



*ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ*  
*ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ*  
*ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ*  
*ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ*  
*ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ*

**ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Αντωνίου Ευθυμίου Μαρκόπουλου

Αθήνα, 2005





*ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ*  
*ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ*  
*ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ*  
*ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ*  
*ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ*

## **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Αντωνίου Ευθυμίου Μαρκόπουλου

### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ**

*Συμβουλευτική Επιτροπή:*

*Ε. Συκάς, Καθηγητής ΕΜΠ*

*Μ. Θεολόγου, Καθηγητής ΕΜΠ*

*Γ. Στασινόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ*

Εγκρίθηκε από την επταμελή Εξεταστική Επιτροπή την ...,

.....  
*Ε. Συκάς*  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
*Μ. Θεολόγου*  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
*Γ. Στασινόπουλος*  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ε. Πρωτονοτάριος  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Φ. Κωνσταντίνου  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Π. Δεμέστιχας  
Επικ. Καθηγητής Παν. Πειραιώς

.....  
Δ. Ρεΐσης  
Επικ. Καθηγητής Παν. Αθηνών



.....  
Αντώνης Ε. Μαρκόπουλος

Διδάκτωρ Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Copyright © Αντώνης Ευθυμίου Μαρκόπουλος, 2005.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



*Στους γονείς μου Ευθύμιο και Κωνσταντίνα  
Και στα αδέρφια μου Βασίλη και Χρύσα*

# Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια της σχεδόν τετραετούς ερευνητικής εργασίας μου στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με τη συμμετοχή μου στα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα CELLO και PACWOMAN.

Με το παρόν θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, λέγοντας ένα μεγάλο «ευχαριστώ», σε όλους εκείνους τους ανθρώπους, καθηγητές, συναδέλφους, φίλους και μέλη της οικογένειας μου, που με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της πορείας μου αυτής, και με βοήθησαν με τον επαγγελματισμό, την φιλία και την αγάπη τους να φτάσω έως εδώ.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Ευστάθιο Συκά. Η συνεισφορά του στην εκπόνηση της διατριβής υπήρξε καταλυτική. Είχα την τύχη να συνεργαστώ με έναν σημαντικό επιστήμονα. Σημαντική ήταν επίσης η βοήθεια που έλαβα κατά τη διάρκεια της συγγραφής του κειμένου από τους καθηγητές κ. Στασινόπουλο και κ. Θεολόγου, οι οποίοι μαζί με τον κ. Συκά συγκροτούν την τριμελή συμβουλευτική επιτροπή για τη διατριβή αυτή. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Στασινόπουλο με τον οποίο συνεργάστηκα στα πλαίσια του προγράμματος PACWOMAN και με στήριξε σε αυτό το δύσβατο μονοπάτι μέχρι σήμερα. Οι συμβουλές του ήταν και είναι πάντα πολύτιμες. Ευχαριστώ θερμά και τον κ. Θεολόγου, άνθρωπο με πηγαίο χιούμορ, που ήταν παρών κάθε φορά που χρειάστηκε στην πορεία μου προς την ολοκλήρωση της διατριβής. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον κ. Πρωτονοτάριο για τον τρόπο που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια. Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω τον Παναγιώτη Δεμέστιχα, νυν Επίκουρο Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς, για τον λόγο ότι αν και δεν είχα την τύχη να συνεργαστώ στενά μαζί του υπήρξε και υπάρχει για μένα, όπως και για πολλούς από τη «γενιά» μου, λαμπρό παράδειγμα επιστήμονα μα και πάνω απ' όλα ανθρώπου. Τέλος ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνου και κ. Ρειση για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Τέσσερα έτη γεμάτα δυνατές, πολύτιμες εμπειρίες. Εμπειρίες που ελπίζω να με ακολουθούν για μια ζωή. Αυτές οι δύο φράσεις περιγράφουν τα χρόνια προς την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής.

Ξεκινώντας αυτή την μακρά πορεία δε πίστευα ότι θα μπορούσα να συνεργαστώ με τόσο αξιόλογους επιστήμονες και ανθρώπους. Ευχαριστώ τον Σοφοκλή Κυριαζάκο, ανεκτίμητο συνεργάτη αλλά και φίλο. Θεωρώ εξαιρετική τύχη το γεγονός της συνεργασίας μου μαζί του. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να αναφερθώ στον Παναγιώτη Πίσσαρη, σημαντικό συνεργάτη στο πρόγραμμα CELLO όπως και στα εξαιρετικά παιδιά Μάκη Αρβανίτη και Περικλή Ψυλλάκη με τα οποία συνεργάστηκα αρμονικά και ουσιαστικά στο πρόγραμμα PACWOMAN.

Ευχαριστώ θερμά τους Δημήτρη Αξιώτη και Γιώργο Κουντουράκη. Τα δύο αυτά παιδιά με βοήθησαν στο μέγιστο βαθμό να ξεπεράσω όλες τις δυσκολίες της ολοκλήρωσης της διατριβής. Ήταν εκεί για να με ενθαρρύνουν και να με πείθουν πως όλα θα πάνε καλά. Ευχαριστώ επίσης τις Λουίζα Παπαδοπούλου και Ρένα Συγκούνα, η υποστήριξη των οποίων ήταν σημαντική για μένα τον τελευταίο καιρό.

Θα ήθελα να αναφερθώ επίσης στη Σοφία Καπελάκη και Νίκο Τσελίκα. Δύο παιδιά, συνάδελφοι, μα πάνω απ' όλα φίλοι. Φίλοι που δύσκολα συναντάς. Φίλοι που είναι και θα είναι εκεί στις χαρές αλλά και στις λύπες. Τους ευχαριστώ πολύ.



Κλείνοντας την αναφορά μου αυτή στους συναδέλφους μου, θέλω να ευχαριστήσω εγκάρδια δύο ανθρώπους που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην πορεία μου εδώ, στο Πολυτεχνείο. Τους «διπλανούς» μου, Κώστα Τσαγκάρη και Βέρα Σταυρουλάκη. Το σημαντικότερο κέρδος από την πορεία μου εδώ, εκτός των εμπειριών και γνώσεων, ήταν η δημιουργία δύο πολύ δυνατών φιλιών. Ευχαριστώ την φίλη Βέρα, άνθρωπο σπάνιο και ανεκτίμητο στην πορεία μου, καθώς ήταν παρούσα σε όλες τις δύσκολες καθημερινές στιγμές μου έως και την τελευταία πιο δύσκολη περίοδο. Ανέχτηκε τη μουρμούρα και τη γκρίνια μου, δίπλα μου, προσφέροντας μου πάντοτε μια εναλλακτική όψη των πραγμάτων. Ήταν ο άνθρωπος που μου πρόσφερε την ηρεμία που χρειαζόμουν για να συνεχίσω. Ευχαριστώ τον φίλο Κώστα. Πραγματικό φίλο σε προσωπικό και πολύτιμο συνεργάτη σε επιστημονικό επίπεδο. Δεν θα ξεχάσω ποτέ τις ατελείωτες ώρες χαράς και γέλιου που ζήσαμε παρέα, τις στιγμές τσακωμού για τις αγαπημένες μας ομάδες, τις πολύ όμορφες στιγμές που περάσαμε έξω από εδώ, τις αναλύσεις μας που όλες κατέληγαν στο «εγώ, εγώ εδώ θα σου πω, εγώ ξέρω» και από τις δύο πλευρές. Τους ευχαριστώ και τους δύο πάρα πολύ.

Νιώθω, όμως, την ανάγκη να ευχαριστήσω και κάποιους ανθρώπους εκτός Πολυτεχνείου που είναι οι «Ηρακλειώτες». Τα παιδιά που ήταν και είναι δίπλα μου, καθένας με τον τρόπο του, χρόνια τώρα. Τον Σπύρο Καπράλο, αδελφικό μου φίλο, για τις ουσιαστικές συζητήσεις που πάντοτε είχαμε και ελπίζω θα έχουμε για μια ζωή, τον Νίκο Μιχελιδάκη για τη συμπαράσταση του τα τελευταία χρόνια, τον «Πρόεδρο» Ανδρέα Κανελλάκη για την πάντοτε θετική αντιμετώπιση των πραγμάτων και όλους του πραγματικούς «Ηρακλειώτες», Αντώνη Οικονόμου, Αλέξη Χατζόπουλο και Μάρθα Βαλαβάνη που στάθηκαν στο πλευρό μου σε αυτό το δύσκολο και επίπονο αγώνα.

Άφησα τελευταία τη Δήμητρα. Η Δήμητρα που εδώ και πολλά χρόνια είναι δίπλα μου, μαζί μου. Ήταν και είναι ο άνθρωπός μου. Νοιώθω ότι ένα ευχαριστώ θα ήταν πολύ λίγο και φτωχό για να αποδώσει αυτό που νοιώθω για την συμπαράσταση και την αγάπη που έχω λάβει από αυτή όλα αυτά τα χρόνια. Με έμαθε να ξεχωρίζω τις πραγματικά από τις φαινομενικά δύσκολες στιγμές της ζωής. Με έμαθε να πιστεύω ότι, καθετί στη ζωή αυτή ξεπερνιέται. Με αγώνα και κόπο αλλά ξεπερνιέται.

Ολοκληρώνοντας, ξεχωριστή θέση ανάμεσα στους ανθρώπους που με στήριξαν στην προσπάθεια μου αυτή έχει η οικογένεια μου. Και για μένα οικογένεια, πέρα από τους γονείς και τα αδέρφια μου, είναι ο Γιάννης (θείος), η Ελένη (θεία), τα ξαδέλφια μου, Αντώνης και Θεοδώρα και η νύφη μου Σοφία. Δεν τους ξεχώρισα ποτέ σε σχέση με τους γονείς μου και τα αδέρφια μου. Υπήρξαν, υπάρχουν και θα υπάρχουν για πάντα στη ζωή μου. Σημαντικοί, δίπλα μου πάντα, να με αγαπούν και να τους αγαπώ όπως σήμερα. Σας ευχαριστώ που με διδάξατε τι σημαίνει αγαπημένη οικογένεια.

Τέλος, αφιερώνω τη διατριβή αυτή στους γονείς και στα αδέρφια μου, που με την απεριόριστη αγάπη, στοργή και τις πολύτιμες συμβουλές τους με δίδαξαν, πως περισσότερο από τα πτυχία, τα διδακτορικά, τη μόρφωση και την επαγγελματική επιτυχία, σημασία έχει να είμαι και να παραμείνω Άνθρωπος για όλη μου τη ζωή. Είναι ελάχιστο καθήκον μου προς αυτούς τους ανθρώπους, που με ανέθρεψαν και με μεγάλωσαν με θυσίες και κόπους να τους υποσχεθώ ότι, θα προσπαθήσω να έχω πάντα τη συμβουλή τους αυτή κατευθυντήρια αρχή που θα καθορίζει την πορεία μου και θα με οδηγεί στη ζωή μου.



# Περίληψη

Τα ασύρματα δίκτυα και οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης τερματικών αποτελούν δυο από τους πλέον υποσχόμενους και αναπτυσσόμενους τομείς στον κόσμο της σύγχρονης τεχνολογίας. Η ιδέα ενσωμάτωσης των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης στα ασύρματα δίκτυα, προκειμένου να επεκταθούν οι δυνατότητες των δικτύων και να τελειοποιηθούν οι υπηρεσίες που προσφέρουν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αλλά απαιτείται ακόμα σκληρή και συντονισμένη προσπάθεια στο σχεδιασμό και ανάπτυξη αυτών μέσα στα ασύρματα δίκτυα.

Οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης συνιστούν πλέον μηχανισμούς στρατηγικής σημασίας για τους φορείς παροχής ασύρματων υπηρεσιών και δικτύων. Εκμεταλλευόμενος την πληροφορία (θέση του τερματικού) αυτή, ο πάροχος επιτρέπει στο χρήστη να «απολαύσει» υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (value-added) και παράλληλα να επεκτείνει ο ίδιος τα κέρδη του. Πρωταρχικό στόχο των πάροχων δικτύου μέσα από την εφαρμογή των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης αποτελούσε μέχρι σήμερα η ανάπτυξη και εφαρμογή LBS εφαρμογών. Τα τελευταία χρόνια, όμως, αναπτύχθηκε ιδιαίτερα – κυρίως λόγω της συνεχώς αυξανόμενης προόδου των συγκεκριμένων τεχνολογιών – η ιδέα της αξιοποίησης τους για τον καλύτερο σχεδιασμό των δικτύων και την επίτευξη μέσω αυτών υψηλότερων ποσοστών σταθερότητας και αποδοτικότητας.

Τόσο η σταθερότητα όσο και η βελτίωση απόδοσης των ασύρματων δικτύων αποτελούν βασικές έννοιες για τους πάροχους δικτύων και υπηρεσιών. Με την πραγμάτωση αυτών διασφαλίζουν καταρχήν ομαλή λειτουργία του δικτύου και παράλληλα επιτυγχάνουν περαιτέρω οικονομικά οφέλη, καθώς οι πάροχοι ανά τον κόσμο πιστεύουν ότι, *«η ικανοποίηση και η θετική εμπειρία που αποκτά ένας χρήστης ενός δικτύου ή μιας υπηρεσίας, πρέπει να μπει ψηλά στην πυραμίδα των προτεραιοτήτων των πάροχων, μιας και αυτές οι δύο απαιτήσεις θα οδηγήσουν τόσο στη διατήρηση των υπάρχοντων πελατών αλλά και στην προσέλκυση νέων»*. Θέματα, όπως η μη προσβασιμότητα στο δίκτυο, η χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας, η μη συνεχής κάλυψη, τα υψηλά επίπεδα παρεμβολών και οι αποκλεισμένες και απορριπτέες κλήσεις, οδηγούν τους πελάτες εύκολα σε άρση της εμπιστοσύνης και της πιστότητας (loyalty) στα πλαίσια μιας άκρως ανταγωνιστικής αγοράς στα ασύρματα δίκτυα.

Στα υπάρχοντα κυψελοειδή και ασύρματα δίκτυα η διαπομπή (*handover* ή *Handoff*) είναι μια από τις διαδικασίες, που επιφέρει ιδιαίτερα δυσάρεστα αποτελέσματα όσον αφορά τα ποσοστά σταθερότητας και αποδοτικότητας. Αυτή η διαδικασία, πολλές φορές επηρεάζει αρνητικά, μειώνοντας ένα κρίσιμο θεωρητικό μέτρο, που είναι η *«ικανοποίηση»* του χρήστη.

Παρά το γεγονός ότι, η διαδικασία διαπομπής έχει ορισθεί και εφαρμοστεί αρκετά ικανοποιητικά στα υπάρχοντα συστήματα (GSM), κάθε χρήστης (πελάτης) έχει εμπειρία, τουλάχιστον μερικές φορές, από ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως η απόρριψη κλήσης και η συνεχόμενη μείωση της ποιότητας υπηρεσιών, λόγω μιας αποτυχημένης διαπομπής. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά πιο περίπλοκη και δαπανηρή για την επιτυχή «ικανοποίηση» του χρήστη τόσο για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς (UMTS) όσο και για τα μελλοντικά ετερογενή δίκτυα (4G). Στα νέα αυτά δίκτυα, υπηρεσίες πολυμέσων έχουν κάνει την εισαγωγή τους. Η μεγάλη ζήτηση από τους συνεχώς αυξανόμενους χρήστες και οι απαιτήσεις για νέες, συνεχής και υψηλής ποιότητας εφαρμογές, καθιστούν διαδικασίες πολύπλοκες, όπως η διαπομπή, πολύ σημαντικές. Έτσι λογικά βρίσκονται υπό συνεχή μελέτη και έρευνα μιας και η βελτιστοποίηση αυτών παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον.

Η διαδικασία διαπομπής αποτελεί και το κύριο στόχο μελέτης της παρούσης διδακτορικής διατριβής. Το κίνητρο για την μελέτη αυτή δόθηκε από έρευνες που έχουν γίνει στη διεθνή κοινότητα για το πως θα μπορούσε η θέση του χρήστη να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαπομπής τόσο για κυψελοειδή δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς όσο και γενικότερα για τα ασύρματα δίκτυα επόμενης γενιάς (4G).

Η εξελισσόμενη τεχνολογία στον εντοπισμό θέσης και η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων διαπομπής υπήρξαν λοιπόν, τα κύρια κίνητρα για τη μελέτη και ανάπτυξη ενός συνόλου αλγορίθμων διαπομπής στα ασύρματα δίκτυα με τη χρήση πληροφορίας θέσης του κινητού τερματικού (*Location Aided Handover-LAH*). Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν αρκετές βασικές διαδικασίες, όπως, μεταξύ άλλων, μοντέλα πρόβλεψης της κίνησης, πρόβλεψη των λαμβανόμενων σημάτων, έλεγχος αποδοχής και ισχύος. Οι αλγόριθμοι LAH δοκιμάστηκαν και αξιολογήθηκαν μέσα από την εφαρμογή τους σε δύο ανεξάρτητους προσομοιωτές (GSM, UMTS simulators). Επίσης μια πραγματική δοκιμή σε ένα περιβάλλον ετερογενές (GPRS, IEEE 802.11.b) έλαβε χώρα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ξεκάθαρα την επιρροή αυτών των αλγορίθμων στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαπομπή όπως και στη γενικότερη απόδοση των δικτύων. Οι κρίσιμες παράμετροι, για την απόδοση δικτύων, όπως οι ρυθμοί αποκλεισμού και απόρριψης κλήσεων, ο ρυθμός διαπομπών σε ένα σύστημα, τα επίπεδα παρεμβολής και ο έλεγχος ισχύος εξετάζονται αναλυτικά μέσα από την εφαρμογή των LAH αλγορίθμων.

**Λέξεις κλειδιά: Διαπομπή, Θέση τερματικού, Τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, Ping-pong διαπομπή, προτεραιότητες διαπομπής, hot-spots, έλεγχος ισχύος, GSM, UMTS, 4G**

# Abstract

Wireless systems and location mechanisms are two of the most developing and promising sectors of the current world of technology. The idea of embedding the location mechanisms into wireless systems, in order to expand their capabilities and services offered, is very intriguing, yet demands hard work on planning and implementation.

Location is a strategic asset of cellular and wireless carriers. Leveraging this information enables the user to experience value-added services and the mobile network operator to offer differentiation and incremental profitability. Moreover, exploiting location information to improve network planning and performance is very promising issue for the near future. We are witnessing the start of an era where the impact of location technologies and services will be tremendous, especially as 3G and beyond networks become operational. Location based technologies, beside the goal of setting up LBS applications, has another major objective to develop and demonstrate methods targeted to increasing performance of cellular and wireless systems by utilizing location-related data.

Stability and optimization of network performance in wireless 2G-3G will be the bedrock for network and service providers to maintain a smooth operation and flourish revenue results. Such providers hold the opinion that “user satisfaction and experience” has become an essential prospective to retain subscribers and increase new customers. Inaccessibility of network, low call quality, coverage and interference issues, block and drop of calls lead customers easily to change loyalties in a competitive wireless market.

In the existing cellular and wireless networks, one of the processes, which it causes important and unpleasant results against the stability and optimization their performance, is the *handover* (or *handoff*). This process, many times affects negatively, by decreasing a theoretical critical metric, the "*user satisfaction*". Despite the fact that, the handover process has been fixed and applied enough satisfactorily, in existing systems (GSM), still each user (customer) experiences, at least sometimes, some undesirable situations, as the drop of the call and the decrease of the quality of service, because of the handover failure. This process is much more complex and costly for fulfilling "*user satisfaction*" requirement in 3G (UMTS) systems and 4G heterogeneous networks. In those networks, multimedia services have been introduced. The increasing demand from the continuously increasing number of users and the requirements for innovative and high quality applications, make the process of

the handover very important. Thus, rationally, the handover process, in those systems, is under continuous and extensive study and research. The main objective of those researches is to optimize the handover.

The handover process constitutes also the main objective of the study of the present doctoral thesis. The motivation for this study was given by researches that are going on in the international wireless community on how user (terminal) position could be used for the optimization of handover process not only in the second and third generation wireless systems but also more generally for the wireless networks of next generation (4G).

Therefore, the evolving technology in the localization of the terminals and the complexity of the existing handover algorithms have been the main motives for researching, implementing and validating a new innovative set of handover algorithms in the wireless networks aided by the position of the mobile terminal (*Location Aided Handover - LAH*). The proposed algorithms use some very interesting and important processes, such as, mobility prediction, received signal strength prediction, power and admission control, interference control a.o. LAH algorithms were validated and evaluated through simulations (GSM, UMTS simulators). Also a real trial in a heterogeneous environment (GPRS, IEEE 802.11. b) took place. The results show evidently the influence of these algorithms not only in the effectiveness of handover process but also in the more general performance of the underlying networks. The critical metrics for the networks performance, which are investigated and examined analytically through the application of LAH algorithms, are the drop and block call rates, the handover rate, the transmission power and interference levels

**Keywords: Handover, Mobile location, Location Based Technologies, Ping-pong handover, handover prioritizing, hotspots, power control, admission control, GSM, UMTS, 4G**

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</b>	<b>25</b>
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	27
1.2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	30
1.3	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	32
1.4	GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)	35
1.4.1	Αρχιτεκτονική του συστήματος GSM	36
1.4.2	Διαχείριση Ραδιοδιαύλων	37
1.4.2.1	Φυσικά κανάλια	37
1.4.2.2	Λογικά κανάλια	38
1.4.2.2.1	Κανάλια Κίνησης	39
1.4.2.2.2	Κανάλια ελέγχου	39
1.4.3	Διαχείριση Κινητικότητας	40
1.4.3.1	Διαδικασία ενημέρωσης θέσης (location update)	41
1.4.3.2	Διαδικασία Διαπομπής	41
1.5	ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (UMTS - UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM)	43
1.5.1	Η Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS	44
1.5.2	Υπηρεσίες στο UMTS	46
1.5.3	Σχεδιασμός του δικτύου UMTS	47
1.6	ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ	52
1.6.1	Γενική Αρχιτεκτονική	52
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ</b>	<b>59</b>
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
2.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	62
2.2.1	Βασισμένες στο δίκτυο (Network based)	62
2.2.1.1	Ταυτότητα κυψέλης (Cell Identification)	62
2.2.1.2	Χρονική Πρόοδος (Timing Advance - TA)	64
2.2.1.3	Γωνία άφιξης (Angle of arrival - AOA)	64
2.2.1.4	Χρόνος (διαφορά) άφιξης στη ζεύξη ανόδου (Uplink time (difference) of arrival-UTDOA)	66
2.2.1.5	Αναγνώριση Μοτίβου Σημάτων (Signal pattern recognition - Location Pattern Matching)	68
2.2.2	Βασισμένες στο τηματικό (Handset Based)	69
2.2.2.1	Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές στη ζεύξη καθόδου	70
2.2.2.1.1	Ενισχυμένη τεχνική των παρατηρούμενων χρονικών διαφορών (Enhanced Observed Time Differences – EOTD)	71
2.2.2.1.2	Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές των αφίξεων στη ζεύξη καθόδου (Observed Time Difference of Arrival - OTDOA)	71
2.2.2.2	Επίπεδα σημάτων (Signal levels)	74
2.2.3	Δορυφορικές Τεχνολογίες	75
2.2.3.1	GPS (Global Positioning System)	76
2.2.3.2	Διαφορικό GPS (Differential GPS-DGPS)	79
2.2.3.3	Assisted GPS	80
2.2.3.4	GLONASS – GNSS – EGNOS- GALILEO	81
2.2.4	Υβριδικές Μέθοδοι (Hybrid methods)	83
2.2.4.1	Γωνία Άφιξης + Χρόνος πλήρους διαδρομής (AOA+RTT)	84
2.2.4.2	Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές αφίξεων + Γωνία Άφιξης (OTDOA+AOA)	84
2.2.4.3	Συσχετισμός βάσεων δεδομένων (Database Correlation Method-DCM)	85
2.3	ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	86
2.3.1	GSM προτυποποίηση	86
2.3.2	UMTS προτυποποίηση	87
2.4	ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	89

2.4.1	σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών κινητού δικτύου ( <i>Mobile Geographic Information System – MGIS</i> )	89
2.4.2	Προσαρμοστικό σύστημα κάλυψης ( <i>ACS</i> )	92
2.4.3	Σχεδιασμός δικτύου υποβοηθούμενος από την θέση του τερματικού ( <i>LAP</i> )	93
2.4.4	Διαχείριση κινητικότητας υποβοηθούμενη από την θέση του τερματικού ( <i>LAM</i> )	93
2.5	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	94
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ</b>		<b>97</b>
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	99
3.2	ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΟ GSM	101
3.2.1	Γενική διαδικασία	101
3.2.2	Διαδικασία μετρήσεων στο MS	102
3.2.3	Διαδικασία μετρήσεων στο BSS	102
3.2.4	Στρατηγική	102
3.2.5	Αίτια διαπομπής	103
3.2.6	Απαιτήσεις Δικτύου	106
3.2.6.1	BCCH φέροντα	106
3.2.6.2	Μέθοδος ταυτοποίησης των γειτονικών BSS	106
3.2.7	Μετρήσεις στην ασύρματη ζεύξη	108
3.2.7.1	Ισχύς σήματος ( <i>Signal Strength</i> )	108
3.2.7.1.1	Φυσική παράμετρος	109
3.2.7.1.2	Στατιστική παράμετρος	109
3.2.7.1.3	Περιοχή τιμών	109
3.2.7.2	Ποιότητα σήματος ( <i>Signal Quality</i> )	109
3.2.7.2.1	Φυσική παράμετρος	110
3.2.7.2.2	Στατιστική παράμετρος	110
3.2.7.2.3	Περιοχή τιμών	110
3.2.7.3	Αναφορές μετρήσεων ( <i>Measurements reports</i> ) σε TCH και SDCCH	110
3.2.8	Ορισμός του βασικού αλγορίθμου διαπομπής στο GSM και DCS 1800	112
3.2.8.1	Λειτουργικές απαιτήσεις	112
3.2.8.2	BSS προ-επεξεργασία και σύγκριση με τα κατώφλια	113
3.2.8.2.1	Διαδικασία μεσοτίμησης ( <i>averaging</i> ) μετρήσεων	115
3.2.8.2.2	Διαδικασία σύγκρισης για λόγους διαπομπής	117
3.2.8.3	Αλγόριθμος απόφασης στο BSS	118
3.2.9	Μη Παραδοσιακοί Αλγόριθμοι διαπομπής	120
3.2.9.1	Fuzzy Διαπομπές	120
3.2.9.2	Προσαρμοστικές Κεραίες ( <i>Adaptive Antennas</i> )	120
3.2.9.3	Προτεραιότητες στη διαπομπή	121
3.3	ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3 <sup>HE</sup> ΓΕΝΙΑΣ	122
3.3.1	Κατηγορίες Διαπομπής του UMTS	124
3.3.2	Ενδοκομβική Διαπομπή ( <i>Intra Node B Handover</i> )	125
3.3.3	Διακομβική Διαπομπή ( <i>Inter Node B Handover</i> )	126
3.3.4	Δια-UTRAN διαπομπές ( <i>Handover between different URAN types</i> )	127
3.3.5	Σκληρές Διαπομπές ( <i>Hard Handover</i> )	127
3.3.6	Ήπια και ηπιότερη διαπομπή ( <i>Soft and softer handover</i> )	129
3.3.7	Προδιαγραφή 3GPP TR 25.922	131
3.3.7.1	Μετρήσεις	131
3.3.7.2	Αλγόριθμος ήπιας διαπομπής	132
3.3.7.3	Σηματοδοσία	135
3.3.7.4	Κέρδος ήπιας διαπομπής	136
3.3.8	Διασυστημικές Διαπομπές	137
3.4	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ (4G)	138
3.4.1	Κινητό IP	138
3.5	ΜΕΤΡΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QoS METRICS)	142
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	146
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ - ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ (<i>LOCATION AIDED HANDOVER - LAH</i>)</b>		<b>149</b>



4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	151
4.2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ PING-PONG ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ .....	154
4.2.1	Ορισμός των Ping-Pong διαπομπών.....	154
4.2.2	Προτεινόμενη Μέθοδος Αντιμετώπισης Ping-Pong διαπομπών.....	157
4.2.3	Δομικά Στοιχεία Της Προτεινόμενης Μεθόδου.....	158
4.2.3.1	Εκτίμηση διαδρομής κινητού (Mobile Route Estimation) .....	158
4.2.3.1.1	Θέση του τερματικού .....	160
4.2.3.1.2	Μοντέλο κίνησης .....	162
4.2.3.1.3	Ενσωμάτωση της τοπολογίας δρόμων.....	166
4.2.3.2	Εκτίμηση λαμβανόμενου σήματος.....	172
4.2.3.3	Ανίχνευση Ping-pong Διαπομπών .....	174
4.2.3.4	PPA Αλγόριθμος .....	175
4.3	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ «ΠΡΟΣ ΤΑ ΣΥΝΟΡΑ» ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ .....	180
4.3.1	Ορισμός Του Προβλήματος Διαπομπής «Προς τα Σύνορα» .....	180
4.3.2	Δομικά Στοιχεία Της Προτεινόμενης Μεθόδου “Towards The Borders” .....	183
4.3.2.1	Εκτίμηση διαδρομής κινητού (Mobile Route Estimation) .....	184
4.3.2.1.1	Θέση του τερματικού .....	185
4.3.2.1.2	Μοντέλο κίνησης και ενσωμάτωση της τοπολογίας των δρόμων .....	185
4.3.2.2	Πρόβλεψη Διαπομπών (Handover Prediction) .....	187
4.3.2.3	TTB Αλγόριθμος .....	188
4.4	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΣΥΜΦΩΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ - HOT SPOTS.....	192
4.4.1	Δομικά Στοιχεία του προβλήματος .....	195
4.4.1.1	Θέση του χρήστη (User Location) .....	196
4.4.1.2	Χαρακτηριστικά Διάδοσης.....	196
4.4.1.3	Δεδομένα MGIS .....	196
4.4.1.4	Αλγόριθμος ανάλυσης δεδομένων του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών Κινητού Δικτύου (MGIS Data Resolution – MDR Algorithm).....	197
4.4.1.4.1	Μη ενεργοί χρήστες (idle mode) .....	200
4.4.1.4.2	Ενεργοί χρήστες (Active Users) .....	202
4.5	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CDMA.....	203
4.5.1	Προηγούμενες έρευνες.....	204
4.5.2	Αλγόριθμος βελτιστοποίησης ισχύος μετάδοσης και επιπέδων παρεμβολής (Transmission Power and Interference Optimization- TPIO).....	206
4.5.2.1	Αναδιάταξη του ενεργού συνόλου-Cell Selection and Reselection in the active set.....	207
4.5.2.2	Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call admission control) – Έλεγχος ισχύος (Power control) – Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover).....	212
4.6	ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	213
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>		<b>221</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	223
5.2	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ .....	224
5.2.1	Προσομοιωτής GSM.....	226
5.2.1.1	Παράμετροι Αρχικοποίησης.....	226
5.2.1.2	Δομοστοιχεία (modules) του προσομοιωτή.....	231
5.2.2	Προσομοιωτής UMTS .....	234
5.2.2.1	Παράμετροι Αρχικοποίησης.....	235
5.2.2.2	Κύριες διαδικασίες .....	237
5.2.2.2.1	Παραγωγή τηλεπικοινωνιακής κίνησης (φορτίου).....	238
5.2.2.2.2	Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call admission control) – Έλεγχος ισχύος (Power control) – Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover).....	239
5.2.2.2.2.1	Έλεγχος αποδοχής κλήσης (Call Admission Control-CAC) .....	239
5.2.2.2.2.2	Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη ανόδου (Uplink Power Control).....	241
5.2.2.2.2.3	Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη καθόδου (Downlink Power Control) .....	244

5.2.2.2.3	Έλεγχος ήπιας διαπομπής .....	245
5.2.2.3	Κινητικότητα .....	247
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ .....	247
5.3.1	Αποτελέσματα GSM.....	248
5.3.1.1	PPA-Σενάριο 1 - Επίδραση περιθωρίου υστέρησης .....	248
5.3.1.2	PPA-Σενάριο 2 - Ενσωμάτωση της παραμέτρου «Διάρκεια παραθύρου λήψης μέσωσ όρων» (Averaging Window Length-W).....	254
5.3.1.3	PPA-Σενάριο 3 - Επίδραση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου .....	258
5.3.1.4	PPA-Σενάριο 4 - Επίδραση του σφάλματος θέσης.....	260
5.3.1.5	TTB-Σενάριο 1 - Επίδραση του χρόνου πρόβλεψης (Tprediction) και του τηλεπικοινωνιακού φορτίου – Σύγκριση με Guard channels and PRC.....	261
5.3.1.6	TTB-Σενάριο 2 - Επίδραση της ταχύτητας του χρήστη .....	265
5.3.1.7	TTB-Σενάριο 3 – Επίδραση του σφάλματος θέσης.....	269
5.3.1.8	MDR-Σενάριο 1 – Βάρη συνάρτησης.....	270
5.3.1.9	MDR-Σενάριο 2 - Επίδραση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου .....	281
5.3.2	Αποτελέσματα UMTS.....	283
5.3.2.1	TRIO – Ζεύξη Ανόδου (Uplink).....	284
5.3.2.2	TRIO – Ζεύξη Καθόδου (Downlink) .....	288
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	291
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>293</b>
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	295
6.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	302
6.2.1	Επεκτάσεις των LAH αλγορίθμων.....	302
6.2.2	Ενσωμάτωση των LAH αλγορίθμων σε πραγματικά δίκτυα.....	305

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1: Αρχιτεκτονική και στοιχεία του GSM.....	37
Σχήμα 1-2: Το πλαίσιο του TDMA.....	38
Σχήμα 1-3: Διαπομπές στο GSM [ ].....	42
Σχήμα 1-4: Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS.....	45
Σχήμα 1-5: Διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου UMTS. ....	51
Σχήμα 1-6: Γενική αρχιτεκτονική συστημάτων 4G.....	53
Σχήμα 2-1: Μέθοδος εντοπισμού θέσης με την τεχνική ταυτότητα κυψέλης (Cell-ID).....	63
Σχήμα 2-2: Μέθοδος εντοπισμού θέσης βάσει της γωνίας άφιξης (AOA).....	65
Σχήμα 2-3: Μέθοδος TOA σε συγχρονισμένα δίκτυα.....	66
Σχήμα 2-4: Μέθοδος TOA σε μη συγχρονισμένα δίκτυα.....	67
Σχήμα 2-5: Μέθοδος παρατηρούμενων χρονικών διαφορών των αφίξεων.....	73
Σχήμα 2-6: Τεχνική επιπέδων σημάτων (Signal level method).....	74
Σχήμα 2-7: Αρχιτεκτονική Συστήματος GPS.....	77
Σχήμα 2-8: Αρχιτεκτονική τεχνολογίας DCM.....	86
Σχήμα 2-9: Γενική αρχιτεκτονική LS (Location Services).....	87
Σχήμα 2-10: Γενική αρχιτεκτονική συστήματος εντοπισμού θέσης στο UMTS.....	88
Σχήμα 2-11: Γενική ιδέα του προγράμματος IST-CELLO.....	90
Σχήμα 2-12: Μοντέλο λειτουργίας MGIS.....	91
Σχήμα 3-1: Αίτια Διαπομπής.....	105
Σχήμα 3-2: DOA μέθοδος εντοπισμού θέσης με προσαρμοστικές κεραίες[ ].....	121
Σχήμα 3-3: Ενδοκομβική Διαπομπή.....	125
Σχήμα 3-4: Διακομβική Διαπομπή (στο ίδιο RNC).....	126
Σχήμα 3-5: Διαπομπή μεταξύ διαφορετικών RNC.....	126
Σχήμα 3-6: Διαπομπή μεταξύ διαφορετικών URAN.....	127
Σχήμα 3-7: Περιπτώσεις ήπιας και ηπιότερης διαπομπής.....	129
Σχήμα 3-8: Σενάριο ήπιας διαπομπής.....	133
Σχήμα 3-9: WCDMA αλγόριθμος ήπιας διαπομπής ( [15] ).....	134
Σχήμα 3-10: Διασυστημική διαπομπή μεταξύ UTRAN και GSM ([14]).....	137
Σχήμα 3-11: Συμπιεσμένη λειτουργία (compressed mode) [ ].....	138
Σχήμα 3-12: Ροή πληροφορίας των πακέτων IP στο Mobile IP.....	140
Σχήμα 3-13: Δρομολόγηση των πακέτων κατά τη λειτουργία του Mobile IP.....	141
Σχήμα 4-1: Περιοχή αυξημένης πιθανότητας διαπομπών.....	154
Σχήμα 4-2: Ορισμός ring-rong διαπομπής.....	155
Σχήμα 4-3: Δομικά στοιχεία προτεινόμενης μεθόδου αντιμετώπισης ring-rong διαπομπής.....	157
Σχήμα 4-4: Σφάλμα LS.....	162
Σχήμα 4-5: Κίνηση του χρήστη στα pixels.....	163
Σχήμα 4-6: Πιθανότητα $P(\phi_\beta)$ με κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ με $\mu = 0$ γωνία και $\sigma = 45$ .....	165
Σχήμα 4-7: Μήτρα πιθανοτήτων μετάβασης $P(\phi_x)$ , $\forall \phi_x \in [-\pi, \pi]$ .....	165
Σχήμα 4-8: Τοπολογία δρόμων περιοχής κάλυψης του BS 1.....	167
Σχήμα 4-9: Τοπολογία δρόμων (ανάλυση pixel).....	167
Σχήμα 4-10: Πιθανότητες $P'(\phi_x)$ βάσει της τοπολογίας δρόμων.....	169
Σχήμα 4-11: Παράδειγμα «ολίσθησης» μήτρας πιθανοτήτων.....	170
Σχήμα 4-12: Πιθανότητες τελικών θέσεων (μέσα στις παρενθέσεις) και πιθανότητες «περάσματος» του χρήστη από το κάθε pixel στη συγκεκριμένη τοπολογία.....	171

Σχήμα 4-13: Αρχείο ανάλυσης $R_x(p, c)$ .....	173
Σχήμα 4-14: Παραδείγματα κάλυψης κυψελών .....	174
Σχήμα 4-15: Χάρτης διάδοσης σημάτων .....	174
Σχήμα 4-16: Διάγραμμα Ροής της προτεινόμενης μεθόδου αντιμετώπισης ring-pong διαπομπών .....	176
Σχήμα 4-17: PPA αλγόριθμος.....	178
Σχήμα 4-18: Κίνηση προς τα σύνορα δύο κυψελών[] .....	180
Σχήμα 4-19: Κατώφλι απόστασης στο PCR (a) και κατώφλι χρόνου στο ACR (b) [42] .....	182
Σχήμα 4-20: Το πρόβλημα διαπομπής «Προς τα σύνορα».....	184
Σχήμα 4-21: Θεωρητική πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη με δεδομένη τη μέση τιμή $u(x) = \mu_{\lambda}$ της κανονικά κατανομημένης ταχύτητας του .....	185
Σχήμα 4-22: Αναπροσαρμοσμένη εκτίμηση της κίνησης του χρήστη βάσει της δεδομένης τοπολογίας των δρόμων.....	186
Σχήμα 4-23: Εκτίμηση πιθανής διαπομπής «Προς τα σύνορα» .....	187
Σχήμα 4-24: Το πρόβλημα αποσυμφόρησης περιοχών hotspots .....	193
Σχήμα 4-25: Διάγραμμα Ροής του προβλήματος αποσυμφόρησης περιοχών hotspots.....	195
Σχήμα 4-26: Πρόβλημα κατανομής των χρηστών σε ένα σύστημα UMTS.....	207
Σχήμα 4-27: Γενική διαδικασία ενός UE σε idle κατάσταση .....	208
Σχήμα 5-1: GUI προσομοιωτή UMTS .....	225
Σχήμα 5-2: Δομή GSM προσομοιωτή .....	226
Σχήμα 5-3: Περιοχή ενδιαφέροντος.....	227
Σχήμα 5-4: Διαχωρισμός της περιοχής ενδιαφέροντος σε pixel.....	228
Σχήμα 5-5: Συσταδοποίηση (clustering) των pixels .....	228
Σχήμα 5-6: Ασαφή και ανώμαλα όρια κυψελών .....	229
Σχήμα 5-7: Εξαγωνικές κυψέλες.....	229
Σχήμα 5-8: Δομή UMTS προσομοιωτή.....	235
Σχήμα 5-9: Πιθανότητα απόρριψης κλήσεων έναντι του περιθωρίου υστέρησης.....	248
Σχήμα 5-10: Καθυστέρηση έναντι του περιθωρίου υστέρησης .....	249
Σχήμα 5-11: Αριθμός διαπομπών σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης.....	250
Σχήμα 5-12: Ρυθμός διαπομπών- PPA αλγόριθμος έναντι περιθωρίου υστέρησης .....	251
Σχήμα 5-13: Πιθανότητα απόρριψης κλήσης - PPA έναντι περιθωρίου υστέρησης.....	252
Σχήμα 5-14: Μείωση του αριθμού ring-pong διαπομπών μέσω του PPA αλγόριθμου.....	253
Σχήμα 5-15: Ποσοστό ring-pong διαπομπών με βάσει τις συνολικές διαπομπές .....	253
Σχήμα 5-16: Ρυθμός διαπομπών σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης, το $W$ και την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου.....	255
Σχήμα 5-17: Ποσοστό μείωσης στο ρυθμό διαπομπών εφαρμόζοντας τον PPA αλγόριθμο..	256
Σχήμα 5-18: Πιθανότητα απόρριψης κλήσης σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης, το $W$ και την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου .....	257
Σχήμα 5-19: Ποσοστό μείωσης στο ρυθμό διαπομπών εφαρμόζοντας τον PPA αλγόριθμο..	257
Σχήμα 5-20: Ρυθμός διαπομπών σε συνάρτηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου .....	259
Σχήμα 5-21: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων σε συνάρτηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου.....	260
Σχήμα 5-22: Αριθμός ανιχνευθέντων ring-pong διαπομπών σε συνάρτηση του σφάλματος θέσης.....	261
Σχήμα 5-23: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB αλγόριθμος έναντι μεθόδων καναλιών φρουράς και PCR.....	263
Σχήμα 5-24: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων λόγω αποτυχημένων διαπομπών – TTB αλγόριθμος έναντι μεθόδων καναλιών φρουράς και PCR.....	263
Σχήμα 5-25: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας- Σταθερό μοτίβο ταχύτητας καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης.....	266

Σχήμα 5-26: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας - Σταθερό μοτίβο ταχύτητας καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης.....	266
Σχήμα 5-27: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας- Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης.....	267
Σχήμα 5-28: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας - Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης.....	268
Σχήμα 5-29: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του λάθους θέσης- Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης.....	269
Σχήμα 5-30: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του λάθους θέσης - Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης.....	270
Σχήμα 5-31: Περιοχή εξυπηρέτησης.....	272
Σχήμα 5-32: Περιπτώσεις περιοχών hotspots.....	273
Σχήμα 5-33: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σετ $w_1, w_2$ βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	274
Σχήμα 5-34: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σετ $w_1, w_2$ βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	274
Σχήμα 5-35: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σετ βαρών $w_1, w_3$ για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	276
Σχήμα 5-36: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σετ $w_1, w_3$ βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	276
Σχήμα 5-37: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σετ $w_1, w_2, w_3$ βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	277
Σχήμα 5-38: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σετ $w_1, w_2, w_3$ βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR.....	278
Σχήμα 5-39: Οι περιπτώσεις από το Σχήμα 5-32 με την εφαρμογή του MDR αλγορίθμου....	280
Σχήμα 5-40: Blocking Rate - Συμπεριφορά του MDR σε διάφορες καταστάσεις επιπέδων φορτίου.....	282
Σχήμα 5-41: Drop Call Rate - Συμπεριφορά του MDR σε διάφορες καταστάσεις επιπέδων φορτίου.....	282
Σχήμα 5-42: Συνολικά λαμβανόμενη ισχύς/παρεμβολή ανά Node-B και ανά περίπτωση σετ βαρών της συνάρτησης του TPIO αλγορίθμου.....	286
Σχήμα 5-43: Ρυθμός αποκλεισμένων συνόδων ανά υπηρεσία στη ζεύξη ανόδου.....	287
Σχήμα 5-44: Εκπεμπόμενη ισχύς ανά Node-B και ανά περίπτωση σετ βαρών της συνάρτησης του TPIO αλγορίθμου.....	290
Σχήμα 6-1: Συστήματα πλοήγησης (Navigation Systems).....	304
Σχήμα 6-2: Αρχιτεκτονική υποστήριξη των LAH αλγορίθμων στο GSM.....	305
Σχήμα 6-3: Αρχιτεκτονική υποστήριξη των LAH αλγορίθμων στο UMTS.....	306



## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Εξέλιξη στις ασύρματες επικοινωνίες	30
Πίνακας 3-1: Παράμετροι και κατώφλια για τη διαδικασία διαπομπής	113
Πίνακας 4-1: Τιμές γωνιών κατεύθυνσης	163
Πίνακας 4-2: Παράδειγμα εφαρμογής της συνάρτησης “κόστους” για τον αλγόριθμο MDR και για δύο διαφορετικά σετ βαρών	202
Πίνακας 5-1: Παράμετροι φορτίου για την περιοχή κάλυψης των σεναρίων	230
Πίνακας 5-2: Παράμετροι αρχικοποίησης του προσομοιωτή	231
Πίνακας 5-3: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών UMTS []	236
Πίνακας 5-4: Ρυθμός δεδομένων υπηρεσιών UMTS	238
Πίνακας 5-5: Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων UMTS	245
Πίνακας 5-6: Παράμετροι αλγορίθμου ήπιας διαπομπής	246
Πίνακας 5-7: Δύο περιπτώσεις (8 και 10mErl ανά χρήστη) με κατώφλια, χαρακτηρισμού κυψέλης σαν hotspot, για το DCR 6% και το BR 10%	272
Πίνακας 5-8: Οι περιπτώσεις του Πίνακας 5-7 μετά την εφαρμογή του MDR αλγορίθμου	279
Πίνακας 5-9: Φορτίο ανά υπηρεσία στη ζεύξη ανόδου	284
Πίνακας 5-10: Φορτίο ανά υπηρεσία στη ζεύξη καθόδου	288





---

# Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

---



## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιχειρώντας να δώσουμε έναν ορισμό των επικοινωνιών, θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχουν στόχο την αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και την επιβεβαίωση της πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη.

Εξετάζοντας την ιστορική εξέλιξη των επικοινωνιών, παρατηρούμε ότι από την αρχαιότητα μέχρι το 2<sup>ο</sup> μισό του 19<sup>ου</sup> αιώνα δεν υπήρξε κάποια ουσιαστική πρόοδος στις μεθόδους που χρησιμοποιούσαν οι άνθρωποι για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών. Η εξέλιξη όμως του ηλεκτρισμού και της ηλεκτρονικής έδωσαν ώθηση για νέες εφευρέσεις, όπως ο τηλεγράφος (1854) και το τηλέφωνο (1876). Τα δίκτυά τους σταδιακά εξαπλώθηκαν σε όλον τον κόσμο αλλάζοντας οριστικά τον τρόπο επικοινωνίας των ανθρώπων.

Ένας βασικός περιορισμός της αρχικής μορφής αυτών των δύο μέσων ήταν η εξάρτησή τους από ενσύρματο μέσο, γεγονός που αφ' ενός μεν απαιτεί την εγκατάσταση καλωδιακής σύνδεσης προκειμένου να προσφερθούν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε κάποιον συνδρομητή, αφ' ετέρου δε περιορίζει έως και απαγορεύει την κινητικότητα του χρήστη. Έτσι με την πάροδο του χρόνου η έρευνα κινήθηκε στην κατεύθυνση της ανάπτυξης ασύρματων τηλεπικοινωνιών, αρχικά για στρατιωτικές και ναυσιπλοϊκές εφαρμογές ως και ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις, αργότερα για τη διασύνδεση ενσύρματων τηλεφωνικών δικτύων μεταξύ περιοχών που παρουσιάζουν δυσκολίες στην ενσύρματη σύνδεση (κυρίως νησιά) και πιο πρόσφατα για την ασύρματη κινητή τηλεφωνία, που συμπληρώνει το ενσύρματο τηλεφωνικό δίκτυο καλύπτοντας εγγενείς αδυναμίες του και που αποτελεί το βασικό αντικείμενο που εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Η σημερινή κατάσταση στο χώρο της πληροφορικής και τεχνολογίας χαρακτηρίζεται από τη ραγδαία εξέλιξη των συστημάτων κινητών και ασυρμάτων επικοινωνιών. Έπειτα από τα συστήματα 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> γενιάς βρισκόμαστε σήμερα μπροστά στην πρόκληση των συστημάτων 3<sup>ης</sup> γενιάς ενώ τα πρότυπα της 4<sup>ης</sup> γενιάς βρίσκονται ήδη καθ' οδόν. Ο Πίνακας 1-1 παρουσιάζει αυτή την εξέλιξη. Τα συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G) αναπτύχθηκαν γύρω στα 1980. Χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση κατά συχνότητα (FM) για επικοινωνία φωνής και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiple Access - FDMA) ως τεχνική πρόσβασης. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν τα AMPS (Advance Mobile Phone Service) στις Η.Π.Α., TACS (Total Access Communication System) στην

Ευρώπη και NTT στην Ιαπωνία. Ωστόσο, η ταχεία αύξηση των απαιτήσεων οδήγησε τα συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς σε κορεσμό όσον αφορά στη χωρητικότητα των χρηστών.

Τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς (2G), που εισήχθησαν στην αγορά γύρω στο 1991, προσφέρουν σαφώς καλύτερη ποιότητα φωνής και περισσότερο αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος. Τα νέα αυτά συστήματα χρησιμοποιούν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Σήμερα, η 2<sup>η</sup> γενιά εκπροσωπείται από το GSM, TDMA IS-136, PDC και cdmaOne. Εκτός από υπηρεσίες φωνής, τα συστήματα δεύτερης γενιάς παρέχουν σύντομα μηνύματα αλλά και χαμηλού ρυθμού υπηρεσίες δεδομένων στα 9,6-14,4Kbps. Τα συστήματα τόσο της 1<sup>ης</sup> όσο και της 2<sup>ης</sup> γενιάς βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit-switching), η οποία είναι μη αποδοτική ιδιαίτερα όταν πρόκειται για υπηρεσίες προσανατολισμένες σε πακέτα (packet-oriented).

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς που αναπτύσσονται σήμερα και αναφέρονται ως Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunication System - UMTS), έχουν ως πρωταρχικό στόχο την ενοποίηση των σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε ένα οικουμενικό, παγκόσμιο σύστημα. Εκτός από την καθολικότητα όμως, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, η ευελιξία, η αφθονία υπηρεσιών σε συνδυασμό και με την καλύτερη ποιότητα των τελευταίων αποτελούν βασικές επιδιώξεις των εν λόγω συστημάτων. Οι ρυθμοί στη μετάδοση δεδομένων είναι της τάξης των 144Kbps για χρήστες υψηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές, 384Kbps για χρήστες χαμηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές, αντίστοιχα, αλλά και 2 Mbps για τοπική κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους. Τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς επιτρέπουν τόσο τη μεταγωγή κυκλώματος όσο και τη μεταγωγή πακέτου και επομένως παρέχουν προηγμένη και ευέλικτη υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service – QoS). Οι υπηρεσίες που είναι ευαίσθητες στη χρονική καθυστέρηση όπως η φωνή και το βίντεο παρέχονται με μεταγωγή κυκλώματος, ενώ η κίνηση δεδομένων που αντέχει σε σχετικά μεγάλες καθυστερήσεις μπορεί να παρασχεθεί με μεταγωγή πακέτου ώστε να γίνει αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος.

Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) επιλέχθηκε ως η βασική τεχνολογία για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Πιο συγκεκριμένα, η ευρείας ζώνης πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Wideband CDMA – WCDMA) που είναι μια εξέλιξη του CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA – DS/CDMA), προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή κοινότητα ως το 3G ασύρματο πρότυπο. Το cdma2000, που

χρησιμοποιεί CDMA πολλαπλών φερόντων (Multi Carrier CDMA – MC/CDMA), είναι η αντίπαλη πρόταση από τη μεριά των Η.Π.Α.

Προφανώς, η εξέλιξη από τη 2<sup>η</sup> στην 3<sup>η</sup> γενιά δεν πραγματοποιήθηκε σε ένα βήμα. Ένα πολύ σημαντικό ενδιάμεσο στάδιο αποτέλεσε η λεγόμενη 2,5 γενιά (2,5G). Το GPRS (General Packet Radio Service) είναι ένα εξελιγμένο σύστημα GSM που προσφέρει λύσεις μεταγωγής πακέτου. Εξάλλου, το πέρασμα από το cdmaOne στο cdma2000 έγινε μέσω των cdma2000 1x και cdma2000 3x. Η απόκλιση μεταξύ των προτύπων βάζει όρια στην περιαγωγή (roaming) χρηστών ανάμεσα στα διάφορα δίκτυα.

Η έρευνα όσον αφορά την 4<sup>η</sup> γενιά (4G) στις κινητές επικοινωνίες έχει ήδη ξεκινήσει. Το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol – IP) μπορεί ενδεχομένως να αποτελέσει το καθολικό πρωτόκολλο του στρώματος δικτύου για όλα τα ασύρματα συστήματα όπως άλλωστε ισχύει για τα αντίστοιχα ενσύρματα δίκτυα πακέτων. Προς το παρόν, η έρευνα για την 4<sup>η</sup> γενιά επικεντρώνεται 1) στην παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης, 2) στην επίτευξη οικουμενικής περιαγωγής και διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών, και 3) στην παροχή μιας πλατφόρμας που να εξασφαλίζει προηγμένους τύπους υπηρεσιών.

Συνοπτικά, στην ταχύτερη εξέλιξη στο χώρο των κινητών επικοινωνιών συνετέλεσε η μεγάλη ζήτηση από τους συνεχώς αυξανόμενους χρήστες, οι απαιτήσεις για νέες και υψηλής ποιότητας εφαρμογές, καθώς επίσης και η σημαντική πρόοδος στους τομείς της τεχνολογίας και πληροφορικής. Στο μέλλον, οι κινητοί χρήστες προσδοκούν στην παροχή υπηρεσιών που σήμερα απολαμβάνουν μέσω των σταθερών δικτύων. Τα μελλοντικά ασύρματα συστήματα απαιτείται να παρέχουν μεγαλύτερη υποστήριξη της κινητικότητας και επαρκή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) καθώς ο χρήστης μετακινείται από περιοχή σε περιοχή. Επιπροσθέτως, οι μελλοντικές εφαρμογές θα απαιτούν περισσότερους πόρους από ποτέ. Συνεπώς, ο αποδοτικός σχεδιασμός και διαχείριση των πόρων θα παίξουν ρόλο ζωτικής σημασίας στην παροχή της επιθυμητής ποιότητας υπηρεσίας και στη βελτιστοποίηση της χρησιμοποίησης του δικτύου.

Πίνακας 1-1. Εξέλιξη στις ασύρματες επικοινωνίες

Attribute	1G	2G	2.5G	3G	4G
Starting Time	1985	1992	1995	2002	2010-2012
Driven Technique	Analogue signal processing	Digital signal processing	Packet switching	Intelligent signal processing	Intelligent software Auto configuration
Representative Standard	AMPS, TACS, NMT	GSM, TDMA	GPRS,I-mode, HSCSD, EDGE	IMT-2000 (UMTS, WCDMA, CDMA2000)	OFDM, UWB
Radio Frequency (HZ)	400M-800M	800M-900M, 1800M-1900M		2G	3G-5G
Bandwidth (bps)	2.4K-30K	9.6K-14.4K	171K-384K	2M-5M	10M-20M
Multi-address Technique	FDMA	TDMA, CDMA		CDMA	FDMA, TDMA, CDMA
Cellular Coverage	Large area	Medium area		Small area	Mini area
Core Networks	Telecom networks	Telecom networks		Telecom networks, Some IP networks	All-IP networks
Service Type	Voice Mono-service Person-to-person	Voice, SMS Mono-media Person-to-person	Data service	Voice, Data Some Multimedia Person-to-machine	Multimedia Machine-to-machine

## 1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η κύρια συνεισφορά της παρούσας διδακτορικής διατριβής επικεντρώνεται σε μια σημαντική διαδικασία των ασύρματων δικτύων τη διαπομπή (Handover ή Handoff). Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα σταθερότητας των υπάρχοντων δικτύων αλλά παράλληλα και μια περιοχή εκτενούς μελέτης και έρευνας με απώτερο σκοπό

τη συνεχώς βελτιούμενη απόδοση αυτών. Είναι δε, πολύ σημαντική για τα μελλοντικά ασύρματα περιβάλλοντα όπου υπηρεσίες πολυμέσων κάνουν σιγά-σιγά την εισαγωγή τους. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις από τους συνεχώς αυξανόμενους χρήστες για νέες, συνεχείς και υψηλής ποιότητας εφαρμογές καθιστούν διαδικασίες πολύπλοκες, όπως το handover, πολύ σημαντικά για την αξιόπιστη απόδοση των ασύρματων δικτύων.

Εκτενείς μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την βελτίωση της διαδικασίας διαπομπών. Οι έρευνες μελετούν τη διαδικασία σε όλα τα ασύρματα και κινητά δίκτυα που είναι γνωστά. Αυτές προσπαθούν να αντιμετωπίσουν τα διάφορα προβλήματα στη διαπομπή με πολλές ξεχωριστές προτεινόμενες λύσεις. Κάποιες από αυτές χρησιμοποιούν την ιδέα ενσωμάτωσης της τεχνολογίας εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού για την βελτιστοποίηση αυτής της διαδικασίας. Αυτές υπήρξαν και τα βασικά κίνητρα για τη συγγραφή της παρούσης έρευνας. Οι μηχανισμοί εντοπισμού θέσης είναι στρατηγικής σημασίας, πλέον, για τους φορείς παροχής ασύρματων υπηρεσιών και δικτύων. Εκμεταλλεύοντας αυτή την πληροφορία, ο φορέας επιτρέπει στο χρήστη να γευτεί υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (value-added) και στον εαυτό του να επεκτείνει τα κέρδη του. Οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, εκτός από το στόχο της ανάπτυξης LBS (Location Based Services) εφαρμογών, έχουν και έναν επίσης σημαντικό ρόλο να βοηθήσουν τους φορείς αυτούς, μέσα από την αξιοποίηση τους, στον καλύτερο σχεδιασμό των δικτύων και στην σταθερότητα και βελτίωση της απόδοσης αυτών.

Οι διαδικασίες διαπομπής σε ασύρματα δίκτυα με χρήση πληροφορίας θέσης κινητού τερματικού αποτελεί και το κύριο αντικείμενο μελέτης της παρούσης διδακτορικής διατριβής. Έτσι η διατριβή αυτή παρουσιάζει, κατά κύριο λόγο, τη μελέτη, υλοποίηση, αξιολόγηση και αποτίμηση ενός συνόλου αλγορίθμων διαπομπής στα ασύρματα δίκτυα με τη χρήση πληροφορίας θέσης του κινητού τερματικού (*Location Aided Handover-LAH*).

Από τη στιγμή, που τα τερματικά βρισκόμενα σε οχήματα αντιμετωπίζουν πιο συχνά τη διαδικασία διαπομπής, λόγω της αυξημένης ταχύτητας, είναι αυτά που θα επωφεληθούν περισσότερο. Αυτή η κατηγορία τερματικών αποτελούν και τον κύριο στόχο των προτεινόμενων αλγορίθμων στα πλαίσια αυτής της διατριβής.

Πολλές διαδικασίες και μηχανισμοί εξετάστηκαν λεπτομερώς πριν φθάσει αυτή η έρευνα στους προτεινόμενους αλγόριθμους: Η ακρίβεια της θέσης του κινητού τερματικού, το κόστος για την επίτευξη αυτής, η ενσωμάτωση διαφόρων πληροφοριών της περιοχής κάλυψης, όπως της τοπολογία δρόμων, μοντέλα διάδοσης και διαδικασίες διαλείψεων για το

λαμβανόμενο σήμα, οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι διαπομπής, όπως έχουν καθοριστεί από τα διάφορα πρότυπα, μελετώνται και εξετάζονται στα πλαίσια αυτής της διατριβής και προς όφελος της αποτελεσματικότερης μελέτης και εφαρμογής των προτεινόμενων αλγορίθμων. Οι αλγόριθμοι LAH αλλά και όλες οι παραπάνω διαδικασίες δοκιμάστηκαν και αξιολογήθηκαν μέσα από την εφαρμογή τους σε δύο ανεξάρτητους προσομοιωτές (GSM, UMTS simulators). Επίσης μια πραγματική δοκιμή σε ένα περιβάλλον ετερογενές (GPRS, IEEE 802.11.b) έλαβε χώρα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ξεκάθαρα την επιρροή αυτών των αλγορίθμων στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαπομπή όπως και στη γενικότερη απόδοση των δικτύων. Οι κρίσιμες παράμετροι, για την απόδοση δικτύων, όπως οι ρυθμοί αποκλεισμού και απόρριψης κλήσεων, ο ρυθμός διαπομπών σε ένα σύστημα, τα επίπεδα παρεμβολής και ο έλεγχος ισχύος εξετάζονται αναλυτικά μέσα από την εφαρμογή των LAH αλγορίθμων.

### **1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Η δομή της παρούσης διδακτορικής διατριβής ακολουθεί και κατά κάποιο τρόπο τη σειρά μελέτης και έρευνας που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια συγγραφής αυτής. Η διατριβή αυτή οργανώθηκε σε 6 κεφάλαια.

Στη συνέχεια του **πρώτου κεφαλαίου** πραγματοποιείται μια συνοπτική περιγραφή των δικτύων GSM, UMTS και μια δίνεται μια πρώτη εικόνα για τα μελλοντικά συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η γενική περιγραφή αυτών των συστημάτων επικεντρώνεται κυρίως στη διαχείριση ραδιοδιάλων και στη διαχείριση κινητικότητας για το GSM, αφού αυτά τα δύο κυρίως συσχετίζονται και με τη διαδικασία διαπομπής, στη γενική αρχιτεκτονική, στη μέθοδο σχεδιασμού, στις βασικές διαδικασίες και στις απαιτήσεις των υπηρεσιών ενός δικτύου UMTS μιας και αυτές είναι σημαντικές για την περαιτέρω έρευνα στην παρούσα εργασία. Τέλος δίνεται και μια πρώτη εικόνα ενός ετερογενούς περιβάλλοντος 4G με σκοπό την πιθανή μελλοντική επέκταση των προτεινόμενων αλγορίθμων σε τέτοια συστήματα.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, επιχειρείται μία πρώτη παρουσίαση και αξιολόγηση της πλειονότητας των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης, με αναφορά στα επιμέρους ειδικά, χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, στην απόδοση και στα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα, που αυτές παρουσιάζουν, με γνώμονα, πάντοτε, τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα. Αυτή η παρουσίαση κρίνεται απαραίτητη για την πλήρη γνώση και κατανόηση των



πολλών δυνατοτήτων αλλά και περιορισμών που υπάρχουν ή μπορεί να υπάρξουν στο άμεσο μέλλον από την ενσωμάτωση των διαφόρων τεχνολογιών εντοπισμού θέσης στα διάφορα ασύρματα δίκτυα και με στόχο την προσφορά αυξημένης ποιότητας υπηρεσιών προς του χρήστες. Οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, όπως αυτές παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο ταξινομούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, α) Τεχνολογίες βασισμένες στις δυνατότητες του δικτύου (*Network Based*), β) Τεχνολογίες βασισμένες στο τερματικό (*Handset Based*), γ) Τεχνολογίες βασισμένες στις δορυφορικές τεχνολογίες και δ) Τεχνολογίες βασισμένες στον συνδυασμό μεθόδων, οι λεγόμενες Υβριδικές Μέθοδοι (*Hybrid Methods*).

Το επόμενο κεφάλαιο, **τρίτο κεφάλαιο**, παρουσιάζει αναλυτικά τη διαδικασία διαπομπής για τα δίκτυα όπου μελετώνται στα πλαίσια αυτής της διατριβής, όπως αυτό της 2<sup>ης</sup> γενιάς GSM (§3.2), του UMTS (§3.3) και των ετερογενών συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς (§3.4), περιγράφεται παρακάτω. Για το GSM, καταγράφεται λεπτομερής περιγραφή των αιτιών, των κριτηρίων, της διαδικασίας απόφασης και των διαδικασιών εκτέλεσης της διαπομπής. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη διαπομπή σε μικροκυψέλες (*microcellular handoff*) καθώς και στις επικαλύψεις μικρο/μακρο-κυψελών (*micro/macro cell overlays*). Περαιτέρω, περιγράφονται και οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι διαπομπής για το GSM όπως αυτές ορίζονται από τα πρότυπα της ETSI [1]. Σχετικά με το δίκτυο UMTS, γίνεται λεπτομερής αναφορά στη κατηγοριοποίηση της διαπομπής σε ενδοκομβική, διακομβική, δια-UTRAN, διασυστημική διαπομπή μεταξύ UMTS και GSM, αλλά και στη βασικότερη διάκριση μεταξύ σκληρών και ήπιων διαπομπών [2][3][4][5]. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με μια παρουσίαση της διαπομπής στα πλαίσια ετερογενών περιβαλλόντων 4<sup>ης</sup> γενιάς και ειδικά στο πρωτόκολλο του κινητού IP (*Mobile IP*- §3.4.1), το οποίο κατέχει κυρίαρχη θέση στην διαδικασία αυτή.

