



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προδραστική Διαχείριση Πόρων με χρήση
της Θεωρίας Βέλτιστης Παύσης**

Σταυρούλα Γ. Βασσάκη

Μάριος Ι. Πουλάκης

Επιβλέπων: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προδραστική Διαχείριση Πόρων με χρήση
της Θεωρίας Βέλτιστης Παύσης

Σταυρούλα Γ. Βασσάκη

A.M.: ΜΟΠ150

Μάριος Ι. Πουλάκης

A.M.: ΜΟΠ145

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Νοέμβριος 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γρήγορη ανάπτυξη των ασύρματων κινητών επικοινωνιών , και οι ανάγκες για υψηλή ταχύτητα, μεγάλο εύρος ζώνης και υπηρεσίες πολυμέσων έρχονται σε σύγκρουση με το περιορισμένο ραδιο φάσμα που προορίζεται για τις υπηρεσίες αυτές. Για το λόγο αυτό η διαχείριση των ασύρματων πόρων παραμένει μια μεγάλη πρόκληση στα ασύρματα δίκτυα ακόμα και σήμερα. Στη παρούσα διπλωματική αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων καθώς και στις μεθόδους διαχείρισης των πόρων τους. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι διάφοροι μηχανισμοί εκτίμησης και πρόβλεψης θέσης ενός κινητού τερματικού οι οποίοι σε συνδυασμό με κατάλληλες μεθόδους διαχείρισης πόρων οδηγούν στην αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου. Συγκεκριμένα αναλύονται, ως επί το πλείστον, τα σχήματα προδραστικής διαχείρισης ραδιο πόρων σύμφωνα με τα οποία διατηρείται η απόδοση του συστήματος προ-σχεδιάζοντας κατανομές πόρων κατάλληλες για τις αλλαγές που γίνονται. Επιπλέον αναφέρονται ήδη υπάρχουσες προδραστικές μέθοδοι που έχουν ως στόχο τη μείωση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος των μεταπομπών στα κινητά δίκτυα μέσω της πρόβλεψης της επόμενης μελλοντικής κυψέλης και την προδέσμευση του απαιτούμενου εύρους ζώνης. Τέλος, προτείνεται ένα νέο μοντέλο προδραστικής διαχείρισης πόρων το οποίο χρησιμοποιεί την θεωρία της βέλτιστης παύσης για να προσδιορίσει τη βέλτιστη χρονική στιγμή στην οποία ένα κινητό τερματικό πρέπει να προδεσμεύσει το εύρος ζώνης.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: διαχείριση ραδιο πόρων

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ασύρματα δίκτυα, διαχείριση πόρων, πρόβλεψη θέσης, θεωρία βέλτιστης παύσης , πρόβλημα του πάρκινγκ

ABSTRACT

The rapid development of wireless mobile communications and the need for high speed, wide band and multimedia services stands in clear contrast to the limited radio spectrum allocated in international agreements. So, the radio resource management (RRM) remains a major challenge to the efficient engineering of mobile wireless networks even today. At first, in this thesis, a short report in the development of telecommunication networks as well as the methods of radio resource management is presented. Afterwards, various mechanisms which estimate and predict the location of a mobile terminal are described. These mechanisms are used in location-aware resource management schemes so as to lead to more efficient networks. Specifically, the thesis focuses on proactive resource management schemes that maintain the quality of the system, pre-allocating the resources according to the needs. Existing methods of proactive resource management are reported, which aim to reduce dropping probability in mobile networks via the prediction of terminal location and the pre-reservation of the required bandwidth. Finally a new model of proactive resource management is proposed, using optimal stopping theory to determine the optimal time of bandwidth pre-reservation.

SUBJECT AREA: radio resource management

KEY WORDS: wireless networks, resource management, location prediction, optimal stopping theory, parking problem

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.1.1 Εξέλιξη Ασύρματων Κινητών Δικτύων.....	9
1.2 Πόροι ασύρματων δικτύων.....	13
1.2.1 Βασικοί Πόροι	14
1.2.2 Έμμεσοι Πόροι.....	15
1.3 Στόχοι διαχείρισης πόρων.....	17
1.4 Μέθοδοι διαχείρισης ραδιο-πόρων (Radio Resource Management, RRM)	20
1.4.1 Γενικά	20
1.4.2 RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες σύνδεσης.....	22
1.4.3 RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες του δικτύου	29
1.4.4 Άλλες μέθοδοι RRM.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΘΕΣΗΣ	37
2.1 Γενικά	37
2.2 Εκτίμηση θέσης	37
2.2.1 Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης.....	40
2.2.2 Επίγεια συστήματα εντοπισμού θέσης	41
2.3 Πρόβλεψη θέσης	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	52
3.1 Εισαγωγή.....	52
3.2 Διαχείριση πόρων με γνώση της θέσης.....	52
3.2.1 Βραχυπρόθεσμη διαχείριση πόρων	54
3.2.2 Μακροπρόθεσμη (προδραστική) διαχείριση πόρων	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΘΕΩΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΑΥΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΠΡΟΔΡΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ	74
4.1 Εισαγωγή.....	74
4.2 Καθορισμός προβλήματος παύσης (stopping problem)	74
4.3. Προβλήματα πεπερασμένου ορίζοντα	77
4.3.1 Το κλασικό πρόβλημα της γραμματέως	77
4.3.2 Παραλλαγές του προβλήματος της γραμματέως.....	79

4.3.3 Το πρόβλημα του Parking (Parking problem)	82
4.3.4 Τροποποιημένο πρόβλημα parking	86
4.4 Μοντελοποίηση της προδραστικής διαχείρισης πόρων	90
4.5 Προσομοιώσεις και σχολιασμός αποτελεσμάτων	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΟΡΟΛΟΓΙΑ	106
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	109
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	112

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Εξέλιξη τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.....	11
Σχήμα 2 Δίκτυο 4ης γενιάς	12
Σχήμα 3 Στόχοι διαχείρισης πόρων δικτύου.....	19
Σχήμα 4 RRM αλγόριθμοι.....	22
Σχήμα 5 «Ελαφρά» και «σκληρή» μεταπομπή	24
Σχήμα 6 Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου	27
Σχήμα 7 Έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου	28
Σχήμα 8 Αλληλεπίδραση μεταξύ Packet Scheduler	35
Σχήμα 9 Χρήση του RTT	43
Σχήμα 10 Μέθοδος τριμεροποίησης.....	44
Σχήμα 11 Αλγόριθμος πρόβλεψης Liu-Maguire	48
Σχήμα 12 Μη αποδεκτή σύνδεση του χρήστη A απο το δίκτυο	55
Σχήμα 13 Δανεισμός συχνοτήτων	56
Σχήμα 14 Shadow clusters του τερματικού A.....	70
Σχήμα 15 Διαδικασίες αλγορίθμου προδέσμευσης	72
Σχήμα 16 Διαδικασία διαπραγμάτευσης.....	73
Σχήμα 17 Αναπαράσταση προβλήματος "παρκαρίσματος"	91
Σχήμα 18 Διάταξη κυψελών.....	95
Σχήμα 19 Blocking πιθανότητα προδραστικού	97
Σχήμα 20 Dropping πιθανότητα προδραστικού	97
Σχήμα 21 Διαγράμμα blocking πιθανότητας ως προς τους χρήστες για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο	98
Σχήμα 22 Διάγραμμα dropping πιθανότητας ως προς τους χρήστες για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο	99
Σχήμα 23 Έσοδα του δικτύου για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο	100
Σχήμα 24 Κόστος ανα χρήστη για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο	101
Σχήμα 25 Έσοδα του δικτύου για το προδραστικό και το μη προδραστικό μοντέλο	101

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη “Διοίκηση και Οικονομική των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων” που διενεργείται από τα Τμήματα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών και Οικονομικών Επιστημών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με αυτό το τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα, καθώς και για την υποστήριξη και τη πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για τη συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν και συνεχίζουν να μας δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια.

Σταυρούλα Γ. Βασσάκη

Μάριος Ι. Πουλάκης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο έχει ως στόχο μια συνοπτική παρουσίαση της κατάστασης που επικρατεί στον τομέα της διαχείρισης ραδιοπόρων στα κινητά ασύρματα δίκτυα. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή παρουσιάζοντας μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των κινητών ασύρματων δικτύων και των υπηρεσιών τους. Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στους πόρους ενός ασύρματου δικτύου και στην ανάγκη διαχείρισης τους παρουσιάζοντας της μεθόδους που χρησιμοποιούνται ήδη και που μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

1.1.1 Εξέλιξη Ασύρματων Κινητών Δικτύων

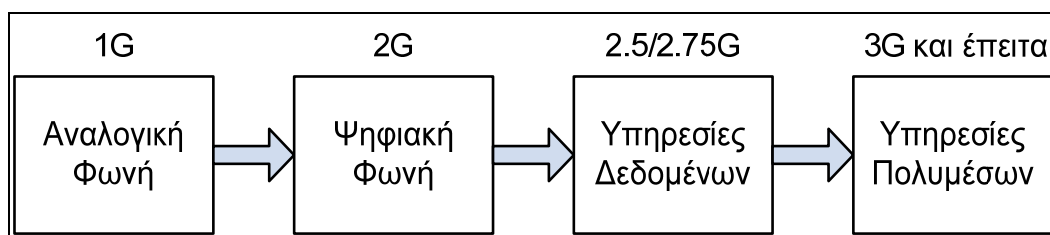
Τα ασύρματα κινητά δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε δυο ευρείες κατηγορίες: τα ασύρματα δίκτυα που έχουν μια καθορισμένη με σαφήνεια υποδομή (δηλ., κυψελωτά δίκτυα) και τα ad hoc (χωρίς υποδομή) δίκτυα. Αν και τα ad hoc δίκτυα παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, στη συνέχεια η μελέτη που ακολουθεί αναφέρεται κυρίως στα κυψελωτά ασύρματα κινητά δίκτυα. Από αυτά, τα συστήματα που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα σύγχρονα ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι τα κυψελωτά συστήματα δεύτερης και τρίτης γενιάς με χαρακτηριστικούς αντιπροσώπους το GSM και το UMTS αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφορες φάσεις από τις οποίες έχουν περάσει τα κυψελωτά δίκτυα καθώς και η τάση των νέων υπηρεσιών.

Τα πρώτα κινητά δίκτυα άρχισαν την εμπορική χρήση τους στην δεκαετία του 1980 με την εκκίνηση των συστημάτων πρώτης γενιάς (1G). Αν και σήμερα η τεχνολογία τους θεωρείται ξεπερασμένη, εν τούτοις αποτέλεσαν έναν σημαντικό σταθμό στην ιστορική εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Τα συστήματα αυτά ήταν αναλογικά κυψελωτά δίκτυα, και ανάμεσα σε αυτά ήταν το βορειοαμερικανικό σύστημα AMPS (Advanced Mobile Phone Service), το σκανδιναβικό σύστημα NMT (Nordic Mobile Telephone), το βρετανικό σύστημα TACS (Total Access Communication System), το ιαπωνικό σύστημα NAMTS (Nippon Advanced Mobile Telephone System), το γερμανικό σύστημα Netz-C και D, το γαλλικό σύστημα Radiocom2000, και το ιταλικό σύστημα RTMI/RTMS. Αυτά τα συστήματα σχεδιάστηκαν αρχικά για τη μετάδοση αναλογικής φωνής αν και

υπήρχε η δυνατότητα για μετάδοση ψηφιακών δεδομένων με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ωστόσο, σχετικά γρήγορα οι δυνατότητές τους δεν επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών των χρηστών. Τα κυριότερα προβλήματα τους ήταν η χαμηλή ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών, η υποστήριξη μόνο υπηρεσίας κλήσεων φωνής, η χαμηλή απόδοση του δικτύου, το χαμηλό επίπεδο ασφάλειας του και οι υψηλές πιθανότητες αποκλεισμού (blocking probabilities).

Από τις προσπάθειες αντιμετώπισης των διάφορων προβλημάτων των συστημάτων πρώτης γενιάς και μετά από έντονες διεργασίες γεννήθηκαν τα συστήματα δεύτερης γενιάς (2G). Τα συστήματα αυτά είχαν γίνει πλέον ψηφιακά και στον τομέα των συστημάτων αυτών διακρίνονται στα συστήματα GSM (Global System for Mobile), το ADC (American Digital Cellular or IS-54), το PDC (Personal Digital Cellular), το DCS-1800 (Digital Communication System στα 1800 MHz) και τα ασύρματα συστήματα χαμηλότερων στρωμάτων DECT (Digital European Cordless Telephone), CT2 (Cordless Telephone 2), PACS (Personal Access Communication Systems) και PHS (Personal Handy Phone System). Η δεύτερη γενιά συστημάτων κατόρθωσε να αποκαταστήσει την εμπιστοσύνη των χρηστών στις κινητές επικοινωνίες και σήμερα κατέχει εξέχουσα θέση ανάμεσα στα συστήματα επικοινωνιών. Τα χαρακτηριστικά που συνετέλεσαν στην επιτυχία και στην αλματώδη εξάπλωση αυτής της γενιάς είναι ότι το δίκτυο πλέον είναι ψηφιακό, το οποίο οδηγεί σε αναβάθμιση της ποιότητας όλων των παρεχόμενων υπηρεσιών, ότι εκτός από τις φωνητικές κλήσεις στα συστήματα αυτά υποστηρίζονται υπηρεσίες δεδομένων και παρέχονται νέες υπηρεσίες, η εν γένει βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, όπως και η εκμετάλλευση του δεδομένου φάσματος συχνοτήτων. Εξαιτίας της ψηφιακής μορφής του δικτύου και των νέων τεχνικών που αναπτύχθηκαν, τα συστήματα δεύτερης γενιάς θεωρούνται ασφαλείς υλοποιήσεις. Ωστόσο δύο κυρίως παράμετροι οδηγούν σήμερα στην διαπίστωση ότι τα συστήματα δεύτερης γενιάς δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Πρώτον, ο αριθμός των χρηστών κινητών επικοινωνιών διευρύνεται συνεχώς με ταχείς ρυθμούς και δεύτερον, υπάρχει μία αυξανόμενη ζήτηση για νέους τύπους υπηρεσιών (π.χ. video streaming, file downloading, ηλεκτρονικό εμπόριο κτλ), οι οποίες απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τις ήδη διαθέσιμες και ενισχυμένα επίπεδα ασφάλειας. Γίνεται φανερό λοιπόν ότι για την κάλυψη των απαιτήσεων αυτών είναι απαραίτητο το δίκτυο να υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και να εκμεταλλεύεται αποδοτικά όλους τους διαθέσιμους πόρους.

Δεδομένου ότι η μεγάλη ζήτηση υπηρεσιών και ταχύτητας υπηρεσιών έδειχναν ότι η τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος που χρησιμοποιούσαν τα συστήματα δεύτερης γενιάς έπρεπε να αλλάξει σε μεταγωγή πακέτου, η αλλαγή αυτή προς τα συστήματα τρίτης γενιάς επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας τα ενδιάμεσα συστήματα (2.5G) όπως το HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service), και EDGE (Enhance Data for GSM Evolution). Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα διάφορα στάδια εξέλιξης των κινητών κυψελωτών συστημάτων.



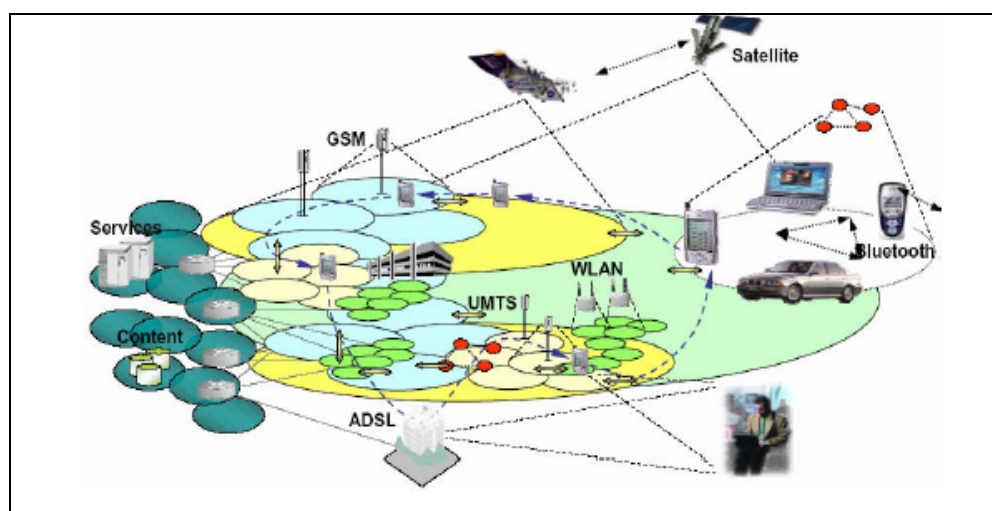
Σχήμα 1 Εξέλιξη τηλεπικοινωνιακών συστημάτων

Η εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών σε συστήματα τρίτης γενιάς (3G) ήρθε ως φυσικό επακόλουθο των απαιτήσεων των χρηστών για νέες, βελτιωμένες υπηρεσίες. Τα συστήματα τρίτης γενιάς όπως το ιαπωνικό σύστημα ARIB, το ευρωπαϊκό UMTS συστημάτων και το βορειοαμερικανικό cdma2000 βασίζονται σε αρχιτεκτονική δικτύου all-IP για να παρέχουν τις υποσχόμενες ευρυζωνικές υπηρεσίες και τις εγγυήσεις σε QoS. Εξαιτίας της τεχνολογίας CDMA(Code Division Multiple Access) την οποία κατά βάση χρησιμοποιούν, η διαπροσωπική επικοινωνία μπορεί να εμπλουτιστεί με υψηλής ποιότητας εικόνα και βίντεο, η δε πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες δημόσιων και ιδιωτικών δικτύων διευκολύνεται από τους υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και τις νέες ευέλικτες δυνατότητες που προσφέρουν τα συστήματα 3G. Σημειώνεται ότι ο κύριος αντιπρόσωπος των δικτύων τρίτης γενιάς, το UMTS, υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας. Οι βασικές απαιτήσεις που είχαν τεθεί για την ασύρματη διεπαφή τρίτης γενιάς ήταν: η υλοποίηση μεταβλητού ρυθμού μετάδοσης, η δυνατότητα υποστήριξης πολλαπλών υπηρεσιών σε μία σύνδεση, η βελτιωμένη χωρητικότητα και κάλυψη σε σχέση με το GSM καθώς και η διατήρηση συμβατότητας με το σύστημα GSM.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω στη σημερινή εποχή έχει παρατηρηθεί μεγάλη ανάπτυξη και στα τοπικά ασύρματα δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLAN), όπως το IEEE802.11b και το HIPERLAN, τα οποία πλέον συναντούνται σε πολλούς δημόσιους

χώρους, όπως αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα, εταιρίες και Πανεπιστήμια. Αυτή η μεγάλη εξάπλωση των WLAN οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ευκολία και στο χαμηλό κόστος με το οποίο μπορεί κάποιος να εγκαταστήσει ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης (Access Point, AP) και έτσι να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό χρηστών με υψηλές ταχύτητες. Ένας άλλος λόγος είναι η λειτουργία των δικτύων WLAN σε ελεύθερες περιοχές συχνοτήτων δηλαδή σε συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς την ανάγκη άδειας (Industrial Scientific and Medical, ISM). Έτσι λοιπόν μέσω των δικτύων WLAN μπορεί να παρέχεται πρόσβαση στο Internet και άλλες ευρυζωνικές υπηρεσίες γρήγορα και εύκολα, άλλες φορές με χρέωση και άλλες φορές ελεύθερα.

Στο μέλλον τα κυβελωτά συστήματα τρίτης γενιάς θα ενισχυθούν από τα συμπληρωματικά συστήματα WLAN τα οποία προσφέρουν ασύρματη πρόσβαση υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων για τους χρήστες χαμηλής κινητικότητας. Η ολοκληρωμένη 3G/WLAN δικτυακή αρχιτεκτονική παρέχει ένα μέσο για τη μελλοντική γενιά των κινητών επικοινωνιών. Η επόμενη γενιά των κινητών επικοινωνιών που καλείται τέταρτη γενιά (4G) προβλέπει την ολοκλήρωση των δικτύων σε μια ετερογενή υποδομή περιλαμβάνοντας τις διαφορετικές ασύρματες/ενσύρματες τεχνολογίες πρόσβασης, όπου οι χρήστες θα απολαμβάνουν την προσωποποιημένη, πανταχού παρούσα πρόσβαση στις εφαρμογές σε έναν “πάντα βέλτιστο” τρόπο σύνδεσης άσχετα από την κινητικότητά τους. Αυτό το σύστημα θα είναι ικανό να υποστηρίξει την παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στις εντοπισμένες περιοχές υπηρεσιών και την μη αντιληπτή δια-συστημική κινητικότητα. Το σχήμα που ακολουθεί απεικονίζει το όραμα των δικτύων 4^{ης} γενιάς:



Σχήμα 2 Δίκτυο 4ης γενιάς

Η έκρηξη των νέων ασύρματων τεχνολογιών και των δικτυακών αρχιτεκτονικών στα προηγούμενα έτη, όπως φάνηκε προηγουμένως στο κείμενο, τροφοδοτήθηκε από την ακόρεστη “δίψα” των χρηστών για τις προηγμένες υπηρεσίες δεδομένων. Η φωνή δεν είναι πλέον η βασική υπηρεσία όπως στην πρώτη και δεύτερη γενιά των κινητών συστημάτων και τα λιγοστά 9600 bits/sec που προσφέρονται από το GSM ως ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, δεν είναι ικανοποιητικά για υπηρεσίες όπως η περιήγηση στο web ή η τηλεδιάσκεψη. Ένα ευρύτερο φάσμα ευρυζωνικών ασύρματων υπηρεσιών, από τις κινητές επιχειρησιακές εφαρμογές στην κινητή ψυχαγωγία, έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια. Για το δίκτυο και τους παρόχους υπηρεσιών, η επιτυχής παράδοση των κινητών υπηρεσιών δεδομένων είναι κρίσιμη για την αύξηση των συνδρομητών και έτσι την αύξηση του μέσου εισοδήματος ανά χρήστη. Ένας όρος που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει την επιτυχή παράδοση των υπηρεσιών είναι το QoS (ποιότητα της υπηρεσίας). Η παροχή QoS λαμβάνει διαφορετικές μορφές ανάλογα με την υπηρεσία και το σύστημα που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Παραδείγματος χάριν, από την οπτική γωνία των κυψελωτών συστημάτων, το QoS αναφέρεται σε κριτήρια όπως η πιθανότητα αποκλεισμού (blocking probability) μιας κλήσης, η πιθανότητα ανεπιθύμητου τερματισμού (dropping probability) μιας κλήσης και η ασφάλεια, ενώ για τα δίκτυα IP το QoS αφορά την αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων ή την εγγύηση ότι δεν θα υπάρξουν καθυστερήσεις. Τα ολοκληρωμένα IP-κυψελωτά δίκτυα, που προβλέπονται για τα συστήματα τρίτης και μελλοντικής γενιάς, πρέπει να μειώσουν αυτές τις συστηματοστρεφείς πτυχές των απαιτήσεων QoS. Επιπλέον, η ολοκλήρωση των ετερογενών κινητών ασύρματων συστημάτων σε μια κοινή αρχιτεκτονική μεταγωγής πακέτου πρέπει να προσαρμόσει τις ειδικές απαιτήσεις υπηρεσιών από άποψη ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, καθυστέρησης, jitter και απώλειας πακέτων στους διαθέσιμους πόρους των παρεμβαλλόμενων συστημάτων.

Τέλος σημειώνεται ότι υπάρχουν διάφοροι τρόποι που το δίκτυο και οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να παραδώσουν αυτές τις εγγυήσεις QoS στους τελικούς χρήστες, όπως είναι η ανάπτυξη νέων εξυπηρετητών εφαρμογών, οι σύνθετοι μηχανισμοί προγραμματισμού, και τα πρωτόκολλα σηματοδότησης και περισσότερο από όλα η αποδοτική διαχείριση των πόρων του δικτύου.

1.2 Πόροι ασύρματων δικτύων

Έχοντας αναφέρει την εξέλιξη των ασύρματων συστημάτων και για να γίνει κατανοητό πως θα επιτευχθεί η αποδοτική διαχείριση των πόρων του δικτύου είναι απαραίτητο

πρώτα να γίνει ο προσδιορισμός των πόρων αυτών. Σε ένα ορισμένο σημείο, οι πόροι του δικτύου στα κινητά περιβάλλοντα είναι παρόμοιοι με αυτούς που συναντιούνται στις σταθερές υποδομές. Εντούτοις, υπάρχουν και μερικοί πρόσθετοι πόροι, οι οποίοι πρέπει να εξεταστούν στην περίπτωση των κινητών δικτύων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διαχειρίσιμοι πόροι, που είναι διαθέσιμοι στα ασύρματα κινητά δίκτυα. Η σωστή διαχείριση αυτών των πόρων αναμένεται να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου, ένας στόχος που επιδιώκεται από κάθε δραστηριότητα διαχείρισης του δικτύου.

Έτσι λοιπόν, οι πόροι χωρίζονται, σε εκείνους που αναφέρονται στις φυσικές οντότητες μέσα στο δίκτυο και αναφέρονται ως **βασικοί πόροι**, και σε αυτούς που είναι κάπως αφηρημένοι και οι οποίοι αναμένεται να έχουν έμμεσες επιπτώσεις στην απόδοση του δικτύου, οι οποίοι αναφέρονται ως **έμμεσοι πόροι**. Στις επόμενες υποπαραγράφους περιγράφεται αναλυτικά η κάθε μια κατηγορία.

1.2.1 Βασικοί Πόροι

Η πρώτη κατηγορία πόρων, οι βασικοί πόροι αντιστοιχούν στις μετρήσιμες ποσότητες μέσα στο κινητό δίκτυο. Η αποδοτική διαχείριση αυτών των πόρων αναμένεται να έχει σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά του δικτύου και στο QoS που λαμβάνουν οι χρήστες του. Οι πόροι αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων τους εξής:

1. **Εύρος ζώνης (Bandwidth):** Στα σταθερά δίκτυα το εύρος ζώνης είναι ένας όρος που αναφέρεται στην χωρητικότητα μεταφοράς μεταξύ των κόμβων του δικτύου, καθώς επίσης και μεταξύ των δικτύων και άλλων εξωτερικών δικτύων. Συνήθως εξαρτάται από τον hardware εξοπλισμό του δικτύου. Η ίδια έννοια ισχύει και για τα κινητά δίκτυα εντούτοις σε αυτά τα δίκτυα, το εύρος ζώνης μεταφράζεται σε παραμέτρους όπως χρονοθυρίδες και συχνότητες. Συνήθως το σταθερό μέρος ενός κινητού δικτύου έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα εύρους ζώνης σε σχέση με το ασύρματο τμήμα. Ως εκ τούτου, υποθέτουμε ότι το ασύρματο τμήμα είναι αυτό που περιορίζει την συνολική χωρητικότητα εύρους ζώνης ενός ασύρματου συστήματος. Χρησιμοποιώντας αυτό το γεγονός, η διαχείριση εύρους ζώνης και η διαχείριση ραδιο-πόρων, στις περισσότερες περιπτώσεις, θεωρείται ως ένα και το αυτό για τα κινητά δίκτυα.
2. **Ισχύς (Power):** Η ισχύς είναι ένας πόρος, ο οποίος διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στα κινητά δίκτυα. Τα τερματικά και οι σταθμοί βάσεων σε αυτά τα συστήματα μεταδίδουν τα δεδομένα τους χρησιμοποιώντας ένα ορισμένο επίπεδο ισχύος, έτσι

ώστε ο συνολικός σηματοθορυβικός λόγος (SNR) να παραμένει πάνω από ένα αποδεκτό κατώφλι. Η ισχύς της μετάδοσης είναι ένας θεμελιώδης πόρος, δεδομένου ότι οι κινητές συσκευές έχουν περιορισμένους πόρους ισχύος. Η σπατάλη αυτών των πόρων μπορεί να μειώσει περαιτέρω την αυτονομία της συσκευής και να προκαλέσει τη διαταραχή ή ακόμα και τη διακοπή της επικοινωνίας.

3. **Αποθήκευση (Storage):** Οι πόροι αποθήκευσης αναφέρονται στην χωρητικότητα των διάφορων αποθηκευτικών στοιχείων μέσα στο δίκτυο. Τέτοια στοιχεία υπάρχουν σε κάθε οντότητα μέσα στα δίκτυα (π.χ., δρομολογητές και μεταγωγούς), και ο ρόλος τους είναι να αντιμετωπίσουν τις πιθανές εκρήξεις δεδομένων, οι οποίες δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν άμεσα από τις μεταγωγικές ικανότητες αυτών των οντοτήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα στοιχεία αποθήκευσης, αποθηκεύουν προσωρινά τα εισερχόμενα πακέτα, μειώνοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα να χαθούν δεδομένα.
4. **Επεξεργασία (Processing):** Με τον όρο αυτό μετράται η υπολογιστική ισχύ των διάφορων στοιχείων του δικτύου (π.χ., δρομολογητές, εξυπηρετητές, κ.λπ.). Πρακτικά, η επεξεργασία (ή ικανότητα επεξεργασίας όπως συνήθως αποκαλείται) καθορίζει τις δυνατότητες του hardware που εμπλέκεται στην παράδοση των υπηρεσιών των δικτύων. Η υψηλή ικανότητα επεξεργασίας στους ενδιάμεσους κόμβους του δικτύου μπορεί να παρέχει σημαντική βελτίωση της απόδοσής του δικτύου. Τα πακέτα δεδομένων αναλύονται/περνάνε γρηγορότερα, τα πρωτόκολλα τρέχουν γρηγορότερα, και αυτό ισχύει για κάθε λειτουργία που περιλαμβάνει την επεξεργασία από έναν υπολογιστή. Η κατανάλωση όλων των διαθέσιμων πόρων επεξεργασίας ενός κόμβου του δικτύου, μπορεί να οδηγήσει στην ανικανότητα εξυπηρέτησης νέων αιτημάτων ή μπορεί να επιβραδύνει τις λειτουργίες του και επομένως, να υποβιβάσει τη συνολική απόδοση του δικτύου.

1.2.2 Έμμεσοι Πόροι

Οι έμμεσοι πόροι είναι εκείνοι που με την πρώτη ματιά δεν φαίνεται να επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου. Εντούτοις, στην πράξη φαίνεται ότι η διαχείρισή τους είναι σημαντική, και τα οφέλη από τον αποδοτικό χειρισμό τους μπορεί να είναι τεράστια για το δίκτυο. Οι πόροι αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων τους εξής:

1. **Cache:** Η αποθήκευση σε μνήμες cache (caching) είναι μια τεχνική διαχείρισης δεδομένων που χρησιμοποιείται από πολλά συστήματα για την βελτίωση της

απόδοση ενός δικτύου. Είναι η διαδικασία αντιγραφής μέρους των δεδομένων που βρίσκονται σε έναν μακρινό εξυπηρετητή, στο τοπικό σύστημα ή σε συστήματα που είναι γεωγραφικά διασκορπισμένα μέσα στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες του δικτύου που κάνουν αιτήσεις για να λάβουν δεδομένα από ένα μακρινό εξυπηρετητή, μπορούν να επανακατευθυνθούν σε έναν τοπικό εξυπηρετητή και να ανακτήσουν τα ίδια δεδομένα. Η διαχείριση του caching, που αφορά κυρίως διαχείριση δεδομένων μέσω μια αποδοτικής διαχείρισης των παραμέτρων caching (π.χ., μέγεθος μνημών cache, θέση των εξυπηρετητών cache κ.λ.π.), μπορεί να παρέχει σημαντικές βελτιώσεις στη συνολική απόδοση του δικτύου, μειώνοντας τις μεταφορές δεδομένων και ελευθερώνοντας τους πόρους του πυρήνα του δικτύου (εύρος ζώνης, buffers, κ.λ.π.).

2. Πρωτόκολλα (Protocols): Αν και συνήθως δεν θεωρούνται πόροι του δικτύου, τα πρωτόκολλα διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο μέσα στο δίκτυο. Μια αποδοτική υλοποίηση ή ακόμα και διαμόρφωση των πρωτοκόλλων μπορεί να προσφέρει σημαντική αύξηση στην απόδοση του δικτύου, παρέχοντας καλύτερη χρήση των βασικών πόρων όπως του εύρους ζώνης, της αποθήκευσης, κ.λ.π. Υπάρχουν διαφορετικά πρωτόκολλα, που χειρίζονται διαφορετικές διαδικασίες μέσα στο ίδιο δίκτυο. Αλλά, ακόμα και, για την ίδια λειτουργία δύο ή περισσότερα πρωτόκολλα μπορεί να υπάρχουν, κάθε ένα κατάλληλο για μια διαφορετική κατάσταση (π.χ., IP με κινητό IP ή RSVP με MRSVP). Σε κάποιες περιπτώσεις, το ίδιο πρωτόκολλο μπορεί να διαμορφωθεί (π.χ., μέγεθος παραθύρων του TCP) για να προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση ανάλογα με τον τύπο της σύνδεσης επικοινωνίας.

3. Σηματοδοσία (Signaling): Η σηματοδοσία αναφέρεται σε συγκεκριμένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για το χειρισμό των εσωτερικών λειτουργιών του δικτύου. Μερικές από αυτές τις λειτουργίες είναι η σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο, ο χειρισμός των ενεργών κλήσεων και πολλές άλλες. Κάθε μια από αυτές τις λειτουργίες απαιτεί την ανταλλαγή ορισμένων μηνυμάτων μεταξύ συγκεκριμένων κόμβων του δικτύου. Στα δίκτυα πακέτων χρησιμοποιείται συνήθως σηματοδοσία μέσα στο εύρος ζώνης (in band signaling) , το οποίο σημαίνει ότι τα μηνύματα σηματοδοσίας καταναλώνουν μέρος του χρήσιμου εύρους ζώνης. Στα κυψελωτά κινητά συστήματα η ραδιο-σηματοδοσία μεταδίδεται μέσω συγκεκριμένων ασύρματων καναλιών, είτε αφιερωμένων σε μια κλήση είτε κοινών για όλα τα τερματικά που υπάρχουν στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Η υπερβολική ή περιττή σηματοδοσία μπορεί να προκαλέσει συμφόρηση στο δίκτυο και να υποβιβάσει σημαντικά την απόδοσή του.

1.3 Στόχοι διαχείρισης πόρων

Έχοντας καθορίσει παραπάνω τους διαφορετικούς διαθέσιμους πόρους σε ένα ασύρματο σύστημα, στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικοί στόχοι της διαχείρισης πόρων του δικτύου. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως ο κύριος στόχος πίσω από τη διαχείριση των πόρων είναι η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Εντούτοις, υπάρχουν, και πιο συγκεκριμένοι στόχοι που είναι κρυμμένοι πίσω από αυτόν τον αρχικό στόχο. Αυτοί οι στόχοι μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία παρατηρούνται. Για να καταστήσει αυτό σαφέστερο, κάποιος πρέπει να σκεφτεί τους δύο βασικούς πρωταγωνιστές που συμμετέχουν στη λειτουργία του δικτύου: ο ένας είναι ο πελάτης που χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που προσφέρονται από το δίκτυο και ο άλλος είναι ο πάροχος που είναι αυτός στον οποίο ανήκει το δίκτυο και προσφέρει τις υπηρεσίες. Από την μια μεριά μερικά από τα πρώτα πράγματα που αναμένονται από ένα υψηλής απόδοσης δίκτυο είναι η καλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS), η μικρή καθυστέρηση, και η υψηλή διαθεσιμότητα. Από την άλλη μεριά ο πάροχος θα εξετάσει περαιτέρω ζητήματα όπως τη χωρητικότητα του δικτύου ή τη δίκαιη κατανομή του φορτίου σε όλο το δίκτυο.

Οπτική γωνία χρήστη

Ο τελικός καταναλωτής των υπηρεσιών του δικτύου είναι ο τελικός χρήστης. Στα κινητά περιβάλλοντα ο τελικός χρήστης αντιστοιχεί στο φυσικό πρόσωπο, το οποίο κατέχει την κινητή συσκευή και την χρησιμοποιεί για να συνδεθεί με το δίκτυο και να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του. Υπάρχουν τρία πράγματα που ένας τέτοιος χρήστης αναμένει από ένα δίκτυο υψηλής απόδοσης:

1. Η δυνατότητα να συνδέεται με το δίκτυο όποτε επιθυμεί. Αυτό εκφράζεται από το γνωστό παράγοντα της πιθανότητας αποκλεισμού (blocking probability) των σταθερών δικτύων, η οποία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη.
2. Η δυνατότητα συνεχής εξυπηρέτησης από το δίκτυο, σε όλο το διάστημα που κινείται μέσα στην περιοχή κάλυψης του δικτύου. Με άλλα λόγια η πιθανότητα ανεπιθύμητου τερματισμού (dropping probability) για έναν συνδεδεμένο χρήστη πρέπει να είναι χαμηλή και συγχρόνως οι περίοδοι διακοπών στις συνδέσεις του να είναι λίγες και με μικρή διάρκεια.
3. Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) που προσφέρεται στο χρήστη πρέπει να είναι αρκετά σταθερή και δεν πρέπει να υποβιβάζεται κατά τη διάρκεια της μετακίνησής του μέσα στο δίκτυο. Συνήθως, το QoS ενσωματώνει παραμέτρους όπως: διατιθέμενο εύρος ζώνης, υφιστάμενη καθυστέρηση και ρυθμός λανθασμένων bits.

Εντούτοις, το QoS είναι μια ευρεία έννοια που καλύπτει πολλές πτυχές του δικτύου (δηλ., διαφορετικά στρώματα και τμήματα του δικτύου) και των υποστηριγμένων υπηρεσιών του. Επομένως, σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να αξιολογηθεί το προσφερόμενο QoS με ντετερμινιστικό τρόπο.

Άλλοι στόχοι για τους χρήστες, που δεν είναι προφανείς με την πρώτη ματιά, είναι μεταξύ άλλων οι εξής:

- 4. Υψηλή αυτονομία:** Οι κινητές συσκευές δεν έχουν συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Η κινητικότητα περιορίζει τη δυνατότητά τους να συνδεθούν με μια ηλεκτρική πηγή επομένως είναι απαραίτητη η περιοδική επαναφόρτισή τους. Για να αυξηθεί η αυτονομία του τερματικού πρέπει να χρησιμοποιηθούν αποδοτικά σχήματα διαχείρισης ισχύος. Η μετάδοση σε υψηλά επίπεδα ισχύος, όταν δεν υπάρχει ανάγκη, όχι μόνο δεν προσφέρει κανένα όφελος στην ποιότητα της επικοινωνίας αλλά και μειώνει την αυτονομία της συσκευής.
- 5. Προστασία υγείας:** το οποίο σημαίνει ότι ο χρήστης αναμένει να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του δικτύου χωρίς κανένα κίνδυνο για την υγεία του. Οι διαμάχες για τους κινδύνους υγείας που προκαλούνται με την χρήση των κινητών τερματικών συνεχίζονται ακόμα, εντούτοις όλοι συμφωνούν ότι η ισχύς μετάδοσης τους καθώς και αυτή των σταθμών βάσεων πρέπει να διαμορφωθούν στο κατώτατο αποδεκτό επίπεδο, ώστε τέτοιοι ενδεχόμενοι κίνδυνοι να ελαχιστοποιηθούν.

Οπτική γωνία δικτύου

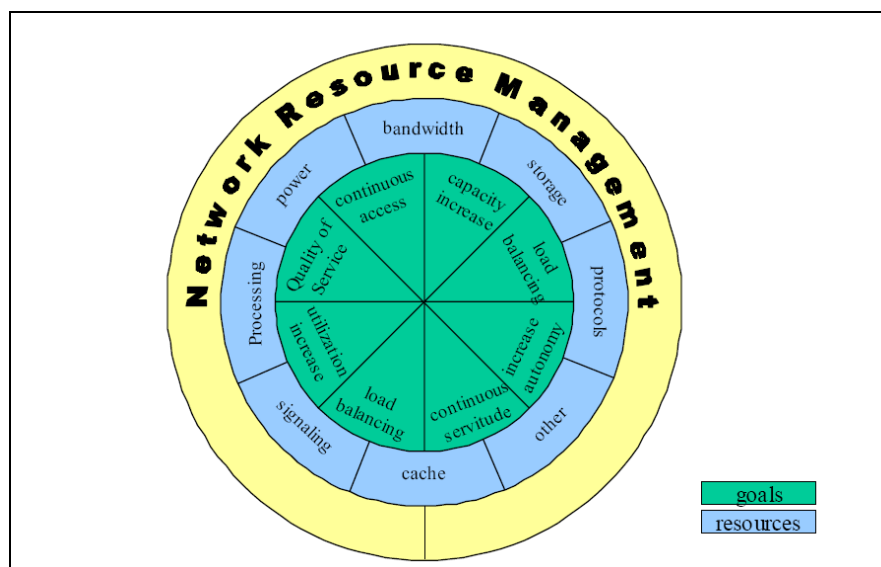
Κοιτάζοντας από την οπτική γωνία του δικτύου, μπορεί να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω στόχοι που αφορούν τους χρήστες βρίσκονται στο στόχαστρο και του παρόχου του δικτύου. Αυτό είναι λογικό, αφού ο πάροχος θέλει να διατηρήσει αυξημένη την ικανοποίηση των χρηστών του προκειμένου αυτοί να παραμείνουν στο δίκτυο. Επιπλέον, ένα υψηλό επίπεδο ικανοποίησης είναι πιθανό να δελεάσει και νέους χρήστες στο δίκτυό του, αφού ουσιαστικά αυξάνεται η “φήμη” του δικτύου. Εντούτοις, υπάρχουν πρόσθετοι στόχοι για έναν πάροχο για το δίκτυό του. Πιο αναλυτικά είναι οι εξής:

- 1.** Η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου του. Η χωρητικότητα αναφέρεται στον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο ταυτόχρονα. Είναι προφανές γιατί ένας πάροχος επιθυμεί τη μέγιστη χωρητικότητα για το δίκτυό του. Περισσότερη χωρητικότητα σημαίνει περισσότεροι χρήστες και περισσότεροι χρήστες

σημαίνει περισσότερα χρήματα. Εντούτοις πρέπει να σημειωθεί, ότι η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου βοηθά έμμεσα και την εκπλήρωση μερικών από τους στόχους που αφορούν τους χρήστες. Οι πιθανότητες αποκλεισμού και ανεπιθύμητου τερματισμού μειώνονται περαιτέρω. Ένα πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί, ως συνέπεια αύξηση της χωρητικότητας είναι η υποβάθμιση του υφιστάμενου QoS, δεδομένου ότι ο μεγάλος αριθμός χρηστών καταναλώνει περισσότερους πόρους και παράγει υψηλότερα φορτία για το δίκτυο.

