όταν το συμβάν που ικανοποιεί αυτό το φίλτρο σκανδαλιστεί από κάποιες τιμές αισθητήρων στον Πάροχο Πλαισίου, η αντίστοιχη Απάντηση Πλαισίου αποστέλλεται στο δίκτυο.

Το σχήμα αυτό είναι μια παραλλαγή ενός σχήματος content-based publish/subscribe, κατάλληλα προσαρμοσμένο στα περιβάλλοντα Νομαδικού Υπολογισμού. Συγκεκριμένα κάθε publisher (CP) είναι επίσης και διαμεσολαβητής (broker), αφού τα συστήματα publish/subscribe για δίκτυα με υψηλό ρυθμό αλλαγής της τοπολογίας τους θα πρέπει να αποθηκεύουν τα φίλτρα συμβάντων πολύ κοντά στις πηγές πληροφορίας. Επιπλέον, λαμβάνει χώρα και κάποιο είδος επικάλυψης (συνάθροισης) των subscriptions επεκτείνοντας αυτούς που συναντά κανείς στα δίκτυα που βασίζονται στα δεδομένα (content-based networking) [83].

3.3.2 Σχεδίαση Αιτούντα Πλαισίου

Ένας αιτών πλαισίου (CR) μπορεί να συλλέξει τιμές πλαισίου που απαιτούνται από τη βάση γνώσης του (Κανόνες Ενεργειών και Κανόνες Ταξινόμησης Καταστάσεων) και δεν μπορεί να τις παράξει ο ίδιος. Στο Context Foraging ισχύουν οι ακόλουθες αρχές, εκτός από αυτές που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή και αφορούν στην αποδοτικότητα:

- Οι τιμές πλαισίου που λαμβάνονται από τις Απαντήσεις Πλαισίου είναι χωρικά έγκυρες.
- Οι τιμές πλαισίου είναι «φρέσκιες», δηλαδή λαμβάνονται μόλις δημιουργούνται, παρέχοντας έτσι καλή ευαισθησία όσον αφορά στην ανίχνευση αλλαγών στις καταστάσεις. Δεν προβλέπεται η προσωρινή αποθήκευση πληροφορίας πλαισίου (context-caching).

Στη Λίστα 3.1 φαίνονται οι αλγόριθμοι που υλοποιούνται στον CR. Ο αλγόριθμος *requestContext* μπορεί να εκτελείται περιοδικά (για κάθε SCR) ή όποτε κάποιοι κανόνες

είναι πολύ κοντά στο να εκτελεστούν (βλ. και ενότητα 3.3.5). Ο αλγόριθμος *responseHandler* εκτελείται όποτε μια νέα CRes λαμβάνεται από τον CR.

```
function requestContext
Input: SCR: an array of all SCRs
while true
  for i=1 to SCR.length do
    if SCR[i].hasRemoteConditions()
    then sendRequest(SCR[i].remoteConditions);
  end for
  rescheduleRequest(SCR[i].remoteConditions, SCR[i].TV);
end while
```

```
function responseHandler
Input: CRes: the array that contains all conditions of the Context Request,
SuppClasses: the array of all context classes supported by the node
if isSpatiallyValid(CRes) then
  if CRes.classes not in SuppClasses then
    assert(CRes);
    fireRules();
  forward(CRes);
```

Λίστα 3.1. Δημιουργία αίτησης πλαισίου και χειρισμός απάντησης πλαισίου

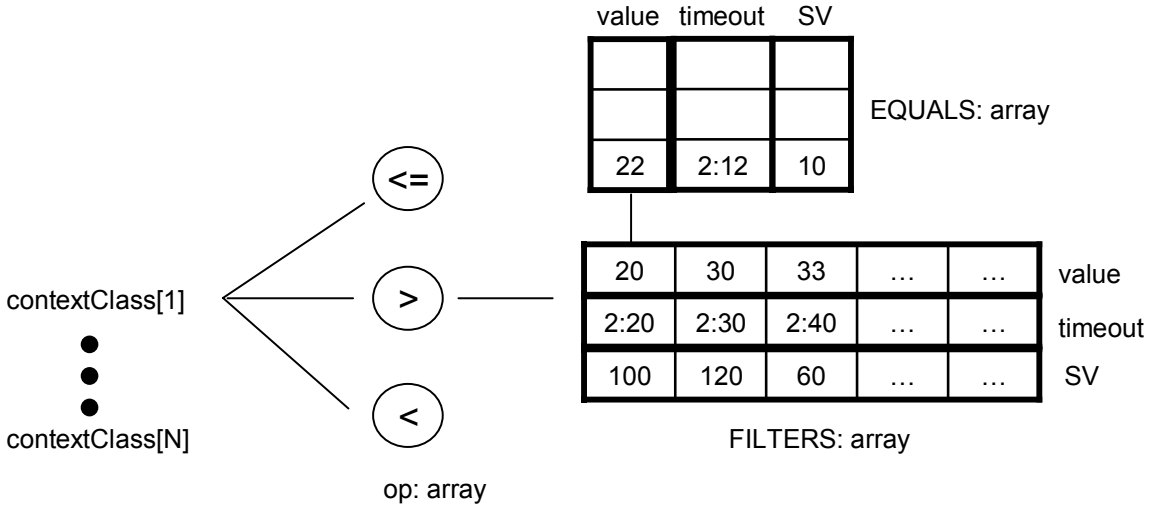
3.3.3 Σχεδίαση Παρόχου Πλαισίου

Κάθε κόμβος που μπορεί να γίνει Πάροχος Πλαισίου έχει μια δομή ευρετηρίου που χρησιμοποιείται για δύο σκοπούς: α) σαν μητρώο για όλα τα φίλτρα συμβάντων που λαμβάνονται από τις αιτήσεις, και β) σαν ένας μηχανισμός για το ταίριασμα συμβάντων (νέων τιμών αισθητήρων) με φίλτρα συμβάντων.

Η βασική ιδέα είναι ότι οι αιτήσεις πλαισίου εγγράφονται (μαζί με κάποιους χρόνους λήξης) σε αυτό το ευρετήριο. Οι τιμές αισθητήρων που παράγονται, εισέρχονται επίσης σε αυτό το ευρετήριο έτσι ώστε οι τιμές των αισθητήρων που ταιριάζουν με κάποια φίλτρα να δημιουργούν συμβάντα που κυκλοφορούν στο δίκτυο, υπό τη μορφή Απαντήσεων Πλαισίου. Έτσι, αυτό το ευρετήριο λειτουργεί σαν μηχανή προώθησης μηνυμάτων που συναντάται τυπικά σε δρομολογητές με βάση το περιεχόμενο [83]. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι στις απαντήσεις ανατίθεται επίσης μια τιμή χωρικής εγκυρότητας που είναι η μέγιστη από τις αντίστοιχες τιμές που περιλαμβάνονται στα στοιχεία της απάντησης (έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι όλοι οι σχετικοί αιτούντες θα λάβουν την απάντηση).

Η δομή αυτού του ευρετηρίου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3. Σε αυτό το ευρετήριο, οι πίνακες *FILTERS* και *EQUALS* είναι ταξινομημένοι. Ο πίνακας *FILTERS* περιέχει τα φίλτρα συμβάντων που είναι ουσιαστικά συνθήκες με κλάσεις πλαισίου. Αυτά

λαμβάνονται με τις εισερχόμενες CReqs και ο πίνακας είναι ταξινομημένος σε φθίνουσα σειρά για τους τελεστές '<' και '<=' και σε αύξουσα για όλους τους άλλους τελεστές. Οι ταξινομημένοι πίνακες χρησιμοποιούνται επειδή οι αναγνώσεις σε αυτό το ευρετήριο (νέες τιμές πλαισίου που παράγονται από αισθητήρες) αναμένεται να είναι πολύ περισσότερες από τις εισαγωγές (εγγραφές νέων φίλτρων συμβάντων). Ο πίνακας *EQUALS* αποθηκεύει επίσης φίλτρα συμβάντων και αποτελεί μια βελτιστοποίηση για την αποφυγή περιττών φίλτρων. Για παράδειγμα, για το συμβάν "contextClass[1] = 22", δεν δημιουργείται ένα νέο φίλτρο στον πίνακα *FILTERS* του τελεστή '=' καθώς αυτό θα είχε επικάλυψη με ένα άλλο φίλτρο ("contextClass[1] >20"). Τέλος, οι *χρόνοι λήξης* (*timeout)* χρησιμοποιούνται για την αυτόματη διαγραφή των φίλτρων που έχουν λήξει και οι τιμές *SV* για να καθορίζεται η χωρική εγκυρότητα στις απαντήσεις πλαισίου. Η Λίστα 3.2, περιγράφει πώς χρησιμοποιείται αυτό το ευρετήριο για το χειρισμό των αιτήσεων στους CPs.



Σχήμα 3.3 Το ευρετήριο των φίλτρων συμβάντων

<u>function requestHandler</u>
Input: CReq: the request object, SuppClasses: the array of all context classes supported by the node
1: ***for*** i=1 ***to*** CReq.conditions.length ***do***
2: ***begin***
3: ***if*** isSpatiallyValid(CReq.conditions[i])
4: ***if*** CReq.conditions[i].contextClass ***in*** SuppClasses ***then***
5: subscribeEvent(CReq.conditions[i]);
6: ***end;***
7: sendRequest(CReq);

<u>function subscribeEvent</u>
Input: CReq: an atomic context request, index: the index of Figure 3.3.
1: ***if*** CReq.op ***not in*** index[CReq.contextClass].op ***then***
2: newOp = index[CReq.contextClass].op.add(CReq.op);

```
3:   newOp. FILTERS.add(CReq.value, CReq.timeout, CReq.SV);
4: else
5:   filter = index[CReq.contextClass].op[CReq.op]. FILTERS;
6:   filter.addFilter(CReq.value, CReq.timeout);
```

function addFilter

Input: CReq: an atomic context request, index: the index of Figure 3.3.

```
1:  currentValue =    index[CReq.contextClass].op[CReq.op].FILTERS.getValue(1);
2:  if CReq.op = '>' and currentValue > CReq.value or
    CReq.op = '>=' and currentValue >= CReq.value  or
    CReq.op = '<' and currentValue < CReq.value or
    CReq.op = '<=' and currentValue <= CReq.value then
3:  then this.addFirst(CReq.value, CReq.timeout, CReq.SV);
4:  else if CReq.value in this.value then
5:    this.rescheduleTimeout(CReq.value, CReq.timeout, CReq.SV);
6:  else
7:    this.add(CReq.value, CReq.timeout);
8:  if CReq.op = '=' and  CReq.value >
     index[CReq.contextClass].op['<'].this.getValue(1) and CReq.value <
     index[CReq.contextClass].op['>'].this.getValue(1) then
9:    index[CReq.contextClass].op['='].filters.add(CReq.value,
       CReq.timeout, CReq.SV);
10: else
11:   this.addEqual(CReq.value);
```

Λίστα 3.2. Χειρισμός αίτησης πλαισίου στους παρόχους πλαισίου

Επειδή οι νομαδικοί κόμβοι μετακινούνται συχνά δεν είναι επιθυμητό να αποθηκεύονται όλα τα φίλτρα συμβάντων επ' αόριστον στο ευρετήριο. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε χρόνους λήξης για τα φίλτρα. Ο αλγόριθμος στη Λίστα 3.3 χειρίζεται τη λήξη τους. Αυτοί οι χρόνοι εισάγονται σε ένα τυπικό χρονοπρογραμματιστή (scheduler). Ο αλγόριθμος απομακρύνει τα ληγμένα φίλτρα από το ευρετήριο και τον χρονοπρογραμματιστή, κρατώντας το ευρετήριο σε συνεπή κατάσταση. Έτσι, αν ένας πίνακας *EQUALS* είναι συνδεδεμένος σε ένα στοιχείο του *FILTERS* που πρόκειται να αφαιρεθεί, τότε είτε το συνδέει με ένα άλλο στοιχείο είτε εγγράφει τα στοιχεία του σαν νέα φίλτρα στον πίνακα του τελεστή '=' (η δεύτερη περίπτωση ισχύει αν λήξει το φίλτρο "contextClass[1]>20" του Σχήματος 3.3). Όπως φαίνεται στη γραμμή 6, με την διαγραφή ενός στοιχείου του πίνακα *FILTERS*, ο σχετικός πίνακας *EQUALS,* αν υπάρχει, συνδέεται στο αριστερό στοιχείο. Αυτό οφείλεται στην ταξινόμηση των πινάκων *FILTERS*

Algorithm filterExpired
Input: expFilter: the expired filter, index: the index of Figure 3.3
1: ***if*** expFilter.op != '=' ***and*** expFilter =
index[expFilter.contextClass].op[expFilter.op].FILTERS.get(1) ***then***
2: ***if*** expFilter.equal ***is not empty then***
3: ***for all*** i ***in*** EQ ***do***
4: index[expFilter.contextClass].op['='].FILTERS.add(i.value, i.timeout, i.SV);
5: ***else if*** expFilter.equal ***is not empty then***
6: move(expFilter.equal); //move the equal array to the left filters item
7: FILTERS.remove(expFilter); //removes it from the filters array and the scheduler

Λίστα 3.3. Λήξη των φίλτρων συμβάντων

3.3.4 Ειδικές περιπτώσεις

Με τη βοήθεια των ανωτέρω αλγορίθμων, μπορεί να υλοποιηθεί ένα σχήμα συνεργατικής ανίχνευσης συμβάντων που να έχει μικρή επιβάρυνση. Τα πλεονεκτήματα του σχήματος είναι ότι δεν γίνονται συνεχείς ερωτήσεις προς το δίκτυο (polling), μηχανισμός που είναι εξαιρετικά απαιτητικός σε πόρους, και τα φίλτρα που δεν είναι πλέον χρήσιμα απομακρύνονται. Επιπλέον, αυτό το σχήμα αντιμετωπίζει καλά τις εξής προβληματικές ειδικές περιπτώσεις:

Α) Ο CR φεύγει από τη θέση του αφού έχει στείλει μια CReq: Σε αυτή τη περίπτωση οι κόμβοι CP στέλνουν απαντήσεις πλαισίου μόνο μέχρι να λήξουν τα φίλτρα του συγκεκριμένου CR.

Α.1) Ακόμα χειρότερα, μερικές απαντήσεις πλαισίου για αυτή τη CReq, που δεν είναι πλέον χωρικά έγκυρες, φτάνουν στον CR που έχει απομακρυνθεί από την αρχική του θέση: Η παράμετρος της χωρικής εγκυρότητας στις απαντήσεις πλαισίου επιλύει αυτό το πρόβλημα.

Β) Οι CPs με εγγεγραμμένα φίλτρα συμβάντων, φεύγουν μακριά από τον CR που τα έστειλε: Σε αυτή τη περίπτωση θα αποστέλλουν απαντήσεις πλαισίου στη γειτονιά τους μόνο μέχρι να λήξουν τα σχετικά φίλτρα. Εξάλλου, οι νέοι γείτονες μπορεί να ενδιαφέρονται για αυτές τις τιμές.

Όμως, μια πιθανή περίπτωση που μπορεί να προκύψει και αν δεν την χειριστεί το σύστημα μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία του (όσον αφορά την επίγνωση κατάστασης κάθε κόμβου) είναι η εξής:

Ένας CR αποστέλλει μια CReq για μια κλάση πλαισίου *C* με μεγάλη χρονική εγκυρότητα (δηλ. λήγει μετά από αρκετή ώρα). Να υπενθυμίσουμε ότι μια μεγάλη χρονική εγκυρότητα είναι επιθυμητή επειδή μειώνει τη δικτυακή κίνηση και την

κατανάλωση άλλων πόρων του κόμβου που απαιτούνται για τη διάχυση των CReq. Υποθέτουμε ότι κανένας γείτονας του CR δεν είναι CP για τη συγκεκριμένη κλάση πλαισίου. Τότε, ακριβώς μετά την αποστολή της CReq, εμφανίζεται ένας νέος κόμβος στη γειτονιά του που μπορεί να απαντήσει στην αίτησή του. Σε αυτή τη περίπτωση ο κόμβος αυτός θα μπορέσει να συγχρονιστεί με τους υπόλοιπους και να προσφέρει τη πληροφορία που διαθέτει, μόνο αφού λήξει η αίτηση και επανεκπεμφθεί μια νέα.

Για να μπορούν οι κόμβοι να χειριστούν μια τέτοια περίπτωση, καθένας από αυτούς θα πρέπει να αναμεταδίδει τις CReqs που λαμβάνει από τους υπόλοιπους ή που έχει δημιουργήσει ο ίδιος, σε όλους τους άμεσους γείτονές του, κάθε φορά που παρατηρεί αλλαγή στην τοπολογία της γειτονιάς του. Όμως δεν συμπεριλάβαμε αυτή τη λειτουργικότητα στο προτεινόμενο σχήμα καθώς κάποιες αρχικές προσομοιώσεις έδειξαν ότι εισάγει σημαντική επιβάρυνση σε επίπεδο αριθμού ανταλλασσόμενων μηνυμάτων.

3.3.5 Lazy Context Requesting

Ένας ακόμη μηχανισμός για τη βελτίωση του σχήματος Context Foraging είναι το “Lazy Context Requesting” που καθορίζει πώς και πότε θα πρέπει να δημιουργούνται οι CReqs. Αυτό απαιτείται επειδή κάποια κατάσταση μπορεί να μην υπάρξει ποτέ ή να παρατηρείται μόνο σπάνια. Σε αυτή τη περίπτωση, το σχήμα όπως έχει ήδη περιγραφεί δεν είναι πάρα πολύ αποδοτικό. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε τον ακόλουθο κανόνα SCR:

$$(\text{Temperature}>80) \wedge (\text{Humidity}<20) \wedge (\text{Smoke=true}) \rightarrow \text{Fire}$$

Επίσης, υποθέτουμε ότι ο κόμβος μπορεί να παρέξει τιμές υγρασίας (humidity) και ενδείξεις ύπαρξης καπνού (smoke). Αυτές δηλαδή είναι οι τοπικές συνθήκες του κανόνα. Προφανώς, η χρήση του σχήματός μας στη περίπτωση που Smoke=false και Humidity>=20 οδηγεί σε άσκοπη σπατάλη πόρων, αφού η κατάσταση Fire δεν θα παρατηρηθεί ποτέ, ακόμα και αν οι τιμές θερμοκρασίας που θα ληφθούν από τους γειτονικούς κόμβους είναι υψηλότερες από 80 βαθμούς.

Για να μην παρατηρείται τέτοια άσκοπη αποστολή αιτήσεων πλαισίου, η διαδικασία δημιουργίας τους θα πρέπει να μην είναι στατική αλλά να προσαρμόζεται και αυτή στην υπάρχουσα πληροφορία πλαισίου. Η βασική ιδέα είναι ότι ένας κόμβος στέλνει CReqs, που προκύπτουν από ένα κανόνα ταξινόμησης κατάστασης, στο δίκτυο μόνο όταν οι τοπικές τιμές πλαισίου ικανοποιούν τις τοπικές συνθήκες του κανόνα. Δηλαδή

προτείνεται ένας μηχανισμός που παρακολουθεί συνεχώς το επίπεδο σκανδαλισμού (*trigger level)* των SCR. Μόλις το επίπεδο ενός κανόνα ξεπεράσει ένα όριο, τότε η σχετική CReq εκπέμπεται (δηλαδή καλείται η συνάρτηση *sendRequest*). Το όριο αυτό γενικά μπορεί να εξαρτάται από τη σημασία/προτεραιότητα του κανόνα (π.χ. οι κρίσιμοι κανόνες έχουν χαμηλότερο όριο) ή άλλη γνώση που μπορεί να έχουμε για τον κανόνα.

3.4. *Αποτίμηση Επιδόσεων*

Για να αποτιμήσουμε τις επιδόσεις του συστήματος εκτελέσαμε μερικά σενάρια προσομοίωσης, στα οποία το συγκρίναμε με ένα άλλο σχήμα που ικανοποιεί επίσης πολλές από τις απαιτήσεις του συστήματος. Το σχήμα αυτό που ονομάζεται Context Polling (CPol για συντομία) είναι αρκετά πιο απλό στον τρόπο λειτουργίας του, αλλά, κατά τη γνώμη μας, φαίνεται να είναι μια από τις καλύτερες εναλλακτικές προσεγγίσεις στο συγκεκριμένο θέμα.

Στο CPol, κάθε Context Requestor στέλνει περιοδικά CReqs στους άλλους κόμβους. Αν οι Context Providers, ικανοποιούν κάποιες αιτήσεις (ή έστω μέρη αυτών), απαντούν αμέσως με τις τιμές τους και διαγράφουν την αντίστοιχη CReq. Έτσι, το σχήμα αυτό είναι αμνήμον (stateless, μη διατήρηση πληροφορίας κατάστασης), κάτι που είναι και ένα από τα πλεονεκτήματά του. Όμως, το βασικό πρόβλημά του είναι ότι όσο η περίοδος της αποστολής αιτήσεων αυξάνεται, οι CR μπορούν όλο και πιο δύσκολα να αντιλαμβάνονται αλλαγές στην πληροφορία πλαισίου που τους ενδιαφέρει. Από την άλλη, όπως θα δείξουμε και στην επόμενη ενότητα, αν η περίοδος τεθεί ίση με μια χρονική μονάδα τότε το κόστος των επικοινωνιών είναι πολύ μεγάλο.

3.4.1 Παράμετροι Προσομοίωσης

Στα σενάρια προσομοίωσης που εκτελέσαμε χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μετρικές:

1. Αριθμός μηνυμάτων που ανταλλάχθηκαν (#Msg). Περιλαμβάνει όλα τα CReq, CRes και τις αντίστοιχες προωθήσεις τους από τους ενδιάμεσους κόμβους.
2. Μέσο ποσοστό ανίχνευσης κατάστασης (Average Situation Detection Ratio - ASDR). Είναι το μέσο SDR για όλους τους Context Requestors. Το Situation Detection Ratio για ένα CR i ορίζεται ως εξής:

$$SDR_i = \frac{A}{B}$$

όπου *A*: ο αριθμός των SCR που εκτελέστηκαν από τον κόμβο *i, B*: ο αριθμός των SCR που θα έπρεπε ιδανικά να εκτελεστούν από τον κόμβο *i.* Η παράμετρος-μετρητής B αυξάνεται κατά ένα κάθε φορά που παρατηρείται εντός της περιοχής εγκυρότητας κάποιου κανόνα SCR του κόμβου *i* ένας συνδυασμός τιμών αισθητήρων που ικανοποιεί τις συνθήκες του.

Άλλες μετρικές που χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα publish/subscribe, όπως η καθυστέρηση (latency) της παράδοσης ενός συμβάντος/μηνύματος, δεν είναι χρήσιμες στην περίπτωσή μας επειδή όλα τα συμβάντα είναι τοπικά για τον αιτούντα κόμβο. Έτσι η αναμενόμενη καθυστέρηση μιας απάντησης πλαισίου είναι γνωστή εξαρχής και εξαρτάται από την χωρική εγκυρότητα της αντίστοιχης αίτησης.

Το πρώτο μέρος της προσομοίωσης συγκρίνει τις επιδόσεις των δύο σχημάτων CFor (Context Foraging) και CPol. Στο δεύτερο μέρος προσπαθούμε να αξιολογήσουμε τη χρήση του μηχανισμού lazy context requesting. Έτσι στο Μέρος B εκτελέσαμε τα πειράματα B1 και B2 που είναι ίδια με τα A1 and A2 αλλά με την εφαρμογή της συγκεκριμένης προσέγγισης lazy context requesting.

Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις (και για τα δύο μέρη) ενώ ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει τις παραμέτρους για κάθε πείραμα ξεχωριστά.

Πίνακας 3.1. Προκαθορισμένες παράμετροι προσομοίωσης

Αριθμός κόμβων	100
Διάρκεια προσομοίωσης	200 (χρονικές μονάδες)
Μοντέλο κινητικότητας	Random waypoint (βλ. [84]): Μέγιστη διάρκεια παύσης: 20 (χρονικές μονάδες) Ελάχιστη ταχύτητα: 0 (μονάδες ταχύτητας)
Αριθμός SCR ανά CR	2
SV των SCR	110
Εμβέλεια επικοινωνίας	50 (χωρικές μονάδες)
Διαστάσεις χώρου	500 × 500 (χωρικές μονάδες)
Επίπεδο σκανδαλισμού για το Lazy requesting	1 (δηλ. και οι 2 τοπικές συνθήκες)
Μέσος αριθμός γειτόνων σε ένα βήμα (one-hop)	~3

Οι κανόνες SCR του Πίνακα 3.2 ανατέθηκαν στους CR για το Μέρος A:

Πίνακας 3.2. Προκαθορισμένες παράμετροι προσομοίωσης

Κανόνας	Πλήθος CR
SCR_1: (Temperature>80) ∧ (Humidity <20) → Event 1 SCR_2: (GasA>40) ∧ (GasB>50) → Event 2	1/3 των CRs
SCR_3: (Humidity <20) ∧ (Smoke=true) → Event 3 SCR_4: (GasB>50) ∧ (Smoke=true) → Event 4	1/3 των CRs
SCR_5: (Temperature>80) ∧ (Smoke=true) → Event 5 SCR_6: (GasA>50) ∧ (Smoke=true) → Event 6	1/3 των CRs

Αυτός ο διαχωρισμός των CR σε τρία σύνολα, με κανόνες που δεν επικαλύπτονται όσον αφορά τις κλάσεις πλαισίου, έγινε για να μην παράγουν όλοι οι κόμβοι τις ίδιες αιτήσεις. Αν συνέβαινε αυτό οι αιτήσεις θα ήταν κατά κάποιο τρόπο «καθολικές», γεγονός που θα επηρέαζε την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Οι κανόνες στο Μέρος Β, κοινοί για όλους τους CR είναι:

SCR_7: (Temperature>80) ∧ (Humidity <20) ∧ (Smoke=true) → Event 1

SCR_8: (GasA>40) ∧ (GasB>50) ∧ (Smoke=true) → Event 2

Πίνακας 3.3. Παράμετροι πειραμάτων προσομοίωσης

Μέρος Α	
Πείραμα Α1	
Μοντέλο κινητικότητας	Μέγιστη ταχύτητα: 0, 1, 2, 4, 10, 20
Πλήθος CR	40
Πλήθος CP	40
Πείραμα Α2	
Μοντέλο κινητικότητας	Μέγιστη ταχύτητα: 2
Πλήθος CR	40
Πλήθος CP	40
SV των SCR	60, 90, 120, 150, 180
Μέρος Β	
Πείραμα Β1 (όμοια με Α1)	
Πείραμα Β2 (όμοια με Α2)	

Οι CR στο Μέρος Α δεν είναι ταυτόχρονα και CP (δηλ. δεν έχουν καθόλου αισθητήρες). Στο Μέρος Β, οι CR έχουν αισθητήρες για Humidity, Smoke και GasB[13]. Και στα δύο μέρη, οι CP (εξαιρώντας τους CR στο Μέρος Β) έχουν έναν αισθητήρα ο καθένας και κάθε κλάση πλαισίου παρέχεται, κατά μέσο όρο, από τον ίδιο αριθμό CP. Οι τιμές των

[13] Τα GasB και GasA είναι υποθετικοί αισθητήρες κάποιων χημικών ουσιών

αισθητήρων παρήχθησαν μία φορά και χρησιμοποιήθηκαν για όλες τις εκτελέσεις κάθε πειράματος. Οι τιμές αυτές είναι τυχαίες και η διαφορά δυο διαδοχικών τιμών ακολουθεί μια κανονική κατανομή N(0,1).

3.4.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης

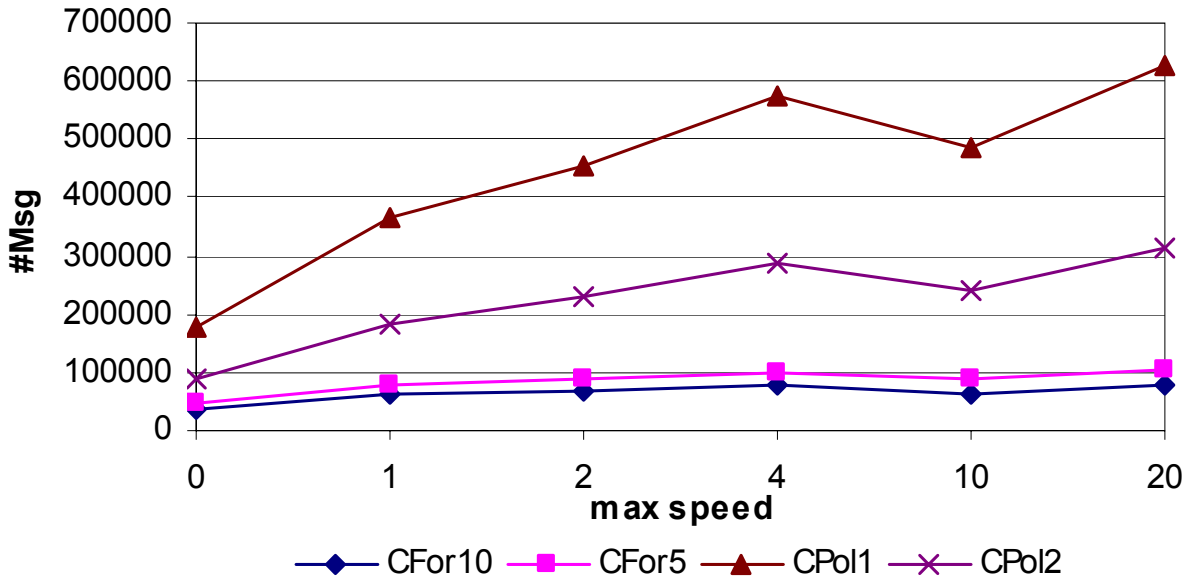
Μια πρώτη και σχετικά προφανής παρατήρηση είναι ότι αν θέσουμε τη χρονική εγκυρότητα όλων των SCRs στο σχήμα Context Foraging ίση με μια χρονική μονάδα, το σχήμα αυτό γίνεται ίδιο με το CPol (επίσης με περίοδο μια χρονική μονάδα), όσον αφορά στο ASDR. Όμως, το CFor μεταδίδει πολύ λιγότερα μηνύματα εξαιτίας της συνάθροισης που κάνει στις απαντήσεις με τη βοήθεια του ευρετηρίου.

Τα Σχήματα 3.4 και 3.5 συνοψίζουν τα αποτελέσματα για το πείραμα A1. Δύο παραλλαγές του Context Foraging (CFor) και δυο παραλλαγές του Context Polling (CPol) συγκρίνονται (οι αριθμοί μετά τα ονόματα των σχημάτων CPol και CFor υποδηλώνουν τη χρονική εγκυρότητα των αντίστοιχων αιτήσεων πλαισίου). Όλα τα σχήματα εκτός από το CPol2 έχουν παρόμοια ικανότητα ανίχνευσης συμβάντων (ASDR). Όμως τα σχήματα CFor ανταλλάσουν αρκετά λιγότερα μηνύματα. Επιπλέον, ο πλεονασμός μηνυμάτων του CPol φαίνεται πως αυξάνεται με μεγάλο ρυθμό, ενώ του CFor γραμμικά (Σχήματα 3.4 και 3.6).