Το **τέταρτο κεφάλαιο**, όπου αποτελεί και το κύριο μέρος της επιστημονικής συνεισφοράς της διατριβής αυτής, παρουσιάζει την μελέτη και ανάπτυξη των προτεινόμενων αλγορίθμων διαπομπής με χρήση της πληροφορίας θέσης του τερματικού. Αυτή η μελέτη παρουσιάζεται μέσα από την ανάδειξη κάποιων προβλημάτων και περιορισμών στους υπάρχοντες αλγορίθμους διαπομπής τόσο στο GSM όσο και στο UMTS. Μάλιστα πραγματοποιείται και μια ανάλυση στατιστικών αποτελεσμάτων από ένα σύστημα GSM προκειμένου να αναδειχθεί η κρισιμότητα της διαδικασίας διαπομπής. Στο κεφάλαιο αυτό, δίδεται βάρος στην ανάλυση κάποιων από τα φαινόμενα τα οποία έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία

όπως το φαινόμενο ring-pong όσο και αυτό της απότομης συμφόρησης και δημιουργίας περιοχών υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου ή hotspot που προκαλούν προβλήματα στην διαδικασία διαπομπής και κατά συνέπεια στην απόδοση δικτύου. Στα πλαίσια της αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων παρουσιάζονται δύο αλγόριθμοι όπου κάνουν χρήση μεταξύ άλλων και της θέσης του κινητού τερματικού (§4.2&4.4). Επίσης, παρουσιάζεται μια εκτενής έρευνα για τις διαπομπές προτεραιότητας και τις δυσκολίες όπου συναντώνται σε αυτές. Ένας νέος αλγόριθμος προτεραιοτήτων στις διαπομπές, όπου βασίζεται στη θέση και κίνηση του χρήστη, παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο (§4.3). Τέλος, το πρόβλημα που προκαλείται από τις ισχύς μετάδοσης και τα ποσοστά παρεμβολών σε ένα σύστημα WCDMA θα αναπτυχθεί στην παράγραφο 4.5. Εκεί παρουσιάζονται μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα αλλά και ο προτεινόμενος αλγόριθμος, όπου ουσιαστικά επεμβαίνει στην επιλογή και επανεπιλογή των υποψήφιων κυψελών για το ενεργό σύνολο (*active set*) ενός χρήστη στο UMTS.

Οι τέσσερις αυτοί αλγόριθμοι αποτιμώνται και αξιολογούνται στο **πέμπτο κεφάλαιο**. Η αποτίμηση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση προσομοιώσεων. Οι προσομοιώσεις παρέχουν έναν έλεγχο στην ακρίβεια της ανάλυσης, αλλά επιπλέον επιτρέπουν και την έρευνα περίπλοκων σεναρίων που θα ήταν είτε δύσκολο είτε αδύνατο να αναλυθούν. Η προσομοίωση, αξιολόγηση και αποτίμηση των αλγορίθμων LAH που προτείνονται στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής απαιτούσαν την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου περιβάλλοντος προσομοίωσης τόσο για το GSM όσο και για το UMTS. Η περιγραφή αυτών γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο. Μέσα από τις πολυάριθμες προσομοιώσεις δίδονται τα πολλαπλά αποτελέσματα όπου προέκυψαν. Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν καταρχήν ανά αλγόριθμο και στη συνέχεια ανά σενάριο.

Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν και στα πολύτιμα συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής, όπως αυτά παρουσιάζονται στο **έκτο κεφάλαιο**. Εκεί, πέρα από τα συμπεράσματα ανά προτεινόμενο αλγόριθμο και σενάρια, παρουσιάζονται και τα θέματα προς περαιτέρω έρευνα. Θέματα που δεν αντιμετωπίζονται από την παρούσα διατριβή και θα μπορούσαν να αποτελέσουν βάση για περαιτέρω μελέτη και έρευνα. Έτσι, παρουσιάζονται κάποια γενικά θέματα για επέκταση αλλά και συγκεκριμένα για κάθε αλγόριθμο.

## 1.4 GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS)

Το πρότυπο **GSM (Groupe Speciale Mobile)** δημιουργήθηκε από τη CEPT (*Conference of European Postal and Communications – Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών*) και προδιαγράφει ένα ψηφιακό κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Η ομάδα έρευνας δημιούργησε το σύστημα που αργότερα διατήρησε τα ίδια αρχικά, μετονομάστηκε όμως σε *Global System for Mobile communications*. [6]

Η βασική ιδέα παραμένει η ίδια με τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα, δηλαδή η διαίρεση των περιοχών σε μικρότερες κυψέλες με πομπούς όσο το δυνατόν μικρότερης ισχύος και σε όσο το δυνατόν μικρότερο ύψος, ενώ παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες συχνότητες σε διαφορετικές, μη γειτονικές κυψέλες. Κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθερό σταθμό βάσης με κατάλληλη κεραία που να καλύπτει όλη την έκταση της. Ο σταθμός συνδέεται ασύρματα με τα φορητά τερματικά ενώ συνήθως συνδέεται ενσύρματα με τον κορμό του δικτύου.

Η τεχνολογία του GSM βασίζεται στη μετατροπή του αναλογικού σήματος φωνής σε ψηφιακό και τη μετάδοση του γύρω από τις συχνότητες 900 ή 1800MHz, σε κανάλια εύρους 200kHz. Το σύστημα GSM επιτρέπει την κίνηση των συνδρομητών του τόσο εντός της ίδιας κυψέλης, όσο και μεταξύ διαφορετικών κυψελών χωρίς διακοπή της επικοινωνίας. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης μπορεί να είναι έως 240km/h ώστε να μη δημιουργούνται προβλήματα από τη ολίσθηση συχνότητας λόγω του φαινομένου Doppler.

Η εκπομπή από το σταθμό βάσης (*downlink*) για το GSM 900 γίνεται στην περιοχή 935-960MHz, ενώ η εκπομπή από τα κινητά τερματικά (*uplink*) στην περιοχή 890-915MHz. Για το GSM 1800 (ή όπως είναι πιο γνωστό, *Digital Cellular System 1800*), οι αντίστοιχες συχνότητες είναι 1805-1880MHz για το *downlink* και 1710-1785MHz για το *uplink*. [7]

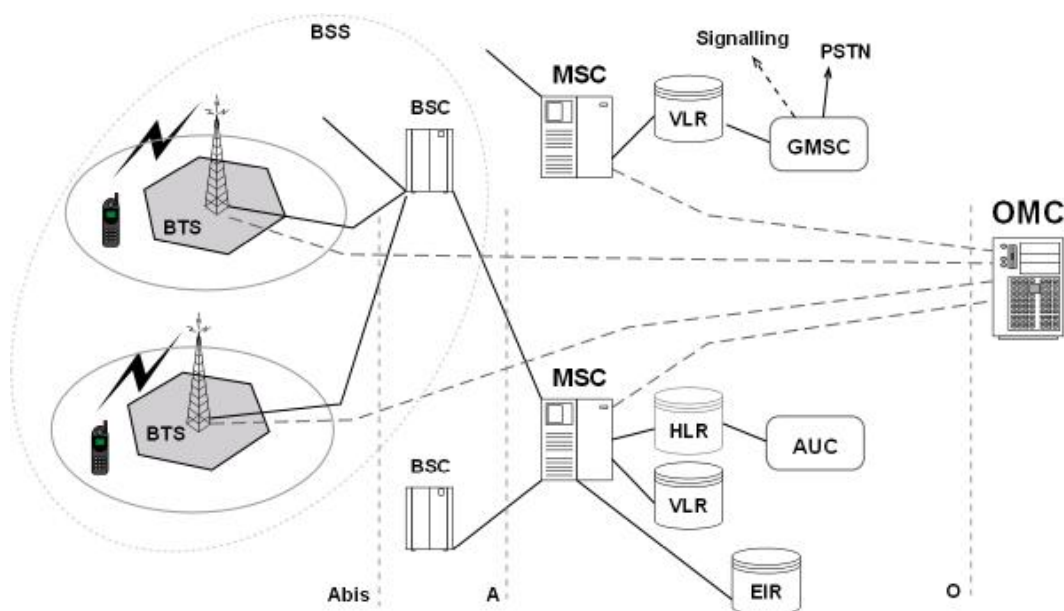
Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το κάθε κανάλι έχει εύρος 200kHz, στο μεν GSM 900 έχουμε 125 κανάλια εκπομπής / λήψης, ενώ στο DCS 1800 τα κανάλια είναι 375. Οι συνηθισμένες τιμές για τις ισχύεις εκπομπής είναι για τους σταθμούς βάσης του GSM περίπου 10W για μέγιστη ακτίνα κάλυψης 30km, ενώ στο DCS δεν ξεπερνά τα 8km. Τα κινητά τερματικά δεν ξεπερνούν τα 2W για το GSM και το 1W για το DCS.

Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται η αρχιτεκτονική του συστήματος GSM, η διαχείριση κινητικότητας, τα φυσικά και λογικά κανάλια του GSM, και οι διαδικασίες

ενημέρωσης θέσης και διαπομπής μιας και αυτό είναι απαραίτητο για την ορθή κατανόηση των προτεινόμενων αλγορίθμων διαπομπής που υποβοηθούνται από τη θέση του χρήστη και την σωστή αξιολόγηση των παραμέτρων του δικτύου, που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια [3.5]

#### **1.4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GSM**

Σήμερα το GSM είναι το πλέον διαδεδομένο σύστημα παγκοσμίως, έχει υιοθετηθεί από 500 περίπου πάροχους σε 160 χώρες και παρέχει υπηρεσίες σε 450 εκ. χρήστες, καλύπτοντας πάνω από το 60% της παγκόσμιας αγοράς ασυρμάτων δικτύων. Ένα GSM δίκτυο αποτελείται από διακεκριμένες οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους είναι καθορισμένες. Στο Σχήμα 1-1 φαίνεται ο λεπτομερής σχεδιασμός ενός γενικού GSM δικτύου. Το δίκτυο GSM χωρίζεται σε 3 μέρη: το *Mobile Station* (MS), το *Base Station Subsystem* (BSS) και το *Network Subsystem* (NS). Το MS το κρατάει ο χρήστης. Το BSS ελέγχει το ραδιοδιάλογο που συνδέεται με το κινητό. Τέλος το NS, του οποίου το κύριο μέρος είναι το *Mobile Switching Center* (MSC), είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή των κλήσεων μεταξύ δύο κινητών αλλά και μεταξύ ενός κινητού και ενός σταθερού τηλεφώνου. Στο Σχήμα 1-1 φαίνεται το τμήμα *Operations and Maintenance Center* (OMC), το οποίο επιβλέπει τη σωστή λειτουργία και το στήσιμο του δικτύου. Το MS και το BSS επικοινωνούν διαμέσου του *U<sub>m</sub> interface*, γνωστό επίσης και ως ζεύξη μέσω του αέρα ή ραδιοζεύξη. Το BSS επικοινωνεί με το MSC διαμέσου του *A interface*. [8]



Σχήμα 1-1: Αρχιτεκτονική και στοιχεία του GSM

Αν και το GSM έχει επικρατήσει πλήρως και σε μεγάλο βαθμό καλύπτει τις ανάγκες για κινητές επικοινωνίες φωνής, η κυριαρχούσα τάση των τηλεπικοινωνιών που προβλέπει τη χρήση τους και για επικοινωνίες δεδομένων πέρα από φωνής, δε θα μπορούσε να εξαιρέσει τα κυψελωτά δίκτυα. Το εύρος ζώνης που διαθέτει το GSM για *data* είναι μόλις 9,6kbps και κρίνεται μάλλον ανεπαρκές. Έγινε λοιπόν εμφανής η ανάγκη σε πρώτη φάση τροποποίησης και συμπλήρωσης των κυψελωτών δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς, που έχει κυριαρχήσει να αποκαλείται Γενιά 2,5 ενώ μακροπρόθεσμα προβλέπεται η πλήρης αντικατάσταση από τα Κυψελωτά Δίκτυα 3<sup>ης</sup> Γενιάς.

## 1.4.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟΔΙΑΥΛΩΝ

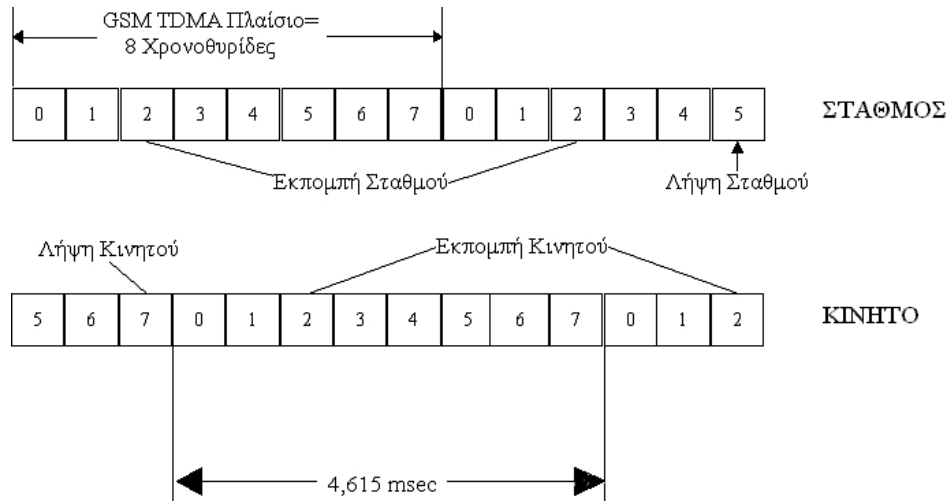
### 1.4.2.1 Φυσικά κανάλια

Στο GSM, η επικοινωνία του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης γίνεται με διαύλους συχνοτήτων που διαχωρίζονται μεταξύ τους κατά το σχήμα *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). Οι συχνότητες στην *downlink* κατεύθυνση είναι διαφορετικές από αυτές που χρησιμοποιούνται στην *uplink*, κατά το σχήμα FDD (*Frequency Division Duplex*) και συνολικά δίνονται από τον εξής τύπο[6]:

$$f_u(n) = (890 + 0,2n)\text{MHz (uplink)}, 1 \leq n \leq 124 \quad (1-1),$$

$$f_d(n) = (935 + 0,2n)\text{MHz (downlink)}, 1 \leq n \leq 124 \quad (1-2),$$

Σε κάθε κανάλι του σταθμού βάσης μπορούν να συνομιλούν ταυτόχρονα οκτώ διαφορετικά κινητά τηλέφωνα. Η κοινή χρήση του καναλιού επιτυγχάνεται με τεχνική TDMA (*Time Division Multiple Access* - Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου) οκτώ χρονοθυρίδων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, το μήκος του TDMA πλαισίου είναι 4,615msec. [8]



Σχήμα 1-2: Το πλαίσιο του TDMA

Αξιοσημείωτη ακόμα είναι η μη ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη του κινητού με την τεχνική TDD (*Time Division Duplexing* - Αμφιδρόμηση με Διαίρεση Χρόνου), γεγονός που επιτρέπει τη μείωση του βάρους, του κόστους και της κατανάλωσης των κινητών. Στο πλαίσιο TDMA χρησιμοποιείται διαφορετική χρονοθυρίδα για την εκπομπή και για τη λήψη, για να εξασφαλίζεται η μη ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη. Προβλέπεται δε η εκπομπή από το κινητό με καθυστέρηση τριών χρονοθυρίδων μετά τη λήψη από το σταθμό βάσης.

Κάθε *time slot* του TDMA frame αποτελεί και ένα φυσικό κανάλι. Πάνω στα φυσικά κανάλια δομούνται τα λογικά κανάλια του *Air-interface* του GSM, που αποτελούν το επόμενο βήμα λογικής αφαίρεσης.

#### 1.4.2.2 Λογικά κανάλια

Ένα μεγάλο ποσό πληροφορίας πρέπει να μεταδοθεί μεταξύ του MS και του BTS, συγκεκριμένα κίνηση και σηματοδότηση ελέγχου. Ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που μεταδίδεται, κάνουμε λόγο για διαφορετικά λογικά κανάλια. Τα λογικά αυτά κανάλια αντιστοιχούν με ορισμένο τρόπο σε συγκεκριμένα slots στο TDMA frame, και άρα σε

συγκεκριμένα φυσικά κανάλια. Οι κύριες κατηγορίες λογικών καναλιών είναι δύο, τα κανάλια κίνησης (*Traffic CHannels – TCHs*) και τα κανάλια ελέγχου (*Control CHannels – CCHs*). Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κανάλια εκπέμπουν μόνο προς μια κατεύθυνση, *uplink* ή *downlink*, ενώ σε άλλες και στις δύο. Σε κάθε περίπτωση όμως που ένα κανάλι εκπέμπει και στις δύο κατευθύνσεις, πάντα αυτές λογίζονται ως ζεύγος και εμφανίζονται πάντα μαζί. Τα κανάλια που εκπέμπουν και *downlink* είναι δυνατόν να λειτουργούν *point-to-multipoint* όταν η *downlink* κατεύθυνση αναφέρεται στο σύνολο των συνδρομητών του BTS, ή *point-to-point* όταν η κατεύθυνση αυτή αναφέρεται σε συγκεκριμένο κάθε φορά συνδρομητή. [6]-[8]

#### 1.4.2.2.1 Κανάλια Κίνησης

Τα TCHs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν ψηφιακά κωδικοποιημένη φωνή ή δεδομένα χρήστη και προς τις δυο κατευθύνσεις (MS προς BTS, BTS προς MS). Υπάρχουν δύο τύποι TCHs που διαφοροποιούνται από το ρυθμό μετάδοσης που είναι οι ακόλουθοι:

1. Ένα full rate TCH (ή  $B_m$  κανάλι) μεταφέρει πληροφορία με συνολικό ρυθμό 22,8kbps. Ο πραγματικός ρυθμός αποστολής δεδομένων είναι 13kbps για φωνή, οπότε τα υπόλοιπα 9,8kbps χρησιμοποιούνται για διόρθωση σφαλμάτων και 9,6kbps, 4,8kbps και 2,4kbps για δεδομένα χρήστη, που δίνουν αντίστοιχα συνολικούς ρυθμούς 12kbps, 6kbps και 3,6kbps.
2. Ένα half rate TCH (ή  $L_m$  κανάλι) χρησιμοποιεί ακριβώς τα μισά slots από ένα *full rate* TCH και, επομένως, μεταφέρει πληροφορία με συνολικό ρυθμό 11,4kbps. Όλα τα 11,4kbps μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φωνή. Εναλλακτικά αποδίδονται 4,8kbps και 2,4kbps για δεδομένα χρήστη που δίνουν αντίστοιχα συνολικούς ρυθμούς 6kbps και 3,6kbps.

#### 1.4.2.2.2 Κανάλια ελέγχου

Τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται για σηματοδότηση και για έλεγχο συστήματος και τα δεδομένα τα οποία μεταφέρουν δεν είναι προσβάσιμα από τις εφαρμογές των χρηστών. Τυπικές εργασίες τις οποίες επιτελούν είναι η εγκατάσταση, διατήρηση και απελευθέρωση καναλιών κίνησης, η διαχείριση κινητικότητας και ο έλεγχος πρόσβασης στο σύνολο των καναλιών του Air-interface. Τα κανάλια ελέγχου διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες:

1. *Broadcast Control CHannels (BCCHs)*
  - a. *Frequency Correction CHannel (FCCH)*
  - b. *Synchronization CHannel (SCH)*
  - c. Κυρίως BCCH
2. *Common Control CHannels (CCCHs)*
  - a. *Paging CHannel (PCH)*
  - b. *Random Access CHannel (RACH)*
  - c. *Access Grant CHannel (AGCH)*
3. *Dedicated Control CHannels (DCCHs)*
  - a. *Stand-alone Dedicated Control CHannel (SDCCH)*
  - b. *Slow Associated dedicated Control CHannel (SACCH)*
  - c. *Fast Associated dedicated Control CHannel (FACCH)*

Τα κανάλια που θα απασχολήσουν την έρευνα πάνω στη διαδικασία διαπομπής αλλά και στη διαδικασία αποδοχής κλήσης είναι το SDCCH και το SACCH.

Το SDCCH κανάλι χρησιμοποιείται όταν ένα κανάλι κίνησης TCH δεν έχει αποδοθεί, είτε το TCH αποδοθεί στο μέλλον, είτε δεν αποδοθεί καθόλου. Το SDCCH αποδίδεται στο κινητό τερματικό στη γενική περίπτωση για τη σταθερή χρονική διάρκεια των 5sec ανεξάρτητα από την ποσότητα πληροφορίας που μεταφέρεται μέσω αυτού. Οι αρμοδιότητες του καναλιού αυτού περιλαμβάνουν την εγγραφή (*registration*) του MS στο δίκτυο, την πιστοποίηση της ταυτότητάς του (*authentication*), την ενημέρωση θέσης και την μετάδοση δεδομένων κατά την εγκατάσταση κλήσης.

Το SACCH κανάλι λειτουργεί πάντα παράλληλα με ένα κανάλι TCH ή SDCCH και διαχωρίζονται λογικά από αυτά. Μεταφέρει πληροφορία συστήματος και μετρήσεων για την ισχύ σήματος και την ποιότητα του λαμβανομένου σήματος. Το κανάλι αυτό είναι απαραίτητο για την υποβοηθούμενη από το κινητό τερματικό διαπομπή και έχει χρήση, τέλος, στην χρονική ευθυγράμμιση μεταξύ MS και BTS.

### **1.4.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Η διαχείριση κινητικότητας στα συστήματα 2G περιλαμβάνει κυρίως δύο διαδικασίες: τη διαδικασία ενημέρωσης θέσης και τη διαδικασία διαπομπής η οποία είναι και το κύριο θέμα



έρευνα σε αυτή τη διατριβή. Ανάλογα, ο παραδοσιακός ορισμό της διαδικασίας κινητικότητας αναφέρεται και ως κινητικότητα τερματικού (terminal mobility)[9].

#### 1.4.3.1 Διαδικασία ενημέρωσης θέσης (location update)

Όταν ένα κινητό τερματικό μεταγεται σε μια περιοχή εντοπισμού (*Location Area - LA*) διαφορετική από εκείνη στην οποία βρίσκονταν ή διασχίζει τα όρια μιας περιοχής εντοπισμού σε άεργη κατάσταση (*idle*) τότε αποστέλλεται ένα μήνυμα "*RIL3 - Location Updating Request*". Το μήνυμα αυτό κατευθύνεται από το MS στο BSS, προωθείται και στο MSC. Το MSC με τη σειρά του ειδοποιεί το VLR με ένα μήνυμα "*MAP/B Update LA*". Η διαδικασία της κρυπτογράφησης - *ciphering* - μπορεί πλέον να αρχίσει. Με την συμπλήρωση της κρυπτογράφησης το HLR στέλνει μήνυμα "*MAP/D Location Update Result*" στο VLR, το οποίο με τη σειρά του στέλνει ένα μήνυμα "*MAP/B Location Update Acknowledge*" στο MSC. Αυτό τελικά καταλήγει στο κινητό τερματικό σαν μήνυμα "*RIL3-RR Location Update Accepted*". Με την λήψη του μηνύματος αποδοχής του *Location Update* το MSC ζητά από το BSS να απελευθερώσει τους δεσμευμένους πόρους του συστήματος με μια εντολή "*BSSMAP Clear Command*". Η διαδικασία της ενημέρωσης θέσης ολοκληρώνεται όταν το BSS ενημερώσει το MSC με ένα μήνυμα "*BSSMAP Clear Complete*". [6]

#### 1.4.3.2 Διαδικασία Διαπομπής

Το *handover* είναι εκείνο το χαρακτηριστικό του GSM που κάνει τα τερματικά του δικτύου πραγματικά “κινητά”. Η διαδικασία του *handover* είναι απαραίτητη για την αποφυγή της διακοπής μιας κλήσης, που εμπλέκει ένα κινητό τερματικό, την στιγμή που το τερματικό διασχίζει το σύνορο δύο κυψελών. Στην πιο γενική περίπτωση υποδηλώνει τη διαδικασία αλλαγής διαύλου σε σχέση με την τρέχουσα σύνδεση για να διατηρηθεί αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας ή να παρασχεθεί καλύτερη υπηρεσία. Αυτός ο ορισμός περιλαμβάνει την περίπτωση διαπομπής στην ίδια, όπως επίσης, και σε διαφορετική κυψέλη. Η διαπομπή μπορεί να αρχίσει κάτω από τρεις κυρίως συνθήκες :

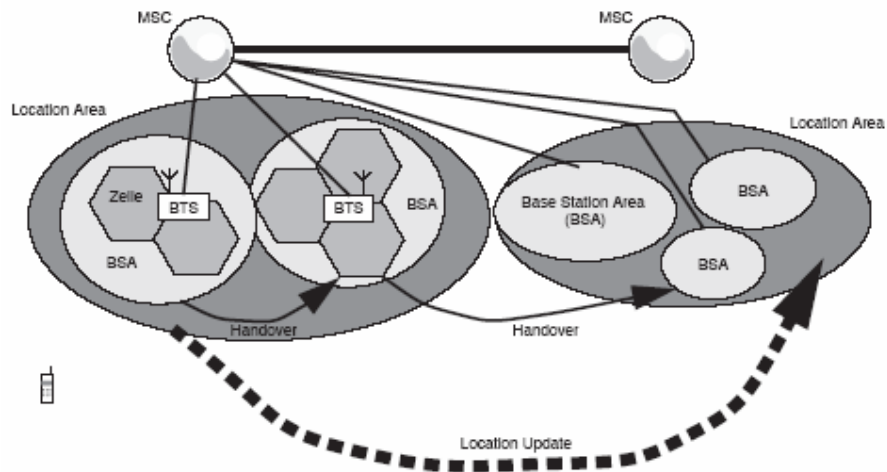
- Όταν η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος υποβιβάζεται λόγω κακών συνθηκών διάδοσης
- Όταν ο χρήστης (τερματικό) διασχίζει τα σύνορα της κυψέλης
- Όταν το σύστημα χρειάζεται να αναδιατάξει τον καταμερισμό των πόρων, ώστε να διευθετήσει νέες υπηρεσίες.

Βασικές απαιτήσεις που αφορούν τη διαδικασία της διαπομπής είναι :

- Από την άποψη του χρήστη, η διαπομπή θα πρέπει να είναι μη-αντιληπτή
- Από την άποψη του δικτύου, η διαδικασία διαπομπής δεν θα πρέπει να αυξάνει σημαντικά το φορτίο σηματοδότησης

Για να διατηρηθεί μια αποδεκτή εξυπηρέτηση προς τους χρήστες, βασικές απαιτήσεις για τη διαδικασία της διαπομπής είναι η ταχύτητα εκτέλεσης και η αξιοπιστία καθώς και η διαφάνεια προς τον χρήστη. Τέσσερα διαφορετικά είδη handover μπορούν να διακριθούν:

- Διαπομπή στην ίδια κυψέλη (αλλαγή διαύλων εντός κυψέλης)
- Διαπομπή μεταξύ κυψελών που ελέγχονται από τον ίδιο BSC
- Διαπομπή μεταξύ κυψελών που ανήκουν στον ίδιο MSC, αλλά σε διαφορετικούς BSCs
- Διαπομπή μεταξύ κυψελών που ελέγχονται από διαφορετικούς MSCs



*Σχήμα 1-3: Διαπομπές στο GSM [10]*

Οι διαδικασίες διαπομπής στο GSM θα αναλυθούν διεξοδικά στο κεφάλαιο 3.2.

## 1.5 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (UMTS - UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM)

Το UMTS είναι το κυριότερο, ή πιο σωστά το μοναδικό, σύστημα που ανήκει στην 3<sup>η</sup> γενιά των κυψελωτών δικτύων. Υποστηρίζει τις διάφορες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες δεδομένων και την ενοποίηση των δικτύων σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε ένα οικουμενικό παγκόσμιο σύστημα επικοινωνιών, με υποστήριξη σχεδόν απεριόριστης κινητικότητας χωρίς την υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσιών (*Quality of Service*), όπως συμβαίνει με το GPRS.

Για να μπορούν να υποστηρίζονται προηγμένες κινητές υπηρεσίες, οι νέες ασύρματες τεχνολογίες έχουν ως στόχο την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης για κινητά τερματικά, συγκεκριμένα 144kbps για οχήματα (ταχύτητες έως 50km/h), 384kbps για πεζούς και 2Mbps για πρακτικά ακίνητους χρήστες σε εσωτερικούς χώρους. Ένα άλλο σπουδαίο πρόβλημα που πρέπει να ξεπεραστεί είναι ο περιορισμός της γεωγραφικής κάλυψης που παρέχουν τα εγκατεστημένα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς, σε αντίθεση με την παγκόσμια κάλυψη που πρέπει να παρέχει το UMTS.

Από το 1992 έχει διατεθεί από την Παγκόσμια Επιτροπή Ραδιοεπικοινωνιών φάσμα 230 MHz στην περιοχή των 2000 MHz. Με κάποια προέκταση, το DCS 1800 μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο βήμα ανάπτυξης προς τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, αφού κάποια κοινά στοιχεία, όπως η ιεραρχική δομή με μικτές κυψέλες, η οποία θα επεκταθεί και στο UMTS ώστε να ικανοποιεί τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των συνδρομητών με τα διαφορετικά προφίλ ποιότητας υπηρεσιών και κινητικότητας που προβλέπονται.

Το UMTS σκοπεύει στην ενοποίηση των διαφορετικών υπηρεσιών που παρέχονται από τα δίκτυα σταθερών επικοινωνιών, τα ασύρματα συστήματα και τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, κυψελωτών και δορυφορικών, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ομιλίας αλλά και την ποιότητα των υπηρεσιών δεδομένων. Θα παρέχει υπηρεσίες τουλάχιστον ISDN στενής ζώνης (*Narrowband ISDN*), ενώ το ISDN ευρείας ζώνης (*Broadband ISDN*) θεωρείται ως μία εναλλακτική λύση στο δίκτυο κορμού του UMTS.

Είναι βέβαιο ότι το UMTS θα είχε προχωρήσει περισσότερο εάν είχε καταστεί δυνατή η ανάπτυξη κοινού προτύπου από την ITU-T. Δυστυχώς όμως, λόγω των οικονομικών και άλλων μεγάλων συμφερόντων που υπάρχουν στην αγορά κινητών επικοινωνιών, από το 1999 έχουν συγκροτηθεί δύο πολυεθνικές βιομηχανικές κοινοπραξίες που αναπτύσσουν

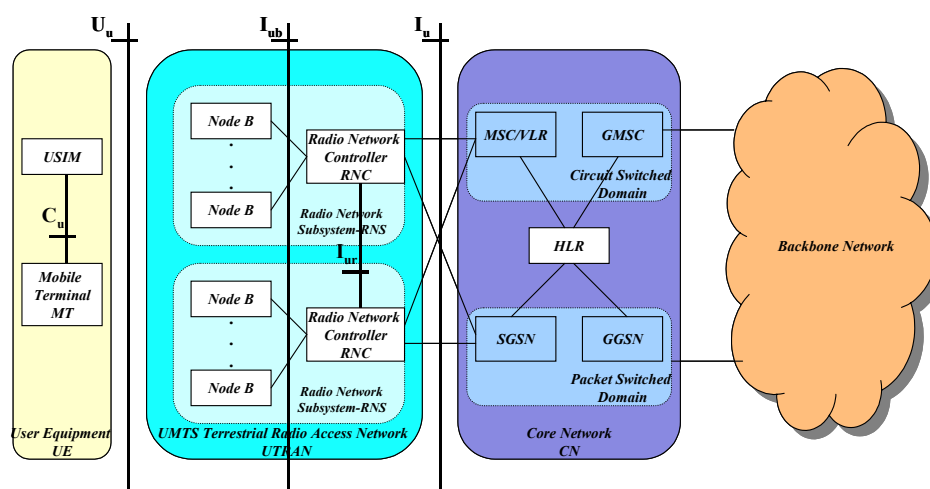
πρότυπα για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, συγκεκριμένα η 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) [11] και η 3GPP2 [12].

Η πρώτη αναπτύσσει προδιαγραφές που βασίζονται στο Επίγειο Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης UMTS (UMTS *Terrestrial Radio Access Network*) του ETSI, ενώ η δεύτερη πρότυπα που βασίζονται στο IS-95.

### **1.5.1 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ UMTS**

Η εισαγωγή του νέου συστήματος UMTS στην αγορά δεν πρόκειται να γίνει από τη μία μέρα στην άλλη. Αντίθετα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των εταιρειών που αναπτύσσουν αυτές τις εφαρμογές, το UMTS πρόκειται να μπει σταδιακά στη ζωή μας. Αρχικά λοιπόν θα εφαρμοστεί σε σημεία-περιοχές, στις οποίες θεωρείται αναγκαία η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου ή σε σημεία όπου οι συνδρομητές απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής του, λοιπόν, το UMTS αναμένεται να στηριχθεί στην ήδη υπάρχουσα υποδομή όπως αυτή υπάρχει στο GSM αλλά και στο GPRS. Η κύρια διαφορά του νέου συστήματος έγκειται στην παρουσία ενός εντελώς καινούριου δικτύου ασύρματης πρόσβασης.

Συγκεκριμένα, ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από 3 αλληλεπιδρώντες τομείς (domains). Το Δίκτυο Κορμού (Core Network – CN), το Επίγειο Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης του UMTS (UMTS *Terrestrial Radio Access Network* – UTRAN) και τον Εξοπλισμό του Χρήστη (User Equipment – UE). Το CN είναι αυτό που ήδη χρησιμοποιεί το GPRS. Η κύρια λειτουργία του CN είναι να παρέχει μεταγωγή, δρομολόγηση και διέλευση της κίνησης. Το UTRAN παρέχει τις μεθόδους ασύρματης πρόσβασης για το UE και συνδέεται με το CN διαμέσου της διεπαφής  $I_u$ . Ο σταθμός βάσης αναφέρεται ως Node-B και εξυπηρετεί συνήθως μια κυψέλη, ενώ ο εξοπλισμός ελέγχου για τους Node-Bs ονομάζεται Ελεγκτής Ραδιοδικτύου (Radio Network Controller – RNC). Το UE συνδέεται με έναν Node-B μέσω της διεπαφής  $U_u$ . Το Σχήμα 1-4 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός UMTS δικτύου. Σε αυτό, απεικονίζεται η διασύνδεση του UE με το UTRAN και ακολούθως με το CN. Η CS κίνηση διοχετεύεται μέσω του MSC και GMSC στο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (PSTN), ενώ η PS κίνηση διοχετεύεται μέσω του SGSN και GGSN στο διαδίκτυο.



Σχήμα 1-4: Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS.

Το UTRAN ενσωματώνει δύο τρόπους αμφιδρόμησης, με διαίρεση συχνότητας (*Frequency Division Duplexing*) και με διαίρεση χρόνου (*Time Division Duplexing*), οι οποίες βασίζονται στην Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα (*Code Division Multiple Access*).

Η FDD χρησιμοποιεί ζεύγος συχνοτήτων για κάλυψη ευρέων περιοχών, π.χ. μακροκυβέλες και μικροκυβέλες και υποστηρίζει υψηλή κινητικότητα με ρυθμούς μετάδοσης έως 384kbps. Η TDD χρησιμοποιεί τον ίδιο ραδιοδιάλογο για εκπομπή και λήψη και υποστηρίζει ρυθμούς ως 2 Mbps για χαμηλή κινητικότητα. Ενδείκνυται για πικοκυβέλες, για συστήματα cordless, για ασύρματα τοπικά δίκτυα (*Wireless Local Area Networks*) και για ζώνες με μεγάλη πυκνότητα από αργά κινούμενους χρήστες.

Το UTRAN αποτελείται από έναν Ελεγκτή Ασύρματου Δικτύου (*Radio Network Controller*), ο οποίος συνδέεται με κόμβους B, καθένας εκ των οποίων ελέγχει μία ομάδα κυβελών FDD/TDD. Οι RNC συνδέονται απ' ευθείας, γεγονός που διευκολύνει την πλήρη διαχείριση της διαπομπής. Στα πλεονεκτήματά του καταγράφεται επίσης και η μακροσκοπική διαφορική λήψη, η δυνατότητα δηλαδή διατήρησης της σύνδεσης τερματικού-δικτύου μέσω διαφορετικών σταθμών βάσης.

Το UMTS υποστηρίζει τα πρότυπα για τις Παγκόσμιες Προσωπικές Τηλεπικοινωνίες (*Universal Personal Telecommunications*) και συνεπώς υποστηρίζει και κινητικότητα τερματικού και προσωπική κινητικότητα. Για να επεκτείνει την περιοχή εξυπηρέτησης, π.χ. για πλοία ή αραιοκατοικημένες περιοχές χωρίς κατάλληλη υποδομή, το UMTS ενδέχεται να χρησιμοποιήσει και δορυφορική συνιστώσα συμπληρωματικά με την επίγεια. Έχει επίσης

ερευνηθεί η εισαγωγή υπηρεσιών με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης καθώς και κατάλληλων ασυρμάτων διεπαφών.

Οι παρούσες προδιαγραφές του UMTS περιλαμβάνουν αρκετές υποπεριπτώσεις διαπομπής, π.χ. από πικοκυψέλες σε μια περιβάλλουσα μακροκυψέλη για την εξασφάλιση της αδιάλειπτης επικοινωνίας κατά την είσοδο και την έξοδο σε / από υποδίκτυα που βρίσκονται εντός κτηρίων. Για τη φωνή και τις περισσότερες υπηρεσίες δεδομένων, ο υποβιβασμός της ποιότητας μετά αποδιαπομπή σε μακροκυψέλη θα είναι αποδεκτό. Ωστόσο, για εφαρμογές πολυμέσων, η περιαγωγή και η διαπομπή από τοπικό / εσωτερικό περιβάλλον στο γύρω δημόσιο δίκτυο UMTS είναι αμφίβολη, διότι αρκετές υπηρεσίες δε θα μπορούν πλέον να υποστηριχθούν και θα έχουμε απώλεια σύνδεσης. Έτσι, οι υπηρεσίες πολυμέσων θα προσφέρονται μόνο μέσα σε τηλεπικοινωνιακές νησίδες, οι οποίες θα είναι βέβαια συνδεδεμένες στο δίκτυο κινητών επικοινωνιών, αλλά η κινητικότητα των χρηστών που χρησιμοποιούν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, θα περιορίζεται στις νησίδες αυτές.

### **1.5.2 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ UMTS**

Το UMTS προσφέρει υπηρεσίες φωνής και μηνυμάτων και υπηρεσίες φορέα (bearer services), που παρέχουν τη δυνατότητα μεταφοράς πληροφοριών ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης. Είναι δυνατή η επαναδιαπραγμάτευση των χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας φορέα τόσο κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης όσο και κατά τη διάρκεια της εξέλιξης μιας κλήσης ή συνόδου. Οι υπηρεσίες φορέα παρουσιάζουν διαφορετικές QoS παραμέτρους που αφορούν στη μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς ή το ποσοστό λανθασμένων bits. Οι στόχοι σχετικά με τους ρυθμούς μετάδοσης συνοψίζονται ως εξής:

- 144 Kbits/s δορυφορικές εφαρμογές και αγροτικές περιοχές / εξωτερικοί χώροι
- 384 Kbits/s αστικές περιοχές / εξωτερικοί χώροι
- 2048 Kbits/s εσωτερικοί χώροι / εξωτερικοί χώροι μικρής εμβέλειας

Οι υπηρεσίες του UMTS έχουν διαφορετικές κατηγορίες QoS για τέσσερις κατηγορίες κίνησης:

- **Κατηγορία συζήτησης (Conversational class)**, όπως π.χ. ομιλία, βίντεο- διάσκεψη, εικονοτηλεφωνία.
- **Κατηγορία ροής (streaming class)**, όπως π.χ. πολυμέσα, video κατ' απαίτηση.

- **Κατηγορία διάδρασης (interactive class)**, όπως π.χ. πλοήγηση στο διαδίκτυο, δικτυακά παιχνίδια, πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων.
- **Κατηγορία φόντου (Background class)**, όπως π.χ. ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, σύντομα μηνύματα, μεταφορά αρχείων.

Στο UMTS ορίζεται, επιπλέον, το Οικείο Ιδεατό Περιβάλλον (Virtual Home Environment – VHE). Το τελευταίο στηρίζεται πάνω στην ιδέα της μεταφερσιμότητας του προσωπικού περιβάλλοντος υπηρεσιών (Personal Service Environment – PSE) ανάμεσα στα διάφορα δίκτυα και τερματικά. Το προσωπικό περιβάλλον υπηρεσιών σημαίνει ότι οι χρήστες παρουσιάζονται με συνέπεια με τα ίδια προσωπικά χαρακτηριστικά, τις ίδιες διεπαφές και τις ίδιες υπηρεσίες σε οποιοδήποτε δίκτυο και αν βρίσκονται και οποιοδήποτε τερματικό και αν χρησιμοποιούν, με την προϋπόθεση ότι το εν λόγω δίκτυο και τερματικό παρέχουν αυτές τις δυνατότητες. Με αυτόν τον τρόπο ανοίγει ο δρόμος για την εισαγωγή των Σύνθετων Ραδιοδικτύων (Composite Radio Networks – CR), που απασχολούν σήμερα ένα μεγάλο αριθμό ερευνητικών προγραμμάτων στα πλαίσια της πέραν της 3<sup>ης</sup> γενιάς (Beyond-3G) εποχής.

### 1.5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

Καθώς η τεχνολογία 3<sup>ης</sup> γενιάς βρίσκεται ήδη προ των πυλών, οι παροχείς (operators) καταστρώνουν τα σχέδιά τους για την λειτουργία και επέκταση των δικτύων τους. Τέτοια σχέδια και στρατηγικές θα πρέπει να έχουν τη βάση τους σε ρεαλιστικά μοντέλα όσον αφορά, τόσο τις εκτιμήσεις για τη μελλοντική ζήτηση υπηρεσιών, όσο και την ανάγκη για επένδυση στην υποδομή του δικτύου. Η υιοθέτηση της νέας πραγματικότητας φέρνει στο προσκήνιο την ανάγκη για νέες μεθόδους και εργαλεία λογισμικού (software tools) για τον κατάλληλο σχεδιασμό και διαστασιολόγηση του ασύρματου δικτύου αλλά και του δικτύου κορμού. Ένα εργαλείο σχεδιασμού πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς μοντελοποίησης της συμπεριφοράς του δικτύου όταν αυτό φορτώνεται με ένα αναμενόμενο προφίλ κίνησης. Τα κυψελωτά συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς θα προσφέρουν υπηρεσίες πολύ πιο προηγμένες από τις σήμερα υπάρχουσες. Το προφίλ της κίνησης (traffic profile), καθώς επίσης και αυτή καθαυτή η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης αποτελούν τις δύο πιο σημαντικές προκλήσεις για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση ενός συστήματος 3<sup>ης</sup> γενιάς βασισμένου στο WCDMA. Το προφίλ κίνησης περιγράφει το μίγμα των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από τον πληθυσμό των χρηστών. Από την άλλη μεριά, προκειμένου

να προβλεφθεί επαρκώς η ραδιοκάλυψη του συστήματος, υπάρχουν σημαντικά χαρακτηριστικά, άμεσα συνδεδεμένα με την τεχνολογία WCDMA, που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πιο συγκεκριμένα, μηχανισμοί χαρακτηρισμού καναλιού και ελέγχου της παρεμβολής κρίνονται απαραίτητοι για ένα σύστημα με τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης που βασίζεται στο CDMA. Επιπλέον, διαφορετικοί τύποι υπηρεσιών (φωνή, δεδομένα) παρουσιάζουν διαφορετικά κέρδη επεξεργασίας (processing gain) και διαφορετικές απαιτήσεις σε λόγο σήματος προς παρεμβολή (SIR), αντιστοίχως. Στα σημερινά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς, η ευαισθησία (sensitivity) και μέγιστη ακτίνα κάλυψης θεωρούνται σταθερά. Αντιθέτως, στην περίπτωση του συστήματος UMTS που βασίζεται στο WCDMA, το κατώφλι για την κάλυψη εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των χρηστών και τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης bit των χρηστών.

Γενικά, η διαδικασία σχεδιασμού στο UMTS μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις φάσεις: α) αρχικός σχεδιασμός ή διαστασιολόγηση, β) λεπτομερής σχεδιασμός της κάλυψης και χωρητικότητας και γ) διαχείριση και βελτιστοποίηση του δικτύου. Επιπρόσθετες λειτουργίες π.χ. μετρήσεις πάνω στη διάδοση, καθορισμός δεικτών ελέγχου απόδοσης συμπληρώνουν τις παραπάνω φάσεις. Σε ένα κυψελωτό σύστημα όπου όλες οι συνδέσεις λαμβάνουν χώρα επάνω στο ίδιο φέρον (carrier), ο αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών επηρεάζει άμεσα τα επίπεδα θορύβου σε όλους τους κινητούς δέκτες. Επομένως, στην περίπτωση του UMTS δεν μπορεί να υπάρξει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στο σχεδιασμό που αφορά στην κάλυψη και στη χωρητικότητα. Η ποικιλία των υπηρεσιών απαιτεί από τη διαδικασία της σχεδίασης ένα σύνολο από τροποποιήσεις. Μία εκ των τροποποιήσεων σχετίζεται με την ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Μέχρις σήμερα ήταν αρκετός ο προσδιορισμός της κάλυψης ομιλίας και της πιθανότητας αποκλεισμού (blocking probability). Ακόμη, συνεχώς πιο λεπτομερής μελέτη χρειάζεται για την πιθανότητα κάλυψης εσωτερικών χώρων (π.χ. εσωτερικό γραφείων, αυτοκινήτων). Στην περίπτωση του UMTS, το πρόβλημα είναι ελαφρώς πιο πολυδιάστατο. Για κάθε υπηρεσία, τα ικανοποιητικά επίπεδα ποιότητας πρέπει να καθοριστούν πλήρως και φυσικά να εκπληρωθούν. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η πιο απαιτητική περίπτωση είναι εκείνη που τελικά θα ορίσει και τη μέγιστη ακτίνα της κυψέλης. Επιπροσθέτως, σε υπηρεσίες βασισμένες στη μετάδοση πακέτων δεδομένων τα κριτήρια για την ποιότητα σχετίζονται με τις ανεκτές χρονικές καθυστερήσεις (delays) και τη διέλευση (throughput).



Υπάρχουν, βέβαια, και κοινά γνωρίσματα στις διαδικασίες πρόβλεψης της κάλυψης ανάμεσα στα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς συστήματα. Σε όλα τα συστήματα τόσο οι ζεύξεις ανόδου (uplink) όσο και οι ζεύξεις καθόδου (downlink) πρέπει να αναλυθούν ταυτόχρονα. Μία διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι, ενώ στα σημερινά συστήματα οι δύο ζεύξεις εμφανίζονται ισορροπημένες, σε εκείνα της 3<sup>ης</sup> γενιάς εισάγεται ο όρος των ασύμμετρων υπηρεσιών (asymmetric services) όπου κάποια από της δύο ζεύξεις (συνήθως η ζεύξη καθόδου) μπορεί να είναι περισσότερο φορτωμένη και επομένως να οριοθετεί τη χωρητικότητα ή την κάλυψη μιας κυψέλης. Η ανάλυση των φαινομένων που άπτονται της διάδοσης παραμένει ίδια όπως σε όλα τα συστήματα με τη διαφορά ότι πολλαπλά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ένα άλλο κοινό στοιχείο αποτελεί και η ανάλυση της παρεμβολής (interference). Στα FDMA/TDMA συστήματα κρίνεται απαραίτητη για την κατανομή των συχνοτήτων ενώ στα WCDMA συστήματα αποτελεί επιτακτική ανάγκη λόγω της ύπαρξης του κοινού φέροντος.

Στο Σχήμα 1-5 απεικονίζεται η συνολική διαδικασία σχεδιασμού στο ασύρματο κομμάτι ενός UTMΣ δικτύου. Επιγραμματικά, η φάση της διαστασιολόγησης περιλαμβάνει διαδικασίες όπως είναι ο υπολογισμός της ασύρματης ζεύξης (radio link budget) και μία πρώτη ανάλυση της κάλυψης και εκτίμηση της χωρητικότητας. Οι παραπάνω διαδικασίες εξαρτώνται άμεσα από τις εκάστοτε απαιτήσεις του παρόχου οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

*Απαιτήσεις σχετικές με την κάλυψη*

- περιοχές κάλυψης
- πληροφορία του τύπου της περιοχής
- συνθήκες διάδοσης

*Απαιτήσεις σχετικές με τη χωρητικότητα*

- διαθέσιμο εύρος ζώνης
- πρόβλεψη αύξησης αριθμού συνδρομητών
- πληροφορία σχετικά με την πυκνότητα της κίνησης

*Απαιτήσεις σχετικές με την ποιότητα υπηρεσιών*

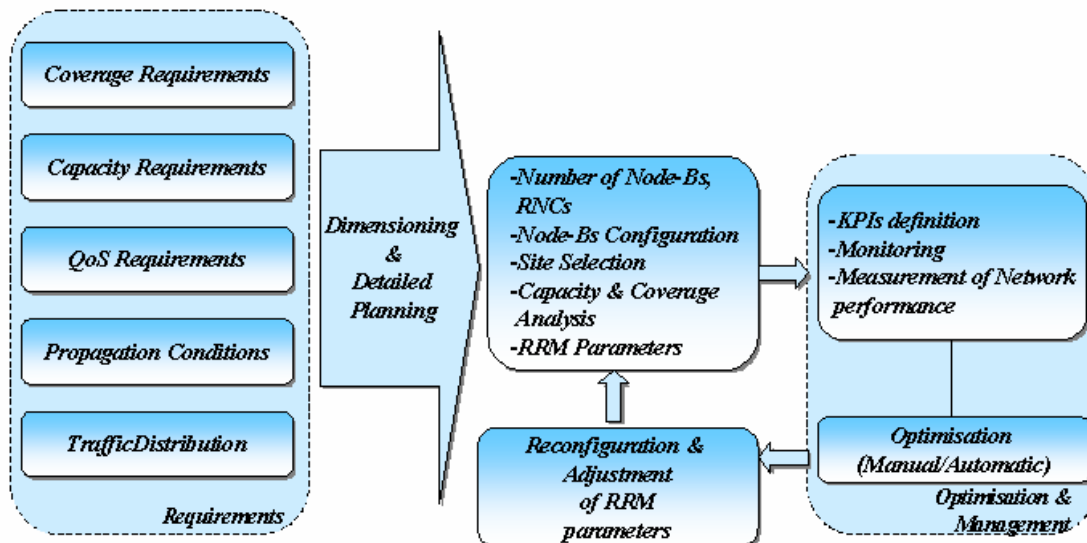
- πιθανότητα κάλυψης
- πιθανότητα αποκλεισμού
- ρυθμοί μετάδοσης τελικών χρηστών

Σαν αποτέλεσμα της φάσης της διαστασιολόγησης υπολογίζεται τελικά προσεγγιστικά ο αριθμός των στοιχείων του δικτύου (network elements) όπως των Node-Bs, των RNCs και των στοιχείων του δικτύου κορμού, προσδιορίζονται πιθανώς κάποιες παράμετροι αυτών (network element configuration), αλλά και καθορίζονται οι μεταξύ των διεπαφές (interfaces). Εξάλλου, ο υπολογισμός της ασύρματης ζεύξης, που αφορά τόσο το uplink όσο και το downlink, χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της μέγιστης απώλειας διαδρομής (maximum path loss). Η τελευταία ορίζεται ως η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια διαδρομής ανάμεσα σε ένα κινητό τερματικό και το σταθμό βάσης διατηρώντας ταυτόχρονα το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας του εν λόγω χρήστη αλλά και όλων των υπολοίπων εντός της εμβέλειας της κυψέλης.

Με το πέρας της πρώτης φάσης διαστασιολόγησης ο πάροχος έχει στη διάθεσή του την υπό εξέταση γεωγραφική περιοχή, τον αριθμό και τις ιδιότητες των στοιχείων υλικού (hardware) του δικτύου. Προκειμένου να προχωρήσει στη δεύτερη φάση και στην περαιτέρω ανάλυση της κάλυψης και χωρητικότητας του δικτύου, πρέπει να επιλέξει την ακριβή θέση των σταθμών βάσης, όπως επίσης και να ορίσει ένα μοντέλο διάδοσης, το σύνολο των παρεχομένων υπηρεσιών με τις απαιτήσεις τους και ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο κίνησης σε κάθε κυψέλη. Η επιλογή του μοντέλου διάδοσης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορεί να συμπεριλάβει πλήθος διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος π.χ. σε ημιαστικές, αγροτικές, αστικές και πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Το προφίλ των υπηρεσιών αφορά κυρίως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης αλλά και άλλα χαρακτηριστικά όπως αυτά καθορίζονται από τις κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας του UMTS (UMTS QoS classes). Για το μοντέλο της κίνησης, τέλος, χρειάζεται μια ικανοποιητική πρόβλεψη που σχετίζεται τόσο με περιοχές που στατιστικά θεωρούνται σημεία υψηλού φορτίου (hotspots), όσο και με τις παρατηρημένες ώρες αιχμής. Σε αυτό το σημείο προφανώς προϋποτίθεται η συνεργασία με τα υπάρχοντα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς.

Η τρίτη και τελευταία φάση περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση του δικτύου. Η βελτιστοποίηση είναι η διαδικασία που στοχεύει στην καλύτερευση της συνολικής ποιότητας του δικτύου όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τους κινητούς συνδρομητές και στην εξασφάλιση της αποδοτικής χρήσης των διατιθέμενων πόρων του. Λαμβάνει χώρα κατά τη φάση της αρχικής διαστασιολόγησης, αλλά κυρίως κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση περιορίζεται στην εύρεση του ικανοποιητικού αριθμού των στοιχείων του δικτύου και στην καλύτερη τοποθέτησή τους στην εξεταζόμενη περιοχή.

Στη δεύτερη περίπτωση, ωστόσο, τα πράγματα είναι μάλλον πιο περίπλοκα αφού απαιτείται προσεκτική παρακολούθηση των αλλαγών που επιτελούνται στο δίκτυο. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να ορισθούν κάποιοι βασικοί δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators – KPI). Οι δείκτες αυτοί είναι αποτέλεσμα μετρήσεων που επιτελούνται πάνω στο δίκτυο και παρέχουν μια σαφή εικόνα της κατάστασής του σε όρους ποιότητας παρεχομένων υπηρεσιών. Τα στατιστικά των βασικών δεικτών απόδοσης για το υπό λειτουργία δίκτυο τροφοδοτούνται σε ένα εργαλείο επίβλεψης (monitoring) το οποίο μπορεί κάλλιστα να αποτελεί μέρος ενός ολοκληρωμένου εργαλείου σχεδιασμού. Το τελευταίο αναλαμβάνει την εκ νέου ρύθμιση των παραμέτρων που θα χρησιμοποιήσουν αργότερα οι μηχανισμοί διαχείρισης των ασύρματων πόρων (Radio Resource Management - RRM) για βελτίωση της απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον, σε ένα δίκτυο 3<sup>ης</sup> γενιάς όπου υφίστανται πολλαπλοί τύποι υπηρεσιών και ρυθμοί μετάδοσης θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική μία αυτόματου τύπου βελτιστοποίηση (automatic optimization). Με την αυτόματη βελτιστοποίηση, όλες οι διαδικασίες που μόλις περιγράψαμε θα πρέπει να αυτοματοποιηθούν. Υπό αυτή την έννοια, ο πάροχος επεμβαίνει μόνο αρχικά, στον καθορισμό των στόχων για τους δείκτες που παρακολουθούνται και στη σύσταση των κατάλληλων συναρτήσεων κόστους (cost functions) μέσω των οποίων η αυτοματοποιημένη διαδικασία θα πρέπει να παρέχει γρήγορη απόκριση σε κάθε αλλαγή των συνθηκών κίνησης του δικτύου.



Σχήμα 1-5: Διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου UMTS.

## **1.6 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ**

Αν κάποιος θελήσει να δώσει έναν ορισμό στο τι είναι τα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4<sup>th</sup> Generation Systems – 4G), θα χρειαστεί να ανατρέξει σε μια ευρεία έρευνα μιας και το 4G βρίσκεται με πολλούς πραγματικούς ορισμούς στην κοινωνία των ερευνητών. Με τους πιο απλούς όρους, 4G είναι εκείνη η γενιά που θα αντικαταστήσει τα συστήματα 3G κάποια στιγμή στο μέλλον. Προς το παρόν, τα συστήματα 4G είναι απλά μια ερευνητική πρωτοβουλία στα εργαστήρια ανά τον κόσμο με στόχο οι επικοινωνίες να κινηθούν πέρα από τα τρέχοντα όρια. Επιπλέον, στόχος αυτών των ερευνητικών ομάδων είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων των συστημάτων 3G [13].

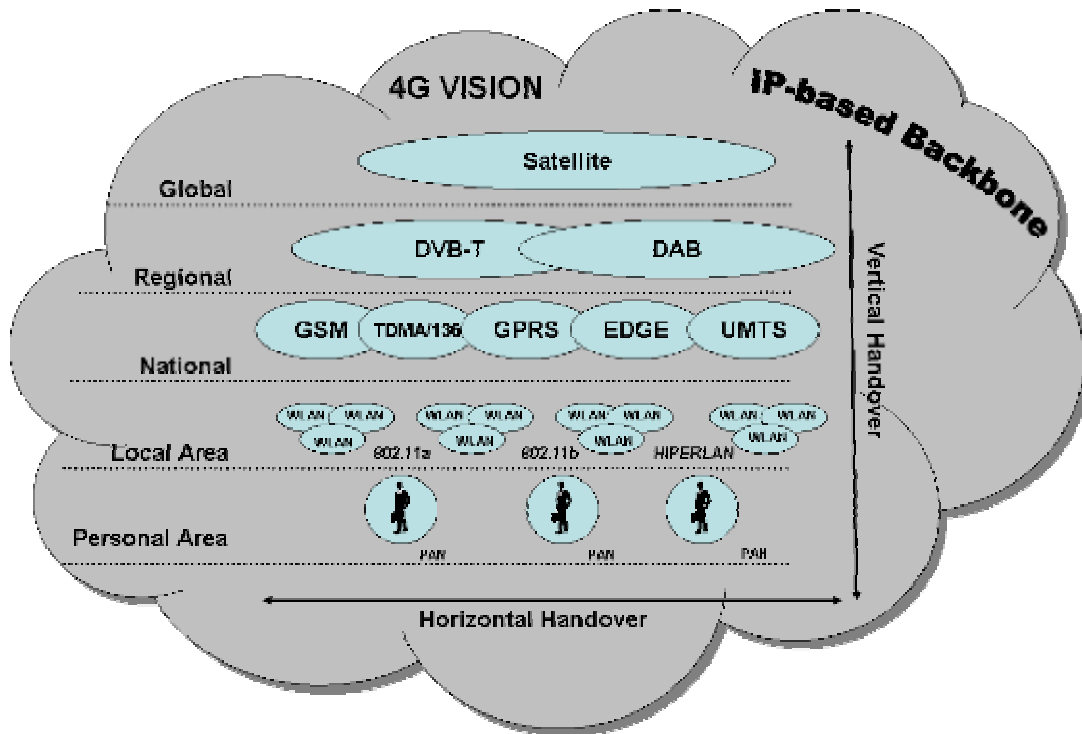
Μια γενική αρχιτεκτονική των συστημάτων 4G περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο. Ο σκοπός της παρουσίασης αυτών των συστημάτων είναι η πιθανή μελλοντική επέκταση των προτεινόμενων αλγορίθμων σε τέτοια συστήματα.

### **1.6.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ**

Διάφορες ιδέες για τον ορισμό του '4G' περιβάλλοντος είναι αυτή την εποχή υπό συζήτηση. Οι συζητήσεις αυτές έχουν σαν κύριο στόχο την εύρεση μιας όσο το δυνατό κοινής προσέγγισης που θα απορρέει από την σύγκλιση των διαφόρων προτάσεων. Γενικά, όλοι επιβεβαιώνουν ότι ένα σύστημα 4G θα είναι ένα IP-based ασύρματο σύστημα που θα παρέχει πρόσβαση μέσα από ένα σύνολο ασύρματων διεπαφών [14]. Ένα δίκτυο 4G υπόσχεται αρραγή και οικουμενική περιήγηση/διαπομπή και προσφορά της καλύτερης υπηρεσίας μέσα από τον συνδυασμό διάφορων ασύρματων συστημάτων (όπως τα HIPERLAN, WLAN, UMTS, Bluetooth, GPRS) σε ένα μόνο δίκτυο στο οποίο θα είναι και συνδρομητής. Με αυτό τον τρόπο, ο χρήστης θα έχει πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες, θα έχει αυξημένη κάλυψη, θα απολαμβάνει όλα αυτά με μια μόνο συσκευή, θα έχει λιγότερο κόστος υπηρεσιών, και βέβαια πολύ πιο αξιόπιστη πρόσβαση στο δίκτυο μιας ακόμα και σε αποτυχία ενός ή και περισσότερων επιμέρους δικτύων.

Σε γενικές γραμμές, η αρχιτεκτονική συστημάτων 4G (Σχήμα 1-6) θα περιλαμβάνει πέντε βασικές περιοχές ασύρματων συνδέσεων : Τα προσωπικά δίκτυα (Personal Area Networks), τα τοπικά σημεία ασύρματης πρόσβασης στο δίκτυο μέσω τεχνολογιών WLAN (όπως τα as IEEE 802.11x και HIPERLAN), τα εθνικά συστήματα κυψελοειδούς κάλυψης 2-3G (όπως τα GSM, GPRS, UMTS, EDGE), τα περιφερειακά δίκτυα σύνδεσης με τεχνολογίες όπως τα DVB-T, DAB, and τέλος η παγκόσμια δορυφορική κάλυψη. Κάτω από αυτό το πρίσμα, τα

συστήματα 4G καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τεματικών που υποστηρίζουν συνεχή περιήγηση και υψηλό ρυθμό δεδομένων. Κάθε τεματικό θα είναι δυνατό να αλληλεπιδρά με πληροφορίες Internet-based οι οποίες θα μετασχηματίζονται κατά τη μετάβαση αυτής από το δίκτυο στο τεματικό κάθε στιγμή. Εν ολίγοις, οι ρίζες των συστημάτων 4G βρίσκουν την εφαρμογή τους στην ιδέα του pervasive computing [15].



Σχήμα 1-6: Γενική αρχιτεκτονική συστημάτων 4G

Η λογική για όλα αυτά είναι όμοια με το Software Defined Radio (SDR) [16]. Το SDR καθιστά ικανά τα τεματικά, όπως τα κινητά τηλέφωνα, τα PDAs, τα φορητά PCs και μια πιο ευρεία γκάμα από άλλες συσκευές, να σαρώνουν τα ραδιοκύματα με στόχο την καλύτερη σύνδεση στην καλύτερη τιμή. Σε ένα περιβάλλον SDR, συναρτήσεις και διαδικασίες οι οποίες επισήμως βρίσκονταν μόνο σε hardware εφαρμογές, όπως η παραγωγή του εκπεμπόμενου ασύρματου σήματος και ο συντονισμός του λαμβανόμενου, πραγματοποιούνται και από το λογισμικό (software). Έτσι, η ασύρματη ζεύξη είναι προγραμματίσιμη και η μετάδοση και λήψη μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

Ο λόγος που γίνεται αυτή η αναφορά στα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η αποτίμηση και δοκιμή των προτεινόμενων αλγορίθμων διαπομπής σε ετερογενές περιβάλλον αποτελούμενο από τα δίκτυα WLAN και GPRS.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] ETS 300 578, Digital cellular telecommunications system (Phase 2), Radio subsystem link control (GSM 05.08 version 4.22.1)
- [2] 3GPP TR 25.832, Manifestations of Handover and SRNS relocation
- [3] 3GPP TR 25.841, DSCH power control improvement in soft handover
- [4] 3GPP TR 25.304, Technical Specification Group Radio Access Network, User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode (Release 6)
- [5] 3GPP TR 25.922, V6.0.1 (2004-04), Technical Specification Group RAN, Working Group 2 (TSG RAN WG2), “Radio Resource Management Strategies”
- [6] B. Walke, Bernhard H. Walke, “Mobile Radio Networks: Networking and Protocols”, John Wiley & Sons, 1999
- [7] Μ. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και προσωπικών επικοινωνιών”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Μάρτιος 2000, Αθήνα
- [8] Mouly M. and Pautet M., “The GSM System”, ISBN: 2-9507190-0-7, France, 1992.
- [9] I. F. Akyildiz, J. McNair, J. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang, Mobility Management in Current and Future Communications Networks, IEEE Network, July/August 1998
- [10] Stephan Rupp, Gerd Siegmund, “Telecommunication Software Engineering”, Lecture Notes, Edition: V 0.1.3, July 26, 2004
- [11] 3GPP Specifications, [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)
- [12] 3GPP2 Specifications, [www.3gpp2.org](http://www.3gpp2.org)
- [13] Antonis E. Markopoulos, “Resource Management in Systems Beyond 3G”, book chapter in “Practical Radio Resource Management in Wireless Systems”, Artech House Publications
- [14] Frederic Paint, Paal Engelstad, Erik Vanem, Thomas Haslestad, Anne Mari Nordvik, Kjell Myksvoll, Stein Svaet, “Mobility aspects in 4G Networks- White Paper”
- [15] Mark Weiser, “Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing”, Communications of the ACM, vol. 36, no. 7, July 1993.
- [16] Meng Shiun Pan, “4G Networks”









---

# Κεφάλαιο 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ  
ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ  
ΘΕΣΗΣ

---



## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μέθοδοι εντοπισμού της ακριβούς θέσης του κινητού αποτελούν στην παρούσα φάση, έναν από τους πλέον υποσχόμενους τομείς σε ερευνητικό και αναπτυξιακό επίπεδο, στο πλαίσιο της γενικότερης εξέλιξης των ασύρματων δικτύων. Η ιδέα της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης στα ασύρματα συστήματα, προκειμένου να διευρυνθούν με τον τρόπο αυτό οι τεχνολογικές δυνατότητες και οι προσφερόμενες υπηρεσίες των δικτύων, παρουσιάζει, σήμερα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Για την υλοποίηση της όμως, και την ένταξη της σε πρώτη φάση σε μία εμπειριστατωμένη μελέτη, απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια, σωστός προγραμματισμός και αξιόπιστη εφαρμογή.