2. Η υψηλή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου είναι ένα άλλο ζήτημα που προσδοκείται από τον πάροχο. Ένας πάροχος, δεν θα επιθυμούσε το δίκτυό του να έχει υψηλό φορτίο σε ορισμένα μέρη, ενώ να παραμένει αχρησιμοποίητο ή υποαπασχολούμενο σε άλλα. Μια ισορροπημένη λειτουργία είναι επιθυμητή, όπου το φορτίο διανέμεται αποτελεσματικά μεταξύ των διάφορων μερών του δικτύου, δεδομένου ότι μπορεί να ελευθερώσει αποθηκευτικό χώρο, επεξεργασία, και πόρους εύρους ζώνης στα κορεσμένα μέρη του δικτύου. Η πλήρης εξισορρόπηση φορτίου, φυσικά, δεν είναι πάντα δυνατή, δεδομένου ότι ορισμένα μέρη του δικτύου είναι περισσότερο επιρρεπή σε υψηλές συσσωρεύσεις των χρηστών από άλλα (π.χ., περιοχές στην πόλη έναντι των προαστιακών περιοχών). Εντούτοις, οι προσεκτικές αποφάσεις διαχείρισης μπορούν, σίγουρα, να βελτιώσουν την κατάσταση και να παρέχουν την αύξηση της χρησιμοποίησης καθώς επίσης και τη διατήρηση ενός αποδεκτού επιπέδου QoS προς τους χρήστες του δικτύου.

Στο παρακάτω σχήμα αναπαριστώνται οι ραδιο-πόροι των ασύρματων δικτύων και οι προσδοκώμενοι στόχοι των χρηστών και των παρόχων.



Σχήμα 3 Στόχοι διαχείρισης πόρων δικτύου

1.4 Μέθοδοι διαχείρισης ραδιο-πόρων (Radio Resource Management, RRM)

1.4.1 Γενικά

Οι πόροι των κινητών δικτύων, όπως και οι περισσότεροι φυσικοί πόροι είναι πεπερασμένοι. Εάν θα μπορούσε να υπάρξει ένα δίκτυο με άπειρη χωρητικότητα και εύρος ζώνης, δεν θα υπήρχε ανάγκη για διαχείριση των πόρων του. Αλλά αυτό δεν είναι εφικτό και επομένως η ανάγκη αυτή υπάρχει και θεωρείται αναπόφευκτη, ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν ως συνέπεια της κατάχρησης των πόρων. Επιπλέον, οι πόροι των δικτύων έχουν δύο χαρακτηριστικά που έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη διάφορων μηχανισμών και στρατηγικών για τη συστηματική διαχείρισή τους. Αυτά είναι ότι είναι συγκεκριμένοι και ότι μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Στα κινητά ασύρματα δίκτυα, όλοι οι διαθέσιμοι ραδιοπόροι πρέπει να χρησιμοποιηθούν με τον αποδοτικότερο τρόπο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί καλύτερα το λιγοστό ραδιοφάσμα. Η αποδοτική χρήση του ραδιοφάσματος είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει το κόστος των υπηρεσιών, ενώ ο αριθμός των σταθμών βάσης (BSs) που απαιτούνται για να καλύψουν μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή είναι ένας κρίσιμος παράγοντας ο οποίος επιδρά άμεσα στο κόστος ενός παρόχου, και, για μια δεδομένη υπηρεσία και κατηγορία υπηρεσίας, καθορίζει: το απαραίτητο ποσό φάσματος (capital expenditure - CapEx), τον απαραίτητο αριθμό των σταθμών βάσης (CapEx, operational expenditures - OpEx), τον απαραίτητο αριθμό των sites και τη σχετική συντήρησή τους (OpEx), και, τελικά, την τιμολόγηση του καταναλωτή. Μια μείωση στον αριθμό των σταθμών βάσης, και, ως εκ τούτου, στο κόστος υπηρεσίας, μπορεί να επιτευχθεί από την αποδοτικότερη επαναχρησιμοποίηση του ραδιοφάσματος. Συνεπώς, μια αυξανόμενη φασματική αποδοτικότητα βελτιώνει τα οικονομικά των διαχειριστών ως εξής: οδηγεί σε μειωμένο εξοπλισμό CapEx/OpEx ανά συνδρομητή, σε μειωμένο αριθμό sites στις περιοχές περιορισμένης χωρητικότητας, και σε λιγότερες απαιτήσεις φάσματος. Επίσης βελτιώνει την οικονομική ανεκτικότητα των τελικών χρηστών, ειδικά για τις ευρυζωνικές υπηρεσίες καθώς το κόστος παροχής υπηρεσιών απεικονίζεται άμεσα στην τιμολόγηση των υπηρεσιών. Τέλος η αυξημένη φασματική αποδοτικότητα μειώνει τα εμπόδια εισόδου για νέους παρόχους και για νέες υπηρεσίες δεδομένου.

Όσον αφορά την επόμενη γενιά των κινητών συστημάτων, η ανάγκη για βελτίωση της κάλυψης, της χωρητικότητας των συστημάτων και της ποιότητας των υπηρεσιών γίνεται όλο και περισσότερο σημαντική. Διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών έχουν

διαφορετικές απαιτήσεις QoS και οι μελλοντικές υπηρεσίες θα έχουν επίσης ευρέως διαφορετικές απαιτήσεις QoS. Το δίκτυο πρέπει να χειριστεί αυτές τις απαιτήσεις προκειμένου να ικανοποιήσει τους τελικούς χρήστες χωρίς σπατάλη των πόρων του. Επιπλέον, για να έχει νόημα, η παροχή QoS πρέπει να γίνεται από το ένα άκρο στο άλλο (δηλ., από την υπηρεσία μέχρι το τερματικό).

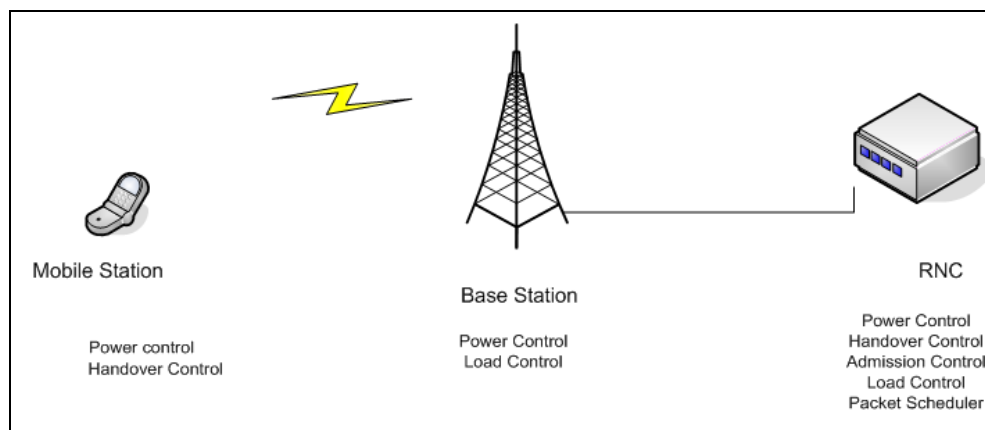
Για να εξασφαλιστούν και να καλυφτούν οι παραπάνω ανάγκες και να βελτιστοποιηθεί ένα δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών κατά την διάρκεια της λειτουργίας του είναι πολύ σημαντικό να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών πόρων του. Ο όρος της διαχείρισης των πόρων του δικτύου αναφέρεται, ακριβώς, σε αυτήν την διαδικασία χειρισμού των πόρων του δικτύου. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, ο κύριος στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Δευτερεύοντες στόχοι που απορρέουν από αυτόν τον στόχο υπάρχουν και συζητήθηκαν λεπτομερώς στα προηγούμενα τμήματα. Εντούτοις, είδαμε ότι το τι σημαίνει βελτίωση της απόδοσης για ένα δίκτυο μπορεί να αλλάζει, ανάλογα με την οπτική γωνία που παρατηρείται και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται. Για αυτό τον σκοπό υπάρχουν ειδικοί μέθοδοι οι οποίοι αποκαλούνται μέθοδοι Διαχείρισης Ραδιοπόρων (Radio Resource Management methods – RRM methods). Οι μέθοδοι διαχείρισης ραδιοπόρων που εξασφαλίζουν την αποδοτική λειτουργία του δικτύου, χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: οι μέθοδοι που βασίζονται σε λειτουργίες σύνδεσης (connection based functions) και οι μέθοδοι που βασίζονται σε λειτουργίες του δικτύου (network based functions) και είναι οι εξής:

- RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες σύνδεσης
 1. Έλεγχος μεταπομπών (handover control).
 2. Έλεγχος ισχύος (power control)
- RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες του δικτύου
 1. Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (call admission control, CAC).
 2. Έλεγχος φορτίου (load control) και συμφόρησης (congestion control).
 3. Προγραμματισμός πακέτων (packet scheduler).

Ο έλεγχος μεταπομπών χρειάζεται κυρίως λόγω της κινητικότητας του χρήστη, όταν αυτός κινείται από την περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης στην περιοχή κάλυψης μιας άλλης. Ο έλεγχος ισχύος είναι απαραίτητος για να κρατά τα επίπεδα παρεμβολής στο ελάχιστο δυνατό και να παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Ο έλεγχος

αποδοχής κλήσεων, ο έλεγχος φορτίου και συμφόρησης και ο προγραμματισμός πακέτων απαιτούνται για να εγγυηθεί η ποιότητα υπηρεσίας και να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος με ένα μείγμα διαφορετικών ρυθμών bit, υπηρεσιών και απαιτήσεων ποιότητας.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τυπικές τοποθεσίες των RRM αλγορίθμων σε ένα ασύρματο δίκτυο 3G:



Σχήμα 4 RRM αλγόριθμοι

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται μια αναλυτική περιγραφή της κάθε μιας από της παραπάνω μεθόδους RRM.

1.4.2 RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες σύνδεσης

1.4.2.1 Έλεγχος μεταπομπών

Διαδικασία μεταπομπής

Ένα θέμα σχετικό με την διευθέτηση καναλιών είναι η μεταπομπή, η οποία συνδέεται συνήθως με την κίνηση του κινητού τερματικού. Η μεταπομπή είναι μια διαδικασία μεταφοράς ενός κινητού τερματικού από ένα BS (ή κανάλι) σε ένα άλλο. Η διαδικασία της μεταπομπής είναι απαραίτητη για την αποφυγή της διακοπής μιας κλήσης που εμπλέκει ένα κινητό τερματικό τη στιγμή που το κινητό τερματικό διασχίζει το σύνορο μεταξύ δύο κυψελών. Γενικά μία μεταπομπή υποδηλώνει τη διαδικασία αλλαγής καναλιού (η οποία μπορεί να γίνει μέσω συχνότητας, χρονοσχιsmής, κώδικα εξάπλωσης ή συνδυασμό αυτών ανάλογα με το σχήμα πολλαπλής προσπέλασης TDMA, FDMA, CDMA που χρησιμοποιεί το δίκτυο) σε σχέση με την τρέχουσα σύνδεση για να διατηρηθεί η αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας ή να παρασχεθεί καλύτερη υπηρεσία.

Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει την περίπτωση μεταπομπής στην ίδια, όπως επίσης και σε διαφορετική κυψέλη. Η μεταπομπή είναι μοναδική στα κυψελωτά συστήματα και ιδιαίτερα κρίσιμη στο να υποστηρίξει καθολική περιαγωγή. Η μεταπομπή ξεκινά, είτε όταν το κινητό τερματικό διασχίζει τα σύνορα μιας κυψέλης, είτε όταν υποβαθμίζεται η ποιότητα υπηρεσίας στον τρέχοντα δίαυλο. Με τη διείσδυση των συστημάτων προσωπικών επικοινωνιών, αξιοποιείται η μικροκυψελική δομή καθώς και άλλες υβριδικές δομές (macro, micro και pico) για την υποστήριξη της δραστικά αυξημένης ζήτησης. Το μικρότερο μέγεθος των κυψελών και οι εξαιρετικά μεταβαλλόμενες συνθήκες διάδοσης στις μικροκυψέλες εισάγουν πολύ πιο συχνές μεταπομπές από ότι πριν. Μια ανεπαρκώς σχεδιασμένη στρατηγική μεταπομπής θα προκαλέσει πολύ υψηλό φορτίο σηματοδοσίας και θα χειροτερέψει την ποιότητα υπηρεσίας.

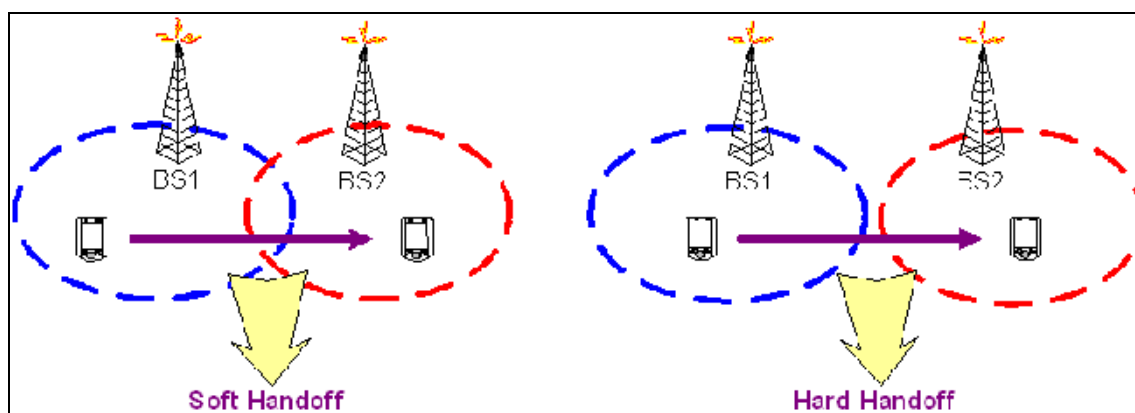
Οι βασικές απαιτήσεις που αφορούν τη διαδικασία μεταπομπής είναι:

- Από την άποψη του χρήστη η μεταπομπή πρέπει να μην γίνεται αντιληπτή.
- Από την άποψη του δικτύου, η διαδικασία μεταπομπής δεν θα πρέπει να αυξάνει σημαντικά το φορτίο σηματοδοσίας (signaling load).

Οι μεταπομπές μπορούν να χωριστούν ανάλογα με το είδος τους στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Σκληρή μεταπομπή (Hard Handover): Σε αυτού του είδους τη μεταπομπή, κάθε ασύρματος πόρος αφαιρείται από το χρήστη προτού του ανατεθούν καινούριοι.
2. Ελαφρά μεταπομπή (Soft Handover): Εδώ η μεταπομπή γίνεται ανάμεσα σε δύο γειτονικές κυψέλες επικαλυπτόμενες, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου, όταν για παράδειγμα η αρχική κυψέλη στην οποία ήταν συνδεδεμένος ο χρήστης είναι κατειλημμένη.
3. Ενδοσυστημική μεταπομπή (Intra-system Handover): Λαμβάνει χώρα μεταξύ των BS του ίδιου δικτύου.
4. Μεταπομπή συστήματος (Inter-system Handover): Λαμβάνει χώρα μεταξύ UMTS και GSM ή άλλων δικτύων.
5. Ενδοκυψελική μεταπομπή (Inter-frequency Handover): Σε αυτού του είδους τη μεταπομπή ένας χρήστης μεταφέρεται από ένα κανάλι σε ένα άλλο της ίδιας κυψέλης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αναπαράσταση των δυο βασικών κατηγοριών μεταπομπής.



Σχήμα 5 «Ελαφρά» και «σκληρή» μεταπομπή

Αποφυγή Διακοπών Υπηρεσίας προερχόμενες από Μεταπομπές

Κατά το συμβάν μιας μεταπομπής αν η μεταπομπή είναι επιτυχής, η σύνδεση συνεχίζεται διαφανώς για το χρήστη. Είναι όμως πιθανόν η μεταπομπή να είναι αποτυχημένη, γεγονός που μπορεί να συμβεί όταν ο νέος σταθμός βάσης δε διαθέτει αρκετούς πόρους ώστε να υποδεχθεί τη σύνδεση του χρήστη. Σε αυτήν την περίπτωση, έχουμε τη λεγόμενη διακοπή σύνδεσης λόγω μεταπομπής, η οποία θεωρείται πιο δυσάρεστη κι από την αδυναμία έναρξης μίας καινούργιας σύνδεσης. Γι' αυτόν το λόγο, οι μηχανικοί δικτύων κι υπηρεσιών αναζητούν τρόπους να ελαχιστοποιήσουν ή ακόμα και για εξαλείψουν τα συμβάντα διακοπών συνδέσεων λόγω μεταπομπής. Η προτεραιότητα στις μεταπομπές είναι ένας τρόπος να επιτευχθεί σημαντική μείωση στους ρυθμούς αποκλεισμού των μεταπομπών, ενώ αυξάνεται ελάχιστα ο ρυθμός αποκλεισμού των νέων κλήσεων. Για την αποφυγή ή τουλάχιστον την ελάττωση της συχνότητας των διακοπών λόγω μεταπομπής, είναι αναγκαία η προδραστική (proactive) δέσμευση πόρων στους σταθμούς βάσης για την υποδοχή χρηστών από γειτονικές κυψέλες. Στα σημερινά συστήματα χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα που χρησιμοποιούν έλεγχο αποδοχής κλήσεων (CAC) και βασίζονται στα κανάλια ασφαλείας (guard channel). Σύμφωνα με αυτούς τους αλγορίθμους, μία νέα σύνδεση δε γίνεται πάντα αποδεκτή από το σταθμό βάσης, ακόμα κι αν υπάρχει αδιάθετο εύρος ζώνης (ή κανάλια), καθώς ένα μέρος από το εύρος ζώνης προορίζεται για εκχώρηση μόνο σε συνδέσεις από μεταπομπή. Το ποσό του εύρους ζώνης ασφαλείας μπορεί να

είναι είτε σταθερό είτε να μεταβάλλεται δυναμικά, ανάλογα με τη συχνότητα των μεταπομπών. Το βασικό μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι η “απρόσωπη” λειτουργία τους, δηλαδή το ότι εξετάζουν τις συνέπειες των μεταπομπών αθροιστικά, κι όχι σε επίπεδο ατομικού χρήστη. Οι χρήστες είναι κατά κανόνα “ανομοιογενείς” και συνεπώς η προδραστική δέσμευση πόρων θα πρέπει να γίνεται ανά χρήστη “προσωπικά”, καθώς έτσι είναι εφικτό το δίκτυο να μοιράσει τους πόρους του πιο αποδοτικά κάθε στιγμή. Για την ατομική δέσμευση πόρων με δεδομένο το μοναδικό τρόπο κίνησης του κάθε χρήστη, είναι απαραίτητη η χρήση σχημάτων διαχείρισης πόρων που χρησιμοποιούν τεχνικές πρόβλεψης της θέσης του χρήστη στο προσεχές μέλλον, ώστε να επιτυγχάνεται δέσμευση πόρων στους σωστούς σταθμούς βάσης. Αυτά τα σχήματα θα μελετηθούν στα επόμενα κεφάλαια.

1.4.2.2 Έλεγχος ισχύος

Στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα στα οποία το φάσμα συχνοτήτων διαμοιράζεται από ένα σύνολο χρηστών, ο κάθε χρήστης επιθυμεί το σήμα του να λαμβάνεται στο δέκτη (π.χ. BS) με συγκεκριμένη ποιότητα, η οποία έχει σχέση με την ισχύ εκπομπής του χρήστη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εκπομπής, τόσο μεγαλύτερη θα είναι κι η ισχύς λήψης στο δέκτη, με αποτέλεσμα μικρότερο ρυθμό σφαλμάτων bit (BER), και τελικά υψηλότερη ρυθμοαπόδοση (throughput). Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η αύξηση της ισχύος εκπομπής ενός χρήστη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των παρεμβολών προς τους υπόλοιπους χρήστες, και τη δημιουργία θορύβου καθώς και την πρόκληση σφαλμάτων. Για του παραπάνω λόγους είναι απαραίτητος ο έλεγχος ισχύος που περιγράφεται σε αυτή την παράγραφο.

Γρήγορος-αργός έλεγχος ισχύος

Ο έλεγχος ισχύος μπορεί αρχικά να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Ο αργός έλεγχος προϋποθέτει ότι η μέση ισχύς κρατείται στο επιθυμητό επίπεδο και ότι ο έλεγχος έχει την δυνατότητα να αντιμετωπίζει ιδανικά τις απώλειες διαδρομής και σκίασης. Ο γρήγορος έλεγχος αντιμετωπίζει, επιπλέον, τις διαλείψεις.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο γρήγορος έλεγχος ισχύος δίνει κέρδος, που είναι μεγαλύτερο σε μικρές ταχύτητες κινητών και με μικρή διαφορικότητα πολλαπλής διαδρομής. Αυτό γίνεται διότι σε χαμηλές ταχύτητες, ο έλεγχος μπορεί να αντιμετωπίσει τις διαλείψεις του διαύλου και να διατηρήσει την λαμβανόμενη ισχύ σχεδόν σταθερή, προκαλώντας παράλληλα αυξήσεις στην ισχύ μετάδοσης. Αντίθετα, σε υψηλές ταχύτητες ο γρήγορος έλεγχος ισχύος δεν μπορεί να ακολουθήσει τις διαλείψεις και ένα

υψηλότερο επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος απαιτείται για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ποιότητα.

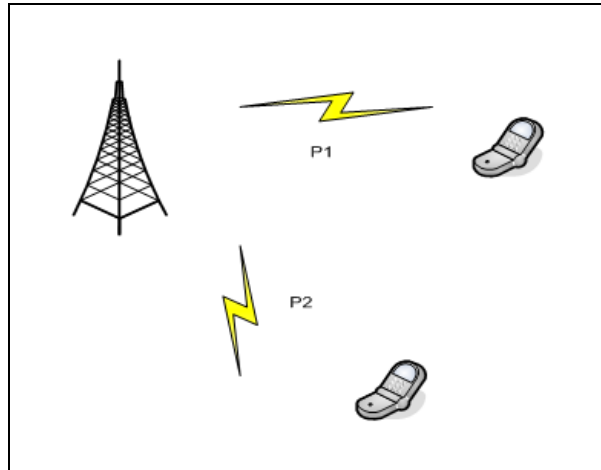
Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου (Closed Loop Power Control)

Ο έλεγχος ισχύος είναι ίσως το σημαντικότερο τμήμα σε ένα ασύρματο δίκτυο, ειδικά στην άνω ζεύξη. Χωρίς αυτόν, ένα και μόνο κινητό με υπερβολική ισχύ θα μπορούσε να μπλοκάρει μια ολόκληρη κυψέλη.

Έστω δύο κινητά ΚΤ1 και ΚΤ2 που λειτουργούν με την ίδια συχνότητα και διαχωρίζονται στο σταθμό βάσης μόνο από τους αντίστοιχους κώδικές τους (κώδικες εξάπλωσης-spreading codes). Έστω ότι το ΚΤ1 στο άκρο της κυψέλης έχει μεγαλύτερες απώλειες διαδρομής από το ΚΤ2 που είναι κοντά στο σταθμό βάσης BS. Εάν δεν υπήρχε μηχανισμός για να ελέγξει την ισχύ των κινητών και να την επαναφέρει στο ίδιο επίπεδο στον σταθμό βάσης, το ΚΤ2 θα υπερέκαλυπτε το ΚΤ1 και έτσι θα μπλόκαρε ένα μεγάλο μέρος της κυψέλης. Η βέλτιστη στρατηγική με σκοπό τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας είναι να εξισωθεί η λαμβανόμενη ισχύς όλων των κινητών σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η στρατηγική αυτή ονομάζεται έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου.

Μια μέθοδος ανοιχτού βρόχου θα έπρεπε να κάνει εκτίμηση των απωλειών διαδρομής μέσω ενός ειδικού σήματος κάτω ζεύξης, κάτι που θα οδηγούσε σε ανακριβή αποτελέσματα. Αιτία του τελευταίου, είναι το γεγονός ότι οι γρήγορες διαλείψεις είναι ασυσχέτιστες σε άνω και κάτω ζεύξη, λόγω της μεγάλης απόστασης συχνοτήτων μεταξύ τους. Εντούτοις, αποτελεί μια μέθοδο προσδιορισμού της αρχικής ισχύος του κινητού κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης.

Η λύση στο πρόβλημα δίνεται από τον γρήγορο, κλειστού βρόχου έλεγχο ισχύος που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6 Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου

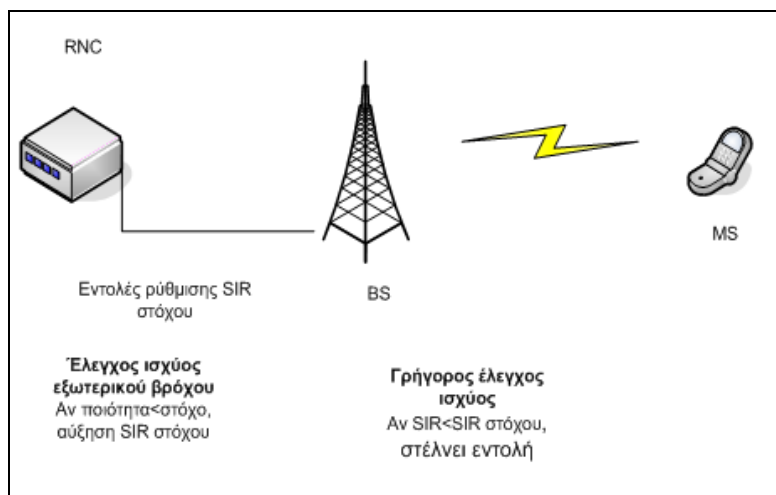
Ο σταθμός βάσης κάνει συχνές εκτιμήσεις του λαμβανόμενου λόγου σήματος προς παρεμβολή SIR και τις συγκρίνει με ένα SIR στόχο. Εάν ο μετρούμενος SIR είναι υψηλότερος του στόχου, ο σταθμός βάσης δίνει εντολή στο κινητό να χαμηλώσει ισχύ. Εάν είναι πολύ χαμηλός, να αυξήσει ισχύ. Έτσι, ο έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου εμποδίζει κάθε ανισορροπία ισχύος στα σήματα άνω ζεύξης που λαμβάνονται στο σταθμό βάσης.

Ο ίδιος έλεγχος χρησιμοποιείται και στην κάτω ζεύξη μόνο που εδώ το κίνητρο είναι διαφορετικό. Όλα τα σήματα έχουν ως αφετηρία τον σταθμό βάσης και προορισμό τα κινητά. Είναι, εντούτοις, επιθυμητό να πριμοδοτούνται τα κινητά στα άκρα της κυψέλης με επιπλέον ισχύ, αφού δέχονται αυξημένη παρεμβολή από τις άλλες κυψέλες. Επίσης, τα αδύνατα σήματα λόγω διαλείψεων ενισχύονται, όταν άλλες μέθοδοι διόρθωσης (π.χ. κώδικες διόρθωσης λαθών κτλ.) δεν λειτουργούν αποτελεσματικά.

Έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου (Outer Loop Power Control)

Ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου καθορίζει τον στόχο SIR στο σταθμό βάσης σύμφωνα με τις ανάγκες της ραδιοζεύξης και στοχεύει σε σταθερή ποιότητα (συγκεκριμένος ρυθμός λανθασμένων bit κτλ.). Ο λόγος που χρειάζεται να αναθεωρούμε τον στόχο SIR είναι ότι εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητού και το περιβάλλον διάδοσης. Αν, για παράδειγμα, ο στόχος SIR καθοριστεί για την χειρότερη περίπτωση (υψηλές ταχύτητες), θα σπαταληθεί χωρητικότητα για τις συνδέσεις των χαμηλών ταχυτήτων. Επομένως, η σωστή στρατηγική είναι να αφεθεί ο SIR να κυμαίνεται γύρω από την ελάχιστη τιμή που εκπληρώνει την απαιτούμενη ποιότητα

κάθε φορά. Εάν η ποιότητα υπηρεσίας υποβαθμιστεί, τότε η μονάδα RNC (Radio Network Controller) του συστήματος δίνει εντολή στο σταθμό βάσης να αυξήσει τον στόχο SIR, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Ο λόγος που ο έλεγχος εξωτερικού βρόχου εδράζεται στο RNC είναι ότι η διαδικασία αυτή θα πρέπει να γίνεται ύστερα και από μεταπομπή.



Σχήμα 7 Έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου

Επομένως, ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου χρειάζεται για να κρατηθεί η ποιότητα της επικοινωνίας στο επιθυμητό επίπεδο, θέτοντας το στόχο για το γρήγορο έλεγχο ισχύος. Έχει ως σκοπό, λοιπόν, να παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα: ούτε καλύτερη, ούτε χειρότερη (υπερβολικά καλή ποιότητα θα σπαταλά χωρητικότητα). Χρειάζεται τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη, δεδομένου ότι υπάρχει και στις δυο γρήγορος έλεγχος ισχύος.

Στην κάτω ζεύξη, ο γρηγορότερος διακανονισμός του στόχου γίνεται έχοντας τον έλεγχο μέσα στο κινητό. Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν ένας έλεγχος βασισμένος στο δίκτυο, όπου το κινητό αναφέρει τις μετρήσεις που αφορούν την ποιότητα στο δίκτυο και το δίκτυο τότε δίνει εντολή στο κινητό να διορθώσει την τιμή-στόχο. Η μέθοδος αυτή, που στηρίζεται στο δίκτυο, θα οδηγούσε βέβαια σε αυξημένη σηματοδότηση ανάμεσα σε κινητό και RNC και θα προκαλούσε αυξημένη καθυστέρηση.

1.4.3 RRM βασιζόμενοι στις λειτουργίες του δικτύου

1.4.3.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων

Στα κυψελωτά δίκτυα θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη διαχείριση των κλήσεων. Εάν επιτραπεί υπερβολική αύξηση του φορτίου, η περιοχή κάλυψης της κυψέλης μειώνεται κάτω από τις σχεδιασθείσες τιμές και η ποιότητα της υπηρεσίας των υπαρχόντων συνδέσεων μπορεί να υποβαθμιστεί. Πριν μια νέα σύνδεση γίνει δεκτή, ο έλεγχος αποδοχής χρειάζεται να επιβεβαιώσει ότι η αποδοχή δεν θα θυσιάσει την σχεδιασθείσα περιοχή κάλυψης ή την ποιότητα της υπηρεσίας των ήδη υπαρχόντων συνδέσεων. Η διαδικασία ελέγχου αποδοχής σύνδεσης είναι τοποθετημένη στον RNC, όπου η πληροφορία για το φορτίο σε διάφορες κυψέλες είναι διαθέσιμη. Ο σχετικός αλγόριθμος εκτιμά την αύξηση του φορτίου, που η εγκατάσταση της κλήσης θα προκαλέσει στο δίκτυο. Αυτό πρέπει να γίνει χωριστά για την άνω και κάτω ζεύξη. Η νέα κλήση μπορεί να γίνει δεκτή, μόνο εάν, τόσο ο έλεγχος της άνω όσο και της κάτω ζεύξης το επιτρέπουν, αλλιώς απορρίπτεται εξαιτίας της υπερβολικής παρεμβολής που θα παράγει στο δίκτυο. Τα όρια αυτά για τον έλεγχο αποδοχής καθορίζονται κατά τον σχεδιασμό του δικτύου.

Η οντότητα ελέγχου αποδοχής (admission controller) του δικτύου είναι υπεύθυνη για την αποδοχή ή απόρριψη μιας νέας αίτησης για σύνδεση στο δίκτυο (admission request). Υπάρχουν δύο βασικά είδη συνόδων: οι σύνοδοι πραγματικού χρόνου (real time), όπως είναι οι video κλήσεις, και οι σύνοδοι μη πραγματικού χρόνου (non real time), όπως είναι οι web browsing. Στις συνδέσεις μη πραγματικού χρόνου, το φορτίο μπορεί να ελεγχθεί και να μειωθεί εφόσον απαιτείται. Αντίθετα στις συνδέσεις πραγματικού χρόνου δεν μπορούμε να ελέγξουμε απεριόριστα το φορτίο, αφού υπάρχει ένα ελάχιστο όριο στο προσφερόμενο bit rate (guaranteed minimum bit rate). Όταν ένας χρήστης πραγματικού χρόνου ζητήσει να συνδεθεί στο δίκτυο, η οντότητα ελέγχου αποδοχής οφείλει να ελέγξει αν μπορεί να υποστηριχθεί από το δίκτυο το απαιτούμενο bit rate, έστω και αν χρειαστεί να μειωθεί το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου. Ακόμα η οντότητα ελέγχου αποδοχής εκτελεί την εγκατάσταση μιας νέας σύνδεσης, συμφωνώντας με τον χρήστη για τις παραμέτρους της νέας σύνδεσης.

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος αποδοχής σύνδεσης πρέπει να πληρεί τις επόμενες προϋποθέσεις:

- Σταθερότητα της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας (πιθανότητα απόρριψης, διακοπή, καθυστέρηση, ρυθμός λαθών).

- Προσαρμογή σε διαφορετικές συνθήκες για την επίτευξη σταθερής λειτουργίας.
- Μνήμη (διαφορετικά σενάρια για διαφορετικές ώρες της ημέρας). Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετική στρατηγική ελέγχου κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής.
- Ικανότητα για αναθεώρηση και επέκταση σε νέες υπηρεσίες.
- Απλότητα σχεδίασης και ελάττωση του χρόνου επεξεργασίας. Όλα τα προηγούμενα σημεία πρέπει να εκπληρωθούν κατά τρόπο ώστε το σύστημα να διατηρηθεί όσο το δυνατόν απλό. Αυτή η προϋπόθεση, σε συνδυασμό με χαμηλό χρόνο επεξεργασίας, εγγυάται την αποδοτικότητα και την γρήγορη ανταπόκριση στις διάφορες πολύπλοκες απαιτήσεις των χρηστών του συστήματος.

Έτσι λοιπόν όποτε ένας νέος κινητός χρήστης (είτε μια νέα αίτηση είτε μια διακυβελική μεταπομπή) φτάνει στο σταθμό βάσης, το σύστημα διαχείρισης των ραδιοπόρων RRM πρέπει να αποφασίσει αν θα επιτραπεί στο συγκεκριμένο κινητό χρήστη να εισέλθει στο σύστημα. Οι αλγόριθμοι CAC που παίρνουν αυτές τις αποφάσεις γενικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Στους βασισμένους στην παρεμβολή όπου ο έλεγχος αποδοχής βασίζεται στην παράμετρο CIR και
- στους βασισμένους στο χρήστη, όπου εξαρτώνται από τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών.

Οι παραδοσιακές τεχνικές συνήθως χρησιμοποιούν απλές στρατηγικές κατωφλίου στα διαθέσιμα κανάλια σε κάθε κυψέλη, ένας αλγόριθμος που είναι γνωστός ως αλγόριθμος καναλιού ασφαλείας (*guard channel*). Υπάρχουν όμως και κάποιες μη παραδοσιακές τεχνικές που προτάθηκαν πρόσφατα και βασίζονται σε προσαρμόσιμες τεχνικές στις οποίες τα κανάλια κατανέμονται και δεσμεύονται με ένα δυναμικό τρόπο χρησιμοποιώντας ανάλυση τηλεκίνησης, πρόβλεψη της εγχεόμενης κίνησης και της κίνησης του κινητού τερματικού. Σε κάποια σχήματα πρόβλεψης, είναι αρκετό να δεσμεύονται οι ραδιοπόροι που θα χρειαστεί ο κινητός χρήστης στην θέση που έχει προβλεφτεί. Γενικά, οι μηχανισμοί δέσμευσης πόρων αποτελούνται από δύο μέρη: α) ορισμένο από το φάσμα δεσμεύεται στην επόμενη κυψέλη που είναι πιο πιθανό να επισκεφτεί ο χρήστης, β) μια κοινή δεξαμενή δυναμικά προσαρμοσμένου φάσματος χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει άλλες ροές που δεν έχουν προβλεφθεί. Η επόμενη κυψέλη προβλέπεται βάσει του σχεδίου κινητικότητας που παρατηρείται στις διάφορες κυψέλες. Άλλες παρόμοιες προσεγγίσεις περιλαμβάνουν σχήματα τα οποία

βασίζονται στην εκτενή πληροφορία θέσης (από γειτονικές κυψέλες) για τη λήψη της απόφασης CAC.

Τέλος, σημειώνεται ότι διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου αποδοχής σύνδεσης μπορούν να εφαρμοστούν στην άνω και κάτω ζεύξη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την ιδιομορφία της κάθε ζεύξης.

1.4.3.2 Έλεγχος φορτίου – Έλεγχος συμφόρησης

Ο σκοπός του ελέγχου φορτίου είναι να βελτιστοποιήσει την χωρητικότητα μιας κυψέλης. Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ραδιοπόρων (RRM) πρέπει να λαμβάνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό το επιτυγχάνουν εκτελώντας έλεγχο φορτίου (load control) και έλεγχο συμφόρησης (congestion control). Εφόσον λειτουργεί σωστά ο έλεγχος αποδοχής κλήσης (admission control) και έχει επιλεχθεί ο κατάλληλος δρομολογητής, το δίκτυο σπάνια εισέρχεται σε κατάσταση συμφόρησης και παραμένει σε κατάσταση σταθερότητας. Ωστόσο, αν υπάρξει συμφόρηση, το δίκτυο πρέπει να επανέλθει με γρήγορο και σταθερό ρυθμό σε μία πιο ευσταθή κατάσταση λειτουργίας, εκτελώντας έλεγχο φορτίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα πλαίσια αυτού του ελέγχου υπολογίζονται και μεταβάλλονται μόνο το φορτίο των χρηστών μη πραγματικού χρόνου, αφού μόνο αυτό μπορεί να ελεγχθεί. Ακόμα, ο αλγόριθμος ελέγχου φορτίου έχει ένα πλήθος επιλογών για να επιτύχει αποσυμφόρηση, όπως μεταγωγές σε άλλα δίκτυα και ο βίαιος τερματισμός κάποιων κλήσεων (call drop).

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά πως γίνεται η μέτρηση του φορτίου άνω και κάτω ζεύξης.

Φορτίο άνω ζεύξης

Ο πρώτος τρόπος μέτρησης του φορτίου είναι βασισμένος στην λαμβανόμενη ισχύ. Η λαμβανόμενη ισχύς παρεμβολής I_{total} , μπορεί να χωριστεί σε ισχύεις των χρηστών της εν λόγω κυψέλης I_{own} , των χρηστών των υπολοίπων κυψελών I_{oth} , και στο θόρυβο δέκτη P_N :

$$I_{total} = I_{own} + I_{oth} + P_N$$

Η ανύψωση θορύβου ορίζεται ως το ποσοστό της ολικής λαμβανόμενης ισχύος προς την ισχύ θορύβου.

$$\text{Ανύψωση θορύβου} = \frac{I_{total}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}}$$

Από την εξίσωση αυτή, ο παράγοντας φορτίου άνω ζεύξης η_{UL} υπολογίζεται ως εξής:

$$\eta_{UL} = 1 - \frac{P_N}{I_{total}} = \frac{\text{Ανύψωση θορύβου} - 1}{\text{Ανύψωση θορύβου}}$$

όπου το I_{total} μπορεί να μετρηθεί στον σταθμό βάσης και το P_N είναι γνωστό εκ των προτέρων. Έτσι, για παράδειγμα, όταν λέγεται ότι το φορτίο άνω ζεύξης είναι 60% της χωρητικότητας, αυτό σημαίνει ότι ο παράγοντας φορτίου είναι $\eta_{UL}=0,60$.