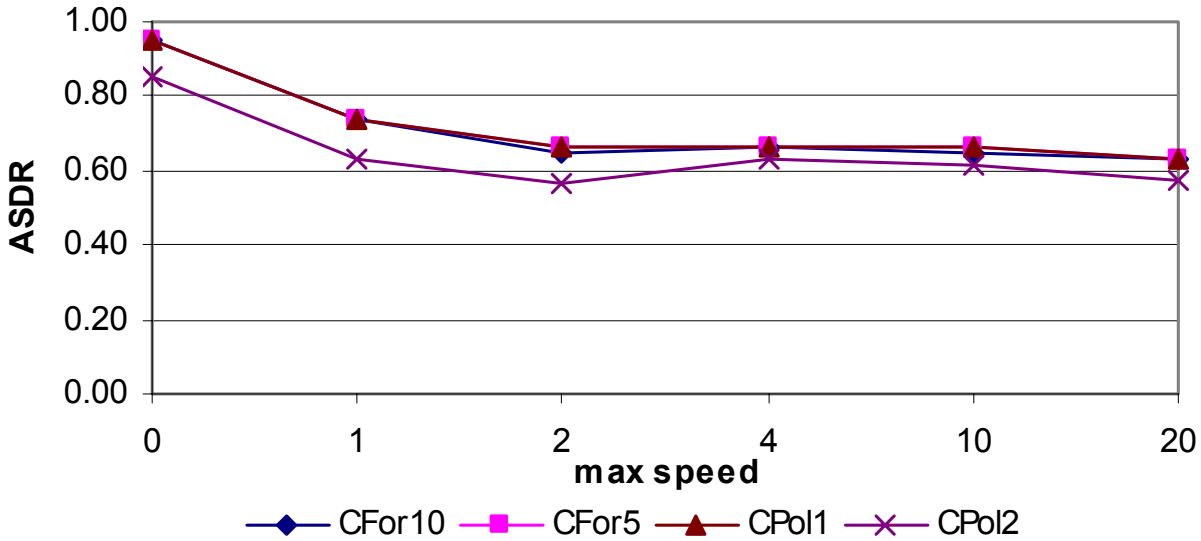
Η αύξηση του TV για το CFor δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές ASDR αλλά παρέχει σημαντική μείωση του αριθμού των μεταδιδόμενων μηνυμάτων. Αντίθετα το CPol είναι πολύ πιο ευαίσθητο σε αυξήσεις του TV (Σχήματα 3.4 και 3.5).

Η αύξηση της κινητικότητας των κόμβων έχει επίσης μεγάλη επίδραση στον αριθμό των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται στο CPol, ενώ μια πολύ περιορισμένη επίδραση στο CFor και δεν επηρεάζει την ικανότητα ανίχνευσης συμβάντων των κόμβων. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται όταν αυξάνεται η χωρική εγκυρότητα των κανόνων. Το CFor είναι πολύ πιο ανεκτικό σε τέτοιες αλλαγές και δεν μειώνει την τιμή ASDR των κόμβων.

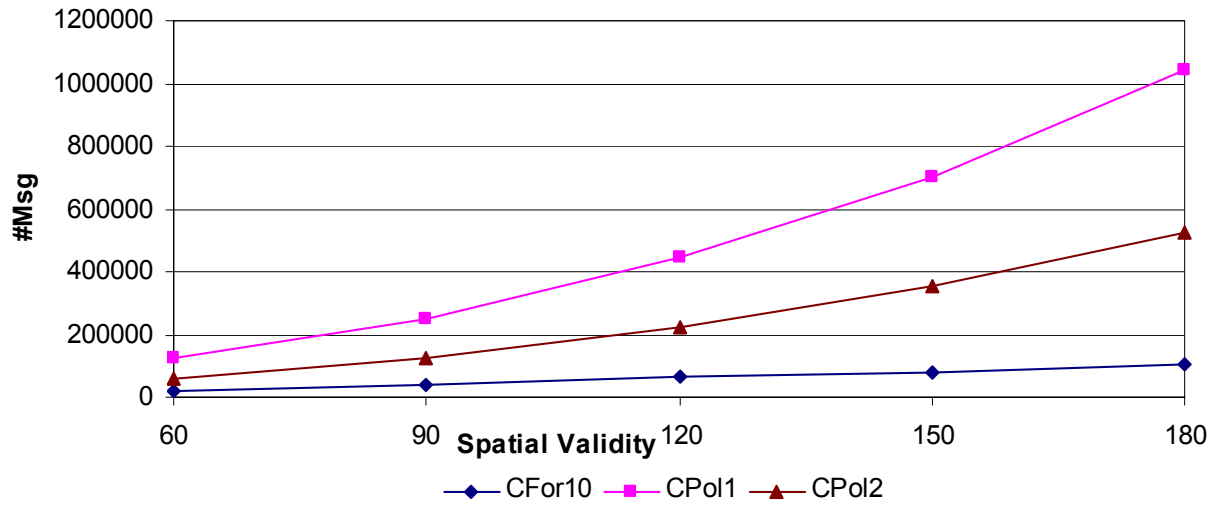
Όταν ο μηχανισμός Lazy Context Requesting είναι ενεργός τα αποτελέσματα είναι ποιοτικά ανάλογα. Όμως το πλήθος των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται είναι περίπου 3-10 φορές μικρότερο σε σύγκριση με το απλό σχήμα. Να σημειωθεί επίσης πως το σχήμα Lazy Context Requesting χρησιμοποιήθηκε και για το CPol στα πειράματα του Μέρους Β.



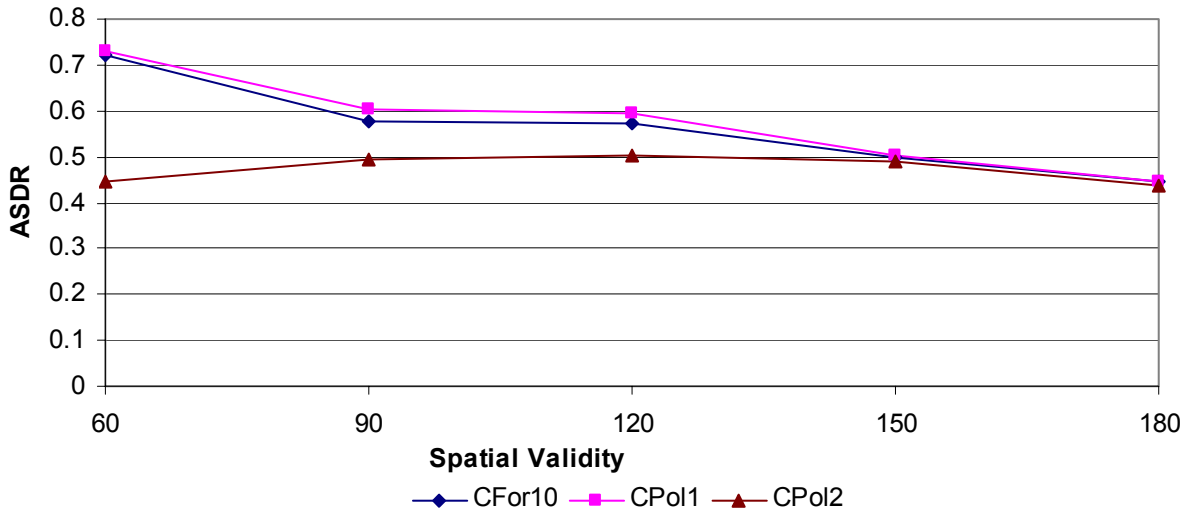
Σχήμα 3.4. A1: Πλήθος μηνυμάτων που ανταλλάχθηκαν σαν συνάρτηση της μέγιστης ταχύτητας



Σχήμα 3.5. A1: Το ASDR σαν συνάρτηση της μέγιστης ταχύτητας



Σχήμα 3.6. A2: αριθμός μηνυμάτων που ανταλλάχθηκαν σαν συνάρτηση της χωρικής εγκυρότητας των αιτήσεων

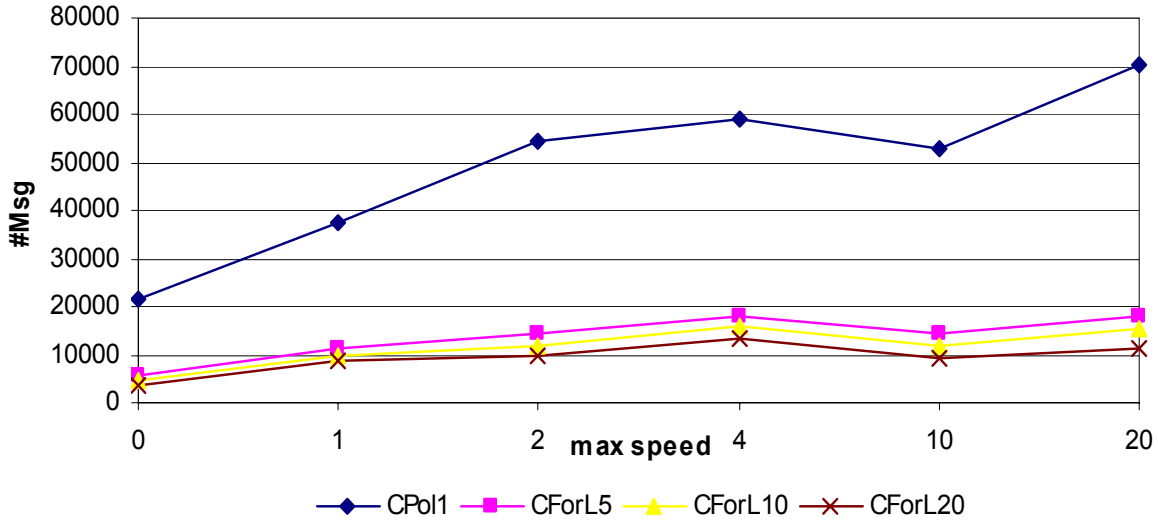


Σχήμα 3.7. A2: Το ASDR σαν συνάρτηση της χωρικής εγκυρότητας των αιτήσεων

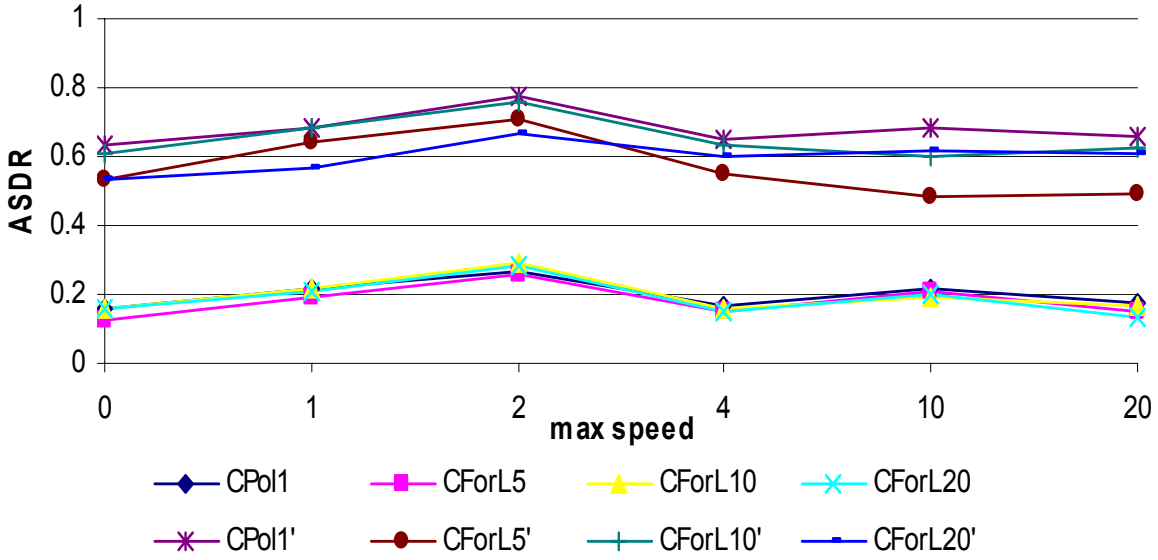
Άλλη μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι αν χρησιμοποιήσουμε τη κανονική μετρική ASDR για το Μέρος Β, οι τιμές της πέφτουν περίπου στο 20% (Σχήματα 3.9 και 3.11). Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο καθώς οι κόμβοι βασίζονται περισσότερο στους δικούς τους αισθητήρες για την ανίχνευση αλλαγών στην κατάστασή τους παρά στους αισθητήρες άλλων Παρόχων Πλαισίου. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι κόμβοι «χάνουν» (δεν μπορούν να αντιληφθούν) κάποια συμβάντα. Οι κόμβοι έχουν την ίδια «ευαισθησία» σε συμβάντα αλλά με πολύ λιγότερα μηνύματα. Για να φανεί πιο ξεκάθαρα αυτό, στα Σχήματα 3.9 και 3.11 δίνονται τα αποτελέσματα για τη μετρική ASDR' (οι καμπύλες που φαίνονται στο επάνω μέρος των σχημάτων). Το ASDR' έχει τον ίδιο ονομαστή με το ASDR αλλά ο παρονομαστής λαμβάνει υπόψη του μόνο συνδυασμούς όπου 2 από τις 3 συνθήκες ικανοποιούνται από τον ίδιο τον αιτούντα

κόμβο. Μπορεί κανείς να δει ότι αυτές οι τιμές είναι σχεδόν ίδιες με αυτές των Σχημάτων 3.5 και 3.7.

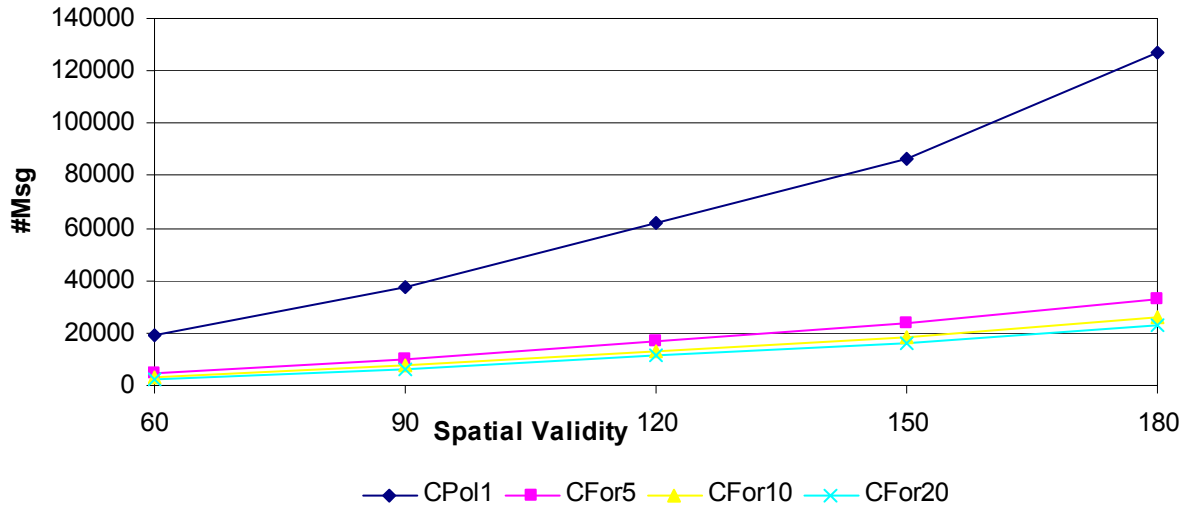
Στη πραγματικότητα, αν οι τιμές των αισθητήρων δεν ήταν τυχαίες, το ASDR' αναμένεται να είναι ακόμα πιο βελτιωμένο, επειδή οι καταστάσεις στον πραγματικό κόσμο δεν συνηθίζεται να εξαφανίζονται αστραπιαία, πριν γίνουν αντιληπτές από κοντινούς κόμβους.



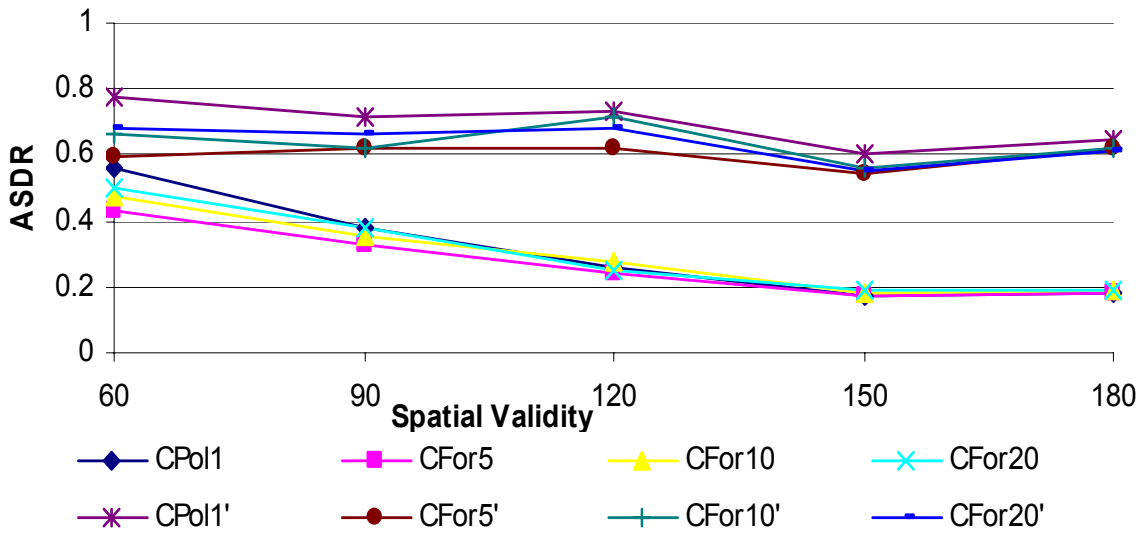
Σχήμα 3.8. B1: Αριθμός μηνυμάτων που ανταλλάχθηκαν σαν συνάρτηση της μέγιστης ταχύτητας



Σχήμα 3.9. B1: Το ASDR σαν συνάρτηση της μέγιστης ταχύτητας



Σχήμα 3.10. B2: Αριθμός μηνυμάτων που ανταλλάχθηκαν σαν συνάρτηση της χωρικής εγκυρότητας των αιτήσεων



Σχήμα 3.11. B2: Το ASDR σαν συνάρτηση της χωρικής εγκυρότητας των αιτήσεων

3.5. *Συναφή Συστήματα*

Η εφαρμογή του σχήματος publish/subscribe σε τόσο δυναμικά περιβάλλοντα, όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν δομημένα δίκτυα, δεν έχει αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα μέχρι σήμερα. Βέβαια, το μοντέλο publish/subscribe για περιβάλλοντα κινητών κόμβων αποτελεί μια ενεργή ερευνητική περιοχή τα τελευταία χρόνια. Μερικές σχετικές εργασίες είναι οι [85][86]. Όμως, όλες οι εργασίες θεωρούν ότι υπάρχει κάποιο αδόμητο ασύρματο δίκτυο (MANET) που υλοποιεί κάποιο κατάλληλο πρωτόκολλο δρομολόγησης ή έχουν δομές δρομολογητών για να επιτυγχάνουν ευρυεκπομπή των ανακοινώσεων συμβάντων [88].

Η εργασία στο [87] δεν κάνει τέτοιες υποθέσεις και έτσι έχει κάποια κοινά στοιχεία με τη δική μας προσέγγιση. Όμως, εστιάζει σε άλλα πεδία εφαρμογής στα οποία τα συμβάντα είναι πιο δομημένα και σε κάποιο βαθμό προκαθορισμένα. Στο σχήμα μας, οι αιτήσεις πλαισίου ορίζουν τα συμβάντα ενδιαφέροντος που μπορεί να είναι οποιαδήποτε, ανάλογα με τις απαιτήσεις των κόμβων. Άλλη μια διαφοροποίηση έγκειται στον ορισμό της χρονικής εγκυρότητας. Στο Context Foraging ανατίθενται τιμές εγκυρότητας στις αιτήσεις, στα φίλτρα και στις απαντήσεις, ενώ στην προσέγγιση του [87], η χρονική εγκυρότητα ανατίθεται στα δημιουργημένα συμβάντα. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το σχήμα Context Foraging δεν δημιουργεί πίνακες τοπολογίας ή ανάλογες δομές δεδομένων.

3.6. *Συμπεράσματα*

Η βασική συνεισφορά της προαναφερθείσας έρευνας στο πεδίο επίγνωσης πλαισίου (context awareness) είναι:

- Ορισμός ενός νέου γενικού πλαισίου (framework) για εφαρμογές επίγνωσης πλαισίου σε νομαδικά περιβάλλοντα, το οποίο αξιοποιεί τεχνολογίες γνώσεων (π.χ., κανόνες) και υπολογισμό κατευθυνόμενο από συμβάντα.
- Σχεδίαση ενός μηχανισμού για την αποδοτική ανταλλαγή πληροφορίας πλαισίου σε πλήρως αδόμητα δικτυακά περιβάλλοντα.

Τα θέματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται και στη δημοσίευση [153].

4 ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΣΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΗΜΑΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Εδώ και μερικά χρόνια έχει γίνει φανερή η στροφή της επιστήμης και τεχνολογίας των υπολογιστών προς νέα υπολογιστικά πρότυπα. Καταρχήν, ο Παγκόσμιος Ιστός (Web) εξελίσσεται από ιστός εγγράφων σε ιστό υπηρεσιών και εφαρμογών. Επίσης, η τάση του Web 2.0 άνοιξε το δρόμο για τα κοινωνικά δίκτυα (social networks) μέσω καινοτόμων εφαρμογών, και ο Σημασιολογικός Ιστός, που έχει υλοποιηθεί σε κάποιο βαθμό, έχει εισαγάγει νέα εργαλεία για τη διαχείριση γνώσης και την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων.

Από την άλλη, όλα τα πεδία εφαρμογών, είτε στο Web είτε όχι, απαιτούν προηγμένη λειτουργικότητα και το χρήστη να είναι πάντα στο επίκεντρο της εφαρμογής (human-centered computing). Αυτή η απαιτούμενη εξατομίκευση αποσκοπεί στο να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα των εφαρμογών, να «κρυφτεί» η πολυπλοκότητά τους ή να προστεθεί ευφυΐα στην επικοινωνία του ανθρώπου με τη μηχανή.

Στο παρόν κεφάλαιο διερευνάται πώς μπορεί να επιτευχθεί ο συνδυασμός όλων των παραπάνω (τεχνολογίες Παγκόσμιου Ιστού, σύγχρονες τεχνολογίες αναπαράστασης γνώσης και εξατομικευμένες εφαρμογές). Δεν γίνεται καμία υπόθεση για συγκεκριμένες εφαρμογές (παρόλο που το βασικό κίνητρο για τη δημιουργία και περιγραφή του πλαισίου αυτού ήταν οι εξατομικευμένες υπηρεσίες θέσης). Η κύρια υπόθεση για τις εφαρμογές είναι ότι είναι σχεδιασμένες με βάση μοντέλα που περιγράφουν τη σημασιολογία διαφόρων οντοτήτων του εκάστοτε πεδίου εφαρμογής. Αυτές τις εφαρμογές τις ονομάζουμε Semantic Web Enabled Applications (SWEA). Πριν προχωρήσουμε στις τεχνικές λεπτομέρειες και τις περιγραφές δύο πρωτότυπων εφαρμογών, δίνονται κάποιοι ορισμοί βασικών εννοιών.

Ορισμός 5.1. *Semantic Web Enabled Application (SWEA)*. Μια εφαρμογή που βασίζεται σε τεχνολογίες Σημασιολογικού Ιστού (ΣΙ). Αυτή μπορεί να είναι μια εγγενής υπηρεσία ΣΙ ή απλά να χρησιμοποιεί σχετικές τεχνολογίες (π.χ., σημασιολογική τηλεόραση). Πρακτικά είναι εφαρμογές που αναπτύσσονται με μεθόδους ανάπτυξης λογισμικού που βασίζονται σε οντολογίες ΣΙ και κανόνες [89].

Ορισμός 5.2. *Προσαρμόσιμο (Adaptable) και Προσαρμοστικό (Adaptive) Σύστημα*. Ένα σύστημα καλείται προσαρμόσιμο όταν επιτρέπει στο χρήστη να αλλάξει τη συμπεριφορά του συστήματος ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες και προτιμήσεις. Από την άλλη, ένα προσαρμοστικό σύστημα υποστηρίζει αυτή τη δυνατότητα με ένα αυτοματοποιημένο τρόπο. Δηλαδή αντιλαμβάνεται τις απαιτήσεις του χρήστη δυναμικά και ρυθμίζει τη λειτουργία του αυτόματα ώστε να τις ικανοποιήσει κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Αυτοί οι ορισμοί είναι σε συμφωνία με αυτούς του [90].

Ορισμός 5.3. *Εξατομίκευση (Personalization)*. Η διαδικασία παροχής περιεχομένου ή υπηρεσιών στο χρήστη με βάση τις ανάγκες, τις προτιμήσεις, τα ενδιαφέροντα και το πλαίσιο του (context) γενικότερα. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η *προσαρμογή* των εφαρμογών ή του περιεχομένου έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του συστήματος (ο ορισμός της απόδοσης εξαρτάται καθαρά από την εκάστοτε εφαρμογή).

Πίνακας 4.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εξατομίκευσης με χρήση τεχνολογιών γνώσης και Σημασιολογικού Ιστού

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
- Ρητή περιγραφή της σημασιολογίας των εφαρμογών μέσω οντολογιών και σχεδιασμός βασισμένος σε μοντέλα - Αποδοτικός συμπερασμός για μερικά υποσύνολα της Λογικής Πρώτης Τάξης - Αναπαράσταση των δεδομένων του ΣΙ με τη χρήση XML, που είναι αντιληπτή και από τον άνθρωπο και από τις μηχανές - Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης οντολογιών τρίτων και ευθυγράμμισης (alignment) οντολογιών με υπάρχοντα μοντέλα δεδομένων - Ώριμες τεχνικές για την κατασκευή αρθρωτών βάσεων γνώσης (ontological engineering) - Φυσική αναπαράσταση των κανόνων εξατομίκευσης μέσω κανόνων και άλλων δηλωτικών φορμαλισμών - Διαθεσιμότητα αρκετά ώριμων εργαλείων ανάπτυξης (π.χ., επεξεργαστές οντολογιών, προγραμματιστικές διεπαφές APIs)	- Περιορισμένη εκφραστικότητα κάποιων μοντέρνων γλωσσών λόγω του γνωστού "expressiveness vs. tractability tradeoff"[14] [154] - Έλλειψη αποδοτικών αλγορίθμων για διάφορους τύπου συμπερασμού με τεχνολογίες ΣΙ [15] [154] - Μικρή διείσδυση στην βιομηχανία λόγω της δυσκολίας στη δημιουργία βάσεων γνώσης, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πολλές «χρήσιμες» οντολογίες και δεν υπάρχουν εύκολοι τρόποι για την εξαγωγή γνώσης (π.χ., για την εξαγωγή προφίλ χρηστών).

[14] Όσο πιο εκφραστική είναι μια γλώσσα οντολογιών τόσο λιγότερο αποδοτικοί είναι οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι συμπερασμού

[15] Ένα παράδειγμα είναι ο συμπερασμός με στιγμιότυπα τύπων δεδομένων (datatype reasoning) που είναι χρήσιμος όταν έχουμε δεδομένα που αναπαριστούν φυσικά μεγέθη (π.χ. πληροφορία πλαισίου).

Πολλά συστατικά του ΣΙ έχουν ωριμάσει αρκετά ώστε να αποτελούν κίνητρο για τη δημιουργία SWEAs (π.χ. γλώσσες οντολογιών και επερωτήσεων, μηχανές συμπερασμού, εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών). Από την άλλη, υπάρχουν και αρκετά ανοικτά θέματα που περιορίζουν κάπως τη δημιουργία SWEAs. Μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά την υιοθέτηση τεχνολογιών γνώσης και ΣΙ για την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1.

4.1.1 Ενδεικτικές Σχετικές Εργασίες

Εξατομικευμένες εφαρμογές δημιουργούνται εδώ και χρόνια σε πολλά διαφορετικά πεδία ενδιαφέροντος. Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφουμε μερικές, που έχουν ως κοινό παρονομαστή ότι όλες είναι προσανατολισμένες σε μια προσέγγιση που βασίζεται στη διαχείριση γνώσης, και όχι απλά πληροφορίας. Οι περισσότερες αξιοποιούν κάποιες τυπικές μεθόδους αναπαράστασης γνώσης (π.χ. κανόνες και οντολογίες).

Μια κατηγορία εφαρμογών που επιδέχονται εξατομίκευση είναι αυτές που περιλαμβάνουν επίγνωση πλαισίου (π.χ., οι υπηρεσίες θέσης). Οι τυπικές εφαρμογές αυτής της κατηγορίας εξαρτώνται μόνο από τις συνθήκες πλαισίου που είναι εξωτερικές ως προς το χρήστη (π.χ., θέση, θερμοκρασία). Σε πιο προηγμένα σενάρια όμως, η εκτέλεση των εφαρμογών αυτών επηρεάζεται επίσης από τις ικανότητες, τα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις του χρήστη. Για παράδειγμα, ας σκεφτεί κανείς έναν χρήστη σε αναπηρικό αμαξίδιο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η υπηρεσία πλοήγησης θα πρέπει να προτείνει στο χρήστη μόνο μονοπάτια που δεν περιλαμβάνουν σκάλες. Τέτοιες υπηρεσίες που έχουν υλοποιηθεί μέχρι τώρα είναι οι [91][92]. Η τελευταία θα αναλυθεί περισσότερο σε επόμενη ενότητα.

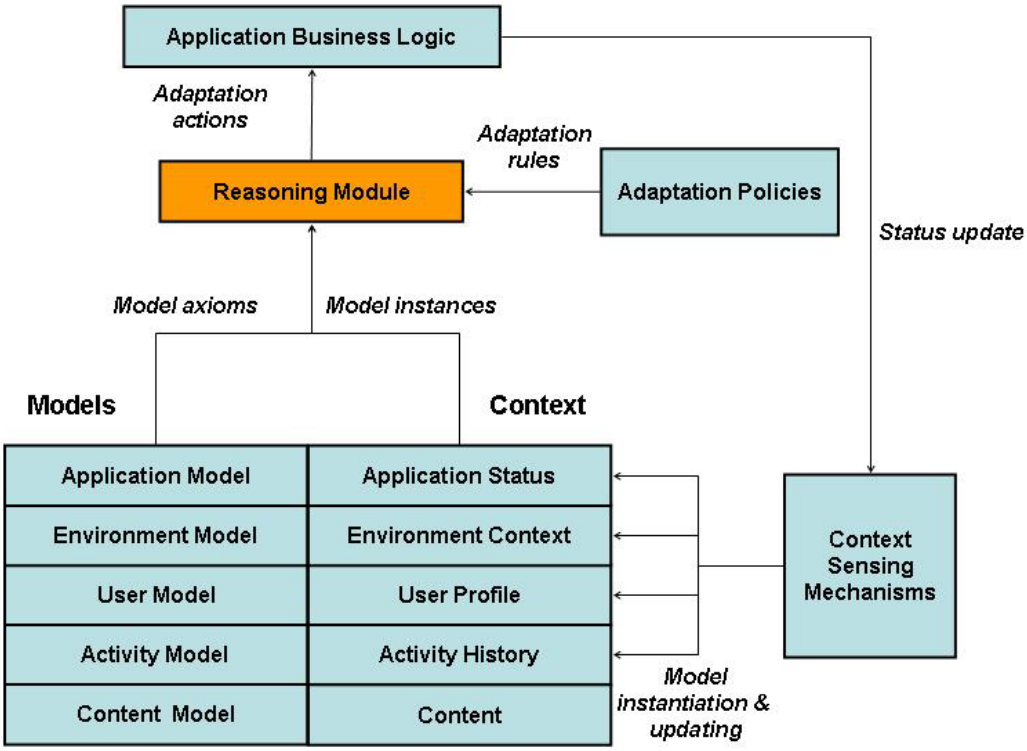
Μια άλλη μεγάλη κατηγορία εξατομικευμένων υπηρεσιών σχετίζεται με την περιοχή της ηλεκτρονικής μάθησης (e-learning). Ένα σχετικό ερευνητικό σύστημα είναι το WLog [93], που βοηθά τους μαθητές να δομήσουν εξατομικευμένα «πλάνα μελέτης» (study plans). Μία άλλη εφαρμογή είναι το Personal Reader για e-learning [94], που χρησιμοποιεί οντολογίες, κανόνες και γλώσσες επερωτήσεων που προέρχονται από το ΣΙ για να προτείνει εξατομικευμένες πληροφορίες στο χρήστη (π.χ., χρήσιμα παραδείγματα, σχετικό εκπαιδευτικό υλικό), κατάλληλες για το γνωστικό επίπεδό του.