Με την ανάπτυξη που ακολουθεί στο κεφάλαιο αυτό, επιχειρείται μία πρώτη παρουσίαση και αξιολόγηση της πλειονότητας των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης, με αναφορά στα επιμέρους ειδικά, χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, στην απόδοση και στα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα, που αυτές παρουσιάζουν, με γνώμονα, πάντοτε, τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα.

Οι τεχνολογίες εντοπισμού θέσης, όπως αυτές παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο ταξινομούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Αυτές είναι οι εξής :

- Τεχνολογίες βασισμένες στις δυνατότητες του δικτύου (*Network Based*).
- Τεχνολογίες βασισμένες στο τερματικό (*Handset Based*).
- Τεχνολογίες βασισμένες στις δορυφορικές τεχνολογίες.
- Τεχνολογίες βασισμένες στον συνδυασμό περισσοτέρων μεθόδων από αυτές που έχουν ήδη αναφερθεί, οι λεγόμενες Υβριδικές Μέθοδοι (*Hybrid Methods*).

Περαιτέρω, στο εν λόγω κεφάλαιο, παράλληλα προς τις κύριες κατηγορίες μεθόδων εντοπισμού θέσεως, γίνεται συνοπτική αναφορά και στις επιμέρους τεχνολογίες, που συναπαρτίζουν τις προηγούμενες βασικές, όπως είναι π.χ. η ταυτότητα κυψέλης (Cell Identification – Cell ID), η γωνία άφιξης του σήματος (Angle of Arrival – AOA), η χρονική πρόοδος (Time Advance – TA), η χρονική διαφορά στην άφιξη της ζεύξεως ανόδου (Uplink time difference of arrival – TOA / UTDOA), η αναγνώριση προτύπων σημάτων (Signal Pattern Recognition) και άλλες.

Η εισαγωγική αυτή αναφορά στο περιεχόμενο του κεφαλαίου, που ακολουθεί, κλείνει με την παρουσίαση στο υποκεφάλαιο 3.4 κάποιων περαιτέρω συστημάτων βασισμένων στην θέση

του χρήστη, όπως είναι το Κινητό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών και το Προσαρμοστικό Σύστημα Κάλυψης, με την εφαρμογή των οποίων επιδιώκεται η σταδιακή βελτίωση και ολοκλήρωση των δικτύων και η ταυτόχρονη ποσοτική αλλά και ποιοτική αύξηση των παρεχόμενων υπηρεσιών στους χρήστες κινητών επικοινωνιών.

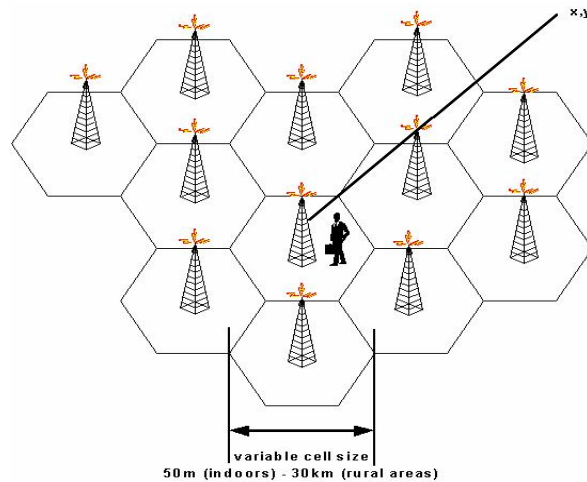
## **2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ**

### **2.2.1 ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (NETWORK BASED)**

Στο πλαίσιο εφαρμογής των βασισμένων στο δίκτυο τεχνολογιών εντοπισμού θέσεως, η συνήθως δύσκολη, δαπανηρή και επιβαρυντική διαδικασία ανεύρεσης της θέσεως συντελείται από κάποια συστατικά μέρη της γενικής αρχιτεκτονικής του δικτύου αυτού. Τα υποκεφάλαια που ακολουθούν, εξετάζουν λεπτομερώς τεχνολογίες όπως εκείνες της ταυτότητας κυψέλης (Cell Identification - Cell ID), της γωνίας της άφιξης του σήματος (Angle of Arrival – AOA), της χρονικής προόδου (Time Advance – TA), της χρονικής διαφοράς στην άφιξη της uplink ζεύξεως (Uplink time difference of arrival - TOA / U-TDOA) και της αναγνώρισης μοτίβου σημάτων (Signal Pattern Recognition).

#### **2.2.1.1 Ταυτότητα κυψέλης (Cell Identification)**

Η τεχνολογία ταυτότητα κυψέλης αποτελεί την απλούστερη τεχνική για τον εντοπισμό ενός κινητού τηλεφώνου. Συνίσταται στη διαβίβαση των δεδομένων της ταυτότητας της κυψέλης (cell-id), δηλαδή της ταυτότητας του σταθμού βάσης που εξυπηρετεί το κινητό τηλέφωνο, όπως χαρακτηριστικά εμφανίζεται αυτός – εννοείται ο σταθμός βάσης – στα κυψελοειδή δίκτυα (Σχήμα 2-1).



Σχήμα 2-1: Μέθοδος εντοπισμού θέσης με την τεχνική ταυτότητα κυψέλης (Cell-ID)

Εφ' όσον όλοι οι σταθμοί βάσης έχουν συγκεκριμένες, γνωστές συντεταγμένες, η εκτίμηση της θέσης είναι στοιχειώδης, και στηρίζεται στον κατά προσέγγιση υπολογισμό της ακτίνας κάλυψης της συγκεκριμένης κυψέλης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι δυνατόν να εμφανίζεται είτε με την μορφή μιας αυτόνομης, βασισμένης στο δίκτυο τεχνικής, όπως άλλωστε και συνηθίζεται, είτε να υποβοηθείται κατά την εφαρμογή της από κάποια συσκευή, που όμως, απαιτεί την συνεχή μετάδοση των συντεταγμένων της εξυπηρετούμενης κυψέλης σε ένα κανάλι ελέγχου.

Η μέθοδος ταυτότητα κυψέλης αποτελεί, εν πρώτοις, μια πολύ καλή λύση για τα ασύρματα δίκτυα και τις εφαρμογές που απαιτούν υψηλή χωρητικότητα, εμφανίζεται, όμως, ανεπαρκής, όσον αφορά τις εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια. Οι πληροφορίες σχετικά με την θέση κινητών ανακτώνται χωρίς οποιονδήποτε υπολογισμό, επομένως, αυτό και μόνο το γεγονός καθιστά τη τεχνική αυτή γρήγορη και εύκαμπτη. Επιπλέον, η εφαρμογή της μεθόδου εξαρτάται άμεσα από την κάλυψη και τη διαθεσιμότητα του δικτύου, που λειτουργούν σχεδόν σε κάθε περιβάλλον. Περαιτέρω, το κόστος εφαρμογής της είναι ελάχιστο και στο δίκτυο και στα τερματικά, για τον λόγο ότι γίνεται χρήση ενός δεδομένου χαρακτηριστικού γνωρίσματος όλων των κυψελοειδών συστημάτων, και οι αλλαγές που απαιτούνται στα υπάρχοντα συστήματα είναι ελάχιστες. Σε αντίθεση, όμως, με τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνολογία της ταυτότητας κυψέλης, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, δεδομένου ότι εξαρτάται άμεσα από την ακτίνα κυψελών, η οποία μπορεί, ειδικά στις αγροτικές περιοχές, να φθάνει έως και τα 35km. Στις πυκνές αστικές περιοχές η μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης

οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό στη μικρή ακτίνα κυψελών των micro-Pico κυψελών. Η ακρίβεια εντοπισμού μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση κάποιων πληροφοριών της περιοχής κάλυψης κυψελών (π.χ. τομέας κυψέλης τομέα) και της χρονικής προόδου (TA) στο GSM ή του χρόνου πλήρους διαδρομής (round trip time - RTT) στο UMTS [1].

### **2.2.1.2 Χρονική Πρόοδος (Timing Advance - TA)**

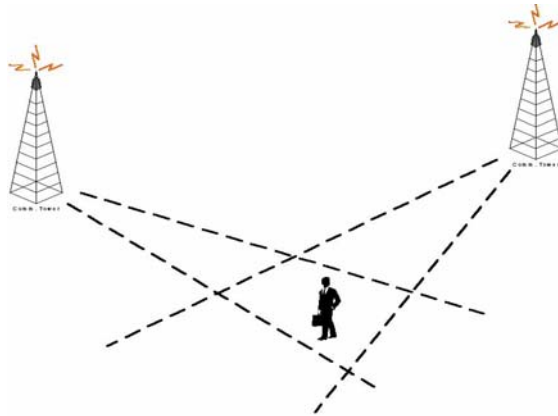
Η τεχνολογία εντοπισμού, που στηρίζεται στη χρονική πρόοδο (Timing Advance - TA), είναι βασισμένη στην ομώνυμη παράμετρο του GSM, η οποία υπολογίζεται για κάθε εξυπηρετούμενο σταθμό βάσης. Η παράμετρος TA είναι πληροφορία 6-bit για τη μέγιστη καθορισμένη ακτίνα κάλυψης για το GSM (περίπου 35km), που αντιστοιχεί σε περίπου 550m για το λιγότερο σημαντικό bit. Χρησιμοποιείται, για να ευθυγραμμίσει το σήμα στην αφοσιωμένη χρονοθυρίδα, λόγω της καθυστέρησης διάδοσης των σημάτων. Η συγκεκριμένη διαδικασία εντοπισμού θέσης παρουσιάζεται στα πρότυπα (βλ.[6]), κάνοντας εμφανές, ότι η μέθοδος προσδιορισμού θέσης επιστρέφει την ταυτότητα της κυψέλης, που εξυπηρετεί και την παράμετρο TA στο SMLC, όπου εκεί γίνεται η εκτίμηση θέσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η TA μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στα δίκτυα GSM και επιφέρει αποτελέσματα, μόνο στην περίπτωση που το μέγεθος της κυψέλης είναι μεγαλύτερο από 500m, όπως συνήθως συμβαίνει στις αγροτικές και προαστιακές περιοχές αντίθετα από το συνήθως συμβαίνουν στις πυκνές αστικές περιοχές. Τέλος, η μέθοδος TA δεν χρησιμοποιείται αυτόνομα για τον εντοπισμό θέσης, αλλά ως βοηθητική μέθοδος σε όλες τις άλλες μεθόδους προσδιορισμού θέσης [2].

### **2.2.1.3 Γωνία άφιξης (Angle of arrival - AOA)**

Η μέθοδος της γωνίας άφιξης εκμεταλλεύεται τις μετρήσεις στη γωνία άφιξης του σήματος. Υπό τους όρους της δισδιάστατης γεωμετρίας, ο εντοπισμός της θέσεως συντελείται με την καταγραφή της γωνίας άφιξης σε δύο σταθμούς βάσης, με την ταυτόχρονη χρήση στοιχειοκεραίων. Η προαναφερθείσα διαδικασία εκτίθεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 2-2), όπου η θέση του χρήστη καθορίζεται ως εκείνο το σημείο της διατομής δύο γραμμών, που προέρχονται από τους σταθμούς βάσης.





Σχήμα 2-2: Μέθοδος εντοπισμού θέσης βάσει της γωνίας άφιξης (AOA)

Όσον αφορά το ποσοστό ακρίβειας της μεθόδου αυτής, παρατηρείται ότι η AOA τεχνική απαιτεί απευθείας οπτική επαφή μεταξύ του τερματικού και του σταθμού βάσης, προκειμένου να επιτευχθούν όσον το δυνατόν ακριβέστερα αποτελέσματα, γεγονός που σε πρώτη φάση καθιστά την διαδικασία εντοπισμού αρκετά δυσχερή και δύσκαμπτη. Επιπλέον, η πιθανότητα επίτευξης αυξημένων ποσοστών ακρίβειας στον εντοπισμό της θέσης υποβιβάζεται ιδιαίτερα από την αύξηση της απόστασης τερματικού-σταθμού βάσης, και είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον αριθμό των διαθέσιμων μετρήσεων, της γεωμετρίας του σταθμού γύρω από το τερματικό και το φαινόμενο διάδοσης πολλαπλών διαδρομών. Προσομοιώσεις σε ένα αστικό περιβάλλον (βλ.[3]) παρουσίασαν σφάλματα στον εντοπισμό θέσης περί τα 300μ με χρήση δύο σταθμών βάσης και περί τα 200μ με χρήση τριών. Περαιτέρω, το ποσοστό ακρίβειας περιορίζεται από το εύρος δέσμης της κεραιοσυστοιχίας. Υποθέτοντας μια σειρά 1μ σε συχνότητα 2GHz (που οδηγούν σε ένα εύρος δέσμης 10 βαθμών) με καλή γεωμετρία θέσης και παραμελώντας τα πιθανά αποτελέσματα της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών, το λάθος της θέσης στην απόσταση 1χλμ από δύο σταθμούς θα ήταν της τάξης των 200μ.

Ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα της λύσης αυτής συνίσταται στο υψηλό κόστος εφαρμογής της στα υπάρχοντα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς, λόγω του προτύπου κεραιοσυστοιχιών σε κάθε σταθμό βάσης. Στα 3G συστήματα, εντούτοις, η ευρεία επέκταση των προσαρμοστικών κεραιών BS μπορεί να αποβάλει ή να μειώσει το κόστος αυτό.

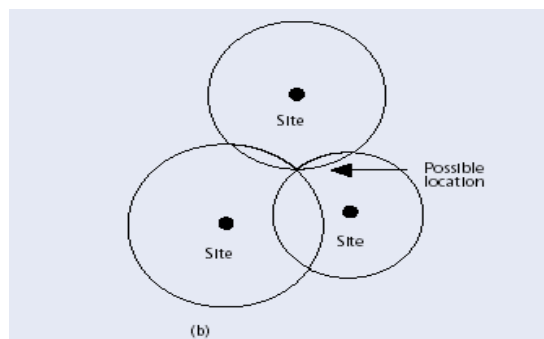
Εκτός από τα οικονομικά ζητήματα, η μέθοδος AOA μπορεί να δημιουργήσει και πρόβλημα χωρητικότητας. Ο συντονισμός των ταυτόχρονων μετρήσεων σε διάφορους σταθμούς βάσης καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο τον εντοπισμό ενός μεγάλου αριθμού χρηστών.

Ολοκληρώνοντας, και όσον αφορά τη γενική απόδοση αυτής της τεχνολογίας, μπορεί να λεχθεί ότι, αποτελεί μια αυξημένης αποδοτικότητας λύση στις αγροτικές και προαστιακές περιοχές, όπου η απευθείας οπτική επαφή είναι δυνατή αρκετά συχνά και η θέση ενός τερματικού μπορεί να μετρηθεί από μόνο δύο σταθμούς βάσης. Αντιθέτως όμως, η εφαρμογή της δεν αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή για τις πυκνές αστικές περιοχές, όπου η οπτική επαφή τερματικού και σταθμού δεν είναι εφικτή και η χωρητικότητα αυξάνεται. Εντούτοις, «υιοθετείται» από ένα μεγάλο αριθμό επιχειρήσεων ως λύση «έκτακτης ανάγκης» (E911), δεδομένου ότι είναι μια μέθοδος βασισμένη στο δίκτυο, με αποτέλεσμα να υποστηρίζει όλα τα τερματικά [4][5].

#### **2.2.1.4 Χρόνος (διαφορά) άφιξης στη ζεύξη ανόδου (Uplink time (difference) of arrival-UTDOA)**

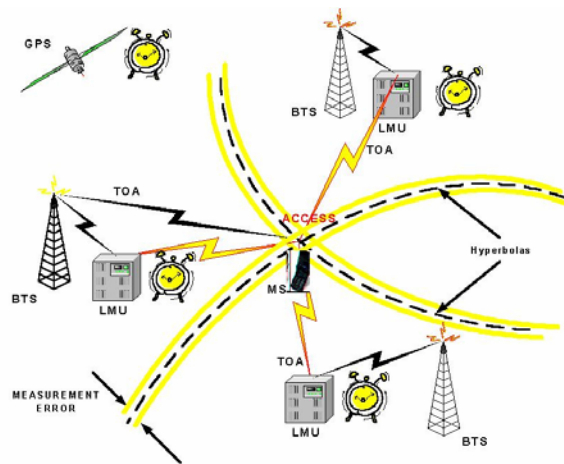
Η τεχνολογία που βασίζεται στο χρόνο (διαφορά) άφιξης των σημάτων στη ζεύξη ανόδου (Uplink time (difference) of arrival - TOA / U-TDOA ) εφαρμόζεται στους σταθμούς βάσης. Ο χρόνος άφιξης TOA είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα σήμα να ταξιδέψει από το τερματικό στον σταθμό βάσης. Στην περίπτωση μέτρησης του χρόνου για ένα σταθμό βάσης θα μπορούσε να υποθεθεί ότι, το τερματικό είναι γύρω από ένα κύκλο, όπου η ακτίνα του είναι ίση με την απόσταση που αντιπροσωπεύει το χρόνο άφιξης. Βάσει λοιπόν αυτού, η θέση του χρήστη καθορίζεται από έναν κύκλο με γνωστή την ακτίνα. Περαιτέρω μετρήσεις και σε άλλους σταθμούς έχουν σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη και άλλων τέτοιων κύκλων.

Σε αυτή την περίπτωση, για τον ακριβή προσδιορισμό της δισδιάστατης θέσης του κινητού απαιτούνται τρεις μετρήσεις από τρεις διαφορετικούς σταθμούς βάσεων, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



*Σχήμα 2-3: Μέθοδος TOA σε συγχρονισμένα δίκτυα*

Στην περίπτωση των πλήρως συγχρονισμένων δικτύων, η διαδικασία εντοπισμού με βάση αυτή τη μέθοδο είναι απλή, αφού οι μετρήσεις στο χρόνο άφιξης (Time of Arrival – TOA) των σημάτων συσχετίζονται άμεσα με τις αποστάσεις μεταξύ τερματικού και σταθμού βάσης. Αντίθετα, στην περίπτωση των μη συγχρονισμένων δικτύων, παράδειγμα των οποίων αποτελούν τα δίκτυα GSM και UMTS FDD [6], οι μετρήσεις TOA μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται μια κοινή χρονική αναφορά σε κάθε σταθμό βάσης, π.χ. ένας δέκτης GPS. Οι μετρήσεις αυτές των σημάτων, που στέλνονται από το κινητό, παραλαμβάνονται από τρεις ή περισσότερες μονάδες μέτρησης θέσης (Location Mobile Units - LMUs). Η μέθοδος υπολογίζει μέσω της υπερβολικής συνάρτησης trilateration την κινητή θέση, χρησιμοποιώντας τις γνωστές συντεταγμένες των LMUs, παράλληλα όμως, απαιτεί από αυτές οι μονάδες να είναι τοποθετημένες μέσα στη γεωγραφική περιοχή του κινητού, προκειμένου να μετρηθούν ακριβώς τα χρονικά σημεία άφιξης των σημάτων. Δύο μετρήσεις TOA καθορίζουν την υπερβολή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2-4), και τρεις μετρήσεις απαιτούνται για τη εύρεση της δισδιάστατης θέσης, όπως αυτό παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 2-4: Μέθοδος TOA σε μη συγχρονισμένα δίκτυα**

Στην περίπτωση TDOA το σύστημα μετρά τις διαφορές στο χρόνο άφιξης σε τρεις σταθμούς βάσης όπου και απαιτούνται. Κάθε διαφορά καθορίζει παρόμοια μια υπερβολή.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι αυτή η τεχνική μπορεί να έχει ισχύ μόνο κατά τη διάρκεια κλήσης (active user), έναντι της αντίστοιχης μεθόδου για τη ζεύξη καθόδου που χρησιμοποιείται και

για τους χρήστες σε κατάσταση ηρεμίας (idle). Το ποσοστό ακρίβειας μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 100m ή και λιγότερα, αλλά εξαρτάται ιδιαίτερα από το εύρος ζώνης σημάτων, το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών καναλιών, τον αλγόριθμο απόρριψης, τη γεωμετρία της απόστασης κινητού και σταθμού και τον αριθμό μετρήσεων, που λαμβάνονται από τις μονάδες. Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενο κόστος εφαρμογής, λόγω των ακριβών τροποποιήσεων που απαιτούνται στις υποδομές των δικτύων, όπως τα LMU's. [4][5].

#### **2.2.1.5 Αναγνώριση Μοτίβου Σημάτων (Signal pattern recognition - Location Pattern Matching)**

Η αναγνώριση μοτίβου σημάτων αποτελεί μια μέθοδο προσδιορισμού θέσης βασισμένη στην εκμετάλλευση των υπαρχόντων παραμέτρων των δικτύων. Περιλαμβάνει τη διαδικασία αναφοράς μετρήσεων, η οποία εκτελείται από τον κινητό σταθμό, και συγκρίνει τις τιμές που προκύπτουν από αυτή με τις τιμές που προκύπτουν από τα προδιαμορφωμένα μοντέλα διάδοσης της περιοχής [7]. Το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, είναι να συλλεχθούν και να αναλυθούν τα μετρημένα δεδομένα, που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας κλήσης. Αυτό μπορεί να γίνει πάνω από τις διάφορες διεπαφές δικτύων, π.χ. στη διεπαφή Abis. Στην συνέχεια, οι μετρήσεις αυτές μπορούν να συγκριθούν με τα υπάρχοντα μοντέλα δρόμων, που αποθηκεύονται στις βάσεις δεδομένων. Το βασικότερο ζήτημα σε αυτήν την τεχνική προσδιορισμού θέσης είναι η διαμόρφωση των δρόμων. Η πρόβλεψη της ισχύος κάθε σημείου στους δρόμους πρέπει να διαμορφωθεί με έναν τρόπο, έτσι ώστε όλες οι πληροφορίες με την μορφή σημάτων να σώζονται σε μια βάση δεδομένων. Στην περίπτωση του προσδιορισμού θέσης στο GSM, τα χαρακτηριστικά σημάτων των uplink και downlink συνδέσεων μπορούν να σωθούν σε ένα Hidden Markov μοντέλο (HMM), το οποίο θα διαμορφωθεί σύμφωνα με τα προβλεφθέντα δεδομένα [7].

Όσον αφορά την απόδοση που μπορεί να έχει η εφαρμογή της Αναγνώρισης Μοτίβου Σημάτων, με αυτή μπορεί να επιτευχθεί ποσοστό ακρίβειας της τάξεως των 100m και λιγότερο, εξαρτώμενο, όμως, ιδιαίτερα και αυτό από τα δεδομένα των δρόμων, την ανάλυση και το μέγεθος της βάσης δεδομένων, στην οποία αυτά αποθηκεύονται. Επομένως, ο βαθμός αυτός ακρίβειας επιτυγχάνεται μόνο στην περίπτωση χρήσης ενός υψηλής ευκρίνειας εργαλείου προγραμματισμού. Εντούτοις, η μέθοδος αυτή αποτελεί ικανοποιητική λύση για τις αστικές περιοχές, για τον λόγο ότι, το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών αυξάνει την ακρίβεια.

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το ότι, με την εφαρμογή της αποφεύγεται η υπερβολική σηματοδότηση, γεγονός που ωφελεί ιδιαίτερα τα ήδη φορτωμένα δίκτυα από τις διαδικασίες εγκαθίδρυσης της κλήσης, την υπηρεσία SMS, και τις αναπροσαρμογές διαπομπών και θέσης. Επιπλέον, ελαχιστοποιεί τον φόρτο υπολογισμών, μεταφέροντας την διαδικασία προσδιορισμού θέσης είτε σε καταναμημένους υπολογιστές, που βρίσκονται στα MSC, είτε σε κεντρικό σημείο, όπου συλλέγονται οι εκθέσεις μετρήσεων. Τέλος, υποστηρίζει τα υπάρχοντα τερματικά χωρίς συμπληρωματικό κόστος και είναι σε θέση να εντοπίσει ένα κινητό τερματικό, με την χρήση ενός μόνο σταθμού βάσης.

Στα μειονεκτήματα μιας τέτοιας μεθόδου περιλαμβάνονται, αφ' ενός το γεγονός ότι ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να γίνει μόνο στην περίπτωση, που μια κλήση έχει ήδη εγκαθιδρυθεί, αφ' ετέρου το ζήτημα που ανακύπτει σχετικά με το κόστος εφαρμογής της, το οποίο μπορεί να είναι αρκετά υψηλό, λόγω των στοιχειοκεραίων που απαιτούνται στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, θεωρείται δεδομένη η ύπαρξη ανάγκης για διακρίβωση των μετρήσεων και συντήρηση των βάσεων δεδομένων, διαδικασίες οι οποίες σίγουρα αποτελούν ένα επιπρόσθετο λειτουργικό κόστος για το δίκτυο. Τέλος, είναι πιθανόν να εμφανιστούν και προβλήματα χωρητικότητας, τα οποία σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν με ιδιαίτερη προσοχή [4][5].

### **2.2.2 ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ (HANDSET BASED)**

Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει κατά την εφαρμογή των τεχνολογιών-μεθόδων που βασίζονται στο δίκτυο, οι μέθοδοι που βασίζονται στο τερματικό προϋποθέτουν κατά την εφαρμογή τους την ενεργή «σύμπραξη» του κινητού τερματικού, τόσο στις διαδικασίες προσδιορισμού θέσης όσο και στις συντελούμενες μετρήσεις. Ανάλογα με τον βαθμό της προαναφερθείσας «σύμπραξης», η εφαρμοζόμενη τεχνική μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως υποβοηθούμενη από το κινητό (mobile-assisted) είτε ως εξ ολοκλήρου βασισμένη στο τερματικό (mobile-based). Οι μηχανισμοί των χρονικών διαφορών της ζεύξης καθόδου που παρατηρούνται (Downlink observed time differences OTD), τα επίπεδα σημάτων (Signal level) και η μέθοδος συσχετισμού βάσεων δεδομένων (Database Correlation) αναλύονται στις ακόλουθες παραγράφους.

### **2.2.2.1 Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές στη ζεύξη καθόδου**

Στην τεχνική των παρατηρούμενων χρονικών διαφορών στη ζεύξη καθόδου, το τερματικό «παρατηρεί» τα τυπικά κανάλια ελέγχου, προκειμένου να μετρηθούν οι χρονικές διαφορές των σημάτων από διάφορους σταθμούς, τόσο σε κατάσταση ηρεμίας (idle) όσο και σε ενεργή λειτουργία (active). Στις τεχνικές αυτές χρησιμοποιείται ένας δέκτης αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες για την απάλειψη των διαφορών χρονισμού των σταθμών, αντί του περίπλοκου και δαπανηρού συγχρονισμού των σταθμών. Η παρατηρούμενη χρονική διαφορά της ζεύξης καθόδου προσφέρεται είτε με την μονομερή βοήθεια του κινητού είτε με τη βασισμένη σε αυτό εφαρμογή. Στην πρώτη περίπτωση, η θέση υπολογίζεται μέσω των αποτελεσμάτων των μετρήσεων χρονικής διαφοράς των τερματικών και των μετρήσεων από το σταθμό αναφοράς, τα οποία στέλνονται σε ένα κέντρο θέσης. Στη δεύτερη περίπτωση, οι συντεταγμένες BSs' και τα αποτελέσματα μέτρησης των δεκτών αναφοράς στέλνονται απευθείας στο κινητό.

Σχετικά με την ακρίβεια της τεχνολογίας αυτής, μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις. Σε θεωρητικό επίπεδο, μπορούμε να διακρίνουμε δύο μορφές ακρίβειας. Την ακρίβεια μεμονωμένης μέτρησης και τη συνολική ακρίβεια. Η ακρίβεια μιας μεμονωμένης μέτρησης χρονικής διαφοράς εξαρτάται από το εύρος ζώνης σημάτων και το κανάλι πολλαπλών διαδρομών. Στις αστικές περιοχές, υπολαμβάνεται ότι, υπάρχουν μεγαλύτερα περιθώρια λάθους, δεδομένου ότι το βαρύ φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών αποτρέπει την ακριβή ανίχνευση του χρόνου άφιξης του πρώτου σήματος. Από την άλλη πλευρά όμως, στις ανοικτές περιοχές (αγροτικές) εμφανίζεται ένα επιπρόσθετο πρόβλημα, το οποίο προκαλείται από τη διάθρωση της γεωμετρίας μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού (Geometrical Dilution Of Precision, GDOP). Μια ομοιόμορφη διανομή των τερματικών γύρω από τους σταθμούς βάσης είναι η βέλτιστη γεωμετρία για αυτήν τη τεχνική.

Η συνολική ακρίβεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μεμονωμένη ακρίβεια, ειδικά σε σχέση με τον αριθμό διαθέσιμων μετρήσεων. Με άλλα λόγια, υψηλότερες αναλύσεις του χρονισμού έχουν ως αποτέλεσμα και υψηλότερη ακρίβεια. Σήμερα, δειγματοληψία με τετραπλάσιο ρυθμό του ρυθμού δεδομένων χρησιμοποιείται συχνά στο δέκτη [8], βελτιώνοντας, έτσι, τις αναλύσεις χρονισμού σε τιμές όπως ~65ns στο UMTS και ~923ns στο GSM, που αντιστοιχούν σε αποστάσεις ~19,5m και ~277m διάδοσης. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένα όριο βελτίωσης με την αύξηση του ρυθμού δειγματοληψίας, που, συνήθως,

οφείλεται στον προσδιορισμό της ακρίβειας της υπό μέτρηση χρονικής καθυστέρησης, λόγω του εύρους ζώνης.

Στην προτυποποίηση του GSM και του UMTS, οι τεχνικές αυτές καλούνται ενισχυμένες παρατηρούμενες χρονικές διαφορές (Enhanced Observed Time Differences - E-OTD) και παρατηρούμενη χρονική διαφορά της άφιξης (Observed Time Difference of Arrival - OTDOA), αντίστοιχα. [4][5].

#### 2.2.2.1.1 Ενισχυμένη τεχνική των παρατηρούμενων χρονικών διαφορών (Enhanced Observed Time Differences – EOTD)

Οι μετρήσεις χρονικής διαφοράς στο GSM καλούνται και παρατηρούμενες χρονικές διαφορές (Observed Time Differences - OTDs). Αν και πραγματοποιούνται χωρίς την αναγκαστική εκτέλεση διαπομπής, η οποία τις καθιστά ελκυστικότερες, όσον αφορά την ανεύρεση της θέσης, οι OTD υπόκεινται σε χαμηλή ανάλυση μετρήσεων και σε μη εγγυημένο συγχρονισμό των σταθμών βάσης. Ευτυχώς, τα προβλήματα αυτά έχουν λυθεί στην ενισχυμένη τεχνική OTD (Enhanced-OTD), στην οποία χρησιμοποιούνται τερματικά τροποποιημένου λογισμικού, που εξοπλίζονται με περίπλοκους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος, προκειμένου να εντοπίσουν το «ταχύτερο» σήμα άφιξης από τους περιφερειακούς σταθμούς βάσης. Η μεταφορά των μετρήσεων OTD πραγματοποιείται με την χρήση συγκεκριμένων σημάτων προς ένα MLC, στο οποίο και λαμβάνει χώρα η εκτίμηση της θέσης του τερματικού.

Επιπλέον, οι διαφορές συγχρονισμού μεταξύ των σταθμών βάσεων μετρούνται από τους δέκτες αναφοράς, που εγκαθίστανται στα BS, προκειμένου να επιτευχθεί ο συγχρονισμός.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το υψηλό κόστος εφαρμογής, που εμφανίζει, το οποίο οφείλεται κατά πρώτο λόγο στην γενικότερη δομή του δικτύου και πιο συγκεκριμένα στους πρόσθετους δέκτες, που απαιτούνται για την εφαρμογή της, και κατά δεύτερο λόγο στις τροποποιήσεις λογισμικού, που απαιτείται να γίνουν στις ήδη υπάρχουσες συσκευές.

#### 2.2.2.1.2 Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές των αφίξεων στη ζεύξη καθόδου (Observed Time Difference of Arrival - OTDOA)

Η αντίστοιχη τεχνική της OTD στο UMTS, η τεχνική OTDOA, μετρά τη χρονική διαφορά της άφιξης των σημάτων στη ζεύξη καθόδου στο κινητό. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να

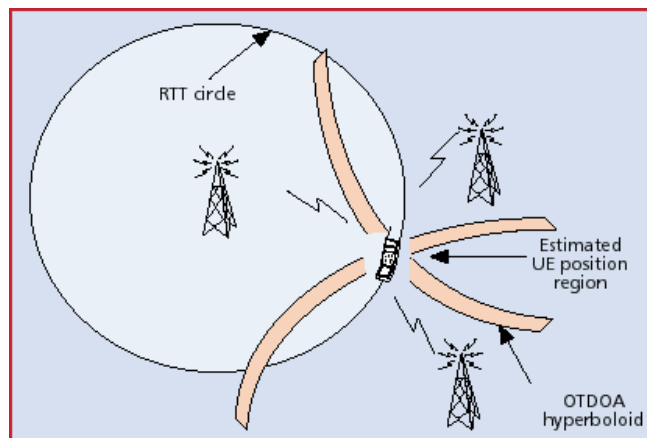
εφαρμόζεται υπό δύο διαφορετικές μορφές. Με την πρώτη της μορφή εφαρμόζεται υποβοηθούμενη από το κινητό (UE-assisted), ενώ με την δεύτερη εξ ολοκλήρου βασισμένη στο κινητό (UE-based). Στην περίπτωση που η τεχνολογία υποβοηθείται από το κινητό, την εκτίμηση εκτελεί ο ελεγκτής του ράδιο-δικτύου που εξυπηρετεί (Serving Radio Network Controller - SRNC), ενώ στην περίπτωση που η τεχνολογία εξαρτάται εξ ολοκλήρου από το κινητό, την εκτίμηση εκτελεί το τερματικό, με την συνδρομή του πάροχου για τις ακριβείς θέσεις των σταθμών βάσης και τις σχετικές χρονικές διαφορές (relative time differences - RTDs). Η ακρίβεια της τεχνικής αυτής εξαρτάται από τις γεωγραφικές θέσεις των Node Bs. Οι επιπρόσθετοι γεωγραφικοί περιορισμοί που υπάρχουν, έχουν ως αποτέλεσμα την πραγματοποίηση περισσότερων μετρήσεων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η λήψη ακριβέστερων εκτιμήσεων για τη θέση του κινητού. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις αυτές είναι βασισμένες στα σήματα από τα Node Bs, οι θέσεις αυτών των σταθμών βάσεων είναι απαραίτητες για το δίκτυο ή το τερματικό, προκειμένου αυτές να υπολογισθούν. Εάν οι πομποί των Node B στο UTRAN είναι μη συγχρονισμένοι, η σχετική χρονική διαφορά (RDT) πρέπει να παρασχεθεί για τους αριθμούς πλαισίων του συστήματος (system frame numbers - SFN). Η διαφορά αυτή εμφανίζεται και υπό τον όρο «παρατηρούμενη SNF-SNF χρονική διαφορά».

Ένας τρόπος για την λήψη των παραπάνω μετρήσεων, είναι με την υλοποίηση και εγκατάσταση LMUs, τα οποία εκτελούν τις μετρήσεις χρονισμού όλων των τοπικών πομπών, σε σταθερές θέσεις του δικτύου. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να μετατραπούν σε RTDs και να διαβιβαστούν στο τερματικό ή το RNC για τους υπολογισμούς θέσης. Επιπλέον, το τερματικό μετρά την παρατηρούμενη SNF-SNF χρονική διαφορά, η οποία προσδιορίζει τη χρονική διαφορά μεταξύ δύο κυψελών. Δύο τύποι καθορίζονται. Όπως εξηγείται στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, ο τύπος 1 χρησιμοποιείται για την ήπια διαπομπή, ενώ ο τύπος 2 χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσης. Η κύρια διαφορά των δύο αυτών τύπων συνίσταται στο γεγονός ότι, ο τύπος 2 ισχύει και για τους χρήστες σε κατάσταση ηρεμίας (idle) αλλά και για τους ενεργούς (active), ενώ ο τύπος 1 υποστηρίζει τις μετρήσεις στην ίδια συχνότητα, ενώ αντίθετα δεν υποστηρίζει τις μετρήσεις σε διαφορετική συχνότητα, όσον αφορά τους ενεργούς χρήστες. Δεδομένου ότι το Node B στη λειτουργία TDD είναι γενικά συγχρονισμένο, οι RTDs είναι σταθερές. Ομοίως, στη λειτουργία FDD, εάν οι συσχετιζόμενες κυψέλες είναι συγχρονισμένες, οι μετρήσεις RTDs δεν είναι απαραίτητες. Για τη λειτουργία FDD, η διαφορά RTT και του χρόνου λήψης-αποστολής



(Rx-Tx) μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν για την βελτίωση της απόδοσης του OTDOA. Από την άλλη πλευρά, για την βελτίωση της απόδοσης στη λειτουργία TDD, μπορεί να ληφθεί υπόψη η απόκλιση χρονικής λήψεως RX. Βάσει του γεγονότος ότι, οι προσαρμοστικές ή «έξυπνες» κεραίες (adaptive and smart antennas) έχουν καθιερωθεί ως χαρακτηριστικό γνώρισμα των δικτύων TDD 1,28 McHips/s, η τεχνική AOA μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης των OTDOA και Cell-Id τεχνολογιών.

Η μέθοδος εντοπισμού θέσης OTDOA στο UTRAN [9][10][11][12][13] παρουσιάζει και αυτή προβλήματα, όπως είναι π.χ. το πρόβλημα «ακουστικής» δυνατότητας του κινητού (Hearability), οι μη συγχρονισμένοι σταθμοί βάσης για τη λειτουργία FDD, η γεωγραφική θέση των σταθμών βάσης, και η απώλεια χωρητικότητας. Σχετικά με το πρόβλημα της «ακουστικής», αυτό μπορεί να εμφανιστεί, όταν ένα τερματικό είναι πολύ κοντά στον κόμβο που το εξυπηρετεί, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να εμποδίσει ή να μειώσει τη δυνατότητα αντίληψης των σημάτων από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης στην ίδια συχνότητα. Από το Σχήμα 2-5 φαίνεται ότι το κινητό πρέπει να είναι σε θέση να «ακούει» τουλάχιστον τρεις σταθμούς βάσης, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός της θέσης του με τη μέθοδο OTDOA.



Σχήμα 2-5: Μέθοδος παρατηρούμενων χρονικών διαφορών των αφίξεων

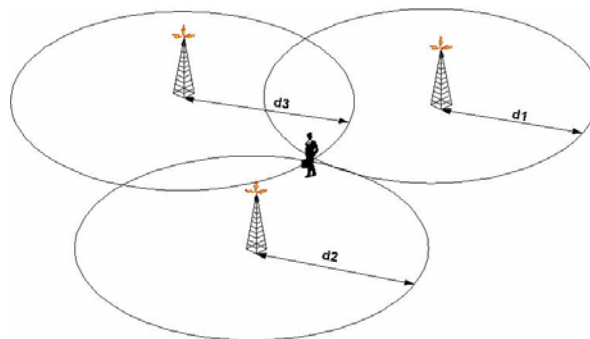
Το πρόβλημα των μη συγχρονισμένων σταθμών βάσης, προκαλεί σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με το ποσοστό ακρίβειας στις μετρήσεις TDOA. Όσον αφορά το πρόβλημα των γεωγραφικών θέσεων των σταθμών βάσης, οι θέσεις των σταθμών βάσης που εμπλέκονται στην εύρεση θέσης θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις τόσο στη διαθεσιμότητα, όσο και στην ακρίβεια του εντοπισμού θέσης. Παραδείγματος χάριν, σε μια μεγάλη ευθεία της

εθνικής οδού, σε αγροτική περιοχή, η μέθοδος OTDOA μπορεί να αποτύχει στον εντοπισμό της θέσης ενός τερματικού, για τον λόγο ότι ο κόμβος B μπορεί απλά να βρεθεί κατά μήκος της ίδιας εθνικής οδού. Σχετικά με το πρόβλημα της απώλειας χωρητικότητας, το σύστημα εμφανίζεται να παρέχει μικρότερη χωρητικότητα στους χρήστες, στην περίπτωση που τα κανάλια κίνησης και σηματοδοσίας καθώς, επίσης, και ένα μέρος της υπολογιστικής δύναμης της οντότητας του τερματικού ή του δικτύου καταλαμβάνονται από τις υπηρεσίες εντοπισμού θέσης OTDOA.

Προκειμένου να βελτιωθεί το πρόβλημα της «ακουστικής» των γειτονικών κόμβων B, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η περίοδος μη απασχόλησης της ζεύξης καθόδου (idle period downlink - IPDL). Με την μέθοδο αυτή, κάθε κόμβος B παύει τη μετάδοσή του για μικρές χρονικές περιόδους (περίοδοι μη απασχόλησης). Κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας περιόδου στον κόμβο B, το τερματικό μέσα σε αυτόν τον κόμβο μπορεί να λάβει τις μετρήσεις από τους γειτονικούς κόμβους. Με αυτό τον τρόπο το πρόβλημα hearability περιορίζεται. Με χρήση της σηματοδοσίας πάνω από τη διεπαφή Uu το τερματικό ενημερώνεται για τις περιόδους IPDLs [14], έτσι ώστε αυτό να είναι σε θέση να προγραμματίσει τις μετρήσεις, αναλόγως. Δεδομένου ότι η μέθοδος IPDL είναι προσανατολισμένη στη ζεύξη καθόδου, η υπηρεσία εντοπισμού θέσης μπορεί να παρασχεθεί αποτελεσματικά σε έναν μεγάλο αριθμό τερματικών ταυτόχρονα.

#### **2.2.2.2 Επίπεδα σημάτων (Signal levels)**

Η μέθοδος επιπέδων σημάτων είναι βασισμένη στις μετρήσεις ισχύος σημάτων από τα κανάλια ελέγχου. Η προσέγγιση αυτής της τεχνικής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2-6), με έναν απλουστευμένο τρόπο, όπου υποτίθεται η δισδιάστατη γεωμετρία, οι πανκατευθυντικές κεραίες των σταθμών, και οι όροι διάδοσης στον ελεύθερο χώρο.



*Σχήμα 2-6: Τεχνική επιπέδων σημάτων (Signal level method)*

Η θέση των τερματικών μπορεί να υπολογιστεί ως το σημείο διατομής των τριών κύκλων, που αντιπροσωπεύουν την κάλυψη τριών κυψελών βασισμένη στα επίπεδα σημάτων. Η πιο περίπλοκη ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιήσει τα μοντέλα διάδοσης, που εξαρτώνται από το περιβάλλον (περιοχή) κάλυψης και τους διαφορετικούς τύπους κεραιών, για να φθάσει σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής επηρεάζεται ιδιαίτερα από την εξασθένιση, που προκαλείται από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών και τη σκίαση. Η γρήγορη εξασθένιση είναι δυνατόν να προκαλέσει μεγάλα σφάλματα στις εκτιμήσεις απόστασης. Εντούτοις, τα σφάλματα αυτά μπορούν να εξομαλυνθούν με τον υπολογισμό του μέσου όρου της ισχύος σημάτων, κυρίως πάνω από τη ζώνη συχνοτήτων και δευτερευόντως πάνω από τη ζώνη χρόνου. Σε αντίθεση με τη γρήγορη εξασθένιση, οι αποκλίσεις λόγω των τυχαίων σκιάσεων δεν μπορούν να εξαλειφθούν, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε τυχαίες εκτιμήσεις για τη θέση του τερματικού. Επίσης, η ακρίβεια εξαρτάται και από το μοντέλο διάδοσης, που χρησιμοποιείται, αλλά και από τον αριθμό των διαθέσιμων μετρήσεων.

Με εξαίρεση τα παραπάνω προβλήματα που ενδέχεται να εμφανισθούν κατά την εφαρμογή της, η τεχνολογία ισχύος σημάτων προσφέρει μια εύκολα εφαρμόσιμη και χαμηλού κόστους λύση για το GSM, δεδομένου ότι υποστηρίζει τα υπάρχοντα τερματικά, ιδανική κατάσταση για την ενίσχυση της ακρίβειας της μεθόδου Cell-ID. Εξετάζοντας το μέλλον, οι μετρήσεις ισχύος σημάτων μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία στο UMTS, λόγω του εύρους ζώνης και του αλγορίθμου ελέγχου ισχύος, τα οποία επιφέρουν ουσιαστική εξομάλυνση της γρήγορης εξασθένισης. Από την άλλη πλευρά όμως, το UMTS δημιουργεί το πρόβλημα της «ακουστικής», όπως αυτό αναπτύχθηκε παραπάνω και το οποίο αποτρέπει τον αριθμό μετρήσεων των γειτονικών σταθμών βάσης που εκτελούνται στο GSM [4][5].

### **2.2.3 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**

Στο υποκεφάλαιο, που αναφέρεται στις δορυφορικές τεχνολογίες, αναπτύσσονται όλοι οι μηχανισμοί εντοπισμού θέσης, οι οποίοι αποτελούν ένα δορυφορικό τμήμα στη διαδικασία της εφαρμογής και προσδιορισμού θέσης. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται αναλυτικά συστήματα, όπως το GPS (Global Position System), το διαφορικό GPS (Differential GPS), το υποβοηθούμενο GPS (Assisted GPS), και επιγραμματικά, μιας και είναι έξω από το πεδίο της συγκεκριμένης διατριβής, συστήματα όπως τα GLONASS, GNSS, EGNOS και GALILEO.

### **2.2.3.1 GPS (Global Positioning System)**

Το δορυφορικό σύστημα GPS παρέχει τα κατάλληλα μέσα για τον καθορισμό της θέσης, της ταχύτητας, και του χρόνου κάποιου χρήστη αυτού του συστήματος. Η συστοιχία των 24 δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για το GPS σήμερα αναπτύχθηκε, εγκαταστάθηκε και διατηρείται από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Την ελεύθερη «πρόσβαση» των πολιτών εγγυάται μια ιδιαίτερη συμφωνία με το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ. Οι δορυφόροι GPS εκπέμπουν σε δύο συχνότητες. Τυπικά, μόνο μία συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους πολίτες. Από την πλευρά αυτών των δεκτών (πολιτικοί), οι δορυφόροι GPS εκπέμπουν στα 1575.42 MHz χρησιμοποιώντας CDMA, το οποίο χρησιμοποιεί ένα σήμα φασματικής εξάπλωσης άμεσης ακολουθίας δεδομένων (direct-sequence spread-spectrum DS-SS) σε συχνότητα 1.023 MHz (Mchips/s) με μια περίοδο κώδικα του 1ms. Κάθε σήμα DS-SS του δορυφόρου διαμορφώνεται από ένα μήνυμα πλοήγησης 50b/s, που περιλαμβάνει τον ακριβή χρόνο και τους συντελεστές (ημεροδείκτης) σε μια εξίσωση που περιγράφει τη θέση του δορυφόρου ως συνάρτηση του χρόνου.

Η γενική αρχιτεκτονική του GPS συστήματος βασίζεται σε τρία κύρια συστατικά: το διαστημικό τμήμα, το τμήμα χρηστών, και το τμήμα ελέγχου. Το διαστημικό τμήμα αποτελείται από περίπου 24 δορυφόρους, που βρίσκονται σε τροχιά σε ύψος περίπου 20.200Km από την επιφάνεια της γης, σε έξι τροχιακά επίπεδα, με 55 βαθμούς κλίσης. Το συνδυασμένο τροχιακό πλάνο υπαγορεύει το ελάχιστο σύνολο τεσσάρων δορυφόρων, προκειμένου οποιοδήποτε σημείο (θέση) πάνω στην επιφάνεια της Γης να είναι ορατό. Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από πέντε επίγειους σταθμούς, που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο, και οι οποίοι ελέγχουν συνεχώς την κατάλληλη και συνεχή λειτουργία των δορυφόρων. Το τμήμα χρηστών αποτελείται από τους δέκτες GPS, που μπορούν να είναι είτε φορητοί είτε τοποθετημένοι στο αυτοκίνητο, παραδείγματος χάριν ως τμήμα των συστημάτων ναυσιπλοΐας.

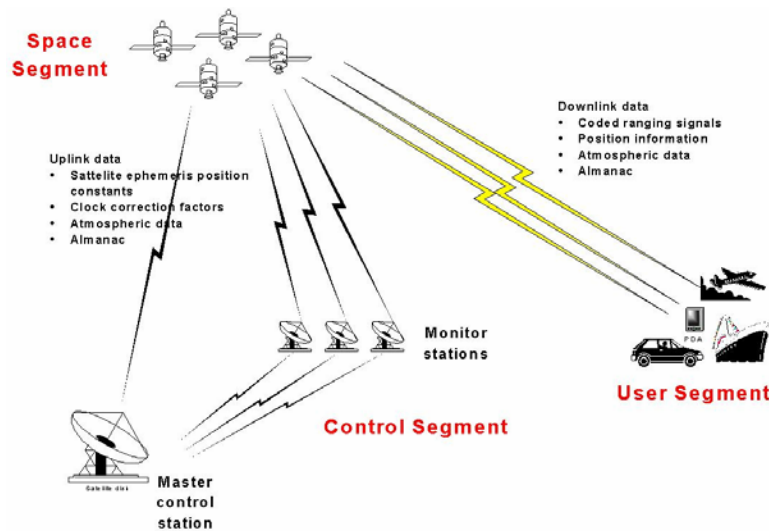
Οι τέσσερις κύριες συμβατικές λειτουργίες δεκτών του GPS είναι:

- Η μέτρηση της απόστασης από τους δορυφόρους στο δέκτη με τον καθορισμό των ψευδών-σειρών (φάσεις κώδικα) -pseudo-ranges/code phases
- Η εξαγωγή του χρόνου άφιξης του σήματος από το περιεχόμενο του εκπεμπόμενου δορυφορικού μηνύματος

- Ο υπολογισμός της θέσης των δορυφόρων με την αξιολόγηση των δεδομένων, που προέρχονται από το χρόνο άφιξης
- Ο υπολογισμός της θέσης της κεραίας λήψης και της ακρίβειας ρολογιού (clock) του δέκτη με τη χρησιμοποίηση των παραπάνω δεδομένων

Η λειτουργία του συστήματος είναι βασισμένη στην απλή ιδέα της μέτρησης του χρόνου που απαιτείται για την λήψη ενός σήματος, από έναν δορυφόρο στο δέκτη. Είναι σαφώς πιο σύνθετο στην τελική του φάση, δεδομένου ότι ο δέκτης οφείλει να υπολογίσει το χρόνο για τα σήματα, που έλαβε από τέσσερις ξεχωριστούς δορυφόρους, προκειμένου να ληφθούν με τον τρόπο αυτό, ακριβείς πληροφορίες για το γεωγραφικό πλάτος, μήκος, και ύψος. Εκτός από το παραπάνω στοιχείο, που ήδη καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα πολύπλοκο, επίσης, κάθε δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με ένα ακριβές ρολόι (clock), για την μετάδοση των σημάτων με χρονική ακρίβεια. Με αυτό τον τρόπο, στη συνέχεια, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει την απόσταση από το δορυφόρο και τις λοιπές πληροφορίες θέσης.

Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει τη γενική αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος, όπως αυτό σκιαγραφήθηκε παραπάνω.



Σχήμα 2-7: Αρχιτεκτονική Συστήματος GPS

Όσον αφορά την απόδοση της τεχνολογίας GPS στα κυψελοειδή συστήματα, υπάρχουν διάφορα ζητήματα προς μελέτη λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια, το κόστος εφαρμογής, την κατανάλωση ισχύος, την αποδοχή από τους χρήστες, την παροχή υπηρεσιών και την ακεραιότητά της.

Τα GPS βασισμένα συστήματα αποδίδουν εξάισια στους τομείς της ακρίβειας των δεδομένων θέσης και της παγκόσμιας διαθεσιμότητας, δεδομένου ότι μπορούν να προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης, φθάνοντας τα 20m με 100m, τα οποία μπορούν να μειωθούν περαιτέρω και κάτω από τα 20m, σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου. Επιπλέον, δεν υπάρχει κανένα όριο στον αριθμό χρηστών που μπορεί το σύστημα να υποστηρίξει οποιαδήποτε στιγμή. Τέλος, αξίζει να τονισθεί το γεγονός ότι, η ένταξη τους στο πλαίσιο υποδομής των σύγχρονων και ήδη υπαρχόντων δικτύων επικοινωνίας δημιουργεί τα ελάχιστα δυνατά προβλήματα, με αποτέλεσμα το κόστος εφαρμογής τους να κυμαίνεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα.

Παράλληλα, πρέπει να αναφερθούν και ορισμένα προβλήματα, που ανακύπτουν από την εφαρμογή των συστημάτων GPS. Ένας επιπρόσθετος δέκτης GPS θα αυξήσει το μέγεθος και το βάρος των συσκευών και αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη και συχνότερη κατανάλωση των μπαταριών των κινητών τηλεφώνων. Επιπλέον, δεν αποκλείεται να ανακύψει ανάγκη επανασχεδιασμού της κεραίας του κινητού τηλεφώνου, εξαιτίας του ότι το GPS λειτουργεί σε διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων από ότι τα κυψελοειδή και ασύρματα δίκτυα. Οι παράγοντες αυτοί ενδέχεται να ασκήσουν ισχυρή, αρνητική επίδραση στο κόστος του κινητού, ενώ ενδέχεται, επίσης, να οδηγήσουν σε μειωμένη αποδοχή από τους χρήστες, οι οποίοι για ευνόητους λόγους ευκολίας και πρακτικότητας προτιμούν μικρότερα και ελαφρύτερα τερματικά με αυξημένο χρόνο ζωής των μπαταριών τους.

Επιπλέον, ανακύπτουν και ιδιαίτερες δυσκολίες, σχετικές με την παροχή υπηρεσιών από τα συστήματα GPS, τα οποία διευρύνουν, κάπως, τον κύκλο μειονεκτημάτων τους. Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, ένα σύστημα GPS χρειάζεται τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, ορατούς οποιαδήποτε στιγμή, προκειμένου να υπολογιστεί η γεωγραφική θέση. Αυτός ο αριθμός δορυφόρων είναι συχνά μη διαθέσιμος, και άρα ανεπαρκής, στα αρκετά σκιασμένα και καλυμμένα περιβάλλοντα, όπως είναι οι δρόμοι σε αστικές περιοχές. Από την άλλη, το σύστημα αδυνατεί να επιτύχει εκτίμηση θέσης και όταν ο χρήστη βρίσκεται σε εσωτερικό περιβάλλον, γεγονός που οδηγεί, όπως και το προηγούμενο σε ανεπαρκή και ημιτελή παροχή υπηρεσιών.

Ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα του GPS είναι ο χρόνος στην πρώτη αποτύπωση του στίγματος GPS, που έχει επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητά του στις καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ένας δέκτης GPS χρειάζεται συνήθως ένα έως ενάμισι λεπτό- ή ακόμα

και περισσότερο χρόνο- ανάλογα με το σχεδιασμό του, προκειμένου να ξεκινήσει τις αναγνώσεις της θέσης μετά την ενεργοποίηση του.

Εξετάζοντας μερικά από τα ζητήματα απόδοσης, έχουν συντελεστεί δύο προσπάθειες να ενισχυθεί η απλή τεχνολογία GPS, μέσω του **διαφορικού GPS (Differential-GPS)** και μέσω του **υποβοηθούμενου GPS (Assisted-GPS)**. Και οι δύο αυτές διαφοροποιημένες τεχνικές χρησιμοποιούν την ίδια ιδέα και τη γενική αρχιτεκτονική, που περιγράφονται ανωτέρω, και απλά εισάγουν μικρές ρυθμίσεις, που βελτιώνουν την απόδοση του GPS σε ειδικούς τομείς [15].

### **2.2.3.2 Διαφορικό GPS (Differential GPS-DGPS)**

Λόγο εφαρμογής της τεχνολογίας του διαφορικού GPS (DGPS) αποτελεί, κυρίως, η επιδίωξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας του τυποποιημένου προσδιορισμού θέσης GPS. Πιο συγκεκριμένα, με το DGPS επιχειρείται εξασθένιση των σφαλμάτων, που παράγονται στην ιονόσφαιρα, στην τροπόσφαιρα, των σφαλμάτων ρολογιών των δορυφόρων και των σφαλμάτων μέτρησης κώδικα. Η κύρια ιδέα, που κρύβεται πίσω από την λύση του DGPS, είναι καταρχήν ο δέκτης αναφοράς, ένα γνωστό σημείο με γνωστές συντεταγμένες, και η γνώση ότι, πέρα από τις περιορισμένες «βασικές γραμμές» μεταξύ ενός σταθμού αναφοράς και ενός μακρινού δέκτη, τα σφάλματα θα είναι τα ίδια σε κάθε περίπτωση, σε κάθε θέση, με αποτέλεσμα ο συνεχής εντοπισμός και αφαίρεση αυτών να πραγματοποιείται πιο εύκολα. Ακολουθώντας την ιδέα αυτή, η τεχνική απαιτεί δύο δέκτες GPS, το δέκτη αναφοράς και έναν κινητό δέκτη. Η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω των συντεταγμένων του δέκτη αναφοράς, για την διόρθωση της ψευδό-εμβέλειας (pseudorange) του δορυφόρου και την αντικατάσταση της από την πραγματική εμβέλεια, υπολογίζοντας τη διαφορική διόρθωση και εξάγοντας με τον τρόπο αυτό την «ψευδό» από την πραγματική εμβέλεια.

Υπάρχουν δύο τρόποι, με τους οποίους αυτή η διαφορική διόρθωση εφαρμόζεται στα υπάρχοντα δίκτυα, παράγοντας δύο παραλλαγές του DGPS. Στον πρώτο, γνωστός ως άμεσος τρόπος, η διαφορική διόρθωση διαβιβάζεται στον κινητό δέκτη, ο οποίος λαμβάνει όλες τις διαδικασίες διορθώσεων και υπολογισμού της λύσης προσδιορισμού θέσης. Εφαρμόζεται ευρέως σε κυβερνητικούς τομείς (π.χ. αμερικανική ακτοφυλακή), στο να παρασχεθούν οι καλύτερες ικανότητες προσδιορισμού θέσης σε έναν μεγάλο και άγνωστο αριθμό βαρκών και σκαφών χρησιμοποιώντας διαφορετικό εξοπλισμό GPS. Αντίθετα, με

την δεύτερη μέθοδο, δηλαδή το αντίστροφο διαφορικό GPS (Inverse Differential GPS), ο σταθμός αναφοράς είναι υπεύθυνος για την αποτύπωση της θέσης και αρμόδιος για την επεξεργασία των «ακατέργαστων» μετρήσεων από τον κινητό δέκτη. Ο σταθμός αναφοράς «εκμεταλλεύεται» τον ισχυρό εξοπλισμό του και την πολύ χαμηλή ζώνη (band), που απαιτείται για τη μετάδοση των στοιχείων. Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη στον τομέα εμπορικών υπηρεσιών.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης τεχνικής, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα του απλού GPS, αποδίδουν υψηλότερα ποσοστά ακρίβειας, τα οποία ποικίλουν, από 1m σε 7m, ανάλογα με οπτική γραμμή μεταξύ του σημείου αναφοράς και του κινητού δέκτη. Στην πράξη, ενισχύει έναν τομέα, όπου ήδη το απλό GPS αποδίδει αρκετά καλά. Παράλληλα, όμως, με την ενίσχυση του τομέα αυτού, το DGPS δεν παύει να «κουβαλάει» όλα τα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης, όπως αυτά εκτέθηκαν παραπάνω [15].

### **2.2.3.3 Assisted GPS**

Η τεχνολογία υποβοηθούμενου GPS στοχεύει στην περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων του απλού και διαφορικού GPS. Η εφαρμοζόμενη αυτή τεχνολογία είναι βασισμένη στη χρήση των κυψελοειδών δικτύων και θεωρείται παραλλαγή του διαφορικού GPS. Ο βασικός στόχος της υποβοηθούμενης αυτής τεχνολογίας GPS είναι η εφαρμογή μιας κατανεμημένης αρχιτεκτονικής, αντί της συγκεντρωτικής που χρησιμοποιείται από το απλό και διαφορικό GPS. Σε αυτήν την περίπτωση, οι κύριες λειτουργίες της τεχνολογίας κατανέμονται μεταξύ ενός δέκτη αναφοράς GPS, ενός κεντρικού server θέσεων (location server – LS) και ενός κινητού τερματικού (κυψελοειδές τηλέφωνο) εξοπλισμένου με GPS.

Πιο συγκεκριμένα, ο δέκτης αναφοράς GPS συγκεντρώνει τα δορυφορικά μηνύματα πλοήγησης και τα διαφορικά δεδομένα διορθώσεων για όλους τους ορατούς δορυφόρους. Σε πολλές περιπτώσεις, ο δέκτης αναφοράς αντικαθίσταται από ένα δίκτυο δεκτών αναφοράς, έτσι ώστε η κάλυψη, που αυτό προσφέρει να εξυπηρετεί μια ευρύτερη περιοχή, απ' ότι ένας μοναδικός δέκτης αναφοράς.

Επιπλέον, ο LS είναι αρμόδιος για την υποδοχή και αποθήκευση των δεδομένων αναφοράς GPS, για τη μετάδοση των βοηθητικών δεδομένων προς το GPS κινητό τερματικό και για το σχεδιασμό και υλοποίηση των λύσεων πλοήγησης, οποτεδήποτε οι μετρήσεις ψευδο-εμβέλειας και αν στέλνονται από το κινητό τερματικό. Οι δυνατότητες του LS, όμως, δεν



περιορίζονται εδώ : εάν συνδυασθεί με μια βάση δεδομένων ύψους εδαφών, μπορεί να παράσχει ακριβείς πληροφορίες ύψους για τις επίγειες εφαρμογές, ενώ, επίσης, μπορεί να μετριάσει τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών και τα ανακλώμενα σήματα με την χρήση διαφόρων διαδοχικών μετρήσεων.

Επιπλέον, το εξοπλισμένο με GPS τερματικό υπολογίζει τις πληροφορίες ψευδό-διαφοράς από το στιγμιότυπο των δεδομένων GPS, με τα βοηθητικά δεδομένα που προέρχονται από το LS. Πρέπει να σημειωθεί ότι, τα βοηθητικά δεδομένα, που στέλνονται σε κάθε κινητό κατόπιν απαίτησης αυτού, αποτελούνται από έναν κατάλογο δορυφόρων από την οπτική γωνία του τερματικού και τα σχετικά offset των συχνοτήτων Doppler. Είναι ένα μικρό μήνυμα (περίπου 50 bytes) και αντιπροσωπεύει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για το κινητό τερματικό, προκειμένου αυτό να εκτελέσει τη λειτουργία που περιγράφεται παραπάνω.

Συγκρίνοντας την αρχιτεκτονική αυτή με την αντίστοιχη του απλού GPS, μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι, οι προαναφερθείσες λειτουργίες επιτελούνται από τους συμβατικούς δέκτες GPS χωρίς οποιαδήποτε άλλη σύμπραξη. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την «σπατάλη» ενός σημαντικού χρονικού διαστήματος για τη συλλογή και εξαγωγή του δορυφορικού μηνύματος, των bits συγχρονισμού και του επιπέδου λαμβανόμενου σήματος του τερματικού. Από την άλλη μεριά, το GPS κινητό απαιτεί σημαντικά λιγότερο χρόνο για αυτές τις λειτουργίες και είναι σε θέση να λειτουργήσει με αρκετά χαμηλότερο επίπεδο σημάτων, δεδομένου ότι ο LS έχει αναλάβει την αποκωδικοποίηση του δορυφορικού μηνύματος και την επεξεργασία ενός μεγάλου αριθμού κωδίκων PRN, των χρόνων άφιξης και το offset συχνοτήτων .