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού είναι βασισμένος στην διέλευση (throughput). Ο παράγοντας φορτίου άνω ζεύξης η_{UL} μπορεί να υπολογιστεί ως το άθροισμα των παραγόντων φορτίου των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν το σταθμό βάσης:

$$\eta_{UL} = (1+i) \cdot \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j \cdot R_j \cdot \nu_j}}$$

όπου N : είναι ο αριθμός χρηστών της εν λόγω κυψέλης,

W : ο ρυθμός chip,

L_j : ο παράγοντας φορτίου,

R_j : ο ρυθμός bit,

$(E_b/N_0)_j$: ο λόγος ενέργειας bit προς θόρυβο,

ν_j : ο παράγοντας ενεργότητας του j-οστού χρήστη και

i : το ποσοστό παρεμβολής των άλλων κυψελών στην εν λόγω κυψέλη.

Ο μέσος αριθμός χρηστών N μιας κυψέλης και οι μέσες τιμές των E_b/N_0 , i και ν χρειάζονται για τον υπολογισμό του παράγοντα φορτίου. Αυτές οι τιμές είναι τυπικές για το συγκεκριμένο περιβάλλον και μπορούν να βρεθούν από μετρήσεις και προσομοιώσεις. Τέλος, η παρεμβολή από τις γειτονικές κυψέλες δεν περιλαμβάνεται άμεσα στο φορτίο, στον προηγούμενο τρόπο που βασίζεται στην λαμβανόμενη ισχύ, αλλά λαμβάνεται υπόψη μέσω του παράγοντα i και μπορεί να δοθεί από το RNC βάσει του φορτίου των κοντινών κυψελών.

Το κύριο πρόβλημα στην εκτίμηση που βασίζεται στην ισχύ, είναι ότι μπορεί να υπάρχει και παρεμβολή που οφείλεται σε γειτονικές συχνότητες. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε κινητό τερματικό άλλου διαχειριστή που βρίσκεται πολύ κοντά στην κεραία του σταθμού βάσης. Έτσι, μπορούν να προκύψουν λάθος αποτελέσματα, διότι ο δέκτης στο σταθμό βάσης δεν μπορεί να ξεχωρίσει την παρεμβολή του φέροντος που ενδιαφέρει από τα υπόλοιπα, βάσει των μετρήσεων της ισχύος.

Φορτίο κάτω ζεύξης

Παρόμοια, ο πρώτος τρόπος βασίζεται στην ισχύ. Εάν P_{total} η συνολική ισχύς μετάδοσης κάτω ζεύξης και P_{max} η μέγιστη ισχύς μετάδοσης του σταθμού βάσης, ο παράγοντας φορτίου κάτω ζεύξης η_{DL} ορίζεται από τον τύπο:

$$\eta_{DL} = \frac{P_{total}}{P_{max}}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στον τρόπο αυτό, η συνολική ισχύς μετάδοσης του σταθμού βάσης P_{total} δεν δίνει ακριβή πληροφορία σχετικά με το πόσο κοντά στην χωρητικότητα κάτω ζεύξης το σύστημα λειτουργεί. Σε μια κυψέλη το ίδιο P_{total} αντιστοιχεί σε υψηλότερο φορτίο από ότι σε μια μεγαλύτερη.

Ο δεύτερος τρόπος στηρίζεται στο άθροισμα των ρυθμών bit στην κάτω ζεύξη και ο παράγοντας φορτίου κάτω ζεύξης η_{DL} ορίζεται ως εξής:

$$\eta_{DL} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{R_{max}}$$

όπου N ο αριθμός των συνδέσεων κάτω ζεύξης, συμπεριλαμβανομένων των common καναλιών,

R_j ο ρυθμός bit του j -ιστού χρήστη και

R_{max} η μέγιστη επιτρεπτή διέλευση της κυψέλης.

Ενέργειες ελέγχου φορτίου

Οι πιθανές ενέργειες του ελέγχου φορτίου, με σκοπό την μείωση του, είναι οι εξής:

- Γρήγορος έλεγχος φορτίου κάτω ζεύξης: εντολές ανύψωσης ισχύος στην κάτω ζεύξη, που λαμβάνονται από το κινητό, δεν γίνονται δεκτές.
- Γρήγορος έλεγχος φορτίου στην άνω ζεύξη: μείωση του στόχου E_b/N_0 που χρησιμοποιείται στον γρήγορο έλεγχο ισχύος της άνω ζεύξης.
- Μείωση της διέλευσης στην κίνηση των πακέτων δεδομένων.
- Μεταπομπή σε άλλο φέρον.
- Μεταπομπή σε GSM
- Μείωση των ρυθμών bit των χρηστών πραγματικού χρόνου.

- Διακοπή κλήσεων με ένα ελεγχόμενο τρόπο.

Οι δύο πρώτοι τρόποι είναι γρήγορες ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στο σταθμό βάσης. Ο στιγμιαίος ρυθμός λανθασμένων πλαισίων των συνδέσεων που δεν είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση μπορεί να αυξηθεί με σκοπό να εγγυηθεί την ποιότητα εκείνων των υπηρεσιών που δεν ανέχονται επαναμετάδοση. Αυτές οι ενέργειες προκαλούν μόνο αυξημένη καθυστέρηση των υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου, ενώ η ποιότητα των υπηρεσιών συνομιλίας, όπως η φωνή και η τηλεφωνία με εικόνα, δεν υποβαθμίζεται. Η κίνηση των πακέτων μειώνεται από τον προγραμματισμό των πακέτων, που θα μελετηθεί στην επόμενη παράγραφο.

Οι υπόλοιπες ενέργειες του ελέγχου φορτίου είναι τυπικά πιο αργές. Ως τελευταία λύση, προτείνεται η διακοπή των χρηστών πραγματικού χρόνου (φωνή ή χρήστες δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος) για να μειωθεί το φορτίο στο σύστημα. Αυτή η ενέργεια συμβαίνει μόνο όταν το φορτίο στο σύστημα παραμένει πολύ υψηλό, ακόμα και όταν οι προηγούμενες ενέργειες ελέγχου φορτίου έχουν πραγματοποιηθεί για να αντιμετωπίσουν την υπερφόρτωση.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί το σύστημα MITOS που έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων συμφόρησης που είναι αρκετά δύσκολο να αντιμετωπιστούν κατά το σχεδιασμό του WLAN. Πιο αναλυτικά, συχνό φαινόμενο αποτελεί ότι κάποιες περιοχές κάλυψης ενός WLAN να είναι πιο δημοφιλείς από κάποιες άλλες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι χρήστες που συνδέονται με κάποιο AP το οποίο εξυπηρετεί μία δημοφιλή περιοχή να έχουν προβληματική σύνδεση με το Διαδίκτυο επηρεάζοντας αρνητικά ο ένας τον άλλον. Την ίδια στιγμή, υπάρχουν περιοχές οι οποίες δεν είναι δημοφιλείς με αποτέλεσμα σημαντικό μέρος των ασύρματων πόρων να μένει αδιάθετο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν ένα μέρος από τους χρήστες που βρίσκονται σε δημοφιλείς περιοχές μεταβεί σε μη δημοφιλείς περιοχές, είναι βέβαιο ότι όλοι θα αποκομίσουν κάποιο όφελος σε σχέση με την ποιότητα υπηρεσίας που θα λαμβάνουν. Αυτό είναι κάτι που κάνει το σύστημα MITOS.

1.4.3.3 Προγραμματισμός πακέτων

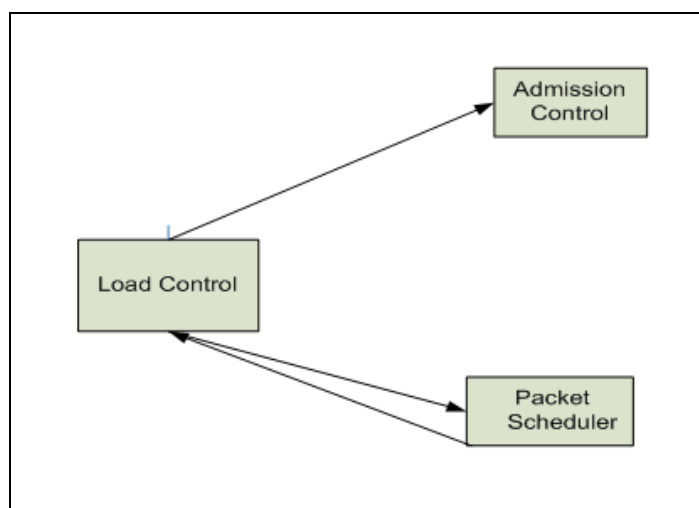
Η τελευταία μέθοδος RRM που μελετάται είναι ο προγραμματισμός πακέτων. Ο προγραμματιστής πακέτων (Packet Scheduler) ελέγχει τη μετάδοση πακέτων σε ασύρματα συστήματα. Οι λειτουργίες του προγραμματιστή πακέτων είναι οι παρακάτω:

- Διαιρεί τη διαθέσιμη ασύρματη χωρητικότητα ανάμεσα στους χρήστες που χρησιμοποιούν μετάδοση πακέτων (και όχι μεταγωγή κυκλώματος).

- Αποφασίζει πιο κανάλι μεταφοράς θα χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση των πακέτων του χρήστη.
- Παρακολουθεί την ανάθεση των πακέτων και το φορτίο του ασύρματου δικτύου.

Στα σύγχρονα συστήματα συνήθως εκτελεί ταχεία δρομολόγηση (fast scheduling) με σκοπό την μείωση των νεκρών χρόνων στο δίκτυο και την μεγιστοποίηση του ρυθμού διέλευσης. Η δρομολόγηση γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ασύρματη διεπαφή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δρομολογητών αποτελούν ο δρομολογητής μέγιστου σηματοπαρεμβολικού λόγου (MAX C/I, ο δίαυλος αποδίδεται στον χρήστη με τον καλύτερο σηματοπαρεμβολικό λόγο), ο δρομολογητής δίκαιου χρόνου (fair time, ο δίαυλος αποδίδεται κυκλικά σε όλους τους χρήστες με την σειρά) και ο δρομολογητής δίκαιης απόδοσης (fair throughput, όλοι οι χρήστες έχουν κατά το δυνατό ίσο ρυθμό διέλευσης).

Τέλος αναφέρεται ότι ο προγραμματιστής πακέτων συνεργάζεται με τον admission controller και τον load controller, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, για να μπορέσει να εγγυηθεί τη σωστή λειτουργία του ασύρματου δικτύου και τη μείωση της πιθανότητας υπερφορτώσεων. Σε περίπτωση υπερφόρτωσης και οι τρεις λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα ώστε να επαναφέρουν το σύστημα στην κατάσταση για την οποία έχει σχεδιαστεί.



Σχήμα 8 Αλληλεπίδραση μεταξύ Packet Scheduler και άλλων λειτουργιών RRM

1.4.4 Άλλες μέθοδοι RRM

Οι παραπάνω ήταν οι σημαντικότερες μέθοδοι διαχείρισης ραδιοπόρων στα κινητά ασύρματα δίκτυα. Όμως εκτός από αυτές υπάρχουν και άλλες όπως ο αλγόριθμος προσαρμογής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (AMC) και η δυναμική φασματική πρόσβαση. Η πρώτη μέθοδος αναφέρεται στην χρησιμοποίηση κατάλληλης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για την μεγιστοποίηση της απόδοσης της προς τα κάτω ζεύξης. Η επιλογή της σωστής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης γίνεται με βάση τις συνθήκες που επικρατούν κάθε δεδομένη χρονική στιγμή στο κανάλι για κάθε χρήστη. Όσον αφορά τη δεύτερη μέθοδο της δυναμικής φασματικής πρόσβασης η οποία αποτελεί ένα νέο ερευνητικό πεδίο, αναφέρεται στην ανάπτυξη νέων ευέλικτων μηχανισμών και τεχνολογιών για το διαμοιρασμό του φάσματος. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο γίνεται χρήση συσκευών ευέλικτης φασματικής πρόσβασης, οι οποίες είναι ικανές να αναγνωρίζουν και να χρησιμοποιούν δυναμικά ανενεργές ή υποχρησιμοποιούμενες ζώνες συχνοτήτων, οδηγώντας έτσι σε αποδοτική χρήση του υπάρχοντος φάσματος. Η εξέλιξη αυτή ανοίγει νέους δρόμους για τις ασύρματες υπηρεσίες που λειτουργούν σε μη αδειοδοτημένες περιοχές συχνοτήτων και πάσχουν από την έλλειψη φασματικών πόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΘΕΣΗΣ

2.1 Γενικά

Στα κινητά δίκτυα, υπάρχει ένας πρόσθετος αστάθμητος παράγοντας, ο οποίος εισάγει πρόσθετες δυσκολίες στη διαχείριση των πόρων του δικτύου: η κινητικότητα. Οι χρήστες σε τέτοια δίκτυα δεν έχουν ένα σταθερό σημείο σύνδεσης αλλά μπορούν να περιπλανηθούν μέσα στο δίκτυο κινούμενοι από ένα σημείο σύνδεσης σε άλλο. Με άλλα λόγια, η κινητικότητα προκύπτει από την αλλαγή της θέσης όμως η θέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιηθεί η κινητικότητα. Υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που είναι επίσης σημαντικές, όπως η ταχύτητα του χρήστη ή η κατεύθυνση της κίνησής του, αλλά όπως θα παρουσιαστεί αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο μπορούν και οι δύο να θεωρηθούν ως παράμετροι σχετικές με την θέση.

Η ανάγκη για δυναμική ανάθεση πόρων μέσα στα κινητά δίκτυα είναι μεγαλύτερη από ότι σε οποιοδήποτε άλλο τύπο δικτύου. Η αποδοτική διαχείριση των πόρων του δικτύου είναι βασικό να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών αλλά και των παρόχων. Όμως για να είναι εφικτή η αποδοτική διαχείριση των πόρων πρέπει να μπορεί να γίνει εκτίμηση τη παρούσας θέσης και πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του κινητού τερματικού. Τα σύγχρονα κινητά δίκτυα έχουν ενσωματωμένες δυνατότητες για τον καθορισμό της θέσης των χρηστών τους. Οι μηχανισμοί εντοπισμού και πρόβλεψης θέσης έχουν πραγματοποιήσει μια πρωτοφανή έκρηξη τα τελευταία χρόνια και έχουν ωριμάσει αρκετά, ώστε να παρέχουν αρκετά ακριβείς εκτιμήσεις και προβλέψεις της θέσης του χρήστη κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες.

2.2 Εκτίμηση θέσης

Η βασική απαίτηση για την εφαρμογή σχημάτων διαχείρισης πόρων με γνώση της θέσης (location aware) είναι η ύπαρξη ενός ακριβή μηχανισμού για την εκτίμηση της θέσης του κινητού χρήστη. Τα συστήματα που καθορίζουν τη θέση ενός κινητού χρήστη μπορούν να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα συστήματα ιχνηλάτησης (tracking) και τα συστήματα καθορισμού θέσης (positioning). Στα συστήματα ιχνηλάτησης ένα δίκτυο είναι εξοπλισμένο με κατάλληλες συσκευές (αισθητήρες) που καθορίζουν τη θέση του χρήστη, ο οποίος πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα ειδικό εξάρτημα που επιτρέπει στο δίκτυο να ανιχνεύει τη θέση του. Η πληροφορία θέσης δεν

είναι άμεσα διαθέσιμη στο χρήστη, αλλά μόνο στο δίκτυο και για να την μάθει και ο χρήστης θα πρέπει το δίκτυο να του μεταφέρει τα αντίστοιχα δεδομένα θέσης μέσω μιας ασύρματης σύνδεσης. Από την άλλη μεριά στα συστήματα εντοπισμού θέσης, το ίδιο το κινητό καθορίζει τη θέση του, χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια υποδομή αισθητήρων στο δίκτυο. Η υποδομή που χρησιμοποιείται αποτελείται κυρίως από ενεργά στοιχεία που μεταδίδουν ειδικά σήματα με συγκεκριμένη πληροφορία θέσης (beacons). Επιπλέον, η πληροφορία θέσης είναι άμεσα διαθέσιμη στο κινητό σύστημα και δεν χρειάζεται να μεταφερθεί ασύρματα.

Παρόλα αυτά όλα τα συστήματα εκτίμησης θέσης, ανεξάρτητα από την κατηγορία τους, βασίζονται σε ένα μικρό σύνολο βασικών τεχνικών :

1. **Κυψέλη προέλευσης (Cell Of Origin, COO):** Χρησιμοποιείται στα κυψελωτά συστήματα και η βασική της αρχή είναι η διαφοροποίηση της κάθε κυψέλης, μέσω της χρήσης ενός μοναδικού αναγνωριστικού κυψέλης το οποίο μεταδίδεται από το σταθμό βάσης που καλύπτει τα όρια της κυψέλης. Η μέθοδος αυτή θα αναλυθεί περισσότερο στη συνέχεια.
2. **Χρόνος άφιξης (Time Of Arrival, TOA):** Η τεχνική αυτή μετράει το χρονικό παράθυρο ανάμεσα στην αποστολή ενός σήματος και στη λήψη του για να υπολογίσει την χωρική απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη. Μια παραλλαγή της μεθόδου, γνωστή ως διαφορά του χρόνου άφιξης (TDOA), χρησιμοποιεί την χρονική διαφορά ανάμεσα στις λήψεις δύο σημάτων για να παράγει πιο ορθά αποτελέσματα.
3. **Γωνία άφιξης (Angle Of Arrival, AOA):** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα σταθερό σύνολο κατευθυντικών κεραιών και μετράει την κατεύθυνση (γωνία) του λαμβανόμενου σήματος. Για να εκτιμηθεί σωστά η θέση του κινητού αντικείμενου θα πρέπει να καθοριστούν τουλάχιστον δύο γωνίες, από διαφορετικές κεραιές, προς αυτό.
4. **Μέτρηση ισχύος σήματος (Signal Strength Mesurament, SSM):** Δεδομένου ενός συγκεκριμένου επιπέδου ισχύος σήματος, η απόσταση από την πηγή μπορεί να υπολογιστεί εύκολα λύνοντας την εξίσωση εξασθένησης σήματος. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, στο χώρο ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη υπάρχουν διάφορα αντικείμενα που επηρεάζουν τις μετρήσεις. Συνεπώς, αυτή η μέθοδος σπάνια παράγει ορθά αποτελέσματα.

Συμπληρωματικά έχουν αναπτυχθεί συγκεκριμένες μέθοδοι εντοπισμού θέσης που προέρχονται από την γεωμετρία και την τριγωνομετρία, για να εκτιμήσουν την ακριβή

θέση ενός κινητού αντικειμένου. Η τριγωνοποίηση (triangulation), η τριμεροποίηση (trilateration) η οποία αναλύεται παρακάτω και η εγκάρσια διάσχιση (traversing) είναι γνωστές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούν τις αποστάσεις ή τις γωνίες ανάμεσα στο κινητό αντικείμενο και δύο ή περισσότερα σταθερά σημεία (χρησιμοποιώντας τις βασικές τεχνικές που αναφέρθηκαν) έτσι ώστε να παράγουν ορθές εκτιμήσεις θέσης.

Μια εναλλακτική μέθοδος, η οποία δανείζεται αρχές από τη στοχαστική θεωρία και τις πιθανότητες είναι η τεχνική “δακτυλικού αποτυπώματος” θέσης (location fingerprinting). Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο κατά πόσο ταιριάζει ένα σύνολο μετρήσεων με ένα σύνολο αναφοράς που περιέχεται σε μια βάση δεδομένων. Μια κινητή συσκευή δηλαδή, κρατάει ένα στιγμιότυπο των σημάτων που είναι ορατά από τους σταθμούς βάσης για να τα συγκρίνει με σημεία αναφοράς που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων. Μια συνήθης προσέγγιση μοντελοποίησης σήματος που είναι γνωστή και ως φάση εκπαίδευσης για την συγκεκριμένη μέθοδο είναι η καταγραφή δειγμάτων σημάτων από σημεία σε ένα μεγάλο πλέγμα τα οποία απεικονίζονται για να περιγράψουν είτε ολόκληρη την περιοχή που καλύπτεται από το κινητό δίκτυο είτε συγκεκριμένους τομείς μέσα σε αυτή. Επόμενο είναι ότι όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος του πλέγματος της κυψέλης, τόσο περισσότερα δείγματα αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Για το λόγο αυτό η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε εσωτερικά περιβάλλοντα, όπου η περιοχή κάλυψης είναι περιορισμένη και υπάρχει πληθώρα σημάτων από διαφορετικά σημεία πρόσβασης (AP). Αντίθετα σε μεγάλα κυψελωτά συστήματα (π.χ. GSM), η χρήση της μεθόδου αυτής είναι πολύ δύσκολη και φορτική καθώς η περιοχή που πρέπει να χαρτογραφηθεί στη βάση δεδομένων κατά τη διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης μπορεί να είναι πολύ μεγάλη.

Τα υπάρχοντα συστήματα εντοπισμού θέσης μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες. Αρχικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε εσωτερικά και εξωτερικά συστήματα, ανάλογα με την εφαρμοσιμότητα τους στο αντίστοιχο περιβάλλον, ενώ με κριτήριο την τεχνολογία εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιείται, χωρίζονται σε συστήματα δορυφορικής και επίγεια υποδομής. Επιπλέον, πολλές φορές στη βιβλιογραφία εμφανίζεται μια άλλη κατηγοριοποίηση βασισμένη στο είδος την πληροφορίας θέσης που επιστρέφεται (συστήματα συμβολικής θέσης και απόλυτης θέσης). Στη συνέχεια περιγράφονται τα εξωτερικά συστήματα εντοπισμού θέσης και αναφέρονται ενδεικτικά χαρακτηριστικά από κάθε υποκατηγορία τους.

2.2.1 Δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης

Η ιδέα για την χρήση δορυφόρων για εντοπισμό θέσης προέρχεται από το 1960. Ωστόσο, το πρώτο εμπορικό δορυφορικό σύστημα λειτούργησε το 1995 και είναι το γνωστό σε όλους καθολικό σύστημα εντοπισμού θέσης (Global Positioning System, GPS), που λειτούργησε από τη NASA, το υπουργείο άμυνας και το υπουργείο μεταφορών των ΗΠΑ. Ο εντοπισμός θέσης στο GPS βασίζεται στα σήματα που μεταδίδονται από δορυφόρους, τις εκτιμώμενες αποστάσεις και τις αντίστοιχες γωνίες από τα λαμβανόμενα σήματα. Το GPS παρέχει ένα καθολικό σύστημα υπηρεσίας εντοπισμού θέσης, ελεύθερα διαθέσιμο στο κοινό, με ακρίβεια 25-43 μέτρων. Μεγαλύτερη ακρίβεια είναι εφικτή αλλά μόνο για στρατιωτικούς και κυβερνητικούς σκοπούς. Σημειώνεται ότι τουλάχιστον τρία δορυφορικά σήματα απαιτούνται για τον εντοπισμό ενός κινητού στόχου, ενώ περισσότερα σήματα μπορούν να ενισχύσουν την ορθότητα της υπηρεσίας εντοπισμού.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές εμπλουτισμού του παραδοσιακού συστήματος GPS, με σκοπό να αυξήσουν την αποδοτικότητα του εντοπισμού. Το διαφορικό GPS και το σύστημα ευρείας ζώνης (wide area augmentation system, WASS), χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό σταθμών βάσης, GPS δορυφόρων και γεωστατικών δορυφόρων για να αυξήσουν την ακρίβεια της υπηρεσίας εντοπισμού στην ακτίνα των 3 μέτρων. Ωστόσο, και τα δύο συστήματα περιορίζονται σε μικρές γεωγραφικά περιοχές. Άλλα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης αποτελούν τα GLONASS, EGNOS και GALILEO. Το GLONASS είναι το ρώσικο συμπληρωματικό του GPS και παρέχει παρόμοια ακρίβεια με αυτό. Ωστόσο, οικονομικά προβλήματα οδήγησαν στη ανικανότητα διατήρησης του από τη ρωσική κυβέρνηση, με αποτέλεσμα να σταματήσει. Το ευρωπαϊκό γεωστατικό σύστημα πλοήγησης EGNOS, είναι ένα σύστημα παρόμοιο με το WASS, το οποίο ενισχύει την ακρίβεια του GPS και του GLONASS και παρέχει ευρωπαϊκή κάλυψη. Τέλος, το GALILEO είναι το ευρωπαϊκό συμπληρωματικό του GPS. Η ολική λειτουργία του έχει προγραμματισθεί για το 2008 και η αποδοτικότητα του αναμένεται να είναι παρόμοια ή καλύτερη από του GPS.

Συμπερασματικά τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού είναι τα ακόλουθα :

- Μεγάλη ακρίβεια
- Καθολική διαθεσιμότητα της υπηρεσίας εντοπισμού
- Ελάχιστη επιρροή από περιβαλλοντικές και καιρικές συνθήκες

Ωστόσο τα συστήματα αυτά έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία μπορούν να συμπεριλάβουν τα ακόλουθα :

- Μεγάλο κόστος για τη δημιουργία και την επιτήρηση της δορυφορικής υποδομής
- Ανικανότητα παραγωγής πληροφορίας εντοπισμού για εσωτερικά περιβάλλοντα
- Ανάγκη για συγκεκριμένο εξοπλισμό (δέκτης GPS) στο κινητό τερματικό, το οποίο μπορεί να είναι ακριβό.

2.2.2 Επίγεια συστήματα εντοπισμού θέσης

Τα επίγεια συστήματα εντοπισμού θέσης εκμεταλλεύονται την υποδομή του δικτύου κινητών έτσι ώστε να εκτιμήσουν την θέση ενός κινητού αντικειμένου. Τα συστήματα αυτά είναι λιγότερο ακριβά από ότι τα δορυφορικά, καθώς η ίδια υποδομή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρησιμοποιείται και για τον καθορισμό της θέσης του χρήστη. Τα δύο πιο γνωστά και χρησιμοποιούμενα συστήματα της κατηγορίας αυτής είναι το GSM και το WLAN. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα δυο αυτά συστήματα.

Εντοπισμός θέσης σε συστήματα GSM

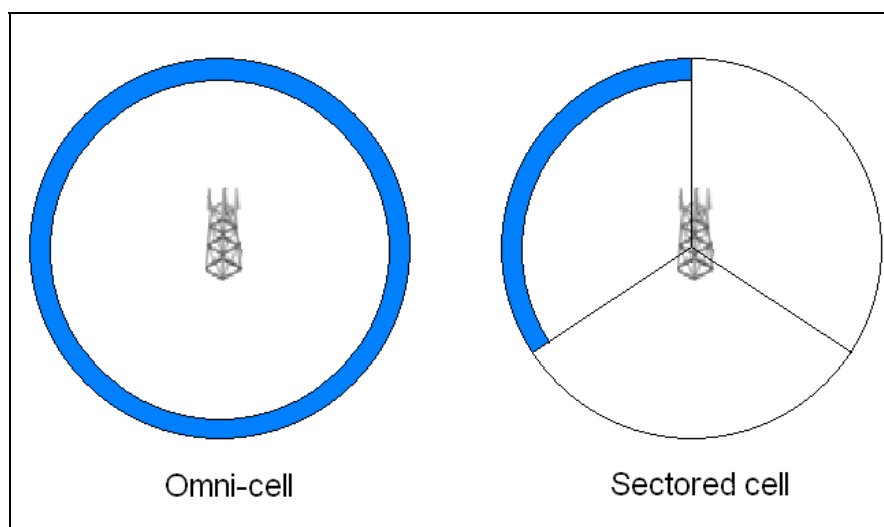
Στον εντοπισμό θέσης στα συστήματα GSM μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι προαναφερθείσες τεχνικές έτσι ώστε να βρεθεί η θέση του κινητού αντικειμένου. Αυτό όμως που έχει σημασία είναι η αποδοτικότητα που μπορεί να επιτύχει το GSM σύστημα. Ανάλογα με την μέθοδο εντοπισμού, η πληροφορία θέσης μπορεί να είναι πραγματικά ακατέργαστη, αν χρησιμοποιείται η μέθοδος COO, ενώ πολύ πιο έξυπνοι μηχανισμοί όπως οι TOA, EOTD ή AOA μπορούν να παρέχουν σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την ακρίβεια. Για την μέθοδο COO, η ακρίβεια κυμαίνεται ανάμεσα σε λιγότερο από 1 μέχρι 35 km ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι μπορούν να παρέχουν ακρίβεια της τάξεως των λίγων δεκάδων ή εκατοντάδων μέτρων. Παρόλο που δεν είναι τόσο ακριβής όσο ο εντοπισμός μέσω δορυφόρων, το GSM έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πρώτο. Αρχικά, δεν χρειάζεται επιπρόσθετος εξοπλισμός από τη μεριά του τερματικού και δεύτερον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της θέσης ενός αντικειμένου τόσο σε εσωτερικά όσο και σε εξωτερικά περιβάλλοντα.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα οι μέθοδοι εντοπισμού θέσης που βασίζονται στην τριμεροποίηση και την ταυτότητα της κυψέλης (cell ID).

Ταυτότητα κυψέλης (cell-id)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το cell-id για να προσδιορίσει την θέση του κινητού τερματικού. Η απόδοση της συγκεκριμένης μεθόδου βασίζεται στη πυκνότητα του κυψελωτού δικτύου, συγκεκριμένα όσο μικρότερη είναι η κυψέλη τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο εντοπισμός θέσης. Για να βελτιωθεί η απόδοση, χρησιμοποιούνται δύο μετρήσεις του ασύρματου δικτύου πρόσθετα από την cell-id, κάτι το οποίο αναφέρεται ως cell-id++. Στο GSM χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δικτύου (μετρήσεις της λαμβανόμενης ισχύος από τις γειτονικές κυψέλες) και η χρονική πρόοδος (timing advance) (ένας μηχανισμός για συγχρονισμό στο ασύρματο κανάλι της κατεύθυνσης κινητού προς σταθμό βάσης), ενώ τα συστήματα τρίτης γενιάς χρησιμοποιούν το Round Trip Time (RTT), το οποίο μετράει το χρόνο που χρειάζεται στα ραδιοκύματα να ολοκληρώσουν μια διαδρομή και να επιστρέψουν πίσω.

Η μέθοδος cell-id αυτή είναι η απλούστερη για τον εντοπισμό της θέσης ενός κινητού. Στηρίζεται στην υπόθεση ότι η γεωγραφική κάλυψη μιας κυψέλης αντιστοιχεί σε αυτή που προβλέπεται από τις μελέτες ραδιοκάλυψης. Όταν ένα ενεργό κινητό συνδέεται με έναν σταθμό βάσης, το κινητό υποτίθεται ότι βρίσκεται γεωγραφικά μέσα στην περιοχή του σταθμού βάσης που προβλέπεται ότι θα το εξυπηρετήσει καλύτερα. Ο αξιόπιστος προσδιορισμός θέσης επομένως απαιτεί τους ακριβείς χάρτες της περιοχής κάλυψης σταθμών βάσεων, οι οποίοι παράγονται χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό προγραμματισμού. Είναι δυνατό να βελτιωθεί η απόδοση του προσδιορισμού θέσης χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις RTT που λαμβάνονται από το σταθμό βάσης, ο οποίος μετρά το χρόνο μεταξύ της μετάδοσης ενός πλαισίου (από το σταθμό βάσης στο κινητό) και της επιστροφής του αντίστοιχου πλαισίου (από το κινητό στο σταθμό βάσης). Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέτρηση, ο σταθμός βάσης μπορεί να υπολογίσει την απόσταση μέχρι το κινητό, με ακρίβεια περίπου 80 m. Αν και οι πληροφορίες αυτές έχουν μικρή χρησιμότητα για μια κυψέλη που εξυπηρετείται από μια ομοιοκατευθυντική κεραία, μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένη ακρίβεια στην περίπτωση που οι κυψέλες εξυπηρετούνται από διάφορες κατευθυντικές κεραίες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 9 Χρήση του RTT

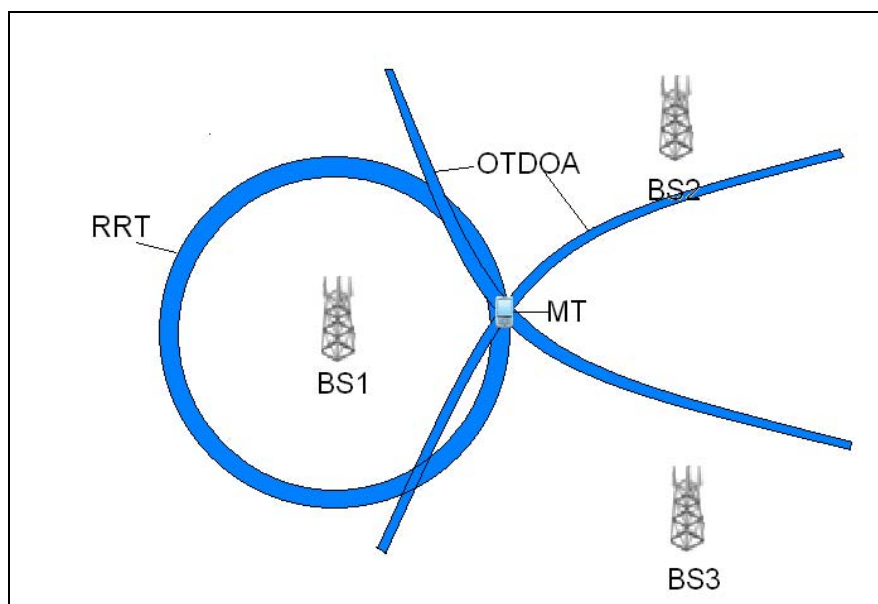
Αντίθετα με τα συστήματα δεύτερης γενιάς, στα οποία ένα κινητό επικοινωνεί μόνο με ένα σταθμό βάσης, ένα τερματικό τρίτης γενιάς κινητών μπορεί να επικοινωνεί με διάφορους σταθμούς βάσης στις “soft” μεταπομπές. Μια πρόσθετη δυσκολία βρίσκεται στο γεγονός ότι οι σταθμοί βάσης στους οποίους το κινητό είναι ενεργό μπορούν να αλλάξουν αρκετές φορές το δευτερόλεπτο. Για το λόγο αυτό απαιτείται μια μέθοδος που θα προσδιορίζει βέλτιστα την κυψέλη που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη γεωγραφική θέση του κινητού. Συμπερασματικά, οι μέθοδοι που βασίζονται στην κάλυψη της κυψέλης μπορούν να είναι αποδοτικές για υπηρεσίες που δεν απαιτούν ακρίβεια καλύτερη από λίγες εκατοντάδες μέτρα. Το πλεονέκτημα τους είναι το χαμηλό κόστος της λειτουργίας καθώς και το γεγονός ότι μπορούν να υλοποιηθούν σε όλο το πληθυσμό των κινητών χρηστών, καθώς δεν απαιτείται συγκεκριμένη υλοποίηση στο ίδιο το κινητό. Η κύρια δυσκολία των μεθόδων αυτών είναι η δυσκολία της σωστής πρόβλεψης της γεωγραφικής κάλυψης των κυψελών, καθώς ο “βέλτιστος” σταθμός βάσης δεν θα είναι πάντα αυτός που είναι πιο κοντά.

Τριμεροποίηση (Trilateration)¹

Το πρόβλημα της πρόβλεψης κάλυψης μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της τριμεροποίησης, χρησιμοποιώντας δηλαδή μετρήσεις των χρόνων των σημάτων που έρχονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Αν οι θέσεις των δύο σταθμών βάσης είναι γνωστές και είναι εφικτό να μετρηθεί το χρονικό διάστημα που

¹ Αξίζει να σημειωθεί ότι η τριμεροποίηση διαφέρει από την τριγωνοποίηση (triangulation), αφού στην πρώτη χρησιμοποιούνται μόνο αποστάσεις από σημεία αναφοράς για τον προσδιορισμό της θέσης, ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται γωνίες και μία τουλάχιστον γνωστή απόσταση.

απαιτείται για να φτάσουν τα μεταδιδόμενα σήματα από τους σταθμούς βάσης στο κινητό, δηλαδή η διαφορά ώρας που παρατηρείται στο ρολόι του συστήματος όπως λαμβάνεται από τους δύο σταθμούς βάσης, είναι εφικτό στη συνέχεια να υπολογιστεί ένας γεωμετρικός τόπος για τον οποίο η διαφορά χρόνου είναι σταθερή και ίση με αυτή που μετρήθηκε από το κινητό. Η εκτιμώμενη θέση του κινητού αποκτάται από την επανάληψη αυτής της διαδικασίας και παίρνοντας την τομή των γεωμετρικών τόπων που ορίστηκαν με αυτό το τρόπο. Αυτή η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με μετρήσεις RTT για να αυξηθεί η απόδοση του εντοπισμού θέσης. Η μέθοδος της τριμεροποίησης που αναπαριστάται στο παρακάτω σχήμα είναι περισσότερο αποδοτική από τη μέθοδο που χρησιμοποιεί την ταυτότητα κυψέλης και συγκεκριμένα δεν εξαρτάται από την σωστή πρόβλεψη της κάλυψης.



Σχήμα 10 Μέθοδος τριμεροποίησης

Ωστόσο, η απόδοση της μεθόδου σχετίζεται άμεσα με το χρόνο που απαιτείται για να μεταβούν τα σήματα από τους σταθμούς βάσης στο κινητό και για το λόγο αυτό μπορεί εύκολα να επηρεαστεί από πολλαπλές ανακλάσεις στις αστικές περιοχές. Επί πρόσθετα, απαιτείται να είναι ορατοί τρεις σταθμοί βάσης, κάτι το οποίο μπορεί να μην ισχύει στις αστικές περιοχές ή μέσα σε κτίρια. Το κινητό μπορεί να μετρήσει μόνο διαφορές παρατηρούμενου χρόνου. Διαφορές στους χρόνους μετάβασης μπορούν να υπολογιστούν μόνο αν είναι γνωστό το διάστημα ανάμεσα στους δύο σταθμούς βάσης κατά τη διάρκεια της μετάδοσης (Relative Time Difference, RTD). Υπάρχουν λύσεις για

αυτή τη περίπτωση όμως είναι σχετικά ακριβές με αποτέλεσμα να μην συμφέρει η υλοποίησή τους.

Εντοπισμός θέσης σε WLAN

Στα WLAN η μέτρηση της ισχύος των σημάτων από τα διάφορα σημεία πρόσβασης (APs) που είναι διασκορπισμένα μέσα σε όλη την περιοχή κάλυψης του δικτύου, και η εκτέλεση των κατάλληλων υπολογισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η θέση ενός κινούμενου αντικειμένου. Οι ταυτότητες των APs μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να ληφθεί μια ακατέργαστη εκτίμηση της θέσης του χρήστη. Ωστόσο, δεδομένου του γεγονότος ότι τα συστήματα WLAN έχουν περιορισμένη κάλυψη, η εκτίμηση αυτή δεν χρησιμοποιείται πολύ. Πιο ακριβής πληροφορία θέσης μπορεί να επιτευχθεί με συστήματα όπως τα Nibble και Ekahau, ή ακόμα καλύτερα χρησιμοποιώντας συστήματα ιχνηλάτησης θέσης.

Το σύστημα Nibble αναπτύχθηκε από το UCLA και χρησιμοποιεί Bayesian φιλτράρισμα με σκοπό να διακρίνει μια συγκεκριμένη θέση από άλλες με διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας του σήματος. Το συγκεκριμένο σύστημα εκμεταλλεύεται την μέθοδο των "δακτυλικών αποτυπωμάτων" για να εκτιμήσει την θέση ενός κινούμενου αντικειμένου, η οποία με τη σειρά της συνεπάγεται να εκτελεστεί μια φάση εκπαίδευσης πριν την παραγωγή αποτελεσμάτων. Το σύστημα Nibble μπορεί να παράγει πληροφορία θέσης με ακρίβεια της τάξεως των 3 μέτρων. Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι τα σήματα από τα σημεία πρόσβασης μπορούν να διακυμαίνονται σημαντικά, ανάλογα με την παρουσία κινούμενων αντικειμένων μέσα στην περιοχή κάλυψης, οι εκτιμήσεις μπορεί να είναι πολύ χειρότερες. Φυσικά τα αποτελέσματα βελτιώνονται αν ο αριθμός των σημείων πρόσβασης που καλύπτουν την περιοχή αυξηθεί. Η τοποθεσία συνήθως δίνεται σε συμβολική μορφή αλλά μπορούν να δοθούν και συντεταγμένες σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται εξαντλητική κάλυψη της περιοχής κατά τη διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης για να είναι ορθές οι συντεταγμένες.

Η μηχανή εντοπισμού Ekahau (EPE) που αναπτύχθηκε από την Ekahau, είναι ένα εμπορικό προϊόν το οποίο συνδυάζει τα Bayesian δίκτυα με άλλες στοχαστικές μεθόδους έτσι ώστε να εκτιμηθεί η θέση του κινούμενου αντικειμένου με ακρίβεια από 1-3 μέτρα. Η EPE χρησιμοποιεί έναν κεντροποιημένο εξυπηρετητή θέσης έτσι ώστε να παρέχει τις υπηρεσίες θέσης και απαιτεί από κάθε κινητό αντικείμενο να μπορεί να λάβει σήματα από τουλάχιστον δύο σημεία πρόσβασης για να παρέχει μια ορθή εκτίμηση της θέσης του. Όπως και στο προηγούμενο σύστημα, η EPE μπορεί να

παρέχει είτε συμβολική πληροφορία θέσης είτε συντεταγμένες σχετικά με ένα σημείο αναφοράς.