Ένα ακόμη πεδίο ενδιαφέροντος είναι οι υπηρεσίες ηλεκτρονικού τουρισμού (e-tourism), όπου διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί και υλοποιηθεί ώστε το τουριστικό πλάνο να είναι σύμφωνο με τα ενδιαφέροντα του χρήστη [95][96][97].

Τέλος έχουν προταθεί και εφαρμογές όπως αυτή που παρουσιάζεται στο [98] για εξατομίκευση στη διαχείριση πολυμεσικού περιεχομένου και το AVATAR που προτείνει «ενδιαφέροντα» προγράμματα τηλεόρασης σε τηλεθεατές [99].

4.2. *Αρχιτεκτονική Σημασιολογικού Πλαισίου Εξατομίκευσης Εφαρμογών*

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε μια γενική αρχιτεκτονική για εξατομικευμένες SWEA. Τα βασικά συστατικά αυτής της αρχιτεκτονικής απεικονίζονται στο Σχήμα 4.1 και περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



Σχήμα 4.1. Γενική αρχιτεκτονική μιας εξατομικευμένης Semantic Web Enabled Application

Λογική της Εφαρμογής (Application Business Logic)

Η λογική της εφαρμογής ορίζει πώς η SWEA παρέχει υπηρεσίες ή περιεχόμενο σε κάθε τελικό χρήστη με βέλτιστο τρόπο, δεδομένου του τρέχοντος πλαισίου. Ο όρος «βέλτιστος» αναφέρεται σε ευκολία χρήσης, υψηλές επιδόσεις, προδραστική συμπεριφορά, αποτελεσματική ανάκτηση, φιλτράρισμα και παρουσιάση περιεχομένου κλπ. Η λογική αυτή πρέπει να είναι πλήρως παραμετροποιήσιμη, και να επηρεάζεται από τις ενέργειες προσαρμογής που αποφασίζονται από το συστατικό συμπερασμού (Reasoning module), που περιγράφεται παρακάτω.

Μοντέλα και Πλαίσιο (Models and Context)

Στο πλαίσιο που μελετάμε, όλη η γνώση που σχετίζεται με την εφαρμογή περιγράφεται μέσω μοντέλων. Στη περίπτωση των SWEAs, ο πιο κοινός τρόπος να αναπαρασταθούν αυτά είναι μέσω γλωσσών οντολογιών του ΣΙ, όπως η Web Ontology Language (OWL) και το Resource Description Framework Schema (RDFS). Τα μοντέλα (δηλ. οντολογίες) μπορεί να περιγράφουν διάφορες πτυχές του συστήματος. Στο Σχήμα 4.1, αναφέρονται πέντε βασικά μοντέλα που αναμένεται να υπάρχουν στη πλειοψηφία των εξατομικευμένων SWEA (βέβαια μπορεί να μην υπάρχουν πάντα όλα ή να μην υλοποιούνται ρητά μέσω οντολογιών):

Μοντέλο εφαρμογής (Application model): περιγράφει λεπτομέρειες της εφαρμογής όπως τις καταστάσεις της, τις διεργασίες της και τη σημασιολογία τους.

Μοντέλο χρήστη (User model): το πιο βασικό μοντέλο για κάθε ανθρωποκεντρική εφαρμογή. Περιγράφει διάφορες πτυχές του προφίλ του χρήστη, όπως δημογραφικές πληροφορίες, τρέχουσα κατάσταση, ενδιαφέροντα και προτιμήσεις. Επιπλέον, συνήθως περιλαμβάνει και μια ταξινόμηση (κατηγοριοποίηση) των χρηστών.

Μοντέλο περιβάλλοντος (Environment model): περιγράφει περιφερειακά στοιχεία, όπως τη κατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος του χρήστη ή τη κατάσταση άλλων συστημάτων που αλληλεπιδρούν με την εφαρμογή.

Μοντέλο δραστηριοτήτων (Activity model): περιγράφει όλες τις πιθανές αλληλεπιδράσεις του χρήστη με το σύστημα και κάθε άλλη αλληλεπίδραση που μπορεί να επηρεάσει τη μελλοντική συμπεριφορά της εφαρμογής. Κατά μία έννοια, αυτό το μοντέλο είναι μια τυπική περιγραφή ενός ιστορικού δραστηριοτήτων (activity logs). Για παράδειγμα οι διάφορες κλάσεις χρήστη στις οποίες έχει ταξινομηθεί ο χρήστης με τη πάροδο του χρόνου μπορεί να είναι χρήσιμη πληροφορία για τη μελλοντική προσαρμογή του συστήματος. Αυτού του τύπου η πληροφορία συνήθως αποτυπώνεται από το σύστημα με ένα διάφανο προς το χρήστη τρόπο. Επιπλέον, τέτοια πληροφορία είναι συνήθως χρήσιμη είσοδος για μηχανισμούς (μηχανικής) μάθησης προφίλ χρήστη.

Μοντέλο περιεχομένου (Content model): περιγράφει τη σημασιολογία του περιεχομένου που χρησιμοποιείται από την εφαρμογή. Μπορεί να θεωρηθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις το περιεχόμενο δεν μεταβάλλεται δυναμικά.

Μηχανισμοί Ανίχνευσης Πλαισίου (Context Sensing Mechanisms)

Οι μεταβολές στο πλαίσιο του χρήστη γίνονται αντιληπτές και εισάγονται στο σύστημα από ειδικούς μηχανισμούς ανίχνευσης πλαισίου (context sensing). Τέτοιοι μηχανισμοί γενικά αποτελούνται από δύο διεργασίες: την ανίχνευση πλαισίου και τη μετάφραση πλαισίου (context translation) [100]. Η πρώτη παρακολουθεί τα διάφορα συστατικά της αρχιτεκτονικής και «αντιλαμβάνεται» αλλαγές στις τιμές των παραμέτρων πλαισίου, π.χ., θέση του χρήστη, θερμοκρασία περιβάλλοντος, σφάλματα κατά το χρόνο εκτέλεσης, κλπ. Η δεύτερη αναπαριστά τις τιμές που ανιχνεύθηκαν με τρόπο που να γίνεται αντιληπτός από το σύστημα, δηλαδή σύμφωνα με τα μοντέλα-οντολογίες. Αυτή η μετάφραση μπορεί να απαιτεί από πολύ απλές μέχρι πολύ πολύπλοκες ρουτίνες μετασχηματισμού δεδομένων, όπως μετάφραση από γεωγραφικές συντεταγμένες GPS (Global Positioning System) σε συμβολικές θέσεις, ασαφή αναπαράσταση παραμέτρων του φυσικού κόσμου (π.χ., ταχύτητα), κλπ.

Συστατικό Συμπερασμού (Reasoning Module)

Αυτό είναι το συστατικό όπου υλοποιείται όλη η συλλογιστική και ο συμπερασμός σχετικά με τη προσαρμογή της εφαρμογής. Είσοδός του είναι τα μοντέλα και τα στιγμιότυπά τους, που περιγράφουν όλο το πλαίσιο των εξατομικευμένων εφαρμογών, καθώς και οι πιθανές αποφάσεις για προσαρμογή των εφαρμογών εφόσον ισχύουν κάποιες συνθήκες (δηλ. οι πολιτικές προσαρμογής). Οι έξοδοί του είναι οι ενέργειες στις οποίες πρέπει να προβούν οι εφαρμογές ώστε να προσαρμοστούν καλύτερα στο πλαίσιο του χρήστη. Ανάλογα με τις τεχνικές αναπαράστασης γνώσης και την εκφραστικότητα των μοντέλων και των πολιτικών προσαρμογής, αυτό το συστατικό μπορεί να περιλαμβάνει διάφορους τύπους συλλογιστικής. Για παράδειγμα, αν το ιστορικό του χρήστη λαμβάνεται υπόψη, μπορεί να απαιτείται στατιστική επεξεργασία ή χρονικός συμπερασμός (temporal reasoning). Στις τυπικές SWEAs αυτό το συστατικό περιλαμβάνει μια μηχανή συμπερασμού (συνήθως για Περιγραφικές Λογικές) και μια μηχανή κανόνων. Γενικά, αυτό το συστατικό μπορεί να περιλαμβάνει και άλλους τύπους συλλογιστικής όπως ασαφή συλλογιστική.

Πολιτικές Προσαρμογής (Adaptation Policies)

Αυτή είναι η βάση κανόνων (rule base) που περιγράφει τις πιθανές αποφάσεις για την εξατομίκευση της εφαρμογής και είναι ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία του πλαισίου. Η γραμματική και η σημασιολογία των κανόνων μπορεί να

ποικίλει ανάλογα με την επιθυμητή εκφραστικότητα των πολιτικών αυτών. Σε ακόλουθη ενότητα θα δούμε διάφορους φορμαλισμούς που έχουν προταθεί για βάσεις κανόνων. Συνήθως οι πολιτικές αυτές είναι σχετικά στατικές, κυρίως για να είναι πιο εύκολη η διαχείρισή τους. Όμως σε μερικές περιπτώσεις οι αλλαγές στο πλαίσιο μπορεί να πυροδοτούν και αλλαγές στις πολιτικές. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θεωρούμε ότι οι κανόνες είναι προκαθορισμένοι και ότι οι χρήστες προσθέτουν νέους ή τροποποιούν τους υπάρχοντες μόνοι τους.

4.3. *Μοντελοποίηση Χρήστη*

4.3.1 Γενικά

Το μοντέλο χρήστη παίζει σημαντικό ρόλο σε κάθε εξατομικευμένο σύστημα. Για το λόγο αυτό στην παρούσα ενότητα μελετάμε διεξοδικά το μοντέλο χρήστη. Δεδομένων των υπαρχουσών τεχνολογιών του ΣΙ, οι οντολογίες είναι το πιο κατάλληλο «εργαλείο» για να εκφραστεί αυτό το μοντέλο. Οι σύγχρονες γλώσσες οντολογιών του ΣΙ παρέχουν πολλούς εκφραστικούς τρόπους για την αναπαράσταση των χαρακτηριστικών του χρήστη. Κάθε μοντέλο χρήστη μπορεί να χωριστεί σε διάφορες όψεις. Μία από αυτές είναι η *λειτουργική όψη (functional)*, που διαχωρίζει τα στοιχεία του μοντέλου σε κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους στην εφαρμογή. Τυπικές κατηγορίες είναι:

Δημογραφικά στοιχεία του χρήστη (User demographics): περιλαμβάνουν γενικές πληροφορίες για το χρήστη, όπως το όνομά του, την ηλικία του, κλπ. Συνήθως αυτές παρέχονται από τον ίδιο τον χρήστη πριν χρησιμοποιήσει την εφαρμογή.

Προτιμήσεις χρήστη (User preferences): ένας χρήστης μπορεί να έχει διάφορες προτιμήσεις αναφορικά με την αλληλεπίδρασή του με ένα σύστημα. Αυτές βοηθούν το σύστημα να παρέχει βελτιωμένη πρόσβαση, παρουσίαση και ανάκτηση του περιεχομένου. Οι προτιμήσεις αυτές συνδέονται με τα ενδιαφέροντα του χρήστη ή τις πληροφοριακές του ανάγκες.

Ικανότητες του χρήστη (User capabilities): ο χρήστης μπορεί να έχει συγκεκριμένες ικανότητες ή δυσλειτουργίες που θα πρέπει να επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα, ένα σύστημα πλοήγησης δεν πρέπει να προτείνει διαδρομές με σκάλες σε ένα χρήστη σε αναπηρικό αμαξίδιο. Καθώς η Καθολική Πρόσβαση (Universal Access) και η Σχεδίαση για Όλους (Design for All) [101]

αποκτούν όλο και μεγαλύτερη δημοτικότητα, οι ικανότητες του χρήστη γίνονται όλο και πιο σημαντικές κατά την εξατομίκευση.

Η δεύτερη όψη είναι η *δομική* (*structural*). Όπως αναφέρεται και στο [102], ένα μοντέλο χρήστη αποτελείται από τα ακόλουθα δομικά στοιχεία:

Ένα σύνολο από υψηλού επιπέδου κλάσεις χρήστη, UC, που χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των χρηστών σε σχέση με το εκάστοτε πεδίο εφαρμογής. Για παράδειγμα, σε μια ιατρική εφαρμογή κάποιες κλάσεις μπορεί να είναι «Γιατρός», «Ασθενής με πυρετό», «Διαβητικός» κλπ. Όσο πιο ειδικές είναι αυτές οι κλάσεις τόσο πιο λεπτομερείς περιγραφές πρέπει να έχουν. Ένας χρήστης στην εφαρμογή αναπαρίσταται ως στιγμιότυπο μίας ή περισσοτέρων τέτοιων κλάσεων.

Ένα σύνολο από κλάσεις που αναπαριστούν χαρακτηριστικά του προφίλ, FC. Αυτές οι κλάσεις είναι το υπερσύνολο των ενδιαφερόντων, ικανοτήτων και προτιμήσεων που μπορεί να έχει ένας χρήστης. Τα χαρακτηριστικά που έχει ένας συγκεκριμένος χρήστης αναπαρίστανται σαν στιγμιότυπα των κλάσεων αυτών.

Ένα σύνολο από συσχετίσεις (ή ιδιότητες των χαρακτηριστικών του χρήστη), FP, που αναθέτουν χαρακτηριστικά σε (στιγμιότυπα των κλάσεων του FC) σε χρήστες (στιγμιότυπα των κλάσεων του UC). Στη γλώσσα OWL, αυτές είναι δυαδικές συσχετίσεις και αναπαρίστανται σαν object-properties.

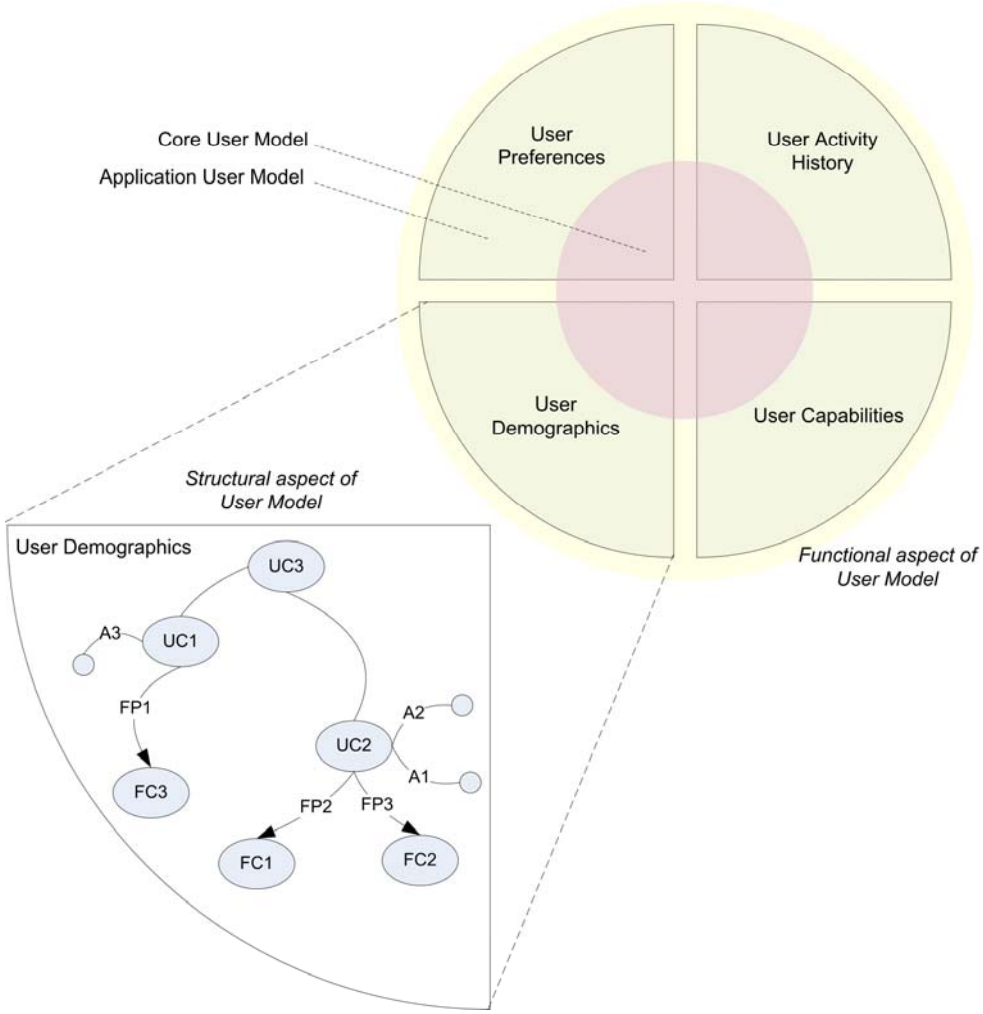
Ένα σύνολο γνωρισμάτων, A, που αναθέτει τιμές (literal values) στα χαρακτηριστικά του χρήστη, όπως το όνομα, η ηλικία, το φύλο, κλπ. Στη γλώσσα OWL, αυτά είναι δυαδικές συσχετίσεις και αναπαρίστανται σαν datatype-properties.

Επιπλέον, μπορούμε να θεωρήσουμε ένα μοντέλο χρήστη σαν συνδυασμό δύο μερών. Το *βασικό μοντέλο χρήστη* (core user model, CUM) και το *μοντέλο χρήστη εφαρμογής* (application user model, AUM). Αυτός ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει για δύο λόγους: α) ευκολία μοντελοποίησης και β) αποδοτική υλοποίηση. Κάθε μέρος έχει διαφορετική εκφραστικότητα και υποστηρίζει διαφορετικές συλλογιστικές. Το CUM κυρίως βοηθά στη σχεδίαση και ανάπτυξη του συστήματος παρέχοντας ένα ελεγχόμενο λεξιλόγιο για τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με το χρήστη και τις σχέσεις μεταξύ τους. Επιπλέον, είναι το επαναχρησιμοποιούμενο μέρος του μοντέλου καθώς είναι αρκετά γενικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές εφαρμογές (υπενθυμίζουμε ότι η επαναχρησιμοποίηση της γνώσης είναι μία από τις βασικές αρχές του ΣΙ). Αυτό το

μέρος περιέχει βασικές κλάσεις οντολογιών (primitive classes) που περιγράφονται από αναγκαίες συνθήκες και τα στιγμιότυπά τους δημιουργούνται ρητά από το χρήστη. Το AUM είναι ένα πιο λεπτομερές μοντέλο που επιτρέπει πιο προηγμένο συμπερασμό. Οι έννοιες και οι συσχετίσεις που το απαρτίζουν εξαρτώνται εντελώς από την εκάστοτε εφαρμογή και συνήθως περιγράφονται από ικανές και αναγκαίες συνθήκες. Μια ενδεικτική έννοια του AUM μπορεί να είναι:

$$\text{YoungWheelChairedUser} \equiv \exists \text{hasAbility.WheelchairedMobility} \sqcap \exists \text{hasAge} < 25$$

Σε αυτό το μέρος του μοντέλου, ο χρήστης απλά εισάγει τιμές σε χαρακτηριστικά του και κατηγοριοποιείται αυτόματα από τη μηχανή συμπερασμού. Επίσης, αν γίνουν κάποιες αλλαγές στα γνωρίσματά του, αυτές αυτόματα επηρεάζουν τη κλάση στην οποία ανήκει. Η βασική δυσκολία στο να δημιουργηθεί το AUM είναι ότι απαιτεί κάποια εμπειρία στην αναπαράσταση γνώσης. Αν βέβαια το μοντέλο χρήστη χρησιμοποιείται μόνο σαν λεξιλόγιο, το AUM μπορεί να μην είναι απαραίτητο. Στο Σχήμα 4.2, φαίνεται η επικάλυψη μεταξύ των διαφόρων όψεων ενός μοντέλου χρήστη. Κάθε τεταρτημόριο μπορεί να περιλαμβάνει οποιοδήποτε συνδυασμό δομικών στοιχείων (π.χ. UC, FP).



Σχήμα 4.2. Οι όψεις ενός μοντέλου χρήστη

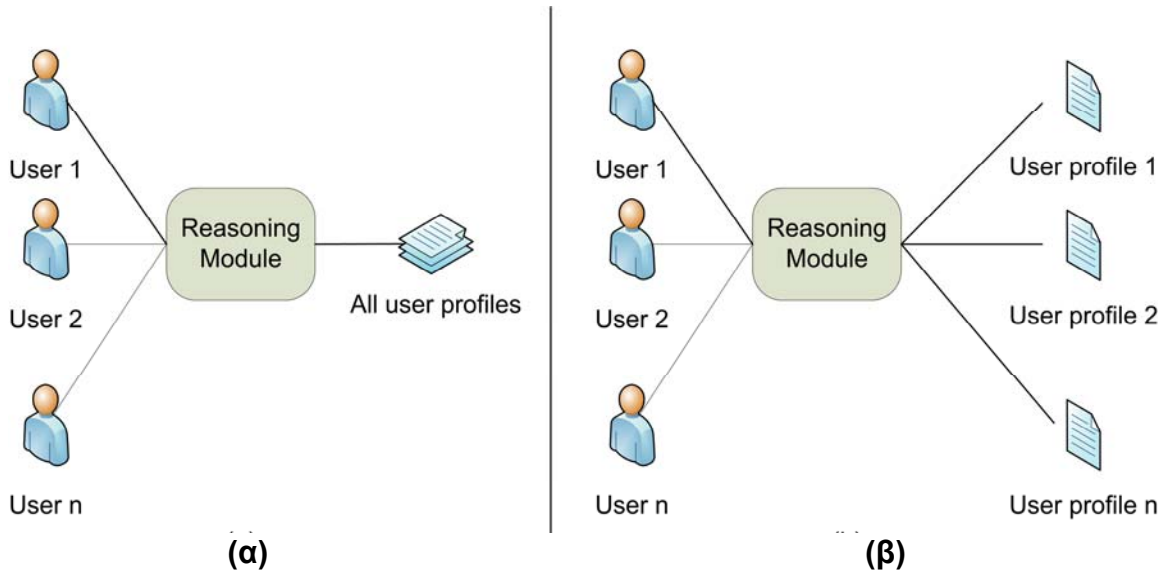
4.3.2 Θέματα Επιδόσεων για Υλοποιήσεις Μοντέλων Χρήστη

Αποθήκευση των μοντέλων

Πολλές από τις SWEA λειτουργούν σε πολυχρηστικά συστήματα. Ένα θέμα που προκύπτει σε πολυχρηστικά συστήματα εξατομικευμένων εφαρμογών και που θα μας απασχολήσει σε αυτή την ενότητα είναι ο τρόπος με τον οποίο αποθηκεύονται τα προφίλ των χρηστών (δηλαδή τα στιγμιότυπα των οντολογιών). Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις:

Προσέγγιση Α: όλα τα προφίλ χρήστη αποθηκεύονται σε ένα αρχείο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την κεντρική διαχείριση όλων των χρηστών (βλ Σχήμα 4.3.α). Πιο συγκεκριμένα, όλα τα στιγμιότυπα των χρηστών καθώς και το ίδιο το μοντέλο χρήστη (οντολογία) αποθηκεύονται σε ένα και μοναδικό αρχείο. Όσο αυξάνεται όμως ο αριθμός των χρηστών, τόσο αυξάνεται και το μέγεθος του αρχείου. Έτσι δημιουργούνται κάποια προβλήματα όσον αφορά τη διαδικασία συμπερασμού, καθώς οι περισσότερες μηχανές συμπερασμού δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγάλους αριθμούς στιγμιοτύπων ή αποδεικνύονται ακατάλληλες για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Σαν αποτέλεσμα, οι επερωτήσεις ή η ταξινόμηση τέτοιων συνόλων στιγμιοτύπων δεν είναι απλή υπόθεση και παρόλο που έχουν προταθεί διάφορες λύσεις (π.χ. [103]), η προσέγγιση αυτή δεν συνίσταται για πραγματικά συστήματα.

Προσέγγιση Β: ένα αρχείο για κάθε προφίλ χρήστη. Αυτή η προσέγγιση (βλ. Σχήμα 4.3.β) προσφέρει μεγαλύτερη κλιμάκωση. Επιπλέον, επιτρέπει την κατανεμημένη διαχείριση χρηστών, καθώς κάθε στιγμιότυπο της οντολογίας χρήστη μπορεί να διαχειριστεί ανεξάρτητα από τα άλλα. Ο χρήστης μπορεί ακόμα και να έχει τοπικά το προφίλ του ώστε να ελέγχει τη χρήση του και να εξασφαλίζει την ιδιωτικότητά του. Συνεπώς, διαδικασίες όπως απάντηση επερωτήσεων και συμπερασμός μπορούν να εκτελεστούν πιο αποδοτικά. Από την άλλη, υπάρχει το μειονέκτημα ότι δεν είναι εύκολο να επεξεργαστούν/απαντηθούν συναθροιστικές επερωτήσεις, όπως "βρες όλους τους χρήστες που έχουν την τιμή Χ στην ιδιότητα Υ".

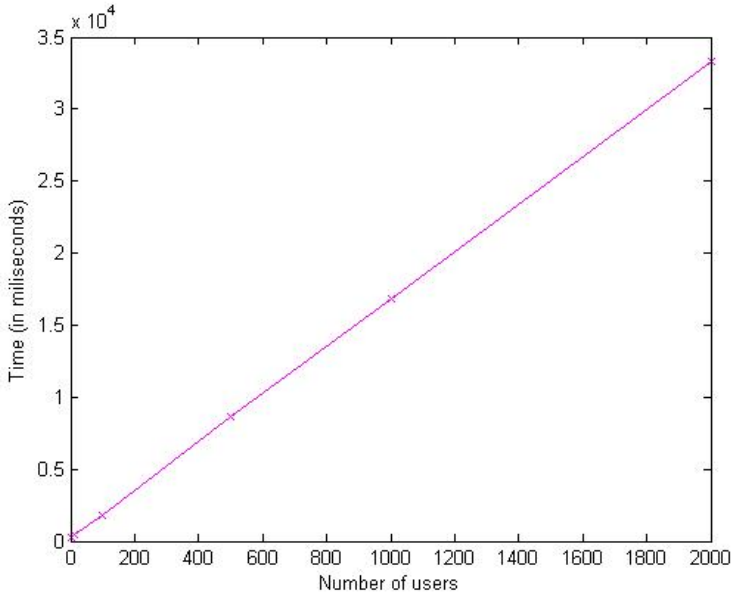


Σχήμα 4.3. (α) Όλα τα προφίλ σε ένα αρχείο. (β) Το προφίλ κάθε χρήστη σε ξεχωριστό αρχείο.

Στατικά Μοντέλα

Η παρούσα και η επόμενη υποενότητα προσπαθούν να αξιολογήσουν τις προαναφερθείσες προσεγγίσεις όσον αφορά στην αποδοτικότητα του συμπερασμού και να δώσουν μια ρεαλιστική αίσθηση για τις επιδόσεις σύγχρονων εργαλείων συμπερασμού και την επίδραση που έχουν οι διάφορες σχεδιαστικές αποφάσεις σε αυτές. Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε μια οντολογία χρήστη που αποτελείται από 46 κλάσεις, 9 συσχετίσεις (object properties) και 5 γνωρίσματα (datatype properties). Κάθε προφίλ περιλαμβάνει 33 στιγμιότυπα κλάσεων και 34 στιγμιότυπα συσχετίσεων/γνωρισμάτων. Σαν μηχανή συμπερασμού DL και κανόνων χρησιμοποιήθηκε ο Bossam [104].

Το Σχήμα 4.4 δείχνει ότι ο χρόνος που απαιτείται για να «φορτωθεί» και ταξινομηθεί η οντολογία αυξάνει αναλογικά με τον αριθμό των προφίλ χρηστών που περιέχονται σε αυτήν. Κατ' επέκταση, όταν ο αριθμός των προφίλ υπερβεί τις μερικές εκατοντάδες, η καθυστέρηση συμπερασμού γίνεται περιοριστικός παράγοντας για εφαρμογές που απαιτούν μικρούς χρόνους απόκρισης. Επιπλέον η εφαρμογή μερικών κανόνων σε ένα μικρό μέρος της οντολογίας (περίπου 100 προφίλ χρηστών) απαιτούσε περίπου 10 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.4. Χρόνοι «φόρτωσης» και ταξινόμησης για την Προσέγγιση Α

Δυναμικά Μοντέλα

Σε πολλές εφαρμογές όμως, και ειδικά στις εφαρμογές του Διάχυτου Υπολογισμού, τα προφίλ χρήστη αντί για στατικά είναι δυναμικά, δηλαδή χρονικά μεταβαλλόμενα. Ο δυναμικός χαρακτήρας προσδίδει μια επιπλέον ευφυΐα στις εφαρμογές αλλά εισάγει και προβλήματα κατά την υλοποίησή τους, με βασικότερο την επανάληψη της ταξινόμησης του προφίλ μετά από κάθε αλλαγή. Ένα καλό παράδειγμα είναι όταν το μοντέλο χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει τον χρήστη ανάλογα με τη κατάστασή του. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, μια υπηρεσία θέσης που απαιτεί την ύπαρξη γνώσης για τη κινητική κατάσταση των χρηστών. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια συσχέτιση *hasSpeed* στο μοντέλο χρήστη που περιγράφει την τρέχουσα ταχύτητά του. Έτσι μπορούμε να ορίσουμε τις εξής κλάσεις χρηστών:

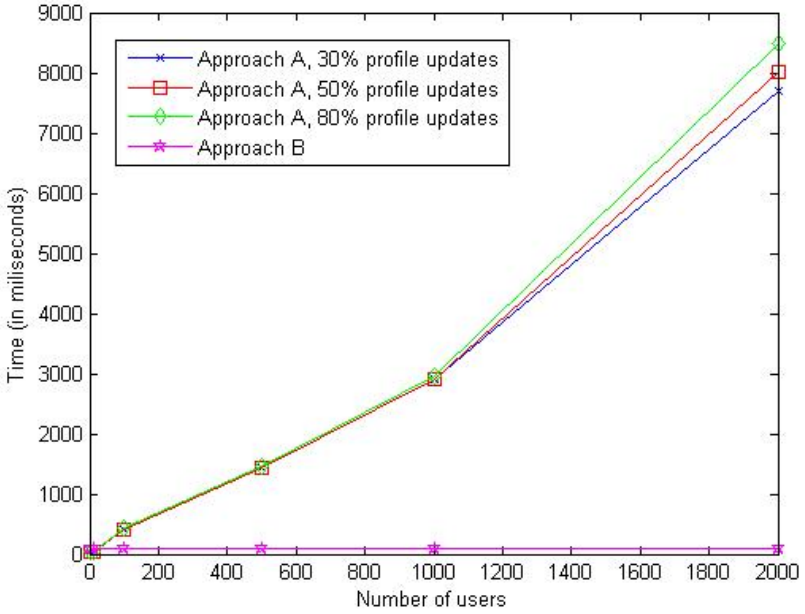
$$\text{RunningUser} \equiv \text{User} \sqcap \exists \text{hasSpeed.HighSpeed}$$
$$\text{WalkingUser} \equiv \text{User} \sqcap \exists \text{hasSpeed.MediumSpeed}$$
$$\text{StationaryUser} \equiv \text{User} \sqcap \exists \text{hasSpeed.LowSpeed}$$

Δεδομένου ότι η ταχύτητα ενός χρήστη μεταβάλλεται συνεχώς, η εφαρμογή πρέπει να ανανεώνει τακτικά αυτή τη γνώση (δηλ., τη τιμή της συσχέτισης *hasSpeed*). Μια τέτοια ανανέωση επιβάλει την επαναταξινόμηση του μοντέλου αν θέλουμε το σύστημα να απαντά σε ερωτήσεις όπως “βρες όλους τους χρήστες που ανήκουν στη κλάση WalkingUser”. Αυτή η διαδικασία όμως είναι υπολογιστικά ακριβή. Για να την αποτιμήσουμε για κάθε μια από τις προσεγγίσεις Α και Β, υποθέτουμε ότι κάποια στιγμή τα προφίλ που συμμετέχουν μεταβάλλονται με πιθανότητες: 0.3, 0.5 και 0.8. Η αλλαγή που μπορεί να γίνει είναι να αλλάξει η τιμή της συσχέτισης *hasSpeed.* Η οντολογία για

κάθε χρήστη που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης υποενότητας.

Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την επαναταξινόμηση των οντολογιών μετά από την ενδεχόμενη αλλαγή στα στιγμιότυπά τους, αν έχουμε υιοθετήσει τη Προσέγγιση Α. Όσο ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται οι χρόνοι επαναταξινόμησης αυξάνονται όμοια με το Σχήμα 4.4.

Από την άλλη, η Προσέγγιση Β φαίνεται να οδηγεί σε αρκετά πιο αποδοτική εκτέλεση της διαδικασίας επαναταξινόμησης. Για να το δείξουμε αυτό, κάναμε ένα σύνολο από πειράματα. Οι μεταβολές στα προφίλ των χρηστών και άρα και οι αιτήσεις για επαναταξινόμηση ακολουθούν μια κατανομή Poisson με μέσο χρόνο ανάμεσα στις αφίξεις 1 δευτερόλεπτο. Σε αυτή τη περίπτωση ο μέσος χρόνος ταξινόμησης είναι περίπου 100 msec (βλ. Σχήμα 4.5), άσχετα από τον συνολικό αριθμό χρηστών. Έτσι φαίνεται ότι αυτή η προσέγγιση μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές με απαιτήσεις για επαναταξινόμηση πολλών χρηστών.



Σχήμα 4.5. Χρόνοι επαναταξινόμησης για τις Προσεγγίσεις Α και Β με δυναμικά μοντέλα χρηστών

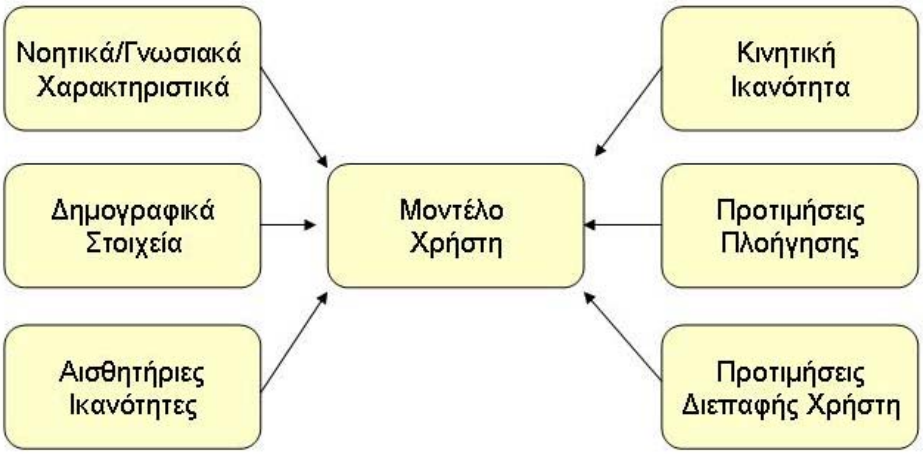
4.3.3 Μοντελοποίηση χρήστη για υπηρεσίες θέσης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται ένα μοντέλο χρήστη για υπηρεσίες θέσης. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο γενικό μοντέλο που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα και περιλαμβάνει και το CUM και το AUM. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των Σημασιολογικών Υπηρεσιών Θέσης που θα περιγραφούν σε επόμενες ενότητες. Για να προϊδεαστεί ο αναγνώστης, αναφέρουμε ότι αυτό το μοντέλο

θα χρησιμοποιηθεί α) για να υπολογιστούν όλα τα πιθανά μονοπάτια σε ένα χώρο, β) για να επιλεγεί το καλύτερο προσβάσιμο μονοπάτι και γ) για να δοθούν κατάλληλες οδηγίες στον χρήστη ώστε να μπορεί να περιηγηθεί στο χώρο.

Για να μπορέσει να δημιουργηθεί ένα χρήσιμο και αξιοποιήσιμο μοντέλο χρήστη σε κάποιο πεδίο ενδιαφέροντος πρέπει να έχουν κατανοηθεί οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τους χρήστες και που θα χρησιμοποιηθούν από τις εφαρμογές. Στην περίπτωση του μοντέλου που θα περιγράψουμε εδώ, οι βασικές έννοιες προκύπτουν αν μελετηθεί η θεωρία στην οποία βασίζεται η χωρική αίσθηση του ανθρώπου και νοητικές/γνωσιακές διεργασίες που εμπλέκονται στην εύρεση διαδρομών (wayfinding).

Ο Gluck [105] ορίζει την εύρεση μονοπατιού ως "*the procedure that is used for the orientation and navigating, in order an individual to navigate from one place to another, especially in very huge and complex environments* indoors *or outdoors*". Γενικά η εύρεση μονοπατιού είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί την κινητοποίηση διάφορων νοητικών διεργασιών, εκτός από τις κινητικές, παρόλο που γίνεται ασυναίσθητα για τη πλειοψηφία των ανθρώπων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει πιο δύσκολη για ειδικές κατηγορίες ανθρώπων που αντιμετωπίζουν διάφορες δυσλειτουργίες. Οι βασικές θεωρίες που οδηγούν στη κατανόηση της διαδικασίας αυτής δεν παρουσιάζονται εδώ αλλά ο αναγνώστης μπορεί να βρει μια καλή σύνοψή τους στο [106]. Με δεδομένα αυτά τα θεωρητικά ευρήματα, ένα μοντέλο χρήστη κατάλληλο για υπηρεσίες θέσης αποτελείται από τις συνιστώσες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.6:



Σχήμα 4.6. Συνιστώσες ενός μοντέλου χρήστη που προορίζεται για υπηρεσίες θέσης

1. Δημογραφικά στοιχεία: έχουν ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα.

2. Νοητικά/Γνωσιακά χαρακτηριστικά: σε αυτή τη κατηγορία ανήκει η ικανότητα του χρήστη να βρίσκει το προσανατολισμό του, οι νοητικές δυσλειτουργίες που πιθανώς έχει, η ικανότητά του να συγκεντρώνεται στο τελικό προορισμό/στόχο του κλπ. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πολύ δύσκολο να αποτυπωθούν σε ένα μοντέλο και να συμπεριληφθούν σε πραγματικά συστήματα.

3. Αισθητήριες ικανότητες: οι αισθητήριες ικανότητες (ή δυσλειτουργίες) επηρεάζουν τη διαδικασία της εύρεσης μονοπατιού. Οι αισθήσεις που παίζουν κυρίως ρόλο είναι η όραση (ποιότητα και οξύτητα όρασης) και η ακοή.

4. Κινητική ικανότητα: περιγράφει το κατά πόσο και πώς ο χρήστης ελέγχει τις κινήσεις του ώστε να περιπλανηθεί στο χώρο. Γενικά οι χρήστες έχουν τους ακόλουθους τύπους κινητικότητας:

i. Αυτόνομη κινητικότητα χωρίς βοηθήματα.

ii. Κινητικότητα με τη βοήθεια συνοδού (με ή χωρίς βοηθήματα).

iii. Αυτόνομη κινητικότητα με αμαξίδιο.

iv. Αυτόνομη κινητικότητα με βοηθήματα (πλην αμαξιδίου).

5. Προτιμήσεις πλοήγησης: τυπικές προτιμήσεις είναι:

i. Καθόλου.

ii. Συντομότερη διαδρομή.

iii. Γρηγορότερη διαδρομή.

iv. Προτίμηση στα πιο δημοφιλή σημεία (π.χ. κεντρικοί διάδρομοι).

v. Αποφυγή σκάλας.

vi. Αποφυγή χώρων με πολυκοσμία (π.χ., για τυφλούς χρήστες).

6. Προτιμήσεις διεπαφής χρήστη: καθορίζουν τα μέσα με τα οποία οι χρήστες θα λάβουν οδηγίες περιπλάνησης/πλοήγησης από το σύστημα:

i. Τύπος συσκευής (π.χ., PDA, κινητό τηλέφωνο, κιόσκι πληροφοριών).

ii. Τρόπος παρουσίασης:

α. Μόνο κείμενο.

β. Κείμενο και εικόνα.

γ. Μόνο εικόνα.

δ. Κείμενο και ήχος.

ε. Εικόνα και ήχος.

ζ. Μόνο ήχος.

Για να μπορούν όλα τα παραπάνω να αποτυπωθούν σε μια μορφή κατάλληλη για πραγματικά συστήματα, τα αναπαραστήσαμε με τη γλώσσα OWL. Η οντολογία που προέκυψε ονομάστηκε UNO (User Navigation Ontology). Ένα μέρος της ιεραρχίας εννοιών της UNO απεικονίζεται στο Σχήμα 4.7, ενώ στο Σχήμα 4.8 φαίνονται οι βασικές της ιδιότητες.

Η βασική διαφοροποίηση της UNO από άλλες οντολογίες χρηστών όπως η GUMO [107], εκτός βέβαια από το σκοπό τους, είναι ότι η UNO χρησιμοποιείται ενεργά σε διαδικασίες συλλογιστικής και συμπερασμού, ενώ η GUMO παρέχει απλά μια βάση γνώσης για τη βασική ταξινόμηση των χρηστών. Έτσι ένα βασικό στοιχείο της UNO είναι ο ορισμός των κλάσεων των χρηστών (μέσω περιορισμών και αναγκαίων και ικανών συνθηκών). Η χρήση της γλώσσας OWL-DL επιτρέπει μεγάλη εκφραστικότητα στον ορισμό κλάσεων χρηστών. Κάποιοι ενδεικτικοί ορισμοί τέτοιων κλάσεων είναι:

YoungWheelchairedUser ≡

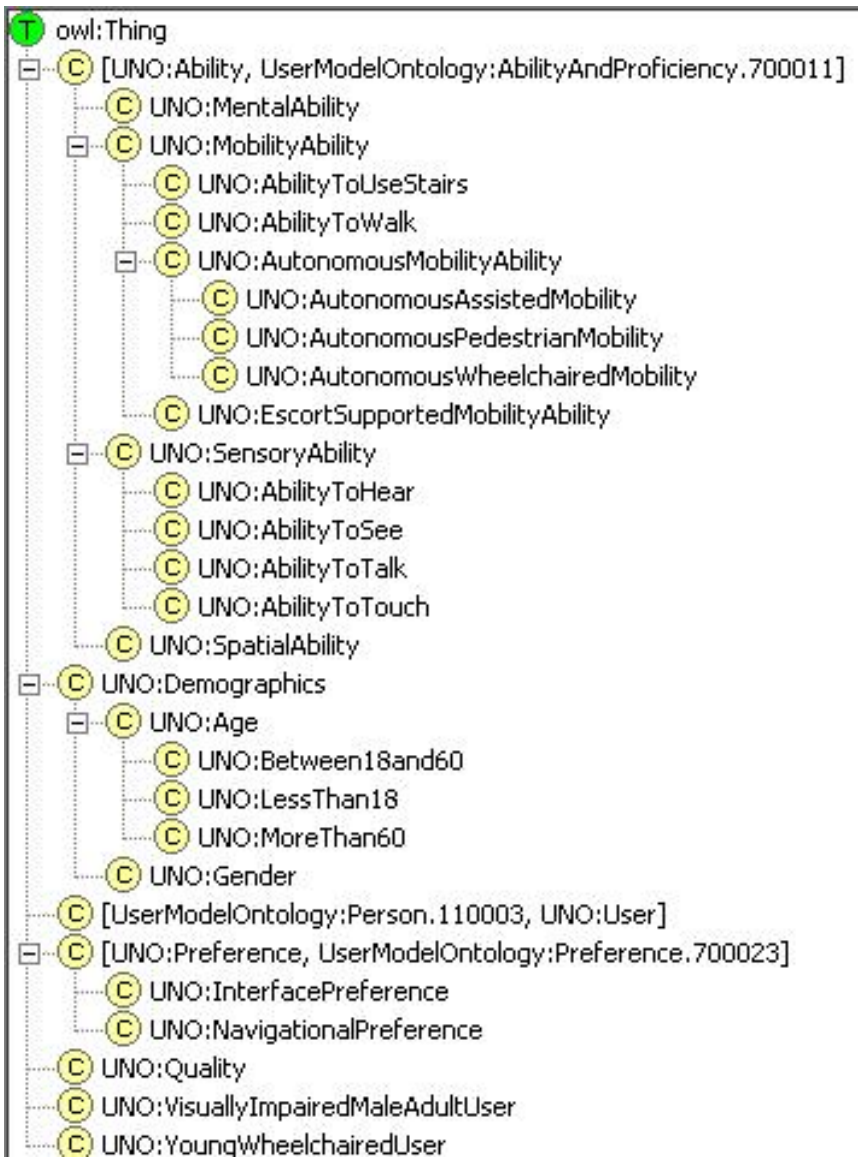
∃hasAbility AutonomousWheelchairedMobility ∧

∃hasAge LessThan18

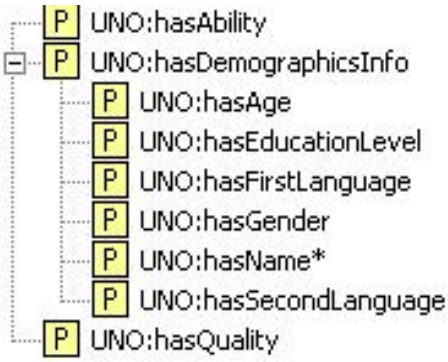
VisuallyImpairedMaleAdultUser ≡

∃hasAbility (AbilityToSee ∧ hasValue(hasQuality, bad)) ∧ ∃hasAge Between18and60 ∧ hasValue(hasGender, male)

Μετά τον συμπερασμό σε μια οντολογία με τέτοιες κλάσεις, αυτές θα ταξινομηθούν κατάλληλα κάτω από την γενική κλάση User και τα διάφορα στιγμιότυπα των χρηστών θα ταξινομηθούν επίσης ανάλογα.



Σχήμα 4.7. Η βασική ταξινομία της UNO



Σχήμα 4.8. Η βασική ιεραρχία των ιδιοτήτων της UNO

4.4. *Βασικές Αρχές και Τεχνολογίες για την Κατασκευή SWEA με Τεχνολογίες Κανόνων*

Για να επιτευχθεί εξατομίκευση, οι κανόνες διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην αυτόματη προσαρμογή της συμπεριφοράς του συστήματος. Σε γενικές γραμμές, η μοντελοποίηση των στοιχείων μιας SWEA μέσω οντολογιών προσδίδει διαλειτουργικότητα, επαναχρησιμοποίηση και επεκτασιμότητα στο σύστημα, ενώ οι κανόνες που αποτελούν μια φυσική και δηλωτική μορφή για την αναπαράσταση της επιχειρηματικής λογικής της εφαρμογής και την επιθυμητή προσαρμογή της. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των κανόνων με τις οντολογίες επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός πλαισίου που αναπαριστά τη λογική προσαρμογής κατά τρόπο που τόσο οι χρήστες όσο και οι υπολογιστικές διατάξεις μπορούν να κατανοήσουν. Επιπλέον, η ενσωμάτωση αυτή διευκολύνει τη διαχείριση γνώσης, τη συντήρηση της, κλπ. Οι κανόνες μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της προσαρμογής που υλοποιούν. Μια γενική κατηγοριοποίηση των τύπων προσαρμογής, βασισμένη στους διαφορετικούς τύπους των συνθηκών στο σώμα των κανόνων, προτείνεται στο [108].

4.4.1 Δομή Κανόνων

Γενικά, ένας κανόνας μπορεί να θεωρηθεί ως μια παράσταση της μορφής

IF *συνθήκες* **THEN** *ενέργειες*

Το αριστερό μέρος του κανόνα λέγεται *σώμα* του κανόνα και το δεξί μέρος λέγεται κεφαλή. Στη περίπτωση ενός εξατομικευμένου συστήματος μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το σώμα του κανόνα περιλαμβάνει μια πιθανή κατάσταση του συστήματος, του χρήστη, του περιβάλλοντος κλπ., ενώ η κεφαλή περιγράφει μια πιθανή ενέργεια προσαρμογής. Έτσι, οι συνθήκες στο σώμα του κανόνα συντίθεται από γνώση που υπάρχει στα διάφορα μοντέλα του συστήματος.

4.4.2 Semantic Web Rule Language

Η Semantic Web Rule Language (SWRL) [109] είναι η πιο γνωστή τεχνολογία για την ολοκλήρωση κανόνων και οντολογιών στο ΣΙ. Βασίζεται στο συνδυασμό της Web Ontology Language (OWL) [110] και της Rule Markup Language [111]. Η βασική ιδέα πίσω από την SWRL είναι να επεκτείνει τα αξιώματα της OWL ώστε να συμπεριλαμβάνει κανόνες που μοιάζουν με κανόνες Horn, και παράλληλα να έχει τη μέγιστη συμβατότητα με τη σύνταξη και τη σημασιολογία της OWL, δηλαδή στο σώμα και τη κεφαλή του κανόνα υπάρχουν όροι OWL. Ένας κανόνας SWRL είναι του τύπου:

$$a_1 \wedge a_2 \wedge \ldots \wedge a_n \rightarrow b_1 \wedge b_2 \wedge \ldots \wedge b_m \tag{4.1}$$

όπου a_i και b_i είναι άτομα (atoms). Πολλαπλά άτομα στο σώμα του κανόνα συνδέονται μέσω συζεύξεων, ενώ στη κεφαλή αντιμετωπίζονται σαν διαφορετικά συμπεράσματα (δηλαδή, πολλοί κανόνες με το ίδιο σώμα και από ένα άτομο στην κεφαλή).

Τα άτομα μπορούν να έχουν τις ακόλουθες μορφές:

- Κλάσεις, π.χ., C(x), όπου C είναι μια περιγραφή OWL και το x είναι μια μεταβλητή, ένα στιγμιότυπο OWL ή μια τιμή.
- Συσχετίσεις ή Γνωρίσματα, π.χ. P(x,y), όπου P είναι ένας ρόλος (property) της OWL και τα x, y είναι μεταβλητές, στιγμιότυπα OWL ή τιμές.
- sameAs(x,y), differentFrom(x,y) ή builtIn(r,x,…), όπου το r είναι μια εσωτερική συσχέτιση (built-in) της SWRL και τα x, y είναι μεταβλητές, στιγμιότυπα OWL ή τιμές.

Οι υπάρχουσες εσωτερικές συσχετίσεις της SWRL παρέχουν, μεταξύ άλλων, τελεστές αριθμητικών και χρονικών συγκρίσεων.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την επέκταση της OWL-DL με κανόνες SWRL είναι ότι η βάση γνώσης γίνεται μη αποφασίσιμη. Επιπλέον, η SWRL δεν υποστηρίζει άρνηση σε άτομα ούτε στο σώμα ούτε στη κεφαλή των κανόνων. Επίσης όπως φαίνεται στην παράσταση (4.1), οι κανόνες SWRL δεν μπορούν να περιλαμβάνουν διαζεύξεις. Σαν αποτέλεσμα, η SWRL θέτει ένα σύνολο περιορισμών στην εκφραστικότητα των κανόνων, που ίσως περιορίζει και την ικανότητα μιας εφαρμογής να προσαρμόζεται στο πλαίσιο (context) του χρήστη.

Στην περίπτωση μιας υπηρεσίας πλοήγησης σε εσωτερικούς χώρους κάποιοι ενδεικτικοί κανόνες θα μπορούσαν να είναι:

$$\text{WheelchairedUser}(u) \wedge \text{Stairway}(s) \rightarrow \text{isExcludedFor}(s,u),$$
$$\text{ElderlyUser}(u) \wedge \text{Elevator}(m) \rightarrow \text{hasPreferentialBonusFor}(m,u).$$

Ο πρώτος εκφράζει την κοινή γνώση ότι ένα μονοπάτι που προορίζεται για χρήστη σε αναπηρικό αμαξίδιο δεν πρέπει να περιλαμβάνει σκάλες. Ο δεύτερος κανόνας παρέχει μια επιβράβευση στον ανελκυστήρα, για μονοπάτια που προορίζονται για ηλικιωμένους. Ο αποκλεισμός των σκαλών ή η επιβράβευση συγκεκριμένων στοιχείων των μονοπατιών μπορεί να ληφθεί υπόψη από την εφαρμογή όπως θα δούμε σε επόμενη ενότητα για την εξατομίκευση της πλοήγησης.

4.4.3 Άλλες Προσεγγίσεις

Εκτός από την SWRL, υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις για την ολοκλήρωση κανόνων με οντολογίες του ΣΙ. Σε αυτή την υποενότητα αναφερόμαστε σε κάποιες από αυτές ενώ ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [112] για μια εκτενή επισκόπηση. Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό ολοκλήρωσης (integration) ανάμεσα στο επίπεδο των κανόνων και της οντολογίας:

1) Στενή ολοκλήρωση μεταξύ κανόνων και οντολογίας. Σε αυτή τη προσέγγιση η υπάρχουσα σημασιολογία των γλωσσών κανόνων προσαρμόζεται με το οντολογικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, και η οντολογική γλώσσα και η γλώσσα κανόνων ενσωματώνονται σε μια κοινή γλώσσα βασισμένη στη μαθηματική λογική, που επιτρέπει τη συνεπή συνύπαρξη των κατηγορημάτων της κάθε γλώσσας. Σε μια τέτοια προσέγγιση οι κανόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ορισμό εννοιών της οντολογίας. Η SWRL και τα Description Logic Programs (DLP) ανήκουν σε αυτή τη προσέγγιση.

Τα DLP είναι μια τομή των λογικών προγραμμάτων και των Περιγραφικών Λογικών που προτείνεται στο [113]. Στο DLP γίνεται μια προσπάθεια για αντιστοίχηση των Περιγραφικών Λογικών σε λογικά προγράμματα (συγκεκριμένα στο *def*-Horn μέρος της Λογικής Πρώτης Τάξης που δεν περιέχει συναρτησιακά σύμβολα.), εξασφαλίζοντας κάποιο βαθμό διαλειτουργικότητας μεταξύ τους. Για παράδειγμα το ακόλουθο DL αξίωμα (subclass axiom):

$$C1 \sqcup C2 \sqsubseteq D$$

ισοδυναμεί με:

$$D(x) \leftarrow C1(x) \vee C2(x)$$

και κατ' επέκταση:

$$D(x) \leftarrow C1(x)$$
$$D(x) \leftarrow C2(x)$$

Παρόλο που τα DLP καλύπτουν τους βασικούς κατασκευαστές κλάσεων (class constructors) όπως η σύζευξη, η διάζευξη και οι περιορισμοί ποσοτικοποίησης, επιτρέπει σχετικά μικρή εκφραστικότητα προκειμένου να είναι αποφασίσιμα.

2) Αυστηρός διαχωρισμός της σημασιολογίας ανάμεσα στις οντολογίες και τους κανόνες. Σε αυτή τη προσέγγιση γίνεται ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των κατηγορημάτων των κανόνων και των οντολογικών στοιχείων. Δηλαδή, το λεξιλόγιο που

παρέχεται από τις οντολογίες χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του πεδίου εφαρμογής και οι κανόνες δεν μπορούν να ορίσουν οντολογικές έννοιες ή ρόλους. Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις είναι το Answer Set Programming (ASP) [114]. Το ASP αποτελεί ένα τρόπο αναπαράστασης γνώσης που περιλαμβάνει χαρακτηριστικά μη μονότονης λογικής και αποδοτικό συμπερασμό. Επιπλέον, το ASP υποστηρίζει διάζευξη στη κεφαλή των κανόνων καθώς και άρνηση στα άτομα των κανόνων, ενώ γενικά είναι αποφασίσιμο. Η βασική ιδέα είναι η σημασιολογία και ο υπολογισμός πολλαπλών συνόλων απαντήσεων (*answer sets*) για κάθε πρόγραμμα. Τα σύνολα αυτά αποτελούν διαφορετικές λύσεις ενός προγράμματος, δίνοντας έτσι μια μη-αιτιοκρατική χροιά στο ASP. Πρόσφατα, διάφορα εργαλεία, όπως αυτό που παρουσιάστηκε στο [115] υποστηρίζουν συμπερασμό για ASP.

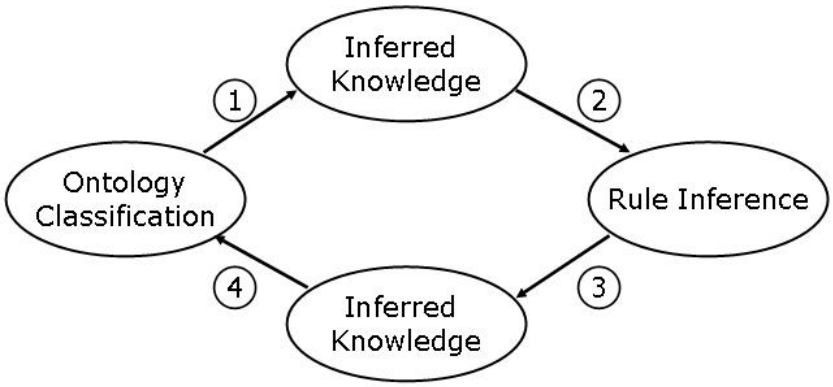
Μια άλλη πρόταση για συνδυασμό λογικών προγραμμάτων και βάσεων γνώσης Περιγραφικών Λογικών, με βάση τη σημασιολογία συνόλου απαντήσεων, είναι τα προγράμματα περιγραφικών λογικών (dl-programs) [116]. Ένα dl-program (L,P) αποτελείται από μια βάση γνώσης L εκφρασμένη σε DL και ένα σύνολο από dl-κανόνες P, που εφαρμόζονται στην L. Αυτοί οι κανόνες μοιάζουν με τους κανόνες των λογικών προγραμμάτων αλλά περιέχουν και επερωτήσεις προς την L, επιτρέποντας έτσι την ανάκτηση ή αποστολή γνώσης από/προς την βάση γνώσης.

4.4.4 Μηχανές κανόνων

Διάφορες μηχανές κανόνων έχουν προταθεί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση SWEA. Κάποιες από αυτές είναι ο Bossam [104], ο RacerPro [117], το πλαίσιο Jena [118] και η μηχανή Jess [119].

Τέλος, εφόσον σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζουμε και θέματα υλοποιήσεων SWEA, παραθέτουμε και μερικά κοινά προβλήματα των υπαρχουσών μηχανών:

Η διαδικασία συλλογιστικής των μηχανών δεν είναι ολοκληρωμένη με τη διαδικασία ταξινόμησης μιας οντολογίας. Σαν αποτέλεσμα, νέες προσθήκες γνώσης που δημιουργούνται από τη μηχανή κανόνων μπορεί να πηγαίνουν ενάντια σε περιορισμούς της οντολογίας. Όμοια, γνώση που έχει προκύψει από επαναταξινόμηση της οντολογίας, μπορεί να επιτρέπει την εκτέλεση κανόνων. Σήμερα, αυτές οι αλληλεπιδράσεις διαχειρίζονται από τον ίδιο τον προγραμματιστή. Μια ιδανική λύση θα ήταν η ύπαρξη ενός μοναδικού συστατικού συμπερασμού που να μπορεί και να εκτελεί όλες τις διαδικασίες συμπερασμού. Το Σχήμα 4.9 παρουσιάζει τις κύριες ενέργειες που θα έπρεπε να κάνει ένα τέτοιο συστατικό.



Σχήμα 4.9: Ο κύκλος ζωής της γνώσης σε ένα σύστημα που συνδυάζει οντολογίες και κανόνες

Συμπερασμός με βασικούς τύπους δεδομένων (concrete domains). Η υποστήριξη δεδομένων όπως ακέραιοι και αλφαριθμητικά είναι απαραίτητη σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές. Η γλώσσα OWL-DL υποστηρίζει τέτοιους βασικούς τύπους δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε datatype properties. Επίσης, η SWRL επιτρέπει τη χρήση των datatype properties σαν άτομα σε κανόνες και έχει και κάποιες εσωτερικές συσχετίσεις (built-ins) για τέτοιους τύπους δεδομένων. Όμως παρόλα αυτά, πολλές μηχανές κανόνων και μηχανές συμπερασμού δεν υποστηρίζουν τέτοιους τύπους δεδομένων σε μεγάλο βαθμό.

Μη μονότονη συλλογιστική. Οι περισσότερες από τις μηχανές συμπερασμού για ΣΙ δεν υποστηρίζουν σε μεγάλο βαθμό χαρακτηριστικά μη μονότονης συλλογιστικής, όπως «άρνηση σαν αποτυχία» (negation-as-failure, NAF), εξαιτίας της υπόθεσης ανοικτού κόσμου των περιγραφικών λογικών. Όμως, στην πράξη, όπως έχει υποδειχθεί τέτοιου είδους συλλογιστική είναι χρήσιμη για εφαρμογές Παγκόσμιου Ιστού [120].