Τέλος, είναι προφανές ότι τα υποβοηθούμενα συστήματα GPS ενισχύουν την απόδοση του GPS στους σημαντικότερους τομείς. Παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, σημαντικά μικρότερη καθυστέρηση στην πρώτη αποτύπωση του στίγματος, μειωμένη κατανάλωση ισχύος και αυξανόμενη διαθεσιμότητα στα περιβάλλοντα, όπου το σήμα GPS μειώνεται αρκετά, όπως είναι οι αστικές περιοχές και οι εσωτερικοί χώροι. [15].

#### **2.2.3.4 GLONASS – GNSS – EGNOS- GALILEO**

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει μια μικρή αναφορά στα άλλα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης, τα οποία έχουν αναπτυχθεί τελευταία από άλλες χώρες, όπως η Ρωσία και γενικότερα η Ευρώπη. Ο ανταγωνιστής του GPS, που προέρχεται από τη Ρωσία, είναι

γνωστός ως **GLONASS (GLOBAL NAVIGATIONAL SATELLITE SYSTEM)**. Το σύστημα στοχεύει στη συνεχή παροχή της τρισδιάστατης θέσης, ταχύτητας, και χρόνου. Το GLONASS αποτελείται από τρία υποσυστήματα. Το δορυφορικό, το επίγειο και το τερματικό του χρήστη. Εν συντομία, το δορυφορικό υποσύστημα αποτελείται από 21-24 δορυφόρους σε σχετικές τροχιές σε ύψος 19.100Km και σε γωνία 64,8 μοιρών. Το επίγειο υποσύστημα καλούμενο και Check and Control Subsystem αποτελείται από σταθμούς βάσης, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον κατάλληλο και αδιάλειπτο έλεγχο του συστήματος.

Το GLONASS παρουσιάζει, θεωρητικώς, ακρίβεια και παγκόσμια διαθεσιμότητα ανάλογες προς τις αντίστοιχες του GPS. Το γεγονός, όμως, και μόνον ότι το τρέχων σύστημα GLONASS περιλαμβάνει μόνο 10 λειτουργικούς δορυφόρους από τους 21 με 24, που απαιτούνται για την πλήρη λειτουργία του, οδηγεί ήδη σε υποβίβαση της προσδοκώμενης ακρίβειας. [16]

Και τα δύο συστήματα GPS και GLONASS, όπως αυτά περιγράφονται παραπάνω είναι στρατιωτικά ελεγχόμενα συστήματα που προσφέρονται ελεύθερα στην παγκόσμια κοινότητα. Τα συστήματα αυτά αποτελούν τον πυρήνα ενός παγκόσμιου σφαιρικού δορυφορικού συστήματος πλοήγησης πρώτης γενεάς (**Global Navigation Satellite System - GNSS-1**), το οποίο είναι σε θέση να παρέχει τις υπηρεσίες εντοπισμού θέσης στις διάφορες κατηγορίες χρηστών.

Ένα επιπλέον μέρος του συστήματος GNSS-1 είναι και το **EGNOS**.

Περιγράφεται ειδικώς, λόγω της ξεχωριστής του θέσης στη μετάβαση του συστήματος **GNSS-1** σε **GNSS-2** (όπως το GALILEO). Ειδικότερα, το EGNOS θα ενσωματωθεί μέσα στην αρχιτεκτονική του GALILEO, με σκοπό η Ευρώπη να επωφεληθεί κατά το μέγιστο από το GNSS-1 πρόγραμμα.

Το σύστημα **GALILEO** είναι το πρώτο ελεγχόμενο GNSS-2 σύστημα στην Ευρώπη με στόχο την προσφορά ενός μη στρατιωτικού συστήματος, με υψηλή ακρίβεια εντοπισμού θέσης και χρόνου και προσφορά υπηρεσιών εύρεσης και διάσωσης (Search and Rescue-SAR). Το σύστημα GALILEO αποτελείται εν συντομία από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Το γενικό υποσύστημα (**Global Component**), που αποτελείται από μια συστοιχία 30 δορυφόρων μέσης τροχιάς (MEO) και παρέχει την κάλυψη για την παροχή υπηρεσιών σε παγκόσμια βάση, και ένα επίγειο τμήμα υπεύθυνο για τη διαχείριση των δορυφόρων, τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών αποστολής μηνυμάτων

πλοήγησης και τον καθορισμό και τη διάδοση (μέσω των δορυφόρων MEO) των πληροφοριών θέσης σε διεθνές επίπεδο.

- Τα περιφερειακά υποσυστήματα (**Regional Components**), συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος EGNOS, που παρέχουν ευστάθεια και διαφορική διόρθωση για τα GPS και GLONASS μέσω γεωστατικών δορυφόρων.
- Τα τοπικά υποσυστήματα (**Local Components**), που εξαρτώνται από τις τοπικές απαιτήσεις χρηστών. Τα συστήματα αυτά είναι δυνατόν να προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, εμπορικά δεδομένα, επιπρόσθετα σήματα πλοήγησης (pseudolites), αλλά και να ενισχύσουν τα δεδομένα θέσης σε τομείς χαμηλών επιπέδων σημάτων (υπόγεια γκαράζ αυτοκινήτων, κλπ.).
- Το τμήμα χρηστών (**User segment**), το οποίο περιλαμβάνει όλους τους διαφορετικούς τύπους και τις πιθανές παραλλαγές των χρηστών, σχετικά με τον εξοπλισμό τους, τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές, που απαιτούνται.
- Τα κέντρα υπηρεσιών (**Service Centers**), τα οποία διαμορφώνουν την διεπαφή με τους χρήστες και τους φορείς παροχής υπηρεσιών.

Η ανάπτυξη του συστήματος GALILEO φαίνεται να αποτελεί την τέλεια λύση για τον προσδιορισμό θέσης στα ασύρματα δίκτυα, δεδομένου ότι ενσωματώνει τα καλύτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των προηγούμενων συστημάτων και αποκρούει τα προβλήματα απόδοσής τους [16].

#### 2.2.4 ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (HYBRID METHODS)

Οι υβριδικές τεχνικές εντοπισμού θέσης συνδυάζουν κάποιες από τις μεθόδους, που περιγράφονται παραπάνω, για να παράσχουν εκτιμήσεις προσδιορισμού θέσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, αξιοπιστία και κάλυψη, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών, υπαίθριων, αστικών και αγροτικών περιοχών στα ασύρματα δίκτυα. Οι υβριδικές μέθοδοι δεν είναι προτυποποιημένες και η αναγκαία σηματοδότηση στο δίκτυο μπορεί να μην είναι διαθέσιμη. Τα μειονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων συνίστανται, συνήθως, στις μεγάλες απαιτήσεις τους για επεξεργασία και υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων και στις αναγκαίες δαπάνες για τον περαιτέρω εξοπλισμό των δικτύων κατά την εφαρμογή αυτών. Στις περισσότερες περιπτώσεις, με την εφαρμογή μιας υβριδικής μεθόδου,

αποτελούμενης από δύο ή και περισσότερες τεχνικές, το κόστος θα είναι τόσο υψηλό, όσο θα ήταν και κατά την ταυτόχρονη εφαρμογή κάθε μίας από τις επιμέρους τεχνικές.

#### **2.2.4.1 Γωνία Άφιξης + Χρόνος πλήρους διαδρομής (AOA+RTT)**

Η υβριδική τεχνική, που συνδυάζει τη γωνία άφιξης και το χρόνο πλήρους διαδρομής (AOA-RTT), αποτελεί μια πιθανή λύση για τον εντοπισμό θέσης στο UMTS, ειδικά όσον αφορά τις αγροτικές και ημιαστικές περιοχές, όπου η απευθείας οπτική επαφή μεταξύ κινητού τερματικού και σταθμού βάσης είναι συχνό φαινόμενο. Είναι μια μέθοδος βασισμένη στο δίκτυο, που απαιτεί έναν σταθμό βάσης, στον οποίο εκτελούνται οι απαιτούμενες μετρήσεις και να παράγεται η εκτίμηση θέσης. Αποτέλεσμα αυτού, της χρήσης, δηλαδή, ενός σταθμού εξοπλισμένου με κεραιοσυστοιχία είναι η απάλειψη του προβλήματος της «ακουστικότητας», το οποίο αναλύθηκε παραπάνω.

Από την άλλη πλευρά, η ακρίβεια εντοπισμού θέσης περιορίζεται από το εύρος δέσμης της κεραίας και την ανάλυση του RTT και η πιθανότητα σφάλματος θέσης αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η απόσταση κινητού και σταθμού βάσης, όπως συμβαίνει και στην απλή μέθοδο AOA [17].

#### **2.2.4.2 Παρατηρούμενες χρονικές διαφορές αφίξεων + Γωνία Άφιξης (OTDOA+AOA)**

Η υβριδική μέθοδος OTDOA-AOA εμφανίζεται ως ενδεδειγμένη λύση για τον εντοπισμό θέσης στο UMTS, από τη στιγμή που το δίκτυο εγγυάται διαθεσιμότητα των μετρήσεων OTDOA σε κάθε τερματικό και η εφαρμογή κεραιοσυστοιχιών κάνει δυνατές τις μετρήσεις AOA χωρίς επιπλέον κόστος.

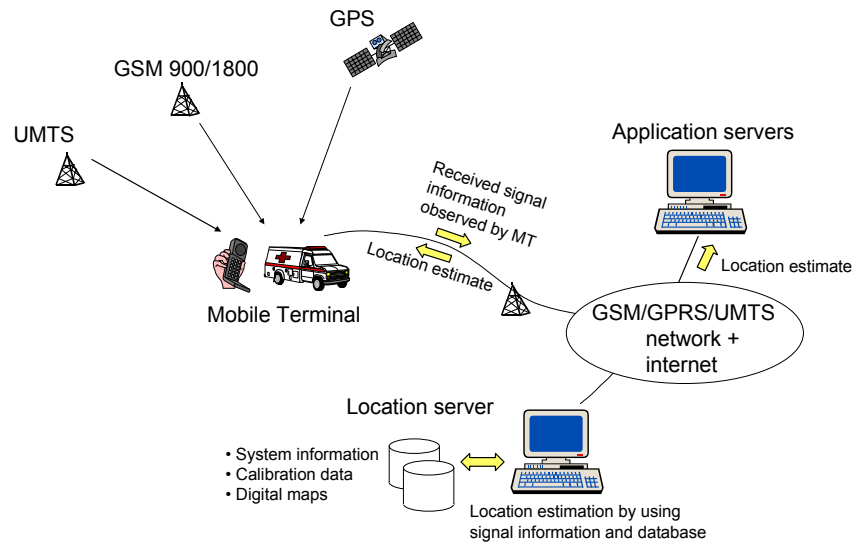
Έχει ήδη αποδειχθεί ότι, και οι δύο τεχνικές επηρεάζονται αρνητικά από τις επικοινωνίες μη άμεσης οπτικής επαφής (NLOS) κινητού-σταθμού. Η υβριδική τεχνική OTDOA-AOA αυξάνει την δυνατότητα εντοπισμού θέσης ακόμα και σε περιπτώσεις απόλυτου NLOS ή ακόμη και σε αυτές, που μετρώνται μόνο δύο σταθμοί βάσης. Και τα δύο αυτά επιφέρουν διεύρυνση του πεδίου κάλυψης. Πρόσθετα, η ακρίβεια της υβριδικής μεθόδου είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή, που προσφέρουν οι ανεξάρτητες OTDOA και AOA μέθοδοι, και η εφαρμογή της ελαχιστοποιεί την πιθανότητα να ανακύψουν προβλήματα με υψηλό GDOP, τομέα στον οποίο η απλή μέθοδος AOA πάσχει. Πραγματοποιούμενες μελέτες σχετικά με ένα σύστημα UMTS και την ταυτόχρονη χρήση TA-IPDL σε συνδυασμό με τα

διαθέσιμα δεδομένα AOA, έχουν δείξει βελτίωση τάξεως 20%-60% στην απόδοση σφαλμάτων θέσης σε αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές.

#### **2.2.4.3 Συσχετισμός βάσεων δεδομένων (Database Correlation Method-DCM)**

Η μέθοδος συσχετισμού βάσεων δεδομένων (DCM) [18] έχει υλοποιηθεί με βάση την ιδέα συνδυασμού των μεθόδων προσδιορισμού κυψέλης, του επιπέδου σημάτων, της γωνίας της άφιξης, της χρονικής διαφοράς της άφιξης και των δεδομένων GPS, για την λήψη μιας όσο το δυνατόν καλύτερης εκτίμησης της θέσης. Η διαδικασία περιλαμβάνει το συσχετισμό των πληροφοριών, που προέρχονται από τα λαμβανόμενα σήματα, με τις πρόσθετες πληροφορίες, που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Οι πληροφορίες λαμβανόμενων σημάτων περιλαμβάνουν την ταυτότητα κυψελών, τα επίπεδα σημάτων, τη χρονική πρόοδο, τα OTDs και RTDs, εάν είναι διαθέσιμα, ενώ οι πρόσθετες πληροφορίες αποτελούνται από τους ψηφιακούς χάρτες, τις πληροφορίες συστημάτων (π.χ. συντεταγμένες των σταθμών βάσης) και τα εκ των προτέρων μετρημένα δεδομένα ταξινόμησης. Πιο συγκεκριμένα, το τερματικό διαβιβάζει τις πληροφορίες σημάτων σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή θέσεων (Location Server – LS), όπου η θέση υπολογίζεται από το συσχετισμό των πληροφοριών των λαμβανόμενων σημάτων με τις γνωστές πληροφορίες σημάτων από τη βάση δεδομένων. Η επικοινωνία μεταξύ των τερματικών και LS καθιερώνεται μέσω ενός κεντρικού εξυπηρετητή εφαρμογής, του οποίου αποστολή είναι η προώθηση των τιμών των λαμβανόμενων σημάτων και οποιωνδήποτε άλλων σχετικών πληροφοριών προς τον LS, τα οποία επιστρέφουν στο κινητό τερματικό τα κατά την χρήση αποτελέσματα (π.χ. συντεταγμένες), ανάλογα με την εφαρμογή.

Η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας DCM φαίνεται στο Σχήμα 2-8. Εδώ θα πρέπει να τονισθεί ότι, η μέθοδος DCM μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε ασύρματο σύστημα, αφού το κινητό χρειάζεται μόνο να στείλει τη θέση του στον LS.



Σχήμα 2-8: Αρχιτεκτονική τεχνολογίας DCM

Η απόδοση αυτής της μεθόδου εξαρτάται ιδιαίτερα από το μέγεθος της βάσης δεδομένων, την ακρίβεια των στοιχείων, που αποθηκεύονται, και τους αλγορίθμους συσχετισμού, που χρησιμοποιούνται [19]. Η εγκαθίδρυση και η συντήρηση μιας τέτοιας βάσης δεδομένων μπορούν να αποδειχθούν τελικά μια ιδιαίτερα δαπανηρή λύση. Η κάλυψη των κρίσιμων περιοχών και η άμεση σύνδεση του LS με το σύστημα σχεδιασμού δικτύων ίσως, σε πρώτη φάση, να διευκολύνουν την κατάσταση. Το DCM μπορεί να χειριστεί μεγάλο αριθμό ποικίλων πληροφοριών, που παρέχεται από οποιοδήποτε είδος τερματικών, συμπεριλαμβανομένων των παλαιών συσκευών, των νέων τερματικών (2.5G), των τερματικών, που εξοπλίζονται με έναν δέκτη GPS και ούτω καθ' εξής.

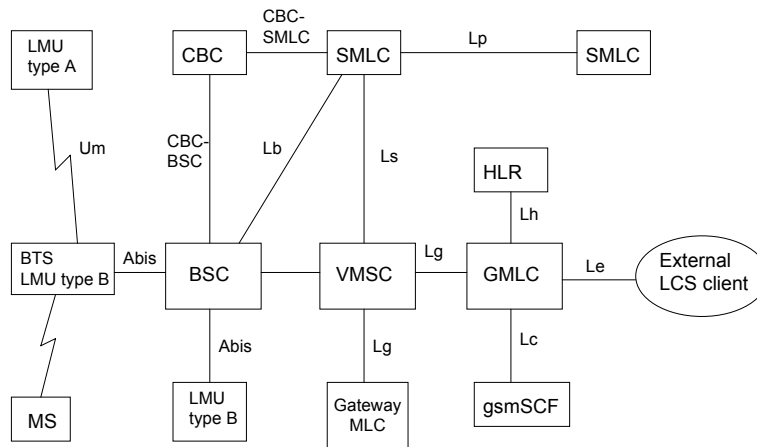
## 2.3 ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.3.1 GSM ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Οι δραστηριότητες προτυποποίησης στο GSM για τις υπηρεσίες θέσης (Location-Services LCS) καλύπτουν τόσο τις τεχνολογίες εντοπισμού θέσης όσο και τις αντίστοιχες απαραίτητες υποδομές δικτύων. Τρεις προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό θέσης συμπεριλαμβάνονται στην προτυποποίηση GSM:

- TOA
- E-OTD
- A-GPS

Επιπλέον, τα πρότυπα υποστηρίζουν τη χρήση του Cell ID και του TA, στην περίπτωση που το δίκτυο ή τα τερματικά δεν προσφέρουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή περισσότερο περίπλοκων μεθόδων. Η γενική λογική αρχιτεκτονική LCS, όπως παρουσιάζεται στο πρότυπο GSM [20][21], παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-9.



Σχήμα 2-9: Γενική αρχιτεκτονική LS (Location Services)

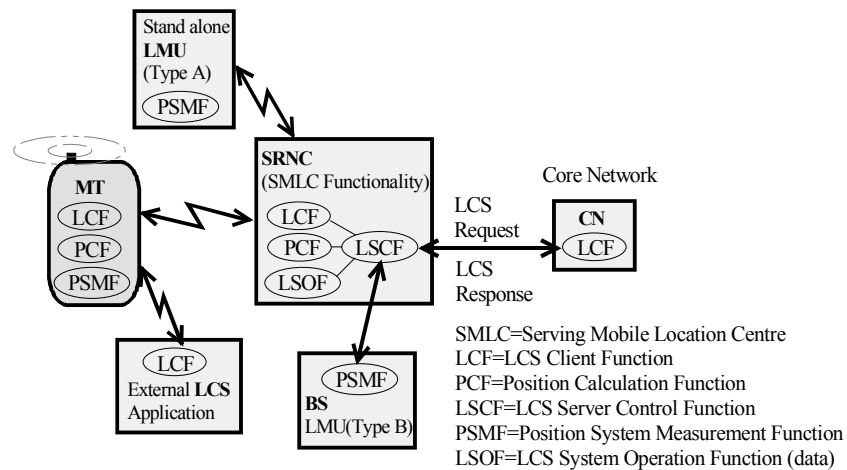
### 2.3.2 UMTS ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

Στην Ευρώπη, αρμόδιο για τη προτυποποίηση των υπηρεσιών θέσης και των τεχνικών θέσης για το UMTS είναι το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) σε συνεργασία με το 3GPP. Διαφορετικές λύσεις προσδιορισμού θέσης μελετώνται ευρέως από τους πάροχους δικτύων και τα ερευνητικά ιδρύματα. Αυτήν την περίοδο, υπάρχουν τρεις 3GPP προτυποποιημένες τεχνικές εντοπισμού θέσης, που υποστηρίζονται από το επίγειο ράδιο-δίκτυο πρόσβασης του UMTS (UTRAN):

- Cell Id
- OTDOA με την χρήση της περιόδου IPDL
- Assisted -GPS

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος προσδιορισμού θέσης των τερματικών σε περιβάλλον UTRAN παρουσιάζεται μέσα από το Σχήμα 2-10. Οι ελεγκτές των ραδιοδικτύων (Radio Network Controllers – RNC) είναι υπεύθυνοι για τους πόρους δικτύων, που διαχειρίζεται ο σταθμός βάσης (Base Station – BSs) και οι μονάδες μέτρησης θέσης (Location Measurement Units - LMUs) είναι υπεύθυνες για τη διαδικασία θέσης. Το RNC που εξυπηρετεί (Serving RNC), λαμβάνει το αίτημα εντοπισμού θέσης από την εξωτερική

εφαρμογή LCS ή τη λειτουργία πελατών LCS στο κεντρικό δίκτυο. Το SRNC συντονίζει και ελέγχει το γενικό προσδιορισμό θέσης των τερματικών.



Σχήμα 2-10: Γενική αρχιτεκτονική συστήματος εντοπισμού θέσης στο UMTS

Η επιχειρησιακή λειτουργία των συστημάτων LCS (LSOF στο Σχήμα 2-10) στο SRNC διαλαμβάνεται ως βάση δεδομένων των πληροφοριών εκείνων, που είναι απαραίτητες για τους υπολογισμούς της κινητής θέσης. Η λειτουργία ελέγχου των συστημάτων LCS (LSOF) στο SRNC ζητά τις αναγκαίες μετρήσεις από τα τερματικά, τα LMU ή από ένα ή περισσότερα BS και στέλνει τα αποτελέσματα στην κατάλληλη λειτουργία υπολογισμού θέσης (Position Calculation Function - PCF) στο δίκτυο. Το PCF κάνει τους αναγκαίους μετασχηματισμούς για την εκτίμηση θέσης των τερματικών. Το SRNC μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες θέσης των τερματικών π.χ. για την διαπομπή με βοήθεια της θέσης, όπως θα δούμε και σε επόμενο κεφάλαιο [22]. Η αρχιτεκτονική προσδιορισμού θέσης στο UMTS δεν εξαρτάται από μια ενιαία τεχνική μέτρησης και θέσης, αλλά είναι σε θέση να επιφέρει αποτελέσματα τόσο με τις προτυποποιημένες τεχνολογίες όσο και με τις διαθέσιμες και κατάλληλες τεχνικές εντοπισμού θέσης. Η επιλογή της χρησιμοποιημένης τεχνικής αποτελεί απόφαση του πάροχου.



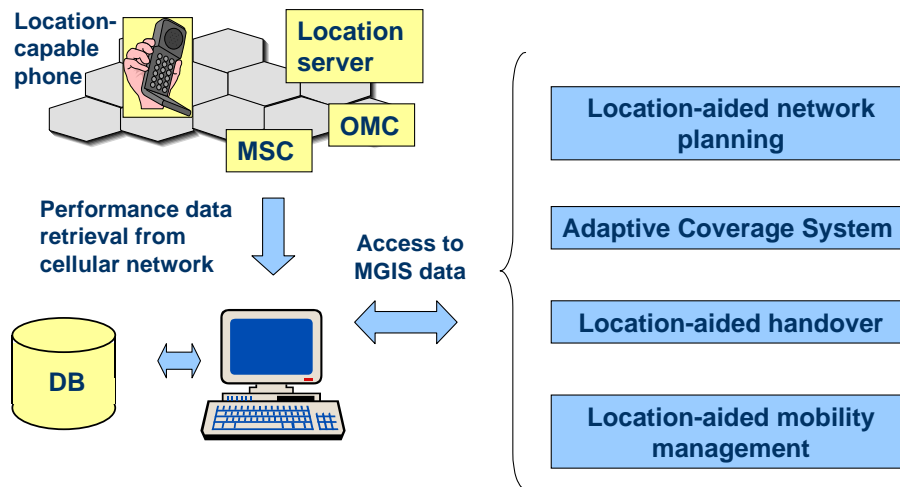
## **2.4 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

### **2.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΙΝΗΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (MOBILE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM – MGIS)**

Προκειμένου δεδομένα, σχετικά με την θέση των χρηστών, να μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στα ασύρματα δίκτυα, θα πρέπει να υπάρξει ένα σύστημα, που να συλλέγει αυτά τα δεδομένα από τις διαφορετικές πηγές και να τα επεξεργάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτά να παρέχονται στις διαφορετικές εφαρμογές με εύκολο αλλά συνεπή τρόπο. Το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών κινητού δικτύου (Mobile Geographic Information System - MGIS) έχει δημιουργηθεί και αναπτυχθεί, για να ικανοποιηθούν αυτές οι ανάγκες. Λαμβάνει όλες εκείνες τις πληροφορίες, που αφορούν την θέση του χρήστη, τις συγκεντρώνει και παρέχει ταυτόχρονα μια γενική διεπαφή, μέσω της οποίας το συγκεκριμένο στοιχείο-παράμετρος του δικτύου συναρτήσει της θέσεως του κινητού είναι προσιτό σε διάφορες εφαρμογές προγραμματισμού και βελτίωσης δικτύων. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές-συστήματα εξετάζονται στα επόμενα υποκεφάλαια της διατριβής, όπως το προσαρμοστικό σύστημα κάλυψης (Adaptive Coverage System-ACS), ο σχεδιασμός του δικτύου υποβοηθούμενος από την θέση του τερματικού (Location Aided Planning-LAP), η διαχείριση κινητικότητας σε ετερογενή περιβάλλοντα υποβοηθούμενη από την θέση του τερματικού (Location Aided Mobility-LAM) και το βασικότερο τμήμα της έρευνας στην συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή, που αφορά τους αλγορίθμους διαπομπής υποβοηθούμενοι, επίσης, από την θέση του τερματικού (Location Aided handover-LAH). Δεδομένου ότι το σύστημα MGIS είναι ανεξάρτητο από την τεχνολογία εντοπισμού της θέσης του τερματικού, μπορεί να συλλέξει τις πληροφορίες και τα δεδομένα από τα διάφορα δίκτυα χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού θέσης. Ο κύριος στόχος του συστήματος MGIS είναι η διατήρηση και αξιοποίηση σημαντικών παραμέτρων και πληροφοριών των, όλο και περισσότερο, διευρυνόμενων ασύρματων δικτύων, ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς όφελος των ίδιων των πάροχων δικτύων τόσο για την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών όσο και για την καλύτερη διαχείριση των προσφερόμενων πόρων. Οι απαιτήσεις του συστήματος MGIS περιγράφονται λεπτομερώς στα [23] και [24]. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η σύλληψη της ιδέας του MGIS, η πλήρης περιγραφή αυτού καθώς και η ανάπτυξη του έλαβαν χώρα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος IST-CELLO [25].

Το σύστημα MGIS αναπτύχθηκε για τη συλλογή στοιχείων τόσο από την πλευρά του τερματικού όσο και από πλευράς δικτύου, σε επίπεδο κυψελών. Η αποθήκευση αυτών των στοιχείων και παραμέτρων του δικτύου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι πληροφορίες από τη βάση δεδομένων να είναι εύκολα προσβάσιμες. Το σύστημα MGIS έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων και παραμέτρων τόσο από δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς όσο και από εκείνα της 3<sup>ης</sup> όπως είναι το UMTS.

Η έννοια του συστήματος MGIS απεικονίζεται καλύτερα στο Σχήμα 2-11. Το κεντρικό συστατικό του συστήματος αυτού είναι ο MGIS, ο οποίος αποθηκεύει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες από το δίκτυο και το τερματικό, που συσχετίζονται με την θέση του κινητού τερματικού στη βάση δεδομένων. Οι διαθέσιμες πληροφορίες από το δίκτυο και το τερματικό προσφέρονται μέσω μιας διεπαφής, όπως οι ACS, LAP, LAM, LAH, που περιγράφονται διεξοδικότερα παρακάτω.



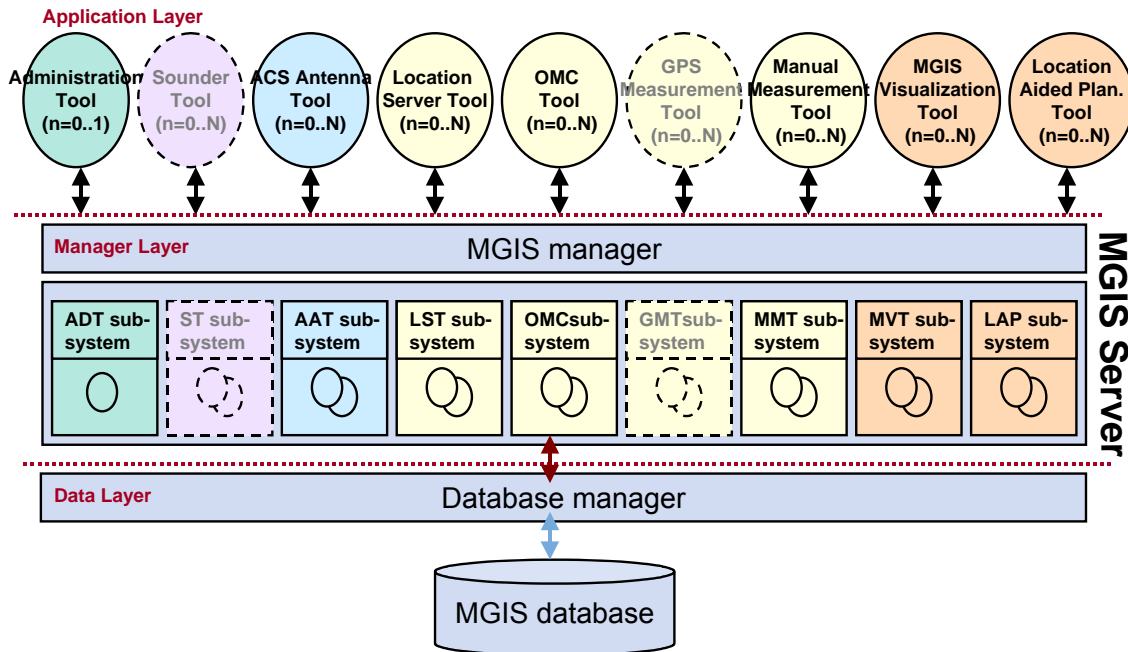
*Σχήμα 2-11: Γενική ιδέα του προγράμματος IST-CELLO*

Συνοπτικά για τη λειτουργία του, όπως αναφέρθηκε προωτέρα, το σύστημα MGIS λαμβάνει και διατηρεί ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών από το κινητό δίκτυο πάντα σε σχέση με την θέση του τερματικού. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για λόγους απεικόνισης, πρόβλεψης, βελτίωσης και συντονισμού των δικτύων.

Η δομή του συστήματος MGIS μπορεί να απεικονιστεί σε επίπεδα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-12. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από τρία επίπεδα:

- Το επίπεδο εφαρμογής

- Το επίπεδο διαχείρισης
- Το επίπεδο στοιχείων



Σχήμα 2-12: Μοντέλο λειτουργίας MGIS

Εφαρμογές που ανακτούν πληροφορίες από τη βάση δεδομένων του MGIS, όπως εκείνες που αναφέρθηκαν λίγο πιο πάνω (ACS, LAP, LAM, LAH) ή εφαρμογές που αποθηκεύουν πληροφορίες προς στη βάση δεδομένων MGIS, όπως οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το κέντρο διαχείρισης και λειτουργιών (Operations and Management Centre–OMC), τον εξυπηρετητή θέσεως (Location Server-LS) και άλλες, αντιπροσωπεύονται στο επίπεδο εφαρμογής.

Η λήψη των διαφόρων στοιχείων από το σύστημα MGIS, που θα μας απασχολήσει και στην συνέχεια, σαν βάση ενός εκ των αλγορίθμων LAH είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, οι διάφορες εφαρμογές μπορούν να ανακτήσουν δεδομένα κρίσιμων παραμέτρων των διαφόρων δικτύων μέσω της διεπαφής SQL. Η διεπαφή SQL αποτελεί μια μέθοδο άμεσης πρόσβασης στη βάση δεδομένων του MGIS, που παρακάμπτει το διαχειριστή βάσης δεδομένων MGIS (MGIS Manager). Η μέθοδος αυτή προσπέλασης είναι ταχύτερη και χρησιμοποιεί τα ερωτήματα SQL, προκειμένου να ανακτήσει τα ζητούμενα στοιχεία. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το ότι, κάθε φορά

που αλλάζει η δομή της βάσης δεδομένων του MGIS οι προαναφερθείσες ερωτήσεις πρέπει να ενημερωθούν για την αλλαγή αυτή. Εάν υπάρχει μεγάλος αριθμός εφαρμογών, που χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων, η αναπροσαρμογή αυτή μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα δύσκολη. Η άλλη διεπαφή, αποκαλούμενη και ως διεπαφή MGIS, είναι λιγότερο επιρρεπής στις αλλαγές, δεδομένου ότι «χτίζεται» πάνω σε μία εντολή, η οποία αποστέλλει το μηχανισμό ανάκτησης της πληροφορίας και όχι συγκεκριμένο ερώτημα. Η αιτούσα εφαρμογή ανάκτησης δεδομένων δεν είναι απαραίτητο να ξέρει την ακριβή δομή της βάσης δεδομένων, αλλά αρκεί να γνωρίζει μόνο τη δομή του μηνύματος, που θέλει να λάβει. Η αιτούσα εφαρμογή ανάκτησης δεδομένων, λοιπόν, είναι αρμόδια για τη δημιουργία του επιθυμητού μηνύματος απάντησης από τη βάση δεδομένων του MGIS και την εξουσιοδότηση της στο στρώμα διαχείρισης. Από τη δομή του μηνύματος αυτού, το οποίο οδηγείται εσωτερικά στο διαχειριστή βάσης δεδομένων του MGIS ως εισερχόμενη εντολή, ο διαχειριστή βάσης δεδομένων δημιουργεί μια αντίστοιχη ερώτηση SQL προς τη βάση και παράγει την επιθυμητή δομή του μηνύματος με τα στοιχεία, που έχει ανακτήσει από τη βάση δεδομένων. Σε περίπτωση σφάλματος, μια ανακοίνωση σφάλματος στέλνεται πίσω στην αιτούσα εφαρμογή. Η συγκεκριμένη διεπαφή MGIS είναι βραδύτερη από την άμεση διεπαφή SQL, καθώς παρεμβάλλεται μεταξύ των επιπέδων εφαρμογής και στοιχείων ένα πρόσθετο επίπεδο.

#### **2.4.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΛΥΨΗΣ (ACS)**

Στόχος του προσαρμοστικού συστήματος κάλυψης (Adaptive Coverage System – ACS) [26] είναι δυνατότητα ενός δικτύου να αλλάξει την περιοχή κάλυψής του σύμφωνα με το σενάριο κίνησης ή και με την ποιότητα συνδέσεων. Το ACS χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικά με τη θέση των χρηστών, που διατίθενται από το δίκτυο. Οι χρήστες στις φορτωμένες κυψέλες μπορούν να καλυφθούν με επέκταση των τομέων κάλυψης των λιγότερο φορτωμένων κυψελών, με αποτέλεσμα, έτσι, την επίτευξη αύξησης της ποιότητας υπηρεσιών. Κατά συνέπεια, οι φορτωμένες κυψέλες θα κερδίσουν προσαρμοστικά περισσότερους ράδιο-πόρους. Με τη χρησιμοποίηση των εργαλείων πρόβλεψης είναι δυνατό να βρεθεί ένας επιτυχέστερος συνδυασμός σχεδίων κεραιών των σταθμών βάσης για τους διάφορους όρους κίνησης. Επιπλέον, με την υιοθέτηση των «έξυπνων» κεραιών, το ασύρματο σύστημα μπορεί να χειριστεί περισσότερους χρήστες και να βελτιώσει συγχρόνως τη ράδιο-ποιότητα των συνδέσεων.

### **2.4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ (LAP)**

Η έννοια του σχεδιασμού δικτύων υποβοηθούμενων από τη θέση των χρηστών (Location Aided Planning - LAP) [27] συνίσταται στην χρήση των πληροφοριών θέσης του κινητού τερματικού για την βελτίωση της ποιότητας της διαδικασίας σχεδιασμού των δικτύων. Αυτήν την περίοδο η απόδοση δικτύων μπορεί να μετρηθεί μόνο από την πλευρά δικτύων σε μια βάση κυψέλης-προς-κυψέλη. Επομένως, είναι δυνατό να γνωρίζουμε μόνο το αν υπάρχει κακή απόδοση σε μερικά μέρη της κυψέλης, αλλά όχι και το πού ακριβώς. Παρόλα αυτά, εάν οι πληροφορίες θέσης των κινητών μπορούν να αξιοποιηθούν, μπορεί να επιτευχθεί ακριβέστερη γνώση σχετικά με την απόδοση των δικτύων και των γεγονότων, που συντελούνται σε κάθε θέση. Στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα CELLO η εφαρμογή LAP εφαρμόζεται στο ανανεωμένο εργαλείο σχεδιασμού υποβοηθούμενο από τη θέση (*Location aided Planning Tool - LPT*). Το LPT επιτρέπει παραδείγματος χάριν την επαναληπτική προσέγγιση σχεδιασμού δικτύων, όπου οι προβλεφθείσες περιοχές κάλυψης και παρεμβολής, καθώς επίσης και τα χρησιμοποιημένα πρότυπα διάδοσης μπορούν να επικυρωθούν από τις γρήγορες πληροφορίες, που παρέχονται από το δίκτυο.

### **2.4.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ (LAM)**

Η διαχείριση κινητικότητας εφαρμόζεται, κυρίως, σε ετερογενή περιβάλλοντα. Η εφαρμογή LAM χρησιμοποιεί πληροφορίες από τον MGIS (η θέση των κινητών τερματικών μαζί με μερικούς δείκτες της απόδοσης δικτύων), προκειμένου να βελτιώσει τη διαχείριση κίνησης και τη λειτουργία διαπομπής μεταξύ των διαφόρων συστημάτων. Παραδείγματος χάριν, οι πληροφορίες θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση μιας κατάστασης, όπου ένα τερματικό πολλαπλής λειτουργίας κινείται κοντά σε μια περιοχή κάλυψης WLAN, επέκταση του κυψελοειδούς δικτύου (π.χ., σε ένα κέντρο πανεπιστημιούπολεων, σταδίων ή επιχειρήσεων). Σε μία τέτοια περίπτωση, μια διαπομπή από το κυψελοειδές δίκτυο στο WLAN μπορεί να απαιτηθεί, προκειμένου να προσφερθεί ένα αποδοτικότερο εύρος ζώνης, που παρέχεται από το WLAN.

## **2.5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- [1] Y. Zhao, "Mobile Phone Location Determination and Its Impact on Intelligent Transportation Systems," *IEEE Trans. Intell. Trans. Sys.*, vol. 1, no. 1, Mar. 2000, pp. 55–67.
- [2] IST-1999-14093 LOCUS, Deliverable 1, "Overview of Location Services", February 2001
- [3] Sakagami S., Aoyama S., Kuboi K., Shirota S., and Akeyama A., "Vehicle position estimates by multibeam antennas in multipath environments", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 41, No. 1, pp. 63-68, Feb. 1992
- [4] IST-1999-20532 GAUSS, Deliverable D05, "Standard and Regulation Guidelines for the Integrated UMTS and Galileo Services", November 2001
- [5] IST-2000-25382 CELLO, Deliverable D03, "Cellular Location Technology", November 2001
- [6] 3GPP TS 25.133, Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD), Mar. 2002.
- [7] L. Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition", *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 257–286, Feb. 1989
- [8] Schuh, R., "SDR-HFR Techniques & Performance Parameters and their Possible Impact on the UTRA Interface", EURESCOM Project P921 PIR 5.1, Germany, 1999
- [9] 3GPP TS 25.123, Requirements for Support of Radio Resource Management (TDD), Mar. 2002.
- [10] 3GPP TS 25.133, Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD), Mar. 2002.
- [11] 3GPP TS 25.215, Physical Layer Managements (FDD), Mar. 2002.
- [12] 3GPP TS 25.305, Stage 2 Functional Specification of UE Positioning, Mar. 2002.
- [13] 3GPP TS 25.225, Physical Layer Managements (TDD), Mar. 2002
- [14] Ludden, B., Lopes, L., "Cellular Based Location Technologies for UMTS: A comparison between IPDL and TA-IPDL", *IEEE VTC2000*, 2000
- [15] Y. Zhao, *Vehicle Location and Navigation Systems*, Norwood, MA: Artech House, 1997, translated and published in Chinese by Publishing House of Electronic Industry, Beijing, 1999.
- [16] IST-1999-20532 GAUSS, Deliverable D05, "Standard and Regulation Guidelines for the Integrated UMTS and Galileo Services", November 2001

- [17] Thomas, N.J., Cruickshank, D.G.M., Laurenson, D.I, “Performance of a TDOA-AOA Hybrid Mobile Location System”, Conf. Pub. No. 477, IEE 3G MCT2001, 2001
- [18] H. Laitinen, J. Lähtenmäki and T. Nordström, “Database correlation method for GSM location,” IEEE VTC 2001 Spring Conference, Rhodes, May 2001
- [19] Mangold S., Kyriazakos, S., “Applying pattern recognition techniques based on Hidden Markov Models for vehicular position location in cellular networks”, Proceedings of the IEEE VTC conference 1999 fall, September 19-22, 1999, Amsterdam, pp. 780-784
- [20] 3GPP TS 02.71 V7.3.0 (2001-03). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Location Services (LCS); Service description, Stage 1 (Release 1998).
- [21] 3GPP TS 03.71 v.8.1.0. (04-2001). 3rd Generation Partnership Project; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Location Services (LCS); (Functional description) - Stage 2 (Release 1999).
- [22] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access network, Stage 2 Functional Specification of UE Positioning in UTRAN (3G TS 25.305 version 5.0.0 ), 2001.
- [23] Seppo Horsmanheimo, Heli Kokkonen-Tarkkanen, Juuso Pajunen, Lotta Tuomimäki, Jaakko Lähtenmäki, “MGIS database”, CELLO-WP3-VTT-D21-003-Int, 2002.
- [24] Seppo Horsmanheimo, Juuso Pajunen, Heli Kokkonen-Tarkkanen, Lotta Tuomimäki, Jaakko Lähtenmäki, “MGIS technical documentation”, CELLO-WP3-VTT-D22-003-Pub, 2002.
- [25] Jaakko Lähtenmäki, “CELLO project plan”, CELLO-WP1-VTT-I02-001-Int, 2000.
- [26] Ch. Dimitriadis, P.C.F. Eggers, S. Kyriazakos, A. Markopoulos, P. Pissaris, Rama.R.T, E.D. Sykas, "Enhanced Cellular Network Performance with Adaptive Coverage based on Position Location of Mobile Terminals", *IST Mobile & Wireless Telecommunications Summit 2002, 16-19, JUNE 2002, Thessaloniki - Greece*, June, 2002
- [27] Erik Aarnæs, Stian Holm “MGIS/Planning tool interface”, CELLO-WP3-Teleplan-D13-002-Int, 2002.





---

# Κεφάλαιο 3

ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

---



### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος διαπομπή (handover) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά την αναφορά οποιασδήποτε αλλαγής, που συντελείται στο χρησιμοποιούμενο ασύρματο κανάλι. Είναι εναλλακτικά γνωστός ως handoff [1] ή αυτόματη μεταφορά συνδέσεων (automatic link transfer- ALT) [2]. Ένα αξιόλογο παράδειγμα διαπομπής αποκαλύπτεται στα πλαίσια των ασύρματων κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνιών και ιδιαίτερα αναφορικά με τους χρήστες με υψηλή κινητικότητα. Στην περίπτωση αυτή, οι σταθμοί βάσης χρησιμεύουν ως σημεία πρόσβασης για τους χρήστες στο συνδεδεμένο δίκτυο. Τις περισσότερες φορές, οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω ενός σταθμού βάσης, ο οποίος αναφέρεται ως (τρέχων) σταθμός βάσης, που εξυπηρετεί (serving) τον χρήστη για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Υπάρχουν, παρόλα αυτά, μικρές χρονικές περίοδοι μεταξύ αυτών των περιόδων κανονικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια των οποίων, ο χρήστης επικοινωνεί συγχρόνως με περισσότερους από έναν σταθμούς βάσης. Στην συνέχεια επιστρέφει σε κανονική λειτουργία, εφόσον επικοινωνεί με έναν μόνον από εκείνους τους σταθμούς βάσης. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο handoff. Η διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της περιόδου ταυτόχρονης επικοινωνίας με διάφορους σταθμούς βάσης, καθορίζει το κατά πόσον πρόκειται περί ήπιας ή σκληρής (soft or hard) κατά τον τύπο διαπομπής, καθώς και το νέο χρησιμοποιούμενο ασύρματο κανάλι, εφόσον πρώτα εξεταστεί το εάν η διαπομπή είναι ενδοκυψελική ή διακυψελική. Τόσο οι παραπάνω όσο και σύνολο άλλων διακρίσεων των τύπων διαπομπής θα συζητηθούν λεπτομερέστερα στα υποκεφάλαια 0 και 3.3.3.

Η διαπομπή αποτελεί βασικό συστατικό της κυψελοειδούς έννοιας για δύο κυρίως λόγους. Αφενός, γιατί συνιστά αναπόσπαστο τμήμα του μηχανισμού ελέγχου παρεμβολής, ο οποίος είναι απαραίτητος σε ένα κυψελοειδές σύστημα για την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων και την παροχή καλής ποιότητας ασύρματων συνδέσεων, και αφετέρου γιατί επιτρέπει την κινητικότητα των χρηστών στα πλαίσια ενός κυψελοειδούς συστήματος, με αποτέλεσμα την αποφυγή του περιορισμού αυτών στην περιοχή κάλυψης οποιουδήποτε σταθμού βάσης, γεγονός που από μόνο του φανερώνει την ιδιαίτερη σημασία και χρησιμότητα της διαπομπής στις σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό ότι χωρίς τη διαπομπή, ο σχεδιασμός των κυψελών, ο οποίος περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων στις στρατηγικά καταναμημένες κυψέλες, θα επηρεαζόταν σοβαρά. Ακόμα κι αν θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις να ληφθεί ειδική

μέριμνα για τους χρήστες, ώστε αυτοί να μπορούν να απομακρυνθούν από τους αρχικούς σταθμούς βάσης, που τους εξυπηρετούν, (τέτοια μέριμνα θα μπορούσε να αφορά τη δαπάνη της «πολύτιμης» χωρητικότητας), το σύστημα σε κάθε περίπτωση θα ήταν περιορισμένης χρήσης, λόγω του ότι οι κλήσεις θα απορρίπτονταν την στιγμή, που ο χρήστης θα απομακρυνόταν από τον σταθμό βάσης, που τον εξυπηρετεί. Ως εκ τούτου, η διαπομπή αποτελεί θεμελιώδη διαδικασία τόσο για τον έλεγχο παρεμβολών όσο και για την υποστήριξη της κινητικότητας στα κυψελοειδή συστήματα.

Περαιτέρω, η διαπομπή αποτελεί μια λειτουργία συστήματος, της οποίας η περιοχή βρίσκεται κάπου στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ του ράδιο στρώματος συνδέσεων και του στρώματος δικτύων ενός κυψελοειδούς συστήματος. Υπό αυτήν τη μορφή, έχει τοποθετηθεί μαζί με άλλες λειτουργίες συστημάτων, όπως η δυναμική κατανομή καναλιών [3][4], στην αποκαλούμενη "ράδιο-δίκτυο" [5] ή "ράδιο-σύστημα" περιοχή. Η διαπομπή περιλαμβάνει πολλές ακαθόριστες λεπτομέρειες των περιοχών κάλυψης των σταθμών βάσης στο στρώμα δικτύων. Το στρώμα δικτύου παρουσιάζει ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

- Ο χρήστης απαιτεί περιστασιακά μικρές αναπροσαρμογές στο κανάλι επικοινωνίας. Αυτό συμβαίνει, για τον λόγο ότι, ο χρήστης αλλάζει σημεία πρόσβασης στο δίκτυο κατά τη διάρκεια των ενδοκυψελικών διαπομπών.
- Εκτός από την περίπτωση της διάρκειας μικρών χρονικών περιόδων, κατά τις οποίες τα κυκλώματα επικοινωνίας είναι ενεργά (περίοδοι που μια κλήση είναι υπό εξέλιξη), το δίκτυο είναι δυνατόν να μην αναγνωρίζει την θέση χρηστών. Επομένως:
  - ο Για να εγκατασταθεί ένα κύκλωμα επικοινωνίας του χρήστη με το δίκτυο, ο χρήστης πρέπει να εντοπιστεί. Ο τομέας αυτός της έρευνας είναι γνωστός με τον όρο διαχείριση θέσης [6][7]. Επιπλέον ο χρήστης πρέπει να επαληθευθεί (authenticated) [8].

Παράλληλα, η διαπομπή κρύβει και ακαθόριστες λεπτομέρειες του στρώματος ράδιο-συνδέσεων. Παραδείγματος χάριν, το στρώμα ασύρματων συνδέσεων δεν γνωρίζει τα κυκλώματα επικοινωνιών στο δίκτυο. Γνωρίζει, μόνον, ότι, οι ράδιο συνδέσεις εγκαθιδρύονται με την έναρξη της κλήσης και τις διαδικασίες της διαπομπής, και ότι αντίστοιχα ολοκληρώνονται με τον τερματισμό των κλήσεων.

Προκειμένου να αξιολογηθούν ορθότερα ζητήματα, που περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των συστημάτων κατά την διαδικασία διαπομπής, χωρίζεται αυτή σε επιμέρους τμήματα, ανάλογα με το σύστημα, τα κριτήρια, τις επιλογές και τις μεθόδους, που η ίδια η διαδικασία διαπομπής περιλαμβάνει. Η διαδικασία διαπομπής στα διάφορα κυψελοειδή και ασύρματα δίκτυα, όπως αυτό της 2<sup>ης</sup> γενιάς GSM (§3.2), του UMTS (§3.3) και των ετερογενών συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς (§3.4), περιγράφεται παρακάτω. Ειδικότερα για το GSM, δίδεται λεπτομερής περιγραφή των αιτιών, των κριτηρίων, της διαδικασίας απόφασης και των διαδικασιών εκτέλεσης της διαπομπής. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη διαπομπή σε μικροκυψέλες (microcellular handoff) καθώς και στις επικαλύψεις μικρο/μακρο-κυψελών (micro/macro cell overlays). Περαιτέρω, περιγράφονται και οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι διαπομπής (Παράγραφος 3.2.8). Σχετικά με το δίκτυο UMTS, γίνεται λεπτομερής αναφορά στη κατηγοριοποίηση της διαπομπής σε ενδοκομβική, διακομβική, δια-UTRAN, διασυστημική διαπομπή μεταξύ UMTS και GSM, αλλά και στη βασικότερη διάκριση μεταξύ σκληρών και ήπιων διαπομπών (3.3.1-3.3.8). Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με μια παρουσίαση της διαπομπής στα πλαίσια ετερογενών περιβαλλόντων 4<sup>ης</sup> γενιάς και ειδικά στο πρωτόκολλο του κινητού IP (Mobile IP- §3.4.1), το οποίο κατέχει κυρίαρχη θέση στην διαδικασία αυτή. Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται καταγραφή των αλγορίθμων διαπομπής στα ασύρματα και κυψελοειδή συστήματα είναι η αξιολόγηση των προτεινόμενων αλγορίθμων σε τέτοια περιβάλλοντα (§4.3).

## **3.2 ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΟ GSM**

### **3.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Η διαπομπή στο GSM περιγράφεται κυρίως στην προδιαγραφή της ETSI GSM 05.08 version 4.22.1 [9]. Αυτή εν ολίγοις περιγράφει τα εξής:

Η γενική διαδικασία διαπομπής εφαρμόζεται στο κινητό τερματικό (Mobile Station – MS), στο BSC και στο MSC. Μετρήσεις στη ζεύξη καθόδου του ασύρματου υποσυστήματος και της ισχύς των σημάτων από γειτονικές κυψέλες πραγματοποιούνται στο MS. Αυτές οι μετρήσεις προωθούνται στο BSS για αποτίμηση. Το BSS μετρά την απόδοση στη ζεύξη ανόδου για το MS που εξυπηρετείται και επίσης αποτιμά την ισχύ των σημάτων παρεμβολής στα δικά του μη ενεργά (idle) κανάλια κίνησης. Η αρχική αποτίμηση των μετρήσεων σε συνδυασμό με τα καθορισμένα κατώφλια και τη στρατηγική διαπομπών μπορούν να

πραγματοποιηθούν στο BSS. Η αποτίμηση που απαιτεί αποτελέσματα μετρήσεων από άλλα BTS ή πληροφορίες που βρίσκονται στο MSC, πραγματοποιείται από το MSC.

Το GSM 03.09 περιγράφει την διαδικασία διαπομπής που θα χρησιμοποιηθούν στα PLMNs.

### **3.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ MS**

Μια διαδικασία πρέπει να υλοποιηθεί στο MS με την οποία αυτό παρακολουθεί τα RX επίπεδα σημάτων και ποιότητας στη ζεύξη καθόδου της κυψέλης που εξυπηρετείται και επίσης τα BSIC των γειτονικών BTS. Η μέθοδος ταυτοποίησης των γειτονικών BTS περιγράφεται στην παράγραφο 3.2.6.2. Οι απαιτήσεις των μετρήσεων δίδονται στο υποκεφάλαιο 3.2.7

### **3.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ BSS**

Μια διαδικασία πρέπει να υλοποιηθεί στο BSS με την οποία αυτό παρακολουθεί τα RX επίπεδα σημάτων και ποιότητας στη ζεύξη ανόδου για κάθε MS που εξυπηρετεί. Επίσης η διαδικασία αυτή θα παρακολουθεί τα επίπεδα παρεμβολών στα μη ενεργά κανάλια κίνησης στο BSS.

### **3.2.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ**

Η στρατηγική διαπομπών που διαλέγεται από το δίκτυο για έλεγχο της ασύρματης ζεύξης, καθορίζει ότι η απόφαση προς διαπομπή πρέπει να γίνει βασισμένη στα αποτελέσματα μετρήσεων που αναφέρονται στα MS/BSS και σε διάφορες παραμέτρους για την κάθε κυψέλη. Η διαπομπή από το δίκτυο μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί και για άλλες περιπτώσεις πέρα από τον έλεγχο της ασύρματης ζεύξης, π.χ. για την κατανομή του φορτίου ανάμεσα στις κυψέλες. Μάλιστα αυτό είναι και η βάση ενός από τους προτεινόμενους αλγορίθμους στα πλαίσια της διατριβής αυτής. Η ακριβής στρατηγική διαπομπών καθορίζεται από τον πάροχο δικτύου.

Πιθανοί τύποι διαπομπών είναι οι επόμενοι:

- Διακυψελική διαπομπή (Inter-cell handover)

Η διακυψελική διαπομπή από την εξυπηρετούσα κυψέλη σε μια γειτονική συνήθως συμβαίνει όταν οι μετρήσεις διαπομπής δείχνουν χαμηλό RXLEV και/ή RXQUAL στην εξυπηρετούσα κυψέλη και καλύτερο διαθέσιμο RXLEV διαθέσιμο από

γειτονική κυψέλη ή όταν μια γειτονική κυψέλη μπορεί να επιτρέψει επικοινωνία με χαμηλότερα επίπεδα TX ισχύος.

Αυτά συνήθως δηλώνουν ότι ένα MS είναι στα σύνορα κυψελικών περιοχών .

Διακυψελική διαπομπή μπορεί επίσης να παρατηρηθεί από το DCCH της εξυπηρετούσας κυψέλης σε TCH μιας άλλης κυψέλης κατά τη διάρκεια της εγκαθίδρυσης μιας κλήσης. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σα μέσο παροχής επιτυχημένης εγκαθίδρυσης της κλήσης όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι TCH στην εξυπηρετούσα κυψέλη. Οι διακυψελικές διαπομπές μεταξύ κυψελών που χρησιμοποιούν διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων επιτρέπονται από ένα MS πολλαπλών συχνοτήτων.

- Ενδοκυψελική διαπομπή (Intra-cell handover)

Η ενδοκυψελική διαπομπή γίνεται από ένα κανάλι-χρονοθυρίδα της εξυπηρετούσας κυψέλης σε ένα άλλο κανάλι-χρονοθυρίδα της ίδιας κυψέλης. Αυτή συνήθως πραγματοποιείται εάν οι μετρήσεις διαπομπής δείχνουν χαμηλό RXQUAL, αλλά υψηλό RXLEV στη συγκεκριμένη κυψέλη. Αυτό δείχνει μια υποβάθμιση της ποιότητας προκαλούμενη από την παρεμβολή παρόλο που το MS είναι στην περιοχή της εξυπηρετούσας κυψέλης. Η ενδοκυψελική διαπομπή πρέπει να παράσχει ένα κανάλι με χαμηλά επίπεδα παρεμβολών. Αυτή μπορεί να συμβεί σε μια χρονοθυρίδα ενός νέου φέροντος ή σε μια διαφορετική χρονοθυρίδα του ίδιου φέροντος.

Το πρότυπο GSM 08.08 καθορίζει τα αίτια για διαπομπή που μπορεί να σηματοδοτηθεί από το BSS στο MSC. Παρακάτω ακολουθεί μια σύνοψη αυτών.

### 3.2.5 ΑΙΤΙΑ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ

Η διαπομπή μπορεί να προκληθεί για διάφορους λόγους. Αυτοί συνοψίζονται στα εξής:

**Διατήρηση της ποιότητας σύνδεσης:** Ο εκφυλισμός της ασύρματης σύνδεσης αποτελεί ένα φαινόμενο, το οποίο θα μπορούσε να επέλθει σαν αποτέλεσμα της συνεχούς κίνησης του κινητού. Για την συνεχή παροχή αποδεκτών υπηρεσιών και την αποτροπή του παραπάνω εκφυλισμού της σύνδεσης επιβάλλεται και η χρήση διαφορετικού καναλιού. Η διαπομπή αποτελεί τον βασικό μηχανισμό για την επίτευξη του σκοπού αυτού. Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι, δεν είναι πάντοτε εφικτή η καλή ποιότητα σύνδεσης στην περιοχή κάλυψης του συστήματος. Για παράδειγμα, η ασύρματη διεπαφή μπορεί να παρέχει καλή λήψη με

πιθανότητα τουλάχιστον 98% μέσα στην περιοχή κάλυψης (90% ήταν για τα συστήματα πρώτης γενιάς όπως το AMPS). Οπότε η διαπομπή ενδέχεται να μην μπορεί να επιτελέσει τον προαναφερθέντα σκοπό της, την διατήρηση, δηλαδή, της ποιότητας σύνδεσης.

**Διατήρηση των επιπέδων παρεμβολών:** Η διαπομπή αποτελεί, επίσης, θεμελιώδη διαδικασία του μηχανισμού ελέγχου των παρεμβολών. Όταν ένας χρήστης βρίσκεται μακριά από την κυψέλη που τον εξυπηρετεί, η παρεμβολή στα άλλα κανάλια που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες, είναι δυνατόν να υπερβεί ορισμένα ανεκτά όρια.. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται συχνότερα στα συστήματα, όπου ο έλεγχος ισχύος είναι σε λειτουργία και τα επίπεδα ισχύος οδηγούνται σε αύξηση, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του εκφυλισμού της ποιότητας σύνδεσης. Σε αυτή την περίπτωση διαπομπή πραγματοποιείται για τον περιορισμό των επιπέδων παρεμβολών.

**Βελτίωση της διαχείρισης πόρων:** Ακόμα και κατά την έναρξη μιας κλήσης, η όσο το δυνατόν καλύτερη κατανομή του καναλιού, που θα χρησιμοποιηθεί, εμφανίζεται να έχει ιδιαίτερη σημασία. Η επιλογή αυτή του καναλιού, βεβαίως και δεν διατηρείται στην περίπτωση και για όσο ο χρήστης κινείται. Μπορεί, βέβαια, στην ουσία η συνεχής προσπάθεια σωστής κατανομής των πόρων να μην έχει πρακτικά αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά, όμως, και όπως διαφαίνεται στην πράξη, οι διαπομπές κάποιες φορές εκτελούνται προκειμένου να υπάρξει ανακατανομή της κίνησης μέσα σε ένα σύστημα, με αποτέλεσμα έτσι να επιτυγχάνεται βελτίωση της γενικής ποιότητας υπηρεσιών και της κατανομής των πόρων.

Η διαπομπή μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω μιας ή περισσότερων από τις αιτίες, που μόλις αναφέρθηκαν. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλοι τρόποι για την κατηγοριοποίηση των διαπομπών βάση των αιτιών, που τις προκαλούν, όλες, όμως, εντάσσονται λογικά στις παραπάνω κατηγορίες.

Για παράδειγμα, στο GSM, οι κατηγορίες είναι:

**Διαπομπή Διάσωσης (Rescue Handover):** Μια τέτοια διαπομπή εκτελείται για την ανασύσταση μιας χαμένης κλήσης.

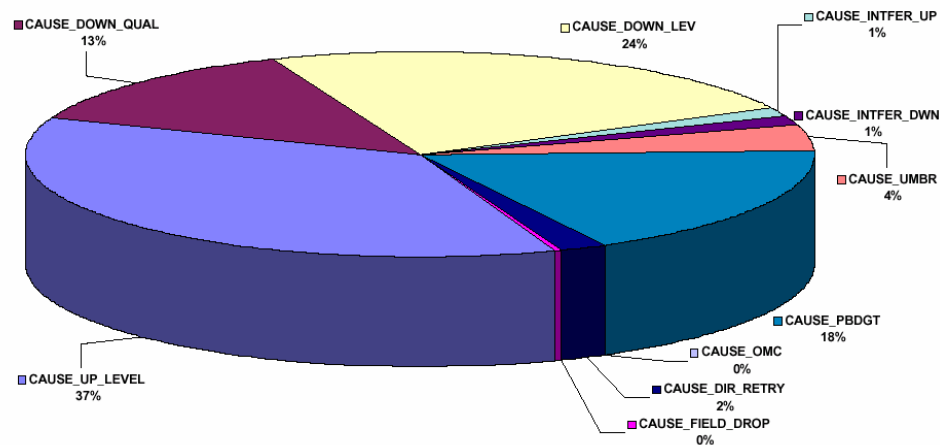
**Διαπομπή Διατήρηση Ισχύος (Power Budget Handover):** Μια διαπομπή εκτελείται για να διατηρήσει την ποιότητα των κλήσεων μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Έτσι, όταν τα αποτελέσματα μιας μέτρησης ποιότητας πέσουν κάτω από ένα κατώφλι, θα υπάρξει διαπομπή.



**Διαπομπή Φορτίου (Traffic Handover):** Μια τέτοια διαπομπή εκτελείται, όταν υπάρχει υπερφόρτωση κίνησης σε μια περιοχή και απαιτείται η διαπομπή χρηστών σε άλλες κυψέλες για την αποσυμφόρηση αυτής.

Οι διαπομπές διάσωσης και διατήρησης ισχύος θα μπορούσαν γενικά να ενταχθούν στις περιπτώσεις διατήρησης ποιότητας σύνδεσης και παρεμβολών, ενώ η διαπομπή φορτίου σε αυτή της βελτίωσης της διαχείρισης των πόρων.

Στο Σχήμα 3-1 παρουσιάζονται οι κύριες αιτίες διαπομπής. Η συγκεκριμένη παρουσίαση είναι αποτέλεσμα μιας στατιστικής ανάλυσης των καταγεγραμμένων στοιχείων από τους χειριστές δικτύου, που υπολογίζεται κατά μέσο όρο μέσα από ένα ολόκληρο δίκτυο για μια περίοδο δύο εβδομάδων.



Σχήμα 3-1: Αίτια Διαπομπής

Σύμφωνα με την παραπάνω γραφική παράσταση, η κύρια αιτία διαπομπής είναι το επίπεδο ισχύος συνδέσεων της ζεύξης ανόδου και καθόδου με ποσοστό 61%. Δεύτερο σημαντικό λόγο για την έναρξη διαπομπής αποτελεί το κριτήριο της λαμβανόμενης ισχύος (18%). Άλλοι λόγοι είναι: Η ποιότητα συνδέσεων στη ζεύξη καθόδου (13%), η διαπομπή ομπρέλα-κυψελών (4%), τα επίπεδα παρεμβολών (2%), και οι ανεπάρκειες OMC.

Μία ενδεικτική, κατά λογική σειρά κατάταξη των κυριότερων αιτιών διαπομπής μπορεί να παρουσιαστεί με τον ακόλουθο τρόπο :

- Παρεμβολή, Ζεύξη ανόδου και καθόδου
- Χαμηλή αναλογία C/I

- Ποιότητα σύνδεσης στη ζεύξη ανόδου
- Ποιότητα σύνδεσης στη ζεύξη καθόδου
- Επίπεδο σήματος στη ζεύξη ανόδου
- Επίπεδο σήματος στη ζεύξη καθόδου
- Απόσταση κινητού με σταθμό βάσης
- Απότομη πτώση σήματος
- Τερματικά αργής κινητικότητας
- Ταχύτητα τερματικού
- Καλύτερη κυψέλη (Power Budget / Umbrella Handovers)
- Έλεγχος ισχύος; Κατώφλια χαμηλής ποιότητας (DL/UL)
- Έλεγχος ισχύος; Κατώφλια υψηλής ποιότητας (DL/UL)

### **3.2.6 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ**

#### **3.2.6.1 BCCH φέροντα**

Το φέρον BCCH μεταδίδεται συνεχώς σε όλες τις χρονοθυρίδες και χωρίς μεταβολές στα επίπεδα RF. Στο PCH το δίκτυο στέλνει έγκυρα μηνύματα επιπέδου 3 σύμφωνα με το GSM 04.08. Μη χρησιμοποιούμενα μπλοκ στο CCCH/BCCH περιέχουν γεμάτα L2 πλαίσια. Άλλες μη χρησιμοποιούμενες χρονοθυρίδες μεταδίδουν dummy ριπές<sup>1</sup>.