2.3 Πρόβλεψη θέσης

Είναι προφανές ότι σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, όπως αυτά που καλύπτονται από τα δίκτυα κινητών, ο εντοπισμός της θέσης ενός χρήστη είναι σημαντικό θέμα, από την άλλη όμως η θέση του είναι ένα προσωρινό χαρακτηριστικό το οποίο μετά από λίγα λεπτά μπορεί να μην ενδιαφέρει το δίκτυο. Αυτό που είναι σημαντικό ωστόσο είναι να γνωρίζει που θα βρίσκεται ο χρήστης στο μέλλον, καθώς η γνώση της μελλοντικής θέσης επιτρέπει στο δίκτυο να εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες έτσι ώστε να αποφύγει ενδεχόμενες μη επιθυμητές καταστάσεις. Η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης ενός κινητού αντικειμένου, που βασίζεται στην παρούσα θέση του, συνήθως απαιτεί γνώση παραμέτρων όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση.

Διάφορες μέθοδοι και τεχνικές έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί για να λύσουν το πρόβλημα της πρόβλεψης της κίνησης ενός κινητού αντικειμένου. Ορισμένες από αυτές χρησιμοποιούν προαναφερθείσες παραμέτρους για να τροφοδοτήσουν τους αλγορίθμους τους, ενώ άλλες βασίζονται στο ιστορικό της κίνησης ή σε αρχές από την θεωρία της πληροφορίας ή των πιθανοτήτων.

Στη συνέχεια θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή των ερευνητικών προσπαθειών που αφορούν την πρόβλεψη κίνησης.

Ένα πιθανοτικό μοντέλο της κίνησης του χρήστη βασισμένο στο ιστορικό των μεταπομπών προτάθηκε από τους Choi και Shin το 1998. Το μοντέλο βασίζεται στο συνολικό ιστορικό όλων των μεταπομπών που προέκυψαν σε μια δεδομένη κυψέλη και αποτελείται από δύο στάδια: την εκτίμηση της μεταπομπής και την προσαρμόσιμη δέσμευση φάσματος. Στο πρώτο στάδιο, κάθε σταθμός βάσης, που εμπλέκεται σε μεταπομπές, διατηρεί τετράδες δεδομένων της μορφής (T_{event} , $prev$, $next$, T_{soj}) για ένα κινητό με περιαγωγή, που ονομάζονται “δεδομένα μεταπομπής”. Το πρώτο στοιχείο της τετράδας T_{event} είναι ο χρόνος που το κινητό αναχώρησε από την τρέχουσα κυψέλη, το $prev$ είναι ο δείκτης της κυψέλης που επισκέφτηκε προηγουμένως, το $next$ είναι ο δείκτης της επόμενης κυψέλης και το T_{soj} είναι η ο χρόνος παραμονής στην κυψέλη του τερματικού. Από τις τετράδες αυτές, ο σταθμός βάσης δημιουργεί μια συνάρτηση εκτίμησης της μεταπομπής (Handoff Estimation, HOE), η οποία περιγράφει την εκτιμώμενη κατανομή της επόμενης κυψέλης και τον χρόνο παραμονής ενός κινητού, ανάλογα με την κυψέλη από την οποία προέρχεται το κινητό. Μια συνάρτηση HOE για

τη χρονική στιγμή t_0 προκύπτει ως εξής : για μια τετράδα $(T_{event}, prev, next, T_{soj})$ τέτοια ώστε

$$t_0 - T_{init} - nT_{day} \leq T_{event} < t_0 + T_{init} - nT_{day}$$

όπου T_{init} είναι το διάστημα εκτίμησης της HOE (παράμετρος σχεδίασης), T_{day} είναι η διάρκεια μιας ημέρας και n είναι ένας ακέραιος ,

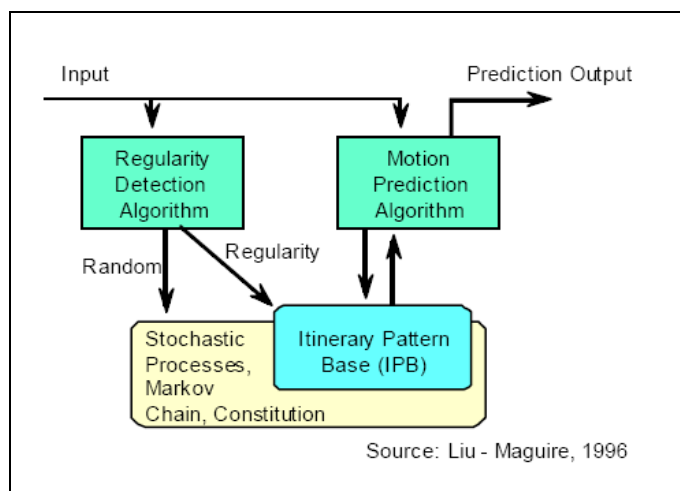
$$F_{HOE}(t_0, prev, next, T_{soj}) := w_n$$

όπου $1 > w_n > w_{n+1}$ και $w_n=0$ για όλα τα $n > N_{win_day}$ (το N_{win_day} είναι μια παράμετρος σχεδίασης που χρησιμοποιείται για να μην λαμβάνονται υπόψη τα παλιά δείγματα).

Στην εργασία των Bhattacharya και Das (1999), έχει μελετηθεί το πρόβλημα ιχνηλάτησης της κινητικότητας σε ένα κυβελωτό σύστημα από την σκοπιά της θεωρίας της πληροφορίας. Η σύγκριση των μοντέλων της κινητικότητας του χρήστη βασίζεται στην έννοια της εντροπίας. Στο προτεινόμενο σχήμα δημιουργείται και διατηρείται ένα λεξικό με τις ανανεώσεις του μονοπατιού του χρήστη το οποίο υποστηρίζει ένα προσαρμόσιμο online αλγόριθμο που μαθαίνει από τα προφίλ των συνδρομητών. Η τεχνική αυτή βασίζεται σε ιδέες και αντιλήψεις που προέρχονται από την περιοχή της συμπίεσης χωρίς απώλειες και κυρίως από τον αλγόριθμο Lempel-Ziv. Ο αλγόριθμός αυτός ονομάζεται LeZi-ενημέρωση και χρησιμοποιείται για να μειώσει τα κόστη που σχετίζονται με τις ενημερώσεις θέσης ενώ η ισχύς πρόβλεψης του χρησιμοποιείται για να μειώσει το κόστος σελιδοποίησης. Στον Das(2002), το σχήμα ανανέωσης LeZi εφαρμόζεται σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού για να εντοπίσει ένα κάτοικο και να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις συνδεσιμότητας μέσα και γύρω από το σπίτι.

Ο αλγόριθμος που παρουσιάστηκε από τους Liu και Maguire (1996) βασίζεται στο σχήμα πρόβλεψης κίνησης του κινητού (Mobile motion prediction, MMP) για την πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του χρήστη σύμφωνα με το ιστορικό κίνησης του. Το σχήμα αποτελείται από αλγόριθμους ανίχνευσης κανονικοποιημένης μορφής (Regularity-pattern detection, RPD) και αλγόριθμους πρόβλεψης κίνησης (Motion prediction algorithm, MPA) . Η ανίχνευση κανονικοποιημένης μορφής χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει πρότυπα κίνησης του χρήστη από μια κατάλληλα δομημένη βάση δεδομένων (IPB: Itinerary Pattern Base). Τρεις κλάσεις σχημάτων ταιριάσματος χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση προτύπων: το ταιρίασμα κατάστασης, ταχύτητας ή χρόνου και συχνότητας. Ο αλγόριθμος πρόβλεψης υλοποιείται για να συνδυάσει την κανονικοποιημένη πληροφορία με τη στοχαστική πληροφορία (και περιορισμούς) και με

αυτό τον τρόπο να καταλήξει σε μια απόφαση-πρόβλεψη για τη μελλοντική θέση του τερματικού. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο αλγόριθμος αυτός. Προσομοιώσεις έδειξαν ότι η μέγιστη απόδοση πρόβλεψης του προαναφερόμενου σχήματος είναι περίπου 95%.



Σχήμα 11 Αλγόριθμος πρόβλεψης Liu-Maguire

Η εργασία που παρουσιάστηκε από τους Bahl και Liu (1998), η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές ταιριάσματος προτύπων και εκτεταμένα, αυτοδίδακτα, φίλτρα Kalman για την εκτίμηση της μελλοντικής κίνησης των κινητών τερματικών και την υλοποίηση με αυτό τον τρόπο προκαταβολικής δέσμευσης πόρων και βέλτιστης δρομολόγησης σε αρχιτεκτονικές βασισμένες σε ATM. Τα πρότυπα κινητικότητας του χρήστη (User mobility patterns, UMB) αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων και τροφοδοτούνται σε ένα προσεγγιστικό αλγόριθμο ταιριάσματος προτύπων για να οδηγήσουν στην εκτίμηση (Global prediction, GP) της κατεύθυνσης της διακυψελικής κίνησης του κινητού (ντετερμινιστικό μοντέλο). Η εκτιμήτρια Kalman σχετίζεται με την τυχαιότητα στην κίνηση του χρήστη ιχνηλατώντας την τροχιά μέσα στην κυψέλη (στοχαστικό μοντέλο Local Prediction, LP). Τα δύο μοντέλα συνδυάζονται (ιεραρχική πρόβλεψη θέσης) για την παραγωγή μιας ημιτυχαίας τροχιάς κίνησης. Οι προσομοιώσεις του αλγόριθμου έδειξαν ότι επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός απόδοσης πρόβλεψης όσο τα φίλτρα Kalman γίνονται σταθερά.

Μια αυτοπαλινδρομική τεχνική φιλτραρίσματος πρώτης τάξεως (first-order autoregressive filtering technique) χρησιμοποιήθηκε από τους Aljadhari και Znati (2001), με σκοπό να προβλέψουν την κυψέλη που είναι πιο πιθανό να επισκεφτεί το κινητό στη συνέχεια. Η πρόβλεψη κατεύθυνσης βασίζεται στο ιστορικό κίνησης του τερματικού. Συγκεκριμένα έστω ότι D_0 είναι η τρέχουσα κατεύθυνση του κινητού όταν καθιερώνεται κάποια επικοινωνία. Αν D_t απεικονίζει την παρατηρούμενη κατεύθυνση του κινητού τη χρονική στιγμή t και \tilde{D}_t είναι η εκτιμώμενη κατεύθυνση τη χρονική στιγμή t , τότε η προβλεπόμενη κατεύθυνση τη στιγμή $t+1$ μπορεί να βρεθεί από τη σχέση

$$\tilde{D}_{t+1} = (1 - a)\tilde{D}_t + aD_t$$

όπου a είναι ο παράγοντας εξομάλυνσης του φίλτρου.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν επηρεάζεται από μικρές αποκλίσεις της κατεύθυνσης του κινητού και συγκλίνει γρήγορα στη νέα κατεύθυνση του κινητού τερματικού. Οι διαχειριστές δικτύου καθορίζουν την τρέχουσα θέση του τερματικού χρησιμοποιώντας ασύρματες μετρήσεις ή εντοπισμό της θέσης μέσω δορυφόρου (GPS). Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η κατευθυντική πιθανότητα οποιαδήποτε κυψέλης που θα την επισκεφτεί μετά το τερματικό μπορεί να παραχθεί βασισμένη α) στους λόγους των γωνιών που σχετίζονται με την τρέχουσα κυψέλη στην οποία βρίσκεται το τερματικό και β) στην εκτιμώμενη κατεύθυνση \tilde{D}_t της κινητής μονάδας τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η βασική ιδιότητα αυτής της κατανομής πιθανότητας είναι ότι για μια δεδομένη κατεύθυνση, η κυψέλη που απλώνεται στην εκτιμώμενη κατεύθυνση από την τρέχουσα κυψέλη έχει την υψηλότερη πιθανότητα να είναι αυτή που θα επισκεφτεί το κινητό στο μέλλον.

Οι Chan, Zhou(1998) χρησιμοποίησαν την πληροφορία κατεύθυνσης και το ιστορικό αναχώρησης για να προβλέψουν την μελλοντική κυψέλη ενός κινητού τερματικού. Σε περίπτωση που δεν υπήρχε ιστορικό, έμπαινε σε ενέργεια ένας μηχανισμός υποστήριξης, που ονομάζεται κριτήριο συσχέτισης, ο οποίος κατέγραφε τα πρότυπα κίνησης άλλων χρηστών. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλιζόταν ένα ιστορικό αναχώρησης για λόγους πρόβλεψης. Επίσης στην εργασία των Liu και Barton (1996), η κινητή μονάδα εκτελεί έναν ευέλικτο αλγόριθμο πρόβλεψης. Το κινητό διατηρεί πληροφορία για τη τροχιά του και τη συγκρίνει με τα υπάρχοντα πρότυπα κινητικότητας που διατηρούνται σε μια βάση δεδομένων, ενώ χρησιμοποιούνται γενετικοί αλγόριθμοι για την διαδικασία του ταιριάσματος.

Τέλος, τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιήθηκαν από τους Χατζηευθυμιάδη και Μεράκο (1999) με σκοπό να προβλέψουν την επομένη κυψέλη για το τερματικό και να χρησιμοποιήσουν την πληροφορία αυτή για την αύξηση της ποιότητας της παροχής κινητών υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα μαθησιακό αυτόματο² (Learning Automaton, LA) που βασίζεται σε ένα πίνακα μετάβασης κατάστασης, ο οποίος περιλαμβάνει τις πιθανότητες μετάβασης ενός βήματος από μια κατάσταση σε μια άλλη και ακολουθεί ένα γραμμικό σχήμα ανταμοιβής – ποινής (linear reward penalty LR-P) . Αν η απόφαση είναι σωστή λαμβάνεται μια θετική ανατροφοδότηση από το περιβάλλον και η πιθανότητα της αντίστοιχης μετάβασης κατάστασης αυξάνεται (“ανταμείβεται”) ενώ οι υπόλοιπες πιθανότητες μειώνονται (“τιμωρούνται”) έτσι ώστε να εξισορροπείται η αύξηση. Αν η απόφαση είναι λανθασμένη τότε η κατάσταση μετάβασης μειώνεται και οι υπόλοιπες αυξάνονται αντίστοιχα. Κατά την επίκληση του, το αυτόματο επιλέγει ως την υποψήφια μελλοντική κατάσταση την κατάσταση με την μεγαλύτερη πιθανότητα. Σημειώνεται ότι ο αλγόριθμος πρόβλεψης μονοπατιού εκτελείται στο μητρώο (registry) του τερματικού. Επίσης υπάρχει μια βάση δεδομένων των δρομολογίων για κάθε χρήστη με χωροχρονική πληροφορία (για τα User_ID και τα Cell_ID) και όταν απαιτείται η πρόβλεψη, ένα σύνολο εισόδων εξετάζονται και αυτή με την υψηλότερη πιθανότητα σηματοδοτείται ως η έξοδος του αλγόριθμου πρόβλεψης. Ανάλογα με το αν αυτή η απόκριση είναι σωστή ή όχι εκτελούνται και οι διεργασίες που προαναφέρθηκαν, ενώ αν δεν υπάρχουν σχετικές εισοδοί στη βάση δεδομένων, τότε μια νέα είσοδος εισάγεται στη βάση και λαμβάνεται μια τυχαία απόφαση.

Μια βελτίωση του παραπάνω αλγορίθμου προτάθηκε το 2003 από τους ίδιους, όπου λειτουργεί ως εξής: Υπάρχουν δυο LA, το καθολικό (global automaton, GA) και του χρήστη (per-user automaton, PUA) που λειτουργούν ταυτόχρονα σε δυο βάσεις δεδομένων για ένα συγκεκριμένο χρήστη. Στη συνέχεια οι έξοδοι από αυτά τα δυο αυτόματα συνδυάζονται σε ένα σταθμισμένο αυτόματο (Weigthed Automaton, WA). Όταν ζητηθεί μια πρόβλεψη για ένα συγκεκριμένο χρήστη εκτελούνται τα δυο αυτόματα PUA και GA και στη συνέχεια το WA συνδυάζει τις πιθανότητες με βάρη, για όλες τις μελλοντικές κυψέλες που επιστρέφουν τα δυο προηγούμενα αυτόματα όπως φαίνεται παρακάτω:

$$P_{WA}(pc, cc, fc, ts, uid) = \beta \cdot P_{GA}(pc, cc, fc, ts) + (1 - \beta) \cdot P_{UA}(pc, cc, fc, ts, uid),$$

² Μαθησιακό αυτόματο είναι ένα προσαρμόσιμο σύστημα πεπερασμένων καταστάσεων που επιδρά συνεχώς με το περιβάλλον με έναν επαναληπτικό τρόπο. Μέσω μιας πιθανοτικής διαδικασίας δοκιμών και λαθών μαθαίνει να επιλέγει και να προσαρμόζεται σε μια συμπεριφορά που παράγει την καλύτερη απόκριση.

όπου $\beta=1/3$, P_{WA} , P_{UA} συμβολίζουν την πιθανότητα μετάβασης από την προηγούμενη και τρέχουσα κυψέλη (pc , cc) στην επόμενη (fc) για μια δεδομένη χρονοθυρίδα (ts) για τα WA και PUA αντίστοιχα και P_{GA} την πιθανότητα μετάβασης από την προηγούμενη και τρέχουσα κυψέλη (pc , cc) στην επόμενη (fc) για μια δεδομένη χρονοθυρίδα (ts) και για ένα δεδομένο χρήστη (uid). Έχοντας λοιπόν την σταθμισμένη πιθανότητα τα υπόλοιπα στάδια παραμένουν ίδια με προηγουμένως. Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι το προτεινόμενο σχήμα πέτυχε αρκετά μεγάλη ακρίβεια πρόβλεψης της τάξης των 70-80%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης και πρόβλεψης θέσης ενός κινητού τερματικού οι οποίες, όπως θα αναλυθεί και στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, επιτρέπουν την αποδοτικότερη διαχείριση των ραδιο-πόρων ενός δικτύου.

Στην αρχή του κεφαλαίου αναφέρονται οι δύο γενικές κατηγορίες διαχείρισης πόρων με γνώση της θέσης (location aware resource management) και στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα η κάθε μια μέθοδος καθώς και διάφορα παραδείγματα και τεχνικές που έχουν προταθεί για την καθεμία. Τέλος θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση σε περιπτώσεις που αφορούν την προδραστική διαχείριση πόρων η οποία θα μοντελοποιηθεί και στο επόμενο κεφάλαιο με χρήση νέων διαφορετικών θεωριών.

3.2 Διαχείριση πόρων με γνώση της θέσης

Η στιγμιαία καταγραφή της θέσης του τερματικού διευκολύνει ορισμένους τύπους μεθόδων διαχείρισης πόρων σχετικά με την παρούσα κατάσταση του τερματικού/του δικτύου (σύγχρονη διαχείριση). Ένα πιο ενισχυμένο σχέδιο, περιλαμβάνει την δειγματοληπτική ή συνεχή καταγραφή της θέσης του τερματικού (ή των ιστορικών μοτίβων κίνησης) και την εξαγωγή συμπερασμάτων για πληροφορίες όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και η κατεύθυνση. Τέτοιες πληροφορίες είναι πολύ χρήσιμες για την προδραστική διαχείριση των πόρων του δικτύου (ασύγχρονη διαχείριση), η οποία θα χρησιμοποιηθεί από το τερματικό ή το δίκτυο στο εγγύς μέλλον.

Τυπικά, η ακριβής θέση του τερματικού είναι μια πληροφορία που διαφορετικά μπορεί να αντληθεί από το ασύρματο δίκτυο. Το κινητό τερματικό και το δίκτυο γνωρίζουν το σταθμό βάσης (ή το σημείο πρόσβασης) στο οποίο βρίσκεται αυτήν την περίοδο το τερματικό και μπορούν να τοποθετήσουν το τερματικό σε μια γνωστή, ευρύτερη γεωγραφική περιοχή που περιβάλλει το σταθμό βάσης. Αφού η γνώση του τομέα του σταθμού βάσης έχει μικρή χρησιμότητα σε ένα λεπτομερές σχήμα διαχείρισης των πόρων του δικτύου, η ερμηνεία των πληροφοριών σχετικών με το χρόνο ή την ισχύ, που περιλαμβάνεται στα πακέτα αναφοράς θέσης (beacons) τα οποία εκπέμπονται από το σταθμό βάσης, βοηθά στην επίτευξη ενός ακριβέστερου προσδιορισμού θέσης του τερματικού μέσα στη δεδομένη κυψέλη. Παρόμοιες πληροφορίες από τους

παρακείμενους σταθμούς βάσης διευκολύνουν πολύ τη διαδικασία προσδιορισμού θέσης και αυξάνουν την ακρίβεια. Οι πληροφορίες που προέρχονται από τα προσδιοριστικά και τα αναγνωριστικά σήματα των κυψελών (έμμεσος προσδιορισμός θέσης βασισμένος στο δίκτυο, NIPD) μπορούν να είναι χαμηλής ακρίβειας ή να απεικονίζουν μια προσωρινή κατάσταση (π.χ., ξαφνική εμφάνιση εμποδίων), εμποδίζοντας κατά συνέπεια τους μηχανισμούς διαχείρισης των πόρων του δικτύου. Επομένως, μια σημαντική παράμετρος εισόδου στο σχήμα διαχείρισης των πόρων είναι η απόλυτη θέση του τερματικού όπως παρέχεται από ένα δορυφορικό σχήμα προσδιορισμού θέσης ή από ενισχυμένους επίγειους μηχανισμούς προσδιορισμού θέσης. Τέτοιες πληροφορίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με το NIPD για να βελτιώσουν την ποιότητα των σχημάτων διαχείρισης των πόρων του δικτύου.

Οι μηχανισμοί διαχείρισης των πόρων του δικτύου που εξαρτώνται από τη θέση θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ως εξής:

- **Βραχυπρόθεσμη διαχείριση πόρων (Short-term (reactive) resource management, SRM):** Στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται εκμετάλλευση των στιγμιαίων τιμών της θέσης του τερματικού, των συνόδων των χρηστών, και της κατάστασης του δικτύου για τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων. Αυτή η οικογένεια των διαχειριστικών σχημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως αντιδραστική (reactive) υπό την έννοια ότι η διαχειριστική δραστηριότητα είναι μια άμεση αντίδραση στην αποτίμηση των τρεχόντων συνθηκών του διπλόλου χρήστης-δίκτυο.
- **Μακροπρόθεσμη (προδραστική) διαχείριση πόρων (Long-term (proactive) resource management, LRM):** Σε αυτόν τον τύπο διαχείρισης πόρων, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του χρήστη λαμβάνονται υπόψη (ενδεχομένως μαζί με τα ιστορικά μοτίβα κίνησης), μαζί με την είσοδο ελέγχου που απαιτείται στα SRM. Τέτοιες πληροφορίες επιτρέπουν σε έναν κατάλληλα δομημένο μηχανισμό ελέγχου να προβλέπει τη μελλοντική θέση του τερματικού και να εκτελεί, έξυπνα, την προκαταβολική δέσμευση πόρων.

3.2.1 Βραχυπρόθεσμη διαχείριση πόρων

Όπως αναφέρθηκε, το σχήμα της αντιδραστικής διαχείρισης πόρων διατηρεί την απόδοση ενός συστήματος μέσα στα απαιτούμενα πλαίσια παρατηρώντας πότε η απόδοση του συστήματος έχει περάσει το κάτω όριο, καθορίζοντας πως πρέπει να ανακατανομηθούν οι διαθέσιμοι πόροι για να εμποδιστεί ενδεχόμενη δυσλειτουργία του συστήματος και στη συνέχεια κατανέμοντας τους.

Λόγω της συνεχούς κινητικότητας των χρηστών και της μετάβαση τους από ένα σταθμό βάσης σε άλλο, η στατική κατανομή πόρων δεν αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Αντίθετα, η δυναμική κατανομή των ραδιο-πόρων και η ανακατανομή τους (όταν απαιτείται) επιτρέπει στο δίκτυο να λειτουργεί με τον επιθυμητό βαθμό QoS . Η επίτευξη όμως της συγκεκριμένης απαίτησης (επιθυμητό QoS) θα πρέπει να επιλύει τα ακόλουθα προβλήματα.

- Η παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος να μην επιβαρύνει την κανονική λειτουργία του συστήματος .
- Το κέρδος από την ανακατανομή των πόρων θα πρέπει να ξεπερνάει το κόστος της παρακολούθησης του συστήματος.
- Η συνάρτηση ανακατανομής θα πρέπει να μην διακόπτει ήδη υπάρχουσες συνδέσεις.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα ακόλουθα

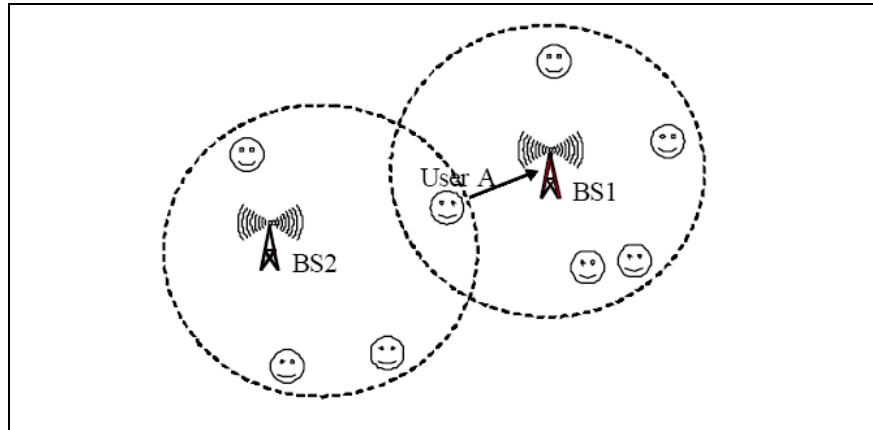
- Η ικανότητα να διατηρείται ένας συγκεκριμένος βαθμός QoS παρόλο που το φορτίο του δικτύου μεταβάλλεται συνεχώς.
- Γίνεται αποδοτικότερη διαχείριση των ραδιο-πόρων καθώς δεν μένουν ανεκμετάλλευτοι πόροι.

Παρόλα αυτά, το μεγάλο μειονέκτημα με τις αντιδραστικές μεθόδους είναι ότι μπορεί να χρειαστεί πολύς χρόνος για να αντιδράσουν σε μια ξαφνική αλλαγή εάν αυτή η αλλαγή αφορά ένα μεγάλο μέρος των πόρων ή η υποδομή είναι περίπλοκη ή γεωγραφικά διασκορπισμένη.

Παραδείγματα των σχημάτων διαχείρισης πόρων που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία (SRM) είναι τα ακόλουθα:

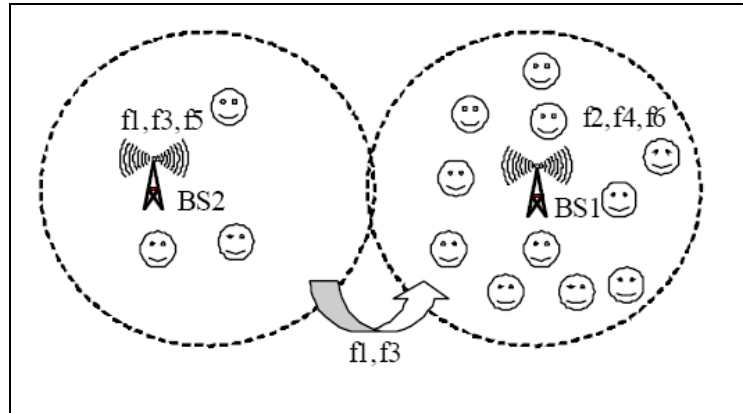
- **Έλεγχος αποδοχής (Admission control):** Το δίκτυο ξέρει την ακριβή θέση ενός αριθμού χρηστών που είτε είναι ανενεργοί είτε έχουν ενεργές συνόδους και περιπλανώνται αυτήν την περίοδο στη τρέχουσα κυψέλη και μπορεί να αποφασίσει

εάν θα δεχτεί μια νέα κλήση κρίνοντας από την παρούσα θέση του χρήστη. Εάν ο χρήστης είναι στα όρια δύο ή περισσότερων κυψελών, η διαδικασία ελέγχου αποδοχής μπορεί να αρνηθεί την έναρξη μιας κλήσης δεδομένου ότι αυτή μπορεί να την χειριστεί ενός γειτονικός σταθμός βάσης. Διαφορετικά, υπό τον όρο ότι υπάρχει διαθεσιμότητα πόρων το δίκτυο χορηγεί τη ζητούμενη έναρξη συνόδου στον ενδιαφερόμενο χρήστη.



Σχήμα 12 Μη αποδεκτή σύνδεση του χρήστη A από το δίκτυο

- **Επανασχηματισμός δικτύων:** Το δίκτυο ξέρει την ακριβή θέση ενός αριθμού χρηστών που περιπλανώνται (με ή χωρίς ενεργές συνόδους) σε μια συστοιχία κυψελών. Μέσω τέτοιων πληροφοριών, το δίκτυο είναι σε θέση να υπολογίσει ένα προσδοκώμενο φορτίο σε κάθε κυψέλη (μέσω των πιθανοτήτων έναρξης/λήξης συνόδου). Εάν, μετά από αυτούς τους υπολογισμούς, κάποιες κυψέλες βρεθούν κορεσμένες, το δίκτυο εκκινεί μια εσωτερική διαδικασία αναδιοργάνωσης για να χειριστεί κατάλληλα το προβλεπόμενο φορτίο. Μια τέτοια διαδικασία περιλαμβάνει τη (σιωπηλή) ανακατανομή πόρων μεταξύ των κυψελών και των σταθμών βάσης (π.χ. συχνότητες δανείζονται προσωρινά από τα παρακείμενα κύτταρα για να ικανοποιήσουν το αυξανόμενο φορτίο). Ακόμη και μέσα στην ίδια κυψέλη ένας επανασχηματισμός πόρων μπορεί να πραγματοποιηθεί, ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες φορτίου. Παραδείγματος χάριν στις κυψέλες με χαμηλή πυκνότητα χρηστών, τα κοινά κανάλια (π.χ., RACH, PCH στο GSM) μπορούν να μετατραπούν ώστε να λειτουργήσουν σε κατάσταση μειωμένης χωρητικότητας (δηλ., χρήση λιγότερων χρονοθυρίδων ανά χρονική μονάδα). Οι εναπομείναντες χρονοθυρίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλες ανάγκες σηματοδότησης.



Σχήμα 13 Δανεισμός συχνοτήτων

Μια άλλη επιλογή που εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία διαχείρισης πόρων είναι να μεταχειρίζονται τους χρήστες ως πόρους του δικτύου. Έτσι λοιπόν αντί να γίνεται μετατόπιση των πόρων, όπως οι συχνότητες μεταξύ των κυψελών και των σταθμών βάσεων το δίκτυο θα μπορούσε να επανακατανέμει τον πληθυσμό των χρηστών προκειμένου να διανεμηθεί βέλτιστα το φορτίο και να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση. Σε αυτό το σχήμα, παρέχονται στο χρήστη συγκεκριμένες προτάσεις ανακατανομής σχετικά με το πώς να φθάσει σε άλλες κυψέλες όπου το φορτίο είναι λιγότερο και μπορεί να επιτευχθεί καλύτερο QoS.

- **Μεταπομπή** : Αυτό το σχήμα είναι ένας συνδυασμός των μηχανισμών που συζητήθηκαν παραπάνω. Το δίκτυο ξέρει την ακριβή θέση ενός αριθμού χρηστών που περιπλανώνται με ενεργές συνόδους στην τρέχουσα κυψέλη. Καθώς ο χρήστης βρίσκεται κοντά στα όρια της κυψέλης, και το φορτίο στη διπλανή κυψέλη είναι μικρότερο, το τερματικό του χρήστη καθοδηγείται να μεταγάει την επικοινωνία (δηλ., να εκτελέσει μια εξαναγκασμένη μεταπομπή) στον υποδεδειγμένο σταθμό βάσης. Εναλλακτικά με τους στόχους εξισορρόπησης φορτίου, η λογική πίσω από μια εξαναγκασμένη μεταπομπή θα μπορούσε να είναι η υποστήριξη των συγκεκριμένων απαιτήσεων QoS του χρήστη και της αποφυγής της λήξης συνόδου.
- **Δρομολόγηση (Routing)**: Στα ad hoc κινητά δίκτυα, με τους ημι-σταθερούς κόμβους, η σχετική θέση των κόμβων, που είναι γνωστή στους κόμβους μέσω των διαδικασιών “διαφήμισης” θέσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχεδιαστούν αποδοτικά σχήματα δρομολόγησης με γνώση της ενέργειας. Τέτοια σχήματα απαιτούν συνεχή έλεγχο της δομής του δικτύου (π.χ., θέση των κινητών κόμβων) και την ανάλογη συνεχή ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης, για να απεικονίσουν

τις αλλαγές που προκαλούνται από τη μετακίνηση κάθε κόμβου. Ο στόχος αυτής της ενεργειακά-ενήμερης διαχειριστικής δραστηριότητας είναι η ελαχιστοποίηση της ισχύος που απαιτείται για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο τερματικών κόμβων κάτι το οποίο στη συνέχεια, αυξάνει την αυτονομία του κινητού κόμβου.

Χρησιμοποιούμενες τεχνικές για SRM

Οι *Bhattacharya και DAS* (1999) πρότειναν τη χρήση ενός συστήματος ιχνηλάτησης χρηστών για να μειωθεί το φορτίο σηματοδότησης σελιδοποίησης. Σε αυτήν την εργασία, ένα μοντέλο Markov χρησιμοποιείται για να συλλάβει τα χαρακτηριστικά κινητικότητας ενός χρήστη. Συγκεκριμένα οι μεταβάσεις μεταξύ των ασύρματων κυψελών χρησιμοποιούνται ως είσοδος σε ένα μοντέλο Markov και καθώς οι χρήστες κινούνται μεταξύ των κυψελών, ή μένουν σε μια κυψέλη για μια μεγάλη χρονική περίοδο, το μοντέλο ενημερώνεται με αποτέλεσμα το δίκτυο να πρέπει να δοκιμάσει λιγότερες κυψέλες για να παραδώσει επιτυχώς μια κλήση.

Οι *Rodoplu και Meng* (1999) περιγράφουν ένα βέλτιστο καταναεμημένο πρωτόκολλο δικτύου βασισμένο στη θέση που επιτυγχάνει ελάχιστη ενεργειακή κατανάλωση στα ad hoc δίκτυα. Κάθε κόμβος εξοπλίζεται με ένα GPS και αρχίζει μια αναζήτηση με την αποστολή ενός σήματος αναφοράς (beacon) που περιλαμβάνει τη θέση του. Επίσης ο μεταδιδόμενος κόμβος λαμβάνει τα σήματα από τους κοντινούς κόμβους για να ανακαλύψει τις θέσεις τους, κάτι το οποίο επιτρέπει τον καθορισμό των περιοχών των γειτονικών κόμβων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για ένα στατικό δίκτυο δείχνουν ότι καθώς ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται η μέση δαπάνη ισχύος ανά κόμβο προσεγγίζει μια ελάχιστη τιμή. Στην περίπτωση των κινητών δικτύων, ο συγχρονισμός μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τις απόλυτες πληροφορίες για τον χρόνο, που παρέχονται από το GPS.

Μια άλλη χρήση των πληροφοριών θέσης που παρέχονται από το GPS καταδεικνύεται στο *Fleming et al.* (1997). Σε αυτήν την εργασία, το GPS εξετάζεται για τη μείωση της επιβάρυνσης των εμπλουτισμένων πρωτοκόλλων TCP όπως το SNOOP, το οποίο απαιτεί γειτονικούς σταθμούς βάσεων για να αποθηκεύσει τις πληροφορίες δεδομένων για τα κινητά τερματικά που συνδέονται με μια συγκεκριμένη κυψέλη.

Επίσης πρωτόκολλα δρομολόγησης και γρήγορης μεταπομπής για τα ad hoc δίκτυα που χρησιμοποιούν πληροφορίες θέσης που παρέχονται από GPS έχουν προταθεί από τους *Ergen et al.* (2002). Σε αυτό το σενάριο, οι αισθητήρες διαμορφώνουν ένα δίκτυο πλέγματος και συνδέονται με έναν κινητό κόμβο. Οι κινητοί κόμβοι διαμορφώνουν ένα ad hoc δίκτυο και συνδέονται με έναν σταθερό σταθμό βάσης. Οι σταθμοί βάσης και οι

κινητοί κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με GPS. Οι κινητές βάσεις περιπλανώνται στην περιοχή όπου βρίσκονται διασκορπισμένοι αισθητήρες, διαμορφώνοντας κατά συνέπεια μικρότερα δίκτυα αισθητήρων, συγκεντρώνοντας πληροφορίες από τους αισθητήρες στην γειτονική περιοχή τους και τις στέλνουν μέσω πολλαπλών μεταπηδήσεων από ασύρματα δίκτυα στους σταθερούς σταθμούς βάσης. Οι γεωγραφικές πληροφορίες για τους κινητούς κόμβους και τους σταθερούς σταθμούς βάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν με δύο τρόπους. Ο ένας είναι να βελτιωθεί η απόδοση μεταπομπής επιτρέποντας στο τρέχον σημείο πρόσβασης, που εξυπηρετεί έναν κινητό κόμβο, να στέλνει τα πακέτα μόνο στα σημεία πρόσβασης που είναι πιθανότερο να επισκεφτεί ο κινητός κόμβος, αντί να τα στέλνει σε όλα γειτονικά σημεία πρόσβασής του. Η δεύτερη χρησιμοποίηση των γεωγραφικών πληροφοριών είναι για την αποδοτική δρομολόγηση. Κάθε κόμβος μπορεί να βρει τη θέση του κόμβου προορισμού και να δρομολογήσει τα πακέτα στους κόμβους που είναι γνωστό ότι είναι κοντά στον προορισμό. Κατά μήκος της πορείας δρομολόγησης, καθώς τα πακέτα δεδομένων φτάνουν κοντά στον προορισμό, οι κόμβοι γνωρίζουν καλύτερα για την τοπολογία του δικτύου προορισμού και δρομολογούν τα πακέτα αποτελεσματικότερα.

Στην εργασία του *Naghian* (2001) προτείνεται μια τεχνική διαχείρισης πόρων που είναι “ευαίσθητη” στη θέση. Η συγκεκριμένη μέθοδος μεταπομπής (location-sensitive handoff, L-SH), στοχεύει στα σύγχρονα κινητά συστήματα (π.χ., UMTS, WCDMA, κ.λπ.) και αποτελείται από έναν βελτιωμένο αλγόριθμο μεταπομπής, που δεν στηρίζεται μόνο στα συμβατικά κριτήρια μεταπομπής (δηλ., ποιότητα σημάτων, φορτίο κίνησης, κ.λπ.), αλλά χρησιμοποιεί τις συγκεκριμένες πληροφορίες θέσης για κάθε χρήστη προκειμένου να βοηθηθεί η διαδικασία μεταπομπής. Η νέα μέθοδος απαιτεί τη διαθεσιμότητα των ακριβών πληροφοριών θέσης είτε από την πλευρά του δικτύου, είτε από την πλευρά του κινητού (π.χ., χρησιμοποιώντας έναν δέκτη GPS). Τέτοιες πληροφορίες είναι πιθανό να είναι διαθέσιμες στο μέλλον στα κινητά συστήματα UMTS και WCDMA, καθιστώντας κατά συνέπεια την εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού εφικτή. Η L-SH δεν επικεντρώνεται μόνο στη διαχείριση των πόρων εύρους ζώνης και ισχύος αλλά αντιμετωπίζει και άλλους πόρους, όπως η σηματοδότηση. Από αυτή την άποψη, διαφέρει από τη συμβατική μέθοδο μεταπομπής, όχι μόνο σχετικά με τα κριτήριά της αλλά και σχετικά με τους στόχους της.

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το σύστημα L-SH είναι εν συντομία ο ακόλουθος: η θέση του κινητού τερματικού καθορίζεται (αυτό μπορεί να γίνεται περιοδικά ή μετά από απαίτηση) και ελέγχεται ένα συγκεκριμένο κριτήριο θέσης. Παραδείγματος χάριν ένα

τέτοιο κριτήριο μπορεί να είναι εάν η απόσταση του τερματικού από την οικιακή κυψέλη έχει ξεπεράσει έναν ορισμένο κατώφλι. Εάν το πρώτο κριτήριο ικανοποιείται, ο μηχανισμός απόφασης συνεχίζει με την εξέταση του δεύτερου κριτηρίου, το οποίο ελέγχει το επίπεδο ισχύος του σήματος. Μόνο εάν και τα δύο κριτήρια ικανοποιούνται εκτελείται η μεταπομπή. Επιπλέον, το L-SH μπορεί να εφαρμοστεί σε ιεραρχικά κυβελωτά συστήματα, που αποτελούνται από pico-κυψέλες, μικρο-κυψέλες και μακρο-κυψέλες και να εξασφαλίσει σημαντική μείωση της αναγκαίας σηματοδοσίας, με τη μείωση του αριθμού των απαιτούμενων μεταπομπών για κάθε κινητό τερματικό. Οι πρόσθετες πληροφορίες που είναι ευαίσθητες στη θέση, όπως η κατεύθυνση και η ταχύτητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει αποτελεσματικά η μεταπομπή του κινητού τερματικού από μια pico-κυψέλη σε μια μακρο-κυψέλη ή και αντίστροφα, προσφέροντας και στις δύο καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας, καθώς επίσης και λιγότερη επιβάρυνση σηματοδοσίας για το δίκτυο.