4.5. *Πρότυπες Εφαρμογές*

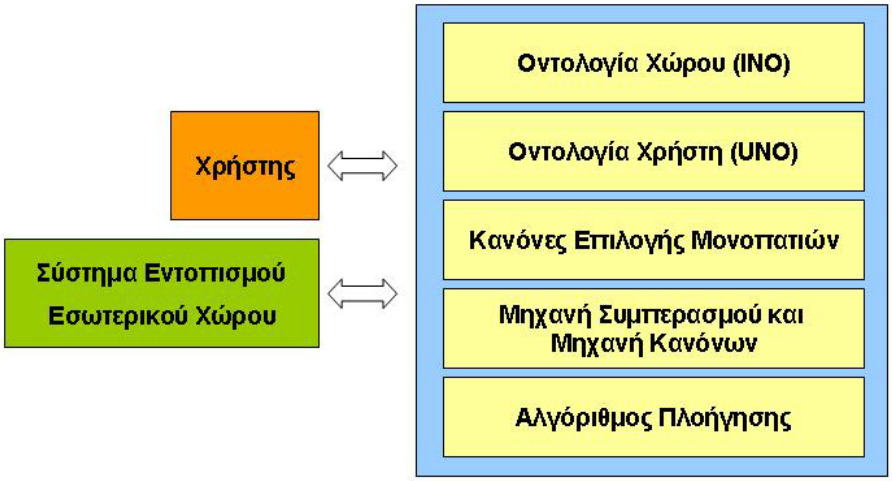
4.5.1 Σημασιολογικές Υπηρεσίες Θέσης

Μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε με τη βοήθεια τεχνολογιών Σημασιολογικού Ιστού και με απώτερο σκοπό την εξατομίκευση παραδοσιακών υπηρεσιών είναι οι Σημασιολογικές Υπηρεσίες Θέσης (Semantic Location-Based Services) ή ΣΥΘ για συντομία.. Η έννοια αυτή εμφανίστηκε για πρώτη φορά στις σχετικές δημοσιεύσεις της παρούσας διατριβής. Στις επόμενες ενότητες περιγράφουμε ένα σύστημα για παροχή ΣΥΘ σε εσωτερικούς χώρους. Το σύστημα εστιάζει στην πλοήγηση επειδή είναι η πιο πολύπλοκη υπηρεσία θέσης, όμως μπορεί να υποστηρίξει εξίσου καλά και όλες τις άλλες δημοφιλείς υπηρεσίες θέσης (π.χ., κοντινότερα σημεία ενδιαφέροντος,

πληροφορίες για τη θέση του χρήστη). Οι διαδρομές και οι οδηγίες πλοήγησης που δίνονται στο χρήστη εξαρτώνται από τις φυσικές ικανότητές του (κίνηση, όραση, ακοή), την ικανότητά του να πλοηγείται μέσα σε άγνωστους χώρους, αλλά και από τις προτιμήσεις του. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι σαφώς επηρεασμένος από τα οράματα για Ambient Intelligence και Σχεδίαση για Όλους [122] και έτσι λαμβάνει υπόψη του διάφορες κατηγορίες χρηστών.

4.5.1.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος βασίζεται σε ένα καινοτόμο συνδυασμό οντολογικής αναπαράστασης γνώσης, τεχνολογιών συμπερασμού νέας γνώσης και αλγορίθμων εύρεσης μονοπατιών. Η αρχιτεκτονική φαίνεται στο Σχήμα 4.10 και αποτελείται από τα εξής συστατικά:



Σχήμα 4.10. Γενική αρχιτεκτονική συστήματος

Οντολογία Χώρου (Indoor Navigation Ontology – INO). Αυτή η χωρική οντολογία περιγράφει τις βασικές χωρικές και δομικές έννοιες ενός εσωτερικού περιβάλλοντος καθώς και τις συσχετίσεις μεταξύ τους. Αποτελεί έτσι ένα σημασιολογικό χωρικό μοντέλο για συμπερασμό σχετικά με τα μονοπάτια. Τα στιγμιότυπα της INO δημιουργούνται με ημιαυτόματο τρόπο από σημασιολογικά σχολιασμένες κατόψεις που παρέχονται από ένα σύστημα GIS (Geographic Information System). Οι λεπτομέρειες αυτής της διαδικασίας αναλύονται στο [123].

Οντολογία Χρήστη (User Navigation Ontology - UNO). Η οντολογία UNO έχει ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη ενότητα.

Κανόνες Επιλογής Μονοπατιών. Η διαδικασία επιλογής μονοπατιών βασίζεται σε ένα σύνολο κανόνων. Ο ορισμός αυτών των κανόνων περιλαμβάνει έννοιες από τις οντολογίες του συστήματος. Οι κανόνες εφαρμόζονται στα στιγμιότυπα της INO ώστε να

βρεθούν τα μονοπάτια που είναι προσβάσιμα και κατάλληλα για κάθε αίτηση από χρήστη.

Αλγόριθμος Πλοήγησης. Αυτός ο αλγόριθμος είναι ένα κεντρικό συστατικό της εφαρμογής και, σε συνδυασμό με τους κανόνες επιλογής μονοπατιών, είναι υπεύθυνος για την εύρεση του βέλτιστου μονοπατιού ανάμεσα σε μια αφετηρία και ένα προορισμό. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης *k συντομότερων μονοπατιών* [124]. Η βασική ιδέα είναι ότι το συντομότερο μονοπάτι μπορεί να μην είναι το βέλτιστο και άρα υπολογίζουμε k συντομότερα μονοπάτια ώστε να μπορούμε να βρούμε το καταλληλότερο από αυτά (δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η απόσταση είναι πάντα σημαντικός παράγοντας στις υπηρεσίες θέσης).

Σύστημα Εντοπισμού Εσωτερικού Χώρου. Το σύστημα αυτό βρίσκει τη συμβολική θέση του χρήστη με βάση διάφορες τεχνικές εντοπισμού (dead reckoning, τριγωνοποίηση σε ασύρματα δίκτυα, RFID tags κλπ.). Περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να βρεθούν στο [125].

Μηχανή Συμπερασμού και Μηχανή Κανόνων. Οι μηχανές αυτές είναι υπεύθυνες για την εκτέλεση των κανόνων επιλογής μονοπατιών και την ταξινόμηση του χρήστη με βάση την UNO.

4.5.1.1.1 Μοντέλα Συστήματος

Στο σύστημα χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα, εκφρασμένα ως οντολογίες. Τα πιο κεντρικά είναι η UNO, που έχουμε περιγράψει σε προηγούμενη ενότητα, και η INO. Επίσης υπάρχουν κάποια μοντέλα που αναπαριστούν τις ικανότητες της συσκευής και το περιεχόμενο που είναι συσχετισμένο με κάθε χωρικό σημείο.

Η χωρική οντολογία (INO) που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του συστήματος αποτελεί ένα σημασιολογικό μοντέλο περιγραφής και ορισμού των βασικών δομικών εννοιών ενός περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου, όπως επίσης και των μεταξύ τους συσχετίσεων. Η INO σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τόσο τις διαδικασίες συμπερασμού (reasoning) που έχουν σχέση με την αναζήτηση κατάλληλων μονοπατιών όσο και με την παρουσίαση των αντίστοιχων οδηγιών (guidance) στους χρήστες. Η βασική εννοιολογική ιεραρχία (taxonomy) της οντολογίας απεικονίζεται στο Σχήμα 4.11. Η INO έχει τρεις βασικές έννοιες, *Path_Element*, *Description*, και *Point_of_Interest*, που αναπαριστούν φυσικούς χώρους και στοιχεία μονοπατιών, τις περιγραφές τους, και πιθανές θέσεις/προορισμούς του χρήστη, αντίστοιχα. Αυτές οι έννοιες συσχετίζονται

μέσω διαφόρων οντολογικών συσχετίσεων έτσι ώστε να μπορέσουν να μοντελοποιήσουν πλήρως ένα χώρο για χρηστο-κεντρική πλοήγηση.

Σχήμα 4.11. Η ταξινομία της Indoor Navigation Ontology

Μια οντολογία συσκευών αναπτύχθηκε για τη μοντελοποίηση των συσκευών με βάση εκείνα τα χαρακτηριστικά τους που επηρεάζουν την πλοήγηση του χρήστη και τους τρόπους αλληλεπίδρασης που υποστηρίζουν. Επίσης κάθε στοιχείο του χώρου είναι συσχετισμένο με περιεχόμενο. Το περιεχόμενο αυτό μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές όπως κείμενο, εικόνα, ηχητικό, και βίντεο. Κάθε ένα από τα παραπάνω είδη

περιεχομένου έχει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το περιγράφουν (μέγεθος, διάρκεια, χρώματα κλπ.). Αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται σε μια οντολογία περιεχομένου.

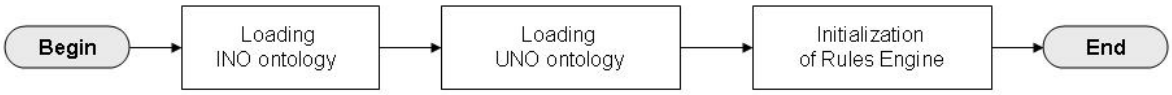
4.5.1.2 Διαδικασία εξατομίκευσης

4.5.1.2.1 Ροές Εργασιών της Εφαρμογής

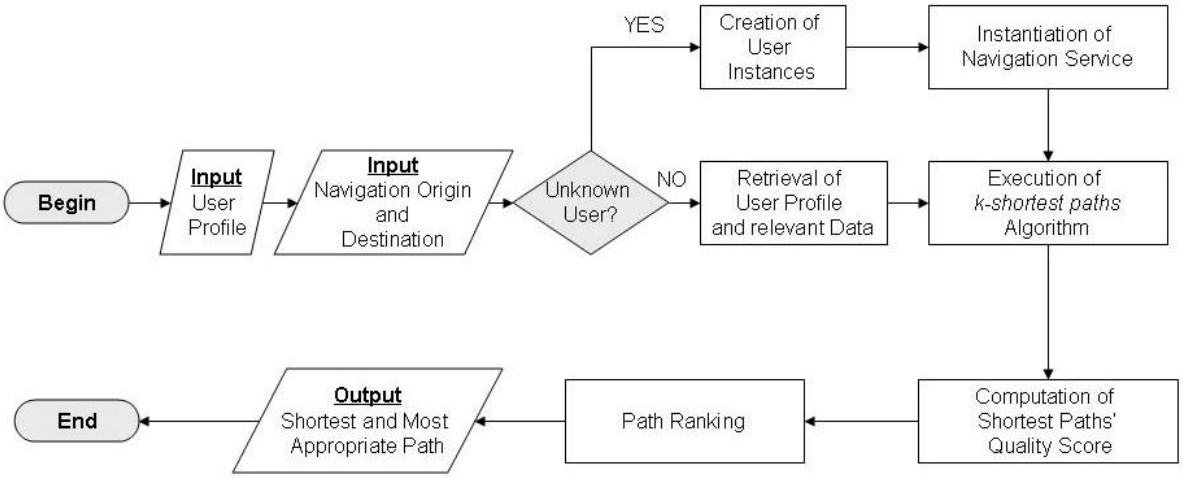
Στα Σχήματα 4.12 έως και 4.14 παρουσιάζεται η συνολική λειτουργικότητα του συστήματος. Το Σχήμα 4.12 δείχνει τη διαδικασία αρχικοποίησης του συστήματος, όπου δημιουργούνται τα στιγμιότυπα της χωρικής οντολογίας. Στο Σχήμα 4.13 φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται όταν η εφαρμογή δεχτεί μια νέα αίτηση από τον χρήστη. Αρχικά, ο χρήστης εγγράφει το προφίλ του στο σύστημα καθώς και τον επιθυμητό προορισμό. Η θέση του βρίσκεται από το σύστημα εντοπισμού. Αν πρόκειται για νέο χρήστη δημιουργούνται τα κατάλληλα στιγμιότυπα στην UNO καθώς και ένα νέο στιγμιότυπο της υπηρεσίας. Αυτό είναι συσχετισμένο με ένα τοπολογικό χάρτη-γράφο που δημιουργείται από τα στιγμιότυπα της INO που είναι προσβάσιμα από το χρήστη. Αυτά τα στιγμιότυπα αναγνωρίζονται από κάποιους κανόνες επιλογής μονοπατιών. Ο γράφος αυτός είναι η βασική είσοδος στην επόμενη φάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13, όπου υπολογίζονται τα k συντομότερα μονοπάτια. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ένας συνολικός βαθμός ποιότητας για κάθε μονοπάτι, με βάση τους κανόνες επιλογής μονοπατιών του χρήστη. Το μονοπάτι με τον υψηλότερο βαθμό παρουσιάζεται στο χρήστη.

Στο Σχήμα 4.14, βλέπουμε ότι τα στιγμιότυπα της UNO είναι οι βασικές είσοδοι σε αυτό το βήμα, τα οποία στη συνέχεια εισάγονται στη μηχανή συμπερασμού ώστε να ταξινομηθεί ο χρήστης με βάση τις κλάσεις που έχουν οριστεί στην UNO.

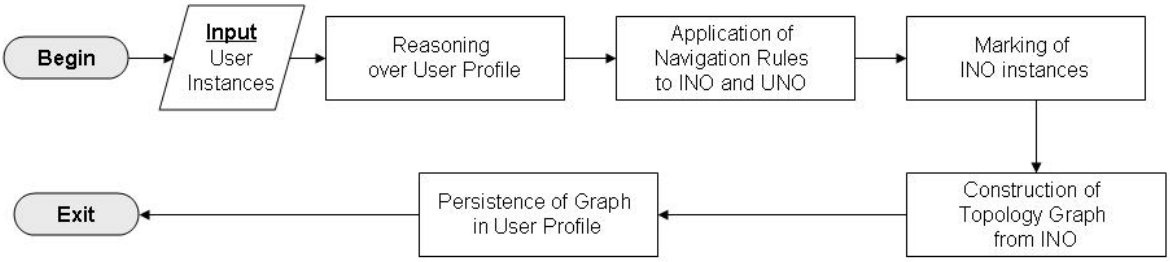
Στη συνέχεια, όλοι οι τύποι των κανόνων εφαρμόζονται στη βάση γνώσης. Πιο συγκεκριμένα, οι κανόνες φυσικής πλοήγησης «μαρκάρουν» τα στιγμιότυπα της INO για αποκλεισμό από τη διαδικασία πλοήγησης, ενώ οι κανόνες που σχετίζονται με την αντιληπτική ικανότητα και τις προτιμήσεις του χρήστη «επιβραβεύουν» ή «τιμωρούν» συγκεκριμένα χωρικά στοιχεία. Τα «μη μαρκαρισμένα» στοιχεία χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί ο προσβάσιμος γράφος του συγκεκριμένου χώρου για το συγκεκριμένο χρήστη.



Σχήμα 4.12. Αρχικοποίηση συστήματος



Σχήμα 4.13. Ροή εργασίας μετά από αίτηση για πλοήγηση



Σχήμα 4.14. Ροή εργασίας για τη δημιουργία ενός νέου στιγμιότυπου της υπηρεσίας πλοήγησης

5.5.1.2.2 Κανόνες και Συμπερασμός

Οι κανόνες επιλογής μονοπατιών διακρίνονται σε κανόνες προσβασιμότητας (accessibility navigation rules), αντιληπτικούς κανόνες (perceptual navigation rules) και κανόνες προτιμήσεων (navigation preferences). Οι κανόνες αυτοί έχουν και κάποιες προτεραιότητες. Οι κανόνες προσβασιμότητας εφαρμόζονται πρώτοι, έτσι ώστε να απορρίψουν μονοπάτια που δεν είναι προσβάσιμα από το χρήστη. Οι αντιληπτικοί κανόνες που σχετίζονται με τη νοητική κατάσταση του χρήστη (π.χ. ηλικία) και με τις αισθητήριες ικανότητές του, εφαρμόζονται στη συνέχεια. Τελικά τα μονοπάτια που είναι συμβατά με τις προτιμήσεις του χρήστη (π.χ., μονοπάτια με ανελκυστήρες αντί για σκάλες) βρίσκονται μετά την εφαρμογή των σχετικών κανόνων. Οι κανόνες περιγράφονται με τη Semantic Web Rule Language-SWRL [109]. Κάποιοι ενδεικτικοί κανόνες είναι οι ακόλουθοι (οι κλάσεις της UNO είναι υποθετικές και οι ορισμοί τους είναι ανάλογοι με αυτούς που παρουσιάστηκαν ήδη στην αντίστοιχη ενότητα):

Κανόνας 1 (Κανόνας Προσβασιμότητας)
UNO:HandicappedUser(u) ∧ INO:Stairway(s) → INO:isExcludedFor(s,u)

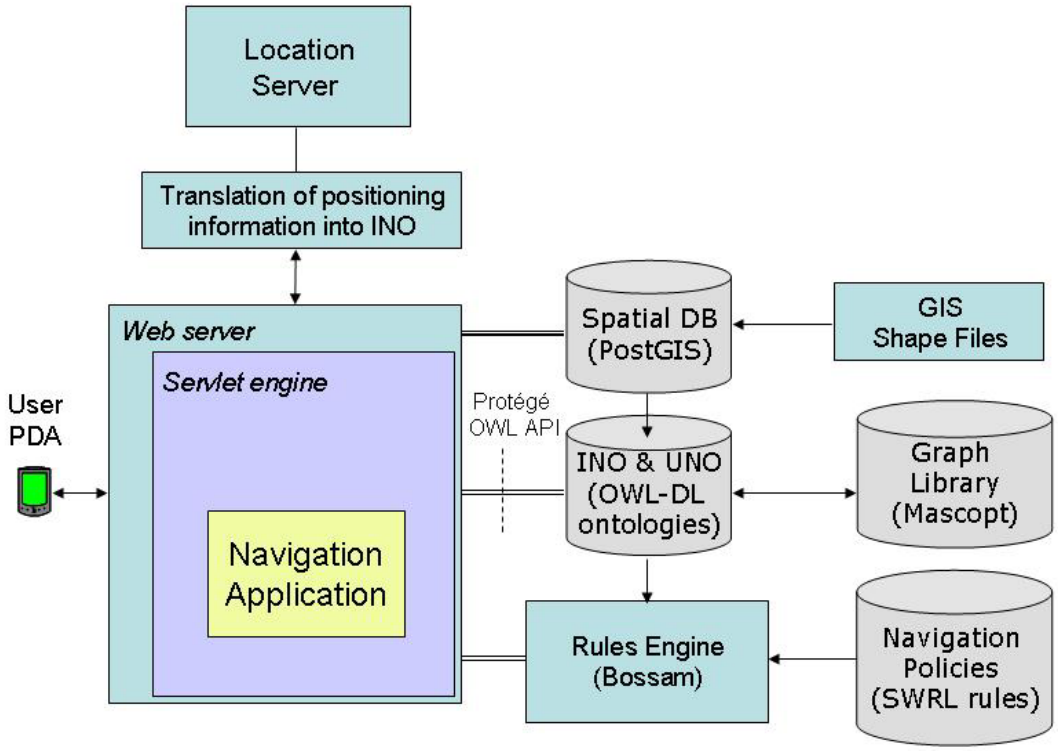
Κανόνας 2 (Αντιληπτικός Κανόνας)
UNO:BlindUser(u) ∧ INO:hasDescription(pass,descr) ∧
INO:Textual_Description(descr) → INO:hasPerceptualPenaltyFor(pass,u)

Κανόνας 3 (Κανόνας Προτίμησης)
UNO:LazyUser ∧ INO:Motor_Passage(p) → INO:hasPreferentialBonusFor(p, u)

Κάποιοι από τους κανόνες «μαρκάρουν» τα στοιχεία των μονοπατιών που θα πρέπει να αποκλειστούν από τον γράφο που αναπαριστά το προσβασιμο χώρο για το κάθε χρήστη (μέσω της συσχέτισης isExcludedFor). Άλλοι «επιβραβεύουν» ή «τιμωρούν» κάποια στοιχεία μονοπατιών (μέσω των συσχετίσεων hasPreferentialBonusFor, hasPreferentialPenaltyFor, hasPerceptualBonusFor hasPerceptualPenaltyFor, κλπ.). Η τελική βαθμολογία των προσβάσιμων μονοπατιών στηρίζεται στα στιγμιότυπα αυτών των συσχετίσεων και φυσικά στο μήκος τους, που παραμένει πάντα ένα βασικό κριτήριο.

4.5.1.3 Τεχνολογίες Υλοποίησης Συστήματος

Το σύστημα υλοποιήθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Java. Οι κατόψεις του κτιρίου εξάγονται από ESRI shapefiles [126] και αποθηκεύονται σε μια χωρική βάση δεδομένων PostGIS [127]. Τα shapefiles δημιουργούνται με ένα κοινό σύστημα GIS. Από τα δεδομένα αυτά δημιουργούνται και τα στιγμιότυπα της οντολογίας INO, καθώς και ο γράφος μονοπατιών, με χρήση της βιβλιοθήκης Mascopt [128]. Αυτή η βιβλιοθήκη παρέχει επίσης μια υλοποίηση του αλγορίθμου *k Shortest Paths*. Όπως έχει προαναφερθεί, οι οντολογίες είναι γραμμένες με τη γλώσσα Web Ontology Language (OWL DL) και τις διαχειριζόμαστε με το Protégé-OWL API [129]. Η ταξινόμηση των οντολογιών γίνεται με τον DL reasoner που παρέχεται στο Jena Framework [130]. Οι κανόνες εκτελούνται από τη μηχανή Bossam [104]. Το υποσύστημα εντοπισμού εσωτερικού χώρου υλοποιήθηκε με τρεις διαφορετικές και συμπληρωματικές τεχνολογίες: UHF RFIDs, Dead Reckoning και WLAN Received Signal Strength Indicator (RSSI). Η φυσική αρχιτεκτονική του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15 και περισσότερες λεπτομέρειες για τα διάφορα υποσυστήματά του μπορούν να βρεθούν στο [125].



Σχήμα 4.15. Τεχνολογίες Υλοποίησης

4.5.1.4 Αποτίμηση Επιδόσεων

Στο σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω υλοποιήθηκαν οι ακόλουθες σημασιολογικές υπηρεσίες θέσης:

- *Πληροφορίες Τρέχουσας Θέσης*: Η υπηρεσία αυτή παρέχει στο χρήστη την πληροφορία για τη θέση στην οποία βρίσκεται.
- *Περιπλάνηση*: Καθώς ο χρήστης κινείται, το σύστημα αναλαμβάνει να τον περιηγήσει στο χώρο παρέχοντας πληροφορίες για τα κοντινά σε αυτόν σημεία ενδιαφέροντος.
- *Στατική Πλοήγηση*: Η υπηρεσία στατικής πλοήγησης αποτελεί μία υπηρεσία ρητής αίτησης (pull-based service) που υπολογίζει μια διαδρομή από μια αφετηρία σε ένα προορισμό.
- *Δυναμική Πλοήγηση*: Η δυναμική πλοήγηση ουσιαστικά συνιστά μία επέκταση της στατικής πλοήγησης. Αρχικά υπολογίζει μια διαδρομή και στην περίπτωση που ο χρήστης παρεκκλίνει από αυτή, η υπηρεσία αναλαμβάνει να του δώσει πληροφορίες που θα τον βοηθήσουν να επανέλθει στο αρχικό μονοπάτι.
- *Κοντινότερα Σημεία Ενδιαφέροντος*: Η υπηρεσία αφορά στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να λάβει τη θέση κοντινών σημείων ενδιαφέροντος και, πιθανώς, πληροφορίες για αυτά.

Για την αξιολόγηση του συστήματος, μετρήθηκε ο μέσος χρόνος απόκρισης για κάθε υπηρεσία θέσης που αναπτύχθηκε. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι χρόνοι αυτοί οι οποίοι δεν περιλαμβάνουν τους χρόνους εκτέλεσης των διεργασιών αλληλεπίδρασης χρήστη (user interaction). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο κτήριο του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πίνακας 4.2. Μέσοι χρόνοι απόκρισης των υπηρεσιών (σε δευτερόλεπτα)

Υπηρεσία	Μέσος Χρόνος Απόκρισης
Στατική Πλοήγηση	0.143
Δυναμική Πλοήγηση	0.143 [1] / 0.261 [2]
Πληροφορίες Τρέχουσας Θέσης	0.049
Περιπλάνηση	0.265
Κοντινότερα Σημεία Ενδιαφέροντος	0.265 [3] / 0.581 [4]

[1] Αναφέρεται στο μέσο χρόνο εύρεσης του αρχικού μονοπατιού που παρέχει η υπηρεσία

[2] Αναφέρεται στο μέσο χρόνο εύρεσης του νέου μονοπατιού λόγω παρέκκλισης του χρήστη

[3] Ο χρήστης έχει δηλώσει 5 Σημεία Ενδιαφέροντος

[4] Ο χρήστης έχει δηλώσει 10 Σημεία Ενδιαφέροντος

Στην περίπτωση της στατικής και της δυναμικής πλοήγησης, το σύστημα επιστρέφει ένα μεσαίου μήκους μονοπάτι που αποτελείται από 16 κόμβους του γράφου και έχει συνολικό μήκος 14 μέτρα. Παράλληλα, στην υπηρεσία εύρεσης των κοντινότερων σημείων ενδιαφέροντος (ΣΕ), οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για χρήστες που είχαν δηλώσει 5 ΣΕ και για χρήστες που είχαν δηλώσει 10 ΣΕ. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει πως η συγκεκριμένη υπηρεσία, αν και καλεί πολλές φορές τον αλγόριθμο πλοήγησης, δεν απαιτεί αντίστοιχο πολλαπλάσιο χρόνο σε σχέση με τη στατική πλοήγηση.

Οι παραπάνω χρόνοι απόκρισης γίνονται άμεσα αντιληπτοί από το χρήστη, καθώς συμβάλλουν στην καθυστέρηση που αυτός αντιλαμβάνεται κατά την εκτέλεση της εκάστοτε υπηρεσίας. Όμως, υπάρχουν διαδικασίες που ο χρήστης δεν αντιλαμβάνεται την εκτέλεσή τους. Τέτοιες διεργασίες είναι η διαδικασία ταξινόμησης (classification) που απαιτείται για το προφίλ κάθε χρήστη και για την οντολογία χώρου, όπως επίσης και η δημιουργία του γράφου πάνω στον οποίο θα εκτελεστεί ο αλγόριθμος πλοήγησης.

Σε ότι αφορά τη διαδικασία συμπερασμού των μοντέλων, αυτή πραγματοποιείται με σκοπό την εξαγωγή νέας γνώσης που θα διευκολύνει τις ακόλουθες διεργασίες:

- Κατηγοριοποίηση χρήστη με βάση τις φυσικές ικανότητές του.
- Δημιουργία γράφου για την αναπαράσταση του προσβάσιμου χώρου.

Η διαδικασία συμπερασμού για το χωρικό μοντέλο εκτελείται μόνο μία φορά, καθώς θεωρούμε πως ο χώρος και τα σημεία που τον αποτελούν παραμένουν αμετάβλητα. Σε περίπτωση κάποιας χωρικής μεταβολής (π.χ., δημιουργία νέου δωματίου, νέας εισόδου σε δωμάτιο κλπ.) το χωρικό μοντέλο δημιουργείται εκ νέου από τους ανανεωμένους χάρτες που παρέχει το υποσύστημα του GIS. Επομένως, η καθυστέρηση εκτέλεσης της διαδικασίας συμπερασμού δεν γίνεται αντιληπτή από το χρήστη, αφού έχει ήδη εκτελεστεί αρχικά. Ο χρόνος που λαμβάνει η συγκεκριμένη διαδικασία, πειραματικά, ανέρχεται στα 18,23 δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο.

Ο αρχικός μέγιστος γράφος (για χρήστες χωρίς αναπηρία) που αναφέρεται στο κτήριο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα αποτελείται από 491 κόμβους (αναπαριστούν τα σημεία του κτηρίου) και 1022 ακμές (αναπαριστούν τις μεταβάσεις μεταξύ διαδοχικών σημείων). Ο γράφος αυτός δημιουργείται από το χωρικό μοντέλο και η διαδικασία περιλαμβάνει δύο στάδια:

- Την εκτέλεση των κανόνων με σκοπό την εύρεση και αποκοπή των μη-συμβατών προς το χρήστη σημείων.
- Τη δημιουργία του γράφου από τα σημεία που είναι συμβατά προς το χρήστη.

Ακολούθως, ο δημιουργηθείς γράφος μετασχηματίζεται σε ένα νέο γράφο κατάλληλο ώστε να εκτελεστεί πάνω του ο αλγόριθμος υπολογισμού των απλούστερων μονοπατιών. Ο αλγόριθμος υπολογισμού των απλούστερων μονοπατιών είναι υπεύθυνος για την εύρεση μονοπατιών τέτοιων ώστε να είναι πιο εύκολο να περιγραφούν από το σύστημα και να ακολουθηθούν από το χρήστη. Ο αλγόριθμος αυτός και ο απαραίτητος μετασχηματισμός του γράφου που αναφέρθηκε, δεν θα περιγραφούν με περισσότερες λεπτομέρειες στην παρούσα εργασία.

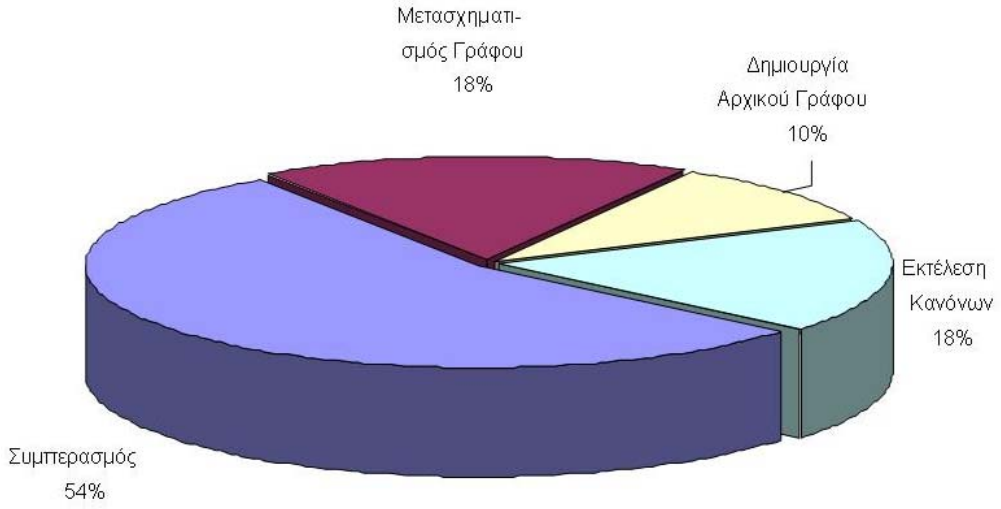
Ο Πίνακας 4.3 αναπαριστά τους μέσους χρόνους που χρειάστηκαν για τη δημιουργία του τελικού γράφου πάνω στον οποίο εκτελείται ο αλγόριθμος πλοήγησης.