#### **3.2.6.2 Μέθοδος ταυτοποίησης των γειτονικών BSS**

Είναι σημαντικό για το MS να αναγνωρίσει (ταυτοποίηση) ποια γειτονικά BSS μετρώνται προκειμένου να εξασφαλίζει αξιόπιστη διαπομπή. Λόγω της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων με μικρά μεγέθη συστάδων (clusters), η BCCH φέρουσα συχνότητα μπορεί να μην επαρκεί για την αναγνώριση μιας γειτονικής κυψέλης, π.χ η κυψέλη που εξυπηρετεί το MS μπορεί να έχει παραπάνω από μια γειτονική κυψέλη που χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα για το BCCH. Έτσι είναι απαραίτητο για το MS να συγχρονιστεί και να αποδιαμορφώσει τα γειτονικά φέροντα BCCH ώστε να αναγνωρίσει τον κώδικα

---

<sup>1</sup> ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η οργάνωση του BCCH παρέχει τη δυνατότητα στο MS να μετρά τα λαμβανόμενα επίπεδα σημάτων από γειτονικές κυψέλες και να ακούει τα δικά του BCCH φέροντα. Με την προϋπόθεση ότι ένα MS συγχρονίζεται με τη λίστα των φερόντων BCCH που παρέχεται από το δίκτυο, και με την προϋπόθεση ότι αυτή η λίστα είναι ικανοποιητικά ολοκληρωμένη, θα μπορέσει να ακούσει όλες τα πιθανές γειτονικές κυψέλες. Το πρότυπο GSM 03.22 αναφέρεται στον ορισμό της λίστας των BCCH φερόντων.

αναγνώρισης του σταθμού βάσης (BSIC). Το MS θα πρέπει να είναι ικανό να εκτελέσει αυτή τη διαδικασία με αναφορά σε διάφορα επίπεδα, όπως τα επίπεδα ευαισθησίας ή τα επίπεδα παρεμβολών.

Το MS θα πρέπει να χρησιμοποιεί 4 διάσπαρτα πλαίσια ανά SACCH μπλοκ για το σκοπό της αποκωδικοποίησης των BSICs. Αυτά τα πλαίσια αποκαλούνται πλαίσια αναζήτησης ("search" frames).

Το BSIC, όπως ορίζεται στο GSM 03.03, θα πρέπει να μεταδίδεται σε κάθε φέρον BCCH.

Το MS θα πρέπει να αποδιαμορφώσει τα SCH πάνω στα φέροντα BCCH για κάθε γειτονική κυψέλη και να αποκωδικοποιεί τα BSIC, σε συχνή βάση, και σαν ελάχιστο κάθε 10 δευτερόλεπτα. Μια λίστα που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον ακριβή χρονισμό των γειτονικών κυψελών, απαραίτητη για την πρόσβαση σε μια κυψέλη (see GSM 05.10), πρέπει να διατηρείται από το MS. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό της αποκωδικοποίησης του BSIC και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη διαπομπή προκειμένου να κρατηθεί ο χρόνος μετάβασης (switching) στο ελάχιστο.

Εάν, μετά από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μέσα σε περίοδο 2 SACCH μπλοκ, το MS εντοπίσει ένα ή περισσότερα BCCH φέροντα, ανάμεσα στα 6 ισχυρότερα, των οποίων τα BSICs δεν έχουν ακόμα αποκωδικοποιηθεί, τότε το MS δίνει προτεραιότητα στην προσπάθεια αποκωδικοποίησης αυτών των BSICs.

Έτσι το MS, για μια περίοδο μέχρι πέντε δευτερολέπτων, αφιερώνει όλα τα πλαίσια αναζήτησης στην προσπάθεια αποκωδικοποίησης αυτών των BSICs. Αν αυτό αποτύχει, τότε το MS επιβεβαιώνει μόνο τα υπάρχοντα BSICs. Έχοντας επαναεπιβεβαιώσει τα υπάρχοντα BSICs, αν υπάρχουν ακόμη φέροντα BCCH, ανάμεσα στα 6 ισχυρότερα, με άγνωστο BSICs, τότε η αποκωδικοποίηση αυτών λαμβάνει προτεραιότητα για μια περίοδο 5 δευτερολέπτων ακόμη.

Η μέτρηση σε αυτό το κανάλι πρέπει να αγνοηθεί, εάν είτε κανένα BSIC δεν μπορεί να αποδιαμορφωθεί στα φέροντα BCCH γειτονικών κυψελών είτε το NCC μέρος του BSIC είναι κάποιο από τα επιτρεπόμενα NCCs. Τα επιτρεπόμενα NCCs ορίζονται από την παράμετρο NCC\_PERMITTED, που μεταδίδεται με τα δεδομένα BCCH. Αυτή η παράμετρος είναι 8 bit και αναφέρεται στο NCC μέρος του BSIC. Αν μια αλλαγή του BSIC

έχει εντοπισθεί σε ένα φέρον, τότε κάθε υπάρχουσα μέτρηση του σήματος θα πρέπει να αγνοηθεί και μια καινούργια περίοδος μετρήσεων ξεκινά.

Αυτό συμβαίνει όταν το MS κινείται μακριά από μια γειτονική κυψέλη και κοντύτερα σε μια άλλη κυψέλη που χρησιμοποιεί το ίδιο κανάλι.

Αν το BSIC δεν μπορεί να αποκωδικοποιηθεί μέχρι τις απόμενες διαθέσιμες ευκαιρίες, επανειλημμένες προσπάθειες πρέπει να γίνουν για την αποκωδικοποίηση του. Στην περίπτωση, που το BSIC δεν μπορεί να αποκωδικοποιηθεί σε λιγότερο από τρεις προσπάθειες θα θεωρηθεί αποτυχία και κάθε μέτρηση των ισχύων σήματος θα πρέπει να αγνοηθεί.

Λεπτομέρειες για τον μηχανισμό συγχρονισμού δίνεται στο GSM 05.10. Η διαδικασία παρακολούθησης των γειτονικών BTS, από την άποψη των μετρήσεων για διαπομπή, ξεκινά τουλάχιστον τη χρονική στιγμή assignment ενός αφοσιωμένου καναλιού.

Όταν το φέρον BCCH βρεθεί ότι πλέον δεν ανήκει ανάμεσα στα αναφερθέντα, ο χρονισμός και οι πληροφορίες του BSIC κρατούνται για τουλάχιστον 10 δευτερόλεπτα. Αυτό συμβαίνει για την περίπτωση που μια διαπομπή ζητηθεί σε μια κυψέλη που το MS μόλις έπαψε να αναφέρει σε αυτή.

### **3.2.7 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ**

Οι μετρήσεις της ασύρματης ζεύξης χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες διαπομπής και τον έλεγχο ισχύος RF.

Πιο συγκεκριμένα, η διαπομπή στο ασύρματο υποσύστημα ορίζεται ως η αλλαγή του καναλιού κατά τη διάρκεια μιας κλήσης είτε λόγω της υποβάθμισης της ποιότητας του εξυπηρετούμενου καναλιού είτε λόγω της ύπαρξης εναλλακτικού καναλιού που επιτρέπει την επικοινωνία με χαμηλότερα επίπεδα ισχύος εκπομπής είτε τέλος να αποτρέψει ένα τερματικό να υπερβεί κατά πολύ τα όρια της κυψέλης που το εξυπηρετεί.

Οι μετρήσεις γίνονται πάνω από κάθε SACCH πολυπλάσιο, το οποίο είναι 104 TDMA πλαίσια (480 ms) για ένα TCH and 102 TDMA πλαίσια (470.8 ms) για ένα SDCCH.

#### **3.2.7.1 Ισχύς σήματος (Signal Strength)**

Το επίπεδο λαμβανόμενης ισχύος αποτελεί βασικό κριτήριο για τις διαδικασίες έλεγχου ισχύος και διαπομπής.

### 3.2.7.1.1 Φυσική παράμετρος

Η R.M.S τιμή της λαμβανόμενης ισχύος στην είσοδο του δέκτη μπορεί να μετράται από το MS και το BSS σε ένα πλήρες φάσμα που κυμαίνεται από -110 dBm μέχρι -48 dBm με απόλυτη ακρίβεια της τάξεως των  $\pm 4$  dB από -110 dBm μέχρι -70 dBm υπό κανονικές συνθήκες και  $\pm 6$  dB σε όλο το φάσμα υπό κανονικές και extreme συνθήκες.

Αν το επίπεδο λαμβανόμενου σήματος πέσει κάτω από το επίπεδο αναφοράς ευαισθησίας για τους τύπους του MS ή του BSS, τότε το μετρούμενο επίπεδο θα πρέπει να είναι ανάμεσα στο εύρος προκειμένου να επιτρέπεται και η απόλυτη ακρίβεια που περιγράφηκε παραπάνω. Στην περίπτωση, που το πάνω όριο αυτού του εύρους είναι κάτω από το επίπεδο αναφοράς ευαισθησίας για έναν τύπο MS ή BSS, τότε το πάνω όριο θα πρέπει να θεωρηθεί ίσο προς το επίπεδο αναφοράς ευαισθησίας.

### 3.2.7.1.2 Στατιστική παράμετρος

Η παράμετρος που αναφέρεται από το MS και το BSS (RXLEV) συνήθως μεσοτιμάται (averaged) μέσα από τα δείγματα μετρήσεων λαμβανόμενων σημάτων και μέσα στην περίοδο αναφοράς ενός πολυπλαισίου SACCH.

### 3.2.7.1.3 Περιοχή τιμών

Το μετρούμενο επίπεδο σήματος αντιστοιχείται σε μια τιμή RXLEV μεταξύ 0 and 63, όπως φαίνεται παρακάτω:

RXLEV	0	=	less than -110 dBm.
RXLEV	1	=	-110 dBm to -109 dBm.
RXLEV	2	=	-109 dBm to -108 dBm.
:			
:			
:			
RXLEV	62	=	-49 dBm to -48 dBm.
RXLEV	63	=	greater than -48 dBm.

### 3.2.7.2 Ποιότητα σήματος (Signal Quality)

Η ποιότητα λαμβανόμενου σήματος αποτελεί επίσης κριτήριο για τις διαδικασίες έλεγχου ισχύος RF και διαπομπής

### 3.2.7.2.1 Φυσική παράμετρος

Η ποιότητα λαμβανόμενου σήματος μπορεί να μετρηθεί από το MS και το BSS με τέτοιο τρόπο που να συσχετίζεται με ένα αντίστοιχο μέσο ρυθμό σφαλμάτων bit (BER) πριν την αποκωδικοποίηση του καναλιού (π.χ. Chip error ratio), που λαμβάνεται πάω σε μια περίοδο αναφοράς ενός μπλοκ SACCH.

Για παράδειγμα, η μέτρηση μπορεί να γίνει σαν ένα μέρος της διαδικασίας equalization του καναλιού, της διαδικασίας αποκωδικοποίησης ή και της μέτρησης του ρυθμού ψευδόςφαλματος (pseudo-error rate measurement).

### 3.2.7.2.2 Στατιστική παράμετρος

Η παράμετρος που αναφέρεται από το MS και το BSS (RXQUAL) συνήθως μεσοτιμάται (averaged) μέσα από τα δείγματα μετρήσεων λαμβανόμενων σημάτων και μέσα στην περίοδο αναφοράς ενός πολυπλασιδίου SACCH

### 3.2.7.2.3 Περιοχή τιμών

Οκτώ επίπεδα ποιότητας λαμβανόμενου σήματος ορίζονται και αντιστοιχούνται σε τιμές BER πριν την αποκωδικοποίηση του καναλιού. Αυτά τα επίπεδα φαίνονται παρακάτω:

RXQUAL_0			BER	< 0.2 %	Assumed value = 0.14 %
RXQUAL_1	0.2 %	<	BER	< 0.4 %	Assumed value = 0.28 %
RXQUAL_2	0.4 %	<	BER	< 0.8 %	Assumed value = 0.57 %
RXQUAL_3	0.8 %	<	BER	< 1.6 %	Assumed value = 1.13 %
RXQUAL_4	1.6 %	<	BER	< 3.2 %	Assumed value = 2.26 %
RXQUAL_5	3.2 %	<	BER	< 6.4 %	Assumed value = 4.53 %
RXQUAL_6	6.4 %	<	BER	< 12.8 %	Assumed value = 9.05 %
RXQUAL_7	12.8 %	<	BER		Assumed value = 18.10 %

Οι παραπάνω τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε διαδικασία μεσοτίμησης (averaging) που εφαρμόζεται στο RXQUAL.

### 3.2.7.3 Αναφορές μετρήσεων (Measurements reports) σε TCH και SDCCH

Για ένα TCH, η περίοδος αναφοράς μήκους 104 πλαισίων TDMA (480ms) ορίζεται με όρους αριθμών πλαισίων (frame numbers (FN)) ως ακολούθως:

Timeslot number (TN)			TDMA frame number (FN) modulo 104	
TCH/F	TCH/H,subch.0	TCH/H,subch.1	Reporting period	SACCH Message block
0	0 and 1		0 to 103	12, 38, 64, 90
1		0 and 1	13 to 12	25, 51, 77, 103
2	2 and 3		26 to 25	38, 64, 90, 12
3		2 and 3	39 to 38	51, 77, 103, 25
4	4 and 5		52 to 51	64, 90, 12, 38
5		4 and 5	65 to 64	77, 103, 25, 51
6	6 and 7		78 to 77	90, 12, 38, 64
7		6 and 7	91 to 90	103, 25, 51, 77

Όταν το MS είναι συνδεδεμένο με κανάλι TCH μεταδίδει στο BSS με το επόμενο μπλοκ μηνύματος SACCH τα επόμενα:

- Το RXLEV για το BCCH φέρον για τις 6 κυψέλες με το υψηλότερο RXLEV ανάμεσα σε αυτές όμως με γνωστό NCC.
- Τα RXLEV\_FULL and RXQUAL\_FULL για το πλήρες σύνολο TCH και SACCH TDMA πλαισίων. Το πλήρες σύνολο TDMA πλαισίων είναι είτε 100 (104-4 αδρανή) πλαίσια για πλήρους ρυθμού TCH και 52 πλαίσια για μισού ρυθμού TCH.
- Τα RXLEV\_SUB and RXQUAL\_SUB, που είναι τα RXLEV και RXQUAL για το υποσύνολο 4 πλαισίων SACCH

Για ένα SDCCH, η περίοδος αναφοράς μήκους 102 πλαισίων TDMA (470,8 ms) ορίζεται με όρους αριθμών πλαισίων (frame numbers (FN)) ως ακολούθως:

	TDMA frame number (FN) modulo 102
SDCCH/8	12 to 11
SDCCH/4	37 to 36

Όταν το MS είναι συνδεδεμένο με κανάλι TCH μεταδίδει στο BSS με το επόμενο μπλοκ μηνύματος SACCH τα επόμενα:

- Το RXLEV για το BCCH φέρον για τις 6 κυψέλες με το υψηλότερο RXLEV ανάμεσα σε αυτές όμως με γνωστό NCC.
- Τα RXLEV και RXQUAL για το πλήρες σύνολο 12 πλαισίων (8 SDCCH και 4 SACCH) μέσα στην περίοδο αναφοράς. Επειδή DTX δεν επιτρέπεται σε κανάλι SDCCH, οι -SUB τιμές ισούνται με τις -FULL τιμές στο μήνυμα SACCH.

Εκτός και εάν καθοριστεί διαφορετικά από τον πάροχο, το BSS πραγματοποιεί τις ίδιες RXLEV (full και sub) και RXQUAL (full και sub) μετρήσεις όπως περιγράφηκαν για το MS για όλα τα TCH's και SDCCH's κανάλια, που δίνονται στο MS, χρησιμοποιώντας την περίοδο αναφοράς. Αυτές οι τιμές, μαζί με τις αναφερόμενες τιμές από το MS, μεταδίδονται στο BSC όπως περιγράφεται λεπτομερώς στο πρότυπο GSM 08.58.

### **3.2.8 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΣΤΟ GSM ΚΑΙ DCS 1800**

Αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφει ένα βασικό γενικό αλγόριθμο διαπομπής, που μπορεί να υλοποιηθεί και να εφαρμοστεί σε ένα σύστημα GSM ή DCS 1800. Οι προδιαγραφές παρακάτω περιέχουν ένα σύνολο αρχικών αλγορίθμων από τους οποίους περισσότερο περίπλοκοι αλγόριθμοι διαπομπής θα μπορούσαν να μελετηθούν.

Αυτή η βασική μέθοδος διαπομπής δεν είναι υποχρεωτική για τους πάροχους.

#### **3.2.8.1 Λειτουργικές απαιτήσεις**

Ο υπάρχων αλγόριθμος βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές.

- Μια κυψέλη ανά BSS.
- Η ανάγκη για πραγματοποίηση διαπομπής σύμφωνα με κριτήρια ραδιοκάλυψη αναγνωρίζεται στο BSS. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ενδοκυψελική ή διακυψελική διαπομπή.
- Η αποτίμηση της λίστας με τις κυψέλες στόχους πραγματοποιείται στο BSS.
- Η επιλογή κυψέλης γίνεται στο MSC..
- Η ενδοκυψελική διαπομπής για κριτήρια ραδιοκάλυψη (προβλήματα παρεμβολών) μπορεί να εκτελεστεί απευθείας από το BSS.
- Η ανάγκη για διαπομπή για λόγους φορτίου αναγνωρίζεται από το MSC και εκτελείται στέλλοντας ένα μήνυμα "handover candidate enquiry message" στο BSS.
- Όλες οι παράμετροι που ελέγχουν τη διαδικασία διαπομπής θα πρέπει να ελέγχονται σε βάση κυψέλη προς κυψέλη.

Η γενική διαδικασία διαπομπής διασπάται στα παρακάτω τμήματα:

- i) BSS προ-επεξεργασία και σύγκριση με τα κατώφλια



ii) BSS αλγόριθμος απόφασης

iii) MSC αλγόριθμος επιλογής κυψέλης

Ο BSS αλγόριθμος απόφασης καθορίζεται με τέτοιο τρόπο, που το BSS μπορεί να εκπληρώσει τη βασική απαίτηση-προϋπόθεση της παραγωγής της λίστας των κυψελών στόχων για διαπομπή. Θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, από τη στιγμή που τα αποτελέσματα μετρήσεων μπορούν να σταλούν στο MSC μέσα από το μήνυμα "handover required", η απόφαση για διαπομπή μπορεί να εφαρμοστεί είτε στο MSC είτε στο BSS.

### 3.2.8.2 BSS προ-επεξεργασία και σύγκριση με τα κατώφλια

Για τον σκοπό της διαδικασίας διαπομπής, το BSS αποθηκεύει τις παραμέτρους και τα κατώφλια όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 3-1. Αυτά θα πρέπει να ελέγχονται σε βάση κυψέλη προς κυψέλη.

Πίνακας 3-1: Παράμετροι και κατώφλια για τη διαδικασία διαπομπής

L_RXLEV_UL_P	RXLEV threshold on the uplink for power increase. Typical range -103 to-73 dBm.
U_RXLEV_UL_P	RXLEV threshold on the uplink for power reduction.
L_RXQUAL_UL_P	RXQUAL threshold on the uplink for power increase.
U_RXQUAL_UL_P	RXQUAL threshold on the uplink for power reduction.
L_RXLEV_DL_P	RXLEV threshold on the downlink for power increase. Typical range -103 to-73 dBm.
U_RXLEV_DL_P	RXLEV threshold on the downlink for power reduction.
L_RXQUAL_DL_P	RXQUAL threshold on the downlink for power increase.
U_RXQUAL_DL_P	RXQUAL threshold on the downlink for power reduction
L_RXLEV_UL_H	RXLEV threshold on the uplink for handover process to commence. Typical range -103 to -73 dBm
L_RXQUAL_UL_H	RXQUAL threshold on the uplink for handover process to commence
L_RXLEV_DL_H	RXLEV threshold on the downlink for handover process to commence. Typical range -103 to -73 dBm
L_RXQUAL_DL_H	RXQUAL threshold on the downlink for handover process to commence
MS_RANGE_MAX	Threshold for the maximum permitted distance between MS and current BTS. Range (2, 35 Km); step size 1.0 Km
RXLEV_UL_IH	RXLEV threshold on uplink for intracell (interference) handover. Typical range -85 to -40 dBm
RXLEV_DL_IH	RXLEV threshold on downlink for intracell (interference) handover; typical range -85 to -40dBm
RXLEV_MIN(n)	Minimum RXLEV required for an MS to be allowed to handover to cell "n"

RXLEV_MIN_DEF	Default value of RXLEV_MIN, used to evaluate handover to undefined adjacent cells
HO_MARGIN(n)	A parameter used in order to prevent repetitive handover between adjacent cells. It may be also used as a threshold in the power budget process Range (0, 24 dB); step size 1 dB.
HO_MARGIN_DEF	Default value of HO_MARGIN, used to evaluate handover to undefined adjacent cells
N_CELL list	List of allowable adjacent cells for handover. Range (0, 32)
MS_TXPWR_MAX	Maximum TX power a MS may use in the serving cell. Range (5, 39 dBm) for GSM and (0,36 dBm) for DCS 1 800; step size 2 dB
MS_TXPWR_MAX(n)	Maximum TX power a MS may use in the adjacent cell "n". Range (5, 39 dBm) for GSM and (0,36 dBm) for DCS 1 800; step size 2 dB
MS_TXPWR_MAX_DEF	Default value of MS_TXPWR_MAX, used to evaluate handover to undefined adjacent cells
BS_TXPWR_MAX	Maximum TX power used by the BTS
O.X5	Boundary limits of five interference bands for the unallocated time slots. Typical range -115 to -85 dBm (see GSM 08.08)
Hreqave	RXLEV, RXQUAL and MS_BTS Distance averaging periods defined in terms of number of SACCH multiframes. Range (1, 31); step size 1
Hreqt	The number of averaged results that can be sent in a "handover required message" from BSS to MSC. Range (1, 31); step size 1
Intave	Interference averaging period defined in terms of the number of SACCH multiframes. Range (1, 31); step size 1.
N1..N8,P1..P8	The number of samples used in the threshold comparison processes. Range (1, 31); step size 1.
P_Con_INTERVAL	Minimum interval between changes in the RF power level. Range (0, 30 s) step size 0.96 s.
T_Hand_RQD	Minimum interval between handover required messages related to the same connection. Range (0, 30 s); step size 0.96 s.
Pow_Incr_Step_Size	Range 2, 4 or 6 dB.
Pow_Red_Step_Size	Range 2 or 4 dB.
Number of Ranges (NR)	Number of ranges in BA_RANGE indicating the number of ranges of ARFCNs containing BCCH carriers for use as stored BCCH information.

Οι ακόλουθες παράμετροι πρέπει συνεχώς να επεξεργάζονται στο BSS:

i) Μετρήσεις που αναφέρονται από το MS στο SACCH:

- Down link RXLEV;
- Down link RXQUAL;
- Down link RXLEV από τις γειτονικές κυψέλες (RXLEV\_NCELL (n) στο BCCH).

ii) Μετρήσεις που εκτελούνται στο BSC:

- Uplink RXLEV;
- Uplink RXQUAL;
- Απόσταση MS-BTS;
- Επίπεδα παρεμβολών σε ανεκχώρητες χρονοθυρίδες.

Ο υπολογισμός κάθε νέας τιμής μετρήσεων πραγματοποιείται κάθε ένα πολύ-πλαίσιο SACCH (480 ms)

#### 3.2.8.2.1 Διαδικασία μεσοτίμησης (averaging) μετρήσεων

Το BSS θα πρέπει να είναι ικανό να εκτελέσει προ-επεξεργασία των μετρήσεων για κάθε μια από τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Αστάθμητη μεσοτίμηση (Unweighted average)
- Σταθμισμένη μεσοτίμηση, με τις στάθμες να καθορίζονται από το O&M; (Weighted Average)
- Τροποποιημένος μέσος υπολογισμός (Modified median calculation)

Οι παράμετροι που ελέγχονται μέσα στο χρόνο επεξεργασίας είναι οι ακόλουθοι:

##### α) *RXLEV\_XX* ( $XX = DL \text{ or } UL$ )

Για κάθε σύνδεση και για τις δύο κατευθύνσεις ζεύξης οι τελευταίες 32 τιμές αποθηκεύονται. Κάθε 480 ms, με αυτά τα δείγματα, το BSS εκτιμά την μεσοτιμημένη τιμή της λαμβανόμενης ισχύος, όπως καθορίζονται από τις παραμέτρους  $H_{reqave}$  and  $H_{reqt}$ , που αφορούν το RXLEV.

##### β) *RXLEV\_DL* στο BCCH φέρον (*RXLEV\_NCELL* ( $n$ ))

Για κάθε σύνδεση και για την καθεμία από το πολύ 16 κυψέλες το BSS αποθηκεύει τις τιμές που αναφέρονται στα 32 τελευταία δείγματα. Το BSS μεσοτιμά αυτά τα δείγματα όπως ορίζεται από τις παραμέτρους  $H_{reqave}$ ,  $H_{reqt}$ , που αφορούν το RXLEV.

##### γ) *RXQUAL\_XX* ( $XX = DL \text{ or } UL$ )

Για κάθε σύνδεση και για τις δύο κατευθύνσεις ζεύξης οι τελευταίες 32 τιμές αποθηκεύονται. Κάθε 480 ms, με αυτά τα δείγματα, το BSS εκτιμά την μεσοτιμημένη τιμή της λαμβανόμενης ισχύος, όπως καθορίζονται από τις παραμέτρους  $H_{reqave}$  and  $H_{reqt}$ , που αφορούν το RXQUAL.

δ) Απόσταση MS-BTS

Για κάθε σύνδεση το BSS μεσοτιμά την προσαρμοστική τιμή ευθυγράμμισης πλαισίου (adaptive frame alignment value), όπως ορίζεται από τις παραμέτρους Hreqave and Hreqt, για την παραγωγή μιας εκτίμησης για την απόσταση MS-BTS.

ε) Επίπεδα παρεμβολών σε ανεκχώρητες χρονοθυρίδες:

Το BSS μεσοτιμά τα επίπεδα παρεμβολών σε ανεκχώρητες χρονοθυρίδες, όπως ορίζονται από την παράμετρο Intave. Το μεσοτιμημένο αποτέλεσμα απεικονίζεται σε πέντε κατηγορίες παρεμβολών των οποίων το όριο O-X5 ρυθμίζεται από το O&M (GSM 08.08).

στ) Προϋπολογισμός ισχύος (Power Budget)

Η διαδικασία αξιολόγησης μπορεί να εφαρμοστεί σαν κριτήριο για τη διαδικασία διαπομπής με την τιμοδότηση σημαίας στο BSS με εντολή O&M. Αν η διαδικασία εφαρμοστεί, κάθε 480ms, για κάθε σύνδεση και για καθεμία από τις 32 επιτρεπόμενες γειτονικές κυψέλες, το BSS αποτιμά την ακόλουθη έκφραση:

$$PBGT(n) = (\text{Min}(\text{MS\_TXPWR\_MAX}, P) - \text{RXLEV\_DL} - \text{PWR\_C\_D}) - (\text{Min}(\text{MS\_TXPWR\_MAX}(n), P) - \text{RXLEV\_NCELL}(n))$$

Όπου, RXLEV\_NCELL(n) και RXLEV\_DL αποκτούνται μέσα από τη διαδικασία μεσοτίμησης που ορίζεται παραπάνω, PWR\_C\_D είναι η διαφορά μεταξύ της μέγιστης RF ισχύος στη ζεύξη καθόδου που επιτρέπεται σε μια κυψέλη με την πραγματική τιμή ισχύος που έχει προκύψει από τη διαδικασία ελέγχου ισχύος στο BSS, MS\_TXPWR\_MAX είναι η μέγιστη RF ισχύς εκπομπής που ένα MS επιτρέπεται να χρησιμοποιεί στο κανάλι κίνησης στην κυψέλη που το εξυπηρετεί, MS\_TXPWR\_MAX(n) είναι η μέγιστη RF ισχύς εκπομπής που ένα MS επιτρέπεται να χρησιμοποιεί στο κανάλι κίνησης στη γειτονική κυψέλη n και P είναι η μέγιστη ισχύς εκπομπής που ένα MS μπορεί να έχει.

ζ) Hreqave και Hreqt:

Οι τιμές Hreqt και Hreqave ορίζονται από το O&M για κάθε κυψέλη για την μεσοτίμηση των αναφερθέντων μετρήσεων. Οι τιμές Hreqave και Hreqt μπορεί να είναι διαφορετικές για κάθε μια από τις παραμέτρους που αναφέρονται.

- Hreqave: Ορίζει την περίοδο μέσα στην οποία η μεσοτίμηση παράγεται, σε όρους αριθμού SACCH μπλοκ περιέχοντος των αποτελεσμάτων μετρήσεων. Με άλλα λόγια, ο αριθμός μετρήσεων που συνεισφέρουν στην εξαγωγή της μεσοτιμημένης τιμής.
- Hreqt: Είναι ο αριθμός των μεσοτιμημένων τιμών που διατηρούνται.

Το BSS υποστηρίζει τιμές των Hreqave και Hreqt τέτοιες ώστε:

$$0 < Hreqav < 32 \text{ και } 0 < Hreqt < 32$$

$$\text{όπου } Hreqave * Hreqt < 32$$

### 3.2.8.2.2 Διαδικασία σύγκρισης για λόγους διαπομπής

Σε κάθε πολυπλάσιο SACCH, το BSS συγκρίνει τις μετρήσεις με τα αντίστοιχα κατώφλια. Η διαδικασία σύγκρισης με τα κατώφλια πραγματοποιείται όπως παρακάτω:

α) Σύγκριση του  $RXLEV\_XX$  με  $L\_RXLEV\_XX\_H$  ( $XX = DL \text{ or } UL$ )

Αυτός ο αλγόριθμος αφορά τις τιμές  $RXLEV$  όπως αυτές προέκυψαν από την μεσοτίμηση. (A.3.1:α). Η διαδικασία σύγκρισης ορίζεται από τις παραμέτρους P5 και N5 ως ακολούθως:

- Αν τουλάχιστον P5 μέσες τιμές μέσα από ένα σύνολο N5 μέσων τιμών είναι χαμηλότερες από το  $L\_RXLEV\_XX\_H$ , μια διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί (π.χ. P5 = 10 and N5 = 12).

β) Σύγκριση του  $RXQUAL\_XX$  με  $L\_RXQUAL\_XX\_H$  ( $XX = DL \text{ or } UL$ )

Αυτός ο αλγόριθμος αφορά τις τιμές  $RXQUAL$  όπως αυτές προέκυψαν από την μεσοτίμηση. (A.3.1:γ). Η διαδικασία σύγκρισης ορίζεται από τις παραμέτρους P6 και N6 ως ακολούθως:

- Αν τουλάχιστον P6 μέσες τιμές μέσα από ένα σύνολο N6 μέσων τιμών είναι χαμηλότερες από το  $L\_RXQUAL\_XX\_H$ , μια διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί (π.χ. P6 = 5 and N6 = 7).

γ) Σύγκριση του  $RXLEV\_XX$  με  $RXLEV\_XX\_IH$  ( $XX = DL \text{ or } UL$ )

Αυτός ο αλγόριθμος αφορά τις τιμές RXLEV όπως αυτές προέκυψαν από την μεσοτίμηση. (A.3.1:α). Η διαδικασία σύγκρισης ορίζεται από τις παραμέτρους P7 και N7 ως ακολούθως:

- Αν τουλάχιστον P7 μέσες τιμές μέσα από ένα σύνολο N7 μέσων τιμών είναι μεγαλύτερες από το RXLEV\_XX\_IH, μια ενδοκυψελική διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί αν όμως και RXQUAL\_XX είναι επίσης μεγαλύτερο (πιο κακή ποιότητα) από L\_RXQUAL\_XX\_H (π.χ. P7 = 10 and N7 = 12).

δ) Σύγκριση του της απόσταση MS-BTS με την MAX\_MS\_RANGE

Η παρούσα διαδικασία σύγκρισης μπορεί να εφαρμοστεί σαν κριτήριο για τη διαδικασία διαπομπής με την τιμοδότηση σημαίας στο BSS με εντολή O&M. Η παρούσα διαδικασία σύγκρισης ορίζεται από τις παραμέτρους P8 και N8 ως ακολούθως:

- Αν τουλάχιστον P8 μέσες τιμές μέσα από ένα σύνολο N8 μέσων τιμών είναι μεγαλύτερες από το MS\_RANGE\_MAX, μια διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί (π.χ. P8 = 8 and N8 = 10).

ε) Σύγκριση του PBGT(n) με το HO\_MARGIN(n)

Αν η παρούσα διαδικασία εφαρμοστεί, η απόφαση θα στηριχθεί στην ακόλουθη σχέση:

- Εάν  $PBGT(n) > 0$  and  $PBGT(n) > HO\_MARGIN(n)$  τότε μια διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί.. Αυτή η σύγκριση καθιστά δυνατή τη διαπομπή του MS στην κυψέλη με τη μικρότερη απώλεια διαδρομής, παρόλο που τα κατώφλια ποιότητας και ισχύος μπορεί να μην έχουν ξεπεραστεί.

### **3.2.8.3 Αλγόριθμος απόφασης στο BSS**

Αναγνωρίζοντας την ανάγκη πραγματοποίησης μια διαπομπή το BSS στέλνει ένα μήνυμα "handover required message" στο MSC περιέχοντας την λίστα με τις πιθανές κυψέλες στόχος.

Το μήνυμα "handover required message" μπορεί επίσης να δημιουργηθεί σαν απάντηση στο μήνυμα ερώτηση "handover candidate enquiry message" που αποστέλλεται από το MSC.

Ο αλγόριθμος απόφασης στο BSS βασίζεται στην ακόλουθη στρατηγική:

$$RXLEV\_NCELL(n) > RXLEV\_MIN(n) + Max(O, Pa) \quad (3-1),$$

όπου:  $Pa = (MS\_TXPWR\_MAX(n) - P)$

$$\begin{aligned} & (\text{Min}(MS\_TXPWR\_MAX, P) - RXLEV\_DL - PWR\_C\_D) - (\text{Min}(MS\_TXPWR\_MAX(n), P) \\ & - RXLEV\_NCELL(n)) - HO\_MARGIN(n) > 0 \end{aligned} \quad (3-2),$$

Όλες αυτές οι εκφράσεις αποτιμούνται με την χρήση των μέσων τιμών, όπως αυτές ορίζονται από τις παραμέτρους  $Hreqt$  και  $Hreqave$ .

Το BSS αποτιμά την εξίσωση (3-2) για κάθε μια από τις γειτονικές κυψέλες που ικανοποιεί την έκφραση (3-1) και “μεταγλωττίζει” (compile) τη λίστα με τις προτιμητέες γειτονικές κυψέλες βάση της τιμής της έκφρασης (3-2). (στην πρώτη θέση είναι η κυψέλη της οποίας η τιμή από την (3-2) είναι η μεγαλύτερη, στη δεύτερη θέση είναι η κυψέλη με την δεύτερη καλύτερη τιμή κ.ο.κ)

Αν για κάποιες γειτονικές κυψέλες οι τιμές  $RXLEV\_MIN(n)$ ,  $HO\_MARGIN(n)$  και  $MS\_TXPWR\_MAX(n)$  δεν είναι γνωστές, τότε οι προκαθορισμένες παράμετροι  $RXLEV\_MIN\_DEF$ ,

$HO\_MARGIN\_DEF$ ,  $MS\_TXPWR\_MAX\_DEF$  χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκφράσεων (3-1) και (3-2). Αυτό δίνει τη δυνατότητα για διαπομπή σε καταστάσεις όπου μια κλήση εγκαθιδρύεται σε περιοχή κάλυψης μη αναμενόμενη, χωρίς να έχουν οριστεί γειτονικές

Αν υπάρχουν πολλές κυψέλες που ικανοποιούν τη (3-2) με το ίδιο αποτέλεσμα, η πρώτη κυψέλη στη λίστα θα είναι αυτή με την καλύτερη θετική τάση “positive trend”. Η τάση αποτιμάται από το BSS με την χρήση των τελευταίων  $Hreqt$  μέσων τιμών του  $RXLEV\_NCELL(n)$ .

Όταν μια διαπομπή θεωρείται επιτακτική, τότε ένα από τα ακόλουθα γεγονότα επαληθεύεται ως η κύρια αιτία.

α) Τα επίπεδα ισχύος (UL και/ή DL) είναι κάτω από τα κατώφλια παρόλο τον έλεγχο ισχύος (το MS και/ή το BSS έχουν φθάσει τα μέγιστα επιτρεπτά όρια εκπομπής ισχύος)

β) Η ποιότητα της ζεύξης (UL και/ή DL) είναι κάτω από τα κατώφλια ενώ παράλληλα το RXLEV

προσεγγίζει το κατώφλι.

γ) Η απόσταση μεταξύ MS και BTS υπερβαίνει την MAX\_MS\_RANGE

### **3.2.9 ΜΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ**

Η διαδικασία διαπομπής στα κυψελοειδή συστήματα δεν είναι πλήρως προτυποποιημένη. Οι αλγόριθμοι διαφέρουν από πάροχο σε πάροχο, καθώς αυτοί προσαρμόζουν τις παραμέτρους με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά σχήματα διαπομπών. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται κάποιοι από τους ευφυείς αλγόριθμους διαπομπής (πέρα από τους παραδοσιακούς αλγορίθμους) στα συστήματα 2G, όπως αυτά έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια.

#### **3.2.9.1 Fuzzy Διαπομπές**

Ευφυείς τεχνολογίες λογισμικού, όπως είναι π.χ. η ασαφής (fuzzy) λογική, τα νευρωνικά δίκτυα και η αναγνώριση σημάτων, μπορούν να εφαρμοστούν στη διαδικασία διαπομπής στο GSM. Η ασαφής (fuzzy) διαπομπή ουσιαστικά συντελείται μέσω μιας βελτιωμένης διαδικασίας επεξεργασίας των προτυποποιημένων αναφορών μετρήσεων στο GSM.

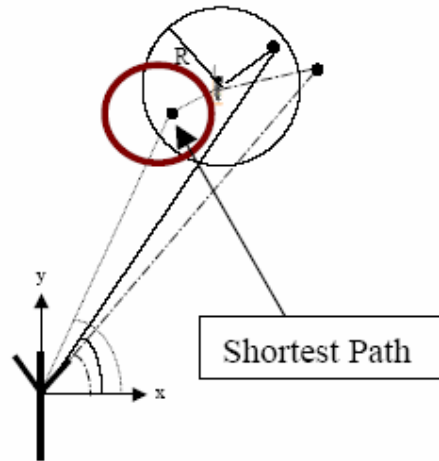
Ασαφής διαπομπή είναι η διαδικασία εκείνη διαπομπής, κατά την οποία χρησιμοποιείται ένας fuzzy ελεγκτής για την λήψη απόφασης διαπομπής. Τα μετρούμενα δεδομένα που φθάνουν στο τερματικό, μετασχηματίζονται σε fuzzy τιμές, οι οποίες τροφοδοτούν μια μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιεί ένα σετ ασαφών κανόνων, προκειμένου να αποφασιστεί, κατά πόσον μια διαπομπή είναι αναγκαία. Η ενοποίηση της ασαφούς λογικής με τα υπάρχοντα συστήματα έχει σαν αποτέλεσμα μια πιο σταθερή διαδικασία απόφασης διαπομπής [10]

#### **3.2.9.2 Προσαρμοστικές Κεραίες (Adaptive Antennas)**

Οι προσαρμοστικές κεραίες συμβάλλουν στην δημιουργία πιο «έξυπνων» διαπομπών. Οι διαπομπές αυτές, όπως είδαμε, είναι κατά κύριο λόγο, είτε σκληρές είτε ήπιες. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της καλής εκτίμησης της θέσης του τερματικού, μέσω αυτών των κεραίων, που επιτρέπει την πρόβλεψη της ταχύτητας του χρήστη. Η εκτίμηση της θέσης στηρίζεται στην τεχνολογία DOA (Difference Of Arrival) [11]. Ορισμένα μοντέλα



προσδιορίζουν έναν κανονικά κατανεμημένο σκεδαστή και οι ακτίνες με την μικρότερη απόσταση μεταξύ τερματικού και σταθμού χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της γωνίας άφιξης. Η ακτίνα σκέδασης  $R$  εξαρτάται από την περιοχή. Με την χρήση της μικρότερης DOA ακτίνας και μιας εικονικής χρονικής προώθησης, η θέση μπορεί να καθοριστεί με συγκεκριμένη ακρίβεια .



Σχήμα 3-2: DOA μέθοδος εντοπισμού θέσης με προσαρμοστικές κεραίες[12]

Η εκτίμηση, που πραγματοποιείται βάσει της μεθόδου DOA στις προσαρμοστικές κεραίες, μπορεί να έχει αποτελέσματα, μόνον, σχετικά με βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, ενώ αντίθετα, μακροπρόθεσμες προβλέψεις είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν, με την εφαρμογή νευρωνικών δικτύων, με τη γνώση της συμπεριφοράς του χρήστη τόσο όσον αφορά τον χρόνο όσο και την θέση [13].

Όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να μεταφερθούν από τον σταθμό βάσης σε ένα κέντρο ελέγχου. Σκοπός του κέντρου αυτού ελέγχου θα είναι η βελτίωση της κατανομής των διαθέσιμων πόρων, εφόσον η διαδικασία διαπομπής θα έχει ήδη γίνει αποδοτικότερη λόγω της γνώσης της θέσης του χρήστη.

### 3.2.9.3 Προτεραιότητες στη διαπομπή

Εκτενής έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για το θέμα των προτεραιοτήτων της διαπομπής στα ασύρματα κυψελοειδή συστήματα. Αναλυτική παρουσίαση αυτών ακολουθεί στο κεφάλαιο 4.3

### **3.3 ΔΙΑΠΟΜΠΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 3<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ**

Οι διαπομπές συνιστούν το βασικότερο μέσον για την δημιουργία κινητικότητας στις κυψελοειδείς αρχιτεκτονικές. Στα συστήματα UMTS διαφορετικοί τύποι διαπομπής έχουν εισαχθεί για την αντιμετώπιση και άλλων απαιτήσεων, όπως είναι ο έλεγχος φορτίου, η παροχή κάλυψης και η προσφορά καλής ποιότητας υπηρεσιών. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι διαπομπής και το βασικότερο ίσως κίνητρο, που οδήγησε στην εφαρμογή και χρήση αυτών στην αρχιτεκτονική συστημάτων UMTS. Σε αυτό το τμήμα της διατριβής επιχειρείται, επίσης, να σχηματιστεί μια πρώτη εντύπωση για τον αντίκτυπο των διαπομπών στην απόδοση δικτύων και δίνεται έμφαση σε μερικά από τα πιθανά μειονεκτήματα των μεθόδων αυτών σχετικά με την χωρητικότητα δικτύου και το φορτίο σηματοδοσίας.

Η διαπομπή έχει ως κύριο στόχο την αδιάκοπη παροχή των κινητών υπηρεσιών σε έναν χρήστη, που ταξιδεύει πέρα από τα όρια κυψελών σε μια κυψελοειδή υποδομή. Για έναν χρήστη που έχει μια τρέχουσα επικοινωνία και που διασχίζει τα όρια της κυψέλης, είναι ευνοϊκότερο να χρησιμοποιήσει τους ραδιοπόρους σε μια νέα κυψέλη – αποκαλούμενη κυψέλη-στόχος–, επειδή η δύναμη σημάτων που γίνεται αντιληπτή στο "παλαιό" κύτταρο επιδεινώνεται, δεδομένου ότι ο χρήστης διαπερνά στη κυψέλη-στόχο. Ολόκληρη η διαδικασία αποκοπής της υπάρχουσας σύνδεσης στη τρέχουσα κυψέλη και της εγκατάστασης μιας νέας σύνδεσης στη κατάλληλη κυψέλη καλείται "διαπομπή" (Handover). Η δυνατότητα ενός κυψελοειδούς δικτύου για αποδοτική εκτέλεση διαπομπών αποτελεί στοιχείο βαρύνουσας σημασίας, ειδικότερα όσον αφορά την προσφορά ελκυστικών και ουσιαδών υπηρεσιών, όπως είναι οι εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο ή οι εφαρμογές ροής πολυμεσικής πληροφορίας (multimedia streaming), σύμφωνα με τις προδιαγραφές των δικτύων τρίτης γενεάς. Για τον λόγο αυτό ο αριθμός "αποτυχημένων διαπομπών" – η κατάσταση, δηλαδή, στην οποία η διαδικασία παράδοσης δεν μπορεί να ολοκληρωθεί – πρέπει να μειωθεί περαιτέρω έναντι των προηγούμενων κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνιών όπως το GSM.

Η αιτία μιας αποτυχημένης διαδικασίας διαπομπής, που οφείλεται από αποτυχία στην σηματοδοσία ως και την έλλειψη πόρων στη κυψέλη στόχο, καθιστά αδύνατη την εξυπηρέτηση ενός νέου χρήστη. Στα δίκτυα υψηλής απόδοσης, όπου υπάρχει μια τάση χρήσεως των μικρό-κυψελών για αύξηση της χωρητικότητας, η διαδικασία διαπομπής

καθίσταται ακόμη σημαντικότερη, δεδομένου ότι απαιτούνται συχνότερα handovers. Ένας αποδοτικός αλγόριθμος διαπομπής μπορεί να εφαρμοστεί μόνο με τη βοήθεια της κατάλληλης διαχείρισης της θέσης των χρηστών αλλά και των πόρων. Η διαχείριση των πόρων σημαίνει ότι, υπάρχει ένας τρόπος να εγκατασταθούν, να διατηρηθούν, να απελευθερωθούν και να ελεγχθούν οι συνδέσεις στο ράδιο-στρώμα πρόσβασης. Στα συστήματα UMTS το σημαντικότερο μέρος του ελέγχου μεταξύ τερματικής συσκευής και UTRAN γίνεται από το πρωτόκολλο ελέγχου των ράδιο-πόρων (Radio Resource Control - RRC) [3]. Μερικές από τις λειτουργίες που εφαρμόζονται στο πρωτόκολλο RRC και που είναι σημαντικές στη συζήτησή μας σχετικά με τις διαδικασίες διαπομπής, είναι η επιλογή κυττάρων, οι μετρήσεις του κινητού τερματικού, ο επαναπροσδιορισμός του εξυπηρετούντος RNC (Serving RNC-SRNC) και ο έλεγχος των ράδιο-φορέων, όπως των φυσικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς (Physical and Transport channels). Το μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας του πρωτοκόλλου RRC εφαρμόζεται στο RNC. Το σύστημα διαχείρισης θέσης χρηστών προϋποθέτει τη διατήρηση της θέσης του τερματικού. Μερικές από τις πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται στις λειτουργικές οντότητες στο κεντρικό δίκτυο, όπως είναι ο κεντρικός υπολογιστής εγχώριων συνδρομητών (Home Subscriber Server- HSS) και το κινητό κέντρο μετατροπής (Mobile Switching Center- MSC)<sup>2</sup>. Παρ' όλη την διαθεσιμότητα της θέσεως του χρήστη σε αυτές τις οντότητες του δικτύου, το πρωτόκολλο RRC, που λειτουργεί μεταξύ του τερματικού και του UTRAN -στο RNC -, εξακολουθεί να εκπληρώνει τις λειτουργίες κινητικότητας σύνδεσης σχετικά με τις διαπομπές.

Οι διαδικασίες διαπομπής στο WCDMA μπορούν να ταξινομηθούν με διαφορετικούς τρόπους. Ένας γενικός τρόπος κατηγοριοποίησης της διαπομπής είναι αυτός, που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διατριβής παρουσιάζεται και η ταξινόμηση μεταξύ σκληρών (hard), σκληρών διασυστημικών (hard inter system) και ήπιων και ηπιότερων διαπομπών. Επίσης, γίνεται επιγραμματική αναφορά στην κατάσταση μακροδιαφορισμού (macrodiversity), αλλά και στην διαπομπή forward/backward και στην ταξινόμηση των διαπομπών σε σχέση με την πηγή ενεργοποίησης αυτών. Μερικές ακόμα ερευνητικές εργασίες διακρίνουν τη διαπομπή μεταξύ

---

<sup>2</sup>Τα HSS και το MSC στο UMTS εφαρμόζουν παρόμοια λειτουργία ως προς τα αντίστοιχα στο GSM: το HLR και VLR.

δύο σταθμών βάσης (Διακομβική-Inter Node B handover), εντός του ίδιου σταθμού (Ενδοκομβική - Intra Node B) και στις διασυστημικές διαπομπές μεταξύ WCDMA και GSM (Inter system handover). Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται διάφορες ταξινομήσεις των διαπομπών, όπως αυτές έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις hard και soft διαπομπές, για τον λόγο ότι αυτές αποτελούν βασικό ζήτημα στην ανάπτυξη των προτεινόμενων αλγορίθμων για το UMTS.

### **3.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΤΟΥ UMTS**

Η διαδικασία διαπομπής μπορεί να κατηγοριοποιηθεί και βάσει μιας σειράς παραγόντων, που ουσιαστικά οδηγούν την ανάπτυξη των διαδικασιών διαπομπής σε ένα σύστημα UMTS:

**Ήπια/Σκληρή Διαπομπή.** Κατά τη διάρκεια μιας ήπιας διαπομπής υπάρχουν τουλάχιστον δύο ταυτόχρονες ενεργές συνδέσεις, αντίθετα με ότι συμβαίνει στην σκληρή διαπομπή, κατά την οποία, αν και είναι δυνατόν δύο ζεύξεις να συνυπάρχουν για ένα χρονικό διάστημα, μόνο μια από αυτές είναι ενεργή σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Έτσι, στη σκληρή διαπομπή είναι δυνατό να παρουσιαστεί προσωρινή διακοπή στην επικοινωνία.

**Μακροδιαφορισμός (Macrodiversity):** Πρόκειται ουσιαστικά για μια επέκταση της ιδέας της ήπιας διαπομπής. Στην κατάσταση μακροδιαφορισμού, σε μια χρονική στιγμή είναι ενεργές αρκετές συνδέσεις. Οι διαφορετικές συνδέσεις από και προς τους διάφορους κόμβους, με άλλα λόγια η λαμβανόμενη πληροφορία από αυτές τις συνδέσεις, συνδυάζονται με την χρήση διαφορετικών μεθόδων και σε διαφορετικά επίπεδα στην αλυσίδα επικοινωνίας (όπως στα CSS, LE ή UMS).

**Forward/Backward:** Προκειμένου να μεταφερθεί ο έλεγχος πληροφορίας μεταξύ του τερματικού και του κόμβου στο δίκτυο, το οποίο ελέγχει τη διαδικασία διαπομπής, μια επιπλέον σύνδεση μπορεί να εγκαθιδρυθεί είτε μεταξύ του σταθμού, όπου το τερματικό εγκαταλείπει (Backward handover,) είτε μεταξύ του κόμβου, όπου το τερματικό κατευθύνεται (Forward handover) με το ίδιο το τερματικό.

**Πηγή ενεργοποίησης της διαπομπής (Origination of the handover):** Μια διαπομπή μπορεί να απαιτηθεί από διάφορα σημεία στο δίκτυο. Μπορούν κυρίως να ξεχωρίσουν οι διαπομπές που ξεκινούν από το δίκτυο (Network Initiated handover), στο οποίο λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου, αλλά και οι διαπομπές που ξεκινούν από το τερματικό (Mobile Initiated handover), όπου το UE έχει τον έλεγχο της διαπομπής (πραγματοποιεί και επεξεργάζεται μετρήσεις, λαμβάνει την απόφαση διαπομπής, διαλέγει

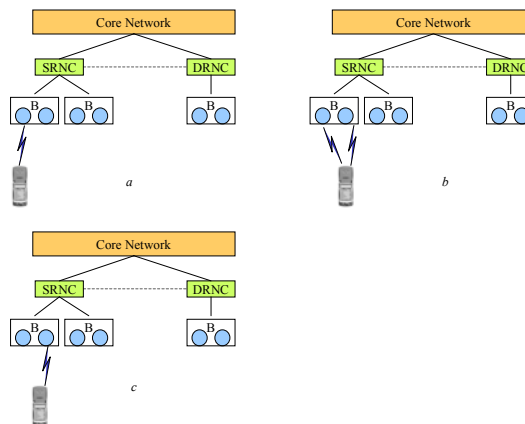
τον κόμβο στόχο, κ.τ.λ.), ενώ το δίκτυο απλά προσαρμόζει τις παραμέτρους, που χρησιμοποιούνται από το UE στη διαδικασία διαπομπής. Τέλος, υπάρχουν και οι διαπομπές που αποτιμούνται από το τερματικό, αλλά η τελική απόφαση για την πραγματοποίησή τους λαμβάνεται από το δίκτυο (Mobile Evaluated handover).

### 3.3.2 ΕΝΔΟΚΟΜΒΙΚΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ (INTRA NODE B HANDOVER)

Η διαπομπή εντός του ίδιου σταθμού διακρίνεται σε δυο επί μέρους κατηγορίες, όπως αυτές φαίνονται παρακάτω:

**Ενδοκομβική / Ενδοκυψελική (Intra Node B / Intra cell).** Η κατηγορία αυτή καλύπτει την περίπτωση, κατά την οποία το κινητό δεν αλλάζει κυψέλη(τομέα), αλλά αλλάζει τη συχνότητα / τον κώδικα του. Η διαπομπή αυτή χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του φορτίου κυκλοφορίας μέσα σε έναν ενιαίο κόμβο (Node B) και για την εφαρμογή των διαδικασιών αποδοχής κλήσης.

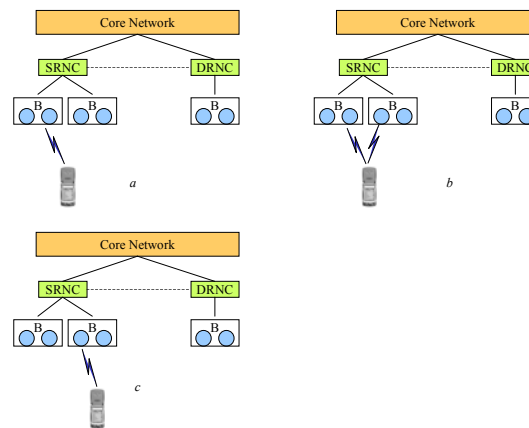
**Ενδοκομβική / Διακυψελική (Intra Node B / Inter cell).** Η δεύτερη αυτή κατηγορία καλύπτει την άλλη περίπτωση της ενδοκομβικής διαπομπής, κατά την οποία η ραδιοσύνοδος δίνεται από μια κυψέλη σε άλλη, αλλά και οι δύο μέσα στον ίδιο κόμβο (Node B). Στην περίπτωση ενός Node B διπλής λειτουργίας (FDD-TDD), η ενδοκομβική διαπομπή μπορεί να συμπεριλάβει μια αλλαγή του τρόπου λειτουργίας (FDD-TDD). Το Σχήμα 3-3 παρουσιάζει τρία βήματα απαραίτητα για την ολοκλήρωση μιας τέτοιας διαπομπής.



Σχήμα 3-3: Ενδοκομβική Διαπομπή

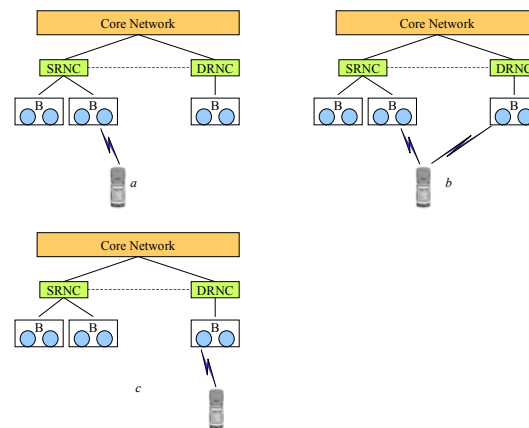
### 3.3.3 ΔΙΑΚΟΜΒΙΚΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗ (INTER NODE B HANDOVER)

**Διακομβική / Ενδο-RNC (Inter Node B / Intra RNS).** Κατά την διαπομπή αυτή ένα κινητό τερματικό κινείται μεταξύ περιοχών, που καλύπτονται από δύο διαφορετικούς κόμβους (Node B), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-4. Και οι δύο κόμβοι που περιλαμβάνονται στη σύνοδο διαπομπής συνδέονται με το ίδιο RNC. Στην περίπτωση ενός RNC με διπλή λειτουργία (FDD-TDD), η διακομβική / ενδο-RNC διαπομπή μπορεί να εμπεριέχει μια αλλαγή του τρόπου (FDD-TDD).



Σχήμα 3-4: Διακομβική Διαπομπή (στο ίδιο RNC)

**Διακομβική / Δια-RNC (inter RNS, with Iur).** Σε αυτή την κατηγορία η διαπομπή εξακολουθεί να συμβαίνει μέσα σε URAN, αλλά τώρα είναι διαπομπή μεταξύ κυψελών, που βρίσκονται κάτω από τον έλεγχο διαφορετικών RNCs, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3-5.



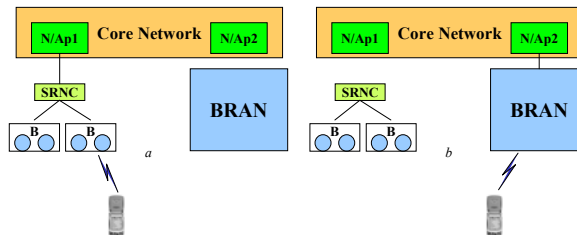
Σχήμα 3-5: Διαπομπή μεταξύ διαφορετικών RNC

Το σενάριο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-5 προϋποθέτει το ότι η διεπαφή Iur είναι διαθέσιμη μεταξύ του SRNC και του DRNC<sup>3</sup>. Εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις UTRA είναι δυνατόν να επεκταθεί χωρίς απαραίτητως τη διασύνδεση όλων των RNC μέσω μιας διεπαφής Iur. Σε αυτές τις περιπτώσεις μόνο οι διαδικασίες σκληρής διαπομπής μπορούν να πραγματοποιηθούν, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα και παρακάτω.

### 3.3.4 ΔΙΑ-UTRAN ΔΙΑΠΟΜΠΕΣ (HANDOVER BETWEEN DIFFERENT URAN TYPES)

Οι 3GPP προδιαγραφές περιλαμβάνουν ακόμα τη διαπομπή μεταξύ των διαφορετικών τύπων ράδιο-προσβάσεων, π.χ., μεταξύ του UMTS και του BRAN (βλ. Σχήμα 3-6). Αν και η έκδοση '99 δεν υποστηρίζει αυτό το σενάριο, είναι πολύ ελπιδοφόρο για τις μελέτες διαφόρων προγραμμάτων.

Το Σχήμα 3-6 παρουσιάζει την περίπτωση, όπου ένα πολλαπλού τρόπου λειτουργίας τερματικό κινείται από ένα δίκτυο UMTS προς ένα BRAN δίκτυο. Δια-UTRAN διαπομπές εμφανίζονται μόνο, εάν και τα δύο εμπλεκόμενα συστήματα (UMTS και BPAN) χρησιμοποιούν τον ίδιο κορμό του κεντρικού δικτύου μέσω δύο διαφορετικών σημείων πρόσβασης.



Σχήμα 3-6: Διαπομπή μεταξύ διαφορετικών URAN

### 3.3.5 ΣΚΛΗΡΕΣ ΔΙΑΠΟΜΠΕΣ (HARD HANDOVER)

Σκληρή καλείται η διαπομπή, κατά την οποία μια σύνδεση τερματίζεται, προτού εγκαθιδρυθεί μια νέα σύνδεση μεταξύ του τερματικού και του δικτύου πρόσβασης. Αυτός ο τύπος διαπομπής χρησιμοποιείται στα κυψελοειδή συστήματα GSM, στο πλαίσιο των οποίων μια διαφορετική ζώνη συχνότητας έχει οριστεί για κάθε κυψέλη. Όταν ένας χρήστης εισέρχεται στην περιοχή κάλυψης μιας νέας κυψέλης, η υπάρχουσα σύνδεση οδηγείται σε

<sup>3</sup> Το Drift RNC (DRNC) είναι ο ελεγκτής υποστήριξης του SRNC

διακοπή, πριν εγκαθιδρυθεί μια νέα σύνδεση σε μια διαφορετική συχνότητα στην κυψέλη στόχο. Ο αλγόριθμος πίσω από αυτόν τον τύπο παράδοσης είναι ιδιαίτερα απλός. Ο κινητός σταθμός εκτελεί μια διαπομπή, κάθε φορά που η ισχύς σήματος μιας γειτονικής κυψέλης υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο κατώφλι, την ισχύ σήματος της εξυπηρετούσας κυψέλης.

Στο UMTS οι σκληρές παραδόσεις χρησιμοποιούνται, όταν π.χ. αλλάζει η ζώνη ραδιοσυχνότητας της σύνδεσης μεταξύ του τερματικού και του UTRAN. Οι σκληρές διαπομπές εφαρμόζονται επίσης και στην περίπτωση, που πραγματοποιείται αλλαγή κυψέλης στην ίδια συχνότητα, γεγονός που συμβαίνει, όταν δεν υπάρχει καμία υποστήριξη macro diversity από πλευράς δικτύου [14]. Κατ' άλλη διατύπωση, όταν ένα τερματικό κινείται προς μια διαφορετική κυψέλη ενός δικτύου UMTS, παράλληλα με ένα κανάλι, που διατίθεται να το εξυπηρετεί, η σκληρή διαπομπή επιλέγεται μόνο στην περίπτωση που η ήπια ή έστω ηπιότερη διαπομπή είναι αδύνατη. Μια τρίτη περίπτωση των σκληρών παραδόσεων είναι οι αποκαλούμενες διαπομπές δια-τρόπου (inter-mode). Στις περιπτώσεις των διαπομπών δια-τρόπου επιτρέπονται οι αλλαγές μεταξύ του FDD και του TDD τρόπου λειτουργίας του UTRAN, όπως είδαμε και παραπάνω. Ο τύπος αυτός διαπομπής απαντάται κάποιες φορές ως διασυστημική παράδοση, δεδομένου ότι οι μέθοδοι μέτρησης, που χρησιμοποιούνται, είναι παρόμοιες με αυτές που συντελούνται στις διαπομπές μεταξύ WCDMA και GSM. Αν και από τεχνική άποψη αυτές οι διασυστημικές παραδόσεις μπορούν να θεωρηθούν τύπος σκληρών παραδόσεων, συζητούνται και αναλύονται χωριστά.

Το κύριο πρόβλημα που ανακύπτει στις σκληρές παραδόσεις εντός των συστημάτων GSM είναι οι – κάποιες φορές υψηλές – πιθανότητες τερματισμού μιας κλήσης, έτσι όπως αυτές βιώνονται από τους χρήστες κατά την μετάβαση σε μια νέα κυψέλη. Οι εν λόγω πιθανότητες είναι δυνατόν να μειωθούν με την παραχώρηση προτεραιότητας στους χρήστες διαπομπής σε σχέση με τους νέους χρήστες, παραχώρηση η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την δέσμευση π.χ. ενός ορισμένου μέρους της χωρητικότητας κάθε κυψέλης για τους χρήστες σε τρέχουσα επικοινωνία. Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί και ένας καινούργιος αλγόριθμος, ο οποίος προτείνεται ακριβώς για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, με χρήση της πληροφορίας θέσης του χρήστη και πρόβλεψη της κίνησης του. Κατ' αντίλογο, όμως, τέτοιου είδους λύσεις μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερες πιθανότητες μπλοκαρίσματος για τους νέους χρήστες. Για την αποφυγή ενός τέτοιου φαινομένου θα πρέπει να υπάρξει αποδοτική διαχείριση και σωστή 'ανταλλαγή' (trade off) μεταξύ απόρριψης τρεχόντων κλήσεων και αποκλεισμού νέων. Οι εκτιμήσεις αυτές μαζί με άλλες



παραμέτρους του CDMA οδήγησαν στην επιλογή και επιπρόσθετων τύπων διαπομπής, προκειμένου να συνυπάρξουν στο δίκτυο πρόσβασης WCDMA: οι ήπιοι και ηπιότεροι αλγόριθμοι διαπομπής αναγκαία έρχονται αντιμέτωποι με κάποια από τα μειονεκτήματα των συστημάτων CDMA και ως εκ τούτου, η γενική απόδοση συστημάτων αυξάνεται. Χαρακτηριστικά, οι σκληρές παραδόσεις χρησιμοποιούνται μόνο για λόγους κάλυψης και φορτίου, ενώ η ήπια και ηπιότερη διαπομπή είναι τα κύρια μέσα για την υποστήριξη της κινητικότητας.