Το σύστημα MITOS (Αλυφαντής, Χατζηευθυμιάδης και Μεράκος, 2005) εξετάζει το περιστατικό της βραχυπρόθεσμης τοπικής συμφόρησης στα περιβάλλοντα WLAN όπου ο πληθυσμός χρηστών είναι πυκνός. Η συμφόρηση επιδρά στο δίκτυο και στο χρήστη. Οι χρήστες που βρίσκονται σε ένα σημείο πρόσβασης που υπάρχει συμφόρηση λαμβάνουν χαμηλότερο βαθμό QoS. Συγχρόνως, μπορεί να υπάρχουν άλλα APs στην περιοχή που έχουν σημαντικά λιγότερο φορτίο, δεδομένου ότι λιγότεροι χρήστες είναι παρόντες στις περιοχές κάλυψής τους. Το σύστημα MITOS ισορροπεί το φορτίο κίνησης μέσα στο WLAN, έτσι ώστε οι χρήστες να εκμεταλλεύονται το συνολικό ασύρματο εύρος ζώνης. Με ένα τέτοιο σύστημα, ο πάροχος θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί βέλτιστα την υποδομή του και να μεγιστοποιήσει τα έσοδα του, ενώ οι χρήστες θα μπορούν να λαμβάνουν καλύτερο QoS. Εάν δεν υιοθετηθεί ένα σύστημα παρόμοιο με το σύστημα MITOS, οι πάροχοι των δικτύων, προκειμένου να υποστηριχθούν οι απαιτήσεις των χρηστών κατά τη διάρκεια της βραχυπρόθεσμης συμφόρησης, χρειάζεται να υπερ-παρέχουν τους πόρους των δικτύων. Στο πρόβλημα που συζητήθηκε παραπάνω, η συνεργασία μεταξύ των χρηστών και του δικτύου μπορεί να αποδειχθεί επωφελής και για τους δύο. Συγκεκριμένα, εάν οι χρήστες συμφωνήσουν να κινηθούν προς τις κατάλληλα αποδεδειγμένες θέσεις, θα μπορούσαν να απολαύσουν βελτιωμένο QoS ενώ συγχρόνως, ο πάροχος δεν θα πρέπει να προσφύγει στην υπερ-παροχή του δικτύου. Το MITOS είναι ένα σύστημα έξυπνου χώρου (Smart Spaces System) που επηρεάζει τις θέσεις χρηστών για να ισορροπήσει το φορτίο κίνησης μέσα σε μια εγκατάσταση WLAN, και να βελτιώσει το QoS του χρήστη. Η πλατφόρμα MITOS είναι σε θέση να ανακαλύπτει εάν η συμφόρηση πραγματοποιείται

σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου, και γνωρίζει τις θέσεις των χρηστών. Εάν εμφανιστεί συμφόρηση, το MITOS ωθεί τους χρήστες που επηρεάζονται από αυτήν, να κινηθούν προς μια άλλη θέση (πρόταση ανακατανομής, RP), όπου τα αποθέματα εύρους ζώνης είναι υψηλότερα και ταυτόχρονα παρέχει οδηγίες πλοήγησης για αυτήν την μετάβαση. Υπό ορισμένες συνθήκες, εξ αιτίας της συμπεριφοράς χρηστών, η αποδοτικότητα MITOS μπορεί να εκτεθεί. Για να μειωθεί ένας τέτοιος κίνδυνος, το σύστημα ενισχύεται με παιγνιοθεωρητικούς μηχανισμούς.

Μια προσέγγιση για την εξομάλυνση της συμφόρησης στα hot-spot ενός WLAN αναφέρεται και από τους *Balachandran, Bahl και Voelker* (2002) για να μεγιστοποιήσει την κατανομή εύρους ζώνης των χρηστών και τη γενική χρησιμοποίηση του δικτύου. Σε περίπτωση τοπικής συμφόρησης, το τερματικό βρίσκει ένα λιγότερο κορεσμένο AP στην κοντινή περιοχή για να συνδεθεί με αυτό, κάνοντας μια ανταλλαγή μεταξύ του διαθέσιμου εύρους ζώνης και της ισχύος του σήματος. Εάν κανένα γειτονικό AP δεν μπορεί να εγγυηθεί βελτίωση της σύνδεσης, ένας εξυπηρετητής παρακολούθησης του δικτύου παρέχει ανατροφοδότηση στο χρήστη, δείχνοντας ένα λιγότερο φορτωμένο, όμως απόμακρο, AP. Μια τέτοια ρητή ανατροφοδότηση δικτύου δεν ικανοποιεί εκείνες τις περιπτώσεις όπου η συμφόρηση έχει επιπτώσεις σε πολυάριθμους χρήστες.

3.2.2 Μακροπρόθεσμα (προδραστική) διαχείριση πόρων

Το σχήμα της προδραστικής διαχείρισης πόρων διατηρεί την απόδοση ενός συστήματος μέσα σε καθορισμένα πλαίσια προλαμβάνοντας σημαντικές αλλαγές στη κατάσταση του συστήματος, προ-σχεδιάζοντας κατανομές πόρων κατάλληλες για αυτές τις αλλαγές, παρατηρώντας την κατάσταση του συστήματος και υλοποιώντας την απαραίτητη προσχεδιασμένη διευθέτηση πόρων όταν η κατάσταση του συστήματος αλλάξει.

Το πλεονεκτήματα αυτού του σχήματος διαχείρισης πόρων είναι η ικανότητα να παρέχει γρήγορα εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών από άκρο σε άκρο στο δίκτυο, έπειτα από κάποια αλλαγή στο σύστημα. Όμως παρόλα αυτά ως μειονέκτημα της μεθόδου αναφέρεται ότι δεν μπορεί να προβλεφτεί κάθε ενδεχόμενη αλλαγή με αποτέλεσμα να απαιτείται και κάποιο σχήμα αντιδραστικής διαχείρισης πόρων και συνεπώς η καλύτερη λύση είναι η συνύπαρξη και των δυο σχημάτων μέσα στο σύστημα για καλύτερα αποτελέσματα.

Τα παραδείγματα των σχημάτων διαχείρισης πόρων που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία (LRM-proactive) περιλαμβάνουν:

- **Λεπτομερειακή (fine-grained) προ-κράτηση πόρων:** Η ύπαρξη των μεταπομπών στα κυψελωτά δίκτυα είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που προωθεί τον σχεδιασμό των αλγορίθμων διαχείρισης πόρων. Στο πρόσφατο παρελθόν, τα προδραστικά σχήματα διαχείρισης πόρων, που περιλαμβάνουν την πρόβλεψη κίνησης, έχουν υιοθετηθεί για την καταπολέμηση των προβλημάτων που προκαλούνται από τις μεταπομπές όπως για παράδειγμα τη διακοπή μιας συνόδου. Οι μηχανισμοί του δικτύου, που δρουν πριν από το περιστατικό της μεταπομπής, μπορούν να δεσμεύσουν τους πόρους στην πιο πιθανή υποψήφια κυψέλη στη τρέχουσα “ομάδα” κυψελών. Μετά από το περιστατικό της μεταπομπής, το τερματικό δεν ανταγωνίζεται για τους πεπερασμένους πόρους του δικτύου αλλά απολαμβάνει ένα προκανονισμένο σχηματισμό. Ως εκ τούτου, λόγω της προδραστικής διαχείρισης των πόρων, ο χρήστης δεν αντιμετωπίζει διακοπές υπηρεσιών (αυξανόμενη πιθανότητα ανεπιθύμητου τερματισμού), ή χαμηλή ποιότητα υπηρεσιών. Μια σύνοδος (κλήση) μπορεί να τερματιστεί όταν το κινητό τερματικό κάνει μεταπομπή σε έναν νέο σταθμό βάσης, ο οποίος δεν έχει τους επαρκείς πόρους για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις QoS της συγκεκριμένης συνόδου. Αυτός ο τύπος τερματισμού μιας συνόδου αναφέρεται ως μπλοκάρισμα μεταπομπής (handoff blocking), και είναι πολύ ενοχλητικός για το χρήστη. Η πιθανότητα μπλοκαρίσματος μεταπομπής μπορεί να μειωθεί μέσω της χρήσης της προδραστικής δέσμευσης πόρων σε κάποια από τις γειτονικές κυψέλες της τρέχουσας κυψέλης. Τα πιο αποδοτικά τέτοια σχήματα χρησιμοποιούν αλγόριθμους πρόβλεψης κίνησης για να εντοπίσουν την πιο πιθανή γειτονική κυψέλη προς την οποία πρόκειται το τερματικό να κινηθεί. Η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με μερικά πιο πολύπλοκα σχήματα προκράτησης που λαμβάνουν υπόψη τη χρονική στιγμή και την κρισιμότητα της κράτησης των πόρων. Η προδραστική διαχείριση πόρων, δεδομένου ότι περιλαμβάνει την δέσμευση ή την ανακατανομή των πεπερασμένων πόρων που θα μπορούσαν διαφορετικά να χρησιμοποιηθούν από π.χ. τοπικούς, στάσιμους χρήστες, πρέπει να εκτελεσθεί κατά λεπτομερή τρόπο και με ακριβή χρονοπρογραμματισμό. Η εκτέλεση μιας προ-κράτησης πόρων πάρα πολύ νωρίς θα οδηγήσει στην ανεπιθύμητη σπατάλη των πόρων και σε χαμηλή χρησιμοποίηση του δικτύου. Αντιθέτως, ένα καθυστερημένο σχήμα προ-κράτησης μπορεί να καταλήξει με λιγότερους πόρους από τους απαιτούμενους και επομένως στη λήξη των συνόδων και σε χαμηλό QoS. Αυτή η τελευταία επιλογή μπορεί να ενταχθεί στην περίπτωση “No HO provision” όπως απεικονίζεται στο προηγούμενο σχήμα. Οι πληροφορίες θέσης του τερματικού

θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πλήρως από αυτή την άποψη για να παραχθούν ακριβείς εκτιμήσεις για τους χρόνους που θα πραγματοποιηθούν ο μεταπομπές.

- **Διαχείριση πρωτοκόλλων:** Ο προσδιορισμός της ακριβής θέσης των τερματικών και ο συσχετισμός τέτοιων πληροφοριών με τη χωρική διαθεσιμότητα του δικτύου (χάρτης ραδιο/δικτύου της εξεταζόμενης περιοχής) θα μπορούσε να διευκολύνει τα προηγμένα προδραστικά σχήματα σε ετερογενείς υποδομές. Συγκεκριμένα, στις υποδομές 4G, το τερματικό θα μπορούσε να εκτελέσει έναν προκαταβολικό επανασχηματισμό πρωτοκόλλου για να το τροφοδοτήσει σε ένα άλλο δίκτυο, το οποίο, σύντομα, θα αναλάβει τον έλεγχο του περιπλανωμένου χρήστη. Ένα μέρος του πρωτοκόλλου ή και ολόκληρη η στοίβα πρωτοκόλλων θα μπορούσε να αντικατασταθεί (ή να διαμορφωθεί διαφορετικά) για να λειτουργήσει αποτελεσματικά στο επικείμενο δίκτυο. Ένα σενάριο διπλής στοίβας πρωτοκόλλων δεν μπορεί να είναι εφικτό σε αυτήν την περίπτωση λόγω των περιορισμών μνήμης και της χωρητικότητας υπολογισμού στο κινητό τερματικό. Ο επανασχηματισμός πρωτοκόλλου θα πρέπει να εκτελεσθεί προδραστικά για να διευκολύνει τη συνδεσιμότητα που δεν είναι ορατή από το χρήστη. Οι διαδικασίες του συγκεκριμένου σχήματος εκτελούνται μέσα στο κινητό τερματικό. Για να διευκολυνθούν διαδικασίες όπως το downloading πρωτοκόλλων (software-based radio), το σταθερό δίκτυο θα μπορούσε προδραστικά να διαχειριστεί πόρους όπως πακέτα ή τμήματα πρωτοκόλλων. Για να μειωθεί ο χρόνος κατεβάσματος και η πιθανότητα διακοπής λόγω μεταπομπής, το δίκτυο (προδραστικά) ωθεί τα συστατικά που θα ζητηθούν από το τερματικό στην “πρώτη γραμμή” του (π.χ., κόμβοι πολύ κοντά στους σταθμούς βάσεων/τα σημεία πρόσβασης).

Χρησιμοποιούμενες τεχνικές LRM

Οι τεχνικές τύπου LRM εμπλέκονται περισσότερο, καθώς απαιτείται η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του χρήστη. Σε αυτή την περιοχή έχουν γίνει πολλές ενδιαφέρουσες προτάσεις. Οι συγγραφείς Sparacino (2002) προτείνουν την χρήση υπέρυθρων σημάτων για να δημιουργήσουν ατομικά μοντέλα επισκεπτών μουσείων που επιτρέπουν σε κάθε έκθεμα να αντιπροσωπεύει οπτικοακουστικές αφηγήσεις προς κάθε χρήστη. Έτσι, η παρεχόμενη υπηρεσία είναι προσωποποιημένη και οι πηγές του δικτύου χρησιμοποιούνται αντίστοιχα.

Οι συγγραφείς Liu και Maguire (1995), περιγράφουν μια γενικευμένη αρχιτεκτονική δικτύου που ενσωματώνει την πρόβλεψη με στόχο την υποστήριξη του κινητού

υπολογισμού. Η ασύρματη επικοινωνία των κινητών μονάδων με το δίκτυο παρέχει ενημερώσεις των θέσεων τους με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα μοντέλο πρόβλεψης που επιτρέπει σε υπηρεσίες και δεδομένα να υπάρχουν προαποθηκευμένα στις περισσότερες πιθανές μελλοντικές τοποθεσίες. Ο αλγόριθμος πρόβλεψης βασίζεται σε μια τεχνική ταιριάσματος προτύπου που εκμεταλλεύεται την κανονικότητα των προτύπων κίνησης των χρηστών.

Ακόμα ένα σχήμα πρόβλεψης που βασίζεται στο GPS μπορεί να βρεθεί στους Chiu και Bassiouni (1999). Η χρήση GPS μελετήθηκε στους αλγόριθμους πρόβλεψης της κατανομής πόρων καναλιών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος της μεταπομπής μειώνεται ενώ η πιθανότητα μπλοκαρίσματος νέας κλήσης δεν επηρεάζεται δραστικά αν η πληροφορία θέσης του κινητού χρησιμοποιείται για την δέσμευση πόρων κατά την διάρκεια της μεταπομπής.

Στην εργασία των Liu και Bahl (1998), οι συγγραφείς προτείνουν έναν αλγόριθμο πρόβλεψης κίνησης ο οποίος βασίζεται σε έναν αλγόριθμο δύο στρωμάτων ιεραρχικής θέσης. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να παρέχει την απαραίτητη πληροφορία για προχωρημένη δέσμευση πόρων σε ασύρματα ATM δίκτυα. Το σχήμα πρόβλεψης υψηλότερων στρωμάτων χρησιμοποιεί μια τεχνική ταιριάσματος προτύπων για να ιχνηλατήσει τις κινήσεις μεταξύ των κυψελών, ενώ οι συνιστώσες ιχνηλάτησης χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την τροχιά μέσα σε μια κυψέλη και να εκτιμήσουν την επόμενη κυψέλη στην οποία θα διασταυρωθούν. Ωστόσο στους Liu και Bahl (1998), το τελευταίο σχήμα συμπεριλαμβάνει μετρήσεις ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSSI), οι οποίες φιλτράρονται μέσω ενός εκτεταμένου αυτοδίδακτου φίλτρου Kalman για να ληφθούν οι εκτιμήσεις αποστάσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων. Η όλη διαδικασία όμως μπορεί να απλοποιηθεί αν εκτελεστούν άμεσες μετρήσεις θέσης από την κινητή μονάδα με αποτέλεσμα όχι μόνο οι εκτιμήσεις θέσης να είναι πιο ορθές (καθώς το εκτεταμένο φίλτρο Kalman δεν είναι βέλτιστο και μπορεί να αποκλίνει λόγω της μη γραμμικότητας του συστήματος), αλλά και το υπολογιστικό φορτίο του φιλτραρίσματος Kalman στην κινητή μονάδα να μειώνεται.

Στους Aljadhaf και Znati (2001), προτείνεται ένα πλαίσιο το οποίο ενσωματώνει την πρόβλεψη της κινητικότητας και τον έλεγχο αποδοχής κλήσης (CAC), για να παρέχει υποστήριξη για εγγυήσεις προβλέψεων χρόνου και ποιότητας υπηρεσίας, όπου κάθε κλήση έχει εγγυημένες της απαιτήσεις της για ποιότητα υπηρεσίας για το χρονικό διάστημα που αναμένεται να περάσει η κινητή μονάδα μέσα σε κάθε κυψέλη που είναι πιθανό να επισκεφτεί κατά τη διάρκεια της κλήσης. Η υποστήριξη για πρόβλεψη

χρόνου και QoS επιτυγχάνεται βάση μιας ορθής εκτίμησης της τροχιάς του κινητού καθώς και των χρόνων άφιξης και αναχώρησης για κάθε κυψέλη κατά μήκος της διαδρομής. Χρησιμοποιώντας αυτές τις εκτιμήσεις, το δίκτυο μπορεί να καθορίσει να υπάρχουν αρκετοί πόροι διαθέσιμοι σε κάθε κυψέλη κατά μήκος της διαδρομής για να υποστηρίξει τις απαιτήσεις QoS της κλήσης. Οι βασικές συνιστώσες της δουλειάς που προτάθηκε από τους Aljadhai και Znati (2001) είναι : 1) ένα μοντέλο πρόβλεψης υπηρεσίας για την υποστήριξη εγγυήσεων χρόνου και QoS, 2) ένα μοντέλο κινητικότητας για να καθορίσει την πιο πιθανή ομάδα κυψελών του χρήστη (MLC most likely cluster) και 3) ένα μοντέλο CAC για να επαληθεύσει την επιτευξιμότητα της υποστήριξης μια κλήση μέσα στην πιο πιθανή ομάδα (cluster). Το μοντέλο υπηρεσίας εξυπηρετεί διαφορετικά είδη εφαρμογών υποστηρίζοντας ολοκληρωμένες και κλασματικές εγγυήσεις πρόβλεψης QoS σε μια προκαθορισμένη περίοδο εγγύησης. Το μοντέλο MLC χρησιμοποιείται για να προβλέψει το σύνολο των κυψελών που είναι πιο πιθανό να επισκεφτεί το κινητό τερματικό. Για κάθε μια πιο πιθανή κυψέλη εκτιμούνται ο μικρότερος και μεγαλύτερος χρόνος άφιξης (earliest και latest arrival time) του κινητού καθώς και ο μεγαλύτερος χρόνος αναχώρησης (latest departure time) . Στη συνέχεια αυτές οι εκτιμήσεις χρησιμοποιούνται από το CAC για να καθορίσει την επιτευξιμότητα της αποδοχής μιας κλήσης επαληθεύοντας ότι υπάρχουν αρκετοί πόροι διαθέσιμοι σε κάθε MLC κυψέλη στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στον μικρότερο χρόνο άφιξης και τον μεγαλύτερο χρόνο αναχώρησης του κινητού. Αν είναι διαθέσιμοι οι πόροι τότε αυτοί δεσμεύονται για αυτό το διάστημα και ενοικιάζονται για το διάστημα ανάμεσα στην γρηγορότερη και αργότερη άφιξη του κινητού. Αν το κινητό δεν φτάσει πριν το ενοίκιο λήξει, η δέσμευση ακυρώνεται και οι πόροι επιστρέφονται στην δεξαμενή των διαθέσιμων πόρων. Το μοναδικό χαρακτηριστικό του προτεινόμενου πλαισίου είναι η ικανότητα του να συνδυάσει το μοντέλο κινητικότητας με το μοντέλο CAC για να καθορίσει το επίπεδο των εγγυήσεων προβλεπόμενου χρόνου-QoS που μπορεί να παρέχει το δίκτυο σε μια κλήση και να προσαρμόσει δυναμικά αυτές τις εγγυήσεις καθώς το κινητό τερματικό κινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη.

Οι συγγραφείς Liang και Haas (2003) χρησιμοποιούν πληροφορίες της θέσης και της ταχύτητας ενός κινητού, βγάζοντας συμπεράσματα από μετρήσεις που αναφέρθηκαν από το ίδιο το κινητό, για να προβλέψουν την μελλοντική θέση του κινητού. Οι προβλέψεις θέσης χρησιμοποιούνται για να μειώσουν το κόστος διαχείρισης κινητικότητας που σχετίζεται με τη σελιδοποίηση, τις ανανεώσεις και τις επιθεωρήσεις της θέσης . Υπάρχει ένα ισοζύγιο ανάμεσα στις ενημερώσεις θέσης και στη κινητή σελιδοποίηση καθώς και οι δύο διαδικασίες καταναλώνουν πόρους του δικτύου ή του

κινητού. Συχνές ενημερώσεις θέσης καταλήγουν σε πιο ακριβή γνώση του δικτύου για την θέση του κινητού και για το λόγο αυτό ο αριθμός των μηνυμάτων σελιδοποίησης μπορεί να μειωθεί αισθητά. Ωστόσο, συχνές ανανεώσεις θέσεις καταναλώνουν την περιορισμένη ενέργεια του κινητού, το εύρος ζώνης του καναλιού και προκαλούν φόρτο στις βάσεις δεδομένων των θέσεων. Στους Liang και Haas (2003), το κινητό ελέγχει περιοδικά την θέση του και εκτελεί ανανεώσεις θέσης μόνο αν η απόσταση ανάμεσα στην προβλεπόμενη και την μετρημένη θέση υπερβαίνει ένα κατώφλι. Η πρόβλεψη θέσης βασίζεται στο μοντέλο Gauss-Markov, το οποίο μπορεί αναπαριστά διαφορετικούς βαθμούς κινητικότητας που διακυμαίνονται από ένα σταθερό μοντέλο ταχύτητας μέχρι ένα μοντέλο τυχαίου περιπάτου.

Οι παράμετροι της διαδικασίας Gauss-Markov εκτιμούνται και ανανεώνονται χρησιμοποιώντας δείγματα της ταχύτητας του κινητού που λαμβάνονται από την κινητή μονάδα. Ορίζοντας ένα συνολικό κόστος διαχείρισης κινητικότητας ανά άφιξη κλήσης ως το άθροισμα των τριών όρων, του κόστους επιθεώρησης θέσης, του κόστους ενημέρωσης θέσης και του κόστους σελιδοποίησης, οι συγγραφείς Liang και Haas (2003) περιγράφουν μείωση του κόστους διαχείρισης κινητικότητας περίπου 50% σε σχέση με άλλα σχήματα βασισμένα στην απόσταση που δεν χρησιμοποιούν προβλέψεις.

Το project CELLO (2005) χρησιμοποιεί πληροφορία θέσης για την διευκόλυνση της διαδικασίας διαχείρισης πόρων. Το CELLO προτείνει την εισαγωγή ενός νέου υποσυστήματος μέσα στο κινητό δίκτυο, το οποίο χειρίζεται την πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση. Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο εξυπηρετητής της γεωγραφικής πληροφορίας του κινητού δικτύου (MGIS), ο οποίος αποθηκεύει και αναλύει την πληροφορία που σχετίζεται με τη θέση για όλους τους χρήστες που συνδέονται με το κινητό δίκτυο. Τέτοια πληροφορία περιλαμβάνει πληροφορία που προέρχεται από το τερματικό, πληροφορία που παράγεται από την υποδομή του δικτύου και πληροφορία που προκύπτει αφαιρετικά μέσω των εκτιμήσεων. Επιπρόσθετη πληροφορία που είναι αποθηκευμένη στο MGIS περιλαμβάνει δεδομένα απόδοσης για το κυψελωτό δίκτυο καθώς και στατική γεωγραφική πληροφορία που αφορά την περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο. Στη συνέχεια η πληροφορία από τον εξυπηρετητή χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση των διαδικασιών διαχείρισης των πόρων όπως η μεταπομπή, ο σχεδιασμός του δικτύου και η διαχείριση της κινητικότητας.

Η μεταπομπή υποβοηθούμενη από τη θέση (LAH) που προτείνεται από το CELLO, αποτελείται από ένα σύνολο αλγορίθμων οι οποίοι στοχεύουν να αντιμετωπίσουν αποδοτικά το πρόβλημα της μεταπομπής. Βασισμένοι στην διαθέσιμη πληροφορία στο MGIS, οι χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι πρέπει να αποφασίσουν τον πιο κατάλληλο σταθμό βάσης για να παραδώσουν ένα κινητό τερματικό. Συμβουλευόμενο το MGIS, το LAH διαφέρει από τους συμβατικούς αλγορίθμους μεταπομπής, όπου οι αποφάσεις είναι βασισμένες αποκλειστικά στην τιμή RSSI. Οι αλγόριθμοι LAH μπορούν να αναγνωρίσουν τις κρίσιμες περιοχές, να παρακολουθήσουν την κίνηση των χρηστών, και να πάρουν ευφυείς αποφάσεις μεταπομπής, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο πολλές από τις ατέλειες που επιβάλλονται με τις συμβατικές μεθόδους παράδοσης. Παραδείγματος χάριν εάν ανιχνεύσει ότι το κινητό τερματικό κινείται στα όρια μιας κυψέλης, μπορεί να καθυστερήσει την μεταπομπή προκειμένου να αποφευχθεί ένα πιθανό φαινόμενο “ring-rong”. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μια κυψέλες υποψηφίοι στόχοι, οι πληροφορίες θέσης θα βοηθήσουν να επιλέξουν τη βέλτιστη κυψέλη στόχο. Ακόμη και τυπικές μεταπομπές από μια μακρο-κυψέλη επικάλυψης στις υποκείμενες μικρο-πίκοκυψέλες μπορούν να ωφεληθούν από τις εξακριβωμένες πληροφορίες θέσης που διατηρούνται στο MGIS, και βοηθούν το σύστημα να επιλέξει την πιο κατάλληλη κυψέλη στόχο. Επιπλέον, με την ανάλυση των διαθέσιμων στο MGIS πληροφοριών το δίκτυο μπορεί, ενδεχομένως, να εκτιμήσει την κατεύθυνση της κίνησης του χρήστη και να δεσμεύσει πόρους στις ενδεχόμενες κυψέλες στόχους, τις οποίες μπορεί να επισκεφτεί ο κινητός χρήστης στο κοντινό μέλλον. Οι πόροι που επηρεάζονται από το LAH περιλαμβάνουν κυρίως το εύρος ζώνης και την ισχύ. Επιπλέον, η σηματοδότηση επηρεάζεται επίσης υπό την έννοια ότι η αποδοτική μεταπομπή σημαίνει ότι οι περιττές μεταπομπές μειώνονται και επομένως η αντίστοιχη κίνηση λόγω σηματοδότησης μειώνεται επίσης.

Ο σχεδιασμός που είναι υποβοηθούμενος από τη θέση (LAP) στοχεύει να βελτιώσει τον σχεδιασμό για το δίκτυο κάλυψης έτσι ώστε οι ραδιο-πόροι να κατανέμονται μεταξύ των διαφορετικών περιοχών κατά βέλτιστο τρόπο. Οι πληροφορίες που είναι σχετικές με τη θέση από το MGIS μαζί με τα ανακτημένα δεδομένα απόδοσης αναλύονται για να καθορίσουν τις προβληματικές περιοχές μέσα στο δίκτυο. Η συσσωρευμένη γνώση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία εναλλακτικών σχεδίων δικτύου ανάλογα με τις συνθήκες κίνησης (π.χ., εκχώρηση περισσότερων ραδιο καναλιών στις συγκεκριμένες περιοχές που έχουν συμφόρηση), αυξάνοντας κατά συνέπεια την χωρητικότητα του δικτύου και του προσφερόμενου QoS.

Τέλος, η διαχείριση κινητικότητας που είναι υποβοηθούμενη από τη θέση (LAM) προτάθηκε από τον CELLO, ως ένα μέσο για να υποστηρίξει κάθετη μεταπομπή και την αλληλεπίδραση των διαφορετικών δικτύων και συστημάτων. Οι αλγόριθμοι LAM, λαμβάνουν υπόψη συγκεκριμένες πληροφορίες θέσης για το κινητό, συγκεκριμένες απαιτήσεις υπηρεσιών του χρήστη και στατικές πληροφορίες θέσης (π.χ., υπάρχοντα σημεία πρόσβασης, κεραιές, κ.λπ.) στη γειτονική περιοχή, που όλα αποθηκεύονται στο MGIS, και μπορούν να ενημερώσουν το χρήστη για τις κοντινές υποδομές, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν τις ανάγκες του. Παραδείγματος χάριν, υποθέστε ότι ένας χρήστης θέλει να έχει πρόσβαση σε μια υπηρεσία ευρείας ζώνης και το δίκτυο το οποίο τον εξυπηρετεί αυτήν την περίοδο δεν μπορεί να υποστηρίξει τις ανάγκες του. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε επειδή το δίκτυο δεν έχει τέτοιες δυνατότητες ή λόγω έλλειψης πόρων. Υποθέστε επίσης ότι υπάρχει ένα κοντινό σημείο πρόσβασης WLAN, που μπορεί να υποστηρίξει την απαιτούμενη υπηρεσία. Ο αλγόριθμος LAM θα ειδοποιήσει το χρήστη για την παρουσία μιας τέτοιας ικανής υποδομής και θα τον προτρέψει για να χρησιμοποιήσει το σύστημα WLAN αντ' αυτού.

Στην εργασία των Lakas, Sallabi, Boulmalf, Shuaib και Elsayed προτείνεται μια προδραστική τεχνική διαχείρισης πόρων με παροχή QoS, καθώς ο κινητός χρήστης κινείται από μία κυψέλη προς μια άλλη. Στόχος είναι, δηλαδή, να επιτευχθεί μια λύση που να επιτρέπει τη διατήρηση του QoS κατά τη διάρκεια της μεταπομπής. Δύο τρόποι μπορούν να αναφερθούν προκειμένου να γίνει αυτό: είτε να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις μεταπομπής, είτε να αντιμετωπιστούν αυτές οι πρόσθετες καθυστερήσεις με προδραστική μεταφορά των απαιτήσεων σε QoS στις γειτονικές κυψέλες. Αυτό μπορεί να γίνει με παρακολούθηση της κίνησης των κινητών τερματικών και αίτηση παραχώρησης πόρων από γειτονικές κυψέλες σε περίπτωση μεταπομπής. Ο αλγόριθμος προδραστικής δέσμευσης πόρων αποτελείται από την αίτηση για πόρους δικτύου στις γειτονικές κυψέλες λόγω μιας πιθανής κίνησης του κινητού τερματικού. Με αυτόν τον τρόπο, όταν γίνει η μεταπομπή του κινητού στην επόμενη κυψέλη, οι πόροι θα έχουν δεσμευτεί ήδη. Επιπλέον, όταν το κινητό μετακινηθεί στην επόμενη κυψέλη, οι πόροι, που είναι ήδη δεσμευμένοι προδραστικά στις κυψέλες που δεν είναι πλέον γειτονικές, αποδεσμεύονται.

Ο όρος γειτονικές κυψέλες αναφέρεται σύμφωνα με τους συγγραφείς σε μια από τις παρακάτω προσεγγίσεις:

1) Γεωγραφική γειτονιά: σε αυτήν την περίπτωση, οι γειτονικές κυψέλες είναι αυτές που μοιράζονται τα ίδια σύνορα κάλυψης.

2) Πιθανή γειτονιά: σε αυτήν την περίπτωση, ανήκουν οι γειτονικές κυψέλες που παρουσιάζουν υψηλότερη πιθανότητα να τις επισκεφτεί το κινητό στη συνέχεια. Οι πιθανές κυψέλες είναι ένα υποσύνολο των γεωγραφικών γειτονικών κυψελών από την άποψη ότι οι τελευταίες έχουν μια ίση πιθανότητα να τις επισκεφτεί στη συνέχεια, εάν δεν εξεταστούν οποιαδήποτε άλλα κριτήρια.

3) Γειτονιά βασισμένη στη ισχύ του σήματος: Σε αυτήν την μέθοδο τα κριτήρια επιλογής αποτελούνται από τον υπολογισμό μιας πιθανότητας να τις επισκευτεί στη συνέχεια, που εξαρτάται από τη ισχύ των σημάτων ή/και το SNR. Οι κυψέλες με το καλύτερο σήμα /SNR θα επιλεγούν ως γειτονικές.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε από αυτές τις τεχνικές, εντούτοις, έχει επιλεχτεί η προσέγγιση της γεωγραφικής γειτονιάς.

Η προδραστική δέσμευση πόρων εκτελείται κάθε φορά που εκτελείται μια μεταπομπή από μια κυψέλη σε μια άλλη. Ο αλγόριθμος εκτελείται στα ακόλουθα βήματα:

- 1) Καθορισμός των προηγούμενων γειτονικών κυψελών: PNC. PNC είναι το σύνολο των γειτονικών κυψελών της κυψέλης που αφήνει το κινητό τερματικό.
- 2) Καθορισμός των νέων γειτονικών κυψελών: NNC. NNC είναι το σύνολο των γειτονικών κυψελών της κυψέλης που εισέρχεται το κινητό τερματικό.
- 3) Υπολογισμός των κυψελών για προδραστική δέσμευση: σε αυτό το βήμα καθορίζονται οι νέες κυψέλες μεταξύ των NNC στις οποίες θα γίνει η προδραστική δέσμευση: NNC_p. Σημειώνετε ότι δεν πρόκειται όλες οι νέες γειτονικές κυψέλες να ανήκουν σε αυτή την κατηγορία δεδομένου ότι μερικές από αυτές είναι ήδη μέρος των προηγούμενων γειτονικών κυψελών. Οι κυψέλες αυτές ορίζονται ως εξής:

$$NNC_p = NNC - \{NNC \cap PNC\}$$

- 4) Υπολογισμός των κυψελών που θα απελευθερωθούν: PNC_r. Δεν θα απελευθερωθούν όλες από τις προηγούμενες προδραστικά δεσμευμένες κυψέλες, αφού μερικές απ' αυτές είναι μέρος των νέων γειτονικών κυψελών που πρέπει να παραμείνουν προδεδεσμευμένες. Οι κυψέλες που θα απελευθερωθούν υπολογίζονται ως εξής:

$$PNC_r = PNC - \{NNC \cap PNC\}$$

- 5) Προδραστική δέσμευση των νέων κυψελών. Σε αυτό το βήμα, στις νέες κυψέλες NNC_p δεσμεύονται οι απαραίτητοι πόροι αφότου εφαρμοστεί ο έλεγχος αποδοχής, ανάλογα με την συγκεκριμένη πολιτική.

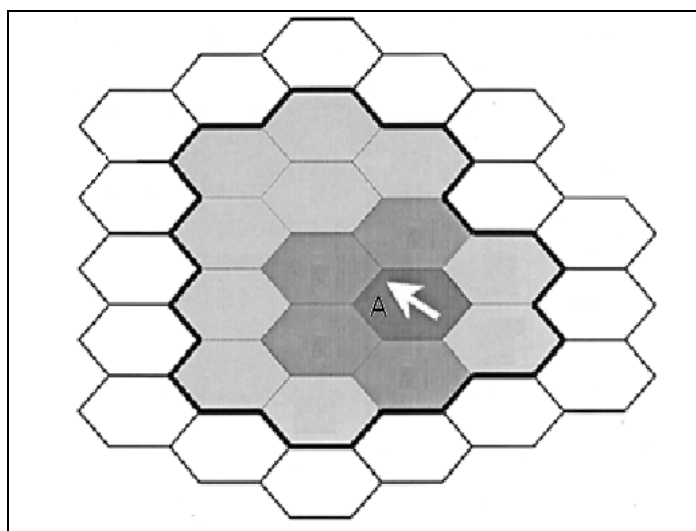
6) Απελευθέρωση των παλιών κυψελών. Σε αυτό το βήμα, οι κυψέλες που είχαν δεσμευτεί προδραστικά, και που δεν είναι πλέον μέρος των γειτονικών κυψελών, αποδεσμεύουν τους πόρους που είχαν δεσμεύσει.

Όσον αφορά τη διαδικασία ελέγχου αποδοχής των πόρων στα πλαίσια της προδραστικής παροχής, εφαρμόζεται διαφορετικά. Οι εφαρμογές που είναι ταξινομημένες με βάση τις απαιτήσεις QoS αντιμετωπίζονται από την διαδικασία έλεγχου αποδοχής κατά τέτοιο τρόπο ώστε δεν υπάρχει καμία ανάγκη οι πόροι που αποκτούνται προδραστικά, να περάσουν τη δοκιμή ελέγχου αποδοχής. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας ελέγχου αποδοχής είναι αποδοχή ή απόρριψη, ανάλογα με το φορτίο του δικτύου.

Στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν δυο κατηγορίες υπηρεσιών: οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και οι υπηρεσίες “βέλτιστης προσπάθειας”. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεδομένου ότι αυξάνεται ο αριθμός των κλήσεων πραγματικού χρόνου που εισάγονται στο δίκτυο, ο αριθμός των κλήσεων βέλτιστης προσπάθειας που παραμένει ενεργός στο σύστημα μειώνεται αναλογικά ώστε να κρατηθεί ο παράγοντας φορτίου σταθερός. Επίσης παρατηρείται ότι ενώ ο αριθμός κλήσεων βέλτιστης προσπάθειας που παραμένουν ενεργές στο σύστημα μειώνεται, ο αριθμός των ενεργών κλήσεων πραγματικού χρόνου κλήσεων παραμένει σταθερός. Δεύτερον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εάν εξετάσουμε την αλλαγή του λόγου κλήσεων βέλτιστης προσπάθειας προς πραγματικού χρόνου ως προς την πιθανότητα ανεπιθύμητης διακοπής της κλήσης διαπιστώσαμε ότι όσο περισσότερες κλήσεις πραγματικού χρόνου φθάνουν στο σύστημα, η πιθανότητα αυτή των κλήσεων βέλτιστης προσπάθειας αυξάνεται δραματικά. Επίσης η πιθανότητα ανεπιθύμητης διακοπής των κλήσεων πραγματικού χρόνου είναι σταθερή και σχεδόν μηδέν. Συμπερασματικά η τεχνική που προτείνεται εδώ επιτρέπει στις συνόδους πραγματικού χρόνου να έχουν προτεραιότητα στη χρησιμοποίηση και τη διατήρηση των πόρων του δικτύου από τις κλήσεις μη πραγματικού χρόνου.

Στην εργασία των Levine, Akyildiz και Naghshineh (1997) μελετάται η έννοια των “shadow clusters” και το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθούν οι μελλοντικές ανάγκες πόρων και να εκτελεστούν οι αποφάσεις ελέγχου αποδοχής στα ασύρματα δίκτυα κάτω από απαιτήσεις για Τα “shadow clusters” είναι ένα πλήρως κατανεμημένο, δυναμικό και προδραστικό σχήμα που μειώνει την πιθανότητα ανεπιθύμητου τερματισμού των κλήσεων και διατηρεί μεγάλη ρυθμοαπόδοση για τις

κυψέλες με βασικό σκοπό την διατήρηση των απαιτήσεων QoS. Η βασική ιδέα του “shadow cluster” είναι ότι κάθε κινητό τερματικό με μια ενεργή σύνδεση ασκεί επιρροή στις κυψέλες που βρίσκονται στην γειτονιά της τρέχουσας θέσης του και κατά μήκος της κατεύθυνσης που κινείται. Όσο το τερματικό αλλάζει θέση, τόσο κινείται μαζί του και η περιοχή επιρροής. Οι κυψέλες που ανήκουν σε αυτή την περιοχή αποτελούν το “shadow cluster” γιατί η περιοχή αυτή ακολουθεί το κινητό σαν την σκιά του. Η κυψέλη στην οποία βρίσκεται ονομάζεται τρέχουσα οικιακή κυψέλη. Οι γειτονικές κυψέλες που ανήκουν στο “shadow cluster” χωρίζονται σε αυτές που έχουν τα ίδια σύνορα με την τρέχουσα και σε αυτές που δεν συνορεύουν. Η επιρροή και συνεπώς η “σκοτεινότητα” της κάθε κυψέλης είναι πιο δυνατή πιο κοντά στο τερματικό και γενικότερα εξαρτάται από την απόσταση, την προτεραιότητα των κλήσεων, τους χρησιμοποιούμενους πόρους εύρους ζώνης, την κατεύθυνση, την ταχύτητα του κινητού τερματικού κ.α. Επιπρόσθετα το πόσο “σκοτεινή” θα είναι μια κυψέλη εξαρτάται από το πόσους πόρους θα πρέπει να δεσμεύσει για να υποστηρίξει τα τερματικά που βρίσκονται στην ίδια και στις γειτονικές κυψέλες. Συνεπώς η γεωμετρία του “shadow cluster” δεν είναι απαραίτητα κυκλική και αλλάζει συνεχώς. Στη ουσία το “shadow cluster” είναι ένα εικονικό σύστημα μηνυμάτων, όπου οι BS που ανήκουν στο κάθε ένα “shadow cluster” ανταλλάσσουν πιθανολογικές πληροφορίες για την πιθανότητα της θέσης που θα κινηθούν στο μέλλον τα ενεργά τερματικά, έτσι προβλέπουν την ενδεχόμενη ζήτηση και δεσμεύουν πόρους μέσω του μηχανισμού CAC με απόρριψη νέων κλήσεων. Σημειώνεται ότι καθώς κινείται το τερματικό, το “shadow cluster” κινείται επίσης και οι παλιές κυψέλες απελευθερώνουν πόρους ενώ οι καινούργιες δεσμεύουν.