Πίνακας 4.3. Μέσοι χρόνοι εκτέλεσης των διαδικασιών (σε δευτερόλεπτα)

Διαδικασία	Μέσος Απαιτούμενος Χρόνος
Συμπερασμός νέας γνώσης – Οντολογία χρηστών	0.916
Εκτέλεση κανόνων	0.298
Δημιουργία γράφου από συμβατά χωρικά σημεία	0.165
Μετασχηματισμός γράφου	0.303

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως από τη στιγμή που ο χρήστης εκκινήσει την εφαρμογή πλοήγησης, η μόνη περίπτωση κατά την οποία εκτελούνται οι παραπάνω διαδικασίες, είναι όταν αλλάζει το μοντέλο χρήστη. Σε αυτή την περίπτωση, εκτελείται εκ νέου συμπερασμός στην οντολογία χρηστών, ώστε ο χρήστης να κατηγοριοποιηθεί με βάση τα νέα, πιθανώς τροποποιημένα, δεδομένα του μοντέλου του. Ακολούθως, οι κανόνες εκτελούνται και πάλι, δημιουργείται νέος γράφος, οποίος και μετασχηματίζεται κατάλληλα. Αντίθετα, η διαδικασία συμπερασμού στην οντολογία χώρου δεν χρειάζεται να εκτελεστεί εκ νέου. Αυτή είναι η μοναδική περίπτωση που ο χρήστης αντιλαμβάνεται την προαναφερθείσα καθυστέρηση.

Το Σχήμα 4.16 παρουσιάζει τα ποσοστά του συνολικού χρόνου που καταλαμβάνει η εκτέλεση κάθε διαδικασίας.



Σχήμα 4.16. Ποσοστά συνολικού χρόνου εκτέλεσης των διαδικασιών

4.5.1.5 Συναφή Συστήματα

Τα πρώτα συστήματα πλοήγησης, για εσωτερικούς χώρους, επικεντρώθηκαν στη πλοήγηση ρομπότ. Με τη πάροδο του χρόνου και τη βελτίωση των τεχνικών εντοπισμού αναπτύχθηκαν και συστήματα για πεζούς χρήστες, όπως «τουριστικοί βοηθοί». Ένα από τα πρώτα συστήματα που προορίζονταν για ανθρώπους είναι το Cyberguide [131], το οποίο εκτελεί πλοήγηση τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Σχεδιάστηκε σαν ένα εργαλείο που θα βοηθάει τους τουρίστες κατά τη ξενάγησή τους σε αρχαιολογικούς χώρους με βάση τη πληροφορία της θέσης και της κατεύθυνσής τους. Το σύστημα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ενός συνόλου από πρωτότυπες συσκευές που περιλάμβαναν ειδικό λογισμικό επικοινωνίας και ειδικές διεπαφές χρήστη (user interfaces). Έτσι ο βασικός στόχος του έργου δεν ήταν η διαδικασία πλοήγησης

καθεαυτή (σαν μοντέλο και αλγόριθμοι), αλλά οι διεπαφές χρήστη και οι μέθοδοι επικοινωνίας που θα επέτρεπαν τη πλοήγηση.

Μια μεταγενέστερη και πολύ πιο προηγμένη λύση, που λαμβάνει υπόψη της το πώς οι άνθρωποι επιλέγουν και, κυρίως, αναπαριστούν τις διαδρομές, είναι το σύστημα Navio [91]. Το Navio στοχεύει, εκτός των άλλων, στην ανάπτυξη μιας οντολογίας που θα παρέχει οδηγίες πλοήγησης στους χρήστες περιγράφοντας φορμαλιστικά τα κριτήρια, τις ενέργειες και τα αντικείμενα αναφοράς (reference objects) που χρησιμοποιούν οι πεζοί κατά την ανακάλυψη των διαδρομών. Όμως το Navio δίνει μεγαλύτερη έμφαση στην σύντηξη θέσης (location fusion)[16] και στις διεπαφές χρήστη και έτσι δεν έχει μεγάλη συνεισφορά στο θέμα της επιλογής του καταλληλότερου μονοπατιού για κάθε χρήστη. Ένα από τα πιο πρόσφατα συστήματα που παρέχουν υπηρεσίες θέσης με τη χρήση σημασιολογικής πληροφορίας είναι το C-NGINE [121]. Το σύστημα αυτό έχει πολλά κοινά σημεία με την προσέγγισή μας και χρησιμοποιεί οντολογίες OWL για να μοντελοποιήσει τα προφίλ των χρηστών και την πληροφορία πλαισίου. Με τη βοήθεια κανόνων παρέχει εξατομικευμένες υπηρεσίες πλοήγησης.

4.5.2 Σημασιολογικές Υπηρεσίες Διαδραστικής Τηλεόρασης

Μια άλλη εφαρμογή του πλαισίου εξατομίκευσης αναφέρεται σε υπηρεσίες διαδραστικής τηλεόρασης, ενοποιημένες με το Διαδίκτυο και το Σημασιολογικό Ιστό. Η διαδραστική τηλεόραση (Interactive TV) [132] παρέχεται πλέον στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες προσφέροντας νέες υπηρεσίες στους χρήστες/συνδρομητές και καινούργιες ροές εσόδων για τους παρόχους της. Η εξατομίκευση και η ευφυΐα των εν λόγω υπηρεσιών θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά για τη μελλοντική τηλεόραση. Στην ενότητα αυτή περιγράφεται πώς μπορούμε με τη βοήθεια του Σημασιολογικού Ιστού να μετατρέψουμε τις υπηρεσίες αυτές σε SWEA και να υλοποιήσουμε την επιθυμητή εξατομικευμένη συμπεριφορά. Συνοπτικά, η προσέγγιση που ακολουθήθηκε συνίσταται στα εξής:

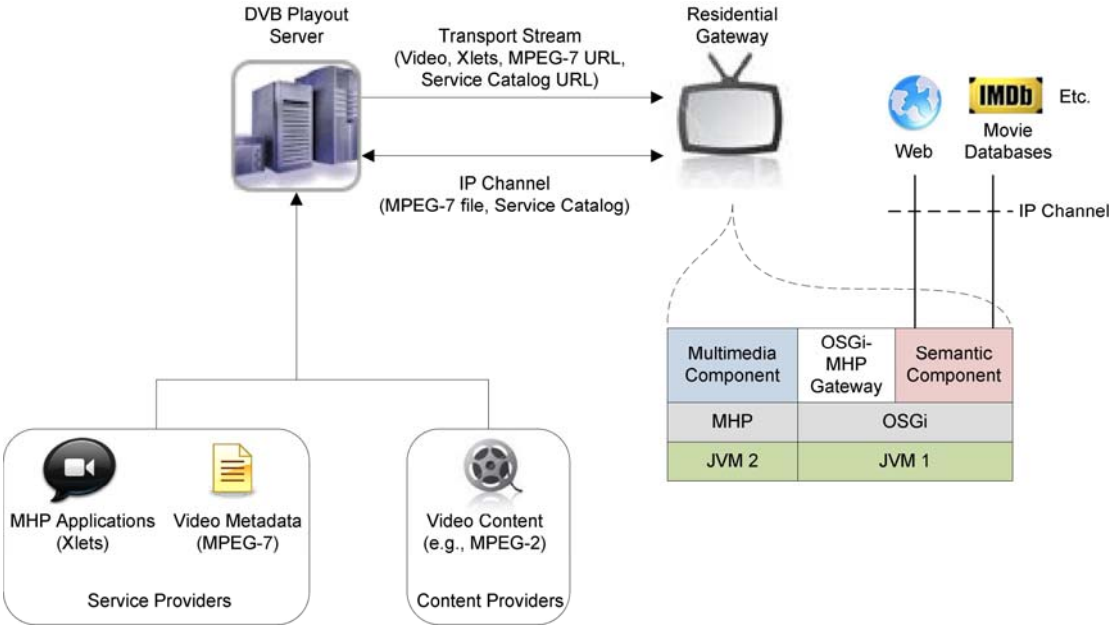
- Σημασιολογικός σχολιασμός (annotation) του οπτικοακουστικού περιεχομένου με βάση μοντέλα (οντολογίες) περιεχομένου.
- Δηλωτική περιγραφή του προφίλ χρήστη και των προτιμήσεων του με κανόνες και όρους από οντολογίες.
- Συμπερασμός για την εξαγωγή εξατομικευμένων πλάνων εκτέλεσης υπηρεσιών διαδραστικής τηλεόρασης.

[16] Σύντηξη θέσης είναι η διαδικασία κατά την οποία συγκεράζονται δεδομένα θέσης από διαφορετικούς αισθητήρες και υποσυστήματα εντοπισμού με κύριο στόχο την βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού.

Η υποδομή και τα μοντέλα που περιγράφονται στις ακόλουθες ενότητες για τις εξατομικευμένες υπηρεσίες αποτελούν μέρος της πλατφόρμας ΠΟΛΥΣΗΜΑ (Πολυμεσικές Εφαρμογές με Σημασιολογική Υποστήριξη) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του αντίστοιχου ερευνητικού έργου [133].

4.5.2.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.16 Τα συστατικά της μπορούν να διαχωριστούν σε αυτά που βρίσκονται στην πλευρά του εξυπηρέτη (server) και σε αυτά που βρίσκονται στην πλευρά του χρήστη/πελάτη (client). Στα πρώτα συγκαταλέγονται ο Video Playout Server, που παρέχει το οπτικοακουστικό περιεχόμενο στους χρήστες και άλλοι εξυπηρέτες (Παγκόσμιου Ιστού) που παρέχουν επιπρόσθετες υπηρεσίες και περιεχόμενο. Το λογισμικό πελάτη υλοποιείται σε μια οικιακή πύλη (residential gateway), που είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση των υπηρεσιών, την αλληλεπίδραση με το χρήστη και τη παρουσίαση/αναπαραγωγή του περιεχομένου. Αυτή η πύλη αποτελείται από δύο βασικά συστατικά, το Πολυμεσικό Συστατικό (Multimedia Component) και το Σημασιολογικό Συστατικό (Semantic Component). Το πρώτο είναι υπεύθυνο για την αποκωδικοποίηση και αναπαραγωγή της πολυμεσικής ροής που λαμβάνεται από τον εξυπηρέτη, και γενικά όλη τη λειτουργικότητα που συναντά κανείς σε ένα τυπικό Set-top-box ψηφιακής τηλεόρασης. Το δεύτερο συστατικό, που είναι και αυτό που μας ενδιαφέρει κυρίως, ασχολείται με την επιλογή και εκτέλεση των ενεργειών εξατομίκευσης κατά την αναπαραγωγή του οπτικοακουστικού περιεχομένου. Αυτές οι ενέργειες λαμβάνουν υπόψη τη σημασιολογία των υπηρεσιών, του χρήστη και του περιεχομένου. Παραδείγματα τέτοιων ενεργειών είναι η εκτέλεση υπηρεσιών (π.χ., εγγραφή βίντεο, επιβολή γονικού ελέγχου) και η ανάκτηση μεταδεδομένων και περιεχομένου από το Web. Τα δύο συστατικά της οικιακής πύλης συντονίζονται και συγχρονίζονται κατάλληλα από ειδικό λογισμικό.



Σχήμα 4.16. Γενική Αρχιτεκτονική (οι διάφορες τεχνολογίες περιγράφονται συνοπτικά στην ενότητα 5.5.2.3)

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου συστήματος, το περιεχόμενο μπορεί να είναι τριών διαφορετικών ειδών:

1. *Οπτικοακουστικό*. Το παραδοσιακό περιεχόμενο τηλεόρασης (π.χ., ταινίες διαφημίσεις).
2. *Μεταδεδομένα (Metadata)*. Αυτά είναι μεταπληροφορία για το οπτικοακουστικό περιεχόμενο που περιγράφει τη δομή του και άλλες σημασιολογικές πτυχές του (π.χ., συντελεστές, περιγραφές σκηνών). Αυτού του τύπου το περιεχόμενο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την εξατομίκευση των υπηρεσιών.
3. *Περιεχόμενο Web*. Αυτού του τύπου το περιεχόμενο ανακτάται όταν απαιτείται από τις υπηρεσίες. Μπορεί να σχετίζεται με το οπτικοακουστικό περιεχόμενο (π.χ., κριτικές ταινιών) ή με τις προτιμήσεις του χρήστη (π.χ., ειδησεογραφία).

Όσον αφορά στις υπηρεσίες που αναπτύχθηκαν, κάθε μια από αυτές αποτελείται από τρία μέρη: α) το Πολυμεσικό Μέρος, β) το Σημασιολογικό Μέρος και γ) μια Περιγραφή Υπηρεσίας που περιλαμβάνει λεπτομέρειες για τη λειτουργικότητά της. Το πολυμεσικό μέρος χρησιμοποιείται από το Πολυμεσικό Συστατικό για λόγους παρουσίασης και αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Το σημασιολογικό μέρος περιέχει την βασική λογική της υπηρεσίας. Τέλος, η περιγραφή χρησιμοποιείται για λόγους ανακάλυψης της υπηρεσίας και για τη ρύθμισή της. Το σύνολο όλων των περιγραφών υπηρεσιών, για ένα συγκεκριμένο χρήστη, αναφέρεται ως Κατάλογος Υπηρεσιών (Service Catalog) στο Σχήμα 4.16.

Οι ακόλουθες υπηρεσίες υλοποιήθηκαν στα πλαίσια του πρωτοτύπου συστήματος:

- μια υπηρεσία γονικού ελέγχου,
- μια υπηρεσία που ανακτά και παρουσιάζει περιεχόμενο από τον ιστοχώρο IMDb (Internet Movie Database). Το περιεχόμενο αφορά είτε σε ηθοποιούς, οπότε και παρουσιάζεται σε κάθε τμήμα της ταινίας που περιέχει κάποιον νέο ηθοποιό, είτε στην ταινία καθαυτή (π.χ., κριτικές, στοιχεία σκηνοθέτη) οπότε και παρουσιάζεται στην αρχή της,
- μια υπηρεσία που ανακτά και παρουσιάζει περιεχόμενο από τον ιστοχώρο Wikipedia [148] σε σκηνές που περιλαμβάνουν συγκεκριμένα αντικείμενα,
- μια υπηρεσία PVR που εγγράφει τμήματα της ταινίας που περιέχουν συγκεκριμένες δραστηριότητες, αντικείμενα τοποθεσίες ή ηθοποιούς (όλα αυτά καθορίζονται από το χρήστη και υιοθετείται η ορολογία της οντολογίας LSCOM [134]), και
- μια υπηρεσία ειδοποίησης με βάση RSS feeds [135] που έχει ορίσει ο χρήστης.

Ενδεικτικά θα περιγράψουμε την υπηρεσία γονικού ελέγχου, που διαφέρει από τις αντίστοιχες υπάρχουσες στο ότι μπορεί να ελέγχει με μεγαλύτερη ακρίβεια την αναπαραγωγή του περιεχομένου, ανά τμήμα βίντεο και όχι συνολικά σε όλο το βίντεο. Η υπηρεσία αυτή κάνει κάποιες ενέργειες όταν κάποιο τμήμα του οπτικοακουστικού περιεχομένου δεν είναι κατάλληλο για το χρήστη, κρίνοντας από την ηλικία που έχει οριστεί στο προφίλ του. Πιθανές ενέργειες είναι: σίγηση ήχου, αλλαγή καναλιού, απόκρυψη εικόνας, παρουσίαση επισημάνσεων (alerts).

Στο Σχήμα 4.17.α φαίνεται ένα δείγμα του κώδικα (πολυμεσικό μέρος υπηρεσίας) που εκτελείται από το Πολυμεσικό Συστατικό, ενώ στο Σχήμα 4.17.β φαίνεται η περιγραφή της υπηρεσίας που ορίζει ένα πρότυπο κανόνα για την εκτέλεση της υπηρεσίας και άλλα μεταδεδομένα. Τα πρότυπα κανόνων (rule templates) εκφράζονται στη γλώσσα κανόνων που περιγράφεται στο [104]. Κάθε πρότυπο ορίζει πότε πρέπει να εκτελεστεί κάθε υπηρεσία και με ποιες παραμέτρους εισόδου. Οι πραγματικές τιμές αυτών των παραμέτρων λαμβάνονται από το αρχείο μεταδεδομένων MPEG-7 και από την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος. Στο παράδειγμά μας η μοναδική παράμετρος είναι η *currentUser*, η τιμή της οποίας ορίζεται όταν ο χρήστης συνδέεται στο σύστημα.

```
public class ParentalControl{
  //we overide the paint method of the HContainer..
  public void paint(Graphics g) {
    DVBGraphics dvbG = (DVBGraphics) g;
    DVBAlphaComposite compositingRule;
    // When alpha = 1, the display gets black
    compositingRule = DVBAlphaComposite.getInstance(DVBAlphaComposite.DST_OVER, (float) this.alpha);
    dvbG.setDVBComposite(compositingRule);
    super.paint(dvbG);
}
```

(α)

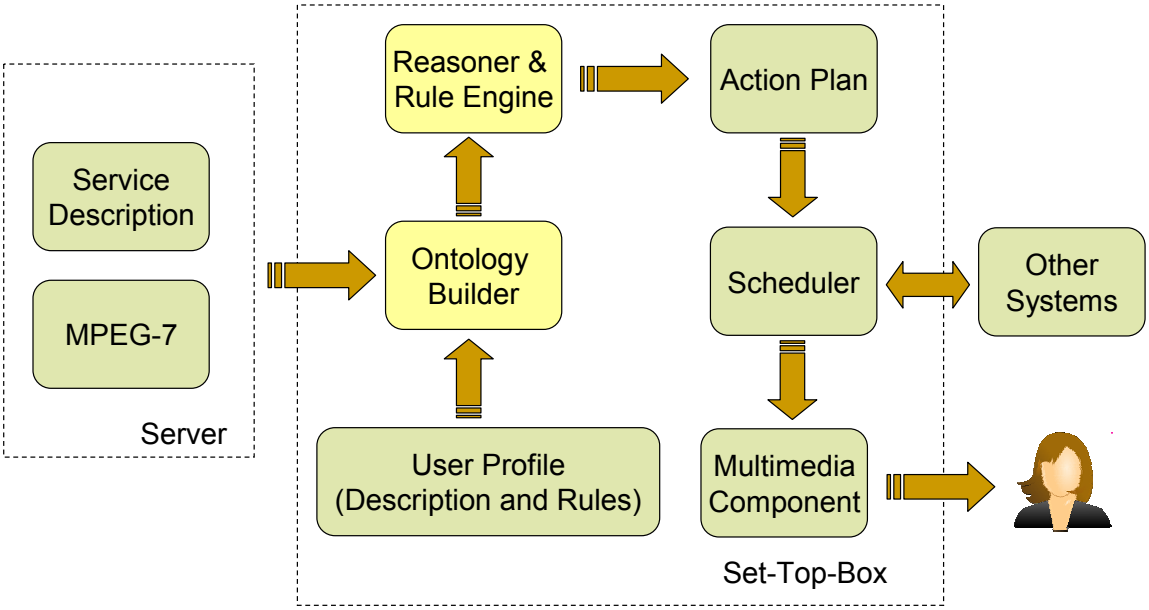
```
<service id="2" name="parentalControlService" version="1">
  <GUIName>Parental Control</GUIName>
  <description>Takes actions upon detection of inappropriate content</description>
  <API_method>NULL</API_method>
  <ruleTemplate>if TVUO:Under7(?u) and [?u = TVUO:*currentUser*] and mds:Why(?sat, MPAA:directed_to_older_children) and mds:TextAnnotation(?vst, ?tat) and mds:VideoSegmentType(?vst) and mds:StructuredAnnotation(?tat, ?sat) then iTVServices:action(?vst, iTVServices:parentalControlService)</ruleTemplate>
  <params>
    <param id="1">
      <name>action</name>
      <GUIName>Action</GUIName>
      <description>Determines the action for parental control</description>
      <type primitive="false">exclusive-list</type>
      <exclusive-list>
        <item>
          <value>toggle.video</value>
          <GUIName>Toggle video</GUIName>
        </item>
        <item>
          <value>alert</value>
          <GUIName>Alert Viewer</GUIName>
        </item>
      </exclusive-list>
    </param>
  </params>
</service>
```

(β)

Σχήμα 4.17. Μια ενδεικτική υπηρεσία γονικού ελέγχου α) Πολυμεσικό μέρος, β) Περιγραφή υπηρεσίας

4.5.2.1.1 Σημασιολογικό Συστατικό

Το Σημασιολογικό Συστατικό κατέχει κεντρικό ρόλο στο εν λόγω σύστημα. Είναι υπεύθυνο για το συντονισμό των υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας καθώς επίσης και για τις διεργασίες συλλογιστικής στις οποίες βασίζεται η παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών. Με λίγα λόγια, θα μπορούσε κανείς να περιγράψει αυτό το συστατικό ως την υποδομή γνώσεως και κανόνων που παρέχει εξατομικευμένες «συρραφές» περιεχομένου (mashups) μέσα στην οικιακή πύλη. Ένα διάγραμμα με τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής και τις αλληλεπιδράσεις τους φαίνεται στο Σχήμα 4.18.



Σχήμα 4.18. Το Σημασιολογικό Συστατικό του συστήματος

Με την ανάκτηση του Service Description, δημιουργείται αυτόματα μια γραφική διεπαφή για τη διαχείριση και ρύθμιση των υπηρεσιών και του προφίλ χρήστη. Το προφίλ αυτό με το που ορίζεται από το χρήστη, αμέσως μετατρέπεται σε στιγμιότυπα οντολογίας. Τα δεδομένα MPEG-7 μετατρέπονται επίσης σε στιγμιότυπα μιας οντολογίας MPEG-7 (βλ. ενότητα 4.5.2.2). Αυτές οι μετατροπές γίνονται από το συστατικό Ontology Builder και είναι απαραίτητες έτσι ώστε όλα τα δεδομένα να είναι εκφρασμένα σε μια κοινή μορφή, συμβατή με τη μηχανή συμπερασμού (Reasoner & Rule Engine [104]). Οι κανόνες που εφαρμόζονται σε αυτά τα οντολογικά δεδομένα καθορίζονται από τους παρόχους υπηρεσιών στο Service Description. Μόλις εκτελούνται οι κανόνες δημιουργείται ένα πρώτο πλάνο εκτέλεσης υπηρεσιών, που περιγράφει τις ενέργειες που πρέπει να εκτελεστούν για το τρέχοντα χρήστη και το τρέχον τηλεοπτικό πρόγραμμα. Πριν υποβληθεί το πλάνο ενεργειών στον Scheduler, που είναι υπεύθυνος για την εφαρμογή του, καλείται ο Plan Validator ώστε να επιλύσει διάφορες συγκρούσεις που μπορεί να

υπάρχουν στο αρχικό πλάνο. Τέτοιες συγκρούσεις μπορεί να προκληθούν από τις προδιαγραφές της συσκευής οικιακής πύλης, τη σημασιολογία των υπηρεσιών ή τις χρονικές συσχετίσεις μεταξύ των προγραμματισμένων ενεργειών. Για παράδειγμα, ο Plan Validator δεν επιτρέπει την εκτέλεση δύο υπηρεσιών Personal Video Recorder (PVR) με χρονική επικάλυψη, καθώς το the Set-Top-Box (STB) μπορεί να μην υποστηρίζει ταυτόχρονη εγγραφή δύο παράλληλων τηλεοπτικών προγραμμάτων. Επιπλέον, μια υπηρεσία ανάκτησης περιεχομένου από το Web δεν πρέπει να εκτελείται όταν εκτελείται ήδη μια υπηρεσία γονικού ελέγχου, καθώς το περιεχόμενο που θα ανακτούσε μπορεί να είναι επίσης ακατάλληλο για ανήλικους χρήστες.

Τελικά, ο Scheduler καλεί τις μεθόδους που αντιστοιχούν στις ενέργειες που προέκυψαν από το συμπερασμό. Η αντιστοίχηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια του Service Description. Αυτές οι κλήσεις μπορεί να είναι κλήσεις σε μεθόδους του Πολυμεσικού Συστατικού ή κλήσεις σε εξωτερικούς εξυπηρέτες Web ή κλήσεις σε άλλα εξωτερικά συστήματα (π.χ., PVR, δικτυακές οικιακές συσκευές, κλπ.).

4.5.2.2 Διαδικασία Εξατομίκευσης

Η αξιοποίηση της σημασιολογικής πληροφορίας του χρήστη, των υπηρεσιών και του περιεχομένου είναι ο ακρογωνιαίος λίθος του συστήματος. Συγκεκριμένα, όλο το οπτικοακουστικό περιεχόμενο υποθέτουμε ότι είναι σημασιολογικά σχολιασμένο σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-7 Multimedia Description Scheme (MDS) [136]. Όμως, περιορίσαμε την εκφραστικότητα του MDS μόνο στα Description Schemes (DS) και Descriptors που είναι σχετικά με την «υψηλού επιπέδου σημασιολογία» των αρχείων βίντεο (π.χ., εκείνη που περιγράφει άτομα, δραστηριότητες, τοποθεσίες, χρόνο, αντικείμενα). Μια βασική διαφοροποίηση σχετικά με το πρότυπο MPEG-7 είναι ότι αντί να υιοθετηθούν οι μηχανισμοί ορισμού όρων και αναφοράς σε αυτούς (π.χ., στοιχεία TermUseType και ControlledTermUseType, σχήματα ταξινόμησης - classification schemes), χρησιμοποιήθηκαν μόνο οντολογίες πεδίου ενδιαφέροντος (domain ontologies) για τον ορισμό όρων σχολιασμού. Επίσης δεν χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία του MPEG-7 Semantic DS (π.χ., Semantic, SemanticBase, SemanticType, Time, Event), που επιτρέπουν πολύ εκφραστικές περιγραφές μεταδεδομένων, για τους ακόλουθους λόγους:

- Η διαδικασία σχολιασμού απαιτεί υπολογίσιμη ανθρωποδύναμη. Ενδεικτικό γεγονός είναι το ότι κανένα εργαλείο σχολιασμού MPEG-7, εμπορικό ή μη, δεν υποστηρίζει

σημασιολογικό σχολιασμό βίντεο με τα στοιχεία του MPEG-7 που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

- Δεν υπάρχει κάποια κοινά αποδεκτή μεθοδολογία για το πως πρέπει να χρησιμοποιηθούν αυτές οι περιγραφές ή πως πρέπει να χρησιμοποιούνται από τις εφαρμογές. Το γεγονός αυτό προκαλεί ασάφεια και αμφισημία κατά την ερμηνεία των μεταδεδομένων αυτών. Αυτό το πρόβλημα αναφέρεται επίσης και στο [137], όπου μια οντολογία για τη σημασιολογία του MPEG-7 Semantic DS προτείνεται σαν πιθανή λύση.

Καθώς η ευφυΐα του συστήματος παρέχεται από ένα σύστημα κανόνων (rule-based system), είναι απαραίτητο όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με το χρήστη το τηλεοπτικό πρόγραμμα και τις υπηρεσίες να αναπαρίστανται με ένα κοινό φορμαλισμό. Αυτός ο φορμαλισμός αποφασίστηκε να είναι η Web Ontology Language (OWL) εξαιτίας της δημοτικότητάς της και της αποδοχής της από το World Wide Web Consortium (W3C). Για την οντολογική αναπαράσταση των μεταδεδομένων του οπτικοακουστικού περιεχομένου επεξεργαστήκαμε και επεκτείναμε το μοντέλο που προτάθηκε από τους Tsinaraki et al. [138], επίσης υλοποιημένο σε OWL. Στο [139] παρουσιάζονται και άλλα υποψήφια μοντέλα αλλά είναι είτε πολύ γενικά είτε πολύ εξειδικευμένα για τις εφαρμογές μας. Κάναμε διάφορες τροποποιήσεις στην αρχική οντολογία MPEG-7 ontology ώστε να την καταστήσουμε πιο κατάλληλη για τους σκοπούς της εφαρμογής μας (π.χ., μερικές έννοιες και ιδιότητες παραλήφθηκαν).

Όλα τα δεδομένα (στιγμιότυπα) σε αυτή την οντολογία MPEG-7 εκφράστηκαν μέσω οντολογιών πεδίου ενδιαφέροντος. Μερικές από αυτές τις οντολογίες προέρχονται από τα classification schemes του MPEG-7 και του TV-Anytime (π.χ., εκείνες που σχετίζονται με το γονικό έλεγχο και την κατηγοριοποίηση του βίντεο). Άλλες είναι δικές μας οντολογίες που ορίζουν το λεξιλόγιο για μερικές υπηρεσίες. Για παράδειγμα, όπως ήδη αναφέρθηκε, σχεδιάστηκε μια οντολογία IMDb που περιέχει έγκυρα ονόματα ηθοποιών. Αυτές οι οντολογίες χρησιμοποιούνται τόσο κατά το σχολιασμό του βίντεο [140], όσο και κατά την εκτέλεση των υπηρεσιών από την οικιακή πύλη. Όμοια με την μετατροπή των δεδομένων MPEG-7 XML σε OWL, κάθε περιγραφή υπηρεσίας μετατρέπεται σε μια οντολογία υπηρεσιών (iTVServices) και κάθε προφίλ χρήστη σε μια οντολογία χρηστών τηλεόρασης (TV User Ontology, TVUO). Όλες αυτές οι οντολογίες είναι διαθέσιμες στην ιστοσελίδα [141].

Έτσι, η υιοθέτηση και δημιουργία οντολογιών για τη δόμηση των μεταδεδομένων και η χρήση λεξιλογίου από οντολογίες πεδίου ενδιαφέροντος καθιστά το σύστημα εγγενώς βασισμένο σε γνώση και ικανό για συλλογιστική και συμπερασμό.