### 3.3.6 Ήπια και ηπιότερη διαπομπή (SOFT AND SOFTER HANDOVER)

Οι ήπιες και ηπιότερες διαπομπές αποτελούν συγκεκριμένους τύπους διαπομπών CDMA, που αναπτύχθηκαν στο σύστημα UMTS. Αυτές διαμορφώνουν ένα από τα χαρακτηριστικότερα γνωρίσματα της επαναστατικής μεθόδου προσπέλασης WCDMA. Στην παράγραφο αυτή συζητείται λεπτομερώς το αποτέλεσμα της ανάπτυξης και εφαρμογής των συγκεκριμένων τύπων διαπομπών κατά το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων και αναλύονται ταυτόχρονα οι αλγόριθμοι, που κρύβονται πίσω από αυτές τις μεθόδους, όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή της 3GPP TR 25.922.



Σχήμα 3-7: Περιπτώσεις ήπιας και ηπιότερης διαπομπής

Μια ήπια ή ηπιότερη διαπομπή εμφανίζεται πρωτίστως στην περίπτωση, κατά την οποία ο κινητός σταθμός βρίσκεται σε περιοχή κάλυψης, που επικαλύπτεται από δύο παρακείμενες κυψέλες. Ο χρήστης έχει δύο ταυτόχρονες συνδέσεις στο μέρος UTRAN του δικτύου χρησιμοποιώντας κατά τον ίδιο χρόνο περισσότερα διαφορετικά κανάλια διεπαφών. Στην περίπτωση της ήπιας διαπομπής ο κινητός σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή κάλυψης κυψελών από δύο διαφορετικούς τομείς (sectors), που ανήκουν, όμως, σε διαφορετικούς σταθμούς βάσεων. Η ηπιότερη διαπομπή είναι η κατάσταση, κατά την οποία ένας σταθμός βάσεων λαμβάνει δύο σήματα χρηστών από δύο παρακείμενους τομείς

(sectors), που αυτός εξυπηρετεί. Αν και υπάρχει υψηλός βαθμός ομοιότητας μεταξύ των δύο τύπων διαπομπών υπάρχουν, ωστόσο, σημαντικές διαφορές<sup>4</sup>.

Στην περίπτωση της ηπιότερης διαπομπής ο σταθμός βάσης λαμβάνει δύο χωριστά σήματα μέσω της διάδοσης πολλαπλών διαδρομών. Λόγω των αντανάκλασεων στα κτίρια ή στα φυσικά εμπόδια το σήμα, που στέλνεται από τους κινητούς σταθμούς, φθάνει στο σταθμό βάσης από δύο διαφορετικούς τομείς. Τα σήματα, που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ηπιότερης παράδοσης, αντιμετωπίζονται ομοίως ως σήματα πολλαπλών διαδρομών. Στη ζεύξη ανόδου τα σήματα, που λαμβάνονται στο σταθμό βάσης, δρομολογούνται στον ίδιο κτενοειδή δέκτη (Rake Receiver) και συνδυάζονται ακολουθώντας τη μέγιστη αναλογία της συνδυαστικής τεχνικής. Στην κατεύθυνση downlink συνδέσεων η κατάσταση είναι ελαφρώς διαφορετική, δεδομένου ότι ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί διαφορετικούς κώδικες περίπλεξης (scrambling code), προκειμένου να διαχωρίσει τους διαφορετικούς τομείς, που εξυπηρετεί. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο στο κινητό τερματικό να εφαρμοστεί ο κατάλληλος κώδικας εξάπλωσης (de-spreading) για τα διαφορετικά «δάχτυλα»(fingers) του κτενοειδούς δέκτη στα σήματα, που λαμβάνονται από τους διαφορετικούς τομείς, πριν αυτά συνδυαστούν από κοινού. Σύμφωνα με την [14] η ήπια διαπομπή εμφανίζεται σε ποσοστό 5-10% των συνδέσεων. Λόγω της φύσης της ηπιότερης παράδοσης υπάρχει μόνο ένας βρόχος ελέγχου ισχύος ενεργός. Όσον αφορά την ήπια διαπομπή, η κατάσταση προσομοιάζει με αυτή, που ισχύει στη ζεύξη καθόδου. Στον κινητό σταθμό τα σήματα, που λαμβάνονται από τους δύο διαφορετικούς σταθμούς βάσεων, συνδυάζονται με εφαρμογή της επεξεργασίας MRC Rake. Αντίθετα, στην ζεύξη ανόδου υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Τα λαμβανόμενα σήματα δεν μπορούν πλέον να συνδυαστούν στο σταθμό βάσης, αλλά καθοδηγούνται στο RNC. Ο συνδυασμός ακολουθεί διαφορετική αρχή στο RNC. Τα δύο σήματα συγκρίνονται σε μια βάση πλαίσιο προς πλαίσιο και ο καλύτερος υποψήφιος επιλέγεται μετά από κάθε περίοδο διεμπλοκής (interleaving period) δηλ. κάθε 10, 20, 40 ή 80ms. Δεδομένου ότι ο εξωτερικός αλγόριθμος ελέγχου ισχύος βρόχων (outer loop power control algorithm) μετρά το SNR των λαμβανόμενων uplink σημάτων σε ένα ποσοστό μεταξύ 10 και 100Hz, οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ήπιας διαπομπής για την επιλογή του πλαισίου με την καλύτερη δυνατή ποιότητα.

---

<sup>4</sup> Σημειώστε ότι, αν και η κατάσταση επικάλυψης περιγράφεται για δύο κυψέλες, είναι δυνατός και ο μεγαλύτερος αριθμός κυψελών σε μια τέτοια κατάσταση. Όπως θα συζητηθεί αργότερα, ο αριθμός κυψελών,

### 3.3.7 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ 3GPP TR 25.922

Στην παράγραφο αυτή συζητείται η διαδικασία διαπομπής, όπως περιγράφεται στην τεχνική αναφορά TR 25.922 των 3GPP προδιαγραφών [15]. Ουσιαστικά η ήπια διαπομπή αποτελείται από δύο κύριες λειτουργίες:

- Απόκτηση και επεξεργασία των μετρήσεων
- Εκτέλεση του αλγορίθμου διαπομπής

Πριν την επιχείρηση μίας εις βάθος ανάλυσης των προαναφερθέντων λειτουργιών, υπάρχουν κάποιοι συγκεκριμένοι όροι, που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της διαδικασίας διαπομπής, και οι οποίοι πρέπει να καθοριστούν. Αυτοί είναι οι εξής:

- **Σύνολο (Set):** Λίστα κυψελών ή κόμβων (Node B's)
- **Ενεργό σύνολο (Active Set):** Λίστα κυψελών που έχουν μια σύνδεση με τον κινητό σταθμό
- **Παρακολουθούμενο σύνολο (Monitored Set):** Λίστα (γειτονικών) κυψελών των οποίων η παράμετρος  $E_c/I_0$  του πιλοτικού καναλιού μετριέται συνεχώς, αλλά δεν είναι αρκετά ισχυρή, ώστε αυτή να προστεθεί στο ενεργό σύνολο.

#### 3.3.7.1 Μετρήσεις

Οι ακριβείς μετρήσεις της παραμέτρου  $\frac{E_c}{I_0}$  του πιλοτικού καναλιού (Common Pilot Channel -CPICH) διαμορφώνουν την κύρια μορφή δεδομένων εισόδου για τη λήψη της έκθεσης μέτρησης RRC, απαραίτητης για τη λήψη των αποφάσεων διαπομπής. Κυρίως τρεις παράμετροι μπορούν να μετρηθούν. Εκτός της παραμέτρου  $\frac{E_c}{I_0}$  του CPICH, μετρούνται επίσης η λαμβανόμενη ισχύς κώδικα σημάτων (RSCP) και ο λαμβανόμενος δείκτης ισχύος σημάτων (RSSI). RSCP είναι η ισχύς, που μεταφέρεται από το αποκωδικοποιημένο πιλοτικό κανάλι, ενώ RSSI είναι η ευρείας ζώνης συνολικά λαμβανόμενη ισχύς μέσα στο εύρος ζώνης καναλιών. Η παράμετρος  $\frac{E_c}{I_0}$  ορίζεται ως:

---

που ο κινητός σταθμός μπορεί να έχει τις ταυτόχρονες συνδέσεις, καλείται ενεργό καθορισμένο μέγεθος (active set).

$$\frac{E_c}{I_0} = \frac{RSCP}{RSSI} \quad (3-3),$$

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να εφαρμοστεί ένα φιλτράρισμα στις μετρήσεις διαπομπής, ώστε να είναι δυνατός ο κατά μέσο όρο υπολογισμός της επίδρασης της γρήγορης εξασθένησης. Σφάλματα στις μετρήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε περιττές διαπομπές. Το κατάλληλο φιλτράρισμα, αντίθετα, μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση. Δεδομένου ότι οι μεγάλες περιόδοι φιλτραρίσματος μπορούν να προκαλέσουν καθυστερήσεις στις διαδικασίες handovers<sup>5</sup>, το μήκος της περιόδου φιλτραρίσματος θα πρέπει να επιλεγεί με κριτήριο την ανταλλαγή (trade-off) μεταξύ της ακρίβειας της μέτρησης και της καθυστέρησης διαπομπής. Επίσης, ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και η ταχύτητα των χρηστών, καθώς όσο πιο αργό είναι το κινητό τερματικό τόσο πιο δύσκολος είναι και ο υπολογισμός της κατά μέσο όρο γρήγορης εξασθένησης. Συχνά επιλέγεται ένας χρόνος φιλτραρίσματος 200ms.

Άλλες ουσιαστικές πληροφορίες, που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της αποκαλούμενης intra-mode ήπιας και ηπιότερης μορφής διαπομπών, είναι οι πληροφορίες χρονισμού. Δεδομένου ότι το δίκτυο WCDMA είναι ασύγχρονης φύσης, υπάρχουν σχετικές διαφορές χρονισμού μεταξύ των διαφόρων κυψελών. Για να είναι δυνατός ο εύκολος συνδυασμός στο Rake δέκτη αλλά και παράλληλα να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις στους βρόχους ελέγχου ισχύος, οι μεταδόσεις πρέπει να ρυθμίζονται εγκαίρως. Από την στιγμή που το UE υπολογίσει τη διαφορά συγχρονισμού μεταξύ των καναλιών CPICH της εξυπηρετούσας κυψέλης και της κυψέλης-στόχου, το RNC στέλνει τις πληροφορίες ρύθμισης συγχρονισμού DCH στη κυψέλη-στόχο.

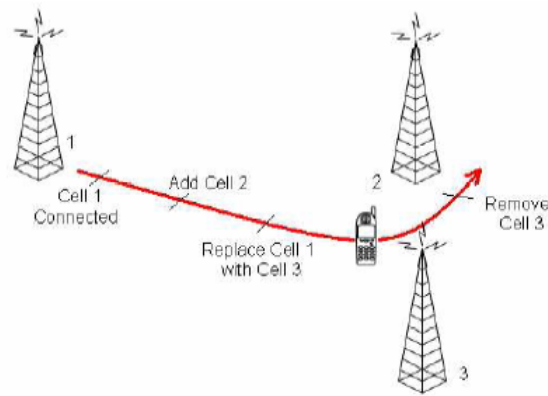
### **3.3.7.2 Αλγόριθμος ήπιας διαπομπής**

Ο αλγόριθμος ήπιας διαπομπής WCDMA, όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή 3GPP TR 25.922, διαφέρει ελαφρώς από τον αλγόριθμο, που καθορίζεται στην έκδοση IS 95A, όπως χρησιμοποιείται σε συστήματα cdmaOne, πρότυπο για τα Βορειοαμερικανικά κυψελοειδή συστήματα, τα οποία βασίζονται επίσης σε CDMA. Η σημασία των τελευταίων αλγορίθμων είναι μεγάλη αλλά βρίσκεται έξω από τα πλαίσια της συγκεκριμένης διατριβής, η οποία περιορίζεται στην ανάλυση μόνο των αλγορίθμων WCDMA. Με βάση τις μετρήσεις στο

---

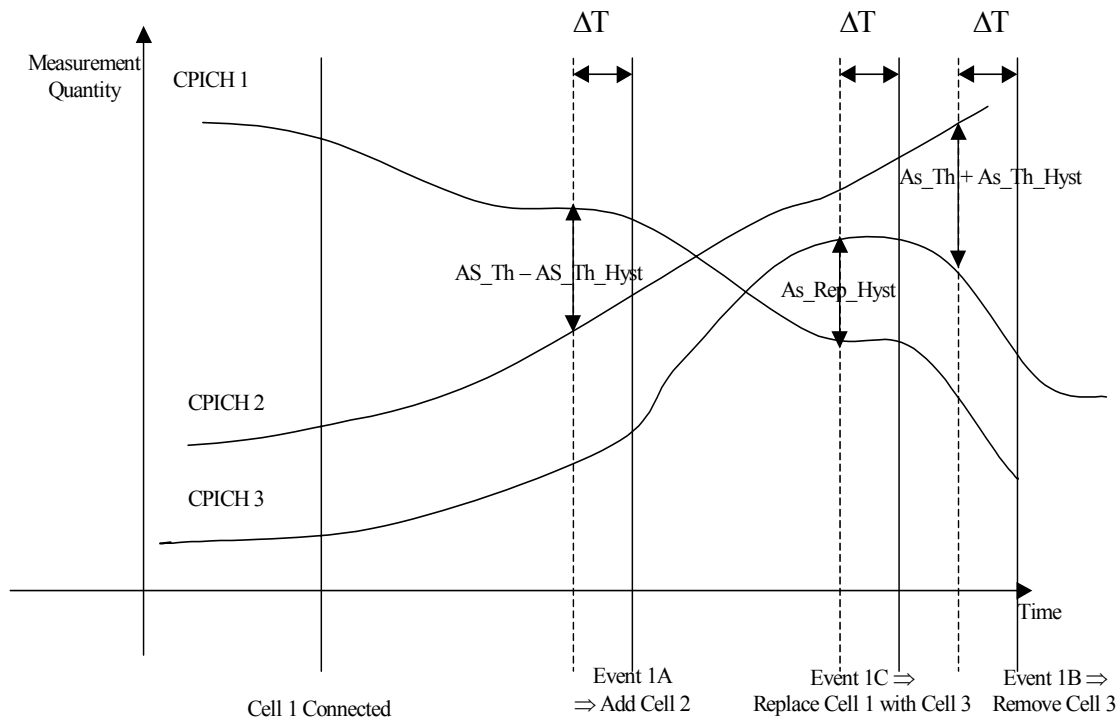
<sup>5</sup> Οι καθυστερήσεις στις διαπομπές μπορούν να αναγκάσουν έναν χρήστη να περάσει βαθιά σε μια παρακείμενη κυψέλη και να δημιουργήσει έτσι επιβλαβή παρεμβολή ακόμη και αν αυτή η κυψέλη προστεθεί στο ενεργό σύνολο.

μέτρο  $\frac{E_C}{I_0}$  του συνόλου ελεγχόμενων κυψελών, το κινητό τερματικό αποφασίζει ποια από τις παρακάτω λειτουργίες θα εκτελεστεί. Είτε θα προστεθεί, είτε θα αφαιρεθεί είτε, τέλος, θα αντικατασταθεί ένας κόμβος Node B στο ενεργό σύνολο (Active Set). Οι δύο πρώτες λειτουργίες καλούνται αντίστοιχα προσθήκη ραδιοσυνδέσεων (Radio Link Addition) και αφαίρεση ραδιοσυνδέσεων (Radio Link Removal), ενώ η τελευταία (αντικατάσταση) αποτελεί συνδυασμό των δύο. Το παράδειγμα που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-8), λαμβάνεται άμεσα από τις αρχικές προδιαγραφές της 3GPP και αφορά τη χρονική τοποθέτηση των διαδικασιών αυτών σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο ήπιας διαπομπής.



Σχήμα 3-8: Σενάριο ήπιας διαπομπής

Το Σχήμα 3-9 παρουσιάζει το πώς τα διάφορα μεγέθη ισχύος σημάτων των πιλοτικών καναλιών, των διαφορετικών κυψελών που εμπλέκονται στο σενάριο, εξελίσσονται χρονικά.



Σχήμα 3-9: WCDMA αλγόριθμος ήπιας διαπομπής ([15])

Κατά την έναρξη της διαδικασίας ο χρήστης συνδέεται με το Cell 1, το οποίο έχει το ισχυρότερο πιλοτικό σήμα. Λόγω της κίνησης του χρήστη (Σχήμα 3-9) ή λόγω της αργής εξασθένησης, η λήψη των ισχύων σημάτων στο κινητό μπορεί να αλλάξει, οπότε διαλαμβάνονται οι παρακάτω ενέργειες:

- Γεγονός Α: Το Cell 2 προστίθεται στο ενεργό σύνολο
- Γεγονός Β: Το Cell 1 αντικαθίσταται με το Cell 3 στο ενεργό σύνολο
- Γεγονός Γ: Το Cell 3 αφαιρείται από το ενεργό σύνολο

Το συγκεκριμένο παράδειγμα θα μπορούσε να βασιστεί σε έναν κινητό χρήστη μετά από μια πορεία παρόμοια με αυτή του παραπάνω σχήματος (Σχήμα 3-9).

Κύρια παράμετρο στον αλγόριθμο ήπιας διαπομπής αποτελεί το κατώφλι  $As\_Th$ . Όπως περιγράφεται στα επόμενα κεφάλαια, η αξία της τιμής αυτής συνίσταται στο γεγονός, ότι αποτελεί ουσιαστικά μία κρίσιμη παράμετρο σχεδιασμού, εφόσον καθορίζει το ποσοστό χρηστών, που υπόκεινται σε κατάσταση ήπιας διαπομπής, και ως εκ τούτου επηρεάζει τη χωρητικότητα αλλά και το βαθμό κάλυψης του συστήματος. Κατά προσέγγιση δηλώνεται ως η μέγιστη επιτρεπτή διαφορά, που μπορεί να υπάρξει στο SIR δύο πιλοτικών σημάτων, έτσι,

ώστε, οι δύο αυτές κυψέλες να συνυπάρξουν στο ενεργό σύνολο. Το **As\_Th\_Hyst** είναι η τιμή υστέρησης για το κατώτατο όριο **As\_Th** και **As\_Rep\_Hyst** είναι η τιμή υστέρησης αντικατάστασης.

Ο πραγματικός αλγόριθμος με τις λειτουργίες, που αναφέρθηκαν, περιγράφεται ως ακολούθως:

- *Λειτουργία Πρόσθεσης:* Εάν η λαμβανόμενη ισχύς σήματος **Meas\_Sign** είναι μεγαλύτερη από **Best\_Ss-As\_Th+As\_Th\_Hyst** για μια περίοδο  $\Delta T$  και το ενεργό σύνολο δεν είναι πλήρες, η καλύτερη κυψέλη εκτός ενεργού συνόλου προστίθεται στο ενεργό σύνολο.
- *Λειτουργία Αφαίρεσης:* Εάν η λαμβανόμενη ισχύς σήματος **Meas\_Sign** είναι κατώτερη από **Best\_Ss -As\_Th -As\_Th\_Hyst** για μια περίοδο  $\Delta T$ , αφαιρείται η χειρότερη κυψέλη εντός ενεργού συνόλου.
- *Λειτουργία Αντικατάστασης:* Εάν το ενεργό σύνολο είναι πλήρες και **Best\_Cand\_Ss** είναι μεγαλύτερο από **Worst\_Old\_Ss + As\_Rep\_Hyst** για μια περίοδο  $\Delta T$ , η καλύτερη κυψέλη τίθεται εκτός ενεργού συνόλου και παράλληλα η χειρότερη κυψέλη εντός ενεργού συνόλου.

Όπου:

- **Best\_Ss:** Η κυψέλη με το μέγιστο μετρούμενο σήμα εντός του ενεργού συνόλου.
- **Worst\_Old\_Ss:** Η κυψέλη με το ελάχιστο μετρούμενο σήμα εντός του συνόλου
- **Best\_Cand\_Set:** Η κυψέλη με το μέγιστο μετρούμενο σήμα εντός του παρακολουθούμενου συνόλου (Monitored Set) αλλά εκτός του ενεργού.
- **Meas\_Sign:** Η μετρημένη και φιλτραρισμένη τιμή του λόγου  $\frac{E_C}{I_0}$  του πιλοτικού καναλιού της παρακολουθούμενης κυψέλης.

### 3.3.7.3 Σηματοδοσία

Ανάλογα με τον τύπο της ήπιας διαπομπής που εφαρμόζεται, θα διαφέρει και το φορτίο σηματοδοσίας. Σε περίπτωση διαπομπής μεταξύ σταθμών βάσεων, που ελέγχονται από το ίδιο RNC, η διαδικασία εμφανίζεται αρκετά απλή. Από την άλλη πλευρά, όταν η διαδικασία διαπομπής εκτελείται μεταξύ δύο σταθμών βάσεων, που ελέγχονται από διαφορετικά RNC,

η κατάσταση γίνεται αρκετά πιο περίπλοκη. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται μεταξύ του SRNC και του DRNC σηματοδότηση με χρήση της διεπαφής Iur. Σε όλες τις περιπτώσεις η ακολουθία σηματοδότησης μεταξύ του τερματικού και του RNC αρχίζει με την υποβολή μιας αναφοράς μετρήσεων από το κινητό στο RNC και τελειώνει με ένα μήνυμα "Ολοκλήρωση Ενημέρωσης Ενεργών Κυψελών" προς την αντίθετη κατεύθυνση.

#### **3.3.7.4 Κέρδος ήπιας διαπομπής**

Η δυνατότητα εφαρμογής των ήπιων και ηπιότερων διαπομπών μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παρεμβολής, που είναι παρούσα στο σύστημα, και να βελτιώσει την απόδοση με βάση την αρχή του μακροδιαφορισμού (macro diversity). Ο μακροδιαφορισμός αποφέρει κέρδος στο σύστημα με τον συνδυασμό των πολλαπλών σημάτων. Το φαινόμενο αναφέρεται, επίσης, και ως κέρδος ήπιας διαπομπής. Το κέρδος του μακροδιαφορισμού αναδεικνύει τη σημασία της ήπιας διαπομπής. Η ήπια διαπομπή είναι απαραίτητη όχι μόνο για την παροχή κινητικότητας στους χρήστες και τον έλεγχο του φορτίου συστήματος, αλλά και για τον λόγο ότι οδηγεί σε αποδοτικότερη χρήση των διαθέσιμων ραδιοπόρων και ως εκ τούτου βελτιώνει τη γενική χωρητικότητα και κάλυψη των συστημάτων.

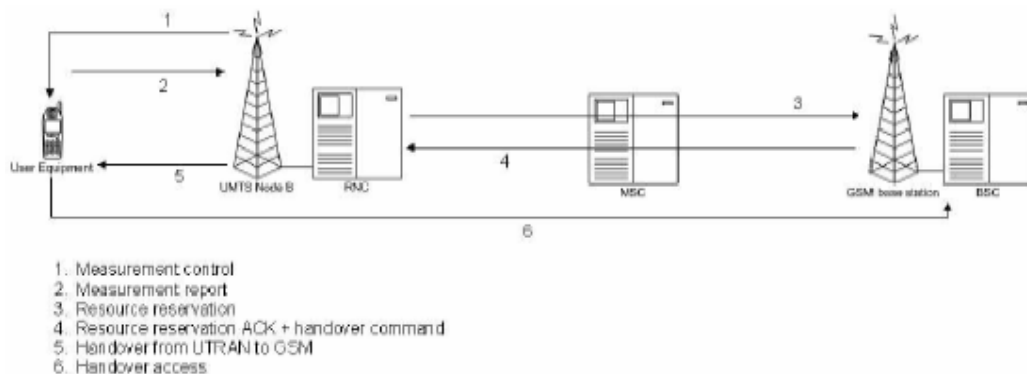
Το κέρδος της ήπιας διαπομπής μπορεί να διασαφηνιστεί εύκολα με την χρήση του ακόλουθου παραδείγματος. Δεδομένου ότι μια ράδιο-σύνδεση υποστηρίζεται από δύο ή περισσότερες ράδιο-ζεύξεις κατά τη διάρκεια της ήπιας διαπομπής, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ζεύξεις ακόμα και με χαμηλή ποιότητα, εφ' όσον το συνδυασμένο αποτέλεσμα εμφανίζεται επαρκές, όσον αφορά την παροχή και εξασφάλιση της ζητούμενης ποιότητας της ράδιο-σύνδεσης στο χρήστη. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω τίθεται θεωρητικά ένα επιθυμητό BLER της τάξης του  $10^{-4}$ . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση δύο διαφορετικών ζεύξεων με BLER της τάξης του  $10^{-2}$ , δεδομένου ότι μια αποτυχημένη σύνδεση θα εμφανιστεί μόνο και εφόσον και οι δύο ζεύξεις αποτύχουν. Αυτό θα συμβεί με μια πιθανότητα της τάξεων του  $10^{-4}$ . Η ύπαρξη χαμηλότερων ποιοτικά ζεύξεων επιτρέπει και τη διατήρηση της συνολικής ισχύος μετάδοσης του συστήματος σε χαμηλότερα επίπεδα με αποτέλεσμα και χαμηλότερα επίπεδα παρεμβολής στο σύστημα. Από την άλλη πλευρά, όμως, υπάρχει μια αύξηση της παρεμβολής στο σύστημα, η οποία προκαλείται από το γεγονός ότι, οι σταθμοί βάσης και τα κινητά τερματικά μεταδίδουν επιπρόσθετα σήματα, προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις επιπλέον ζεύξεις στην ήπια διαπομπή, σε αντίθεση με τα συστήματα που χρησιμοποιούν μόνο τις σκληρές διαπομπές.



Για την επίτευξη, λοιπόν, αποδοτικότερης χρήσης των πόρων και την μεγιστοποίηση του κέρδους της διαδικασίας αυτής είναι αναγκαίο να επιτραπεί ένας κατάλληλος αριθμός ήπιων διαπομπών στο σύστημα ταυτόχρονα, όμως, να εξασφαλιστεί διατήρηση της αύξησης των επιπέδων παρεμβολής, λόγω των πολλαπλών συνδέσεων, κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα.

### 3.3.8 ΔΙΑΣΥΣΤΗΜΙΚΕΣ ΔΙΑΠΟΜΠΕΣ

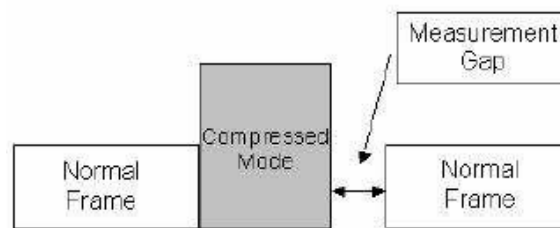
Οι διασυστημικές διαπομπές είναι απαραίτητες για την υποστήριξη της συμβατότητας με άλλες αρχιτεκτονικές συστημάτων. Τα handover, κυρίως, μεταξύ UTRAN και του δικτύου πρόσβασης GSM αποτελούν ζητήματα ζωτικής σημασίας για την εισαγωγή των δικτύων UMTS στην σύγχρονη καθημερινότητα. Στην αρχική φάση της εγκατάστασης των 3G δικτύων είναι πολύ πιθανόν οι αγροτικές περιοχές να μην καλυφθούν από το δίκτυο WCDMA. Κατά συνέπεια, θα εξακολουθεί να υφίσταται η χρήση των δικτύων GSM για την παροχή κάλυψης στις εν λόγω περιοχές. Παράλληλα, όμως, μεγιστοποιούνται οι πιθανότητες αξιοποίησης των πρόσθετων ικανοτήτων, που παρουσιάζουν τα δίκτυα WCDMA, για την ανακούφιση του αστικού δικτύου GSM. Στις πιο πρόσφατες εκδόσεις των 3GPP προδιαγραφών, συμπεριλαμβάνονται διαπομπές και σε άλλα συστήματα εκτός από το GSM. Η διαδικασία σηματοδότησης για έναν χρήστη, που πραγματοποιεί διαπομπή από το UMTS στο σύστημα GSM, παρουσιάζεται παρακάτω. Το συγκεκριμένο παράδειγμα επεξηγεί τη γενική διαδικασία, που ακολουθείται κατά τη διάρκεια των διαπομπών. Η διαδικασία αυτή αποτελείται ουσιαστικά από την πραγματοποίηση των μετρήσεων, τη δέσμευση των πόρων και την εκτέλεση της πραγματικής διαπομπής.



Σχήμα 3-10: Διασυστημική διαπομπή μεταξύ UTRAN και GSM ([14])

Κατά την αλλαγή της σύνδεσης προς την κατεύθυνση μιας άλλης αρχιτεκτονικής συστήματος εμφανίζεται η ανάγκη μετρήσεων στη συχνότητα, που χρησιμοποιείται από το

άλλο σύστημα. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος ένας πλήρης διπλός πομποδέκτης<sup>6</sup>, η μετάδοση και η λήψη σταματούν για έναν σύντομο χρονικό διάστημα, προκειμένου να επιτελεστούν οι μετρήσεις στις άλλες συχνότητες. Η διαδικασία αυτή καλείται συμπιεσμένη λειτουργία (Compressed mode) [16]. Όπως διαφαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η μετάδοση στοιχείων συμπιέζεται στη χρονική περιοχή χωρίς απώλεια των στοιχείων. Αυτό προκαλεί ένα χρονικό χάσμα στη μετάδοση, κατά την διάρκεια του οποίου μπορούν να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες μετρήσεις.



*Σχήμα 3-11: Συμπιεσμένη λειτουργία (compressed mode) [17]*

Δεδομένου ότι οι λειτουργίες FDD και TDD χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες, οι διαπομπές inter-mode χρησιμοποιούν τη συμπιεσμένη λειτουργία για την εκτέλεση των μετρήσεων σε άλλες συχνότητες, που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της διαπομπής.

### **3.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ (4G)**

#### **3.4.1 ΚΙΝΗΤΟ IP**

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία πρώτη παρουσίαση των γενικών αρχών του Mobile IP και μία περιγραφή της γενικής αρχιτεκτονικής για τη δρομολόγηση των πακέτων IP, που ανήκουν σε κινητούς χρήστες, και οι οποίοι κινούνται μέσα σε διάφορα δίκτυα.

Το Mobile IP συνιστά έναν μηχανισμό αδιαφανούς διασύνδεσης των κινητών χρηστών κατά τη μετάβασή τους σε δίκτυα της ίδιας ή διαφορετικής υποδομής. Αποτελεί μια τυποποίηση του διεθνούς οργανισμού IETF, που επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν τη

---

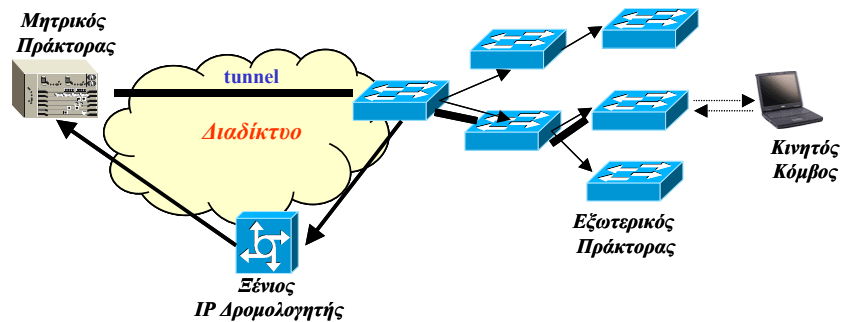
<sup>6</sup> Ένας πλήρης διπλός πομποδέκτης είναι σε θέση να διαβιβάσει και να λάβει σε δύο διαφορετικές ζώνες συχνότητας ταυτόχρονα.

διεύθυνση IP, που τους έχει ανατεθεί από το μητρικό δίκτυο, ανεξάρτητα από το δίκτυο στο οποίο είναι τοπικά συνδεδεμένοι.

Οι προδιαγραφές του Mobile IP εισάγουν ένα νέο σύνολο οντοτήτων, που εργάζονται ομαδικά για την αποτελεσματική λειτουργία του Mobile IP. Ένας κινητός κόμβος είναι ένας χρήστης ή δρομολογητής, που κινείται ανάμεσα σε διάφορα δίκτυα με την ίδια, μοναδική διεύθυνση IP. Κάθε κινητός κόμβος υπόκειται σε ένα μητρικό πράκτορα, ο οποίος λειτουργεί ως δρομολογητής, αποθηκεύει την εκάστοτε θέση του κόμβου και αναλαμβάνει να μεταφέρει προς αυτόν τα αντίστοιχα πακέτα, όταν αυτός είναι συνδεδεμένος με ένα απομακρυσμένο δίκτυο. Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται μέσω της συνεργασίας με έναν εξωτερικό πράκτορα, που αντιπροσωπεύει το απομακρυσμένο δίκτυο και αναθέτει στον κόμβο μια νέα διεύθυνση αντιπροσώπευσης IP, καθ' όλη τη διάρκεια που αυτός είναι συνδεδεμένος στο απομακρυσμένο δίκτυο. Ένας απομακρυσμένος πράκτορας μπορεί να διαφημίσει την παρουσία του, μέσω ενός ειδικού μηνύματος. Η μοναδική διεύθυνση IP του κινητού κόμβου ονομάζεται μητρική διεύθυνση, ενώ η προσωρινή διεύθυνση, που του ανατίθεται από τον εξωτερικό πράκτορα, ονομάζεται διεύθυνση IP care-of (care-of IP address).

Η λειτουργία του Mobile IP βασίζεται στη συνεργασία τριών υποσυστημάτων. Αρχικά, καθώς οι κινητοί χρήστες κινούνται σε διάφορα λειτουργικά περιβάλλοντα, το Mobile IP χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό αναζήτησης για τον καθορισμό της σύνδεσης του χρήστη με ένα δίκτυο, το οποίο διαθέτει ένα σύνολο από διευθύνσεις IP. Ο χρήστης εγγράφεται στο δίκτυο αυτό, το οποίο αναγνωρίζεται ως μητρικό δίκτυο, και του ανατίθεται μια διεύθυνση IP. Με βάση αυτήν, το Mobile IP καθορίζει αργότερα τον τρόπο δρομολόγησης των πακέτων IP, που αντιστοιχούν στον χρήστη, καθώς αυτός κινείται μακριά από το μητρικό του δίκτυο. Κατά τη σύνδεσή του με ένα εξωτερικό δίκτυο, ο κινητός κόμβος πρέπει να εγγραφεί στον εξωτερικό πράκτορα και να λάβει μια διεύθυνση care-of. Με αυτόν τον τρόπο, τα πακέτα που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο κινητό κόμβο, αρχικά δρομολογούνται προς τον μητρικό πράκτορα, ο οποίος αναγνωρίζει ότι, ο κόμβος προορισμού έχει προσωρινά συνδεθεί σε έναν εξωτερικό πράκτορα. Έτσι, πραγματοποιεί μια διαδικασία ενθυλάκωσης της διεύθυνσης care-of και, μέσω ενός tunnel, προωθεί τα πακέτα προς τον εξωτερικό πράκτορα, ο οποίος και αναλαμβάνει να τα στείλει τελικά στον κινητό χρήστη. Βέβαια, η υπόλοιπη διαδικασία μεταφοράς των πακέτων IP, από και προς τον μητρικό πράκτορα, ακολουθεί την τυποποιημένη διαδικασία δρομολόγησης IP.

Η λειτουργία του Mobile IP, όπως περιγράφηκε παραπάνω, φαίνεται στο Σχήμα 3-12.



Σχήμα 3-12: Ροή πληροφορίας των πακέτων IP στο Mobile IP

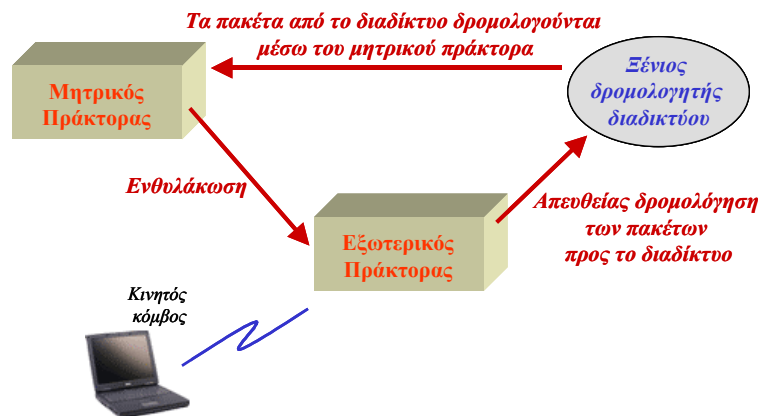
Η διαδικασία αναζήτησης ενός πράκτορα, διέπεται από τις βασικές αρχές αναζήτησης δρομολογητών διαδικτύου μέσω του πρωτοκόλλου ICMP. Στην ουσία αποτελεί επέκταση αυτών, μέσω της διαφήμισης των πρακτόρων και της μεταφοράς πληροφορίας σχετικά με τις υπάρχουσες διευθύνσεις care-of. Η διαφήμιση των πρακτόρων περιλαμβάνει ένα σύνολο λειτουργιών. Πιο σημαντικές από αυτές είναι η ανίχνευση κινητών πρακτόρων με τη λίστα από τις διαθέσιμες διευθύνσεις care-of και η διαδικασία ενημέρωσης ενός κόμβου, στην περίπτωση που ο εν λόγω πράκτορας είναι μητρικός ή εξωτερικός.

Για τη σωστή λειτουργία του Mobile IP, κάθε φορά που ένας κινητός κόμβος εγγράφεται σε έναν εξωτερικό πράκτορα και του ανατίθεται μια διεύθυνση care-of, πρέπει να ενημερώνει τον μητρικό πράκτορα για τη νέα του διεύθυνση. Αυτός με τη σειρά του ανανεώνει, στον πίνακα δρομολόγησης που διαθέτει, την νέα θέση του κινητού κόμβου και ενημερώνει τον εξωτερικό πράκτορα ότι, μπορεί να δεχτεί αιτήσεις παροχής υπηρεσίας του κινητού κόμβου μέσω του εξωτερικού πράκτορα. Έτσι, για το διάστημα που ο κινητός χρήστης είναι συνδεδεμένος στο απομακρυσμένο δίκτυο και επιθυμεί να εξυπηρετηθεί, ο μητρικός και ο εξωτερικός πράκτορας συνεργάζονται για την επιτυχημένη δρομολόγηση των πακέτων μέσα στο διαδίκτυο. Στο Σχήμα 3-13 δίνεται μια συνοπτική εικόνα της ανταλλαγής των μηνυμάτων κατά τη λειτουργία του Mobile IP.

Το Mobile IP προσφέρει μια ικανοποιητική λύση για τη δρομολόγηση των πακέτων που αφορούν σε κινητούς χρήστες μέσα στο διαδίκτυο. Ωστόσο, πολλά προβλήματα έχουν προκύψει, τα οποία αφορούν ακόμη και βασικές λειτουργίες του Mobile IP. Η διαδικασία σύνδεσης ενός κόμβου με ένα απομακρυσμένο δίκτυο, υπόκειται στους μηχανισμούς εξουσιοδότησης του δικτύου αυτού. Επίσης, τη λειτουργία του Mobile IP δυσχεραίνουν η ύπαρξη μηχανισμών προστασίας ενός δικτύου στα σημεία επικοινωνίας με το διαδίκτυο

(φιλτράρισμα πακέτων), καθώς και οι εσωτερικοί μηχανισμοί ανάθεσης μητρικών διευθύνσεων IP σε κάθε δίκτυο.

Η επιτυχία του Mobile IP έγκειται στον τρόπο επιλογής της ενθυλάκωσης των πακέτων IP κατά την επαναδρομολόγηση τους από τον μητρικό προς τον εξωτερικό πράκτορα. Μια κοινή πρακτική, που έχει τυποποιηθεί ως ο βασικός μηχανισμός ενθυλάκωσης, συνίσταται στην ενθυλάκωση IP εντός IP. Κατ' αυτήν, ο μητρικός κόμβος, κατά τη λήψη ενός πακέτου IP, χρησιμοποιεί έναν προσυμφωνημένο τρόπο διαμόρφωσης και ενσωματώνει στην επικεφαλίδα του πακέτου τη διεύθυνση IP του εξωτερικού πράκτορα. Ο μηχανισμός αυτός είναι έγκυρος για δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν κοινές διευθύνσεις IP, για να μαρκάρουν τους χρήστες τους. Στην περίπτωση, όμως, που το μητρικό δίκτυο έχει αποδώσει σε έναν χρήστη μια ιδιωτική διεύθυνση IP, τότε πρέπει να αναζητηθούν άλλοι μηχανισμοί για την επιτυχή δρομολόγηση των πακέτων.



Σχήμα 3-13: Δρομολόγηση των πακέτων κατά τη λειτουργία του Mobile IP

Τέλος, η επαναδρομολόγηση των πακέτων από και προς τον μητρικό πράκτορα επιβαρύνει το διαδίκτυο με επιπλέον μονοπάτια δρομολόγησης. Η επιβάρυνση αυτή έχει να κάνει και με τη φυσική απόσταση του μητρικού και απομακρυσμένου δικτύου, καθώς και με τον αριθμό των δικτύων, που μεσολαβούν για τη διασύνδεσή τους. Προς την κατεύθυνση αυτή, και για τη βέλτιστη δρομολόγηση των πακέτων και την ελαχιστοποίηση του μήκους του tunnel μεταξύ των πρακτόρων, έχει συντελεσθεί ένας μεγάλος αριθμός μελετών και ερευνών. Για την αντιμετώπιση της υποβάθμισης της ποιότητας χρήσης του διαδικτύου, έχουν προταθεί πολλές λύσεις. Όλες επικεντρώνονται στο γεγονός ότι, οι διαδικασίες μετάπτωσης ενός κινητού κόμβου από έναν εξωτερικό πράκτορα σε έναν άλλο είναι αδιαφανείς προς τον μητρικό πράκτορα, ο οποίος χρειάζεται να γνωρίζει μόνο τον πιο κοντινό του από τους

πράκτορες αυτούς. Η ιεράρχηση των απομακρυσμένων πρακτόρων με βάση τη φυσική τους θέση αποτελεί έναν ευέλικτο μηχανισμό για τον περιορισμό των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά την εξυπηρέτηση ενός κινητού κόμβου από ένα σύνολο πρακτόρων.

### **3.5 ΜΕΤΡΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (QoS METRICS)**

Αρκετά μέτρα ποιότητας υπηρεσιών έχουν καθοριστεί στα ασύρματα δίκτυα. Ένα πρώτο και βασικό είναι η πιθανότητα μπλοκαρίσματος, ένα μέτρο το οποίο είναι παρόμοιο με αυτό των συστημάτων σταθερής τηλεφωνίας. Ένα δεύτερο σημαντικό, ίσως και μεγαλύτερης βαρύτητας για τους πάροχους υπηρεσιών, είναι η πιθανότητα απότομης διακοπής της κλήσης. Ειδικότερα η πιθανότητα διακοπής κατά την διάρκεια της διαπομπής είναι εξαιρετικής σημασίας στα κυψελοειδή συστήματα καθώς οδηγεί σε ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως αυτό της αναγκαστικής διακοπής της σύνδεσης. Περαιτέρω ο ρυθμός διαπομπών (Handover Rate) και το επιπλέον φορτίο σηματοδοσίας που αυτό επιφέρει αποτελούν βασικά μέτρα για την αυξημένη απόδοση του δικτύου. Παράλληλα τα επίπεδα παρεμβολής μπορεί να προκαλέσουν αρκετά εμπόδια στην ομαλή λειτουργία των δικτύων. Παρακάτω ακολουθεί μια περιγραφή όλων αυτών των κρίσιμων μέτρων απόδοσης δικτύων και κάποια από τα προβλήματα τα οποία επηρεάζουν αρνητικά αυτά:

- **Απόρριψη κλήσης λόγω αποτυχημένης διαπομπής (Drop Call due to Handover Failure):** Αυτό είναι ένα μέτρο που αντιπροσωπεύει το ποσοστό αποτυχημένων διαδικασιών διαπομπών και κατά συνέπεια απότομα διακοπόμενων κλήσεων. Η απόφαση για handoff από μια κυψέλη σε μια άλλη είναι μια σύνθετη διαδικασία που είναι βασισμένη σε διάφορα κριτήρια, τα οποία λαμβάνουν υπόψη διάφορες παραμέτρους όπως τις εκτιμήσεις υποβάθμισης καναλιών (channel degradation), καθώς επίσης και τις εκτιμήσεις για τη χωρητικότητα αλλά και την πιθανότητα μπλοκαρίσματος. Εντούτοις, η αρχική (και σημαντικότερη) ώθηση για μια διαπομπή είναι γενικά βασισμένη στις πειραματικές μετρήσεις ισχύος σημάτων που λαμβάνονται στον κινητό [18].

Έτσι γενικά μια αποτυχημένη διαπομπή εμφανίζεται συνήθως εάν η απαιτητή ποιότητα σημάτων είναι κάτω από μια δεδομένη τιμή περισσότερο από ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Αυτό το διάστημα λέγεται και καθυστέρηση διαπομπής. Το μήκος αυτού του διαστήματος εξαρτάται ιδιαίτερα από την εφαρμογή και την υπηρεσία που παρέχεται από το ασύρματο δίκτυο. Σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, όπως η

φωνή, μόνο οι σύντομες διακοπές μπορεί να είναι ανεχτές προκειμένου μετά από μερικά δευτερόλεπτα η κλήση να μη θεωρηθεί χαμένη. Όταν πρόκειται για υπηρεσίες μη-πραγματικού χρόνου (Non-real time services) μια μεγαλύτερη διακοπή μπορεί να περάσει απολύτως απαρατήρητη δεδομένου ότι το κανένα ή μερικά πακέτα διαβιβάστηκαν κατά τη διάρκεια του χρόνου που η ποιότητα σημάτων ήταν χαμηλή.

- **Ρυθμός διαπομπών (Handover Rate):** Αυτό το μέτρο προσδιορίζει πόσο συχνά οι αποφάσεις διαπομπής λαμβάνονται. Ως επί το πλείστον η διαπομπή απαιτείται σε δύο καταστάσεις όπου η περιοχή κάλυψης της κυψέλης λαμβάνει αδύνατο σήμα από το κινητό τερματικό: (1) στα σύνορα κυψελών, για παράδειγμα, -100dBm ισχύς πιλοτικού σήματος εκεί, το οποίο συνήθως είναι το κατώτατο επίπεδο ισχύος σήματος για την αίτηση μιας διαπομπής σε ένα περιβάλλον περιορισμένου θορύβου και (2) στην περίπτωση που το κινητό τερματικό βρεθεί σε «τρύπες» (gaps) αρκετά χαμηλής ισχύος σήματος μέσα στην περιοχή κάλυψης της κυψέλης.

Δεδομένου ότι οι μικρό-κυψέλες επεκτείνονται ολοένα και περισσότερο για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για αυξανόμενη χωρητικότητα, ο αριθμός διασταυρώσεων ορίων κυψελών αυξάνεται κατά πολύ. Λόγω λοιπόν της (1) προαναφερθείσας καταστάσεως, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των διαπομπών που απαιτούνται όπως και την έξαρση του φαινομένου ping-pong όπως θα δούμε και αναλυτικότερα παρακάτω. (§5.3.1). Το ποσοστό διαπομπών, όπου είναι αρκετά σημαντικό για την απόδοση συστημάτων, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό, όπως θα δούμε και παρακάτω, από την επιλογή του κατώτατου ορίου της ισχύος του πιλοτικού σήματος, το κατώφλι διαφοράς ισχύος (*hysteresis margin*) μεταξύ των δύο ισχυρότερων κυψελών και τον χρόνο-μετρητή (timer) που ουσιαστικά χρησιμοποιείται για το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό παράθυρο μεταξύ δύο διαδοχικών διαπομπών στο ίδιο τερματικό. Οι τιμές του κατωφλίου διαφοράς ισχύος μεταξύ των δύο ισχυρότερων κυψελών και του κατώτατου ορίου της ισχύος του πιλοτικού σήματος έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Εάν η διαπομπή δεν πραγματοποιηθεί αρκετά γρήγορα, η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) μπορεί να εκφυλιστεί κάτω από ένα αποδεκτό επίπεδο.

Η κατάσταση (2) που αναφέρεται παραπάνω δεν είναι τίποτα άλλο από «τρύπες» που δημιουργούνται στην περιοχή κάλυψης μιας κυψέλης λόγω των ισχυρών διακυμάνσεων στην ποιότητα σημάτων. Είναι λοιπόν προφανές ότι αρκετές ακόμα

διαπομπές μπορούν να εκτελεσθούν στη λόγω αυτής της περίπτωσης παρόλο που οι χρήστες μπορεί να μη βρίσκονται κοντά στα όρια κυψελών. Βέβαια εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι μερικές από τις επιπρόσθετες διαπομπές είναι απαραίτητες στο να διατηρηθεί η ποιότητα σήματος σε αρκετά υψηλό επίπεδο. Από την άλλη πλευρά όμως πραγματοποιούνται και διαπομπές που δεν είναι καθόλου απαραίτητες για το λόγο αυτό.

Ένας επιπρόσθετος λόγος που κάνει το ρυθμό διαπομπής ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για τη σωστή λειτουργία του δικτύου είναι το φορτίο σηματοδοσίας που απαιτείται για να δρομολογηθούν τα handovers. Έτσι μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης του αναμενόμενου ρυθμού διαπομπών ελαχιστοποιεί και το συνολικό φορτίο σηματοδοσίας και μεταγωγής του δικτύου. Εκτός όμως από το φορτίο σηματοδοσίας και ο αριθμός διαθέσιμων πόρων επηρεάζεται από τον αριθμό διαπομπών. Επομένως οι πιθανότητες για μια κλήση να διακοπεί αλλά και να μπλοκαριστεί πριν καν ξεκινήσει λόγω της διαθεσιμότητας των καναλιών αυξάνονται με τον αριθμό προσπαθειών διαπομπής.

- **Επίπεδα Παρεμβολής (Interference levels):** Κάθε κινητό τερματικό προσπαθεί να χρησιμοποιήσει εκείνο το ράδιο-κανάλι που θα παράσχει την καλύτερη ποιότητα σύνδεσης, δηλ., το καλύτερο C/I (αναλογία φέροντος προς παρεμβολή). Η ενδοκαναλική παρεμβολή είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να αποφευχθεί λόγω της πολλαπλής χρήσης των ίδιων καναλιών χρόνου και συχνότητας βάσει των υπάρχοντων σχεδιασμών των κυψελών, και συνεπώς η ποιότητα σύνδεσης μπορεί να είναι κακή (δηλ., ρυθμός bit-error) παρά ενός πιθανού υψηλού επιπέδου σημάτων. Μια συνηθισμένη αιτία της παρεμβολής προς τους άλλους κινητούς σταθμούς μπορεί να είναι η σύνδεση ενός κινητού τερματικού στους σταθμούς βάσεων, ακόμα κι αν είναι υψηλής ποιότητας. Ένας τρόπος αντιμετώπισης της παρεμβολής με ελαχιστοποίηση της είναι ο σταθμός να αλλάξει ράδιο-κανάλι. Ένας επιπλέον τρόπος να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα υπηρεσιών του δικτύου λόγω της παρεμβολής είναι η βέλτιστη κατανομή των κινητών σταθμών στις διαθέσιμες κυψέλες. Ο δεύτερος τρόπος αντιμετώπισης της παρεμβολής είναι και η βάση για ένα από του προτεινόμενους αλγόριθμους διαπομπής που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.5.

Όλα αυτά τα ζητήματα τοποθετούν πρόσθετες προκλήσεις στο κυψελοειδές σύστημα. Δεδομένου ότι ο αριθμός διαπομπών αυξάνεται, οι αλγόριθμοι διαπομπής πρέπει να



ενισχυθούν έτσι ώστε το λαμβανόμενο QoS να μην υποβαθμίζεται και το κόστος στην κυψελοειδή υποδομή να μην ανεβαίνει στα ύψη. Όλα αυτά τα ζητήματα δίνουν ένα ισχυρό κίνητρο για εκτεταμένη έρευνα νέων βέλτιστων τιμών παραμέτρων και διαδικασιών διαπομπής προκειμένου να παρασχεθεί το απαραίτητο QoS [19].

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- [1] S.T.S. Chia. “*The control of handover initiation in microcells*” In IEEE Vehicular Technology Conference, pages 531-536. St\_Louis, May 1991
- [2] Motorola Inc. “Final text for PACS licensed air interface (TAG 3) J-STD 014” June 1993
- [3] J.C.-I. Chuang, N.R. Sollenberger, and D.C. Cox, “*A pilot based dynamic channel assignment scheme for wireless access TDMA FDMA systems*” In IEEE International Conference on Universal Personal Communications, pages 706-712, Ottawa, October 1996
- [4] J.C.-I. Chuang, “Performance issues and algorithms for dynamic channel assignment” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol\_11.no.6:955 963, August 1996
- [5] B. Gudmundson, “IMT-2000 and W-CDMA”, Informal talk on wireless presented at Stanford University, March 1999
- [6] D. Lam. Y. Cui, D. Cox, and J. Widom, “A location management technique to support lifelong numbering in personal communications services”, Mobile Computing and Communications Review, vol 2, no.1 27-35, January 1998
- [7] R. Jain, Y.-B. Lin, and S\_ Mohan, “Location strategies for personal communications services”, In J. Gibson, editor, The Mobile Communication Handbook, chapter 18, pages 289-318. CRC Press, 1996
- [8] D. Lam, “Location Management Techniques and Teletraffic Modeling for Large Wireless Communications Networks”, PhD thesis, Stanford University, November 1997
- [9] ETS 300 578, Digital cellular telecommunications system (Phase 2), Radio subsystem link control, GSM 05.08 version 4.22.1, March 1999
- [10] <http://www.comnets.rwth-aachen.de/report96/node36.html>
- [11] Pajusco, P.: Experimental Charakterization of D.O.A. at the Base Station in Rural and Urban Area. COST 259 TD(98) 002. EURO-COST (auch VTC'98)
- [12] Jan Steuer, Tilmann Giese, Klaus Jobman, “Simple Smart Antenna Models For System Level Simulation of Advanced Handover and Channel Allocation Protocols”, COST 259 TD (99), Thessaloniki, 20-22.1.1999
- [13] Biesterfeld, J., Ennigrou, E., Jobmann K.; "Location Prediction in Mobile Networks with Neural Networks", Proc. IWANNT'97, Melbourne, June 1997, pp. 207-214
- [14] H. Holma & A. Toskala ”WCDMA for UMTS – Radio Access For Third Generation Mobile Communications”, John Wiley & Sons, Ltd 2001
- [15] 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group RAN, Working Group 2 (TSG RAN WG2), “Radio Resource Management Strategies”, 3G TR 25.922, V6.0.1 (2004-04)
- [16] R. Prasad and T. Ojanperä, “An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA ”, IEEE Commun. Survey, Fourth Quarter 1998, Vol.1 No.1
- [17] Peter Chong “WCDMA physical layer” – lecture slides Wideband CDMA systems, Helsinki University of Technology
- [18] G. P. Pollini. Trends in handover design. *IEEE Commun. Mag.*, 34(3):82–90, March 1996

- [19] V. V. Veeravalli and O. E. Kelly. Optimal handoff algorithms for cellular communications. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 46(3):603–610, August 1997.



---

# Κεφάλαιο 4

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ -  
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΒΟΗΘΟΥΜΕΝΟΙ ΑΠΟ  
ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ (*LOCATION AIDED  
HANDOVER - LAH*)

---



## 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι ευρέως γνωστό, οι χρήστες στα ασύρματα και κυψελοειδή δίκτυα υπόκεινται στο φαινόμενο της διαπομπής, στο οποίο μια ήδη υπό εξέλιξη κλήση σε μια κυψέλη παραδίδεται σε μια άλλη κυψέλη λόγω της κινητικότητας χρηστών.

Λόγω της διαδεδομένης επέκτασης των κυψελοειδών δικτύων, της όλο και αυξανόμενης ζήτησης νέων υπηρεσιών τα τελευταία χρόνια αλλά και παράλληλα της έλλειψης περαιτέρω διαθέσιμου φάσματος, ο σχεδιασμός αξιόπιστων αλγορίθμων handoff κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός για τη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία των κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνιών. Για το λόγο αυτό έχει δοθεί σημαντικό βάρος στη μελέτη και έρευνα αλγορίθμων διαπομπής ικανών στο να προσφέρουν την απαιτούμενη αξιοπιστία στους ασύρματους φορείς παροχής υπηρεσιών.

Παρ' όλες τις μακροχρόνιες μελέτες και έρευνες ο χώρος για βελτιστοποίηση αλλά και εξερεύνηση νέων αλγορίθμων διαπομπής παραμένει ανοιχτός. Προκειμένου όμως μια εμπειρισταωμένη έρευνα για βελτιστοποίηση των αλγορίθμων διαπομπής να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα θα πρέπει αρχικά να εξετασθούν σε βάθος και να καταγραφούν κάποια από τα προβλήματα και τις κρίσιμες παραμέτρους που περιορίζουν την ομαλή λειτουργία δικτύου και ειδικότερα της διαδικασίας διαπομπής στα υπάρχοντα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την επικέντρωση της μελέτης στην εξεύρεση τρόπων και μεθόδων καταπολέμησης αυτών των προβλημάτων και περιορισμών.

Σε αυτό το κεφάλαιο της διατριβής θα παρουσιαστούν κάποιες αιτίες, προβλήματα και περιορισμοί στους υπάρχοντες αλγορίθμους διαπομπής, τόσο στο GSM όσο και στο UMTS. Θα δοθεί βάρος στην ανάλυση κάποιων φαινομένων, τα οποία έχουν καταγραφεί στην διεθνή βιβλιογραφία, όπως το φαινόμενο ring-rong και αυτό της απότομης συμφόρησης και δημιουργίας περιοχών υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου ή hotspot που προκαλούν προβλήματα στην διαδικασία διαπομπής και κατά συνέπεια στην απόδοση δικτύου (§ 4.2&4.4). Επίσης, παρουσιάζεται μια εκτενής έρευνα για τις διαπομπές προτεραιότητας (§4.3) και τις διάφορες προτεινόμενες μεθόδους, τεχνικές αντιμετώπισης αυτού του θέματος. Τέλος, το πρόβλημα που προκαλείται από τις ισχύς μετάδοσης και τα ποσοστά παρεμβολών σε ένα σύστημα WCDMA θα αναπτυχθεί στην παράγραφο §4.5.

Δεδομένου ότι, οι τεχνικές εύρεσης της θέσεως του τερματικού αυτήν την περίοδο αναπτύσσονται και εξελίσσονται με γοργό ρυθμό, θα μπορούσαν να παρέχουν σημαντικά μέσα στους πάροχους δικτύων στο να εκμεταλλευτούν πληροφορίες σχετικές με την θέση των τερματικών προς όφελος της αυξημένης απόδοσης των δικτύων τους. Ο κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου, πέρα από την ανάπτυξη των διαφόρων παραπάνω προβλημάτων-περιορισμών, είναι και η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων που θα βασίζονται στη θέση του τερματικού με κύριο στόχο τη βελτιστοποίηση βασικών παραμέτρων των δικτύων. Τα μέσα αυτά στοχεύουν στην βελτίωση της διαδικασίας διαπομπής που συντελείται αρκετά συχνά στα κυψελοειδή και ασύρματα δίκτυα. Οι αλγόριθμοι που εισάγονται καλούνται αλγόριθμοι διαπομπής υποβοηθούμενοι από την θέση του κινητού (*Location Aided Handover-LAH algorithms*) [1].

Αναλυτικότερα, οι LAH αλγόριθμοι χρησιμοποιούν πληροφορίες της στιγμιαίας θέσης του κινητού, της μελλοντικής κίνησης και πληροφορίες προερχόμενες από τον εξυπηρετητή γεωγραφικών πληροφοριών ασύρματου (κινητού) δικτύου (MGIS) για να λάβει την πιο γρήγορη και ορθή απόφαση του πλέον κατάλληλου σταθμού βάσης στόχου για την διαπομπή.

Η συνεχής γνώση της θέσης του χρήστη και η ικανότητα πρόβλεψης της κίνησης του βάσει των γεωγραφικών πληροφοριών (τοπολογία δρόμων-κτηρίων) προσφέρει ένα σημαντικό πλεονέκτημα και προσφέρεται για την ανάπτυξη νέων αλγορίθμων διαπομπής υποβοηθούμενων από αυτή την σημαντική γνώση. Αυτό δίνει ένα σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις, οι οποίες είναι βασισμένες κυρίως μόνο στις παρατηρήσεις επιπέδων σημάτων. Σημαντικά προβλήματα ,όπως αυτό του φαινομένου ping-pong και της κατάλληλης και έγκαιρης δέσμευσης πόρων προς διαπομπή μέσω του εντοπισμού ενός χρήστη που κινείται προς τα σύνορα δύο κυψελών, εντοπίζονται πιο αποτελεσματικά όπως θα δούμε και παρακάτω. Δύο αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση των δύο παραπάνω θεμάτων με τη βοήθεια της θέσης του τερματικού και αυτοί είναι οι: “*Αποφυγή Φαινομένου Ping-Pong (PPA)*” 2 και “*Προς τα σύνορα (Towards the Border –TTB)*” [3] αντίστοιχα.

Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα προσφέρει και η ανάλυση των στοιχείων που μας παρέχει ο MGIS. Μέσα από αυτή την ανάλυση είναι δυνατό να ανιχνευθούν οι κρίσιμες περιοχές (hotspots). Σε αυτές τις κρίσιμες περιοχές, ένας καινοτόμος μηχανισμός κατανομής των χρηστών στις διάφορες γειτονικές ως προς αυτόν κυψέλες αναπτύσσεται και



εφαρμόζεται, εάν τα χαρακτηριστικά περιοχής είναι γνωστά. Ο αντίστοιχος αλγόριθμος (“*Ανάλυση δεδομένων του Κινητού Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (MGIS Data Resolution – MDR)*”) [4] περιγράφεται με λεπτομέρεια στην παράγραφο 4.4.

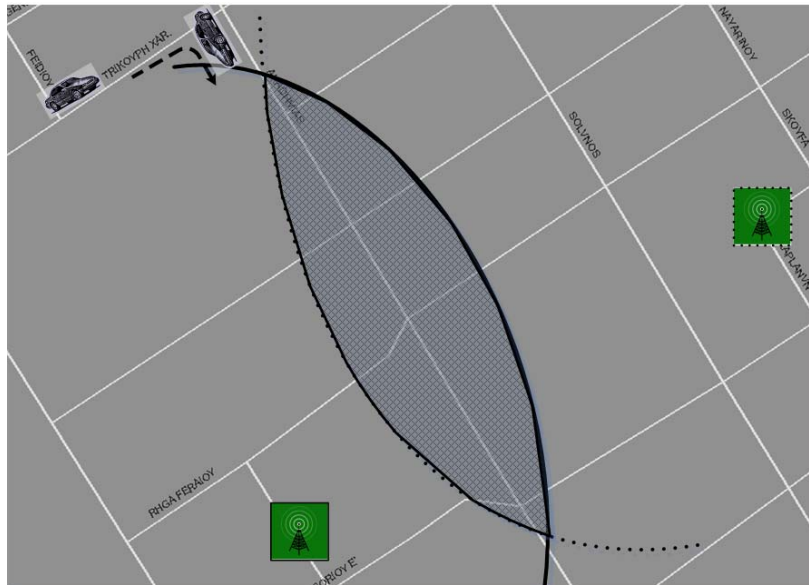
Επιπλέον όμως η θέση του χρήστη (η απόσταση αυτού από το NodeB) σε συνδυασμό με την ζητούμενη υπηρεσία και το λαμβανόμενο σήμα στο συγκεκριμένο σημείο προσφέρουν ένα εφόδιο και για την καλύτερη κατανομή χρηστών σε ένα δίκτυο UMTS. Η καλύτερη κατανομή των χρηστών ανάλογα με τις παραπάνω παραμέτρους έχει επίδραση τόσο στη συνολική ισχύ μετάδοσης (τόσο για το uplink όσο και για το downlink) όσο και στα επίπεδα παρεμβολής προς τους άλλους χρήστες και το σταθμό βάσης. Εκεί ο μηχανισμός είναι αρκετά πιο περίπλοκος αφού ο προτεινόμενος αλγόριθμος πρέπει να ενσωματωθεί στις διαδικασίες αποδοχής κλήσεων και ελέγχου ισχύος που ισχύουν στο UMTS. Ο αλγόριθμος που εφαρμόζει αυτή την ιδέα περιγράφεται παρακάτω (§4.5) και καλείται “*Βελτιστοποίηση ισχύος μετάδοσης και επιπέδων παρεμβολής (Transmission Power and Interference Optimization- TPIO)*” [5].

## **4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ RING-PONG ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

Πριν παρουσιαστεί η προτεινόμενη μέθοδος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος θα πρέπει να δοθεί ξεκάθαρη εικόνα για το πώς ορίζεται το πρόβλημα των ring-pong διαπομπών και ποιοι μέθοδοι έχουν προταθεί στο παρελθόν.