Σχήμα 14 Shadow clusters του τερματικού A

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, στην εργασία αυτή, ο χρόνος διαιρείται σε ίσα διαστήματα, κι υπολογίζεται η πιθανότητα κάθε MT να βρεθεί σε κάθε μία από τις κυψέλες στο “shadow cluster” για τα μελλοντικά χρονικά διαστήματα. Οι BS ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με την προβλεπόμενη ζήτηση εύρους ζώνης για τα μελλοντικά χρονικά διαστήματα, ώστε να καθορίσουν το αν θα κάνουν προδέσμευση πόρων και αν είναι εφικτό να αποδεχθούν νέες κλήσεις.

Οι Αλυφαντής, Χατζηευθυμιάδης και Μεράκος (2006) προτείνουν ένα σχήμα που βασίζεται σε ένα μοντέλο χρέωσης για την προδραστική δέσμευση πόρων έτσι ώστε να μειωθεί η πιθανότητα μπλοκαρίσματος των μεταπομπών στα κινητά δίκτυα, εμπλέκοντας την θεωρία παιγνίων. Συγκεκριμένα ο χρήστης διαπραγματεύεται με το δίκτυο, ούτως ώστε να προδεσμεύσει μία ποσότητα πόρων στην πιο πιθανή προς επίσκεψη επόμενη κυψέλη. Το δίκτυο πληρώνεται για αυτήν την υπηρεσία, ούτως ώστε να αντισταθμίσει το ότι αυτοί οι πόροι δε μπορούν να διατεθούν αλλού για κάποιο χρόνο και το ποσό που πληρώνει ο χρήστης καθορίζεται από μία διαδικασία διαπραγμάτευσης που μοντελοποιείται ως ένα μη συνεργατικό παίγνιο δυο παιχτών. Στη συνέχεια θα περιγραφεί αναλυτικότερα το προαναφερόμενο σχήμα.

Αρχικά θεωρείται ότι οι πόροι των BS χρησιμοποιούνται τόσο για τις ενεργές συνόδους όσο και για τις συνόδους που προδεσμεύονται από τις γειτονικές κυψέλες. Για να δεσμεύσει όμως προκαταβολικά εύρος ζώνης, ο BS απαιτεί από το κινητό τερματικό να του πληρώσει μια τιμή η οποία προσδιορίζεται από την διαδικασία της διαπραγμάτευσης. Συγκεκριμένα ως p_i (\$/(Kb/s)) ορίζεται η τιμή ανά μονάδα του πόρου που συμφωνείται μεταξύ του MT και του BS για το στιγμιότυπο εφαρμογής i , ενώ οι συναρτήσεις ωφελείας του MT και του BS δίνονται από την εξίσωση.

$$U_{MT} = \text{Benefit}_{MT,i} - p_i$$

$$U_{BS} = p_i - \text{Cost}_{BS}$$

όπου το $\text{Benefit}_{MT,i}$ υποδηλώνει την αξία για το MT μίας μονάδας εύρους ζώνης και δίνεται από τη σχέση

$$\text{Benefit}_{MT,i} = f \frac{d_i}{d_{\max}} \quad (f \in [0,1] \text{ το βάρος για κάθε χρήστη ανάλογα με την κρισιμότητα}$$

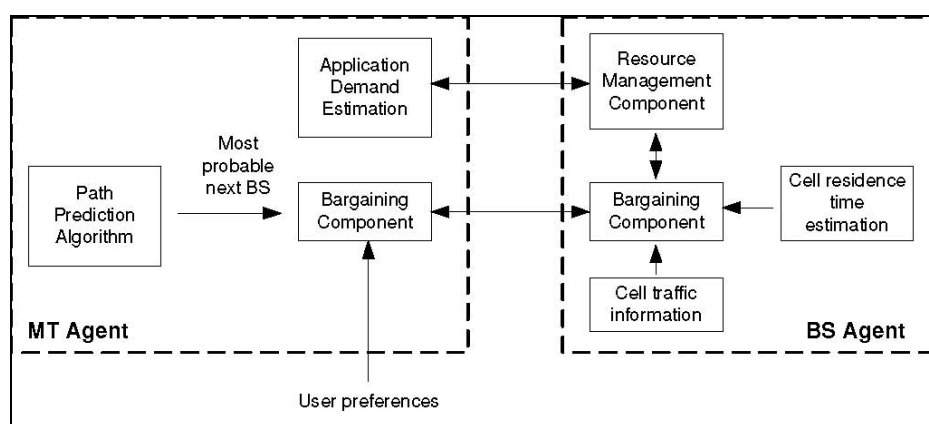
της εφαρμογής, d_{\max} η μέγιστη διάρκεια συνόδου που έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής για τον MT και d_i η παρατηρούμενη διάρκεια της εφαρμογής μέχρι την τρέχουσα χρονική στιγμή)

Το $Cost_{BS}$ αντιπροσωπεύει την εκτίμηση του κόστους από τον BS για να κάνει μία κράτηση και δίνεται από τη σχέση

$$Cost_{BS} = \frac{C_{Total} - C_{Free}}{C_{Total}}$$

όπου C_{Free} η τρέχουσα ποσότητα ελεύθερων πόρων και C_{Total} η συνολική ποσότητα πόρων στο BS.

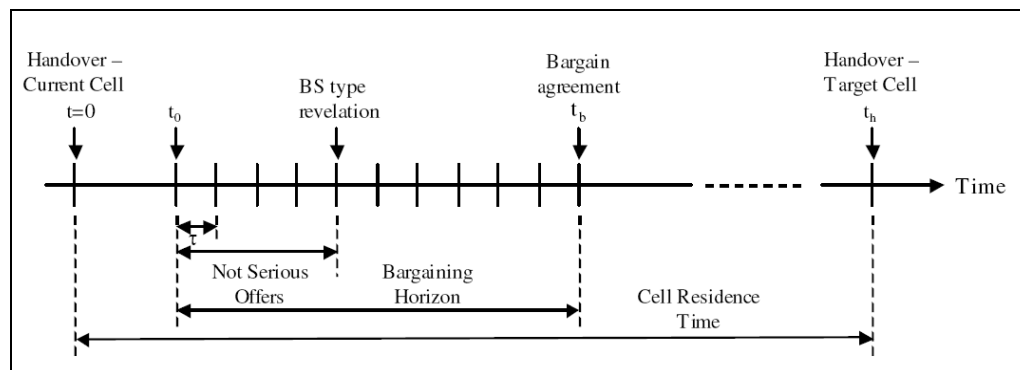
Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική βασίζεται σε τρεις βασικούς μηχανισμούς: 1) έναν αλγόριθμο πρόβλεψης κίνησης (ΑΠΚ), 2) ένα σχήμα διαπραγματεύσεων (bargaining) και 3) ένα πλαίσιο διαχείρισης πόρων (Resource Management Component, RMC). Κάθε BS, διατηρώντας κατάλληλα στατιστικά κι εκτιμήσεις της συνολικής παρατηρούμενης κινητικότητας των χρηστών και του προσφερόμενου φόρτου, ενημερώνει την ελάχιστη αποδεκτή τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης, που θα πρέπει να πληρώσει ένα MT για μία προδέσμευση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η υλοποίηση του αλγορίθμου.



Σχήμα 15 Διαδικασίες αλγορίθμου προδέσμευσης

Ο πράκτορας του MT χρησιμοποιεί την έξοδο του ΑΠΚ, ούτως ώστε να προσδιορίσει το BS που είναι ο πιο πιθανός για την επόμενη μεταπομπή. Αφού αξιολογήσει τον πόρο (δηλαδή υπολογίσει το $Benefit_{MT,i}$ για κάθε ενεργή σύνοδο i), το MT εκκινεί τη διαπραγμάτευση με το BS που υποδεικνύει ο ΑΠΚ. Ο μηχανισμός διαπραγμάτευσης που υιοθετείται εντάσσεται στα μοντέλα διαπραγμάτευσης απείρου ορίζοντα με αμφίπλευρη αβεβαιότητα. Στο συγκεκριμένο μοντέλο, ο BS είναι ο παίκτης που κατέχει το αγαθό (εύρος ζώνης) ενώ το MT είναι ο αγοραστής και οι παίκτες διαπραγματεύονται

για την τιμή μιας μονάδας εύρους ζώνης. Πιο συγκεκριμένα το MT ξεκινάει την διαπραγμάτευση με τον BS στόχο (τον πιο πιθανό να επισκεφτεί) αφού περάσει ένα αυθαίρετο χρονικό διάστημα t_0 στη τρέχουσα κυψέλη. Ο BS ξεκινάει κάνοντας ακριβές προσφορές αλλά σταδιακά κάνει τις προσφορές του πιο ελκυστικές μέχρι ο MT να δεχτεί την αγορά στο χρόνο t_b . Οι προσφορές γίνονται κάθε χρονικό διάστημα τ sec. Τη χρονική στιγμή t_h , το MT διενεργεί την αναμενόμενη μεταπομπή (όπου $t_h > t_b$). Κι οι δύο παίκτες, όμως, επιβαρύνονται με κάποιο κόστος όταν καθυστερεί η ολοκλήρωση της διαπραγμάτευσης κάτι το οποίο μοντελοποιήθηκε μειώνοντας τις απολαβές τους για κάθε γύρο της διαπραγμάτευσης, σύμφωνα με τον παράγοντα δ_b για τον αγοραστή και δ_s για τον πωλητή (δ_b, δ_s ανήκουν στο διάστημα $[0,1]$). Το κόστος της καθυστέρησης της ολοκλήρωσης της διαπραγμάτευσης εκφράζει την πίεση που ασκεί ο χρόνος στο MT (αγοραστή) και τον BS (πωλητή), καθώς ο μόνος μπορεί να φοβάται ότι η μεταπομπή μπορεί να λάβει χώρα πριν μία συμφωνία, ενώ ο άλλος μπορεί να ανησυχεί ότι το MT, ίσως να προτιμήσει έναν άλλο, φθηνότερο, BS, που ανήκει σε κάποιον άλλο πάροχο. Στην περίπτωση που δε μπορεί να επιτευχθεί μία συμφωνία, κι οι δύο παίκτες λαμβάνουν μηδενική απολαβή. Σημειώνεται ότι πραγματοποιείται μια ξεχωριστή διαδικασία διαπραγμάτευσης για κάθε διαφορετική εφαρμογή. Η διαδικασία απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 16 Διαδικασία διαπραγμάτευσης

Μετά από προσομοιώσεις αποδείχθηκε ότι το προτεινόμενο σχήμα μειώνει την πιθανότητα διακοπής μίας εφαρμογής, λόγω μεταπομπής, P_h , για όλους τους τύπους εφαρμογών, ενώ η πιθανότητα μπλοκαρίσματος μίας νέας εφαρμογής, P_n , είναι μεγαλύτερη, σε σχέση με την περίπτωση χωρίς προδέσμευση πόρων, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο αφού οι πόροι του δικτύου για την μεταπεμπόμενη σύνοδο μειώνουν το αριθμό των πόρων για τις νέες συνόδους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΘΕΩΡΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΑΥΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΠΡΟΔΡΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Η θεωρία της βέλτιστης χρονικής στιγμής παύσης ή σταματήματος (optimal stopping) μελετάει το πρόβλημα της επιλογής μιας χρονικής στιγμής για να ληφθεί μια απόφαση (να εκτελεστεί μια συγκεκριμένη λειτουργία) προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το αναμενόμενο κέρδος (ή να ελαχιστοποιηθεί το αναμενόμενο κόστος) και βασίζεται σε διαδοχικά παρατηρηθείσες τυχαίες μεταβλητές. Προβλήματα αυτού του είδους συναντώνται στον τομέα της στατιστικής, όπου η δράση που πρέπει να γίνει μπορεί να είναι η εξέταση μιας υπόθεσης ή η εκτίμηση μιας παραμέτρου καθώς και στον τομέα της λειτουργικής έρευνας, όπου η δράση μπορεί να είναι η αντικατάσταση μιας μηχανής, η πρόσληψη μιας γραμματέως, ή η παραγγελία αποθέματος κ.λπ.

Ιστορικά, το πρόβλημα προέκυψε στην ακολουθιακή ανάλυση στατιστικών παρατηρήσεων με τη θεωρία του Wald για το κριτήριο του λόγου ακολουθιακής πιθανότητας (1945) και τα ακόλουθα βιβλία, «Ακολουθιακή ανάλυση» (1947) και «Στατιστικές συναρτήσεις απόφασης» (1950). Η Μπεϋζιανή προοπτική σε αυτά τα προβλήματα μελετήθηκε στο βασικό έγγραφο του Arrow, Blackwell και Girshick (1948). Η γενίκευση της ακολουθιακής ανάλυσης στα προβλήματα καθαρού χρόνου παύσης χωρίς στατιστική δομή έγινε από τον Snell (1952). Ενώ στη δεκαετία του '60, η δουλειά των Chow και Robbins (1961) και (1963) έδωσαν ώθηση στη ταχεία ανάπτυξη του θέματος. Το βιβλίο «Μεγάλες προσδοκίες: Η θεωρία της βέλτιστης παύσης» από τους Chow, Robbins και Siegmund (1971), συνοψίζει αυτήν την ανάπτυξη.

Στη συνέχεια αναφέρεται η βασική δομή ενός προβλήματος βέλτιστης παύσης και διάφορα παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων.

4.2 Καθορισμός προβλήματος παύσης (stopping problem)

Ορισμός του προβλήματος

Οι κανόνες των προβλημάτων παύσης ορίζονται από δύο αντικείμενα

- 1) Μια ακολουθία τυχαίων μεταβλητών X_1, X_2, \dots , των οποίων η κοινή κατανομή θεωρείται γνωστή

2) Μια ακολουθία συναρτήσεων ανταμοιβής πραγματικών τιμών

$$y_0, y_1(x_1), y_2(x_1, x_2), \dots, y_\infty(x_1, x_2, \dots)$$

Δεδομένου των δύο αντικειμένων, το αντίστοιχο πρόβλημα παύσης μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως. Παρατηρείται η ακολουθία X_1, X_2, \dots για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για κάθε $n=1, 2, \dots$ αφού παρατηρηθούν τα $X_1=x_1, X_2=x_2, \dots, X_n=x_n$ οι επιλογές του παίκτη είναι είτε να σταματήσει και να λάβει το γνωστό αντίτιμο $y_n(x_1, \dots, x_n)$ ή να συνεχίσει και να παρατηρήσει το X_{n+1} . Αν επιλέξει και δεν διαλέξει καμία παρατήρηση, τότε λαμβάνει το σταθερό ποσό y_0 . Αν δεν σταματήσει ποτέ, τότε λαμβάνει $y_\infty(x_1, x_2, \dots)$. Το πρόβλημα είναι να επιλεγεί η κατάλληλη χρονική στιγμή που πρέπει να σταματήσει έτσι ώστε να μεγιστοποιείται το αναμενόμενο κέρδος. Επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει τυχαίες αποφάσεις. Δηλαδή, δεδομένου ότι φτάνει στο στάδιο n έχοντας παρατηρήσει τα $X_1=x_1, X_2=x_2, \dots, X_n=x_n$ μπορεί να επιλέξει μια πιθανότητα να σταματήσει που να εξαρτάται από αυτές τις παρατηρήσεις. Δηλώνουμε αυτή τη πιθανότητα ως $\varphi_n(x_1, \dots, x_n)$.

Ένας κανόνας σταματήματος/παύσης (stopping rule) αποτελείται από την ακολουθία των συναρτήσεων

$$\varphi = (\varphi_0, \varphi_1(x_1), \varphi_2(x_1, x_2), \dots)$$

για όλα τα n και τα $x_1, x_2, \dots, x_n, 0 \leq \varphi_n(x_1, \dots, x_n) \leq 1$.

Ο κανόνας αυτός δεν έχει καθόλου τυχαιότητα αν κάθε $\varphi_n(x_1, \dots, x_n)$ είναι είτε 0 είτε 1. Συνεπώς το φ_0 αναπαριστά την πιθανότητα ο παίκτης να μην κάνει καμία παρατήρηση. Αν παρατηρήσει την τιμή X_1 και δει ότι $X_1=x_1$, τότε η $\varphi_1(x_1)$ αναπαριστά την πιθανότητα κανείς να σταματήσει μετά την πρώτη παρατήρηση, κ.ο.κ. Ο κανόνας παύσης φ και η ακολουθία παρατηρήσεων $X=(X_1, X_2, \dots)$ καθορίζει την τυχαία χρονική στιγμή N ($0 \leq N \leq \infty$) στην οποία θα συμβεί η βέλτιστη παύση. Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας του N δεδομένου ότι $X=x=(x_1, x_2, \dots)$ δηλώνεται με $\psi=(\psi_0, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_\infty)$ όπου

$$\psi_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(N=n | X=x) \text{ για } n=0, 1, 2, \dots$$

$$\psi_\infty(x_1, x_2, \dots) = P(N=\infty | X=x)$$

Αυτό σχετίζεται με τον κανόνα παύσης φ ως εξής:

$$\psi_0 = \varphi_0$$

$$\psi_1(x_1) = (1 - \varphi_0) \varphi_1(x_1)$$

⋮

$$\psi_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left[\prod_{j=1}^{n-1} (1 - \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_j)) \right] \varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\psi_\infty(x_1, x_2, \dots) = 1 - \sum_0^\infty \psi_j(x_1, x_2, \dots, x_j)$$

όπου $\psi_\infty(x_1, x_2, \dots)$ αναπαριστά την πιθανότητα δεδομένων όλων των παρατηρήσεων, ο παίκτης να μην σταματήσει ποτέ.

Επομένως το πρόβλημα είναι πλέον να επιλεγεί ένας κανόνας παύσης φ έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το προσδοκώμενο κέρδος (ή να ελαχιστοποιηθεί το αναμενόμενο κόστος) $V(\varphi)$ το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$V(\varphi) = E_{yN}(X_1, \dots, X_N) = E \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j(X_1, \dots, X_j) y_j(X_1, \dots, X_j)$$

Σε όρους του τυχαίου χρονικού διαστήματος παύσης N , ο κανόνας παύσης φ μπορεί να εκφραστεί ως

$$\varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(N=n | N \geq n, X=x) \text{ για } n=0, 1, 2, \dots$$

Τυχαίες ακολουθίες ανταμοιβής

Για μερικές εφαρμογές, η ακολουθία ανταμοιβής περιγράφεται πιο ρεαλιστικά ως μια ακολουθία τυχαίων μεταβλητών $Y_0, Y_1, \dots, Y_\infty$ των οποίων η κοινή κατανομή με τις παρατηρήσεις X_1, X_2, \dots είναι γνωστή. Η πραγματική τιμή του Y_n μπορεί να μην είναι γνωστή τη χρονική στιγμή n όταν ο παίκτης πρέπει να λάβει την απόφαση για το κατά πόσο θα σταματήσει ή όχι.

Εντούτοις, το να επιτρέπεται να είναι τυχαίες οι απολαβές του παίκτη δεν αποτελεί μια γενικότητα γιατί, δεδομένου ότι η απόφαση να σταματήσει στο χρόνο n μπορεί να εξαρτάται από τα X_1, \dots, X_n , μπορούμε να αντικαταστήσουμε την ακολουθία των τυχαίων ανταμοιβών Y_n από την ακολουθία συνάρτησης ανταμοιβής $y_n(x_1, \dots, x_n)$ για $n = 0, 1, \dots, \infty$, όπου

$$y_n(x_1, \dots, x_n) = E \{Y_n | X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n\}.$$

Οποιοσδήποτε κανόνας παύσης φ για την ακολουθία πληρωμής (payoff) $Y_0, Y_1, \dots, Y_\infty$ θα έδινε την ίδια αναμενόμενη τιμή για την ακολουθία $y_0, y_1, \dots, y_\infty$.

4.3. Προβλήματα πεπερασμένου ορίζοντα

Ένα πρόβλημα παύσης έχει πεπερασμένο ορίζοντα εάν υπάρχει ένα γνωστό άνω όριο για τον αριθμό των σταδίων που μπορεί να σταματήσει κάποιος παίκτης. Εάν ο παίκτης πρέπει να σταματήσει μετά από την παρατήρηση X_1, \dots, X_T , λέμε ότι το πρόβλημα έχει ορίζοντα T . Ένα πρόβλημα πεπερασμένου ορίζοντα μπορεί να ληφθεί ως μια ειδική περίπτωση του γενικού προβλήματος όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως θέτοντας $y_{T+1} = \dots = y_\infty = -\infty$.

Σε γενικές γραμμές, τέτοια προβλήματα μπορούν να λυθούν με τη μέθοδο της οπισθοδρομικής επαγωγής (backward induction). Δεδομένου ότι πρέπει να σταματήσουμε στο στάδιο T , βρίσκουμε αρχικά το βέλτιστο κανόνα στο στάδιο $T-1$. Κατόπιν, ξέροντας το βέλτιστο κανόνα στο στάδιο $T-1$, βρίσκουμε το βέλτιστο κανόνα στο στάδιο $T-2$, και έτσι συνεχίζουμε μέχρι το αρχικό στάδιο (στάδιο 0). Ορίζουμε το $V_T^{(T)}(x_1, \dots, x_T) = y_T(x_1, \dots, x_T)$ και έπειτα επαγωγικά για $j = T-1$, προς τα πίσω $j = 0$,

$$V_j^{(T)}(x_1, \dots, x_j) = \max\{y_j(x_1, \dots, x_j), E(V_{j+1}^{(T)}(x_1, \dots, x_j, X_{j+1}) | X_1 = x_1, \dots, X_j = x_j)\}$$

Επαγωγικά, το $V_j^{(T)}(x_1, \dots, x_j)$ παριστάνει τη μέγιστη απολαβή που κάποιος παίκτης μπορεί να λάβει ξεκινώντας από το στάδιο j και έχοντας παρατηρήσει τα $X_1 = x_1, \dots, X_j = x_j$. Στο στάδιο j , συγκρίνουμε την απολαβή που θα έχει ο παίκτης αν σταματήσει, $y_j(x_1, \dots, x_j)$, με την απολαβή που αναμένεται να λάβει αν συνεχίσει και χρησιμοποιώντας το βέλτιστο κανόνα για τα στάδια $j+1$ μέχρι το T , η οποία στο στάδιο j είναι $E(V_{j+1}^{(T)}(x_1, \dots, x_j, X_{j+1}) | X_1 = x_1, \dots, X_j = x_j)$. Επομένως η βέλτιστη απολαβή είναι το μέγιστο αυτών των δύο ποσοτήτων, δηλαδή είναι βέλτιστο ο παίκτης να σταματήσει στο j εάν $V_j^{(T)}(x_1, \dots, x_j) = y_j(x_1, \dots, x_j)$ ενώ διαφορετικά πρέπει να συνεχίσει. Η αξία του προβλήματος παύσης είναι $V_0(t)$.

Υπάρχουν διάφορα προβλήματα των οποίων οι λύσεις μπορούν να αξιολογηθούν αποτελεσματικά μ' αυτό τον τρόπο. Το πιο γνωστό από αυτά είναι το πρόβλημα της γραμματέως που θα μελετηθεί στη συνέχεια.

4.3.1 Το κλασικό πρόβλημα της γραμματέως

Το πρόβλημα της γραμματέως και οι παραλλαγές του αποτελούν μια σημαντική τάξη των προβλημάτων πεπερασμένου ορίζοντα. Υπάρχει μια εκτενής βιβλιογραφία σε αυτό

το πρόβλημα, καθώς και ένα βιβλίο, «Προβλήματα βέλτιστης επιλογής» από τους Berezonskiy και Gnedin (1984) που αναφέρεται αποκλειστικά σε αυτό.

Το πρόβλημα περιγράφεται συνήθως ως αυτό της επιλογής της βέλτιστης γραμματέως, αλλά μερικές φορές αναφέρεται και ως το πρόβλημα της βέλτιστης συζύγου (το πρόβλημα γάμου) ή του μεγαλύτερου αριθμού ενός άγνωστου συνόλου αριθμών (Googol).

Αρχικά, περιγράφεται το κλασσικό πρόβλημα της γραμματέως (Classical Secretary Problem, CSP)

1. Υπάρχει μόνο μια διαθέσιμη θέση γραμματέως.
2. Υπάρχουν n εξεταζόμενοι (applicants) για την θέση, όπου n είναι γνωστός αριθμός.
3. Υποτίθεται ότι μπορείτε να ο παίκτης μπορεί να ταξινομήσει τους εξεταζόμενους γραμμικά από τον καλύτερο στον χειρότερο χωρίς εξαρτήσεις.
4. Οι εξεταζόμενοι περνούν από συνέντευξη διαδοχικά με τυχαία διάταξη με κάθε μια από τις $n!$ διατάξεις να είναι ισοπίθανες.
5. Καθώς περνά κάθε εξεταζόμενος από συνέντευξη, ο παίκτης είτε πρέπει να τον δεχτεί για τη θέση και το πρόβλημα απόφασης να τελειώσει, είτε ενδεχομένως να τον απορρίψει και να πάρει συνέντευξη από τον επόμενο.
6. Η απόφαση να γίνει αποδεκτός ή να απορριφθεί ένας εξεταζόμενος πρέπει να βασίζεται μόνο στη σχετική διάταξη των εξεταζόμενων που έχουν περάσει μέχρι τώρα από συνέντευξη.
7. Από τη στιγμή που ένας εξεταζόμενος απορριφθεί δεν μπορεί αργότερα να γίνει αποδεκτός.
8. Ο στόχος είναι να επιλεχτεί ο καλύτερος εξεταζόμενος, δηλαδή το κέρδος είναι 1 εάν επιλεχτεί ο καλύτερος, διαφορετικά 0.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα πρόβλημα βέλτιστης παύσης. Θεωρούνται οι παρατηρήσεις X_1, X_2, \dots, X_n όπου X_j είναι η σειρά του j εξεταζόμενου στην μέχρι τώρα διάταξη με το 1 να είναι ο βέλτιστος εξεταζόμενος. Από την υπόθεση 4, αυτές οι τυχαίες μεταβλητές είναι ανεξάρτητες και τα X_j έχουν ομοιόμορφη κατανομή από το 1 μέχρι το j . Επομένως, $X_1=1, P(X_2=1)=P(X_2=2)=1/2$ κ.τ.λ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένας εξεταζόμενος πρέπει να γίνει αποδεκτός μόνο αν είναι σχετικά καλύτερος από αυτούς που έχουν ήδη περάσει. Ένας σχετικά καλύτερος (βέλτιστος) εξεταζόμενος ονομάζεται υποψήφιος (candidate), έτσι ο j εξεταζόμενος είναι υποψήφιος αν και μόνο αν $X_j=1$. Αν ο παίκτης δεχτεί έναν υποψήφιο στο στάδιο j η πιθανότητα να νικήσει είναι η ίδια με την πιθανότητα ο βέλτιστος υποψήφιος ανάμεσα

στους πρώτους j εξεταζόμενους να είναι ο συνολικά βέλτιστος εξεταζόμενος, δηλαδή j/n . Επομένως

$$y_j(x_1, \dots, x_j) = \begin{cases} j/n & \text{Αν ο εξεταζόμενος } j \text{ είναι υποψήφιος} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Σημειώνουμε ότι για $y_0=0$ και για $j \geq 1$, το y_j εξαρτάται μόνο από το x_j .

Το βασικό πρόβλημα έχει μια απλή λύση την οποία βρίσκουμε άμεσα. Έστω ότι W_j είναι η πιθανότητα της νίκης χρησιμοποιώντας ένα βέλτιστο κανόνα ανάμεσα στους κανόνες που εγκρίνουν τους πρώτους j εξεταζόμενους. Τότε $W_j \geq W_{j+1}$ καθώς ο κανόνας που εγκρίνει τους πρώτους $j+1$ εξεταζόμενους είναι υποσύνολο του κανόνα που εγκρίνει τους πρώτους j . Είναι βέλτιστο να σταματήσει με τον υποψήφιο στο στάδιο j αν $j/n \geq W_j$. Αυτό σημαίνει ότι αν είναι βέλτιστο να σταματήσει με έναν υποψήφιο στο j τότε είναι βέλτιστο να σταματήσει με έναν υποψήφιο στο $j+1$ στάδιο, καθώς $(j+1)/n > j/n \geq W_j \geq W_{j+1}$. Επομένως, ένας βέλτιστος κανόνας μπορεί να βρεθεί μεταξύ των κανόνων της ακόλουθης μορφής, N_r για κάποια $r \geq 1$:

N_r : απέρριψε τους πρώτους $r-1$ εξεταζόμενους και στη συνέχεια προσέλαβε τον επόμενο σχετικά βέλτιστο εξεταζόμενο (αν υπάρχει).

4.3.2 Παραλλαγές του προβλήματος της γραμματέως

Υπάρχει μια εκτενής βιβλιογραφία που ασχολείται με παραλλαγές του κλασσικού προβλήματος της γραμματέως. Για παράδειγμα μπορεί να υπάρχει μια πιθανότητα q ανάλογα με την οποία ο εξεταζόμενος δεν θα αποδεχτεί την προσφερόμενη θέση, μια παραλλαγή την οποία θα μελετήσουμε στη συνέχεια.

Στους Gilbert και Mosteller (1966), οι εγγενείς τιμές των αντικειμένων αποκαλύπτονται και επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί η πληροφορία στην αναζήτησή του καλύτερου αντικειμένου. Συγκεκριμένα, υπάρχει μια ακολουθία ανεξάρτητων ομοιόμορφα κατανομημένων συνεχών τυχαίων μεταβλητών, X_1, \dots, X_n , που αποκαλύπτονται μια κάθε φορά, και ο παίκτης μπορεί να σταματήσει τη διαδικασία επιλέγοντας τον αριθμό που παρουσιάζεται. Όπως και πριν, το κέρδος είναι μια συνάρτηση της πραγματικής ταξινόμησης/σειράς του αριθμού που επέλεξε. Για το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής, κερδίζετε 1 εάν επιλέξει το μεγαλύτερο X_i και 0 διαφορετικά. Οι Gilbert και Mosteller λύνουν το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής όταν η κατανομή των X_i είναι

πλήρως γνωστή, και δείχνουν ότι η οριακή πιθανότητα (limiting probability) της επιλογής του βέλτιστου συγκλίνει στο $v^* = 0.58016 \dots$ όταν το $n \rightarrow \infty$, το οποίο μπορεί να συγκριθεί με την οριακή τιμή e^{-1} όταν δεν αποκαλύπτονται οι εγγενείς τιμές.

Η πρώτη περιγραφή του προβλήματος της γραμματέως εμφανίστηκε στην επιστημονική αμερικανική στήλη του Martin Gardner το Φεβρουάριο του 1960, ο οποίος περιγράφει μια παιγνιοθεωρητική έκδοση αποκαλούμενη "Googol". Σε αυτό το παιχνίδι, ο παίκτης 1 επιλέγει n αριθμούς X_1, \dots, X_n , τους γράφει σε χαρτάκια και τους τοποθετεί σε ένα καπέλο. Ο παίκτης 2 που δεν γνωρίζει τους αριθμούς, τραβάει έναν κάθε φορά και μπορεί να σταματήσει οποιαδήποτε στιγμή. Σε περίπτωση που ο τελευταίος αριθμός που τραβήξει είναι ο μεγαλύτερος από όλους τους αριθμούς τότε κερδίζει 1.

Προβλήματα όπως το Googol, στο οποίο η κατανομή των X είναι απολύτως άγνωστη, ονομάζονται προβλήματα μηδενικής πληροφορίας. Το κλασικό πρόβλημα της γραμματέως συμπεριλαμβάνεται σε αυτό το σύνολο. Προβλήματα όπως το πρόβλημα των Gilbert και Mosteller, στο οποίο τα X είναι i.i.d. με γνωστή κατανομή, ονομάζονται προβλήματα πλήρους-πληροφορίας. Διάφορες ενδιάμεσες εκδόσεις έχουν προταθεί απεικονίζοντας κάποιο είδος μερικής πληροφορίας για τη κατανομή των X .

Ο Petruccelli (1980) ασχολήθηκε με την κανονική κατανομή με άγνωστο μέσο και έδειξε ότι ο καλύτερος αμετάβλητος κανόνας επιτυγχάνει v^* ως οριακή πιθανότητα της επιλογής του βέλτιστου. Κατά συνέπεια, τίποτα δεν χάνεται ασυμπτωτικά με την μη γνώση του μέσου όρου της κανονικής κατανομής. Από την άλλη μεριά, εάν η κατανομή είναι ομοιόμορφη στο διάστημα (α, β) με τα α, β άγνωστα, οι Stewart (1978) και Samuels (1981) δείχνουν ότι ο minimax κανόνας παύσης βασίζεται μόνο στη σχετική διάταξη, και έτσι δίνει οριακή πιθανότητα e^{-1} , έτσι ώστε η γνώση της κατανομής δεν προσθέτει ασυμπτωτικά κάποιο κέρδος. Οι Campbell και Samuels (1981) εξετάζουν το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής μεταξύ των τελευταίων n αντικειμένων από μια ακολουθία $m+n$ αντικειμένων. Οι πιθανότητες επιτυχίας συγκλίνουν καθώς το $m/(m+n) \rightarrow t$ σε μια ποσότητα $p^*(t)$, όπου $p^*(t)$ αυξάνει από e^{-1} για $t = 0$ (χωρίς πληροφορία) σε v^* για $t = 1$ (πλήρους-πληροφορίας).

Μια άλλη παραλλαγή αφήνει το συνολικό αριθμό αντικειμένων που πρόκειται να εξετασθούν να είναι άγνωστα, παραβιάζοντας την υπόθεση 2 του CSP. Υποτίθεται αντ' αυτού ότι ο αριθμός των αντικειμένων είναι τυχαίος με κάποια γνωστή κατανομή. Αυτά τα προβλήματα εισήχθησαν από τους Presman και Sonin (1972). Οι Abdel-hamid, Bather, και Trustum (1982) εξετάζουν την αποδεκτικότητα των κανόνων παύσης για αυτό το πρόβλημα, και ο J. D. Petruccelli (1983) αναφέρει τις συνθήκες υπό τις οποίες ο

βέλτιστος κανόνας είναι ένας κανόνας κατωφλίου. Ακόμα μια παραλλαγή, που εισήχθη από τον Yang (1974) μας επιτρέπει να επιλέξουμε ένα αντικείμενο το οποίο έχουμε ήδη εξετάσει, κάτι το οποίο καλείται οπίσθια παράκληση. Η πιθανότητα επιτυχίας της οπίσθιας παράκλησης εξαρτάται από το πόσο μακριά στο παρελθόν παρατηρήθηκε το αντικείμενο. Παραδείγματος χάριν, κάποιος μπορεί να επιλέξει οποιοδήποτε από τα τελευταία m αντικείμενα που έχουν παρατηρηθεί, όπως οι Smith και Deely (1975). Αυτό το πρόβλημα έχει επεκταθεί στην περίπτωση της πλήρους πληροφορίας από τον Petrucci (1982).

Το πρόβλημα της γραμματέως με πιθανότητα άρνησης

Στη συγκεκριμένη παραλλαγή, όπως αναφέρθηκε αρχικά από τον Smith, θεωρείται ότι η εξεταζόμενη γραμματέας έχει το δικαίωμα να αρνηθεί την θέση εργασίας που της προσφέρεται. Θεωρείται ότι η εξεταζόμενη δέχεται την θέση με μια γνωστή πιθανότητα p ($0 < p < 1$), ανεξάρτητα από τη σειρά της και την διαθεσιμότητα των άλλων υποψηφίων. Επιπλέον για την ευκολία του σχεδιασμού ως ένα πρόβλημα βέλτιστης παύσης θεωρείται ότι ο εργοδότης θα εξακριβώνει σε κάθε στάδιο την διαθεσιμότητα του υποψηφίου. Αποδεικνύεται ότι ένας κανόνας βέλτιστης παύσης ο οποίος μεγιστοποιεί την πιθανότητα να προσληφθεί η βέλτιστη γραμματέας είναι ο ακόλουθος: ο εργοδότης να παίρνει συνέντευξη από τις πρώτες r^*-1 εξεταζόμενες και στη συνέχεια να προσλαμβάνει την πρώτη διαθέσιμη εξεταζόμενη η οποία είναι καλύτερη από όλες τις προηγούμενες τις, όπου r^* είναι ο μικρότερος ακέραιος r στο διάστημα $\{1, 2, \dots, N-1\}$ ώστε

$$\prod_{k=r}^{N-1} \left(1 + \frac{1-p}{k}\right) \leq \frac{1}{p}$$

και η πιθανότητα να προσλάβει την καλύτερη εξεταζόμενη είναι

$$v_0 = \frac{p}{(1-p)N} \left[(r^* - p) \prod_{k=r^*}^{N-1} \left(1 + \frac{1-p}{k}\right) - r^* + 1 \right]$$

Επιπλέον υπάρχουν τροποποιήσεις της συγκεκριμένης παραλλαγής στις οποίες θεωρείται ότι η πιθανότητα να δεχτεί η εξεταζόμενη τη θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται (Tamaki).

4.3.3 Το πρόβλημα του Parking (Parking problem)

Ορισμός προβλήματος

Στο πρόβλημα αυτό (MacQueen και Miller, 1960), ένας οδηγός κατευθύνεται με το αυτοκίνητο του προς ένα συγκεκριμένο προορισμό και ψάχνει για θέση παρκινγκ. Καθώς οδηγεί μπορεί να παρατηρήσει μόνο μια θέση παρκινγκ κάθε φορά, αυτή που βρίσκεται στα δεξιά του, και να δει αν είναι άδεια ή όχι. Σε περίπτωση που είναι άδεια μπορεί είτε να σταματήσει και να παρκάρει εκεί είτε να συνεχίσει στην επόμενη θέση. Σε περίπτωση που είναι κατειλημμένη θα πρέπει να συνεχίσει να οδηγεί μέχρι την επόμενη θέση. Θεωρείται ότι δεν μπορεί να επιστρέψει σε κάποια κενή θέση που έχει περάσει καθώς και ότι οι κενές θέσεις προκύπτουν ανεξάρτητα ενώ η πιθανότητα να είναι μια θέση κενή είναι p όπου $0 < p < 1$. Αν δεν έχει παρκάρει μέχρι να φτάσει στο προορισμό του τότε θα πρέπει να παρκάρει σε ειδικό χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων και να πληρώσει c . Αν παρκάρει x θέσεις μακριά από τον προορισμό του τότε θεωρείται ότι το κόστος που θα έχει είναι x . Η πιο κοντινή θέση στον προορισμό του είναι μια θέση πριν αυτόν δηλαδή $x=1$. Για ευκολία θεωρείται ότι η θέση $x=0$ υπάρχει και αντιστοιχεί στο γεγονός ότι έχει οδηγήσει μέχρι την τελευταία διαθέσιμη θέση, οπότε η μόνη επιλογή που του μένει είναι να το βάλει στο πάρκινγκ. Επιπλέον θεωρούμε ότι $c > 1$ δηλαδή υπάρχουν θέσεις που είναι καλύτερες από το να το παρκάρει στο πάρκινγκ. Ο στόχος του προβλήματος είναι να ελαχιστοποιήσει το συνολικό αναμενόμενο κόστος παρκαρίσματος.

Έστω ότι η κατάσταση $s=(x,i)$ ορίζεται ως ο αριθμός x των θέσεων που πλησίασε και i είναι η διαθεσιμότητα της θέσης, αν $i=0$ δείχνει ότι η θέση είναι άδεια και αν $i=1$ δείχνει ότι η θέση είναι γεμάτη. Για παράδειγμα αν $s=(3,0)$ τότε ακόμα ψάχνει για θέση, έχει πλησιάσει 3 θέσεις πριν τον προορισμό του και η θέση είναι άδεια. Έστω ότι $a=0$ απεικονίζει την απόφαση του να παρκάρει και $a=1$ την απόφαση του να συνεχίσει να οδηγεί. Αν αποφασίσει να παρκάρει τότε έχει κόστος 3 και η διαδικασία τελειώνει. Σε περίπτωση που η θέση είναι κενή και οι δύο επιλογές είναι διαθέσιμες, αλλά αν είναι γεμάτη η μόνη του επιλογή είναι να συνεχίσει μέχρι την επόμενη θέση.