Στο Σχήμα 4.19 παρουσιάζονται κάποια δεδομένα ώστε να μπορέσει να κατανοήσει ο αναγνώστης πώς το σύστημα κάνει συμπερασμό και υπολογισμό του πλάνου ενεργειών. Στο Σχήμα 4.19.α παρουσιάζεται ένας κανόνας της υπηρεσίας γονικού ελέγχου. Σε φυσική γλώσσα, δηλώνει ότι «αν ο χρήστης είναι κάτω των 7 ετών και το τρέχον τμήμα του βίντεο απευθύνεται σε μεγαλύτερα παιδιά, σύμφωνα με το σχήμα ταξινόμησης του οργανισμού MPAA (Motion Picture Association of America), τότε η υπηρεσία πρέπει να εκτελεστεί για το τμήμα αυτό του βίντεο» (οι κρίσεις καταλληλότητας ενσωματώνονται στο στοιχείο “Why” του MPEG-7). Στη περίπτωση που ο χρήστης περιγράφεται από την οντολογία TVUO όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.19.β και 4.19.γ (αναπαράσταση σε συμβολισμό Περιγραφικών Λογικών) και τα μεταδεδομένα του βίντεο είναι αυτά του Σχήματος 4.19.δ, τότε η υπηρεσία θα προστεθεί στο πλάνο ενεργειών για όλα τα τμήματα βίντεο που ικανοποιούν τις συνθήκες του κανόνα. Η συγκεκριμένη ενέργεια που θα αποφασιστεί εξαρτάται από την τιμή της παραμέτρου “action” της υπηρεσίας (βλ. Σχήμα 4.17). Ο χώρος ονομάτων (namespace) “mds” αναφέρεται στην οντολογία MPEG-7, ο “TVUO” και ο “iTVServices” στα αντίστοιχα προφίλ (να επαναληφθεί ότι η περιγραφή του Σχήματος 4.17.β μετατρέπεται σε στιγμιότυπα της οντολογίας iTVServices) και ο “MPAA” σε μια οντολογία πεδίου εφαρμογής που ορίζει κλάσεις καταλληλότητας περιεχομένου.

```
rule parentalControl is if
TVUO:CurrentUser(?u) and TVUO:Under7(?u) and mds:Why(?sat,
MPAA:directed_to_older_children) and      mds:TextAnnotation(?vst, ?tat) and
mds:VideoSegmentType(?vst) and mds:StructuredAnnotation(?tat, ?sat)
then
iTVServices:action(?vst, iTVServices:parentalControlService)
```

α) κανόνας υπηρεσίας

```
<TVUO:User rdf:ID="bill">
  <TVUO:hasUsername
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Bill</TVUO:hasUsername>
  <TVUO:hasGender rdf:resource="http://polysema.di.uoa.gr/ont/TVUO.owl#male"/>
  <TVUO:hasAge>
    <TVUO:Between1and7 rdf:ID="ageOfBill"/>
  </TVUO:hasAge>
</TVUO:User>
```

β)προφίλ χρήστη

Under7 ≡ User ⊓ ∃ hasAge.Between1and7

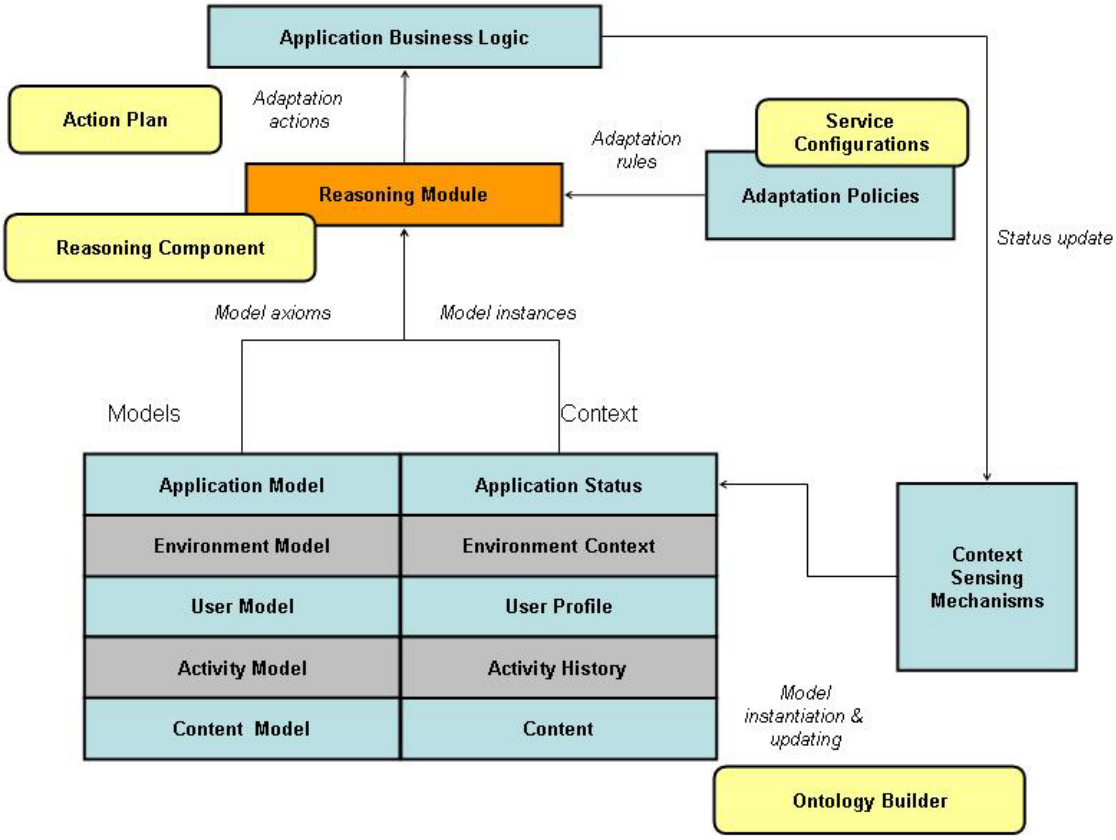
γ) ορισμός ενός προφίλ χρήστη

```
<mds:VideoType rdf:ID="MultimediaContent3">
   <mds:Video>
   ……
       <mds:VideoSegmentType rdf:ID="segment7">
         <mds:MediaTime>
         ……
         </mds:MediaTime>
         <mds:TextAnnotation>
           <mds:TextAnnotationType rdf:ID="TextAnnotation20">
             <mds:StructuredAnnotation>
               <mds:StructuredAnnotationType rdf:ID="StructuredAnnotation21">
                 <mds:Why rdf:resource="&MPAA;#directed_to_older_children"/>
               </mds:StructuredAnnotationType>
             </mds:StructuredAnnotation>
           </mds:TextAnnotationType>
         </mds:TextAnnotation>
       </mds:VideoSegmentType>
             ......
```

δ) μέρος των στιγμιότυπων MPEG-7

Σχήμα 4.19. Ενδεικτικά δεδομένα για εξατομίκευση της υπηρεσίας γονικού ελέγχου

Συνοψίζοντας, στο Σχήμα 4.20 απεικονίζεται το πώς χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο που παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2 για την υλοποίηση εξατομικευμένων υπηρεσιών διαδραστικής τηλεόρασης.



Σχήμα 4.20. Εφαρμογή του πλαισίου εξατομίκευσης SWEA για διαδραστική τηλεόραση. Με γκρι χρώμα: στοιχεία που δεν χρησιμοποιούνται. Με κίτρινο χρώμα: τα αντίστοιχα συστατικά του συστήματός μας.

4.5.2.3 Τεχνολογίες Υλοποίησης Συστήματος

Για λόγους πληρότητας της παρουσίασης του συστήματος περιγράφουμε τις βασικές τεχνολογίες με τις οποίες αναπτύχθηκε (βλ. Σχήμα 4.16). Το οπτικοακουστικό περιεχόμενο μεταδίδεται στους δέκτες των χρηστών μέσω ροών βίντεο, κωδικοποιημένων με τη τεχνολογία DVB-T. Για την ευρυεκπομπή του βίντεο χρησιμοποιήθηκε ο IRT DVB Playout Server [142]. Τα μεταδεδομένα όπως προαναφέρθηκε ακολούθούν το πρότυπο MPEG-7. Η οικιακή πύλη υλοποιήθηκε με την ανοικτή πλατφόρμα υπηρεσιών OSGi (Open Service Gateway Initiative) [143]. Το OSGi παρέχει, εκτός των άλλων, δικτύωση και διαχείριση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, το OSGi χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του Σημασιολογικού Συστατικού. Από την άλλη, το Πολυμεσικό Συστατικό της οικιακής πύλης βασίζεται στο ενδιάμεσο λογισμικό Multimedia Home Platform (MHP) [144]. Το MHP είναι μια πλατφόρμα εκτέλεσης εφαρμογών MHP (ή αλλιώς Xlets) υλοποιημένη σε Java. Τα Xlets είναι το ανάλογο των applets στον κόσμο της ψηφιακής τηλεόρασης. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ του OSGi και του MHP επιτεύχθηκε μέσω ενός βοηθητικού συστατικού που ονομάστηκε MHP-OSGi Gateway. Άρα από τα παραπάνω προκύπτει

ότι οι υλοποιημένες υπηρεσίες βασίζονται σε ένα μείγμα τεχνολογιών. Το Πολυμεσικό μέρος αναπτύχθηκε σαν Xlet, το Σημασιολογικό σαν υπηρεσία OSGi και η Περιγραφή Υπηρεσίας με τη χρήση της γλώσσας XML.

4.5.2.4 Συναφή Συστήματα

Η διασύνδεση του Web με τα περιβάλλοντα ψηφιακής τηλεόρασης, είναι κάτι που επιδιώκει και η ακαδημαϊκή έρευνα και η βιομηχανία τα τελευταία χρόνια Όμως οι πιο πολλές προσπάθειες απλά προσπαθούν να ενώσουν τους δύο κόσμους και όχι να τους συνδυάσουν δημιουργικά για τη παροχή νέων υπηρεσιών [145] [146]. Οι βασικές εργασίες που επιδιώκουν το τελευταίο στόχο είναι τα έργα AVATAR [99] και MediaNet [147]. Το AVATAR χρησιμοποιεί πολλές κοινές τεχνολογίες και τεχνικές με το δικό μας σύστημα. (π.χ., μοντελοποίηση με τη χρήση οντολογιών, προφίλ χρηστών και σημασιολογικό συμπερασμό). Όμως δεν ασχολείται γενικά με την εξατομίκευση υπηρεσιών παρά μόνο με τη δημιουργία ενός προσωπικού βοηθού προγράμματος που να προτείνει ενδιαφέροντα περιεχόμενα στον χρήστη. Το έργο MediaNET, αναφορικά με υπηρεσίες διαδραστικής τηλεόρασης, παρέχει την πλατφόρμα AmigoTV και ένα PVR. Επιπλέον, παρέχει υπηρεσίες όπως e-voting και e-shopping. Όμως παρόλο που οι υπηρεσίες του είναι ενδιαφέρουσες και σχετικές με κοινωνική δικτύωση (social networking), δεν αξιοποιεί μεταδεδομένα και μηχανισμούς συλλογιστικής για να παρέχει πιο ευφυείς εξατομικευμένες υπηρεσίες με αυτοματοποιημένο τρόπο.

4.6. Συμπεράσματα

Η βασική συνεισφορά της προαναφερθείσας έρευνας στο πεδίο της εξατομίκευσης εφαρμογών με τη βοήθεια διαχείρισης σημασιολογικής πληροφορίας είναι:

- Σχεδιασμός ενός γενικού πλαισίου αναφοράς για την εξατομίκευση υπηρεσιών.
- Σχεδιασμός ενός γενικού μοντέλου χρήστη και υλοποίηση μιας οντολογίας για τη σημασιολογική αναπαράσταση του προφίλ ενός χρήστη υπηρεσιων θέσης.
- Υλοποίηση Σημασιολογικών Υπηρεσιών Θέσης όπου όλες οι βασικές οντότητες (χώρος, χρήστες, περιεχόμενο υπηρεσιών, συσκευές χρήστη) περιγράφονται μέσα από στοιχεία οντολογιών. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα μπορεί να παρέχει εξατομίκευση των υπηρεσιών σε διάφορα επίπεδα, όπως πλοήγηση και παρουσίαση περιεχομένου.

- Υλοποίηση εξατομικευμένων υπηρεσιών διαδραστικής τηλεόρασης. Είναι η πρώτη φορά που δημιουργείται ένα γενικό πλαίσιο για εξατομίκευση υπηρεσιών τηλεόρασης με τη χρήση σημασιολογίας. Το πλαίσιο αυτό βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην οντολογία MPEG-7 που αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την εύκολη δημιουργία της με εργαλεία αλλά και την δυνατότητα για βασικό συμπερασμό.
- Τέλος μελετήθηκαν κάποια άλλα περιφερειακά θέματα όπως τρόποι αποθήκευσης των οντολογικών προφίλ χρηστών και διάφορα συστήματα κανόνων.

Τα θέματα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται στις δημοσιεύσεις: [92], [106], [123], [125], [133], [151].

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

5.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν αρκετές πτυχές της διαχείρισης σημασιολογικής πληροφορίας και πώς αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων και εφαρμογών. Στη συνέχεια παραθέτουμε κάποια γενικά συμπεράσματα για κάθε μέρος της διατριβής.

5.1.1 Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού

Οι ΥΣΙ είναι ανάμεσα στα πιο ενδιαφέροντα και αξιοποιήσιμα αποτελέσματα της έρευνας στο πεδίο του Σημασιολογικού Ιστού. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα και από την υιοθέτηση της γλώσσας WSDL-SA σαν πρότυπο του W3C. Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με το θέμα της ανακάλυψης και σύνθεσης ΥΣΙ. Όμως, όπως φαίνεται και στη σχετική βιβλιογραφία, υπάρχει έλλειψη από μεθόδους και εργαλεία ικανά να αποτιμήσουν τις ερευνητικές προσπάθειες. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής θίχτηκε για πρώτη φορά αυτό το σημαντικό θέμα και προτάθηκαν συγκεκριμένες μέθοδοι αξιολόγησης, των οποίων η εφαρμοσιμότητα μελετήθηκε και πειραματικά. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά αλλά, όπως αναφέρεται και στην ενότητα 5.2, πολλά θέματα μένουν ανοικτά ακόμη. Η πρόοδος στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας είναι επιτακτική ανάγκη ώστε να μπορούν οι ερευνητές να αξιολογούν σωστά την ποιότητα και αξία των ευρημάτων τους.

5.1.2 Συνεργατική Επίγνωση Πλαισίου

Όσον αφορά στα περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού, είναι φανερό ότι με την τεχνολογική πρόοδο των τελευταίων ετών ερχόμαστε όλο και πιο κοντά στο όραμα του M. Weiser [9]. Εμείς αντιμετωπίζουμε τα περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού σαν μια μίξη τεχνολογιών και προσεγγίσεων ικανών να υποστηρίξουν νέες προηγμένες εφαρμογές. Στα πλαίσια αυτής της αντιμετώπισης προτείναμε μια μέθοδο για την συνεργατική επίγνωση πλαισίου σε εφαρμογές διάχυτου και νομαδικού υπολογισμού. Η επίγνωση πλαισίου είναι πολύ σημαντικό στοιχείο σε κάθε σύγχρονο σύστημα . Για αυτό το λόγο έγινε μια προσπάθεια να αυξηθεί το συνολικό επίπεδο επίγνωσης πλαισίου σε ένα κατανεμημένο σύστημα μέσω της συνεργασίας των κόμβων του και την ανταλλαγή πληροφορίας πλαισίου μεταξύ τους. Το σχήμα που παρουσιάστηκε κάνει ελάχιστες υποθέσεις για το σύστημα αυτό. Επίσης υποστηρίζει την περαιτέρω εισαγωγή «ευφυΐας» στις εφαρμογές μέσω τεχνολογιών γνώσης (κάποιες ιδέες παρουσιάζονται στην ενότητα 5.2.2), αφού σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμογής, οι

εφαρμογές βασίζονται στην ύπαρξη κανόνων και οντολογιών. Το προτεινόμενο σχήμα φάνηκε ότι είναι αρκετά αποτελεσματικό και αποδοτικό καθώς ελαχιστοποιεί τον αριθμό των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται, χωρίς να μειώνει την ικανότητα των κόμβων να αντιλαμβάνονται αλλαγές στο πλαίσιό τους (context).

5.1.3 Σημασιολογική Εξατομίκευση Εφαρμογών

Η πιο συνηθισμένη ίσως μορφή ευφυΐας των εφαρμογών πληροφορικής είναι η εξατομικευμένη λειτουργία τους. Αυτό είναι λογικό καθώς για να φτάσουμε σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού όπου τα υπολογιστικά συστήματα θα δρουν διαφανώς για το χρήστη, θα πρέπει η λειτουργία τους (που συμπεριλαμβάνει και τις εφαρμογές) να προσαρμόζεται συνεχώς στις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά του. Στο Κεφάλαιο 3 είδαμε ένα μηχανισμό για την επίγνωση πλαισίου που είναι προαπαιτούμενο για την προσαρμογή που αναφερόμαστε (όπου σαν πλαίσιο μπορεί να θεωρηθεί η κατάσταση του χρήστη). Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκε ένα πλαίσιο αναφοράς (reference framework) με βάση το οποίο μπορεί να υλοποιηθεί η επιθυμητή προσαρμοστικότητα και εξατομίκευση των εφαρμογών. Το πλαίσιο αυτό αξιοποιεί τεχνολογίες γνώσης προκειμένου να διευκολυνθεί ο καθορισμός των καταστάσεων του συστήματος, η περιγραφή της σημασιολογίας των οντοτήτων του αλλά και η εκτέλεση των απαραίτητων προσαρμογών εξατομίκευσης. Προφανώς ένα βασικό κομμάτι του πλαισίου είναι το μοντέλο χρήστη.

Στην εργασία μελετήθηκαν δύο εφαρμογές όπου χρησιμοποιήθηκαν μέρη του πλαισίου αυτού. Και στις δύο, εξατομικευμένες υπηρεσίες θέσης και εξατομικευμένη διαδραστική τηλεόραση, η χρήση των τεχνολογιών γνώσης και η αξιοποίηση της σημασιολογίας των οντοτήτων τους ήταν καθοριστική για την υλοποίηση προηγμένης λειτουργικότητας. Συμπερασματικά, η διαχείριση της συμασιολογικής πληροφορίας, όπου αυτή είναι διαθέσιμη ή μπορεί να εξαχθεί, μπορεί να επιλύσει σημαντικά προβλήματα που συναντά κανείς κατά την ανάπτυξη προσαρμοστικών και εξατομικευμένων συστημάτων.

5.2. Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Ακολουθώντας τη δομή της διατριβής, παραθέτουμε θέματα για μελλοντική έρευνα για κάθε επιμέρους θέμα που μελετήθηκε.

5.2.1 Αποτίμηση Ανακάλυψης Σημασιολογικά Εμπλουτισμένων Υπηρεσιών

Σε αυτό το θέμα, εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλο ενδιαφέρον η αξιολόγηση χωρίς κρίσεις σχετικότητας. Ο λόγος είναι ότι είναι πάρα πολύ δύσκολη, και πολλές φορές

αποτρεπτική για τον πειραματισμό, η χειροκίνητη δημιουργία κρίσεων σχετικότητας. Στην παρούσα διατριβή δείξαμε κάποιες μεθόδους για την αποτίμηση των συστημάτων ανακάλυψης υπηρεσιών αλλά πολλά θέματα μένουν ακόμα ανοικτά. Ένα από αυτά είναι το πόσο επηρεάζει την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων, η επιλογή των συστημάτων που θα δημιουργήσουν αυτόματα τις ψευδοκρίσεις σχετικότητας. Σε συνδυασμό με αυτό θα ήταν επιθυμητό να έχουμε μετρικές που να είναι όσο πιο δίκαιες και εύρωστες (robust) γίνεται στη παρουσία ψευδοκρίσεων σχετικότητας.

Ένα άλλο θέμα είναι να βρεθεί μια μεθοδολογία για την εύρεση των βέλτιστων αντιστοιχίσεων βαθμών ταύτισης (DoM) που επιστρέφουν οι διάφορες μηχανές ανακάλυψης σε τιμές *fe* (που χρησιμοποιούνται στις γενικευμένες μετρικές). Με τον όρο «βέλτιστες» εννοούμε τις αντιστοιχίσεις που προσδίδουν στις μετρικές μεγαλύτερη αντικειμενικότητα κάνοντας τις παράλληλα και πιο εύρωστες στην παρουσία ψευδοκρίσεων σχετικότητας.

Τέλος, αρκετό ενδιαφέρον θα είχε να μελετηθούν οι απαραίτητες επεκτάσεις και προσαρμογές των μεθόδων και μετρικών αξιολόγησης που προτάθηκαν στη περιοχή της σύνθεσης υπηρεσιών.

5.2.2 Συνεργατική Επίγνωση Πλαισίου

Στην παρούσα διατριβή μελετήσαμε την ανταλλαγή πληροφορίας πλαισίου μεταξύ νομαδικών κόμβων για την παροχή υπηρεσιών επίγνωσης πλαισίου. Ένα ενδιαφέρον θέμα για διερεύνηση είναι η εφαρμογή του σχήματος, πιθανά ελαφρώς τροποποιημένου, όταν κάθε κόμβος δεν ξέρει ακριβώς τη θέση του (είναι μία από τις υποθέσεις που κάναμε).

Επίσης, αυτή η προσέγγιση μπορεί να επεκταθεί και στην ανταλλαγή γνώσης για τον πιο αποδοτικό συμπερασμό κατάστασης σε νομαδικά περιβάλλοντα. Κάποιος τέτοιος μηχανισμός, που θα τον ονομάζαμε Knowledge Foraging, γίνεται απαραίτητος αν θέλουμε να εκτελούμε εφαρμογές που αξιοποιούν γνώση και συνεχή συμπερασμό (online reasoning) σε περιβάλλοντα με κινητούς κόμβους, περιορισμένων δυνατοτήτων. Πιο συγκεκριμένα οι κόμβοι που δεν έχουν όλη την απαιτούμενη γνώση (background knowledge) ή/και την υπολογιστική ικανότητα για συμπερασμό, θα ήταν επιθυμητό να μπορούν να αξιοποιήσουν τη γνώση ή υπολογιστική ισχύ άλλων, πιο ικανών κόμβων. Αυτό συνεπάγεται μια διαδικασία κάπως αντίθετη του Context Foraging, όπου ο κόμβος θα στέλνει αίτηση για συμπερασμό στους άλλους μαζί με τη μεταπληροφορία που σχετίζεται με την τρέχουσα κατάστασή του. Ο απώτερος σκοπός είναι να μπορέσει ο

κόμβος να αποκτήσει μια καλύτερη εικόνα της κατάστασής του βάσει της γνώσης που είναι διαθέσιμη για το περιβάλλον του στους γύρω του. Αυτό εκτιμάμε ότι είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα λύση για το πρόβλημα. Προφανώς υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις που αξίζει να διερευνηθούν, όπως ο κινητός συμπερασμός (mobile reasoning) και η δημιουργία απλών γλωσσών αναπαράστασης γνώσης που όμως θα πρέπει να μπορούν να καλύψουν τις εκφραστικές ανάγκες των συγκεκριμένων περιβαλλόντων υπολογισμού.

5.2.3 Σημασιολογική Εξατομίκευση Εφαρμογών και Μοντελοποίηση Χρήστη

Η εξατομίκευση εφαρμογών με μεθόδους διαχείρισης σημασιολογικής πληροφορίας έχει βρει εφαρμογή σε διάφορα θεματικά πεδία και αναμφισβήτητα μπορεί να οδηγήσει σε προηγμένες εφαρμογές. Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να υπάρξει μια συνεννόηση και συμφωνία ανάμεσα στην ερευνητική κοινότητα, τουλάχιστον ως τον τρόπο μοντελοποίησης των χρηστών. Γενικά δεν έχει γίνει προσπάθεια να βρεθεί ένα ελάχιστο κοινό μοντέλο που να μπορεί να αξιοποιηθεί σε διαφορετικές εφαρμογές. Η έρευνα και συνεργασία προς αυτή τη κατεύθυνση είναι κάτι που μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά.

Όσον αφορά την υλοποίηση εξατομικευμένων εφαρμογών με τεχνολογίες γνώσης, υπάρχουν διάφορα ανοικτά θέματα. Ένα από αυτά είναι ο αποδοτικός συνδυασμός (integration) μηχανών κανόνων και μηχανών συμπερασμού (reasoners). Αυτός είναι απαραίτητος επειδή στην πράξη είναι πιο απλό να αναπτύσσουμε τα μοντέλα του συστήματος με οντολογίες και να υλοποιούμε τις διαδικασίες εξατομίκευσης με κανόνες. Ένα άλλο θέμα που προκύπτει είναι το πώς μπορεί να γίνει ο σημασιολογικός σχολιασμός των οντοτήτων αλλά και η υλοποίηση της εξατομικευμένης λογικής (application logic) με εύκολο τρόπο. Δεν πρέπει ο δημιουργός της εφαρμογής να είναι ειδικός στην αναπαράσταση γνώσης. Σε αυτή τη κατεύθυνση μπορούν να συμβάλουν τόσο εργαλεία ανάπτυξης όσο και η απλότητα και ο καλός σχεδιασμός κατά την δημιουργία της βάσης γνώσης (knowledge engineering). Για παράδειγμα, για τη δημιουργία των στιγμιότυπων της οντολογίας MPEG-7, που συζητήθηκε στο Κεφάλαιο 4, δημιουργήθηκε εξαρχής ένας ειδικός σχολιαστής βίντεο [140]. Αντίστοιχα εργαλεία είναι καλό να υπάρχουν σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος, αφού οι επεξεργαστές γενικού σκοπού (Π.χ. Protégé [24]) δεν είναι πάντα εύχρηστοι.

Ακρωνύμια

APG	Average Generalised Precision
API	Application Programming Interface
AR	Action Rule
ASDR	Average Situation Detection Ratio
ASP	Answer Set Programming
AUM	Application User Model
AveP	Average Precision
AWDP	Average Weighted Discounted Precision
AWP	Average Weighted Precision
AWSEEM	Automatic Web Search Engine Evaluation Methodology
BC	Borda Count
CFor	Context Foraging
CG	Cumulated Gain
CP	Context Provider
CPol	Context Polling
CR	Context Requestor
CRel	Context Relay
CReq	Context Request
CRes	Context Response
CUM	Core User Model
DAML	DARPA Agent Markup Language
DCG	Discounted Cumulated Gain
DL	Description Logics
DLP	Description Logic Programs
DoM	Degree of Match
DS	Description Scheme
DVB-T	Digital Video Broadcast – Terrestrial
ED	Edge Distance
E-R	Entity - Relationship
ESL	Expected Search Length
EVS	EValuation Scheme
FC	Feature Class
FP	Feature Property
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GUMO	General User Modeling Ontology
iDCG	ideal DCG
IMDb	Internet Movie Database
INO	Indoor Navigation Ontology
IOPE	Inputs, Outputs, Preconditions and Effects
IR	Information Retrieval
LBS	Location-based Service
LC	Local Context
LSCOM	Large Scale Concept Ontology for Multimedia
MANET	Mobile Ad hoc Network
MAP	Mean Average Precision
MDS	Multimedia Description Scheme
MHP	Multimedia Home Platform

MPEG	Moving Picture Experts Group
NAF	Negation-As-Failure
NAICS	North American Industry Classification System
nDCG	normalized DCG
NDPM	Normalized Distance Performance Measure
OSGi	Open Service Gateway Initiative
OWL	Web Ontology Language
PBC	Partial Borda Count
PDA	Personal Digital Assistant
PVR	Personal Video Recorder
RDF	Resource Description Framework
RDF(S)	RDF Scheme
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSV	Retrieval State Value
SCR	Situation Classification Rule
SDR	Situation Detection Ratio
SOA	Service Oriented Architectures
STB	Set-Top-Box
SV	Spatial Validity
SWEA	Semantic Web Enabled Applications
SWRL	Semantic Web Rule Language
SWSO	Semantic Web Service Ontology
TREC	Text Retrieval Conference
TVUO	TV User Ontology
UCD	Upwards Cotopic Distance
UDDI	Universal Description, Discovery and Integration
UHF	Ultra high frequency
UNO	User Navigation Ontology
UNSPSC	Universal Standard Products and Services Classification
WSDL	Web Service Description Language
WSDL-SA	Semantic Annotations for Web Service Description Language
WSMO	Web Service Modeling Ontology
WSMX	Web Service Modelling eXecution environment
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language
ΑμεΑ	Ατομα με Αναπηρίες
ΠΟΛΥΣΗΜΑ	Πολυμεσικές Εφαρμογές με Σημασιολογική Υποστήριξη
ΣΙ	Σημασιολογικός Ιστός
ΣΥΘ	Σημασιολογικές Υπηρεσίες Θέσης
ΥΙ	Υπηρεσίες Ιστού
ΥΣΑ	ΥπηρεσιοΣτραφείς Αρχιτεκτονικές
ΥΣΙ	Υπηρεσίες Σημασιολογικού Ιστού

Αγγλικοί όροι

Action Plan	Πλάνο
Adaptation Policies	Πολιτικές προσαρμογής
Application Business Logic	Λογική εφαρμογής
Application Model	Μοντέλο εφαρμογής
Binary relevance	Δυαδική σχετικότητα
Classification	Ταξινόμηση
Clustering	Ομαδοποίηση/Συσταδοποίηση
Collaborative behaviour	Συνεργατική συμπεριφορά
Collaborative context	Συνεργατικό Πλαίσιο
Composer	Συνθέτης
Content	Περιεχόμενο
Content Model	Μοντέλο περιεχομένου
Content Providers	Πάροχος Περιεχομένου
Context	Πλαίσιο
Context aware computing	Υπολογιστική ικανότητα με επίγνωση του πλαισίου
Context awareness	Επίγνωση πλαισίου
Context foraging process	Διαδικασία ανακάλυψης πληροφορίας πλαισίου
Context Model	Μοντέλο αναπαράστασης πλαισίου
Context Sensing	Συλλογή πληροφορίας πλαισίου
Context-aware application	Εφαρμογή με επίγνωση πλαισίου
Context-aware system	Σύστημα με επίγνωση πλαισίου
Contextual information	Πληροφορία Πλαισίου
Core user model	Βασικό μοντέλο χρήστη
Degree of Relevance	Βαθμός σχετικότητας
Degree of Match	Βαθμός Ταιριάσματος
Description Logic	Περιγραφική Λογική
Deviation	Απόκλιση
Domain Ontology	Οντολογία Πεδίου Ενδιαφέροντος
Environment Model	Μοντέλο Περιβάλλοντος
Environmental Context	Πλαίσιο Περιβάλλοντος
Expert	Ειδικός
Full rankings	Πλήρως διατεταγμένη λίστα/κατάταξη
Full relevance judgments	Πλήρεις κρίσεις σχετικότητας (δηλ για όλες τις υπηρεσίες)
Fuzzy Logic	Ασαφής Λογική
Fuzzy set	Ασαφές σύνολο
Fuzzy Sets Theory	Θεωρία Ασαφών Συνόλων
Fuzzy variable	Ασαφής μεταβλητή
Graded relevance	Βαθμωτή κίιμακα σχετικότητας
Incomplete relevance judgments	Ελλιπείς κρίσεις σχετικότητας
Inference	Συλλογιστική
Inference engine	Μηχανή συμπερασμού/συλλογιστικής
Inferred context	Επαγόμενο πλαίσιο
Intrinsic component	Εγγενής συνιστώσα
Invalid context	Μη-έγκυρο πλαίσιο
Linguistic terms	Λεκτικοί όροι
Location Server	Εξυπηρέτης θέσης
Location-based service	Υπηρεσία θέσης

Matching Engine	Μηχανή ταύτιστης (ανακάλυψης)
Metric	Μετρική
Mobile Application	Εφαρμογή Κινητού Υπολογισμού
Mobile Computing	Κινητός Υπολογισμός
Model axiom	Αξίωμα μοντέλου
Model instances	Στιγμιότυπα μοντέλου
Multimedia Component	Πολυμεσικό Συστατικό
Navigation Application	Εφαρμογή Πλοήγησης
Navigation Policies	Πολιτικές πλοήγησης
Nearest Neighbor	Κοντινότερος γείτονας
Ontology Classification	Ταξινόμηση οντολογίας
Partial ranking	Μερικώς διατεταγμένη κατάταξη
Pervasive Computing	Διάχυτος Υπολογισμός
Precision	Ακρίβεια
Reasoner	Μηχανή συμπερασμού
Reasoning	Συμπερασμός
Reasoning Component	Συστατικό συμπερασμού
Recall	Ανάκληση
Residential Gateway	Οικιακή Πύλη
Rules Engine	Μηχανή κανόνων
Scheduler	Χρονοπρογραμματιστής
Semantic annotation	Σημασιολογικός σχολιασμός
Semantic Component	Σημασιολογικό Συστατικό
Service Advertisement	Δημοσίευση/περιγραφή υπηρεσίας
Service Matchmaking Engine	Μηχανή ταύτισης υπηρεσιών
Service Provider	Πάροχος Υπηρεσιών
Service Registry	Μητρώο Υπηρεσιών
Service Request	Αίτηση υπηρεσίας
Service Requestor	Αιτών υπηρεσίας
Short Range Communications	Επικοινωνίες μικρής εμβέλειας
Situation Classification	Ταξινόμηση Κατάστασης
Spatial DB	Χωρική βάση δεδομένων
Spatial validity	Χωρική εγκυρότητα
User Capabilities	Ικανότητες του χρήστη
User Context	Πλαίσιο χρήστη
User Demographics	Δημογραφικά στοιχεία του χρήστη
User model	Μοντέλο χρήστη
User preferences	Προτιμήσεις χρήστη
User profile	Προφιλ χρήστη
User situation	Κατάσταση χρήστη

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. C. Anagnostopoulos, S. Hadjiefthymiades, "On the Application of Epidemical Spreading in Collaborative Context Aware Computing", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 12, issue. 4, Oct. 2008, pp. 43-55

2. C. Anagnostopoulos, P. Mpougiouris, S. Hadjiefthymiades, “Prediction Intelligence in Context Aware Applications”, *ACM SIGMOBILE / SIGMOD International Conference on Mobile Data Management*, 2005, pp. 137-141

3. C. Anagnostopoulos, A. Tsounis, S. Hadjiefthymiades, "Context Awareness in Mobile Computing Environments", *Special Issue on Advances in Wireless Communications Enabling Technologies for 4G, Wireless Personal Communication Journal, Springer*, 2(3), August 2007, pp. 454-464

4. C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henricksen, J. Indulska, D. Nicklas, A. Ranganathan, D. Riboni, A survey of context modelling and reasoning techniques, *Pervasive and Mobile Computing*, In Press, Corrected Proof, Available online 9 June 2009, ISSN 1574-1192

5. T. Strang, and C. Linnhoff-Popien. A context modeling survey. *In First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning And Management, UbiComp* 2004.