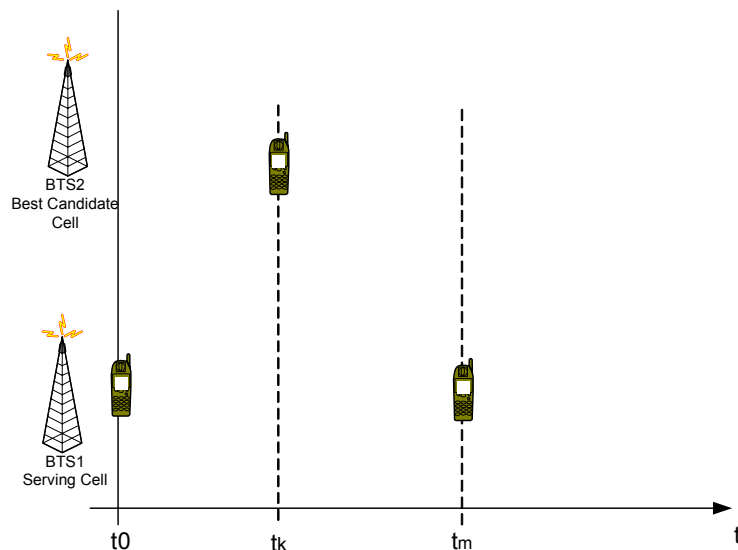
### **4.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ RING-PONG ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ**

Συνήθως οι ring-pong διαπομπές εμφανίζονται σε περιοχές όπου τα σύνορα δύο κυψελών επικαλύπτονται (overlapping cell borders). Γενικότερα, οι περιοχές, όπου η πιθανότητα διαπομπής είναι αυξημένη, είναι γνωστές στον πάροχο. Είναι γνωστές τόσο από τα αποτελέσματα των μοντέλων διάδοσης που χρησιμοποιούν όσο και από ιστορικά δεδομένα στην ίδια περιοχή. Έτσι κάλλιστα, ένα πραγματικό σενάριο περιοχής διαπομπών θα μπορούσε να αποτυπωθεί από το ακόλουθο σχήμα:



*Σχήμα 4-1: Περιοχή αυξημένης πιθανότητας διαπομπών*

Έχει παρατηρηθεί ότι, καθώς το τερματικό εισέρχεται σε μια τέτοια περιοχή οι διαπομπές είναι συχνές και αρκετά πιθανές. Μία από τις περιπτώσεις, που έχουν παρατηρηθεί σε τέτοιες περιοχές είναι και η περίπτωση της ring-pong διαπομπής. Το Σχήμα 4-2 δείχνει τον συνήθη ορισμό αυτής από τους πάροχους δικτύου.



Σχήμα 4-2: Ορισμός ring-rong διαπομπής

Ας υποθεθεί ότι, ο χρήστης  $User_i$  την χρονική στιγμή  $t_0$  βρίσκεται σε κατάσταση ενεργούς υπηρεσίας (κλήση), στη θέση  $S_{begin}$  και η κυψέλη που τον εξυπηρετεί είναι η κυψέλη BTS1 (Serving Cell). Ας θεωρηθεί επίσης ότι, τις επόμενες χρονικές στιγμές  $t_k$ ,  $t_m$  ο χρήστης  $User_i$  βρίσκεται στις θέσεις  $S_k$ ,  $S_m$  αντίστοιχα. Οι επόμενες αυτές τυχαίες χρονικές στιγμές αφορούν την συνέχεια της ίδια κλήσης για τον ίδιο χρήστη  $User_i$ . Αν την χρονική στιγμή  $t_k$  το τερματικό πραγματοποιήσει διαπομπή στην κυψέλη BTS2 και στη συνέχεια στην χρονική στιγμή  $t_m$ , πριν τον τερματισμό της κλήσης, αυτό «επιστρέφει» και πάλι στην κυψέλη που τον εξυπηρετούσε αρχικά τότε λέγεται ότι αυτό το τερματικό πραγματοποίησε ring-rong διαπομπή.

Γενικά το φαινόμενο αυτό μπορεί να παρατηρηθεί τόσο στον χρόνο όσο και στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα, ένα τερματικό, παρόλο που μπορεί να βρίσκεται ακίνητο, λόγω του γνωστού φαινομένου των διαλείψεων μπορεί, κάλλιστα, να υποπέσει σε ring-rong διαπομπή λόγω των αρκετών και σημαντικών αυξομειώσεων που παρατηρούνται στο λαμβανόμενο σήμα από τις κυψέλες γύρω του. Όσο αφορά την χωρική παρατήρηση, ενδεικτικό παράδειγμα δόθηκε και παραπάνω (Σχήμα 4-2), που ένα τερματικό εισέρχεται σε μια περιοχή επικάλυψης των συνόρων δύο κυψελών.

Δύο κυρίως τεχνικές έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου στη διεθνή βιβλιογραφία και υλοποιήθηκαν ως προδιαγραφές και της ETSI [6] και στηρίζονται πρωτίστως στις παρακάτω παραμέτρους:

- *Περιθώριο υστέρησης (Handover Margin)* - Με αυτή την μέθοδο η διαδικασία διαπομπής θα εμφανιστεί μόνο εάν η λαμβανόμενη ισχύς σήματος από το σταθμό στόχο είναι αποτελεσματικά μεγαλύτερη, από ένα περιθώριο υστέρησης, από τη λαμβανόμενη ισχύ από το σταθμό αναφοράς.
- *Διάρκεια παραθύρου λήψης μέσων όρων (Averaging Window Length-W)* – Εάν ο μέσος όρος των πρόσφατων δειγμάτων  $W$  της λαμβανόμενης ισχύος από το σταθμό στόχου (υποψήφιος) είναι μεγαλύτερος από το μέσο όρο των πρόσφατων δειγμάτων  $W$  της λαμβανόμενης ισχύος από τον τρέχοντα σταθμό αναφοράς, η διαπομπή προς την κυνέλη στόχο θα πραγματοποιηθεί.

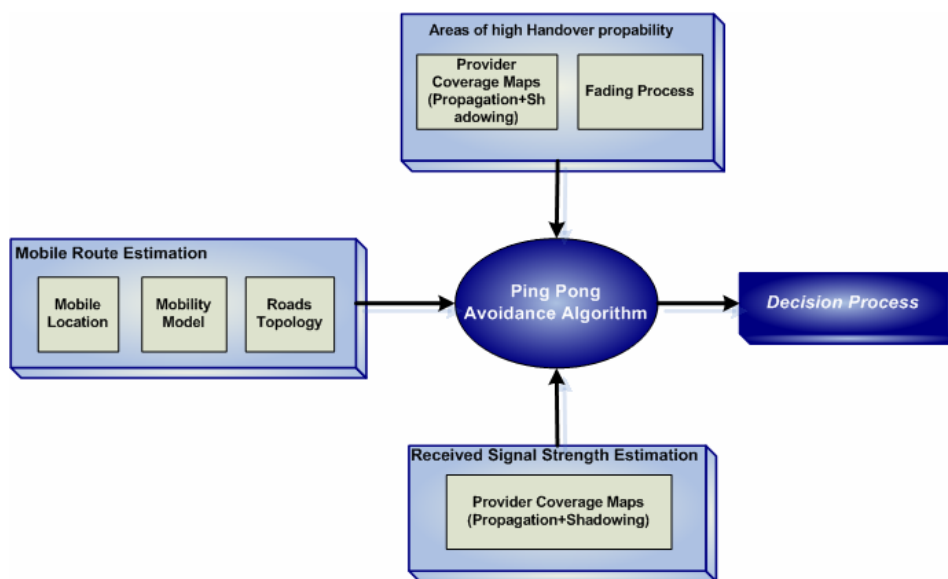
Οι μελέτες αυτές οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι, με την χρήση των δύο παραπάνω παραμέτρων, το φαινόμενο της ring-pong μειώνεται αισθητά αλλά δημιουργείται το πρόβλημα της καθυστέρησης στη διαπομπή. Έτσι, όσο μεγαλύτερο περιθώριο χρησιμοποιείται, τόσο αποφεύγονται οι ring-pong διαπομπές αλλά παράλληλα και διαπομπές που κρίνονται αναγκαίες δεν πραγματοποιούνται γρήγορα με πιθανό αποτέλεσμα την απόρριψη της κλήσης λόγω κακής ποιότητας σήματος. Το γενικότερο συμπέρασμα όλων αυτών των μελετών είναι, ότι ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η διαδικασία trade-off μεταξύ καθυστέρησης στη διαπομπή και αριθμού επαναλαμβανόμενων διαπομπών.

Παρ' όλες τις μελέτες αυτές, νεότερες έρευνες έχουν δείξει ότι παρά την προσεκτική επιλογή του περιθωρίου υστέρησης, της διάρκειας παραθύρου λήψης μέσων όρων και τον προσεκτικό προγραμματισμό, το φαινόμενο ring-pong συνεχίζει να υπάρχει στην πραγματικότητα [7], προκαλώντας αυξημένο περιττό φορτίο στο MSC, HLR και γενικότερα στο δίκτυο, κατά συνέπεια μειώνοντας αξιοσημείωτα την αποτελεσματικότητά του.

Η μελέτη στα πλαίσια αυτής της διατριβής επικεντρώνεται κυρίως στην χωρική παρατήρηση των ring-pong διαπομπών. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι, οι παρατηρηθείσες διαπομπές σε συνάρτηση μόνο του χρόνου, μπορούν να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά με τις παραπάνω δύο παραμέτρους. Η μελέτη και ο προτεινόμενος αλγόριθμος απαντά στο πρόβλημα που δημιουργείται από την κίνηση ενός τερματικού μέσα σε μια περιοχή υψηλής πιθανότητας διαπομπών και δη ring-pong διαπομπών.

#### 4.2.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ PING-PONG ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ

Τα δομικά στοιχεία της προτεινόμενης μεθόδου [8][9] που προτείνεται στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής και αφορά την καταπολέμηση του φαινομένου των ping-pong διαπομπών παριστάνονται στο Σχήμα 4-3.



Σχήμα 4-3: Δομικά στοιχεία προτεινόμενης μεθόδου αντιμετώπισης ping-pong διαπομπής

Συγκεκριμένα, η προτεινόμενη μέθοδος που αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης και συμβολής της παρούσας διδακτορικής διατριβής, είναι το εξής: «Δεδομένης της προς εξυπηρέτηση περιοχής, της θέσης του χρήστη, του μοντέλου κινητικότητας, της τοπολογίας δρόμων, της εκτιμώμενης λαμβανόμενης ισχύς σήματος, της εκτίμησης πιθανών περιοχών διαπομπής να βρεθεί μια εφικτή λύση αποφυγής της ping-pong διαπομπής». Το εφικτό της λύσης εξασφαλίζεται από την υλοποιησιμότητα των απαιτήσεων και τη συμβατότητα με τις δυνατότητες του τεχνολογικού εξοπλισμού. Η μέθοδος αυτή αποτιμήθηκε με βάση διαδικασία προσομοίωσης (5.2.1). Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις πολλαπλές προσομοιώσεις (5.3.1.1-5.3.1.4).

Ακόμη πιο συγκεκριμένα, για την επίλυση του προβλήματος προτείνεται ένας αποδοτικός αλγόριθμος, καλούμενος **PPA (Ping-Pong Avoidance)**, ο οποίος βασίζεται επάνω σε μια ομάδα παραμέτρων εισόδου.

Οι παράμετροι εισόδου για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του φαινομένου ring-pong είναι καταρχήν ο εντοπισμός-καθορισμός της περιοχής, όπου η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί διαπομπή είναι υψηλή. Εν συνεχεία, η θέση του χρήστη, το μοντέλο κινητικότητας όπου χρησιμοποιείται στον προσομοιωτή αλλά και η καινοτόμα ιδέα ενσωμάτωσης δεδομένων που αφορούν την τοπολογία των δρόμων παρέχουν τη δυνατότητα εκτίμησης της πορείας του χρήστη για μια χρονική περίοδο ( $t_{prediction}$ ). Η εκτιμώμενη πορεία του χρήστη σε συνδυασμό με την εκτίμηση που πραγματοποιείται για τα λαμβανόμενα σήματα σε κάθε σημείο της πορείας αυτού προσφέρουν στη μέθοδο δύο σημαντικές δυνατότητες. Η πρώτη είναι η ανίχνευση πιθανής ring-pong διαπομπής μέσα από τη σύγκριση των σημάτων στην πορεία του τερματικού. Η δεύτερη έχει να κάνει με τον κάθε αυτού αλγόριθμο αποφυγής (PPA) και τη διαδικασία απόφασης (Decision Process).

Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση όλων των στοιχείων που χρησιμοποιεί η μέθοδος. Η ανάλυση περιλαμβάνει την παρουσίαση όλων των παραμέτρων, των παραδοχών και περιορισμών αλλά και τον στόχο του κάθε δομοστοιχείου.

#### **4.2.3 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

Σε αυτή την παράγραφο εξετάζονται λεπτομερώς τα επί μέρους στοιχεία της μεθόδου που προτείνεται στα πλαίσια της παρούσης έρευνας για την αντιμετώπιση του φαινομένου των ring-pong διαπομπών. Τα στοιχεία που θα καθοριστούν λεπτομερέστερα είναι οι παράμετροι εισόδου, με τις σχετικές παραδοχές, τους σκοπούς και τους περιορισμούς αυτών. Όπως έχει ήδη εκφραστεί, η είσοδος παρέχει πληροφορία σχετικά με την περιοχή εξυπηρέτησης (τοπολογία δρόμων), τα αποτελέσματα της εκτίμησης για την κίνηση του τερματικού, μέσα από τη θέση αυτού, το μοντέλο κινητικότητας και την τοπολογία των δρόμων, την εκτιμώμενη λαμβανόμενη ισχύ στο τερματικό, τις περιοχές αυξημένης πιθανότητας διαπομπών. Όλα αυτά τα στοιχεία οδηγούνται προς αποτίμηση στον προσομοιωτή (5.2.1) που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.

##### **4.2.3.1 Εκτίμηση διαδρομής κινητού (Mobile Route Estimation)**

Γενικά, το αντικείμενο αυτής της παραγράφου είναι σχετικό με ποικίλες περιοχές έρευνας. Η πρώτη περιοχή σχετίζεται με τη θέση του χρήστη. Οι μελέτες πάνω σε αυτό το θέμα ξεκίνησαν αρχικά με τη μέθοδο ενημέρωσης θέσης (location update) [10][11][12][13] και

τελευταία έχουν επεκταθεί στις τεχνολογίες εντοπισμού θέσης (Κεφάλαιο 2) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καθημερινότητα του χρήστη [14].

Ένα επόμενο θέμα που ερευνάται εδώ, είναι το μοντέλο κίνησης. Η ανάλυση της κίνησης δίνει τη δυνατότητα εκτενούς μελέτης στη επίδραση της κίνησης του τερματικού στην απόδοση των ασύρματων δικτύων. Η επίδραση αυτή έχει ενισχυθεί ακόμη περισσότερο τα τελευταία χρόνια κύριως λόγω του αυξημένου αριθμού χρηστών κινητών σε συνδυασμό με το μέγεθος των κυψελών που ολοένα και μειώνεται. Έτσι, η ακρίβεια στην μοντελοποίηση της κίνησης προκύπτει πολύ ως ένας πολύ ουσιαστικός παράγοντας για την αξιολόγηση του σχεδιασμού των δικτύων και για θέματα κόστους ανάπτυξης των δικτύων. Πολλά μοντέλα έχουν προταθεί κατά το παρελθόν [15][16]. Υπάρχουν, επίσης, μοντέλα κίνησης που χρησιμοποιούν παραμέτρους που δεν σχετίζονται με τη συμπεριφορά κίνησης τους χρήστη και την τοπολογία των δρόμων [17]. Η τοπολογία των δρόμων χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση του ρυθμού ενημέρωσης θέσης στο [18]

Μερικές προηγούμενες έρευνες που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή της πρόβλεψης κίνησης, περιλαμβάνουν προτάσεις ότι η θέση και κίνηση του χρήστη μπορούν να καθοριστούν βασισμένες σε ημι-αιτιοκρατική (quasideterministic) συμπεριφορά κίνησης που απορρέει από μοτίβα κίνησης που αποθηκεύονται στο προφίλ του χρήστη [19]. Αυτή τη μέθοδο ανέπτυξαν περαιτέρω οι Liu και Maquire [20], οι οποίοι μοντελοποιούν την κίνηση του χρήστη με επανάληψη κάποιων βασικών μοτίβων κίνησης. Άλλες μέθοδοι για την πρόβλεψη της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του χρήστη προτείνονται στη βιβλιογραφία [21][22][23][24].

Αν το σύστημα μπορούσε να έχει εκ των προτέρων γνώση της ακριβούς διαδρομής του κάθε τερματικού, θα μπορούσε να προχωρήσει στις κατάλληλες εκείνες διαδικασίες, ώστε να διασφαλίσει το επιθυμητό QoS κατά τη διάρκεια της σύνδεσης του τερματικού [25]. Παρόλα αυτά, ένα τέτοιο ιδανικό σενάριο είναι αρκετά απίθανο να συμβεί στην πραγματικότητα..

Πολλές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη αξιόπιστων μεθόδων πρόβλεψης της κίνησης κυρίως με στόχο τον καθορισμό της κυψέλης, που θα καλύψει μελλοντικά τον χρήστη. Για παράδειγμα, ο Liu και άλλοι [25] χρησιμοποιούν τεχνικές pattern matching και ένα αυτοπροσαρμοζόμενο φίλτρο Kalman για πρόβλεψη της επόμενης κυψέλης βασισμένη σε παρατηρήσεις της σειράς των κυψελών, στις μετρήσεις των σημάτων, και τις υποθέσεις πάνω στη γεωγραφία των κυψελών. Στο [26], ο Levine προτείνει την ιδέα του shadow cluster – ένα σύνολο σταθμών βάσης στις οποίες το τερματικό είναι πιθανό να συνδεθεί στο κοντινό μέλλον. Η προσέγγιση αυτή υπολογίζει την πιθανότητα του κάθε τερματικού να

βρίσκεται σε οποιαδήποτε κυψέλη μέσα στο shadow cluster για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στο [27], έχει υλοποιηθεί μια αποσυγκεντρωτική μέθοδος πρόβλεψης της κίνησης, στην οποία κάθε τερματικό, που είναι εξοπλισμένο με στοιχεία εντοπισμού θέσης, πραγματοποιεί προβλέψεις βάσει μιας προσεγγιστικής μεθόδου εξεύρεσης των ορίων των κυψελών που είναι αποθηκευμένα στο σταθμό βάσης, από τον οποίο εξυπηρετείται. Αυτές οι θέσεις, που αναπαριστούν τα όρια υπολογίζονται προσεγγιστικά από προηγούμενες θέσης διαπομπής. Σε αυτή τη μέθοδο, η τοπολογία των δρόμων δεν έχει ληφθεί υπόψη.

Η εκτίμηση της κίνησης του χρήστη, όπως παρουσιάζεται και προτείνεται στα πλαίσια αυτής της μελέτης, στηρίζεται στον καθορισμό αρχικά της περιοχής εξυπηρέτησης και στον ορισμό του pixel μέσα σε αυτή. Η θέση εκφραζόμενη στη συνέχεια σε pixel μαζί με το προτεινόμενο μοντέλο κίνησης παρέχουν τη μήτρα πιθανοτήτων για τα γειτονικά, ως προς τη θέση του χρήστη, pixels. Η ιδέα ενσωμάτωσης, στη συνέχεια, της τοπολογίας των δρόμων (θεωρείται γνωστός ο χαρακτηρισμός του κάθε pixel ως δρόμος ή κτήριο) παρέχει μια αρκετά καλή εκτίμηση της μελλοντικής κίνησης του χρήστη μιας και η κίνηση πλέον περιορίζεται από αυτή την τοπολογία.

Οι κύριοι στόχοι, στην περίπτωση της παρούσης διατριβής, της εκτίμησης της πορείας είναι δύο. Ο πρώτος έχει να κάνει με την αποφυγή της διαπομπής ring-pong κατά τη διάρκεια της εκτιμώμενης πορείας του χρήστη, σε συνδυασμό βέβαια με την ποιότητα λαμβανόμενου σήματος στη πορεία αυτού, και επομένως την λήψη κατάλληλων μέτρων για αποφυγή αυτής. Ο δεύτερος στόχος έχει να κάνει με τον επόμενο προτεινόμενο αλγόριθμο LAH (“Towards the Border”) που ουσιαστικά «πέφτει» στην περίπτωση των παραπάνω ερευνών (πρόβλεψη μελλοντικής κυψέλης).

Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση όλων αυτών των στοιχείων.

#### 4.2.3.1.1 Θέση του τερματικού

Το πρώτο θέμα που απασχόλησε για την εκτίμησης της πορείας του χρήστη ήταν η ακρίβεια της θέσης αυτού. Όσο λαμβάνουν χώρα νέες καινοτόμες έρευνες για τεχνικές εντοπισμού θέσης, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος από τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών για υπηρεσίες θέσης, τόσο πιθανό είναι τα τερματικά να εξοπλιστούν με στοιχεία που θα παρέχουν αυξημένη ικανότητα εντοπισμού θέσης στο μέλλον. Ο χρόνος έχει λοιπόν ωριμάσει για μια ουσιαστική και ενεργή έρευνα για το πως αυτές οι νέες δυνατότητες θα



μπορέσουν να επιφέρουν μια θετική αλλαγή στην προσφορά υπηρεσιών από τα δίκτυα κινητής και ασύρματης επικοινωνίας.

Η παρούσα εργασία έχει βασιστεί κυρίως στην υπόθεση ότι μελλοντικά τα τερματικά θα μπορούν να πετύχουν ακρίβεια θέσης καλύτερη από σήμερα (<10m). Ο λόγος που η παρούσα μελέτη στηρίχθηκε σε αυτή την παραδοχή εξηγείται παρακάτω.

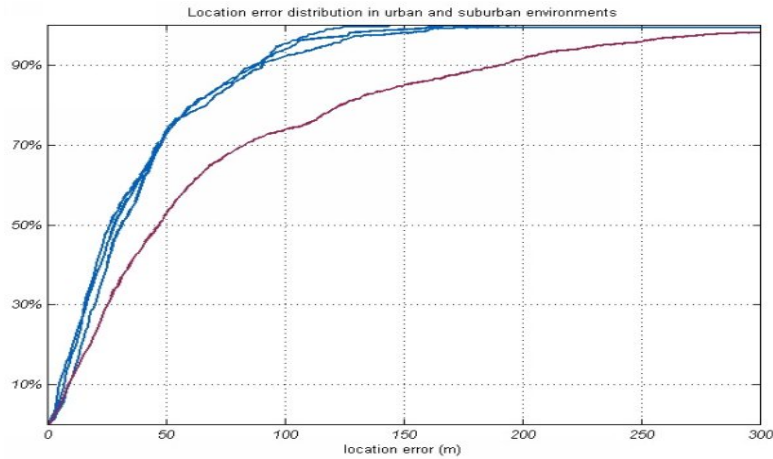
Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communication Committee-FCC) πρόσφατα εξέδωσε οδηγία προς τους πάροχους υπηρεσιών ότι θα πρέπει να εντοπίσουν με αυξημένη ακρίβεια (125m) κλήσεις έκτακτης ανάγκης. Αυτή η οδηγία παρακίνησε μια εκτεταμένη έρευνα στις τεχνικές εντοπισμού θέσης του τερματικού. Μια πολλά υποσχόμενη λύση είναι η ενσωμάτωση ενός δέκτη GPS σε κάθε τερματικό. Βάσει της παραπομπής [28], είναι πολύ λογικό να αναμένεται ότι η μέθοδος υποβοηθούμενου GPS να επιτύχει ακρίβεια κάτω από 20 m για περισσότερο από 67% του χρόνου. Στο διάστημα 2003-2009, μια νέα συστοιχία GPS δορυφόρων θα εγκατασταθεί προκειμένου να περιληφθούν δύο επιπλέον φορείς συχνοτήτων για δημόσια χρήση οι οποίοι μελλοντικά θα επιτρέψουν ακρίβεια έως και 1m για τους δημόσιους χρήστες ακόμα και χωρίς τη χρήση του επίγειου συστήματος [29].

Βέβαια, θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, παρόλο που η ανάπτυξη των αλγορίθμων έχει βασιστεί σε αυτή την παραδοχή, έχει πραγματοποιηθεί και ανάλυση της αξιοπιστίας αυτών και με διαφορετικά δεδομένα όσο αφορά την ακρίβεια εντοπισμού θέσης, όπως θα δούμε και παρακάτω.

Για τις ανάγκες λοιπόν της παρούσης έρευνας έχουμε προσομοιώσει έναν εξυπηρετητή θέσης (Location Server – LS) ενός πραγματικού δικτύου. Ο LS εξάγει τη θέση του χρήστη για κάθε τεχνολογία εντοπισμού θέσης που ο πάροχος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Η θέση αυτή ουσιαστικά εμπεριέχει ένα σφάλμα σε σχέση με τις πραγματικές συντεταγμένες του χρήστη. Αυτό το σφάλμα είναι μια τυχαία μεταβλητή που κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ 0 και ενός ανώτατου σφάλματος θέσης (και για τις δύο συντεταγμένες x και y). Το ανώτατο αυτό σφάλμα είναι χαρακτηριστικό της τεχνολογίας εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιείται και διαμορφώνεται μέσα από την επιλογή αυτής.

Ένας LS μπορεί να χαρακτηριστεί από ένα διάγραμμα που παρουσιάζει το σφάλμα που προσθέτει στην πραγματική θέση ως συνάρτηση της πιθανότητας. Το ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 4-4) παρουσιάζει ένα παράδειγμα του σφάλματος που προσθέτει ο LS σύμφωνα με

μια συγκεκριμένη τεχνολογία σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα (αστικό, προαστιακό, αγροτικό).



Σχήμα 4-4: Σφάλμα LS

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ακρίβεια στη θέση του τερματικού σε συνδυασμό με ένα αξιόπιστο μοντέλο κινητικότητας και με την ιδέα ενσωμάτωσης της τοπολογίας των δρόμων μπορεί να οδηγήσουν σε μια καλή εκτίμηση της πορείας του χρήστη.

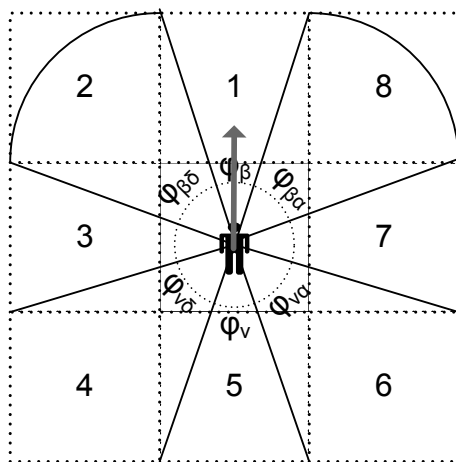
#### 4.2.3.1.2 Μοντέλο κίνησης

Το μοντέλο κίνησης, λοιπόν, αποκτά σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της πορείας του χρήστη. Το προτεινόμενο μοντέλο κίνησης χρησιμοποιεί κατανομές για τη διεύθυνση και την ταχύτητα του χρήστη αλλά και πληροφορίες για τους δρόμους.

Όσο αφορά τη διεύθυνση, κάθε χρήστης θεωρείται ότι βρίσκεται σε ένα pixel. Θεωρούμε ότι το pixel αυτό γειτονεύει με 8 άλλα pixels. Το σύνολο των γειτονικών pixels ορίζεται ως  $N_p$ ,  $p = [1, 2, \dots, 8]$  ή εκφραζόμενο βάσει της γωνίας  $N_{\phi_x}$ ,  $\phi_x = [\phi_\beta, \phi_\alpha, \phi_\delta, \phi_\nu, \phi_{\beta\delta}, \phi_{\nu\delta}, \phi_{\beta\alpha}, \phi_{\nu\alpha}]$ ,  $\forall \phi_x \in [-\pi, \pi]$ . Ομοίως η συνάρτηση  $P(p)$  ή αλλιώς  $P(\phi_x)$  εκφράζει την πιθανότητα μετάβασης του τερματικού (χρήστη) στο συγκεκριμένο pixel  $p$  ή  $\phi_x$ .

Ας υποθέσουμε ότι μια τυχαία χρονική στιγμή η κατεύθυνση του χρήστη είναι όπως διαφαίνεται στο Σχήμα 4-5. Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου κατανομής πιθανοτήτων για την περαιτέρω πορεία του χρήστη (επόμενο pixel).

Με δεδομένη τη διάσταση του pixel, ο υπολογισμός των επί μέρους γωνιών που ορίζουν και την κατεύθυνση (μελλοντικό pixel) είναι απλός. Έτσι αν θεωρηθεί ότι η κατεύθυνση του χρήστη είναι δεδομένη ορίζουμε τη γωνία  $\phi_\beta$  ως εκείνη την κατεύθυνση που χαρακτηρίζεται «ευθεία». Παρόμοια, χαρακτηρίζονται και οι λοιπές γωνίες ανάλογα με την κατεύθυνση του χρήστη.



Σχήμα 4-5: Κίνηση του χρήστη στα pixels

Οι τιμές των γωνιών που καθορίζουν την κατεύθυνση του χρήστη είναι:

Πίνακας 4-1: Τιμές γωνιών κατεύθυνσης

Κατεύθυνση	Τιμή
$\phi_\beta$	$-19^\circ \leq x \leq 19^\circ$
$\phi_{\beta\delta}$	$-71^\circ \leq x < -19^\circ$
$\phi_\delta$	$-109^\circ \leq x < -71^\circ$
$\phi_{\nu\delta}$	$-161^\circ \leq x < -109^\circ$
$\phi_{\beta\alpha}$	$19^\circ < x \leq 71^\circ$
$\phi_{\nu\alpha}$	$71^\circ < x \leq 109^\circ$
$\phi_\alpha$	$109^\circ < x \leq 161^\circ$
$\phi_\nu$	$-161^\circ < x \leq -\pi$ και $161^\circ < x \leq \pi$

Επόμενος στόχος είναι, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, ο καθορισμός των πιθανοτήτων μετάβασης. Αυτός είναι ένα σημαντικό θέμα για την αποδοτικότερη απόδοση του μηχανισμού πρόβλεψης της κίνησης.

Θεωρείται λοιπόν ότι η κατεύθυνση του χρήστη ακολουθεί μια κανονική κατανομή [30] με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π) την:

$$p.d.f(\phi_i) = \frac{1}{\sigma_{\phi_i} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\phi_i - \mu)^2}{2\sigma_{\phi_i}^2}\right) \equiv N(\phi_i | \mu, \sigma_{\phi_i}^2) \quad (4-1),$$

Σχετικά με τη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων (σ.κ.π)  $F(x)$  μιας τυχαίας μεταβλητής  $X$  που ακολουθεί κατανομή  $N(x | \mu, \sigma_{\phi_i}^2)$  ισχύουν τα παρακάτω.

$$F(x_0) = P(x \leq x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma_{\phi_i} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma_{\phi_i}^2}\right) dx \quad (4-2),$$

και θέτοντας  $(x-\mu)/\sigma=z$  με  $dx=\sigma dz$ , λαμβάνουμε

$$F(x_0) = \int_{-\infty}^{\frac{x_0 - \mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi\left(\frac{x_0 - \mu}{\sigma}\right) \quad (4-3),$$

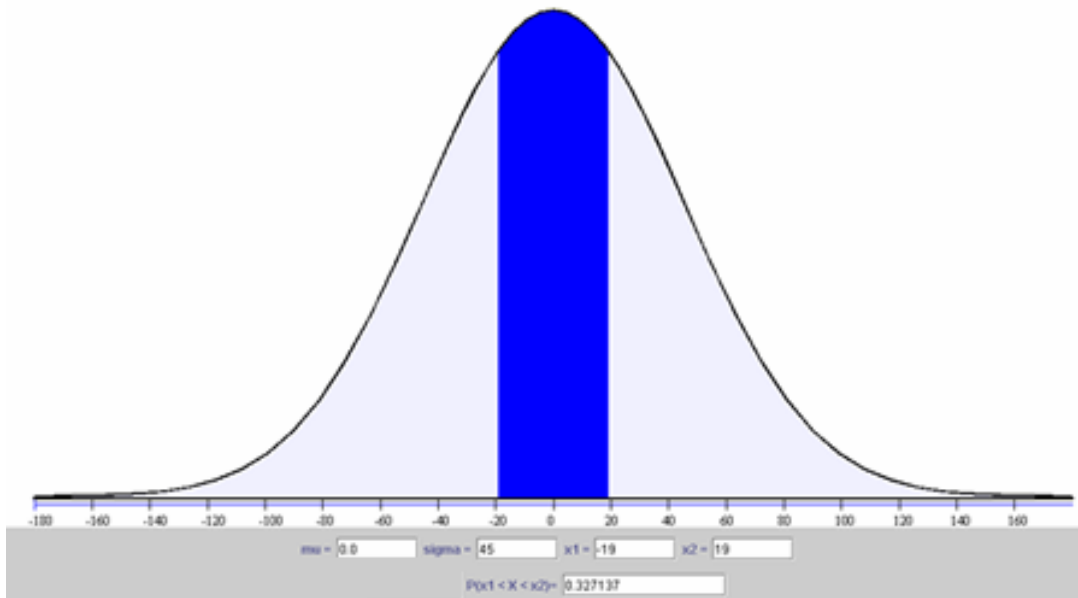
όπου  $\Phi$  η σ.κ.π της τυποποιημένης Γκαουσιανής κατανομής  $N(0,1)$  [30].

Η κατεύθυνση του χρήστη ακολουθεί κατανομή  $N(x | \mu, \sigma_{\phi_i}^2)$  με  $\mu = 0$  γωνία και  $\sigma = 45$ . Η πιθανότητα ο χρήστης να κινηθεί ευθεία είναι:

$$F(x) = P\left(-\frac{\phi_{\beta}}{2} < x \leq \frac{\phi_{\beta}}{2}\right) = \Phi\left(\frac{19-0}{45}\right) - \Phi\left(\frac{-19-0}{45}\right) = \Phi(0,42) - \Phi(-0,42) = 2\Phi(0,42) - 1 \text{ ή}$$


$$P\left(-\frac{\phi_{\beta}}{2} < x \leq \frac{\phi_{\beta}}{2}\right) = 0,33 \quad (4-4),$$

Σχηματικά η πιθανότητα αυτή παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4-6: Πιθανότητα  $P(\phi_\beta)$  με κατανομή  $N(\mu, \sigma^2)$  με  $\mu = 0$  γωνία και  $\sigma = 45$

Παρόμοια υπολογίζονται και οι λοιπές πιθανότητες κατεύθυνσης του χρήστη. Συνοπτικά αυτές δίνονται στον επόμενο σχήμα:

0.22	0.33	0.22
0.10		0.10
0.01	0.01	0.01

Σχήμα 4-7: Μήτρα πιθανοτήτων μετάβασης  $P(\phi_x)$ ,  $\forall \phi_x \in [-\pi, \pi]$

Η παραπάνω μήτρα πιθανοτήτων θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω όταν πραγματοποιηθεί η ενσωμάτωση της τοπολογίας των δρόμων και όταν χρειαστεί να εξαχθούν οι πιθανότητες για τα πιθανά μονοπάτια του χρήστη.

Για την ταχύτητα επιλέχθηκε η χρήση της κανονικής κατανομής.

$$p.d.f(u_i) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(u_i - \bar{u})^2}{2\sigma_u^2}\right) \equiv N(u_i | \bar{u}, \sigma_u^2) \quad (4-5),$$

όπου  $\bar{u}$  η μέση ταχύτητα των χρηστών μέσα στην πόλη,  $\sigma_u$  η απόκλιση ταχύτητας. Οι παράμετροι που εξήχθησαν από μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον και χρησιμοποιούνται και στην παρούσα έρευνα είναι  $\bar{u} = 40 \text{ Km/h}$  και  $\sigma_u = 10 \text{ km/h}$ .

Το μοντέλο αποφεύγει να γίνει σύνθετο και πολύπλοκο και για το λόγο αυτό επιλέγεται η ταχύτητα να παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος εκτίμησης της πορείας του χρήστη. Η επιλογή της αρχικής ταχύτητας πραγματοποιείται με βάση της παραπάνω κατανομής. Άλλες κατανομές που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία για την επιλογή της ταχύτητας είναι η Rayleigh που προτάθηκε στο [31] και η Rice.

#### 4.2.3.1.3 Ενσωμάτωση της τοπολογίας δρόμων

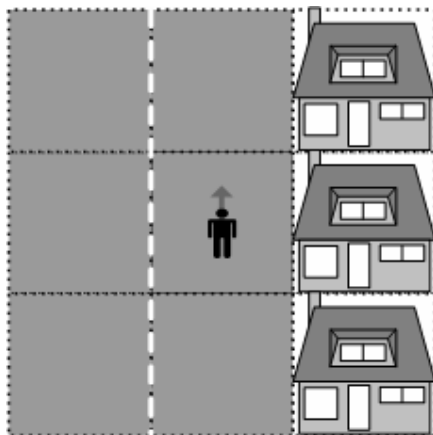
Στις μελέτες, που προαναφέρθηκαν πάνω σε μοντέλα κίνησης [31], ένας από τους τρόπους, που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση τους ήταν και οι μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον και πραγματικούς δρόμους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίθηκαν με το θεωρητικό αναλυτικό μοντέλο και έδειξαν αξιοπιστία του προτεινόμενου μοντέλου τους. Στην περίπτωση όμως, αυτής της έρευνας, τα στοιχεία των πραγματικών δρόμων θεωρούνται γνωστά και ενσωματώνονται στο σύστημα εκ των προτέρων και επομένως η αποτίμηση είναι πιο εύκολη και αποδοτική αφού τόσο τα τμήματα δρόμων, οι διασταυρώσεις αυτών όσο και ο χαρακτηρισμός του pixel (αν πρόκειται για δρόμο ή κτήριο) είναι γνωστά. Η παρούσα μέθοδος θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι συγκεντρωτική μιας και προβλέπεται η υλοποίηση ενός ξεχωριστού στοιχείου (module), στο οποίο θα πραγματοποιούνται οι εκτιμήσεις κίνησης για κάθε κινητό που είναι στην περιοχή κάλυψης του. Αυτό το στοιχείο θα πρέπει να έχει μια διεπαφή με τον σταθμό βάσης αναφοράς. Ουσιαστικά θα πρόκειται για ένα υποσυστατικό (submodule) αυτού.

Η προτεινόμενη αυτή τεχνική, καταρχήν απαιτεί, κάθε BS που εξυπηρετεί το τερματικό να λαμβάνει πληροφορία σχετικά με τη θέση αυτού σε τακτικά διαστήματα (π.χ. 1sec). Προκειμένου να ενσωματωθεί η τοπολογία των δρόμων, κάθε BS θα πρέπει να διατηρεί μια βάση δεδομένων με την τοπολογία αυτή που αφορά την περιοχή κάλυψης του (παράδειγμα στο Σχήμα 4-8).



Σχήμα 4-8: Τοπολογία δρόμων περιοχής κάλυψης του BS 1

Σε αυτή τη βάση, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, το κάθε pixel χαρακτηρίζεται ως δρόμος ή κτήριο. Αυτή η εκ των προτέρων γνώση δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην μέθοδο μοντελοποίησης της κίνησης, αφού αυτομάτως από τις πιθανές καταστάσεις μετάβασης του χρήστη αποκλείονται κάποια pixels που δεν χαρακτηρίζονται ως δρόμοι. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 4-9, όπου δεξιά του χρήστη δεν επιτρέπεται η κίνηση. Έτσι τα πιθανά pixels μετάβασης, τώρα, είναι 5 αφού στα 3 δεξιά αυτού pixels η πιθανότητα μετάβασης είναι  $P(\phi_{\beta\alpha}), P(\phi_{\alpha}), P(\phi_{\gamma\alpha}) = 0$ .



Σχήμα 4-9: Τοπολογία δρόμων (ανάλυση pixel)

Εκμεταλλευόμενοι αυτή τη γνώση για κάθε σημείο της περιοχής, προτείνεται μια μέθοδος αναπροσαρμογής των πιθανοτήτων των πιθανών επόμενων καταστάσεων για κάθε σημείο. Η αναπροσαρμογή αυτή των πιθανοτήτων γίνεται αναλογικά με τις αρχικές πιθανότητες.

Αν  $N'_{\phi_k}$  το σύνολο των pixels όπου επιτρέπεται η κίνηση ( $P[\phi_k] \neq 0$ ) και  $N'_{\phi_m}$  το σύνολο όπου τα pixels χαρακτηρίζονται ως κτήρια και άρα δεν επιτρέπεται η μετάβαση σε αυτά ( $P[\phi_m] = 0$ ), τότε ισχύει:

$$N'_{\phi_x} = N'_{\phi_k} \cup N'_{\phi_m}, \quad x = m \cup k \quad (4-6),$$

Αντίστοιχα, ορίζεται το  $P'[\phi_k]$  ως η αναπροσαρμοζόμενη πιθανότητα ο χρήστης να βρεθεί στο  $\phi_k$  pixel,  $\phi_k \in N'_{\phi_k}$ . Στόχος είναι λοιπόν ο υπολογισμός του  $P'[\phi_k]$ . Με δεδομένα τα α)  $P'[\phi_m] = 0, \forall \phi_m \in N'_{\phi_m}$  β)  $\sum_{\phi_x \in N'_{\phi_x}} P[\phi_x] = 1$  και γ)  $P[\phi_k]$ , ισχύει:

$$P'[\phi_k] = P[\phi_k] \cdot \frac{\sum_{\phi_x \in N'_{\phi_x}} P[\phi_x]}{\sum_{\phi_k \in N'_{\phi_k}} P[\phi_k]}, \quad \forall \phi_k \in N'_{\phi_k} \quad (4-7),$$

Ακολουθεί ένα αριθμητικό παράδειγμα, βασισμένο στο Σχήμα 4-9, προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η δυναμική αναπροσαρμογή των πιθανοτήτων που προκύπτουν από την εξίσωση 4-6.

*Αριθμητικό παράδειγμα:*

Στο παραπάνω παράδειγμα (Σχήμα 4-7) έχουμε τα ακόλουθα σύνολα:

το σύνολο  $N'_{\phi_k} = [\phi_\beta, \phi_{\beta\delta}, \phi_\delta, \phi_{\nu\delta}, \phi_\nu]$  όπου επιτρέπεται η κίνηση και  $N'_{\phi_m} = [\phi_{\beta\omega}, \phi_\alpha, \phi_{\nu\alpha}]$  όπου τα pixel αυτά χαρακτηρίζονται ως κτήρια. Από το Σχήμα 4-7 είναι γνωστό ότι, θεωρητικά, οι γωνίες  $\phi_m$  είχαν μια συγκεκριμένη πιθανότητα για μετάβαση εκεί του χρήστη.

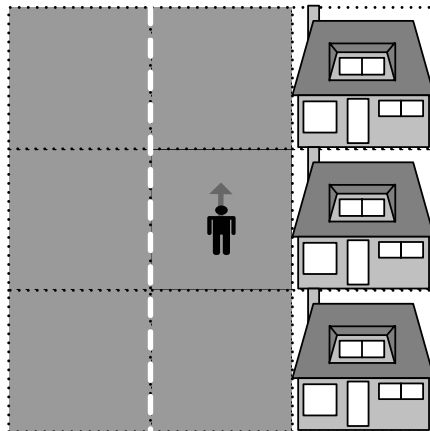
Πιο συγκεκριμένα,  $P(\phi_{\beta\alpha}) = 0,22, P(\phi_\alpha) = 0,10$  και  $P(\phi_{\nu\alpha}) = 0,01$ , δηλαδή,  $\sum_{\phi_m \in N'_{\phi_m}} P[\phi_m] = 0,33$ .

Έτσι οι λοιπές καταστάσεις μετάβασης είχαν συνολική πιθανότητα  $\sum_{\phi_k \in N'_{\phi_k}} P[\phi_k] = 0,67$ .

Στόχος λοιπόν της τεχνικής δυναμικής αναπροσαρμογής των πιθανοτήτων είναι ο υπολογισμός των  $P'(\phi_k), \forall \phi_k \in N'_{\phi_k}$  με δεδομένα τα α)  $P'[\phi_m] = 0, \forall \phi_m \in N'_{\phi_m}$  β)  $\sum_{\phi_x \in N'_{\phi_x}} P[\phi_x] = 1$  και γ)  $P[\phi_k]$ . Από την εξίσωση (X) προκύπτουν οι νέες πιθανότητες



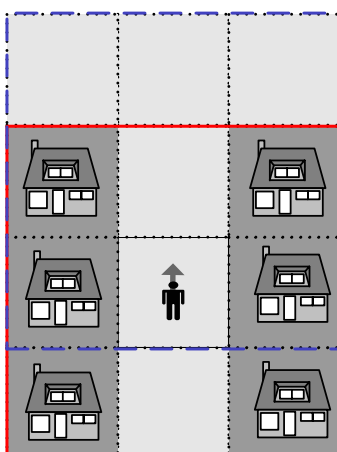
μετάβασης  $\forall \phi_k \in N'_{\phi_k}$ . Πιο συγκεκριμένα, προκύπτουν:  $P'[\phi_\beta] = 0.49$ ,  $P'[\phi_{\beta\delta}] = 0.33$ ,  $P'[\phi_\delta] = 0.14$ ,  $P'[\phi_{\nu\delta}] = 0.02$ ,  $P'[\phi_\nu] = 0.02$ . Σχηματικά παρουσιάζονται και στο παρακάτω σχήμα.



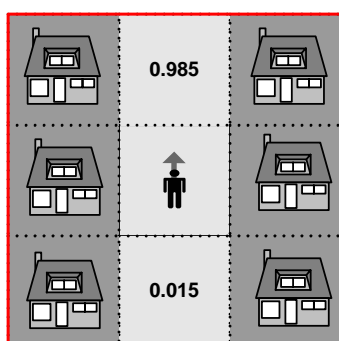
Σχήμα 4-10: Πιθανότητες  $P'(\phi_x)$  βάσει της τοπολογίας δρόμων

Το παραπάνω σχήμα δίνει ένα από τα πολλά πιθανά μοτίβα καταστάσεων γειτονικών pixel που θα μπορούσαν να υπάρξουν. Συνολικά τα μοτίβα που μπορεί να υπάρξουν, όσο αφορά τις καταστάσεις των γειτονικών pixel είναι 8! μιας και 8 είναι τα πιθανά γειτονικά pixels. Γνωρίζοντας τη θέση του χρήστη και χρησιμοποιώντας τη μήτρα πιθανοτήτων (Σχήμα 4-7) για το συγκεκριμένο μοτίβο γειτονικών pixel, είναι εφικτή η εκ των προτέρων εξαγωγή των πιθανοτήτων μετάβασης του χρήστη για το επόμενο pixel. Μετακινώντας θεωρητικά τον χρήστη κατά ένα pixel προς οποιαδήποτε κατεύθυνση η μήτρα πιθανοτήτων «ολισθαίνει» και αυτή προς την ίδια κατεύθυνση. Με τη βοήθεια των συνδυαστικών πιθανοτήτων μπορεί να προκύψουν οι πιθανότητες μετάβασης 2 θέσεις μετά την αρχική.

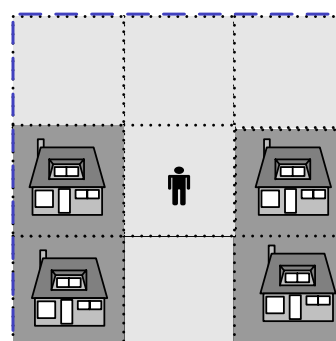
Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό δίνεται το ακόλουθο παράδειγμα. Ας υποτεθεί ότι η αρχική θέση και η περιοχή που θα κινηθεί ο χρήστης είναι αυτές που δείχνει το Σχήμα 4-11 (α). Το αρχικό μοτίβο γειτονικών pixels σε αυτή την περίπτωση φαίνεται στο Σχήμα 4-11 (β). Στο ίδιο σχήμα διακρίνονται και οι πιθανότητες, όπως αυτές προέκυψαν από τη χρήση της μήτρα πιθανοτήτων πάνω στο συγκεκριμένο μοτίβο. Αν υποτεθεί τώρα ότι, ο χρήστης μεταβαίνει στο μπροστά του pixel, τότε πραγματοποιείται «ολίσθηση» της μήτρας πιθανοτήτων και εφαρμογή αυτής στο νέο μοτίβο γειτονικών κυψελών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-11 (γ).



(α)



(β)



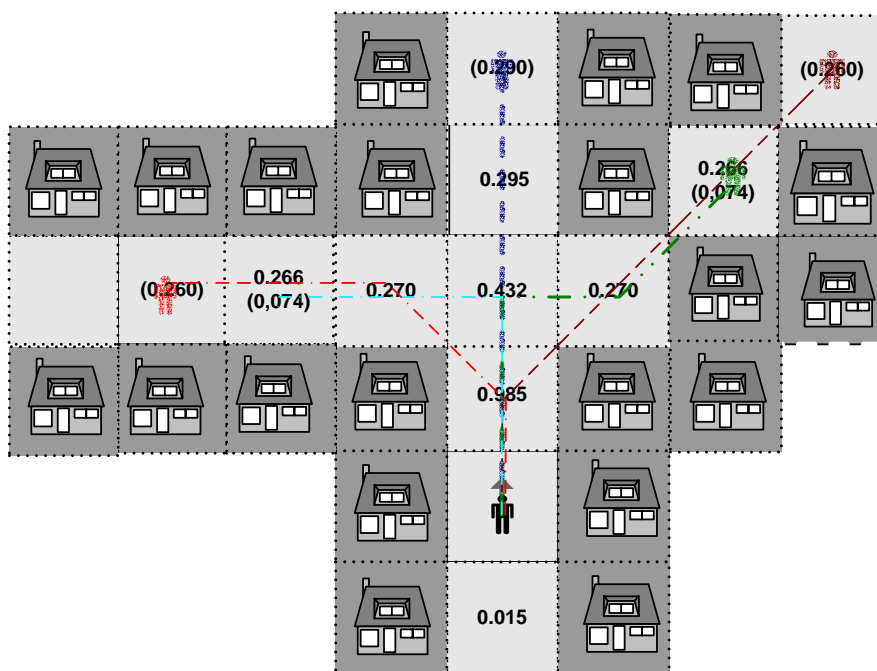
(γ)



(δ)

Σχήμα 4-11: Παράδειγμα «ολίσθησης» μήτρας πιθανοτήτων

Ο συνδυασμός αυτών των δύο μοτίβων επιτρέπει τον υπολογισμό-καθορισμό της πιθανότητας προσπέλασης για κάθε pixel της περιοχής αν υποθεθεί ότι ο χρήστης κάνει δύο κινήσεις (υποτίθεται κάθε κίνηση ισοδυναμεί με μετάβαση και σε άλλο pixel) (Σχήμα 4-11 (δ)). Με τη ίδια λογική, με δεδομένο το σημείο αφετηρίας και το χρόνο πρόβλεψης της μελλοντικής κίνησης οδηγούμαστε στην παραγωγή πιθανών μονοπατιών του χρήστη και στον καθορισμό τόσο της πιθανότητας των τελικών θέσεων (αφού η ταχύτητα θεωρείται σταθερή) όσο και των επιμέρους πιθανοτήτων για «πέρασμα» του χρήστη από κάθε pixel. Αν υποθέσουμε την τοπολογία και το σημείο αφετηρίας του παρακάτω σχήματος, η τεχνική «ολίσθησης» και η μήτρα πιθανοτήτων καθορίζουν και τις αντίστοιχες πιθανότητες τελικών θέσεων (μέσα στις παρενθέσεις) και πιθανότητες «περάσματος» του χρήστη από το κάθε pixel. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι τελικές θέσεις που φαίνονται στο σχήμα δεν είναι οι μοναδικές, μιας και υπάρχουν πάντα οι «μικρές» πιθανότητες ο χρήστης να αναστρέψει πλήρως την πορεία του. Για το λόγο αυτό και το άθροισμα των πιθανοτήτων για τις τελικές θέσεις που διαφαίνονται στο σχήμα πλησιάζουν την μονάδα (0.958).



Σχήμα 4-12: Πιθανότητες τελικών θέσεων (μέσα στις παρενθέσεις) και πιθανότητες «περάσματος» του χρήστη από το κάθε pixel στη συγκεκριμένη τοπολογία

Θεωρείται ότι, τα σημεία αφετηρίας για την εκτίμηση της πορείας του χρήστη δεν είναι άπειρα. Αυτή η παραδοχή γίνεται μιας και η τεχνική εκτίμησης της πορείας του χρήστη θα

πραγματοποιηθεί μόνο για τα τερματικά που μπαίνουν σε μια περιοχή αυξημένης πιθανότητας διαπομπών όπως αυτή φαίνεται και στο Σχήμα 4-1. Γίνεται εύκολα κατανοητό, λοιπόν ότι, τα σημεία εισόδου σε μια τέτοια περιοχή είναι πεπερασμένα. Επομένως γίνεται εύκολη υπόθεση η υλοποίηση μιας ρουτίνας, που θα υπολογίζει τις πιθανότητες μετάβασης του χρήστη βάσει της τοπολογίας των δρόμων, του χρόνου πρόβλεψης και αυτού του σημείου αφετηρίας. Αυτές οι πιθανότητες θα μπορούν να εξαχθούν από τον πάροχο και να εγκατασταθούν εκ των προτέρων σε κάθε BSS. Σπάνιες αναπροσαρμογές παρατηρούνται στην τοπολογία των δρόμων μιας και νέοι δρόμοι δεν κατασκευάζονται συχνά (ειδικά στο κέντρο μιας πόλης) ενώ οι υπάρχοντες δρόμοι σπάνια τροποποιούνται. Έτσι, οι αναπροσαρμογές στις πιθανότητες μετάβασης θεωρούνται σπάνιες. Βασισμένοι σε αυτό το μοντέλο, η μέθοδος εκτιμά τις πιθανότητες στα διάφορα μονοπάτια μελλοντική κίνησης του χρήστη για τα επόμενα  $T_{prediction}$  sec. Με δεδομένη την πιθανότητα για κάθε ένα μονοπάτι και για κάθε ένα pixel αυτού, η προτεινόμενη μέθοδος μελετά τις προβλεπόμενες τιμές λαμβανόμενων σημάτων στα pixel που πιθανόν θα βρεθεί ο χρήστης κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης κίνησης. Η εκτίμηση των λαμβανόμενων σημάτων σε κάθε pixel θα παρέχει στο δίκτυο μια καλή προσέγγιση στο αν η περιοχή δραστηριότητας του κινητού πρόκειται για περιοχή που προκαλούνται αρκετές διαπομπές και δη διαπομπές ring-rong όπως αυτές ορίστηκαν στην παράγραφο 4.2.1.

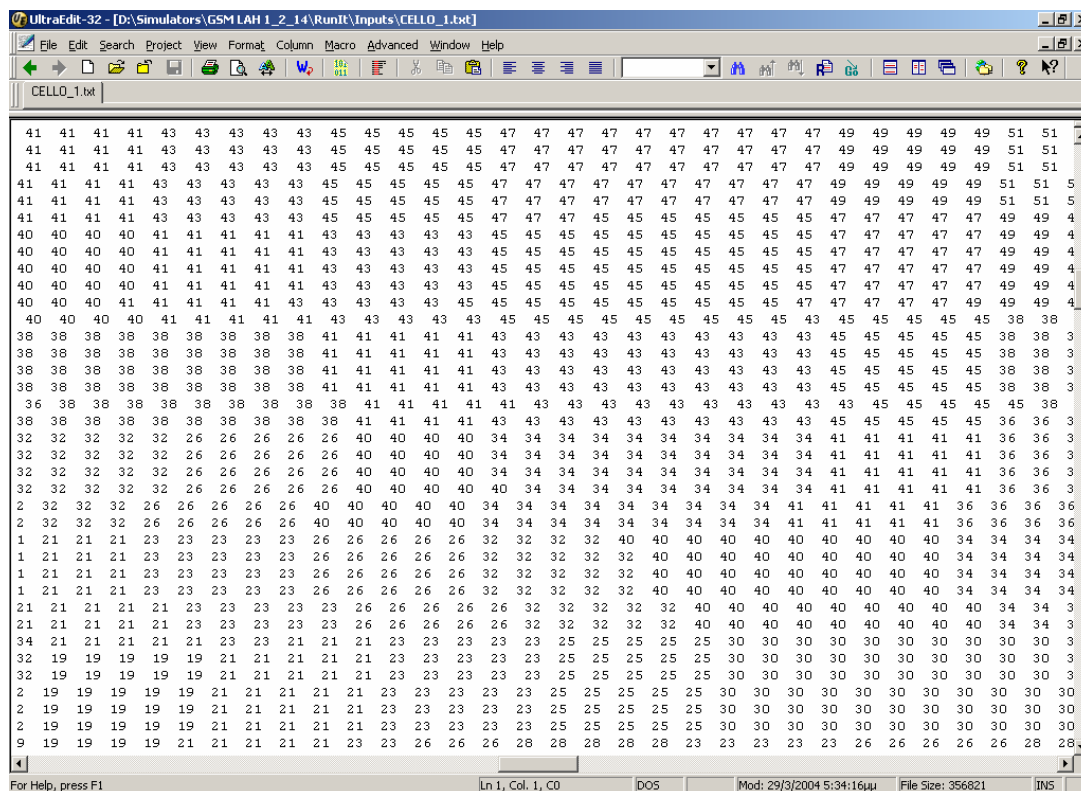
#### **4.2.3.2 Εκτίμηση λαμβανόμενου σήματος**

Η εκτίμηση των λαμβανόμενων σημάτων έχει κυρίως δύο στόχους. Καταρχήν μέσα από την μελέτη αυτών θα είναι δυνατή η εκτίμηση για το κάθε τερματικό που εισέρχεται στην περιοχή διαπομπών αν πρόκειται να υποπέσει σε μια ring-rong διαπομπή. Ο δεύτερος στόχος εκτίμησης των λαμβανόμενων σημάτων έχει να κάνει με τη διαδικασία απόφασης όταν πλέον ανιχνευθεί μια πιθανή ring-rong διαπομπή μέσα στα πιθανά μονοπάτια του χρήστη. Οι συνθήκες διάδοσης εντός της περιοχής εξυπηρέτησης περιγράφονται μέσα από ένα σύνολο τιμών που εκφράζουν την εξασθένηση του εκάστοτε σήματος εκπομπής που φθάνει σε κάθε pixel.

Οι προβλεπόμενες τιμές λαμβανόμενων σημάτων υπολογίζονται από τα λογισμικά εργαλείων σχεδιασμού δικτύου όπως το ASTRIX [32]. Το συγκεκριμένο εργαλείο σχεδιασμού δικτύων που χρησιμοποιήθηκε και στα πλαίσια αυτής της έρευνας χρησιμοποιεί το μοντέλο Okumara-Hata για την πρόβλεψη της απώλειας διαδρομών. Οι προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου αυτού, που δίδονται σε δεδομένα εισόδου στο παραπάνω πρόβλημα, δεν

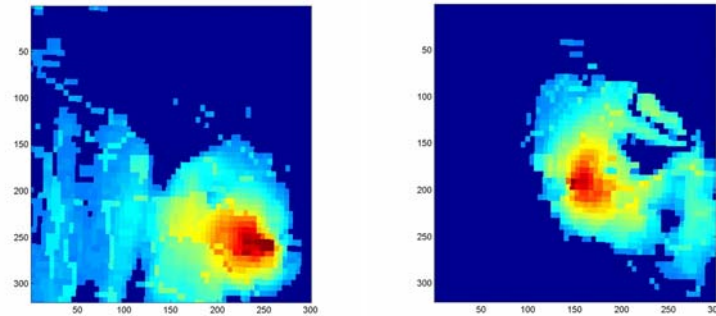
είναι τίποτε άλλο από αρχεία (matrixes) τα οποία εισάγονται στο σύστημα και περιέχουν την ισχύ σημάτων που φθάνει σε κάθε pixel της περιοχής από όλες τις κυψέλες. Θα πρέπει να τονισθεί ότι αυτές οι τιμές που παρέχονται από τον πάροχο περιλαμβάνουν και τη σκίαση.

Τα αρχεία αυτά παράγονται σε μορφή \*.txt από τα εργαλεία σχεδιασμού δικτύου των πάροχων.

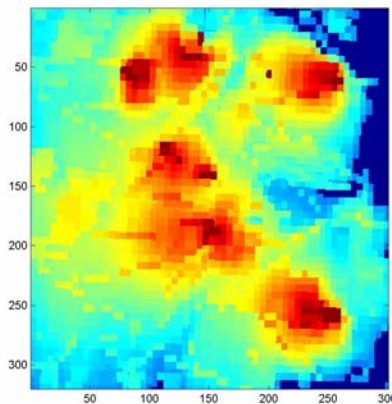


Σχήμα 4-13: Αρχείο ανάλυσης  $R_x(p, c)$

Έτσι ανεξαρτήτως του μοντέλου διάδοσης που χρησιμοποιεί κάθε πάροχος για την κάλυψη της περιοχής, το πρόβλημα δέχεται σαν εισοδό αρχεία που περιέχουν τις πληροφορίες διάδοσης κάθε κυψέλης που ανήκει σε αυτή την περιοχή. Χαρακτηριστικά, το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4-14) δείχνει παραδείγματα διάδοσης σήματος από δύο κυψέλες της παραπάνω περιοχής (Σχήμα 5-3) που προκύπτουν από το εργαλείο σχεδιασμού δικτύων (ASTRIX) της COSMOTE. Αυτές όλες συνδυάζονται και μας παρέχουν την συνολική περιοχή κάλυψης (Σχήμα 4-15).



*Σχήμα 4-14: Παραδείγματα κάλυψης κυψελών*



*Σχήμα 4-15: Χάρτης διάδοσης σημάτων*

Τα δεδομένα εισόδου δεν περιλαμβάνουν, λοιπόν, άμεσα τον υπολογισμό της απώλειας διαδρομής για κάθε pixel αλλά το δέχεται σαν δεδομένο εισόδου από τα εργαλεία σχεδιασμού δικτύου που έχουν στη διάθεση τους οι φορείς παροχής υπηρεσιών δικτύου.

#### **4.2.3.3 Ανίχνευση Ring-pong Διαπομπών**

Έχοντας, η μέθοδος, σα δεδομένα εισόδου τη θέση του χρήστη, τα πιθανά μονοπάτια για την μελλοντική κίνηση αυτού, την εκτίμηση για τα λαμβανόμενα σήματα σε όλα αυτά τα μονοπάτια, στόχος της πλέον, σαν επόμενο βήμα, είναι να εκτιμήσει κατά πόσο είναι πιθανό στην μελλοντική πορεία του χρήστη να προκύψει περίπτωση ring-pong διαπομπής. Αυτό που εξετάζεται είναι για κάθε μονοπάτι η πιθανότητα να συμβεί η περίπτωση του σχήματος Σχήμα 4-2.