Εξισώσεις βελτιστότητας

Έστω $f(s)=f(x,i)$ ότι απεικονίζει το ελάχιστο αναμενόμενο κόστος του πάρκινγκ, ξεκινώντας από την κατάσταση s (θέση x με διαθεσιμότητα i). Προχωρώντας αναδρομικά, οι εξισώσεις βελτιστότητας όταν $s=(1,i)$ είναι οι εξής

$$f(1,i) = \begin{cases} \min(1,c) = 1 & \text{αν } i=0 \\ c & \text{αν } i=1 \end{cases}$$

Δηλαδή αν $i=0$, έχει μια επιλογή να παρκάρει τώρα (επιλέγοντας $\alpha=0$), με αποτέλεσμα να έχει κόστος 1 ή να οδηγήσει (επιλέγοντας $\alpha=1$) το οποίο σημαίνει να παρκάρει στο πάρκινγκ με κόστος c . Από τη στιγμή που $c>1$ (από υπόθεση) προτιμάει να παρκάρει στην άδεια θέση. Επίσης ορίζεται μια ακόμα συνάρτηση που διευκολύνει την ανάλυση.

Για $x \geq 0$ ορίζεται
$$F(x) := pf(x,0) + qf(x,1)$$

Όπου $q=1-p$ είναι η πιθανότητα η θέση να είναι κατειλημμένη. Η $F(x)$ είναι το ελάχιστο αναμενόμενο κόστος του πάρκινγκ δεδομένου ότι πλησιάζει την θέση x (και ψάχνει ακόμα για θέση) αλλά δεν έχει δει ακόμα αν είναι διαθέσιμη. Αν η θέση είναι κενή, το οποίο συμβαίνει με πιθανότητα p το βέλτιστο κόστος είναι $f(x,0)$ και αν είναι πιασμένη (πιθανότητα q), το κόστος είναι $f(x,1)$.

Οι εξισώσεις βελτιστότητας όταν $s=(x,i)$ και $x \geq 2$ μπορούν να γραφτούν ως ακολούθως

$$f(x,i) = \begin{cases} \min(x, F(x-1)) & \text{αν } i=0 \\ F(x-1) & \text{αν } i=1 \end{cases}$$

Δηλαδή, ο οδηγός φτάνει στη θέση x και κοιτάει την διαθεσιμότητα της. Αν η θέση είναι κενή τότε μπορεί είτε να παρκάρει και να έχει κόστος x είτε να συνεχίσει να οδηγεί και να έχει το βέλτιστο κόστος για αυτή τη κίνησης δηλαδή $F(x-1)$. Αν $x \leq F(x-1)$ τότε είναι καλύτερο να παρκάρει αλλιώς είναι καλύτερο να συνεχίσει. Αν η θέση είναι κατειλημμένη τότε θα πρέπει να συνεχίσει να οδηγεί μέχρι την επόμενη θέση με κόστος $F(x-1)$.

Ορίζοντας $f(0,i)=c$ για κάθε i , οι εξισώσεις βελτιστότητας εφαρμόζονται για κάθε i και $x \geq 1$.

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει

$$F(x) = p \min(x, F(x-1)) + qF(x-1)$$

το οποίο επιτρέπει την ανάλυση του προβλήματος μόνο με όρους της F (αντί της f), με αποτέλεσμα οι συναρτήσεις βελτιστότητας να εκφράζονται διαφορετικά. Ορίζοντας τη $g(x)=F(x-1)-x$ για $x \geq 1$ και αντικαθιστώντας την $F(x-1)=x+g(x)$ στην ανωτέρα σχέση οι συναρτήσεις βελτιστότητας μπορούν να ξαναγραφτούν ως εξής

$$f(x,i) = \begin{cases} x + \min(0, g(x)) & \text{αν } i=0 \\ x + g(x) & \text{αν } i=1 \end{cases}$$

Εφαρμογή του κριτηρίου βελτιστότητας

Παρατηρώντας ότι ο πρώτος όρος στην ελαχιστοποίηση αντιστοιχεί στο παρκινγκ, το κριτήριο βελτιστότητας δηλώνει ότι αν $\min(0, g(x))=0$ τότε είναι βέλτιστο να παρκάρει στη θέση x αν είναι άδεια. Δηλαδή, αν $g(x) \geq 0$ τότε είναι βέλτιστο να παρκάρει στη θέση x από το να συνεχίσει να οδηγεί, ενώ αν $g(x) < 0$ τότε είναι βέλτιστο να συνεχίσει να οδηγεί. Το $g(x)$ επομένως μπορεί να ερμηνευτεί ως οι ενδεχόμενες αποταμιεύσεις αν ο παίκτης βρει τη θέση x άδεια. (αν $g(x)$ είναι θετική και η θέση είναι άδεια, τότε το να παρκάρει εκεί οδηγεί σε μείωση του αναμενόμενου κόστους κατά ένα ποσό ίσο με $g(x)$). Αν το $g(x)$ είναι αρνητικό τότε δεν υπάρχει αξία στο να βρεί τη θέση x άδεια, είναι βέλτιστο να συνεχίσει να οδηγεί μέχρι την επόμενη θέση ανεξάρτητα από την διαθεσιμότητα της.

Η επιτυχής ανάλυση του στοχαστικού προβλήματος βελτιστοποίησης συνήθως περιλαμβάνει την καθιέρωση ιδιοτήτων της συνάρτησης βέλτιστου κόστους/απολαβής. Σε αυτή την περίπτωση, αν είναι εφικτό να δείχτεί ότι η συνάρτηση g είναι φθίνουσα συνάρτηση, τότε το $g(x)$ θα αυξανόταν καθώς το x , ο αριθμός των θέσεων μακριά από τον προορισμό θα γινόταν πιο μικρός. Επομένως θα υπήρχε ένα σημείο τομής S τέτοιο ώστε $g(x) < 0$ για $x > S$ και $g(x) \geq 0$ για $x \leq S$. Συγκεκριμένα, η βέλτιστη τακτική παρκαρίσματος θα ήταν να μην παρκάρει πουθενά πιο μακριά από το S και να παρκάρει στην κενή θέση που είναι πιο μετά από το S .

Λήμμα 1:

- 1) Η συνάρτηση $F(x)$ είναι φθίνουσα στο x .
- 2) $g(1)=c-1 > 0$ και $g(x) \leq 0$ για όλα τα $x \geq c$
- 3) Η $g(x)$ είναι φθίνουσα στο x .

Λήμμα 2 : Υπάρχει ένα σημείο τομής $S \geq 1$ τέτοιο ώστε είναι βέλτιστο να οδηγήσει μέχρι το σημείο αυτό και στη συνέχεια να παρκάρει στη πρώτη κενή θέση που θα βρεθεί.

Σαφής βέλτιστη λύση

Σε αυτή τη περίπτωση, η βέλτιστη τακτική μπορεί να χαρακτηριστεί από μια μοναδική παράμετρο, S , που είναι το σημείο τομής. Αρχικά καθορίζεται το αναμενόμενο

αποτέλεσμα ως μια συνάρτηση αυτής της παραμέτρου S και στη συνέχεια βελτιστοποιείται στο S . Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός ορίζεται αρχικά το $v(x,S)$ ως το αναμενόμενο κόστος παρκαρίσματος αν πλησιάσει τη θέση x (πριν να δει αν η θέση είναι άδεια ή γεμάτη) ενώ χρησιμοποιείται το σημείο τομής S . Επομένως αναδρομικά προκύπτει η ακόλουθη σχέση

$$v(x,S) = \begin{cases} c & \text{αν } x=0 \\ px + qv(x-1,S) & \text{αν } 1 \leq x \leq S \\ v(S,S) & \text{αν } S < x \end{cases}$$

Δηλαδή για οποιαδήποτε κατάσταση $x > S$, απλά οδηγεί μέχρι να φτάσει στη θέση S όπου στο σημείο αυτό το αναμενόμενο κόστος να ολοκληρώσει τη διαδικασία είναι $v(S,S)$. Ο οδηγός θα παρκάρει σε οποιαδήποτε κενή θέση ανάμεσα στο 1 και στο S . Ωστόσο, το αναμενόμενο κόστος να ολοκληρώσει τη διαδικασία αν πλησιάσει αυτή τη θέση είναι x εάν αυτή είναι κενή ενώ είναι $v(x-1,S)$ αν είναι κατειλημμένη. Τελικά, αν φτάσει στη θέση $x=0$ πρέπει να παρκάρει στο πάρκινγκ.

Επομένως πριν ξεκινήσει να οδηγεί, ξέρει ότι αρχικά θα φτάσει στη θέση S πριν να ξεκινήσει να κοιτά για κενή θέση. Δηλαδή το αναμενόμενο κόστος του θα είναι $v(S,S)$ αν χρησιμοποιήσει το σημείο τομής S . Για το λόγο αυτό περιγράφεται αναλυτικά το $v(S,S)$.

$$\begin{aligned} v(S,S) &= pS + qv(S-1,S) = pS + q[p(S-1) + qv(S-2,S)] = p[S + q(S-1) + q^2v(S-2,S)] = \\ &= \dots = p \sum_{i=0}^j q^i (S-i) + q^j v(S-j,S) = p \sum_{i=0}^S q^i (S-i) + q^S c \end{aligned}$$

για $1 \leq j \leq S$.

Η παραπάνω έκφραση μπορεί να γραφτεί και ως

$$v(S,S) = S - \frac{q(1-q^S)}{p} + q^S c$$

Επομένως προκύπτει μια αναλυτική έκφραση για το $v(S,S)$ η οποία μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ως προς S .

Θεώρημα : Το βέλτιστο σημείο αποκοπής είναι ο μικρότερος ακέραιος S ο οποίος ικανοποιεί τη σχέση

$$q^S \leq \frac{1}{(pc+q)} \Rightarrow S \geq \frac{\ln(pc+q)}{-\ln q}$$

4.3.4 Τροποποιημένο πρόβλημα parking

Στη συνέχεια εξετάζεται μια παραλλαγή της έκδοσης του αρχικού προβλήματος του parking του DeGroot που αναλύθηκε προηγουμένως. Σύμφωνα με το πρόβλημα αυτό, ένας άνθρωπος (αυτό που θα κληθεί να πάρει την απόφαση) οδηγεί ένα αυτοκίνητο κατά μήκος μιας εθνικής οδού προς τον προορισμό του και ψάχνει για θέση στάθμευσης. Όταν βρει μια θέση στάθμευσης μπορεί είτε να σταθμεύσει είτε να συνεχίσει. Οι θέσεις στάθμευσης υποτίθεται ότι εμφανίζονται τυχαία κατά μήκος της εθνικής οδού, δηλ., αυτές αποτελούν μια διαδικασία Poisson. Εάν αυτός που πρέπει να πάρει την απόφαση δεν έχει σταθμεύσει ώσπου να φθάνει στον προορισμό του στην εθνική οδό έπειτα συνεχίζει μέχρι να βρει την πρώτη θέση στάθμευσης και εκεί παρκάρει. Μόλις σταθμεύσει σε κάποια θέση, πρέπει να περπατήσει την απόσταση στον προορισμό του.

Στο αρχικό πρόβλημα του DeGroot (1970) αυτός που πρέπει να πάρει την απόφαση υποτίθεται ότι ήξερε την ακριβή θέση του προορισμού του εντούτοις, είναι φυσικό να μελετηθεί η κατάσταση στην οποία το μήκος του διαστήματος μεταξύ της αφετηρίας και του προορισμού δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων αλλά είναι μια θετική τυχαία μεταβλητή της οποίας η κατανομή πιθανότητας έχει δοθεί. Στη συνέχεια ως απώλεια θεωρείται η απόσταση που ο οδηγός πρέπει να περπατήσει μέχρι τον προορισμό του και βρίσκεται μια πολιτική που ελαχιστοποιεί την αναμενόμενη απώλεια.

Υποτίθεται ότι οι θέσεις στάθμευσης εμφανίζονται σύμφωνα με μια διαδικασία Poisson με ρυθμό έντασης λ . Δηλαδή εάν $N(t)$ είναι ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της αρχικής απόστασης των t μονάδων, τότε ισχύει για κάθε $s, t > 0$

$$\Pr\{N(t+s) - N(s) = n\} = e^{-\lambda t} \cdot \frac{(\lambda t)^n}{n!}, \quad n \geq 0$$

Στη συνέχεια το πρόβλημα εκφράζεται σαν μια μαρκοβιανή διαδικασία απόφασης για την οποία το διάστημα δράσης αποτελείται ουσιαστικά από δύο εναλλακτικές λύσεις: παύση (στάθμευση) και συνέχιση. Όταν η διαδικασία απόφασης ικανοποιεί της συνθήκες της αποκαλούμενης “μονοτονικής περίπτωσης” (Chow, Robbins και Siegmund (1971)) μια καλή συμφωνία (deal) μπορεί να ειπωθεί για τη βέλτιστη πολιτική σταματήματος.

Λήμμα 3. Έστω $\{X_k\}$ μια μαρκοβιανή αλυσίδα με χώρο καταστάσεων S , και η συνάρτηση απωλειών $\phi: S \rightarrow R_+$ είναι μια φραγμένη συνάρτηση. Ορίζεται ως

$G = \{s \in S \mid \phi(s) \leq P\phi(s)\}$ (όπου P είναι ένας συντελεστής που συνδέεται με την συνάρτηση μετάβασης). Αν το G ικανοποιεί τις συνθήκες :

- (i) $P_s(\text{υπάρχει } k \text{ τέτοιο ώστε } X_k \in G) = 1$ για κάθε $s \in S$
- (ii) $P_s(\text{υπάρχει } k \text{ τέτοιο ώστε } X_k \notin G) = 0$ για κάθε $s \in G$

όπου P_s είναι η πιθανότητα που συνδέεται με την αλυσίδα που ξεκινάει με s , τότε $\tau^* = \inf\{k \mid X_k \in G\}$ είναι μια λύση του προβλήματος της βέλτιστης παύσης του $\{X_k\}$ με τη συνάρτηση απώλειας ϕ .

Το G , δηλαδή, μπορεί να ερμηνευθεί ως το σύνολο των καταστάσεων για το οποίο η επιλογή του παίκτη να σταματήσει αμέσως είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο η επιλογή του να συνεχίσει, να κάνει ακριβώς μια παραπάνω μετάβαση και να σταματήσει μετά. Εάν καθοριστεί, Ross (1970), η πολιτική one-stage Look ahead (OLA) ως αυτή που δείχνει ότι ο παίκτης πρέπει να σταματήσει μόλις η κατάσταση εισηχθεί στο G , κατόπιν το ανωτέρω λήμμα δηλώνει ότι η πολιτική OLA είναι βέλτιστη, δεδομένου ότι οι όροι (i), (ii) ικανοποιούνται.

Η προσέγγισή που ακολουθεί είναι ουσιαστικά η εφαρμογή της πολιτικής OLA, που έχει αποδειχθεί εφαρμόσιμη σε διάφορες σημαντικές κατηγορίες προβλημάτων βέλτιστου σταματήματος, όπως φαίνεται στο Ross (1970), Tamaki (1979), Sakaguchi και Tamaki (1980), Bojdecki (1978) και Cowan και Zabczyk (1978).

Στη συνέχεια θεωρείται ως απώλεια η απόσταση που θα πρέπει να περπατήσει ο οδηγός μέχρι τον προορισμό του. Η απόφαση του είτε να παρκάρει είτε να συνεχίσει μπορεί να ληφθεί μόνο στις χρονικές στιγμές της διαδικασίας Poisson. Σημειώνεται ότι όταν ο οδηγός περάσει τον προορισμό του παρκάρει σε όποια θέση συναντήσει πρώτα. Για το σύστημα θεωρείται η στοχαστική διαδικασία X_k , $k \geq 0$ που συνδέεται με αυτές τις "στιγμές" απόφασης. Θέτουμε $X_0 = 0$ και ορίζουμε τα X_k , $k \geq 1$, από

$\{X_k = x\} \Leftrightarrow \{\text{Ο οδηγός έχει διανύσει } x \text{ μονάδες απόστασης και βρίσκεται εκεί την } k\text{-οστή θέση παρκαρίσματος, αλλά δεν έχει περάσει ακόμα τον προορισμό του}\}$,

Και για $x > y$

$\{X_k = [x, y]\} \Leftrightarrow \{\text{Ο οδηγός έχει περάσει τον προορισμό του χωρίς να παρκάρει και παρατηρεί ότι ο προορισμός βρίσκεται σε απόσταση } y \text{ μονάδες μακριά από το σημείο εκκίνησης του και οι } k-1 \text{ θέσεις εμφανίστηκαν προηγουμένως, και βρίσκεται την } k\text{-οστή θέση αφού τελικά έχει διανύσει } x \text{ μονάδες απόστασης}\}$.

Το G_α να είναι ένα σύνολο όλων των καταστάσεων $[x, y]$. Εννοείται ότι εάν η κατάσταση εισαχθεί στο G_α ο οδηγός σταθμεύει γρήγορα όπου βρεί και περπατά πίσω στον προορισμό του.

Υποτίθεται ότι οι θέσεις στάθμευσης εμφανίζονται σύμφωνα με μια διαδικασία Poisson με ρυθμό έντασης λ και ότι η απόσταση από την αρχική θέση στον προορισμό του δεν είναι γνωστή αλλά είναι μια θετική τυχαία μεταβλητή, η οποία συμβολίζεται με Y . Επίσης υποθέτεται ότι ο οδηγός έχει μια εκ των προτέρων συνάρτηση πιθανότητας $F(y)$ στο Y εκ των προτέρων και ότι το Y είναι ανεξάρτητο από κάθε μήκος διαστημάτων μεταξύ των διαδοχικών θέσεων στάθμευσης. Κατόπιν είναι εύκολο να δειχθεί ότι η υπό συνθήκη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας $F(Y | X)$, δεδομένου ότι είναι στην κατάσταση X , δίνεται από

$$F(y|x) = \frac{F(y) - F(x)}{1 - F(x)} = \frac{F(y) - F(x)}{\bar{F}(x)}, \quad y \geq x \quad (0.0)$$

όπου $\bar{F}(y) = 1 - F(y)$. Μπορούμε στη συνέχεια να βρούμε την συνάρτηση μετάβασης του προβλήματος. Δεδομένου ότι τα διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών θέσεων παρκαρίσματος είναι εκθετικά κατανομημένες τυχαίες μεταβλητές με παράμετρο λ για $x \geq 0$ έχουμε

$$p\{x+s|x\} = \lambda e^{-\lambda s} \frac{\bar{F}(x+s)}{\bar{F}(x)}, \quad s \geq 0$$

$$p\{[x+s, y]|x\} = \lambda e^{-\lambda s} \frac{f(y)}{F(x)}, \quad x \leq y \leq x+s, s \geq 0$$

$$p\{[x, y]|[x, y]\} = 1, \quad x \geq y$$

όπου $p\{y|x\} = \Pr\{X_{k+1} = y | X_k = x\}$ και $f(y)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της $F(y)$ (ή Y). Όλες οι άλλες συναρτήσεις πιθανότητας μετάβασης είναι 0.

Ο κανόνας κανονικοποίησης μπορεί να δοθεί από την σχέση

$$\int_0^\infty p\{x+s|x\} ds + \int_0^\infty \int_x^{x+s} p\{[x+s, y]|x\} dy ds \equiv 1$$

Στη συνέχεια εισάγεται η ακόλουθη συνάρτηση:

$$T_F(z) = \int_z^\infty (y-z) dF(y) \quad (0.0)$$

Η συνάρτηση αυτή είναι μη αρνητική, κυρτή και αυστηρά φθίνουσα στο σύνολο όπου είναι θετική και διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στα προβλήματα βέλτιστης παύσης (DeGroot (1970)). Κατόπιν εύκολα φαίνεται ότι η αναμενόμενη απώλεια εάν η στάθμευση πραγματοποιείται στο x δίνεται από τη σχέση

$$V_1(x) = \int_x^{\infty} (y - x) dF(y | x) = \frac{T_F(x)}{F(x)}$$

και εάν το αυτοκίνητο παρκάρει στο $[x, y]$ η απώλεια είναι προφανώς

$$V_1(x, y) = x - y$$

Έστω $V(x)$ είναι η αναμενόμενη απώλεια υπό μια βέλτιστη πολιτική δεδομένου ότι ο οδηγός είναι στο x . Κατόπιν, από την αρχή βελτιστοποίησης λαμβάνεται η εξίσωση

$$V(x) = \min \{V_1(x), PV(x)\}$$

όπου ο συντελεστής P εισάγεται για να αντιπροσωπεύσει

$$PV(x) = \int_0^{\infty} V(x+s) p\{x+s | x\} ds + \int_0^{\infty} \int_x^{x+s} V_1(x+s, y) p\{[x+s, y] | x\} dy ds$$

Έστω

$$G = \{x | V_1(x) \leq PV_1(x)\} \cup G_a$$

είναι το σύνολο καταστάσεων που προέρχονται από την εφαρμογή της πολιτικής OLA, κατόπιν ένας απλός υπολογισμός δίνει

$$PV_1(x) = \int_0^{\infty} \frac{T_F(x+s)}{F(x+s)} \lambda e^{-\lambda s} \frac{\bar{F}(x+s)}{F(x)} ds + \int_0^{\infty} \int_x^{x+s} (x+s-y) \lambda e^{-\lambda s} \frac{f(y)}{F(x)} dy ds =$$

$$V_1(x) + \frac{2}{\lambda} \int_x^{\infty} e^{-\lambda(y-x)} dF(y | x) - \frac{1}{\lambda}$$

ως εκ τούτου, εάν τεθεί

$$g(x) \equiv \int_x^{\infty} e^{-\lambda(y-x)} dF(y | x)$$

Τότε η G μπορεί να ξαναγραφτεί ως

$$G = \{x \mid g(x) \geq 1/2\} \cup G_a$$

σημειώνεται ότι το $g(x)$ είναι η υπό συνθήκη πιθανότητα ότι καμία θέση στάθμευσης δεν έχει εμφανιστεί ώσπου να φθάσει ο οδηγός στον προορισμό του, δεδομένου ότι βρίσκεται στην κατάσταση x .

Το καθορισμένο G , που δίνεται στη παραπάνω σχέση ικανοποιεί προφανώς την συνθήκη (i) του λήμματος 3 εφ' όσον η δεδομένη συνάρτηση $F(y)$ έχει πεπερασμένο μέσο όρο αλλά δεν είναι πάντα αληθές ότι το G ικανοποιεί τη συνθήκη (ii).

Εάν το $g(x)$ είναι μη φθίνουσα στο x έπειτα το G μπορεί να γραφτεί ως $G = \{x \mid x \geq x^*\} \cup G_a$ όπου το x^* μπορεί να είναι ∞ . Από την άλλη μεριά, δεδομένου ότι το x δεν μειώνεται ως διαδικασία προχωρεί, δείχνοντας ότι η συνθήκη (ii) του λήμματος 3 ισχύει είναι ισοδύναμο με το να δειχθεί ότι ισχύει $G = \{x \mid x \geq x^*\} \cup G_a$. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει το ακόλουθο λήμμα.

Λήμμα 4. Εάν το $g(x)$ είναι μη φθίνουσα στο x , κατόπιν το G είναι μια βέλτιστη περιοχή σταματήματος.

4.4 Μοντελοποίηση της προδραστικής διαχείρισης πόρων

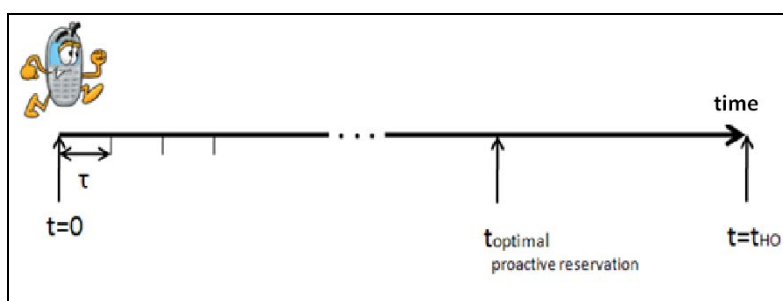
Στην συγκεκριμένη παράγραφο προτείνεται ένα νέο σχήμα προδραστικής διαχείρισης πόρων το οποίο έχει ως σκοπό την μείωση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος των μεταπομπών. Αυτό γίνεται με την προδραστική δέσμευση του εύρους ζώνης που χρειάζεται η εκάστοτε εφαρμογή που τρέχει σε ένα κινητό τερματικό, στην πιο πιθανή “επόμενη” κυψέλη (η οποία προσδιορίζεται από έναν αλγόριθμο πρόβλεψης κίνησης) έτσι ώστε όταν φτάσει η στιγμή της μεταπομπής να μην γίνει διακοπή της σύνδεσης. Ο MT πληρώνει το δίκτυο για αυτήν την υπηρεσία, ούτως ώστε να αντισταθμίσει το ότι αυτοί οι πόροι δε μπορούν να διατεθούν σε άλλο τερματικό για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η προδέσμευση. Το προτεινόμενο σχήμα αποτελείται από ένα σχήμα πρόβλεψης κίνησης και στη συνέχεια ακολουθεί ο προσδιορισμός της βέλτιστης χρονικής στιγμής σταματήματος με βάση τους κανόνες των προηγούμενων παραγράφων και στη συνέχεια ένα σχήμα αποδοχής κλήσεων αν δεν γίνει προδέσμευση.

Στη συνέχεια περιγράφεται πιο αναλυτικά η μοντελοποίηση του προβλήματος. Αφού ένα τερματικό μπει σε μια νέα κυψέλη υπολογίζεται ο ΑΠΚ (αλγόριθμος πρόβλεψης κίνησης) ο οποίος υποδεικνύει την πιο πιθανή επόμενη κυψέλη. Αφού προσδιοριστεί αυτή η κυψέλη, γίνεται αίτηση από το MT προς αυτή για προδέσμευση πόρων. Πλέον το πρόβλημα ανάγεται σε ένα πρόβλημα βέλτιστου σταματήματος. Σύμφωνα με αυτό πρέπει να βρεθεί η βέλτιστη χρονική αποστολής της αίτησης για προδέσμευση πόρων ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος για τον MT, δεδομένης της πιθανότητας να υπάρχει διαθέσιμο φάσμα την συγκεκριμένη στιγμή στο BS της αντίστοιχης κυψέλης.

Το πρόβλημα μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα πρόβλημα παρκαρίσματος. Συγκεκριμένα ως “οδηγός” του αυτοκινήτου στην συγκεκριμένη περίπτωση θα θεωρηθεί ο MT ο οποίος ξεκινάει μια χρονική στιγμή $t=0$ (θεωρείται ότι η μεταβλητή είναι ο χρόνος και όχι η απόσταση) και κινείται προς τον προορισμό του, η οποία θεωρείται ότι είναι η χρονική στιγμή που θα γίνει η μεταπομπή. Ο σκοπός του MT είναι να “παρκάρει” πριν φτάσει στον προορισμό του, δηλαδή να επιτευχθεί η προδέσμευση πόρων πριν τη χρονική στιγμή της μεταπομπής. Όμως για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η προδέσμευση των πόρων, ο MT πληρώνει ένα ανάλογο ποσό στο BS της αντίστοιχης κυψέλης. Επομένως το κόστος του MT είναι τα λεφτά που θα πληρώσει για να δεσμεύσει το απαιτούμενο φάσμα για το χρονικό διάστημα που θα διαρκέσει η προδέσμευση και δίνεται από τον τύπο:

$$L = p \cdot BW_{required} \cdot \Delta t$$

Όπου $\Delta t = t_{HO} - t$ (χρόνος μέχρι την μεταπομπή), t_{HO} η χρονική στιγμή της μεταπομπής, p η τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης ανά sec που πληρώνει ο MT και $BW_{required}$ το απαιτούμενο φάσμα.



Σχήμα 17 Αναπαράσταση προβλήματος "παρκαρίσματος"

για την προδέσμευση εύρους ζώνης

Από την στιγμή που θα γίνει η μεταπομπή και μετά εννοείται ότι δεν υπάρχει ο όρος προδέσμευση και για το λόγο αυτό θεωρείται ότι ο MT δεν μπορεί να “παρκάρει” μετά τη χρονική στιγμή της μεταπομπής (θεωρείται ότι το κόστος του τείνει προς το άπειρο).

Όσον αφορά τις κενές θέσεις “παρκαρίσματος”, αυτές αντιπροσωπεύουν τις χρονικές στιγμές στις οποίες ο BS διαθέτει το απαιτούμενο φάσμα (εύρος ζώνης BW), δηλαδή

$$\begin{cases} BW_{free}(t) - BW_{required}(t) \geq 0 & \leftrightarrow \text{"Κενή θέση παρκαρίσματος"} \\ BW_{free}(t) - BW_{required}(t) < 0 & \leftrightarrow \text{"Μη κενή θέση παρκαρίσματος"} \end{cases}$$

Από την χρονική στιγμή $t=0$ και μετά ο MT ξεκινάει να στέλνει μηνύματα στον BS κατά τ χρονικά διαστήματα που θα βλέπει αν έχει “κενές θέσεις” (φάσμα) ή όχι. Αν βρει διαθέσιμο φάσμα μπορεί είτε να “παρκάρει” (δηλαδή να ζητήσει προδέσμευση πόρων) είτε να συνεχίσει επειδή θεωρεί ότι μπορεί στη συνέχεια να βρει κάποια άλλη “θέση” με μικρότερο κόστος. Επειδή ο χρόνος που θα γίνει η μεταπομπή δεν είναι γνωστός θεωρείται ότι είναι μια τυχαία μεταβλητή t_{HO} που ακολουθεί μια κατανομή Γάμμα (κάτι που είναι λογικό με τη θεώρηση ότι ο χρόνος παραμονής ενός κινητού σε μια κυψέλη ακολουθεί την κατανομή Γάμμα) με συνάρτηση κατανομής πιθανότητας $F(t_{HO})$. Επίσης θεωρείται η παραδοχή ότι καθώς ο MT κινείται, οι “κενές θέσεις παρκαρίσματος” (δηλαδή η διαθεσιμότητα φάσματος στον BS) εμφανίζονται σύμφωνα με την τυχαία κατανομή Poisson με ρυθμό λ . Δηλαδή τα διαστήματα μεταξύ των χρόνων που έχει διαθέσιμο φάσμα ο BS είναι εκθετικά κατανομημένα.

Το πρόβλημα που αναφέρθηκε μπορεί να θεωρηθεί αντίστοιχο με το τροποποιημένο πρόβλημα παρκαρίσματος (Tamaki) που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Συγκεκριμένα ισχύουν οι ίδιες σχέσεις με τη διαφορά ότι η μεταβλητή πλέον είναι ο χρόνος μέχρι τον προορισμό, και όχι η απόσταση. Δηλαδή, οι χρονικές στιγμές που έχει ο BS ελεύθερο φάσμα αποτελούν μια αλυσίδα Markov $\{T_k\}$. Κατόπιν εύκολα φαίνεται ότι η αναμενόμενη απώλεια εάν η στάθμευση πραγματοποιείται τη χρονική στιγμή t , τότε δίνεται από τις σχέσεις:

$$V_1(t) = \int_t^{\infty} p \cdot BW_{required}(t_{HO} - t) dF(t_{HO} | t) = p \cdot BW_{required} \frac{T_F(t)}{F(t)}$$

Όπου
$$T_F(t) = \int_t^{\infty} (t_{HO} - t) dF(t_{HO})$$

Σε περίπτωση που δεν ζητήσει προδέσμευση και εκτελεστεί η μεταπομπή το κόστος είναι πολύ μεγάλο και αναφέρεται ως

$$V_1(t, t_{HO}) = k \cdot p \cdot BW_{required} \cdot (t - t_{HO}) , \text{ κ πολύ μεγάλο.}$$

Έστω $V(t)$ είναι η αναμενόμενη απώλεια υπό μια βέλτιστη πολιτική δεδομένου ότι ο οδηγός είναι στο t . Κατόπιν, από την αρχή βελτιστοποίησης λαμβάνεται η εξίσωση

$$V(t) = \min \{V_1(t), PV(t)\}$$

όπου ο συντελεστής P εισάγεται για να αντιπροσωπεύσει

$$PV(t) = \int_0^{\infty} V(t+s) p\{t+s | t\} ds + \int_0^{\infty} \int_x^{x+s} V_1(t+s, t_{HO}) p\{[t+s, t_{HO}] | t\} dt_{HO} ds$$

Τότε

$$G = \{t | V_1(t) \leq PV_1(t)\}$$

είναι το σύνολο καταστάσεων που προέρχονται από την εφαρμογή της πολιτικής OLA, και ένας απλός υπολογισμός, από τις προηγούμενες σχέσεις δίνει

$$\begin{aligned} PV_1(t) &= \int_0^{\infty} p \cdot BW_{required} \frac{T_F(t+s)}{F(t+s)} \lambda e^{-\lambda s} \frac{\bar{F}(t+s)}{F(t)} ds + \\ &+ \int_0^{\infty} \int_t^{t+s} k \cdot p \cdot BW_{required} (t+s-t_{HO}) \lambda e^{-\lambda s} \frac{f(t_{HO})}{F(x)} dt_{HO} ds = \\ &= V_1(t) + \frac{2}{\lambda} \cdot ((k+1) \cdot p \cdot BW_{required}) \cdot \int_t^{\infty} e^{-\lambda(t_{HO}-t)} dF(t_{HO} | t) - \frac{1}{\lambda} \cdot (p \cdot BW_{required}) \end{aligned}$$

έτσι εάν τεθεί

$$g(t) \equiv \int_x^{\infty} e^{-\lambda(t_{HO}-t)} dF(t_{HO} | t)$$

προκύπτει

$$G = \{t | g(t) \geq 1/(2(k+1))\}$$

Το καθορισμένο G , που δίνεται στην παραπάνω σχέση, ικανοποιεί προφανώς την συνθήκη (i) του λήμματος 3 εφ' όσον η δεδομένη συνάρτηση $F(t_{HO})$ έχει πεπερασμένο μέσο όρο αλλά δεν είναι πάντα αληθές ότι το G ικανοποιεί τη συνθήκη (ii). Στη συνέχεια και σύμφωνα με το λήμμα 4 θα πρέπει το $g(t)$ είναι μη φθίνουσα στο t ώστε το G να είναι μια βέλτιστη περιοχή σταματήματος.

Εάν το $g(t)$ είναι μη φθίνουσα στο t έπειτα το G μπορεί να γραφτεί ως $G = \{t \mid t \geq t^*\}$ όπου το t^* μπορεί να είναι ∞ . Από την άλλη μεριά, δεδομένου ότι το t δεν μειώνεται όσο η διαδικασία προχωρεί, δείχνοντας ότι η συνθήκη (ii) του λήμματος 3 ισχύει είναι ισοδύναμο με το να αποδειχτεί ότι έχουμε το $G = \{t \mid t \geq t^*\}$.

Όπως έχει αναφερθεί η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας του χρόνου που θα γίνει η μεταπομπή θεωρείται η $F(y)$ της κατανομής Γάμμα με

$$F(t_{HO}) = 1 - e^{-\mu t_{HO}} \left[\sum_{j=0}^{n-1} \frac{(\mu t_{HO})^j}{j!} \right] \quad 0 \leq t_{HO} < \infty, n \geq 1$$

Οπότε έχουμε

$$g(t) = \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right)^n \left[\frac{\sum_{j=0}^{n-1} ((\lambda + \mu)t)^j}{j!} \right] / \left[\frac{\sum_{j=0}^{n-1} (\mu t)^j}{j!} \right]$$

Η $g(t)$ μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι μη-φθίνουσα από το γεγονός ότι αν τεθεί

$$u(t) = \sum_{j=0}^n a_j t^j, \quad v(t) = \sum_{j=0}^n b_j t^j \quad \text{τότε η } u(t)/v(t) \text{ είναι μη-φθίνουσα στο διάστημα } (0, \infty) \text{ στο}$$

βαθμό που $a_j, b_j \geq 0$ και το a_j/b_j είναι μη-φθίνουσα στο j . Αφού $g(0) = (\mu/(\lambda + \mu))^n$ και $g(\infty) = (\mu/(\lambda + \mu))$, το t^* είναι η μοναδική θετική λύση της εξίσωσης $g(t) = 1/(2(k+1))$ εάν $(\mu/(\lambda + \mu))^n \leq 1/(2(k+1)) \leq (\mu/(\lambda + \mu))$, διαφορετικά $t^* = 0$ ή ∞ αν $1/(2(k+1)) \leq (\mu/(\lambda + \mu))^n$ ή $(\mu/(\lambda + \mu)) \leq 1/(2(k+1))$.

Επομένως με το που μπει το MT στην κατάσταση G θα πρέπει να σταματήσει και να ζητήσει προδέσμευση. Αυτή θα είναι η βέλτιστη πολιτική.

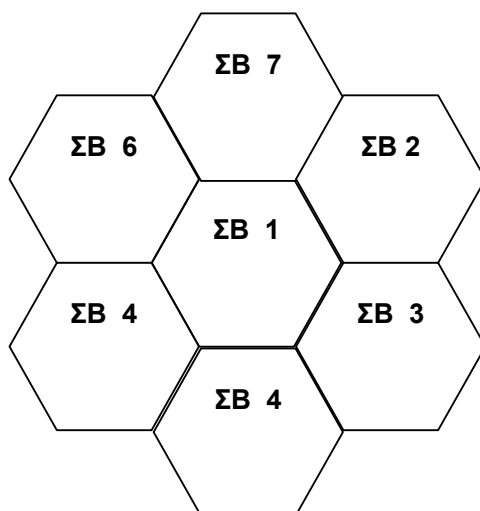
Αναφέρεται ότι αν ο MT δεν έχει “παρκάρει” (δεν έχει ζητήσει προδέσμευση) και γίνει η μεταπομπή τότε το μόνο που μπορεί να γίνει είναι ο αλγόριθμος αποδοχής κλήσεων να αποφασίσει αν θα αποδεχτεί αυτός ο BS την κλήση ή όχι.

4.5 Προσομοιώσεις και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα από μια σειρά προσομοιώσεων που έγιναν προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η αποδοτικότητα του προτεινόμενου σχήματος. Επιπλέον, εκτελέστηκαν μια σειρά προσομοιώσεων προκειμένου να συγκριθεί το προτεινόμενο σχήμα α) με ένα σχήμα προδραστικής διαχείρισης πόρων στο οποίο το κινητό τερματικό δεσμεύει το απαραίτητο εύρος ζώνης από την στιγμή που εισέρχεται στην αρχική κυψέλη και β) με ένα σχήμα το οποίο δεν χρησιμοποιεί προδραστική διαχείριση πόρων.

Μοντέλο προσομοίωσης

Στο μοντέλο της προσομοίωσης θεωρούμε ότι υπάρχουν 7 σταθμοί βάσης (ΣΒ), όπως απεικονίζεται και στο ακόλουθο σχήμα. Κάθε κυψέλη θεωρείται ότι είναι γειτονική με κάποια άλλη μόνο αν συνορεύουν μεταξύ τους, δηλαδή η κυψέλη 1 είναι γειτονική με όλες τις άλλες κυψέλες ενώ π.χ. η κυψέλη 3 συνορεύει μόνο με την κυψέλη 1, 2 και 4.