6. J. Farrell and H. Lausen, Eds., "Semantic Annotations for WSDL and XML Schema", *W3C Candidate Recommendation*, 26 January 2007, http://www.w3.org/TR/sawsdl/

7. F. Colasuonno, S. Coppi, A. Ragone, L.L. Scorcia, T. Di Noia, E. Di Sciascio, “jUDDI+: A SemanticWeb Services Registry enabling Semantic Discovery and Composition”, *8th IEEE International Conference on and Enterprise Computing, E-Commerce, and E-Services*, 2006

8. K. Järvelin and J. Kekäläinen, Cumulated gain-based evaluation of IR techniques. *ACM Trans. Inf. Syst.* 20, 4 (Oct. 2002), pp. 422-446.

9. M. Weiser, “The computer for the twenty-first century” *Scientific American*, September 1991. (Reprinted in IEEE Pervasive Computing, Jan-Mar 2002)

10. G. Alyfantis, S. Hadjieftymiades, L. Merakos, “MITOS: A Smart Spaces System for Pervasive Computing”, in the Post-Proceedings of the EDBT 2004 Pervasive Information Management Workshop, Crete, Greece, pp. 376-384.

11. T. Berners-Lee, J. Hendler and O. Lassila: "The Semantic Web", *Scientific American* 284(5), May 2001, pp. 34-43

12. G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, and V. Machiraju, "*Web Services. Concepts, Architectures and Applications*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

13. R. Chinnici, J. J. Moreau, A. Ryman, S. Weerawarana, (Ed.) "Web Services Description Language (WSDL)", Version 2.0, Part 1: Core Language. *World Wide Web Consortium (W3C)*, Retrieved January 25, 2006 from http://www.w3.org/TR/wsdl20/, 2006.

14. L. Clément, A. Hately, C. V. Riegen, T. Rogers, "*UDDI Version 3.0.2"*, Retrieved January 25, 2006 from http://uddi.org/pubs/uddi_v3.htm, 2006.

15. A. Sajjanhar, J. Hou, and Y. Zhang, "Algorithm for Web Services Matching", In J. X. Yu, X. Lin, H. Lu, &Y. Zhang (Ed.), *Advanced Web Technologies and Applications: 6th Asia-Pacific Web Conference (APWeb),* Hangzhou: Springer-Verlag, 2004, pp. 665-670.

16. X. Dong, A. Y. Halevy, J. Madhavan, E. Nemes, and J. Zhang, "Similarity Search for Web Services". In M.A. Nascimento, M.T. Özsu, D. Kossmann, R.J. Miller, J.A. Blakeley, K. B. Schiefer (Ed.), *Proceedings of the Thirtieth International Conference on Very Large Data Bases (VLDB),* Toronto: Morgan Kaufmann, 2004, pp. 372-383.

17. S. McIlraith, and D. Martin, "Bringing semantics to web services", *IEEE Intelligent Systems, 18(1)*, 2003, pp. 90–93.

18. D. Martin, M. Paolucci, S. McIlraith, M. Burstein, D. McDermott, D. McGuinness, B. Parsia, T. Payne, M. Sabou, M. Solanki, N. Srinivasan, and K. Sycara, "Bringing Semantics to Web Services: The OWL-S Approach", In J. Cardoso, & A. Sheth (Ed.), A Semantic Web Process: powering next generation of processes with Semantics and Web Services, *Lecture Notes in Computer Science Vol. 3387*, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, pp. 26-42.

19. K. Li, K. Verma, R. Mulye, R. Rabbani, J. Miller, and A. Sheth, "Designing Semantic Web Processes: The WSDL-S Approach", In J. Cardoso, A. Sheth (Ed.), *Semantic Web Services, Processes and Applications*, Springer-Verlag, 2003.

20. D. Roman, Keller, U., Lausen, H., de Bruijn, J., Lara, R., Stollberg, M., Polleres, A., Feier, C., Bussler, C., and D. Fensel, „Web Service Modeling Ontology", *Applied Ontology*, vol. 1, no. 1, 2005, pp. 77–106.

21. SWSL Committee, "*Semantic Web Services Framework (SWSF)*", Retrieved January 25, 2006 from http://www.daml.org/services/swsf, 2005.

22. A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, and M. Corcho, *"Ontological Engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web*", London: Springer-Verlag, 2004.

23. M. Paolucci, T. Kawamura, T. R. Payne, and K. P. Sycara, "Semantic Matching of Web Services Capabilities"*, Lecture Notes In Computer Science: Vol. 2342. First International Semantic Web Conference on the Semantic Web*, Springer-Verlag, Sardinia, 2002, pp. 333 – 347.

24. The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System, http://protege.stanford.edu/

25. L. Li, and I. Horrocks, "A Software Framework for Matchmaking Based on Semantic Web Technology", *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 6, no. 4, 2004, pp. 39-60.

26. M. Paolucci, T. Kawamura, T. R. Payne, and K. P. Sycara, "Semantic Matching of Web Services Capabilities"*,* In I. Horrocks, J. Hendler (Ed.)**,** *Lecture Notes In Computer Science: Vol. 2342. First International Semantic Web Conference on The Semantic Web*, Sardinia: Springer-Verlag, 2002, pp. 333 – 347.

27. V. Tsetsos, C. Anagnostopoulos, and S. Hadjiefthymiades, "Semantic Web Service Discovery: Methods, Algorithms and Tools", chapter in *Semantic Web Services: Theory, Tools and Applications (Ed. Dr. Jorge Cardoso)*, IDEA Group Publishing.

28. OWL-S/UDDIM, "*OWL-S UDDI Matchmaker*", Retrieved January 25, 2006 from http://projects.semwebcentral.org/projects/owl-s-uddi-mm/, 2005.

29. STWS, "*IBM Semantic Tools for Web Services*", Retrieved January 25, 2006 from http://www.alphaworks.ibm.com/tech/wssem, 2006.

30. M. Klusch, B. Fries, M. Khalid, and K. Sycara, "OWLS-MX: Hybrid Semantic Web Service Retrieval" In *1st Intl. AAAI Fall Symposium on Agents and the Semantic Web*, Arlington VA: AAAI Press, 2005.

31. K. Verma, K. Sivashanmugam, A. Sheth, A. Patil, S. Oundhakar, and J. Miller, "METEOR-S WSDI: A Scalable P2P Infrastructure of Registries for Semantic Publication and Discovery of Web Services", *Information Technology and Management*, vol. 6, no. 1, 2005, pp. 17 – 39.

32. MWSDI, “Lumina - Semantic Web Service Discovery”, Retrieved January 25, 2006 from http://lsdis.cs.uga.edu/projects/meteor-s/illumina/, 2005.

33. M. C. Jaeger, and S. Tang, “Ranked matching for service descriptions using DAML-S”, In J. Grundspenkis, M. Kirikova (Ed.), *CAiSE’04 Workshops*, Riga, Latvia: Faculty of Computer Science and Information Technology, Riga Technical University, 2004, pp. 217–228.

34. WSMX. (2006). Web Service Execution Environment. Retrieved January 30, 2006 from http://www.wsmx.org/

35. G. Meditskos, N. Bassiliades, “Structural and Role-Oriented Web Service Discovery with Taxonomies in OWL-S”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE), 15 Apr. 2009.

36. U. Küster, B. König-Ries, and A. Krug, OPOSSum - An Online Portal to Collect and Share SWS Descriptions. In *Proceedings of the 2008 IEEE international Conference on Semantic Computing,* 2008, pp. 480-481

37. OWLS-TC version 3.0, http://semwebcentral.org/frs/shownotes.php?release_id=353

38. Semantic Web Service Challenge, http://sws-challenge.org/wiki/index.php/Main_Page

39. M. Buckland, and F. Gey, “The Relationship between Recall and Precision”, *Journal of the American Society for Information Science*, vol. *45, no. 1*, 1994, pp. 12-19.

40. H. Do, S. Melnik, and E. Rahm, “*Comparison of schema matching evaluations*”, Paper presented at *2nd Annual International Workshop of the Working Group "Web and Databases" of the German Informatics Society (GI)*, Erfurt, Thuringia, Germany, 2002.

41. R. Baeza-Yates, B. Ribeiro-Neto, “*Modern Information Retrieval”*, New York: ACM Press, Addison-Wesley, 1999.

42. OWL-S Service Retrieval Test Collection, Retrieved January 25, 2006 from http://projects.semwebcentral.org/projects/owls-tc/, 2005.

43. E. Stroulia, and Y. Wang, “Structural and semantic matching for accessing web service similarity”, *International Journal of Cooperative Information Systems*, vol. 14, no. 4, 2005, pp. 407-437.

44. V. Tsetsos, C. Anagnostopoulos, and S. Hadjiefthymiades, "On the evaluation of Semantic Web Service matchmaking systems", *4th IEEE European Conference on Web Services (ECOWS)*, Zurich, Switzerland, 2006

45. A. Bandara, "Semantic Description and Matching of Services for Pervasive Environments", PhD Thesis, University of Southampton, 2008.

46. U. Küster, and B König-Ries, "Evaluating Semantic Web Service Matchmaking Effectiveness Based on Graded Relevance," in *ISWC '08*, Karlsruhe, Germany, 2008.

47. TREC. [Online]. Retrieved January 25, 2006 from http://trec.nist.gov/

48. S. Wu, and S. McClean, "Information Retrieval Evaluation with Partial Relevance Judgment," in *BNCOD*, 2006, pp. 86-93.

49. C. Buckley, and E. M. Voorhees, "Retrieval Evaluation with Incomplete Information," in *SIGIR '04*, Sheffield, South Yorkshire, UK, 2004.

50. P. Ahlgren, and L. Gronqvist, "Retrieval Evaluation With Incomplete Relevance Data: A Comparative Study of Three Measures," in *CIKM '06*, Virginia, USA, 2006.

51. E. Yilmaz and J. A. Aslam, "Estimating Average Precision with Incomplete and Imperfect Judgments," in *CIKM '06*, Virginia, USA, 2006.

52. J. De Beer and M.-F. Moens, "Rpref—a generalization of bpref towards graded relevance judgments.," in *SIGIR '06*, 2006, pp. 637–638.

53. K. Noriko, K. Kazuko, and Y. Masaharu, “Information Retrieval System Evaluation using Multi-grade Relevance Judgments. Discussion on Averageable Single-numbered Measures”, IPSJ SIG Notes FI-63-12, 2001, pp. 105-112

54. K. Kekäläinen and J. Jaana, "IR evaluation methods for highly relevant documents," in *SIGIR '00*, 2000, pp. 41-48.

55. T. Sakai, "New performance metrics based on multigrade relevance: Their application to question answering," in *NTCIR '04*, Tokyo, Japan, 2004.

56. T. Sakai, "Alternatives to Bpref," in SIGIR, Amsterdam, The Netherlands, 2007.

57. T. Sakai and N. Kando, "On information retrieval metrics designed for evaluation with incomplete relevance assessments," *Inforamtion Retrieval*, 2008, pp. 447-470.

58. W. Cooper, "Expected Search Length: A Single Measure of Retrieval Effectiveness Based on the Weak Ordering Action of Retrieval Systems," *American Documentation*, 1968, pp. 30–41.

59. V. Raghavan and G. Jung, "A Critical Investigation of Recall and Precision as Measures," *ACM Transactions on Information Systems*, 1989, pp. 205–229.

60. F. McSherry and M. Najork, "Computing Information Retrieval Performance Measures Efficiently in the Presence of Tied Scores," in *Lecture Notes in Computer Science*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.

61. Y. Yao and B, Zhou, "Evaluating Information Retrieval System Performance Based on Multi-grade Relevance," in *ISMIS*, 2008.

62. C. Nicholas, P. Cahan, and I. Soboroff, “Ranking retrieval systems without relevance judgments”, In Proceedings of the *24th ACM SIGIR conference*, 2001.

63. F. Can and R. Nuray, "Automatic Ranking of Retrieval Systems in Imperfect Environments," in *SIGIR ' 03*, Toronto, Canada, 2003.

64. R. Nuray, A. Sevdik, and F. Can, "Automatic performance evaluation of Web search engines", *Information Processing and Management*, 2004, pp. 495 - 514.

65. F. Can and R. Nuray, "Automatic ranking of information retrieval systems using data fusion", *Information Processing and Management*, 2006, pp. 595–614.

66. F. Crestani and S. Wu, "Methods for Ranking Information Retrieval Systems Without Relevance Judgements", in *SAC ' 03*, Florida, USA, 2003.

67. A. Spoerri, "Using the structure of overlap between search results to rank retrieval systems without relevance judgments", *Information Processing and Management*, 2007, pp. 1059-1070.

68. D. A. Buell, and D. H., Kraft, “Performance measurement in a fuzzy retrieval environment”. *4th Annual international ACM SIGIR Conference on information Storage and Retrieval*, Oakland, California, May, 1981.

69. L. Zadeh, “From Computing with Numbers to Computing with Words -- From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions”, *IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol.* 45, no. 1, 1999, pp.105-119.

70. G. Bordogna, and G. Pasi, “A fuzzy linguistic approach generalizing Boolean information retrieval: A model and its evaluation”, *Journal of the American Society for Information Science*, vol. 44, 1993, pp. 70-82.

71. L. Zadeh, “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, vol. 8, 1965, pp. 338-353.

72. L. Zadeh, “The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning Part I”, *Information Sciences*, vol. 8, 1975, pp. 199-249.

73. R. Yager, “An approach to ordinal decision making”. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 2, 1995, pp. 101-113.

74. D. Dubois, “A new definition of the fuzzy cardinality of finite sets preserving the classical additivity property”, *Bull. Stud. Ecxch. Fuzziness Appl. (BUSEFAL) 5*, 1981.

75. U. Küster, H. Lausen, and B. König-Ries, “Evaluation of Semantic Service Discovery - A Survey and Directions for Future Research”, Post-Proceedings of the *2nd Workshop on Emerging Web Services Technology (WEWST07) in conjunction with the 5th IEEE European Conference on Web Services (ECOWS07)*, Halle (Saale), Germany , November 2007.

76. L. Kleinrock, Nomadic computing—an opportunity. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 25, 1 (Jan. 1995), pp. 36-40.

77. R. K. Balan and M. Satyanarayanan, “The Case for Cyber Foraging”, *Proc. 10th ACM SIGOPS European Workshop*, ACM Press, 2002, pp. 87-92

78. C. Anagnostopoulos and S. Hadjiefthymiades, Enhancing Situation Aware Systems through Imprecise Reasoning, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, no. 10, 2008, pp. 1153-1168

79. X.H. Wang, et al. Ontology based context modeling and reasoning using OWL, In *Proc. of the Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops,* 2004, pp. 18-22

80. H. Chen and T. Finin, An Ontology for a Context Aware Pervasive Computing Environment, *IJCAI workshop on ontologies and distributed systems*, Acapulco MX, 2003.

81. P.T. Eugster, et al. Epidemic information dissemination in distributed systems, *Computer* , vol.37, no.5, 2004, pp. 60-67

82. P., Costa, et al. When cars start gossiping. In *Proceedings of the 6th Workshop on Middleware For Network Eccentric and Mobile Applications*, Glasgow, Scotland.. 2008, pp. 1-4.

83. A. Carzaniga and A. Wolf, L. Forwarding in a content-based network. In *Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols For Computer Communications* Karlsruhe, Germany, 2003, pp. 163-174.

84. S. M. Mousavi, et al. "MobiSim : A Framework for Simulation of Mobility Models in Mobile Ad-Hoc Networks", *3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (IEEE WiMob)*, New York, USA, 2007.

85. C. G. Rezende, B. P. Rocha and A. A. Loureiro, Publish/subscribe architecture for mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied Computing*, Fortaleza, Ceara, Brazil, March 2008, pp. 1913-1917

86. Y. Huang and H. Garcia-Molina, Publish/Subscribe Tree Construction in Wireless Ad-Hoc Networks. *MDM*, 2003.

87. S. Baehni, C. S. Chhabra, R. Guerraoui, Frugal. Event Dissemination in a Mobile Environment. *ACM/IFIP/USENIX 6th International Middleware Conference,* 2005, pp. 205-224

88. V. Muthusamy, M. Petrovic, D. Gao, H.-A. Jacobsen, Publisher mobility in distributed publish/subscribe systems, *25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2005.* 2005, pp. 421-427

89. H.-J. Happel and S. Seedorf. "Applications of Ontologies in Software Engineering," Paper presented at *Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering (SWESE) on the 5th International Semantic Web Conference (ISWC 2006)*, Athens, Georgia, USA, 2006.

90. M. Baldoni, C. Baroglio, and N. Henze, "Personalization for the Semantic Web," *Reasoning Web, First International Summer School 2005,* LNCS Tutorial vol. 3564, Msida, Malta: Springer, 2005, pp. 173–212.

91. G. Gartner, A. Frank, and G. Retscher, "Pedestrian Navigation System for Mixed Indoor/Outdoor Environments - The NAVIO Project," In: Schrenk, M. (Ed.): *Proceedings of the CORP 2004 and Geomultimedia04 Symposium*, Vienna, Austria, 2004, pp. 165-171.

92. V. Tsetsos, C. Anagnostopoulos, P. Kikiras, and S. Hadjiefthymiades, “Semantically enriched navigation for indoor environments,” *International Journal of Web and Grid Services*, vol. 2, no. 4, Inderscience Publishers, 2006, pp. 473-478.

93. M. Baldoni, C. Baroglio, and V. Patti, “Web-based adaptive tutoring: An approach based on logic agents and reasoning about actions,” *Artificial Intelligence Review,* vol. 1, no. 22, 2004, pp. 3–39.

94. P. Dolog, N. Henze, W. Nejdl, and M. Sintek, “The Personal Reader: Personalizing and Enriching Learning Resources using Semantic Web Technologies”, *In Proceedings of the 3nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH 2004)*, LNCS 3137. Eindhoven, The Netherlands: Springer, 2004, pp. 85–94.

95. A. Srivihok, and P. Sukonmanee, “Intelligent Agent for e-Tourism: Personalization Travel Support Agent using Reinforcement Learning,” *Proceeding of the 14th International World Wide Web Conference (WWW2005) Workshop*, Chiba: Keio University, Japan, 2005.

96. F. Puhretmair, H. Rumetshofer, and E., Schaumlechner, “Extended Decision Making in Tourism Information Systems,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2455, Aix-en-Provence, France: Springer-Verlag, 2002, pp. 57-66.

97. F. Ricci, B. Arslan, N. Mirzadeh, and A. Venturini, “ITR: A Case-Based Travel Advisory System,” Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 2416. *6th European Conference on Case Based Reasoning,* Aberdeen, Scotland: Springer-Verlag, 2002, pp. 613-627.

98. D. Vallet, P. Mylonas, M. A. Corella, J. M. Fuentes, P. Castells, and Y. Avrithis, “A Semantically-Enhanced Personalization Framework for Knowledge-Driven Media Services,” *IADIS WWW/Internet Conference (ICWI 2005)*, Lisbon, Portugal: IADIS Press, 2005.

99. Y. B. Fernandez, J. J. P. Arias, M. L. Nores, A. G. Solla, and M. R. Cabrer , “AVATAR: an improved solution for personalized TV based on semantic inference,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* IEEE Consumer Electronics Society, pp. 223-231.

100. C. B. Anagnostopoulos, A. Tsounis, and S. Hadjiefthymiades, “Context Awareness in Mobile Computing Environments.” *Wireless Personal Communications,* vol. 42, no. 3, 2007, pp. 445-464.

101. C. Stephanidis and A. Savidis, “Universal Access in the Information Society: Methods, Tools, and Interaction Technologies,” *Universal Access in the Information Society*, vol. 1, no. 1, 2001, pp. 40-55.

102. A. Cali, D. Calvanese, S. Colucci, T. Di Noia, and F. M. Donini, “A description logic based approach for matching user profiles,” In Volker Haarslev, Ralf Möller (Eds.), *Proceedings of the 2004 International Workshop on Description Logics (DL2004)*, vol. 104, Whistler, British Columbia, Canada: CEUR, 2004, pp. 110-119.

103. I. Horrocks, L. Li, D. Turi, and S. Bechhofer, “The Instance Store: DL reasoning with large numbers of individuals,” *In Proc. Of the 2004 Description Logic Workshop (DL-2004)*, Whistler, British Columbia, Canada, 2004, pp. 31-40.

104. M. Jang and J. C. Sohn, “Bossam: an extended rule engine for OWL Inferencing”, *Proceedings of RuleML 2004*, Springer LNCS, vol. 3323, 2004, pp. 128-138.

105. M. Gluck, “Making Sense of Human Wayfinding: A Review of Cognitive and Linguistic Knowledge for Personal Navigation with a New Research Direction”. *Syracuse University Technical Report 3*, 1990.

106. P. Kikiras, V. Tsetsos, and S. Hadjiefthymiades, "Ontology-based User Modeling for Pedestrian Navigation Systems", *ECAI 2006 Workshop on Ubiquitous User Modeling (UbiqUM)*, Riva del Garda, Italy, August, 2006.

107. D. Heckman, B. Brandherm, M. Schmitz, T. Schwarz, B. M. von Wilamowitz-Moellendorf, “Gumo – the general user model ontology”, *User Modeling (UM)*, Edinburgh, Scotland, 2005.

108. T. Tran, P. Cimiano, and A. Ankolekar, “Rules for an Ontology-based Approach to Adaptation,” *In Proceedings of the 1st International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization*, Athens, Greece: IEEE Computer Society, 2006, pp. 49-54.

109. I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosof, and M. Dean, “SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML”, *W3C Member Submission*, 21 May 2004. Retrieved June 13, 2007, from http://www.w3.org/Submission/SWRL/.

110. Antoniou, G., & Harmelen, F.v. (2004a). A Semantic Web Primer. Massachusetts: The MIT Press.

111. RuleML, Rule Markup Initiative, Retrieved June 13, 2007, from http://www.ruleml.org/.

112. T. Eiter, G. Ianni, A. Polleres, R. Schindlauer, and H. Tompits, "Reasoning with Rules and Ontologies," *In Proceedings of Summer School Reasoning Web 2006*. Lisbon, Portugal: Springer, 2006, pp. 93-127.

113. B. N. Grosof, I. Horrocks, R. Volz, and S. Decker, "Description logic programs: Combining logic programs with description logic," *In Twelfth International World Wide Web Conference (WWW 2003)*, Budapest, Hungary: ACM, 2003, pp. 48-57.

114. C. Baral., "*Knowledge Representation, Reasoning and Declarative Problem Solving,"* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

115. N. Leone, G. Pfeifer, W. Faber, T. Eiter, G. Gottlob, S. Perri, and F. Scarcello, "The DLV System for Knowledge Representation and Reasoning," *ACM Transactions on Computational Logic*, ACM.

116. Eiter, T., Lukasiewicz, T., Schindlauer, R., & Tompits, H. (2004). Combining answer set programming with description logics for the semantic web. In Proceedings KR-2004, (pp. 141–151), TU Wien: Publisher.

117. RacerPro, Retrieved June 13, 2007, from http://www.racer-systems.com/products/racerpro/index.phtml.

118. Jena, A Semantic Web Framework for Java, Retrieved June 13, 2007, from http://jena.sourceforge.net/.

119. Jess, The Rule Engine for the Java Platform, Retrieved June 13, 2007, from http://www.jessrules.com/jess/index.shtml.

120. C. V. Damasio, A. Analyti, A. Antoniou, and G. Wagner, "Supporting open and closed world reasoning on the web," In José Júlio Alferes, J. Bailey and U. Schwertel (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4187, Budva, Montenegro: Springer, 2006, pp. 149–163.

121. M. Kritsotakis, M. Michou, E. Nikoloudakis, A. Bikakis, T. Patkos, G. Antoniou, and D. Plexousakis, "C-NGINE: A Contextual Navigation Guide for Indoor Environments," *Springer LNCS Ambient Intelligence*, 2008.

122. European Institute for Design and Disability, 2005, http://www.design-for-all.org/.

123. K. Kolomvatsos, V. Papataxiarhis, and V. Tsetsos, "Semantic Location Based Services for Smart Spaces", *2nd International Conference on Metadata and Semantics Research (MTSR)*, Corfu, Greece, October, 2007.

124. J. Yen, “Finding the k shortest loop-less paths in a network”, *Management Science*, vol. 17, 1971, pp. 712–716.

125. V. Papataxiarhis, V. Riga, V. Nomikos, O. Sekkas, K. Kolomvatsos, V. Tsetsos, P. Papageorgas, V. Xouris, S. Vourakis, S. Hadjiefthymiades, and G. Kouroupetroglou , "MNISIKLIS: Indoor LBS for All", *5th International Symposium on LBS & TeleCartography (LBS 2008)*, Salzburg, Austria, November, 2008.

126. ESRI, “ESRI Shapefile Technical Description White Paper,” Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1998.

127. PostGIS, 2005, http://postgis.refractions.net.

128. Mascopt, “Mascotte Optimization Project,” 2005, http://www-sop.inria.fr/mascotte/mascopt/.

129. H. Knublauch, R. W. Fergerson, N. F. Noy, and M. A. Musen, “The protégé OWL Plugin: an open development environment for semantic web applications,” *Third International Semantic Web Conference – ISWC*, Hiroshima, Japan, 2004.

130. J. J. Carroll, I. Dickinson, C. Dollin, D. Reynolds, A. Seaborne, and K. Wilkinson, “Jena: implementing the semantic web recommendations,” *WWW2004*, New York, USA, 2004.

131. G. D. Abowd, et al. “Cyberguide: A mobile context-aware tour guide,” *Baltzer/ACM Wireless Networks*, vol. 3, no. 5, 1997, pp. 421-433.

132. G. Lekakos, K. Chorianopoulos, and G. J. Doukidis, "Interactive Digital Television: Technologies and Applications," IGI Publishing. ISBN: 1599043610, 2007.

133. A. Papadimitriou, C. Anagnostopoulos, V. Tsetsos, S. Paskalis, and S. Hadjiefthymiades, "Integrating Semantic Technologies with Interactive Digital TV", *Networked Knowledge - Networked Media*, Springer, ISBN: 978-3-642-02183-1, 2009, pp. 305-320.

134. M. Naphade, J. R. Smith, J. Tesic, S. F. Chang, W. Hsu, L. Kennedy, A. Hauptmann, and J. Curtis, "Large-Scale Concept Ontology for Multimedia," *IEEE MultiMedia*, vol. 13, no. 3, Jul-Sept, 2006, pp. 86-91.

135. Really Simple Syndication 2.0 Specification, http://validator.w3.org/feed/docs/rss2.html.

136. J. Martinez, “Standards: Overview of MPEG-7 description tools,” *IEEE Multimedia,* vol. 9, no. 3, 2002, pp. 83–93.

137. Md. A. Rahman, M. A. Hossain, I. Kiringa, and A. El Saddik, “Towards an ontology for MPEG-7 Semantic Descriptions,” *In Proc. Intelligent Interactive Learning Object Repositories Conference (I2LOR)*, Montreal, QC, Canada, 2006.

138. C. Tsinaraki, P. Polydoros, and S. Christodoulakis, “Interoperability support for Ontology-based Video Retrieval Applications,” *Springer Lecture Notes in Computer Science, Content-Based Image and Video Retrieval*, 2004, pp. 582–591.

139. W3C Multimedia Semantics Incubator Group, “Multimedia Vocabularies on the Semantic Web”, (Ed. Michael Hausenblas), URL: http://www.w3.org/2005/Incubator/mmsem/XGR-vocabularies/.

140. G. Valkanas, V. Tsetsos, S., Hadjiefthymiades, "The POLYSEMA MPEG-7 Video Annotator", Demo at *2nd Int. Conference on Semantic and Digital Media Technologies (SAMT)*, Genova, Italy, December 2007.

141. POLYSEMA Project Web site, 2008, http://polysema.di.uoa.gr.

142. IRT, DVB Playout Server, http://www.irt.de/en/products/digital-television/dvb-playout-server.html.

143. About the OSGi Service Platform - Technical Whitepaper Revision 4.0, *Technical report*, Open Services Gateway Initiative.

144. DVB - Multimedia Home Platform (MHP) Specification 1.1.1. ETSI TS 102 812 V1.2.1.

145. S. Ferretti et al, “Web Content Search and Adaptation for IDTV: One Step Forward in the Mediamorphosis Process toward Personal-TV,” *Advances in Multimedia*, vol. 2007, Article ID 16296, 13 pages, 2007.

146. K. Tanaka, “Towards New Content Services by Fusion of Web and Broadcasting Contents”, *New Trends in Applied Artificial Intelligence*, Springer LNCS, vol. 4570, 2007, pp. 1-11

147. The MediaNET Project, http://www.ip-medianet.org.

148. Wikipedia, the free encyclopedia, 2007, http://en.wikipedia.org/wiki/.

149. W3C Web Services Activity Group, Retrieved June 13, 2007, from http://www.w3.org/2002/ws/.

150. P. Emerson, “"Collective Decision-making: The Modified Borda Count, MBC" “, in *Designing an All-Inclusive Democracy*, Springer Verlag, 2007, Part 1, pages 15-38

151. V. Tsetsos, A. Papadimitriou, C. Anagnostopoulos, and S. Hadjiefthymiades, "Integrating Interactive TV Services and the Web through Semantics", *to appear in International Journal On Semantic Web and Information Systems, SI on "Semantic Media Adaptation & Personalization"*, IGI-Global, 2010

152. V. Tsetsos, M. Tzanou and Hadjiefthymiades S. “Evaluation of Semantic Web Service Discovery Systems” *(under review)*

153. V. Tsetsos and S. Hadjiefthymiades, "An Innovative Architecture for Context Foraging", *Eighth International ACM Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access (MobiDE, in conjunction with SIGMOD/PODS 2009)*, Providence, Rhode Island, 29th June 2009

154. F. Baader, D. Calvanese, D. McGiuness, D. Nardi, and P. Patel-Schneider. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, (2003)