Σχήμα 18 Διάταξη κυψελών

Θεωρούμε ότι το κινητό μπορεί να προβλέψει την επόμενη κυψέλη στην οποία θα πάει από τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης που ακολουθεί. Συγκεκριμένα, κάθε γραμμή του πίνακα A αναφέρεται στην αντίστοιχη κυψέλη προέλευσης και κάθε στήλη στην αντίστοιχη κυψέλη προορισμού, δηλαδή το στοιχείο A_{23} εκφράζει την πιθανότητα με την οποία το κινητό τερματικό θα κινηθεί από την κυψέλη 2 στην κυψέλη 3. Όπως είναι αναμενόμενο η πιθανότητα μετάβασης θα πρέπει να είναι μηδενική σε περίπτωση που οι κυψέλες δεν είναι γειτονικές και επιπλέον το άθροισμα κάθε γραμμής του πίνακα θα πρέπει να είναι ίσο με 1. Στην προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, θεωρείται ότι το

κινητό τερματικό αναγνωρίζει ως επόμενη κυψέλη την κυψέλη η οποία έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα μετάβασης.

$$A = \begin{bmatrix} 1/7 & 3/7 & 1/7 & 0.5/7 & 0.5/7 & 0.5/7 & 0.5/7 \\ 2/7 & 0 & 3/7 & 0 & 0 & 0 & 2/7 \\ 1/7 & 2/7 & 0 & 4/7 & 0 & 0 & 0 \\ 2/7 & 0 & 2/7 & 0 & 3/7 & 0 & 0 \\ 1/7 & 0 & 0 & 2/7 & 0 & 4/7 & 0 \\ 2/7 & 0 & 0 & 0 & 2/7 & 0 & 3/7 \\ 3/7 & 2/7 & 0 & 0 & 0 & 2/7 & 0 \end{bmatrix}$$

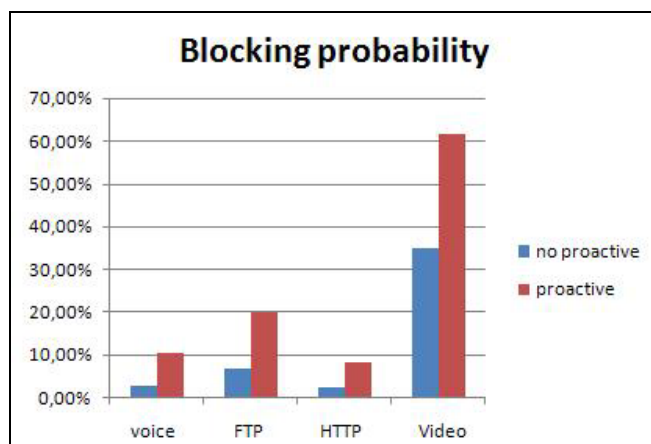
Όσον αφορά τις εφαρμογές τις οποίες μπορεί να τρέχει ο κάθε χρήστης θεωρείται ένα σύνολο εφαρμογών οι οποίες αντιστοιχούν σε εφαρμογές κλήσεων φωνής, εφαρμογές ftp, εφαρμογές http και εφαρμογές βίντεο. Πιο συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά κάθε εφαρμογής δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Εφαρμογές	Απαιτούμενο εύρος ζώνης(kb/s)	Διάρκεια (s)	Ρυθμός άφιξης(unit/h)
Κλήσεις φωνής	64	120	4
FTP	128	300	2
HTTP	64	6	40
Βίντεο	512	320	1

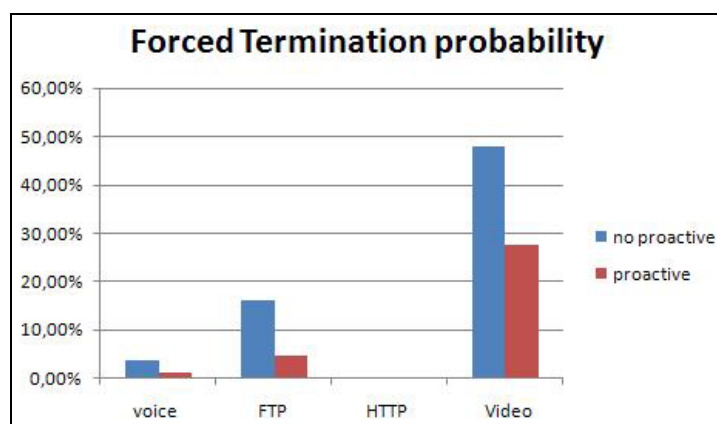
Θεωρείται ότι ο κάθε χρήστης μπορεί να τρέχει μια μόνο εφαρμογή την οποία επιλέγει τυχαία κάθε φορά. Η διάρκεια μιας εφαρμογής ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση διάρκεια την αντίστοιχη τιμή του πίνακα, ενώ αντίστοιχα οι αφίξεις των εφαρμογών ακολουθούν κατανομή Poisson. Επιπλέον, θεωρείται ότι η διάρκεια παραμονής του χρήστη μέσα σε μια κυψέλη ακολουθεί κατανομή γάμμα με μέση τιμή 100s. Όσον αφορά τη χωρητικότητα του δικτύου θεωρούμε ότι κάθε σταθμός έχει χωρητικότητα 2000 μονάδες.

Αποτελέσματα προσομοιώσεων σχετικά με τις πιθανότητες blocking και dropping

Αρχικά παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την πιθανότητα αποκλεισμού μιας νέας κλήσης (blocking probability) καθώς και την πιθανότητα τερματισμού μιας ήδη υπάρχουσας κλήσης (dropping probability) για κάθε μια από τις υπάρχουσες εφαρμογές. Θεωρείται ότι συνολικά υπάρχουν στο δίκτυο 700 χρήστες οι οποίοι αρχικά ισοκατανέμονται στις κυψέλες.



Σχήμα 19 Blocking πιθανότητα προδραστικού και μη προδραστικού μοντέλου

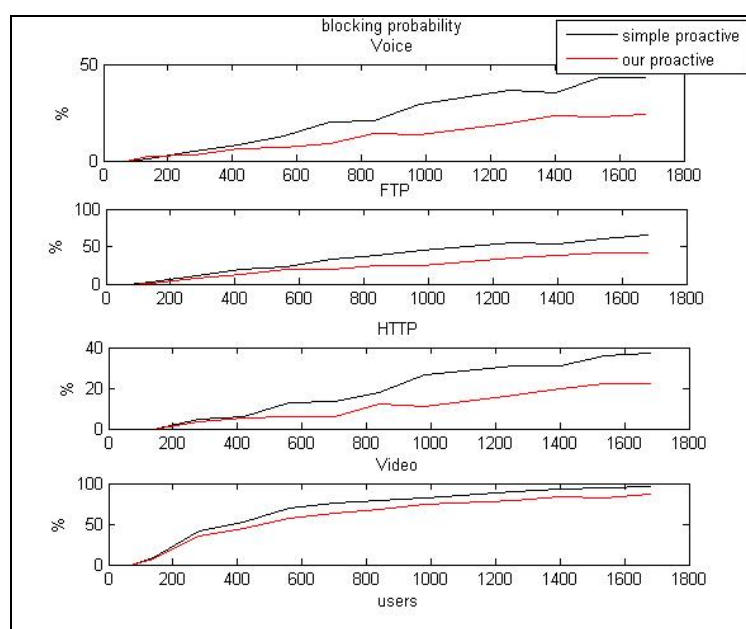


Σχήμα 20 Dropping πιθανότητα προδραστικού και μη προδραστικού μοντέλου

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα, η πιθανότητα μπλοκαρίσματος για το προδραστικό σχήμα είναι μεγαλύτερη από ότι για το μη προδραστικό, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς το διαθέσιμο φάσμα για νέες κλήσεις μειώνεται λόγω της

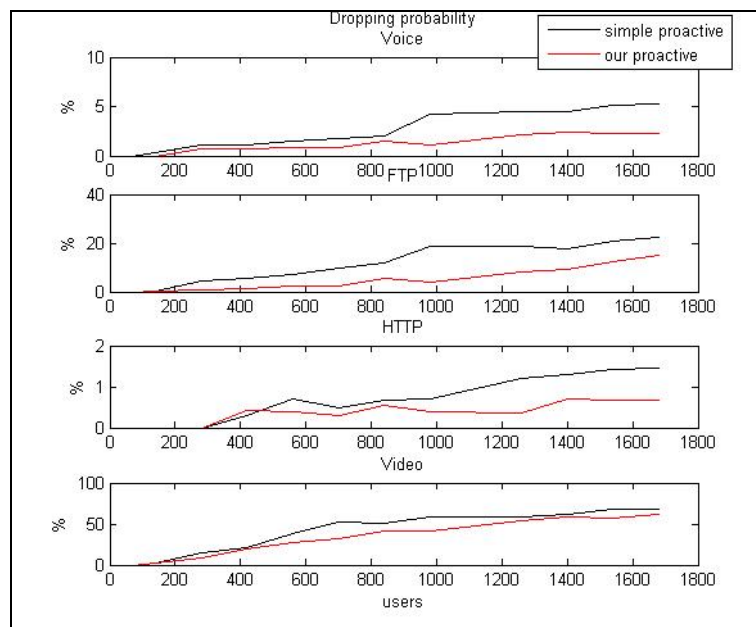
προδέσμευσης του εύρους ζώνης. Αντίθετα, η πιθανότητα να διακοπούν κλήσεις λόγω μεταπομπής μειώνεται, αποδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο ότι το προτεινόμενο μοντέλο επιτυγχάνει το σκοπό του.

Συγκρίνοντας το προτεινόμενο μοντέλο με το απλό προδραστικό μοντέλο που περιγράφηκε προηγουμένως, παρατηρήθηκε ότι για μικρούς πληθυσμούς χρηστών το απλό προδραστικό σχήμα δίνει καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τις προαναφερόμενες πιθανότητες. Από έναν αριθμό χρηστών όμως και πάνω το προτεινόμενο μοντέλο έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από το απλό μοντέλο όπως απεικονίζεται και στα ακόλουθα διαγράμματα.



Σχήμα 21 Διαγράμμα blocking πιθανότητας ως προς τους χρήστες για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο

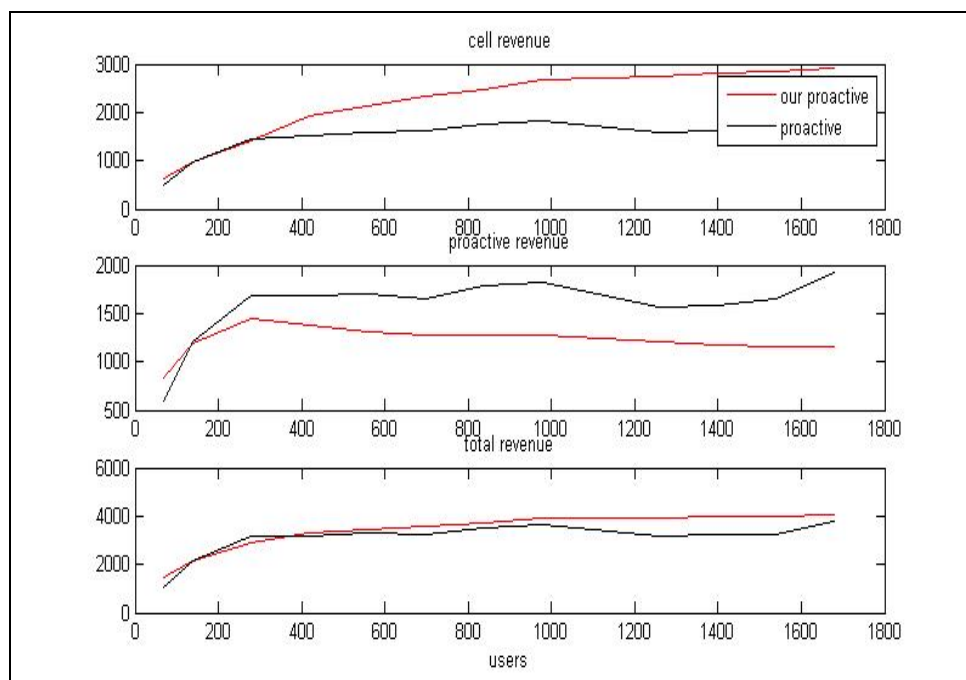
Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν ληφθεί υπόψη ότι για μικρούς πληθυσμούς χρηστών δεν υπάρχει φόρτος στο δίκτυο με αποτέλεσμα η «άσκοπη» προδέσμευση φάσματος που κάνει το κινητό στο απλό μοντέλο να μην επηρεάζει τόσο το σύστημα καθώς δεν παύει να υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης για τις νέες κλήσεις. Σε περίπτωση όμως που το δίκτυο είναι φορτωμένο η άσκοπη αυτή προδέσμευση επηρεάζει σημαντικά το δίκτυο αυξάνοντας τόσο την πιθανότητα αποκλεισμού νέας κλήσης όσο και την πιθανότητα τερματισμού της λόγω μεταπομπής.



Σχήμα 22 Διάγραμμα dropping πιθανότητας ως προς τους χρήστες για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο

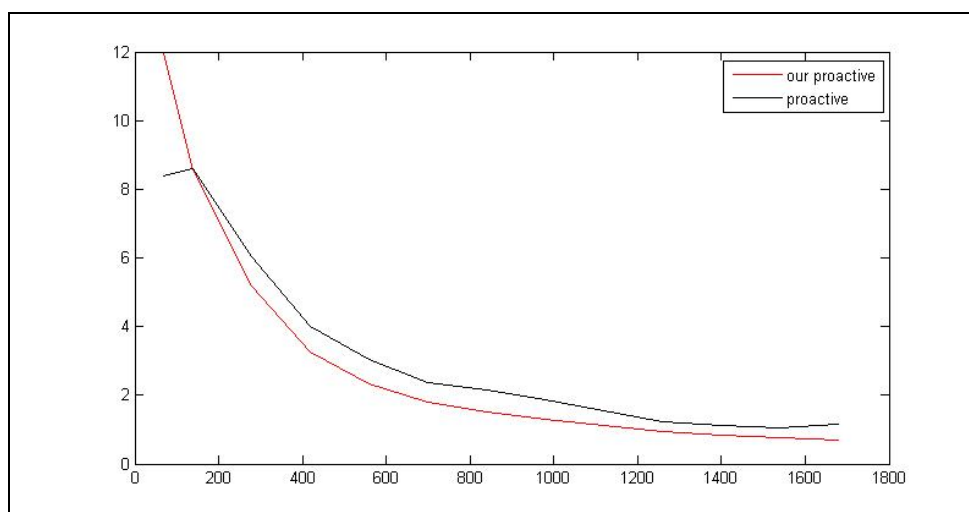
Αποτελέσματα προσομοιώσεων σχετικά με τα έσοδα του δικτύου και το κόστος του χρήστη

Στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε έχει θεωρηθεί ότι οι χρήστες που επιθυμούν να προδεσμεύσουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης πρέπει να πληρώσουν μια τιμή στο δίκτυο μεγαλύτερη από ότι είναι η τιμή που θα πρέπει να δώσει ένας χρήστης που είναι ήδη μέσα στην κυψέλη. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι η τιμή για κάποιον χρήστη που είναι μέσα στην κυψέλη είναι $p_{cell}=0,0001\text{€}$ ($/BW_{unit} \cdot Dt$) ενώ για κάποιον χρήστη που θέλει να προδεσμεύσει εύρος ζώνης είναι $p_{proactive}=0,00015\text{€}$ ($/BW_{unit} \cdot Dt$). Επομένως, μια άλλη παράμετρος που είναι σημαντικό να μελετηθεί είναι τα έσοδα που αποκτά το δίκτυο σε κάθε περίπτωση. Αρχικά συγκρίνεται το προτεινόμενο μοντέλο με το απλό προδραστικό μοντέλο και τα αποτελέσματα της σύγκρισης απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



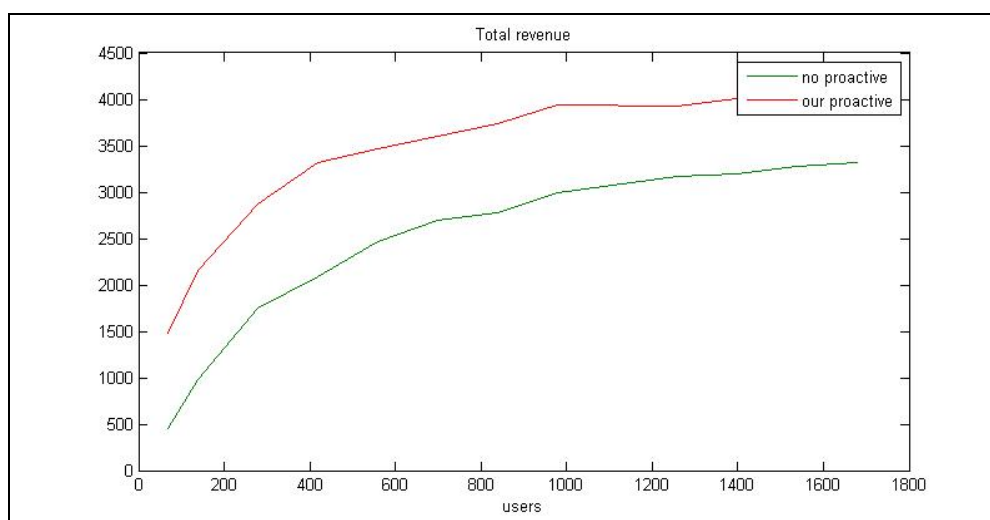
Σχήμα 23 Έσοδα του δικτύου για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα τα συνολικά έσοδα του δικτύου είναι σχεδόν τα ίδια μέχρι ένα μέγεθος του πληθυσμού των χρηστών όμως για περισσότερους χρήστες το προτεινόμενο μοντέλο έχει μεγαλύτερα έσοδα δικτύου. Συγκεκριμένα όσον αφορά τα έσοδα από χρήστες που είναι ήδη μέσα στην κυψέλη είναι μεγαλύτερα για το προτεινόμενο μοντέλο λόγω του ότι το ποσοστό των κλήσεων που μπλοκάρονται είναι μικρότερο από ότι στο απλό σχήμα. Όσον αφορά όμως τα έσοδα λόγω προδέσμευσης, όπως ήταν αναμενόμενο, είναι μεγαλύτερα για το απλό προδραστικό σχήμα καθώς τα κινητά τερματικά δεσμεύουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι στο προτεινόμενο μοντέλο. Αυτό όμως οδηγεί ουσιαστικά σε μεγαλύτερο κόστος ανά χρήστη (λόγω proactive) στο απλό μοντέλο, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό.



Σχήμα 24 Κόστος ανα χρήστη για το απλό προδραστικό μοντέλο και το προτεινόμενο μοντέλο

Τέλος συγκρίνεται το προτεινόμενο μοντέλο με το μη προδραστικό μοντέλο όσον αφορά τα έσοδα του δικτύου. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, τα έσοδα στο προδραστικό μοντέλο είναι μεγαλύτερα, κάτι το οποίο σημαίνει ότι τα έσοδα που κερδίζει το δίκτυο από την προδέσμευση φάσματος είναι μεγαλύτερα απ'ότι αυτά που χάνει λόγω της αυξημένης πιθανότητας μπλοκαρίσματος.



Σχήμα 25 Έσοδα του δικτύου για το προδραστικό και το μη προδραστικό μοντέλο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έκρηξη που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στα ασύρματα κινητά δίκτυα και η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, προηγμένες υπηρεσίες δεδομένων και γενικότερα εγγυήσεις στην ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) οδήγησαν στην αναγκαιότητα δημιουργίας αποδοτικότερων σχημάτων διαχείρισης πόρων των δικτύων.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε αρχικά η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων και έγινε αναλυτική παρουσίαση των διάφορων μεθόδων διαχείρισης των ραδιο-πόρων τους (RRM). Όπως αναφέρθηκε, σκοπός των μεθόδων αυτών είναι να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ποιότητα σύνδεσης για κάθε υπηρεσία, την χαμηλή πιθανότητα μπλοκαρίσματος και να βελτιστοποιήσει την απόδοση του δικτύου. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν οι εξής μέθοδοι RRM: 1) η αποδοχή κλήσεων η οποία χειρίζεται την εισερχόμενη κίνηση (είτε λόγω μεταπομπής είτε λόγω μιας νέας σύνδεσης), δηλαδή αποφασίζει αν μια σύνδεση θα γίνει αποδεκτή ή όχι, 2) ο έλεγχος φορτίου και συμφόρησης, 3) ο προγραμματισμός πακέτων ο οποίος χειρίζεται την κίνηση των πακέτων μη πραγματικού χρόνου και αποφασίζει πότε θα γίνει η αρχικοποίηση μιας μετάδοσης πακέτων και ποιος θα είναι ο ρυθμός που θα χρησιμοποιηθεί, 4) ο έλεγχος μεταπομπών που ελέγχει τις μεταπομπές με σκοπό να μειώσει την διακοπή που μπορεί να προκληθεί από αυτές και τέλος 5) ο έλεγχος ισχύος που έχει σκοπό να διατηρήσει την ποιότητα της σύνδεσης και σύμφωνα με τον οποίο ελαχιστοποιείται η εκπεμπόμενη ισχύς έτσι ώστε να μειωθούν οι παρεμβολές.

Ένας σημαντικός παράγοντας που έχει επιπτώσεις στη διαχείριση των πόρων στα κινητά περιβάλλοντα είναι η αστάθεια του ίδιου του περιβάλλοντος, η οποία είναι μια άμεση συνέπεια της κινητικότητας του χρήστη και μια συνάρτηση της θέσης του. Ο προσδιορισμός της θέσης και ακόμα περισσότερο η πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του κινητού τερματικού αποτελεί μια πολύ σημαντική προϋπόθεση για την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων. Για το λόγο αυτό στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάστηκαν ένα σύνολο μηχανισμών εκτίμησης και πρόβλεψης θέσης που έχουν παρουσιάσει μεγάλη εξέλιξη τελευταία. Συγκεκριμένα περιγράφηκαν τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης αλλά δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στα επίγεια συστήματα και κυρίως στον εντοπισμό θέσης σε GSM και WLAN συστήματα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν δίκτυα αισθητήρων ή κάποιες βασικές τεχνικές από τη γεωμετρία όπως

η τριγωνοποίηση και η τριμεροποίηση καθώς και χρόνους μετάδοσης και μετρήσεις ισχύος για τον υπολογισμό των αποστάσεων που χρειάζονται. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν κάποιες μέθοδοι που έχουν προταθεί μέχρι τώρα για την εκτίμηση και την πρόβλεψη της θέσης του κινητού τερματικού και οι αντίστοιχες αποδόσεις τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάστηκαν ένα σύνολο σχημάτων που αφορούν ζητήματα διαχείρισης πόρων σε ασύρματα κινητά δίκτυα με γνώση της θέσης, δηλαδή σχήματα που εκμεταλλεύονται αυτή την αστάθεια των κινητών συστημάτων και προσπαθούν, μέσω των αλγορίθμων εκτίμησης και πρόβλεψης κίνησης, να πετύχουν αποδοτική διαχείριση των πόρων των δικτύων. Όπως αναφέρθηκε οι μέθοδοι αυτοί είναι μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες που είναι οι αντιδραστικές μέθοδοι (ή βραχυπρόθεσμες, SRM) οι οποίες αποτελούν άμεση αντίδραση στην αποτίμηση των τρεχόντων συνθηκών του δικτύου, δηλαδή μόλις γίνει μια αλλαγή στο δίκτυο το δίκτυο αντιδρά για να την αντιμετωπίσει, ενώ οι προδραστικές μέθοδοι (ή μακροπρόθεσμες LRM) λαμβάνουν υπόψη την κίνηση του τερματικού και αφού γίνει πρόβλεψη της μελλοντικής θέσης του γίνεται προκαταβολική δέσμευση πόρων στο δίκτυο έτσι ώστε όταν είναι απαραίτητο να είναι εξασφαλισμένες. Δόθηκε έμφαση στα σχήματα της προδραστικής διαχείρισης πόρων σύμφωνα με τα οποία διατηρείται η απόδοση του συστήματος προ-σχεδιάζοντας κατανομές πόρων κατάλληλες για τις αλλαγές που γίνονται. Το πλεονέκτημα αυτού του σχήματος διαχείρισης πόρων είναι η ικανότητα να παρέχει γρήγορα εγγυημένο QoS στο δίκτυο, έπειτα από κάποια αλλαγή στο σύστημα. Όμως επειδή δεν μπορεί να προβλεφτεί κάθε ενδεχόμενη αλλαγή, απαιτείται και κάποιο σχήμα αντιδραστικής διαχείρισης πόρων και συνεπώς η καλύτερη λύση είναι η συνύπαρξη και των δυο σχημάτων μέσα στο σύστημα για καλύτερα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν κάποια παραδείγματα των μεθόδων αυτών και αναλύθηκαν οι τεχνικές που έχουν προταθεί μέχρι τώρα καθώς και οι αποδόσεις που έχουν, με έμφαση στην προδραστική δέσμευση πόρων. Κάποια από τα σχήματα αυτά χρησιμοποιούν τα “shadow clusters”, ενώ άλλα χρησιμοποιούν την θεωρία παιγνίων για να μοντελοποιήσουν την προδέσμευση των πόρων. Τα πιο πολλά βασίζονται στη διαδικασία της μεταπομπής και ο στόχος τους είναι η μείωση της πιθανότητας μπλοκαρίσματος των μεταπομπών στα κινητά δίκτυα μέσω της πρόβλεψης της πιθανότερης μελλοντικής κυψέλης και την προδέσμευση του απαιτούμενου εύρους ζώνης. Όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων οι

περισσότερες από αυτές έχουν αρκετά καλά αποτελέσματα και επιτυγχάνουν μείωση της πιθανότητας αποκλεισμού και ανεπιθύμητου τερματισμού κλήσεων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια να μοντελοποιηθεί ένα καινούργιο προδραστικό σχήμα προδέσμευσης πόρων δικτύου που προτείνεται σε αυτή την εργασία με σκοπό να μειώνεται η πιθανότητα του τερματισμού των κλήσεων κατά την διαδικασία των μεταπομπών. Στο σχήμα αυτό χρησιμοποιείται η θεωρία βέλτιστου σταματήματος και πιο συγκεκριμένα μια τροποποιημένη μορφή του προβλήματος του παρκαρίσματος. Αρχικά παρουσιάζεται η θεωρία βέλτιστου σταματήματος γενικά και κάποια παραδείγματα και στη συνέχεια δίνεται έμφαση σε ένα σημαντικό πρόβλημα, το πρόβλημα της επιλογής της καλύτερης γραμματέως και των παραλλαγών του καθώς και στο πρόβλημα του πάρκινγκ που είναι και αυτό που χρησιμοποιήθηκε. Σύμφωνα με αυτό ο MT καλείται να πάρει την απόφαση για το πότε θα πρέπει να “παρκάρει”, δηλαδή να κάνει την προδέσμευση πόρων στον BS με σκοπό να ελαχιστοποιήσει το κόστος του. Ο MT πληρώνει το δίκτυο για αυτήν την υπηρεσία, ούτως ώστε να αντισταθμίσει το ότι αυτοί οι πόροι δε μπορούν να διατεθούν σε άλλο τερματικό για το χρονικό διάστημα που διαρκεί η προδέσμευση. Το προτεινόμενο σχήμα αποτελείται από έναν αλγόριθμο πρόβλεψης κίνησης και στη συνέχεια έναν αλγόριθμο προσδιορισμού της βέλτιστης χρονικής στιγμής στην οποία πρέπει να γίνει προδέσμευση των πόρων σύμφωνα με τους κανόνες της βέλτιστης παύσης. Οι άδειες θέσεις αντιπροσωπεύουν την διαθεσιμότητα σε φάσμα του BS και ο προορισμός είναι η χρονική στιγμή της μεταπομπής μέχρι την οποία θα πρέπει να έχει παρκάρει. Έτσι λοιπόν υπολογίζεται ποια θα είναι η βέλτιστη χρονική στιγμή να γίνει προδέσμευση ώστε να έχει ο MT το ελάχιστο κόστος. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων από τα οποία φαίνεται ότι το προτεινόμενο σχήμα όντως μειώνει την πιθανότητα διακοπής μιας κλήσης λόγω μεταπομπής, αυξάνοντας όμως την πιθανότητα μπλοκαρίσματος νέων κλήσεων. Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα συνολικά έσοδα του δικτύου στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι μεγαλύτερα από ότι για το μη προδραστικό μοντέλο ή για το απλό προδραστικό μοντέλο που προαναφέρθηκε ενώ παράλληλα το κόστος ανα χρήστη (λόγω της προδέσμευσης) είναι μικρότερο. Επομένως, το σχήμα που προτάθηκε επιτυγχάνει το στόχο του να μειώσει τη dropping πιθανότητα, επιφέροντας ταυτόχρονα κέρδη στο δίκτυο.

Μια σημαντική μελλοντική έρευνα που αξίζει να γίνει είναι η τροποποίηση του αλγορίθμου προσδιορισμού της βέλτιστης χρονικής στιγμής για τη προδέσμευση εύρους ζώνης έτσι ώστε να βασίζεται στο μοντέλο της γραμματέως και όχι στο μοντέλο του

πάρκινγκ. Συγκεκριμένα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η επέκταση του προβλήματος της γραμματέως με την δυνατότητα της απόρριψης από την γραμματέα όταν επιλεχτεί. Η αντιστοιχία αυτή τη φορά θα ήταν ότι ο MT θα έπρεπε να επιλέξει τη βέλτιστη χρονική στιγμή που να ελαχιστοποιείται το κόστος του δεδομένου ότι η γραμματέας, δηλαδή ο BS τη χρονική στιγμή που θα το κάνει θα μπορεί να το αρνηθεί (π.χ. λόγω του ότι δεν έχει το απαραίτητο διαθέσιμο φάσμα). Επίσης θα μπορούσε να γίνει επιπλέον έρευνα για την μοντελοποίηση του προβλήματος με άλλα σχήματα από την θεωρία παιγνίων.

Τέλος αξίζει να γίνει προσαρμογή των αναφερόμενων αλγορίθμων σε άλλους πόρους εκτός του εύρους ζώνης όπως αποθήκευση κλπ. Ο σκοπός θα είναι η ανάπτυξη ενός ενιαίου πλαισίου διαχείρισης πόρων στο μέλλον.

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Αλγόριθμος Πρόβλεψης Κίνησης	Motion Prediction Algorithm
Αντιδραστική	Reactive
Αποθήκευση	Storage
Αυτόματο Χρήστη	Per-User Automaton
Αυτοπαλινδρομική Τεχνική Φιλτραρίσματος Πρώτης Τάξεως	First-order Auto-regressive Filtering Technique
Βραχυπρόθεσμη Διαχείριση Πόρων	Short-term Resource Management
Βέλτιστη Παύση/Σταμάτημα	Optimal Stopping
Γραμμικό Σχήμα Ανταμοιβής – Ποινής	Linear Reward-Penalty
Γωνία Άφιξης	Angle Of Arrival
“Δακτυλικό Αποτύπωμα” θέσης	Location Fingerprinting
Διαχείριση Κινητικότητας Υποβοηθούμενη από τη Θέση	Location-aided Mobility Management
Διαχείριση Πόρων με Γνώση της Θέσης	Location Aware Resource Management
Διαχείριση Ραδιο-Πόρων	Radio Resource Management
Δρομολόγηση	Routing
Εγκάρσια Διάσχιση	Traversing
Εκτίμηση Θέσης	Location Estimation
Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων	Call Admission Control
Έλεγχος Ισχύος	Power Control
Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου	Outer Loop Power Control
Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου	Closed Loop Power Control
Έλεγχος Μεταπομπών	Handover Control
Έλεγχος Συμφόρησης	Congestion Control
Έλεγχος Φορτίου	Load Control
Έμμεσος Προσδιορισμός Θέσης Βασισμένος στο Δίκτυο	Network-based Implicit Position Determination
Εξεταζόμενος	Applicant
Εξυπηρετητής Γεωγραφικής Πληροφορίας του Κινητού Δικτύου	Mobile Network Geographic Information Server
Επεξεργασία	Processing

Εύρος Ζώνης	Bandwidth
Καθολικό Αυτόματο	Global Automaton
Καθολικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης	Global Positioning System
Κανάλι Ασφαλείας	Guard Channel
Κλασικό Πρόβλημα Γραμματέως	Classical Secretary Problem
Κυψέλη Προέλευσης	Cell Of Origin
Λεπτομερειακός	Fine-grained
Μαθησιακό Αυτόματο	Learning Automaton
Μακροπρόθεσμη Διαχείριση Πόρων	Long-term Resource Management
Μέθοδοι που Βασίζονται σε Λειτουργίες Σύνδεσης	Connection Based Functions
Μέθοδοι που Βασίζονται σε Λειτουργίες του Δικτύου	Network Based Functions
Μεταπομπή/Διαπομπή	Handover/Handoff
Μεταπομπή Ελαφρά	Soft Handover
Μεταπομπή Ενδοκυψελική	Inter-frequency Handover
Μεταπομπή Ενδοσυστημική	Intra-system Handover
Μεταπομπή Σκληρή	Hard Handover
Μεταπομπή Συστήματος	Inter-system Handover
Μεταπομπή Υποβοηθούμενη από τη Θέση	Location-aided Handover
Μεταπομπή “Ευαίσθητη” στη Θέση	Location-sensitive Handoff
Μετρήσεις Ισχύος Λαμβανόμενου Σήματος	Received Signal Strength Indication Measurements
Μέτρηση Ισχύος Σήματος	Signal Strength Measurement
Μητρώο	Registry
Μηχανή Εντοπισμού Ekahau	Ekahau Positioning Engine
Οπισθοδρομική Επαγωγή	Backward Induction
Πιθανή Ομάδα Κυψελών	Most Likely Cluster
Πιθανότητα Ανεπιθύμητου Τερματισμού	Dropping Probability
Πιθανότητα Αποκλεισμού	Blocking Probabilities
Πλαίσιο Διαχείρισης Πόρων	Resource Management Component
Πρόβλημα Παρκαρίσματος	Parking Problem

Πρόβλημα Παύσης/Σταματήματος	Stopping Problem
Προγραμματισμός Πακέτων	Packet Scheduler
Προδραστικός	Proactive
Πρόταση Ανακατανομής	Relocation Proposal
Ρυθμό Σφαλμάτων Bit	Bit Error Rate
Ρυθμοαπόδοση	Throughput
Σήμα Αναφοράς Θέσης	Beacon
Σηματοδοσία	Signaling
Σημεία Πρόσβασης	Access Point
Σταθμισμένο Αυτόματο	Weigthed Automaton
Συνάρτηση Εκτίμησης Μεταπομπής	Handoff Estimation
Σύστημα Έξυπνου Χώρου	Smart Spaces System
Σύστημα Ευρείας Ζώνης	Wide Area Augmentation System
Συστήματα Ιχνηλάτησης	Tracking Systems
Συστήματα Καθορισμού Θέσης	Positioning Control
Σχεδιασμός Υποβοηθούμενος από τη Θέση	Location-aided Planning
Σχήμα Πρόβλεψης Κίνησης του Κινητού	Mobile Motion Prediction
Ταυτότητα Κυψέλης	Cell-id
Τριγωνοποίηση	Triangulation
Τριμεροποίηση	Trilateration
Υποψήφιος	Candidate
Χρόνος Άφιξης	Time Of Arrival

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ADC	American Digital Cellular or IS-54
A-GPS	Assisted Global Positioning System
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AOA	Angle Of Arrival
AP	Access Point
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
CAC	Call Admission Control
CapEx	Capital Expenditure
CDMA	Division Multiple Access
COO	Cell Of Origin
CSP	Classical Secretary Problem
CT2	Cordless Telephone 2
DCS-1800	Digital Communication System 1800 MHz
DECT	Digital European Cordless Telephone
EDGE	Enhance Data for GSM Evolution
EOTD	Enhanced Observed Time Difference
EPE	Ekahau Positioning Engine
GA	Global Automaton
GP	Global Prediction
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
HO	Handover/Handoff
HOE	Handoff Estimation
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IP	Internet Protocol
IPB	Itinerary Pattern Base
ISM	Industrial Scientific and Medical
LA	Learning Automaton
LAH	location-aided Handover

LAM	Location-aided Mobility Management
LAP	Location-aided Planning
LP	Local Prediction
LRM	Long-term Resource Management,
L-SH	Location-sensitive Handoff
MGIS	Mobile Network Geographic Information server
MLC	Most Likely Cluster
MMP	Mobile Motion Prediction
MT	Mobile Terminal
NAMTS	Nippon Advanced Mobile Telephone System
NIPD	Network-based Implicit Position Determination,
NMT	Nordic Mobile Telephone
NNC	New Neighboring Cells
NNCp	New Neighboring Cells to be Provisioned
OpEx	Operational Expenditures
OTDOA	Observed Time Difference of Arrival
PACS	Personal Access Communication Systems
PDC	Personal Digital Cellular
PHS	Personal Handy Phone System
PNC	Previous Neighboring Cells
PNCr	Previous Neighboring Cells to be Released
PUA	Per-user Automaton
QoS	Quality of Service
RMC	Resource Management Component
RNC	Radio Network Controller
RPD	Regularity-pattern detection
RRM	Radio Resource Management
RSSI	Received Signal Strength Indication
RTD	Relative Time Difference
RTT	Round Trip Time
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
SRM	Short-term Resource Management
SSM	Signal Strength Measurement

TACS	Total Access Communication System
TCP	Transmission Control Protocol
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time Of Arrival
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WA	Weigthed Automanon
WLAN	Wireless Local Area Networks
ΑΠΚ	Αλγόριθμος Πρόβλεψης Κίνησης
ΚΤ	Κινητό Τερματικό
ΣΒ	Σταθμός Βάσης

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Μ. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, 2004.
2. Theodore S. Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice”, 2nd edition, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, 2001.
3. Jaana Laaho, Tomas Novosad, “Radio Network Planning and optimization for UMTS”, John Wiley and Sons, 2002.
4. H. Holma, A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, Wiley, 2002.
5. M-A. Dru, S. Saada, “Location-based mobile services: the essentials A pragmatic approach to promoting location-based services”. Alcatel Telecommunications Review - 1st Quarter 2001.
6. Amitava Mukherjee and Debashis Saha, “Approaches for Radio Resource Management in Mobile Wireless Networks: Current Status and Future Issues”, January 2004.
7. Joseph K. Cross, Patrick J. Lardieri, Lockheed Martin, “Proactive and Reactive Resource Allocation”.
8. A. Lakas, F. Sallabi, M. Boulmalf, K. Shuaib, and H. Elsayed, “A Proactive Ressource Management in 3G Networks”.
9. I.Priggouris, E. Zervas, and S. Hadjiefthymiades, “Location Based Network Resource Management”, Handbook of Research on Mobile Multimedia (Ed. Ismail Khalil Ibrahim), Idea Group Reference, May 2006.
10. Alyfantis G., Hadjiefthymiades S., & Merakos L., “An overlay smart spaces system for load balancing in wireless lans”, Special Issue on Internet Wireless Access: 802.11 and Beyond, 2005.
11. Chiu, M. H., & Bassiouni, M., “Predictive channel reservation for mobile cellular networks based on GPS measurements”, Proceedings of the IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (ICPWC’99).
12. Liang B., & Haas Z. J., “Predictive distance-based mobility management for multidimensional PCS networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking, 11(5), 2003.
13. Liu G. Y., Maguire G. Q., “Efficient mobility management support for wireless data services”, Proceedings of 45th IEEE Vehicular Technology Conference, Chicago, 1995.

14. Schiller J., & Voisard A., "Locationbased services", Morgan Kaufman Publishers, Elsevier, 2004.
15. S. Hadjiefthymiades, and L. Merakos, "Proxies + Path Prediction: Improving Web Service Provision in Wireless Mobile Communication," ACM/Kluwer MONET, vol. 8, no. 4, Aug. 2003.
16. T. Liu, P. Bahl, and I. Chlamtac, "Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks," IEEE JSAC, vol. 16, no. 6, Aug. 1998.
17. S. Choi, and K. G. Shin, "Predictive and Adaptive Bandwidth Reservation for Handoffs in QoS-Sensitive Cellular Networks," Proc. ACM SIGCOMM '98, Vancouver, BC, Canada, Sept. 1998.
18. A. Bhattacharya, and S. K. Das, "LeZi Update: An Information Theoretic Approach to Track Mobile Users in PCS Networks," Proc. ACM/IEEE Mobicom '99, Seattle, WA, Aug. 1999.
19. S. K. Das et al., "The Role of Prediction Algorithms in the MavHome Smart Home Architecture," IEEE Wireless Commun., vol. 9, no. 6, Dec. 2002, pp. 77–84.
20. G. Y. Liu and G. Q. Maguire Jr., "A Class of Mobile Motion Prediction Algorithms for Wireless Mobile Computing and Communications," MONET, vol. 1, 1996, pp. 113–21.
21. A. Aljadhari and T. F. Znati, "Predictive Mobility Support for QoS Provisioning in Mobile Wireless Environments," IEEE JSAC, vol. 19, no. 10, Oct. 2001.
22. J. Chan, S. Zhou and A. Seneviratne, "A QoS Adaptive Mobility Prediction Scheme for Wireless Networks," Proc. IEEE GLOBECOM '98, Nov. 1998.
23. J. Chan and A. Seneviratne "A Practical User Mobility Prediction Algorithm for Supporting Adaptive QoS in Wireless Networks," Proc. ICON'99, Brisbane, Australia, 1999.
24. Y. Zhang and D. Liu, "An Adaptive Algorithm for Call Admission Control in Wireless Networks", Proc. IEEE Global Communications Conference, San Antonio, TX, pp. 3628-3632, 2001.
25. C. Oliveira, J. Kim and T. Suda, "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-speed Multimedia Wireless Networks", IEEE JSAC, vol. 16, no. 6, pp. 858-74, 1998.
26. D. Levine, I. Akyildiz and M. Naghshineh, "A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept", IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 1997.

27. George Alyfantis, Stathes Hadjiefthymiades, and Lazaros Merakos, "Proactive Resource Management for the Mitigation of Service Discontinuation in Mobile Networks", ICCCN 2006, Washington DC, USA, October, 2006.
28. M. Kyriakakos, S. Hadjiefthymiades, N. Frangiadakis, L. Merakos, "Enhanced Path Prediction for Network Resource Management in Wireless LANs", in IEEE Wireless Communications Magazine, Special issue on "The Evolution of Wireless LANs and PANs", Vol. 10 No. 6, December 2003, pp 62–69.
29. D. A. Levine, I. F. Akyildiz, and M. Naghshineh, "The shadow cluster concept for resource allocation and call admission in ATM-based wireless networks," in *Proc. ACM Int. Conf. Mobile Comp. Networking MOBICOM'95*, Berkeley, CA, Nov. 1995, pp. 142–150.
30. Thomas S. Ferguson, "Optimal Stopping and Applications", Mathematics Department UCLA, <http://www.math.ucla.edu/~tom/Stopping/Contents.html>.
31. Mitsushi Tamaki, "An Optimal Parking Problem", *Journal of Applied Probability*, Vol. 19, No. 4 (Dec., 1982), pp. 803-814.
32. Mitsushi Tamaki, "Adaptive Approach to Some Stopping Problems", *Journal of Applied Probability*, Vol. 22, No. 3 (Sep., 1985), pp. 644-652.
33. Evan L. Porteus, "Foundations of Stochastic Inventory Theory", Stanford University Press, 2002.
34. M. H. Smith, "A Secretary Problem with Uncertain Employment", *Journal of Applied Probability*, Vol. 12, No. 3 (Sep., 1975), pp. 620-624.
35. P. R. Freeman, "The Secretary Problem and Its Extensions: A Review", *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, Vol. 51, No. 2 (Aug., 1983), pp. 189-206.