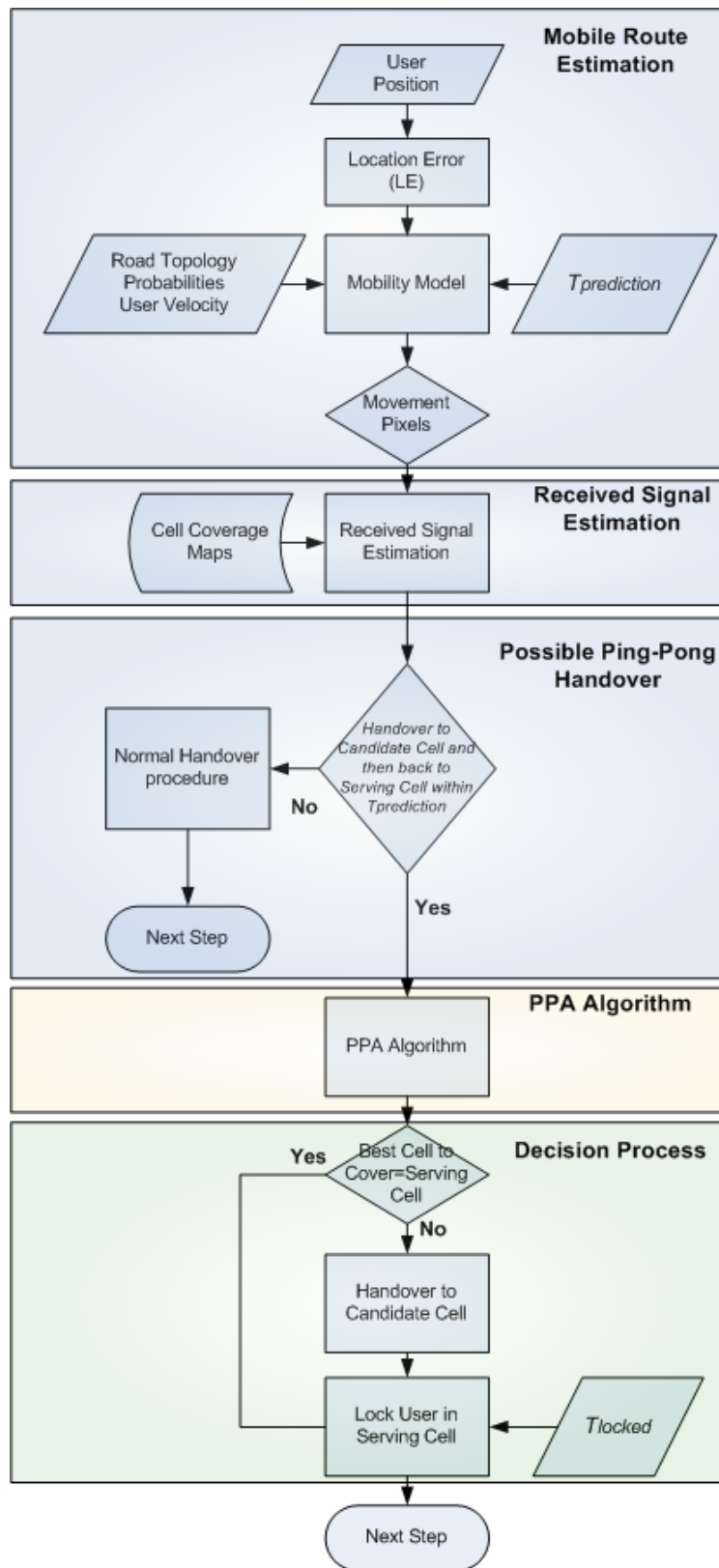
Αν υποθεθεί λοιπόν ότι, ο χρήστης βρίσκεται στη θέση  $p(i)$  και είναι γνωστό ότι καλύπτεται από την κυψέλη *Serving cell* (SC), προβλέπεται ότι θα ζητηθεί διαπομπή στη κυψέλη *Target cell* (TC) μόνο εάν, μεταξύ άλλων:

$$Rx(p(i), TC) = Rx(p(i), SC) + HO_{margin} \quad (4-8)$$

Εδώ θα πρέπει όμως να τονισθεί το γεγονός ότι η ανίχνευση λαμβάνει υπόψη της και την μεσοστάθμιση (averaging) των σημάτων που πραγματοποιείται στον άξονα του χρόνου σήμερα στο GSM και επίσης το γεγονός ότι δύο συνεχόμενες διαπομπές δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν σε λιγότερο από 5 δευτερόλεπτα. Έτσι ουσιαστικά, η ανίχνευση πιθανής διαπομπής ring-rong πραγματοποιείται με το averaging των τιμών από τα pixels που θα περάσει ο χρήστης ανά 5 δευτερόλεπτα. Αν το αποτέλεσμα αυτού του averaging ικανοποιεί τη σχέση (4-8) τότε μια διαπομπή πιθανά θα λάμβανε χώρα. Στην περίπτωση που αυτό ξανασυμβεί αλλά με αντίστροφη πορεία τότε η ring-rong διαπομπή είναι γεγονός. Η περίπτωση που ο αλγόριθμος PPA σκανδαλίζεται είναι όταν η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο, συνολικά για όλες τις εκτιμώμενες πορείες είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι, που είναι και παράμετρος της μεθόδου. Στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ότι, πιθανότητα μεγαλύτερη από 60% είναι ικανή για να οδηγήσει τη μέθοδο στον σκανδαλισμό του PPA αλγορίθμου.

#### 4.2.3.4 PPA Αλγόριθμος

Έχοντας εξετάσει τα τρία πρώτα δομικά στοιχεία της μεθόδου, επόμενος στόχος ορίζεται η λήψη της απόφασης για το ποια κυψέλη εμφανίζεται να είναι η πλέον κατάλληλη για την εξυπηρέτηση του τερματικού καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης του και άρα την αποφυγή της ring-rong διαπομπής. Προκειμένου να ληφθεί αυτή η απόφαση, μια άλλη σημαντική διαδικασία προηγείται στον αλγόριθμο PPA. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαδικασία «ψήφισης» (*voting process*). Το αποτέλεσμα της διαδικασίας *voting* ουσιαστικά θα οδηγήσει τον αλγόριθμο στη διαδικασία λήψης απόφαση. Το διάγραμμα ροής που περιγράφει συνοπτικά τη μέθοδο αντιμετώπισης ring-rong διαπομπών φαίνεται στο Σχήμα 4-16.



Σχήμα 4-16: Διάγραμμα Ροής της προτεινόμενης μεθόδου αντιμετώπισης ping-pong διαπομπών

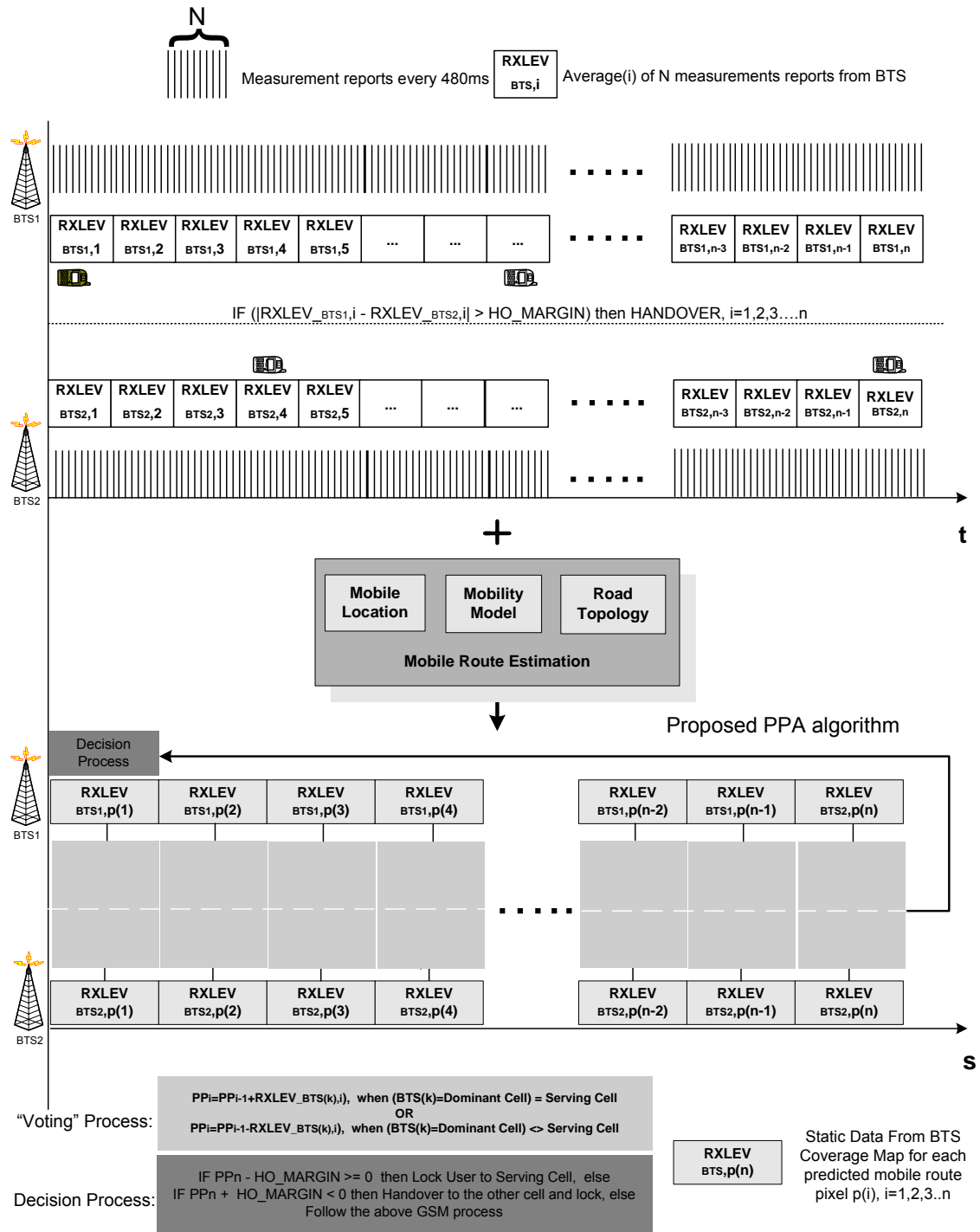


Ας υποθέσουμε ότι ο αλγόριθμος ενεργοποιείται στη θέση A. Η ενεργοποίηση αυτή στηρίζεται στην ιδέα της προηγούμενης παραγράφου. Μια νέα παράμετρος  $PP$  δημιουργείται και προσδίδεται στο τερματικό. Αυτή η παράμετρος θα βοηθήσει τον αλγόριθμο να αποφασίσει ποια κυψέλη είναι καταλληλότερη για την κάλυψη του χρήστη στις πιθανές πορείες αυτού και μέσα από τη διαδικασία «ψήφισης». Η διαδικασία *voting* πραγματοποιείται για κάθε πιθανή πορεία που έχει προκύψει από την εκτίμηση, όπως αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.3.1. Αυτή η διαδικασία ουσιαστικά εξετάζει το λαμβανόμενο σήμα σε κάθε σημείο (pixel), για κάθε πιθανή πορεία του χρήστη, από τους δύο σταθμούς βάσης που εμπλέκονται στη ring-ring διαπομπή. Ας υποθεθεί ότι, στο σημείο A, που είναι και το σημείο αφετηρίας για την εκτίμηση της πορείας του χρήστη, η κυψέλη που τον εξυπηρετεί είναι η SC (*Serving cell*). Επιπλέον, ορίζεται η δεύτερη κυψέλη που εμπλέκεται στη διαπομπή ring-ring ως TC (*Target cell*). Τέλος είναι γνωστή, από τα αρχεία (χάρτες) που παρέχουν τη ραδιοκάλυψη, σε κάθε σημείο (pixel) η κυρίαρχη κυψέλη DC (*Dominant Cell*). Ας υποθεθεί ότι, εξετάζεται η μια από τις αρκετές εκτιμώμενες μελλοντικές πορείες του τερματικού. Ορίζεται ως  $P$  το σύνολο των pixels, που το τερματικό θα βρεθεί κατά αυτής της εκτιμώμενης κίνησης του,  $p_i \forall i \in P$  το συγκεκριμένο pixel όπου το τερματικό βρίσκεται και  $R_x(p_i)$  τη λαμβανόμενη ισχύ μέσα στο  $p_i$  από την κυρίαρχη κυψέλη  $DC(p_i)$  στο συγκεκριμένο pixel  $p_i$ . Το άθροισμα  $PP_i$  αρχικοποιείται ( $PP_0 = 0$ ) στο pixel όπου ο PPA αλγόριθμος σκανδαλίζεται και εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης κίνησης ως εξής:

$$PP_i = \begin{cases} PP_{i-1} + R_x(p_i), & \text{when } DC = SC \\ PP_{i-1} - R_x(p_i), & \text{when } DC = TC \end{cases} \quad (4-9)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ , όπου  $n$  ο αριθμός των pixels, όπου το κινητό θα βρεθεί κατά την εκτιμώμενη πορεία του. Ουσιαστικά, το αποτέλεσμα της παραμέτρου  $PP_n$  στην τελική θέση  $n$  φανερώνει την καλύτερη κυψέλη (ισχυρότερο λαμβανόμενο σήμα) στη συγκεκριμένη εκτιμώμενη πορεία. Προκειμένου όμως αυτή η εκτίμηση (καλύτερης κυψέλης) να ισχυροποιηθεί, πραγματοποιείται και σύγκριση της τιμής  $PP_n$  με μια παράμετρο υστέρησης. Έτσι, περνώντας στη διαδικασία απόφασης, εάν  $PP_n - HOmargin \geq 0$  τότε η καταλληλότερη κυψέλη για να καλύψει το χρήστη, για το εξεταζόμενο πιθανό μονοπάτι, είναι η SC, ενώ εάν  $PP_n - HOmargin < 0$  η καταλληλότερη είναι η TC. Στην πρώτη περίπτωση αποφεύγονται δύο διαπομπές, από την SC στην TC και πάλι πίσω στην SC, ενώ

στη δεύτερη περίπτωση πραγματοποιείται μόνο μια διαπομπή στην TC. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται σχηματικά και παρακάτω.



Σχήμα 4-17: PPA αλγόριθμος

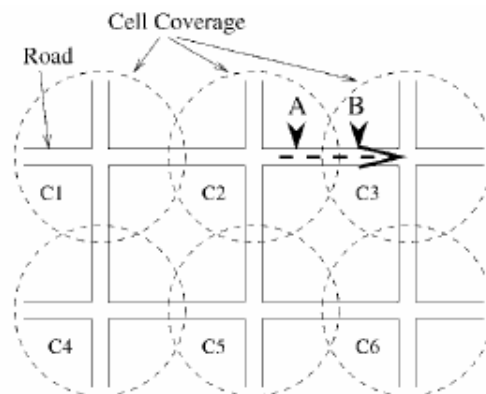
Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται για το καθένα από τα πιθανά μονοπάτια του χρήστη όπως αυτά προκύπτουν από τη διαδικασία εκτίμησης της θέσης. Επομένως γίνεται εκτίμηση για την καλύτερη κυψέλη στην ευρύτερη περιοχή. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας «ψήφισης» θα είναι το κινητό να «κλειδώσει» στην εκτιμώμενη καλύτερη κυψέλη για ένα σταθερό χρονικό διάστημα, που κατά τη διάρκεια αυτού το κινητό δεν μπορεί να ζητήσει διαπομπή. Συνήθως το χρονικό διάστημα που επιλέγεται είναι ίδιο με το χρόνο που χρησιμοποιείται για να προβλέψουμε την κίνηση ( $t_{prediction}$ ). Εδώ βέβαια θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, παρόλο που το κινητό «κλειδώνει», εάν κατά τη διάρκεια της πορείας του το λαμβανόμενο σήμα από αυτή την κυψέλη, για κάποιο λόγο πέσει κάτω από ένα κατώφλι (π.χ. -87dBm), τότε το κινητό «ξεκλειδώνει» από αυτή την κυψέλη και είναι ελεύθερο να πραγματοποιήσει διαπομπή αν κάτι τέτοιο καταστεί αναγκαίο. Αυτό γίνεται προκειμένου τα ποσοστά απορριπτέων κλήσεων λόγω κακής ποιότητας σήματος να μην αυξηθούν. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον αλγόριθμο PPA, μέσα από έναν μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων, παρουσιάζονται και μελετώνται στις παραγράφους από 5.3.1.1 έως 5.3.1.4. Ο αλγόριθμος PPA συγκρίνεται με την αλγόριθμο διαπομπής που υφίσταται σήμερα στο GSM [6] και με έναν αλγόριθμο τυχαίας επιλογής της κυψέλης που θα καλύψει το τερματικό. Η δεύτερη σύγκριση πραγματοποιείται προκειμένου να αποδειχθεί ότι η επιλογή της καλύτερης κυψέλης για κάλυψη στα πιθανά μονοπάτια (μέσα από τη διαδικασία «ψήφισης») είναι σημαντικός παράγοντας στον αλγόριθμο PPA.

### 4.3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΠΟΜΠΩΝ «ΠΡΟΣ ΤΑ ΣΥΝΟΡΑ» ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Ο αλγόριθμος PPA προσπαθεί να αποφύγει τις συνεχείς διαπομπές μεταξύ δύο κυψελών όταν οι χρήστες κινούνται σχεδόν παράλληλα στα σύνορα αυτών των κυψελών. Τι συμβαίνει όμως όταν ένας χρήστης κινείται σχεδόν κάθετα προς τα σύνορα δύο κυψελών; Σε αυτήν την περίπτωση είναι σχεδόν αναμενόμενη μια διαπομπή από τη μια κυψέλη στην άλλη (Σχήμα 4-18). Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό και ως διαπομπές προτεραιότητας (handover prioritization) ή η *αποφυγή απόρριψης της διαπομπής* με όσο το δυνατόν πιο έγκαιρη και έγκυρη προειδοποίηση του συστήματος.

#### 4.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΠΟΜΠΗΣ «ΠΡΟΣ ΤΑ ΣΥΝΟΡΑ»

Η διαπομπή «προς τα σύνορα», η οποία εξετάζεται σε αυτό το υποκεφάλαιο, δεν είναι τίποτε άλλο πέρα από το γνωστό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται σε πολλές έρευνες στη διεθνή βιβλιογραφία και καλείται γενικά «Δέσμευση πόρων για λογαριασμό της διαδικασίας διαπομπής» (Reservations Schemes for Handover purposes) ή «Προτεραιότητα στη διαπομπή» (Handover Prioritization). Μια τέτοια περίπτωση φαίνεται και στο επόμενο σχήμα. Στόχος όλων των μεθόδων, που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, είναι η κατάλληλη δέσμευση πόρου προς διαπομπή με αποτέλεσμα τη διασφάλιση της καλής ποιότητας υπηρεσιών που προσφέρει ένα δίκτυο.



Σχήμα 4-18: Κίνηση προς τα σύνορα δύο κυψελών[33]

Εκτεταμένη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί στο θέμα της διαπομπής προτεραιότητας στα ασύρματα κυψελοειδή συστήματα [34,35,36,37,38]. Δύο από τις σημαντικότερες μεθόδους

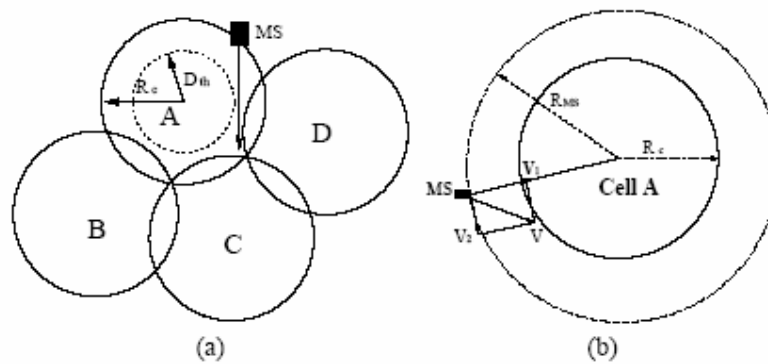
προτεραιοτήτων στη διαπομπή βασίζονται στη στρατηγική της ανάθεσης καναλιών [39,40]. Αυτές είναι τα κανάλια φρουράς και ο μηχανισμός ουρών (queuing).

Η στρατηγική καναλιών φρουράς μειώνει την πιθανότητα απόρριψης μιας διαπομπής με τη δέσμευση ενός συγκεκριμένου αριθμού καναλιών αποκλειστικά για τη διαπομπή. Οι νέες κλήσεις θα αποκλειστούν αν ο αριθμός των idle καναλιών είναι ίσος ή λιγότερος από τον αριθμό των καναλιών φρουράς, ενώ οι διαπομπές θα εξυπηρετούνται μέχρι όλα τα κανάλια φρουράς να είναι απασχολημένα. Η στρατηγική queuing είναι ένας τρόπος καθυστέρησης της διαπομπής λόγω προσωρινής μη διαθεσιμότητας των καναλιών. Το MSC τοποθετεί στην ουρά τις αιτήσεις για διαπομπής αντί την άρνηση πρόσβασης αν η κυψέλη στόχος δεν έχει πλέον idle κανάλια. Η στρατηγική queuing είναι δυνατή λόγω της περιοχής αλληλοεπικάλυψης μεταξύ των γειτονικών κυψελών όπου μπορεί να υπάρξει επικοινωνία και με παλαιά αλλά και με την νέα κυψέλη. Ο μέγιστος χρόνος queuing περιορίζεται από τον χρόνο παραμονής του κινητού στη συγκεκριμένη περιοχή αλληλεπίδρασης. Αν το φορτίο κίνησης είναι αυξημένο, ή ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος queuing είναι αρκετά μικρός, τότε είναι απίθανο μια διαπομπής που έχει τοποθετηθεί στην ουρά, να εξυπηρετηθεί. Αυτές οι δύο στρατηγικές μπορεί να συνδυαστούν για καλύτερη απόδοση συγκρινόμενα με τις μεμονωμένες στρατηγικές [36]. Παρ' όλες τις εκτεταμένες μελέτες που έχουν γίνει σε αυτό το θέμα, πολλά προβλήματα έχουν εντοπιστεί. Από τη στιγμή που η συμπεριφορά κίνησης του κάθε τερματικού διαφέρει και το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης που υπάρχει σε κάθε κυψέλη ποικίλει από στιγμή σε στιγμή, κάθε στατικό σχήμα δέσμευσης καναλιών δεν μπορεί να δουλέψει κατάλληλα για κάθε στιγμή. Προκειμένου, λοιπόν, να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, πολλά σχήματα δυναμικής δέσμευσης πόρων έχουν προταθεί [35,36,37,41]. Η ιδέα του *shadow cluster* που προτείνεται στο [41] επιτρέπει στο σταθμό βάσης κάθε κυψέλης να υπολογίσει τις πιθανότητες όπου ένα τερματικό θα είναι ενεργό σε άλλες κυψέλες στο μέλλον και έτσι προσαρμόζει τις απαιτήσεις για δέσμευση πόρων. Στο [35], ο αριθμός των καναλιών φρουράς σε κάθε κυψέλη ρυθμίζεται ανάλογα με την τρέχουσα εκτίμηση του ρυθμού άφιξης Διαπομπών που προκύπτει από τον τρέχοντα αριθμό ενεργών κλήσεων των γειτονικών κυψελών και τα μοτίβα κινητικότητας των τερματικών. Στο [36], τα κανάλια δεσμεύονται δυναμικά χρησιμοποιώντας τη πιθανότητα αιτήσεων (*request probability*) που καθορίζεται από τα μοτίβα κίνησης και το τρέχον φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Όλα αυτά τα σχήματα λαμβάνουν υπόψη τα μοτίβα κίνησης των τερματικών όταν πραγματοποιούν δεσμεύσεις καναλιών/πόρων. Αλλά τα μοτίβα

κίνησης που εξετάζονται σε αυτές τις μελέτες, δεν προσδιορίζουν την ανεξάρτητη συμπεριφορά κίνησης του κάθε τερματικού.

Στη παρούσα φάση αξίζει να αναφερθεί πως δύο από τα κυριότερα σχήματα δυναμικής δέσμευσης πόρων για διαπομπή το PCR (Predictive Channel Reservation) [37] και το ACR (Adaptive Channel Reservation) [42] αντιμετωπίζουν το θέμα της πρόβλεψης πιθανής διαπομπής για ένα τερματικό όπου βρίσκεται κοντά στα σύνορα δύο κυψελών.

Το μεν PCR χρησιμοποιεί ένα κατώφλι απόστασης (*threshold distance  $D_{th}$* ) ενώ το ACR κατώφλι χρόνου (*threshold time  $T_{th}$* ). Τόσο η μια όσο και η άλλη προσέγγιση έχουν κάποια μειονεκτήματα.



Σχήμα 4-19: Κατώφλι απόστασης στο PCR (a) και κατώφλι χρόνου στο ACR (b) [42]

Το κατώφλι απόστασης ορίζεται ως η ακτίνα ενός κύκλου με κέντρο τη κεραία μια κυψέλης και είναι μικρότερο από την περιοχή κάλυψης (Σχήμα 4-19). Η περιοχή μεταξύ των δύο κύκλων καλείται περιοχή δέσμευσης καναλιών. Όταν ένα τερματικό μπει σε αυτή την περιοχή μια κυψέλης από την εσωτερική πλευρά αυτής και την ίδια χρονική στιγμή κατευθύνεται προς μια καινούργια κυψέλη, ένα αίτημα δέσμευσης καναλιού στέλνεται στην κυψέλη στόχο. Το PCR σχήμα έχει όμως κάποια μειονεκτήματα. Αν υποθεθεί ότι ένα τερματικό MS κινείται μέσα στη περιοχή δέσμευσης του A και κατευθύνεται στο C (Σχήμα 4-19), παρόλο που το τερματικό βρίσκεται στην περιοχή δέσμευσης καναλιών της κυψέλης A, η απόσταση μέχρι την κυψέλη C είναι μεγάλη. Αυτό μπορεί να επιφέρει υπερβολική χρονική δέσμευση του καναλιού. Επίσης, ένα μειονέκτημα του PCR είναι ότι το κάθε τερματικό MS έχει το δικό του μοτίβο κίνησης και έτσι δεν είναι κατάλληλη η χρησιμοποίηση του σταθερού κατωφλιού απόστασης.

Στο σχήμα ACR, το κατώφλι χρόνου (*threshold time*) έχει σταθερή τιμή και ορίζεται βάσει της ταχύτητας, διεύθυνσης και της πληροφορίας θέσης του τερματικού. Έτσι αν θεωρηθεί ότι ο χρήστης κινείται με ταχύτητα  $V$  προς την κυψέλη  $A$  αυτή αναλύεται σε δύο διανύσματα  $V_1$  και  $V_2$ . Από το  $V_1$  και το  $R_{MS}$  (η απόσταση του τερματικού από το κέντρο της κυψέλης στόχου) εκτιμάται ο χρόνος  $T_p$  προς την κυψέλη. Αν αυτός ο χρόνος είναι μεγαλύτερος του *threshold time* τότε το τερματικό δεν είναι κοντά στο να ζητήσει διαπομπή. Στην αντίθετη περίπτωση, το τερματικό πλησιάζει και έτσι ενεργοποιείται η δέσμευση καναλιού. Τα μειονεκτήματα του ACR είναι ότι θεωρεί σταθερή την ταχύτητα του χρήστη (τερματικού). Και τα δύο σχήματα, επίσης, θεωρούν κυκλικές ομογενοποιημένες κυψέλες πράγμα που απέχει πολύ από την πραγματικότητα.

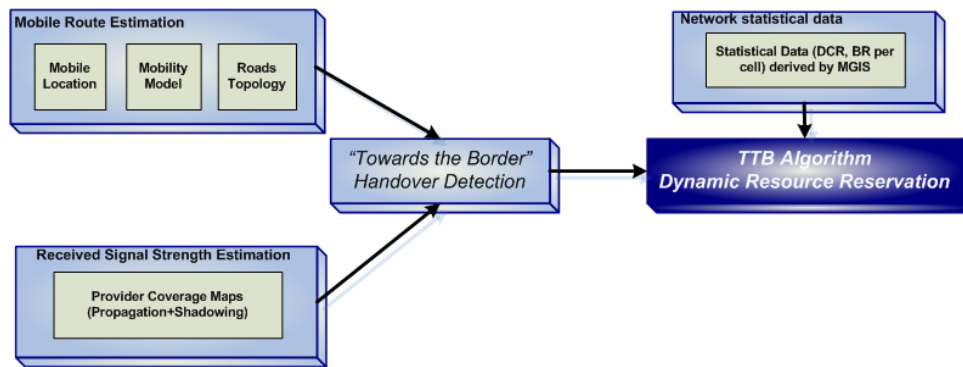
Το σχήμα που προτείνεται εδώ, στα πλαίσια του αλγορίθμου “Towards The Border”, χρησιμοποιεί τόσο ασαφή όσο και ανομοιογενή τα σύνορα κυψελών και επιπλέον προβλέπει μεταβολή της ταχύτητας του χρήστη βάσει μιας κατανομής. Επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των δύο προηγούμενων σχημάτων δίνεται από το γεγονός ότι η τοπολογία των δρόμων είναι γνωστή και επομένως η εκτίμηση της θέσης και του χρόνου που θα ζητηθεί η διαπομπή γίνονται με καλύτερη ακρίβεια.

Η προτεινόμενη μέθοδος, που ακολουθεί, αξιολογήθηκε και αποτιμήθηκε (5.3.1.5-5.3.1.6) σε σύγκριση με δύο από αυτές τις στρατηγικές που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Τη στρατηγική ανάθεσης καναλιών και την PCR μέθοδο.

#### 4.3.2 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ “TOWARDS THE BORDERS”

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μέθοδος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος, που μελετάται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως εξής: «**Δεδομένης της προς εξυπηρέτηση περιοχής, της θέσης του χρήστη, του μοντέλου κινητικότητας και της τοπολογίας δρόμων (προβλεπόμενης κίνησης κάθετα προς τα σύνορα δύο κυψελών), της εκτιμώμενης λαμβανόμενης ισχύς σήματος και των διαθέσιμων πόρων στην κυψέλη στόχο, να βρεθεί μια εφικτή λύση στο πρόβλημα προτεραιοτήτων στη διαδικασία διαπομπής**».

Η προτεινόμενη μέθοδος, η οποία αφορά τις διαπομπές «Προς Τα Σύνορα» και παρουσιάζεται σε αυτό το υποκεφάλαιο παριστάνεται γραφικά στο Σχήμα 4-20.



Σχήμα 4-20: Το πρόβλημα διαπομπής «Προς τα σύνορα»

Στη συνέχεια προβαίνουμε στην εκτενή και λεπτομερή παρουσίασή της παραπάνω μεθόδου. Κύριο δομικό στοιχείο αυτής της μεθόδου είναι ο αλγόριθμος **TTB (Towards The Border)**, ο οποίος βασίζεται και αυτός, όπως και ο PPA, σε μια ομάδα παραμέτρων εισόδου, και έχει σα στόχο την έγκαιρη, έγκυρη, δυναμική δέσμευση πόρων στην κυψέλη στόχο.

Η εκτίμηση της μελλοντικής κίνησης του κινητού τερματικού έχει και σε αυτόν τον αλγόριθμο πρωτεύοντα ρόλο και εξέχουσα σημασία. Αυτές οι πρόσθετες πληροφορίες θέσης και κατεύθυνσης του χρήστη όπως και η τοπολογία της περιοχής δίνουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην παρούσα μέθοδο. Το πλεονέκτημα είναι σε ισχύ, αφού η ανίχνευση μιας διαπομπής είναι εφικτή σε ένα περιβάλλον πραγματικό, με ασαφή και όχι κανονικοποιημένα εξαγωνικά όρια κυψελών. Είναι εφικτή μιας και τα δεδομένα, που προέρχονται από τα αρχεία ραδιοκάλυψη, μαζί με τις πιθανές διαδρομές του τερματικού δίνουν μια καλή πρόβλεψη ότι ένα τερματικό κατευθύνεται προς τα σύνορα δύο κυψελών.

Στη φάση ορισμού του προβλήματος ανήκουν τα συστατικά: α) πρόβλεψης κίνησης (mobility prediction), β) χαρακτηριστικών διάδοσης (propagations characteristics) και γ) ανίχνευσης των περιπτώσεων διαπομπών «Προς τα σύνορα». Έπεται η λεπτομερής περιγραφή των παραπάνω συστατικών του προβλήματος.

#### 4.3.2.1 Εκτίμηση διαδρομής κινητού (Mobile Route Estimation)

Το δομικό στοιχείο αυτό περιέχει ακριβώς τα ίδια στοιχεία που περιλαμβάνονται και στο δομικό στοιχείο της μεθόδου αντιμετώπισης της διαπομπής ring-rong. Οι μόνες διαφορές έχουν να κάνουν με τις εξαγόμενες πιθανότητες στα πιθανά μονοπάτια του χρήστη μιας και στην παρούσα μέθοδο αυτό που ενδιαφέρει είναι μόνο η πιθανότητα της τελικής θέσης του χρήστη. Λεπτομέρειες ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.



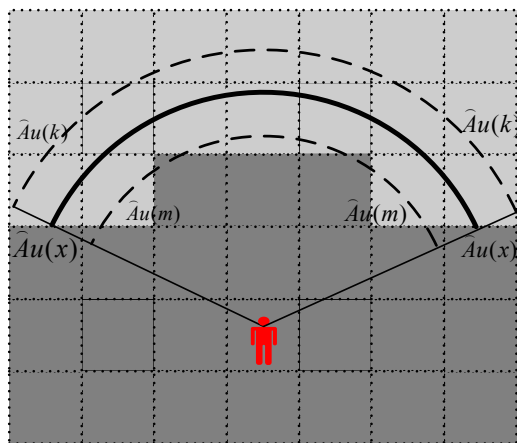
#### 4.3.2.1.1 Θέση του τερματικού

Η θέση του τερματικού προσδιορίζεται όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.3.1.1.

#### 4.3.2.1.2 Μοντέλο κίνησης και ενσωμάτωση της τοπολογίας των δρόμων

Και στην παρούσα μέθοδο το μοντέλο κίνησης είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε και στην περίπτωση της μεθόδου PPA (4.2.3.1.2). Επιπλέον και η ενσωμάτωση της τοπολογίας των δρόμων πραγματοποιείται όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.2.3.1.3.

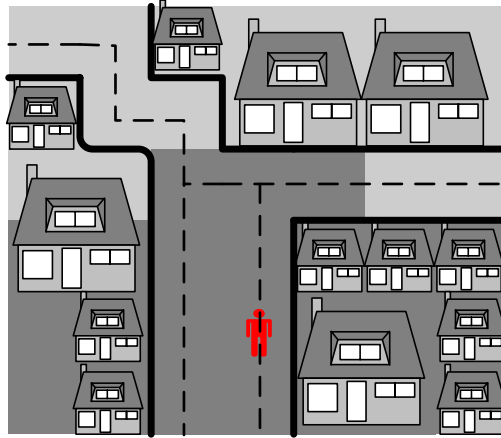
Η προσέγγιση για την εκτίμηση της μελλοντικής κίνησης του χρήστη δε διαφέρει από την περίπτωση της μεθόδου PPA παρά μόνο στο απαιτούμενο τελικό αποτέλεσμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση διαπομπής «Προς τα σύνορα» αυτό που ενδιαφέρει τη μέθοδο είναι οι πιθανότητες για τις τελικές θέσεις (pixels) του χρήστη μετά από χρόνο  $T_{prediction}$  και όχι απαραίτητα οι πιθανότητες των ενδιάμεσων pixel της κίνησης του. Το επόμενο σχήμα παρουσιάζει μια θεωρητική και υποθετική περίπτωση εκτίμησης της κίνησης του χρήστη.



Σχήμα 4-21: Θεωρητική πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη με δεδομένη τη μέση τιμή  $u(x) = \mu_{\bar{A}}$  της κανονικά κατανεμημένης ταχύτητας του

Αν υποτεθεί ότι, η κίνηση του χρήστη επιτρέπεται σε όλα τα pixel, πριν την ενσωμάτωση της τοπολογίας των δρόμων, και μάλιστα με δεδομένη τη σταθερή ταχύτητα αυτού και με υποθετική ευθύγραμμη διεύθυνση, τότε οι πιθανές τελικές θέσεις του χρήστη, βάσει και των πιθανοτήτων  $P[\phi_k]$ , διαγράφονται από το τόξο  $\hat{A}u(x)$ . Αν όμως υποτεθεί ότι, η κατεύθυνση του μεταβάλλεται με τέτοιο τρόπο που ακολουθεί την κατανομή που παρουσιάστηκε στην

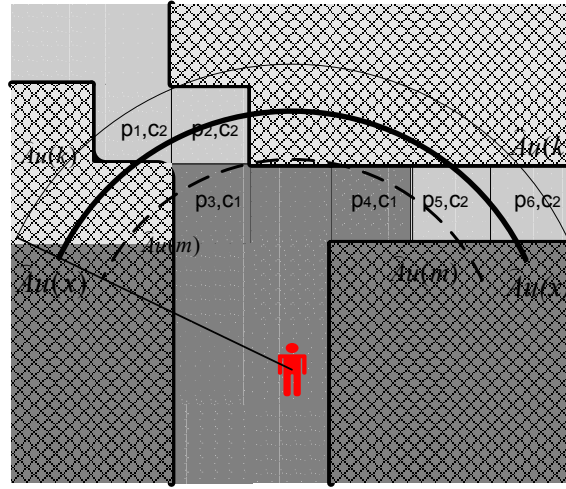
παράγραφο 4.2.3.1.2 τότε ο χρήστης θεωρείται αρκετά πιθανό να βρεθεί στην περιοχή που ορίζεται μεταξύ των  $\hat{A}u(m)$  και  $\hat{A}u(k)$ .



*Σχήμα 4-22: Αναπροσαρμοσμένη εκτίμηση της κίνησης του χρήστη βάσει της δεδομένης τοπολογίας των δρόμων*

Σε αυτή τη περιοχή ενδιαφέροντος ενσωματώνεται η τοπολογία των δρόμων (Σχήμα 4-22).

Ορίζεται  $N(p,c)$  ως το σύνολο εκείνων των pixels που περιέχονται στην περιοχή όπου ορίζεται από τα τόξα  $\hat{A}u(m)$ ,  $\hat{A}u(k)$  και  $N'(p,c)$  το σύνολο εκείνων των pixels όπου είναι πιθανό να βρεθεί ο χρήστης λαμβάνοντας υπόψη και την τοπολογία των δρόμων (τα pixels που επιτρέπεται η κίνηση). Ο συνδυασμός των σχημάτων Σχήμα 4-21 και Σχήμα 4-22 οδηγεί στο Σχήμα 4-23 όπου η θεωρητική εκτίμηση της θέσης του χρήστη και η τοπολογία των δρόμων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα πιθανά pixels όπου ο χρήστη θα βρεθεί μετά από χρόνο  $T_{prediction}$  είναι τα  $(p_1, c_2)$ ,  $(p_2, c_2)$ ,  $(p_3, c_1)$ ,  $(p_4, c_1)$ ,  $(p_5, c_2)$ ,  $(p_6, c_2)$ , το κάθε pixel με συγκεκριμένη πιθανότητα, που ορίζουν και το σύνολο  $N'(p,c)$  στη συγκεκριμένη περίπτωση.



Σχήμα 4-23: Εκτίμηση πιθανής διαπομπής «Προς τα σύνορα»

Η κυψέλη στόχος ορίζεται ως  $c_{target}$  και η κυψέλη που εξυπηρετεί  $c_{serving}$ . Το  $c_x$  στη προκειμένη περίπτωση συμβολίζει την κυρίαρχη κυψέλη (dominant cell) στο συγκεκριμένο pixel  $p_x$  και μάλιστα για τη συγκεκριμένη περίπτωση,  $c_2 = c_{target}$  και  $c_1 = c_{serving}$ . Η κυρίαρχη κυψέλη στο συγκεκριμένο pixel προκύπτει από την τιμή των τιμών  $R_x(p, c) \forall (p, c) \in N'(p, c)$  όπως αυτές προκύπτουν σα δεδομένα εισόδου από τα αρχεία με την ραδιοκάλυψη. Δεδομένων, λοιπόν, των πιθανοτήτων  $P[N'(p, c_{target})]$  και  $P[N'(p, c_{serving})]$ , όπως αυτές προέκυψαν από το μοντέλο κίνησης και τη μήτρα πιθανοτήτων που αυτό χρησιμοποιεί, η πιθανότητα μετάβασης ενός τερματικού από την κυψέλη  $c_{serving}$  στην κυψέλη  $c_{target}$  μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο  $T_{prediction}$  ορίζεται ως εξής:

$$P_{c_{serving}, c_{target}}(T_{prediction}) = \frac{P[N'(p, c_{target})]}{P[N'(p, c_{target})] + P[N'(p, c_{serving})]} \quad (4-10),$$

#### 4.3.2.2 Πρόβλεψη Διαπομπών (Handover Prediction)

Ένα επόμενο βήμα, έπειτα από την εκτίμηση της κίνησης του χρήστη, την εξαγωγή πιθανοτήτων για διαπομπή «Προς τα σύνορα» βάσει και της εκτίμησης των λαμβανόμενων σημάτων σε κάθε σημείο της περιοχής όπως αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2.3.2, είναι η ανίχνευση μιας μελλοντικής διαπομπής «Προς τα σύνορα».

Προκειμένου να αποφευχθεί η επιβάρυνση του συστήματος, ο αλγόριθμος TTB, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω, σκανδαλίζεται μόνο εάν  $P_{c_{serving}, c_{target}}(T_{prediction}) > 0,65$  και

$$Rx(p_x, c_{target}) = Rx(p_x, c_{serving}) + HO_{margin} \quad \forall (p, c) \in N'(p, c_{target}) \quad (4-11),$$

Σε αυτή την περίπτωση, η ανίχνευση πιθανού προβλήματος διαπομπής «Προς τα σύνορα» κρίνεται επιτυχής και ο αλγόριθμος TTB σκανδαλίζεται.

#### 4.3.2.3 TTB Αλγόριθμος

Η προσέγγιση του παρόντος αλγορίθμου βασίζεται, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην πρόβλεψη της κίνησης του κάθε χρήστη ξεχωριστά. Στόχος αυτής της διαδικασίας, είναι ο κατά προσέγγιση υπολογισμός της πιθανότητας  $P_{c_{serving}, c_{target}}(T_{prediction})$  για κάθε τερματικό, όπου αρχικά καλύπτεται από την κυψέλη  $c_{serving}$  και μέσα σε χρόνο  $T_{prediction}$  θα μεταβεί στην κυψέλη  $c_{target}$ .

Ο αλγόριθμος TTB βασίζεται κυρίως όμως στην αποτελεσματική δέσμευση πόρων (καναλιών) προς διαπομπή. Με δεδομένη την πιθανότητα  $P_{c_{serving}, c_{target}}(T_{prediction})$ , για ένα τερματικό  $u_i$ , το απαραίτητο εύρος πόρων  $B_H(c_{target}, T_{prediction}, u_i)$  που δεσμεύεται για διαπομπή στην κυψέλη  $c_{target}$  είναι  $B_H(c_{target}, T_{prediction}, u_i) = 1$  αφού αντιστοιχεί σε ένα κανάλι κίνησης *THC*.

Εδώ θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι, ο αλγόριθμος TTB διαλέγει σαν χρόνο δέσμευσης του καναλιού ίδιο με το χρόνο πρόβλεψης της κίνησης, για αυτό και χρησιμοποιείται το  $T_{prediction}$  ως ο χρόνος δέσμευσης του καναλιού.

Το συνολικό εύρος πόρων που δεσμεύεται στην κυψέλη  $c_{target}$  για τη διαδικασία διαπομπής υπολογίζεται ως:

$$B_H(c_{target}, T_{prediction}) = \sum_{\forall u_i \in U_H} B_H(c_{target}, T_{prediction}, u_i) \quad (4-12),$$

όπου το  $U_H$  είναι το σύνολο των χρηστών που κινούνται «Προς τα σύνορα» του  $c_{serving} \rightarrow c_{target}$ . Έτσι το διαθέσιμο εύρος της κυψέλης  $c_{target}$  μετά τις δεσμεύσεις θα είναι :

$$B_f = B - B_H(c_{target}, T_{prediction}) \quad (4-13),$$

όπου  $B$  το συνολικό εύρος διαθέσιμων πόρων της κυψέλης  $c_{target}$ . Η δέσμευση των καναλιών δεν μπορεί να ξεπεράσει ένα μέγιστο αριθμό  $B_{H-MAX}(c_{target}, T_{prediction})$ . Παρακάτω θα περιγραφεί πως αυτό το μέγεθος χρησιμοποιείται για τη δυναμική αναπροσαρμογή των πόρων προς διαπομπή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναλυθεί και ο έλεγχος αποδοχής νέων κλήσεων σε σχέση με τους δεσμευμένους πόρους για διαπομπή. Όταν ένα τερματικό  $u_j$  ξεκινήσει μια καινούργια κλήση στην κυψέλη  $c_{target}$  και απαιτεί εύρος  $B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}, u_j) = 1$ , αφού μιλάμε για κανάλι  $TCH$ , τότε ο έλεγχος αποδοχής κλήσης θα αποφασίσει αν τα υπάρχοντα ελεύθερα κανάλια μπορούν εξυπηρετήσουν την νέα αυτή κλήση. Έτσι γίνεται έλεγχος αν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια στην κυψέλη. Ο έλεγχος μπορεί να περιγραφεί όπως

$$Check(c_{target}, T_{prediction}, u_j) = \begin{cases} 1, & \text{εάν } B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}, u_j) \leq B_f \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (4-14),$$

Το συνολικό εύρος πόρων που προορίζεται στην κυψέλη  $c_{target}$  για τις νέες κλήσεις υπολογίζεται ως:

$$B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}) = \sum_{\forall u_i \in U_{NC}} Check(c_{target}, T_{prediction}, u_j) \cdot B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}, u_i) \quad (4-15),$$

όπου το  $U_{NC}$  είναι το σύνολο των χρηστών που ζητά να εγκαθιδρύσει μια νέα κλήση στην κυψέλη  $c_{target}$ . Τέλος, εάν  $B_{ON}(c_{target}, T_{prediction})$  το σύνολο των πόρων (καναλιών) που καταλαμβάνουν οι τρέχουσες κλήσεις (ONgoing calls) στο διάστημα  $T_{prediction}$  τότε θα πρέπει να ισχύει

$$B_{ON}(c_{target}, T_{prediction}) + B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}) \leq B - B_H(c_{target}, T_{prediction}) \quad (4-16),$$

Μια καινοτόμα προσέγγιση του αλγορίθμου ΤΤΒ είναι η δυναμική δέσμευση πόρων προς διαπομπή πριν ο έλεγχος αποδοχής νέων κλήσεων λάβει χώρα. Η δυναμική αυτή δέσμευση έχει σαν πρωταρχικό στόχο το καλύτερο trade-off μεταξύ του ρυθμού αποτυχημένων διαπομπών και του ρυθμού αποκλεισμού νέων κλήσεων, κάτι που απασχολεί όλες τις παρόμοιες έρευνες.

Για το σκοπό αυτό ο αλγόριθμος TTB χρησιμοποιεί δύο κατώφλια που παριστάνουν ποσοστά διαθέσιμου εύρους προς διαπομπή σε σχέση με το συνολικό εύρος. Τα κατώφλια αυτά είναι το χαμηλό (*low threshold*) και υψηλό (*high threshold*). Το χαμηλό κατώφλι ουσιαστικά αναπαριστά ένα αρχικό επιτρεπτό μέγιστο κλάσμα του συνολικού εύρους, που είναι διαθέσιμο προς διαπομπή.

$$low\ threshold = \frac{B_{H-MAX}(c_{target}, T_{prediction})}{B} \quad (4-17),$$

Εδώ θα πρέπει να τονισθεί ότι, το διαθέσιμο προς διαπομπή εύρος δεν είναι στατικό, όπως στην στρατηγική ανάθεσης καναλιών, και μπορεί να κυμαίνεται σε αρχικό στάδιο από 0 μέχρι *low threshold* (αρχικό στάδιο γιατί αργότερα ακολουθεί ανάλυση πως μπορεί να φτάσει και το *high threshold*).

Στην περίπτωση που το δίκτυο αντιμετωπίσει μια κατάσταση, που πολλά τερματικά θελήσουν να δεσμεύσουν πόρους προς διαπομπή, το *low threshold* επιτρέπει την αποφυγή δραματικής αύξησης του ποσοστού αποκλεισμού νέων κλήσεων μιας και το διαθέσιμο προς διαπομπή εύρος είναι περιορισμένο. Από την άλλη, όμως, στην περίπτωση που αρκετοί χρήστες κατευθύνονται προς μια κυψέλη και παράλληλα αυτή η κυψέλη δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα αποκλεισμού νέων κλήσεων, μιας και ο αριθμός νέων κλήσεων είναι μικρός σε σχέση με τον αριθμό διαπομπών προς αυτή, θα ήταν απαραίτητη η αύξηση του *low threshold*. Για το σκοπό αυτό εισήχθη και η παράμετρος του υψηλού κατωφλίου *high threshold*, που ουσιαστικά είναι πλέον το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό διαθέσιμων πόρων προς διαπομπή σε σχέση πάντα με το συνολικό. Η αναπροσαρμογή του διαθέσιμου ποσοστού προς διαπομπή γίνεται πλέον βάσει των συνθηκών τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Αν λοιπόν οριστεί ως  $P_{NC}$  η πιθανότητα αποκλεισμού νέας κλήσης στην κυψέλη  $c_{target}$  και ως  $P_{NC, target}$  η επιθυμητή από το δίκτυο τιμή για τη συγκεκριμένη κυψέλη τότε το αναπροσαρμοσμένο δεσμευμένο εύρος προς διαπομπή σε κάθε βήμα θα υπολογίζεται ως εξής:

$$B_{H-MAX}(c_{target}, T_{prediction}) = \begin{cases} B_{H-MAX}(c_{target}, T_{prediction}) + a, & P_{NC} < P_{NC, target} \\ B_{H-MAX}(c_{target}, T_{prediction}) - a, & P_{NC} \geq P_{NC, target} \end{cases} \quad (4-18),$$

όπου το  $a$  είναι μια παράμετρος σχεδιασμού του δικτύου και αναφέρεται σε εύρος πόρων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση  $a = 1$  αφού πάντα αναφέρεται σε κανάλια GSM. Οι

παράμετροι  $P_{NC, target}$  ορίζονται ανά κυψέλη και συνήθως προέρχονται από ιστορικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη περιοχή. Οι πιθανότητες  $P_{NC}$  για κάθε κυψέλη ουσιαστικά αφορούν τιμές σχεδόν πραγματικού χρόνου. Έτσι υποτίθεται ότι αυτές οι τιμές για κάθε κυψέλη είναι γνωστές μέσα από ένα σύστημα «παρακολούθησης» (monitoring) του δικτύου, όπως ο MGIS (2.4.1).

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται, όπως αναφέρθηκε, καλύτερα το λεγόμενο trade-off μεταξύ του ρυθμού αποτυχημένων διαπομπών και του ρυθμού αποκλεισμού νέων κλήσεων. Κύριος στόχος του TTB αλγορίθμου είναι η μείωση του ρυθμού των αποτυχημένων διαπομπών αλλά και η συγκράτηση του ρυθμού αποκλεισμού νέων κλήσεων. Βαρύτητα βέβαια δίνεται στο πρώτο μιας και θεωρείται ότι αν θα έπρεπε το δίκτυο να επιλέξει μεταξύ μιας απορριπτέας τρέχουσας κλήσης και ενός αποκλεισμού νέας θα διάλεγε το δεύτερο λόγω της δυσανεξίας που το πρώτο επιφέρει στον καταναλωτή.

Τέλος, η δέσμευση ενός καναλιού μπορεί να ακυρωθεί σε ένα επόμενο στάδιο μέσα στο  $T_{prediction}$ . Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω ότι, το τερματικό μπορεί να αλλάξει δραματικά την διεύθυνση του, να μειώσει πολύ την ταχύτητα του και για αρκετό χρόνο ή η κλήση να τερματιστεί πριν αυτό φθάσει την κυψέλη στόχο. Σε αυτή την περίπτωση, το κανάλι θα αποδεσμευτεί. Η συχνότητα τέτοιων ανεπιτυχών δεσμεύσεων οφείλεται κυρίως στο μοτίβο κίνησης του χρήστη και στην ακρίβεια της πρόβλεψης για την μελλοντική του κίνηση βάσει και της τοπολογίας των δρόμων.

Ο παραπάνω αλγόριθμος εφαρμόζεται για κάθε ένα χρήστη όπου η πιθανότητα  $P_{c_{serving}, c_{target}}(T_{prediction})$  ξεπερνά το προκαθορισμένο κατώφλι και ο πόρος προς δέσμευση προστίθεται και αυτός στο  $B_H(c_{target}, T_{prediction})$  με αποτέλεσμα την επιρροή της σχέσης 4-16 και επομένως των ελεύθερων πόρων για νέες κλήσεις.

Η υπολογιστική επιβάρυνση του αλγορίθμου δεν είναι υψηλή και έτσι δεν πρέπει να θεωρηθεί σαν μειονέκτημα του σχήματος. Αυτό συμβαίνει κυρίως, γιατί οι διάφοροι υπολογισμοί εκτελούνται από τα πολύ περισσότερο ισχυρά BSs (Base Stations) από ότι τα κινητά τερματικά. Η επιβάρυνση στη σηματοδότηση τους συστήματος, που προκαλείται από τον προτεινόμενο αλγόριθμο, δημιουργείται κυρίως μέσω της ανταλλαγής δεδομένων ενημέρωσης της θέσης του τερματικού όπου στέλνονται από αυτό στο BS. Αυτό βέβαια βασίζεται στην υπόθεση ότι, το τερματικό αναλαμβάνει τον καθορισμό της θέσης του (π.χ GPS). Αν χρησιμοποιηθεί τεχνολογία εντοπισμού που βασίζεται στο δίκτυο τότε αυτή η

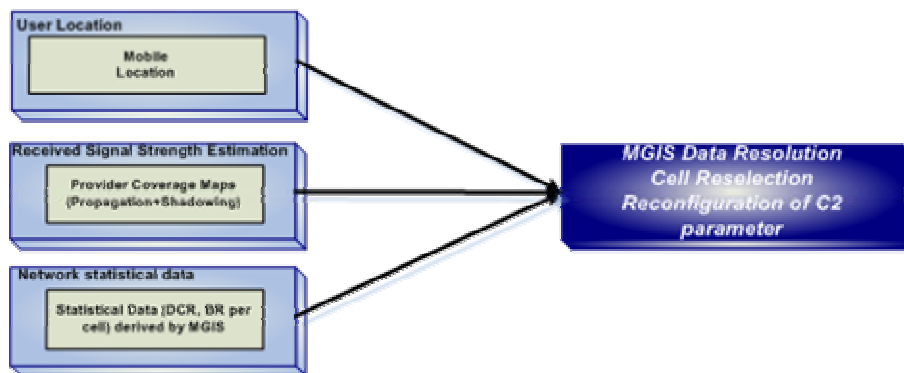
επιπλέον σηματοδοσία εξαλείφεται. Στο μέρος του δικτύου, η επιβάρυνση στη σηματοδοσία επιφέρεται από τις αιτήσεις δέσμευσης και ακύρωσης. Ο βαθμός της επιβάρυνσης εξαρτάται αρκετά από τη συχνότητα κάθε τύπου αιτήσεως και της ποιότητας (ακρίβειας) των διαφόρων προβλέψεων. Παρόλη την επιβάρυνση αυτή, δεν θεωρείται ότι το προτεινόμενο σχήμα επιβαρύνεται σε αρνητικό βαθμό. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τον αλγόριθμο TTB, μέσα από έναν μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων, παρουσιάζονται και μελετώνται στις παραγράφους από 5.3.1.5 έως 5.3.1.6

#### **4.4 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ - HOT SPOTS**

Όπως και στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις έτσι θα και σε αυτή θα επιχειρηθεί η θεωρητική περιγραφή ενός άλλου προβλήματος που εμφανίζεται στα ασύρματα δίκτυα και είναι αυτό των περιοχών συμφόρησης ή περιοχές υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου ή αλλιώς hot-spots. Αυτό το πρόβλημα αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής, και εκφράζεται ως εξής: **«Δεδομένης της προς εξυπηρέτηση περιοχής, της θέσης των τερματικών, των συνθηκών διάδοσης, των διαφόρων παραμέτρων απόδοσης των δικτύων, να βρεθεί μια εφικτή λύση αποφυγής εγκαθίδρυσης νέας κλήσης και διαπομπής σε περιοχές υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου ή αλλιώς hotspots»**. Το εφικτό της λύσης εξασφαλίζεται από την υλοποιησιμότητα των απαιτήσεων και τη συμβατότητα με τις δυνατότητες του τεχνολογικού εξοπλισμού.

Το πρόβλημα που αφορά την αποφυγή εγκαθίδρυσης νέας κλήσης και διαπομπής σε περιοχές υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου παριστάνεται στο Σχήμα 4-3, αποτελεί το αντικείμενο μελέτης του υποκεφαλαίου αυτού και στη συνέχεια προβαίνουμε στην εκτενή και λεπτομερή παρουσίασή του και βέβαια, στη μαθηματική περιγραφή και επίλυσή του.





Σχήμα 4-24: Το πρόβλημα αποσυμφόρησης περιοχών hotspots

Συγκεκριμένα, για την επίλυση του προβλήματος προτείνουμε έναν αποδοτικό αλγόριθμο, τον **MDR (MGIS Data Resolution)**, ο οποίος βασίζεται επάνω σε μια ομάδα παραμέτρων εισόδου κυρίως του MGIS όπου είναι και το βασικό συστατικό για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα χαρακτηριστικά διάδοσης σημάτων στη περιοχή ενδιαφέροντος όσο και στην ανάλυση παραμέτρων για την απόδοση του δικτύου όπως οι ρυθμοί αποκλεισμού και απορρίψεων κλήσεων. Τέλος, αποτελέσματα που εξάγονται μέσω εργαλείων προσομοίωσης αποδεικνύουν την εγκυρότητα και αξιοπιστία του MDR.

Γενικά, το αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού είναι σχετικό με ποικίλες περιοχές έρευνας όπως αυτό των περιοχών υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου, αλλιώς hotspots. Αυτές οι περιοχές εμφανίζονται όταν υπάρχει συνωστισμός για τους πόρους του συστήματος σε κάποια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και οι διαθέσιμοι πόροι δεν είναι αρκετοί για να εξυπηρετήσουν τη συνολική ζήτηση από τους χρήστες. Αυτό θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει στο μπλοκάρισμα και την διακοπή των καινούργιων και τρεχόντων κλήσεων αντίστοιχα. Αναφερόμαστε σε μια τέτοια περιοχή στο δίκτυο ως hotspot. Σημειώστε ότι αυτό είναι διαφορετικό από την έννοια των hotspots *WiFi* που είναι περιοχές όπου η ασύρματη συνδεσιμότητα είναι διαθέσιμη [12].

Οι ζώνες υψηλής κίνησης (hotspots) εμφανίζονται λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής φορτίου στα διαφορετικά μέρη ενός δικτύου. Οι περισσότεροι ερευνητές υποθέτουν ομοιογενή κυκλοφορία, που δεν οδηγεί σε μια δυσαναλογία στο γενικότερο φορτίο και κανένα μέρος του δικτύου δεν φορτώνεται υπερβολικά έναντι άλλων μερών. Έτσι είναι αδύνατη η δημιουργία περιοχών υψηλής κίνησης σε αυτές τις μελέτες. Εντούτοις, στα πραγματικά δίκτυα, η κυκλοφορία είναι περισσότερο ετερογενής από ομοιογενής και

υπάρχει μια πεπερασμένη πιθανότητα για ύπαρξη ζωνών υψηλής κίνησης. Αυτό έχει αναγνωρισθεί από την ερευνητική κοινότητα και έχουν υπάρξει μερικές μελέτες που εξετάζουν τα hotspots στα πλαίσια της εξισορρόπησης φορτίων ή του ελέγχου συμφόρησης στα ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα ([43],[44],[45],[46],[47]).

Ο λόγος για τον οποίο παραθέτουμε το πρόβλημα της ύπαρξης ζωνών υψηλής κίνησης είναι η στοιχειοθέτηση της κρισιμότητας αυτού του προβλήματος πραγματικού δικτύου και πως η πληροφορία για την ύπαρξη μιας τέτοιας περιοχής σε συνδυασμό με την πληροφορία θέσης του χρήστη θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την βελτίωση της «προβληματικής» περιοχής αλλά και γενικότερα του δικτύου.

Περιγράφουμε τώρα κάποιες έρευνες που, είναι άμεσα συσχετιζόμενες με το συγκεκριμένο ζήτημα της διαμόρφωσης και αντιμετώπισης ζωνών υψηλής κίνησης.

Ο Das και λοιποί [43] συζητούν τα hotspots στα πλαίσια της εξισορρόπησης φορτίου στα κυψελοειδή δίκτυα. Καθορίζουν τη ζώνη υψηλής κίνησης ως *περιοχή που αποτελείται από πολλαπλάσιες παρακείμενες κυψέλες υψηλής κίνησης* όπου κυψέλη υψηλής κίνησης ορίζεται εκείνη όπου η *απαίτηση φορτίου υπερβαίνει μια ορισμένη τιμή κατωφλιών*. Στη συγκεκριμένη έρευνα, πειραματίζονται με την αλλαγή του αριθμού «θερμών» κυψελών σε μια δυναμική ζώνη υψηλής κίνησης. Οι δυναμικές ζώνες υψηλής κίνησης συζητούνται υπό μορφή συμμετρικού φορτίου στο [44]. Εδώ οι ερευνητές συζητούν πώς η κατανομή φορτίων μπορεί να είναι ευεργετική όταν τα φορτία στις παρακείμενες κυψέλες δεν είναι τα ίδια.

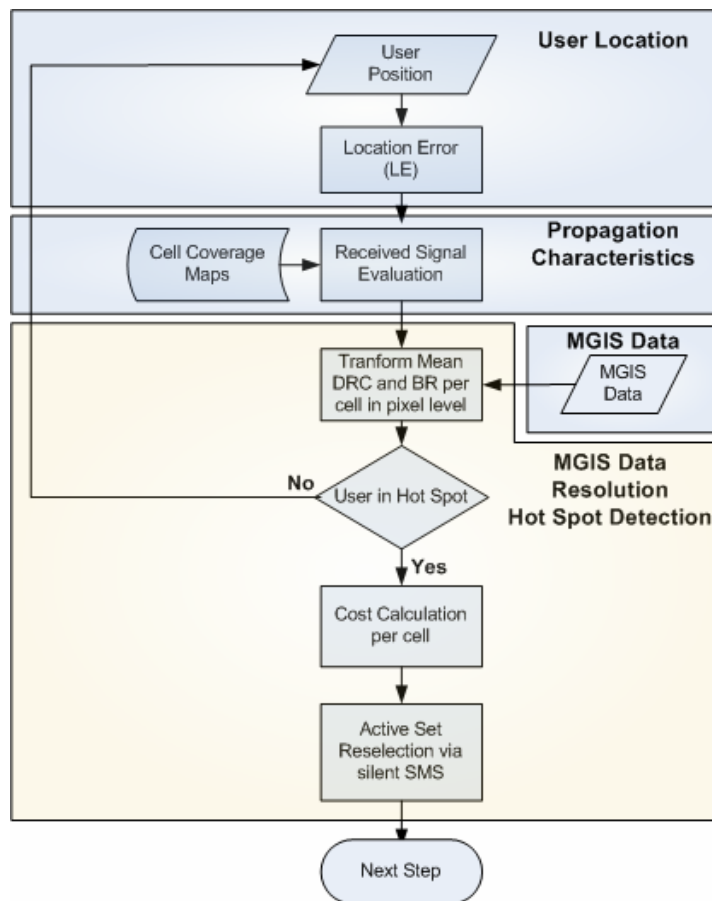
Επίσης, ο Wu και λοιποί [45],[46] συζητούν το πρόβλημα των hotspots στα κυψελοειδή δίκτυα CDMA και προτείνουν μια tilted μέθοδο κεραιών για να αυξήσουν τη χωρητικότητα του συνολικού δικτύου. Προσδιορίζουν πως η θέση μια κυψέλης υψηλής κίνησης θα μπορούσε να αλλάξει ανάλογα με τις μετακινήσεις του κινητού χρήστη. Στη συγκεκριμένη μελέτη έχει δοθεί σαν παράδειγμα υπερφόρτωσης δικτύου που προκλήθηκε από την αυξημένη κίνηση σε ώρα υψηλού φορτίου. Προκειμένου λοιπόν να αναπαραστήσουν ένα hotspot, αυξάνουν την κίνηση στις δυναμικές ζώνες υψηλής κίνησης από 1,1 έως 2,7 φορές σε σχέση με την ομαλή κίνηση.

Από την άλλη ο Yum και οι άλλοι στο [47] καθορίζουν μια ζώνη υψηλής κίνησης εκείνη την κυψέλη που έχει *φορτίο κίνησης ουσιαστικά μεγαλύτερο από το φορτίο αρχικού σχεδιασμού*. Μελετούν την επίδραση της αποσυμφόρησης σε μια ενιαία κυψέλη υψηλής κίνησης με τη χρησιμοποίηση της τεχνικής τεμαχισμού (Cell Sectoring) και της επικάλυψης κυψελών.

Επίσης αναφέρουν ότι τα hotspots μπορεί να είναι μόνιμα λόγω κακού σχεδιασμού του δικτύου ή προσωρινά λόγω απρόοπτων συμβάντων. Στην προκειμένη περίπτωση αναπαριστούν το hotspot με την υπόθεση ότι το φορτίο σε κυψέλη υψηλής κίνησης είναι 66 Erlangs ενώ το ονομαστικό μέγιστο φορτίο είναι 47 Erlangs.

#### 4.4.1 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την παράγραφο εξετάζεται λεπτομερώς το πρόβλημα της αποσυμφόρησης περιοχών υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Τα στοιχεία που θα καθοριστούν λεπτομερέστερα είναι οι παράμετροι εισόδου, με τις σχετικές παραδοχές, ο σκοπός και οι περιορισμοί του προβλήματος. Όπως έχει ήδη εκφραστεί, στα δεδομένα εισόδου παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση του χρήστη, τις χαρακτηριστικά διάδοσης στη συγκεκριμένη θέση και τα προερχόμενα από το MGIS δεδομένα, όπως οι ρυθμοί αποκλεισμού και απορρίψεων κλήσεων (*Block call Rate - BR, Drop Call Rate - DCR*). Το διάγραμμα ροής που περιγράφει συνοπτικά το πρόβλημα και τα βήματα αντιμετώπισης του φαίνεται στο Σχήμα 4-25.



Σχήμα 4-25: Διάγραμμα Ροής του προβλήματος αποσυμφόρησης περιοχών hotspots

Έπεται η λεπτομερής περιγραφή των παραπάνω συστατικών του προβλήματος.

#### **4.4.1.1 Θέση του χρήστη (User Location)**

Ο προσδιορισμός της πιθανής θέσης του χρήστη έχει αναλυθεί εκτενώς στη παράγραφο 4.2.3.1.1.

#### **4.4.1.2 Χαρακτηριστικά Διάδοσης**

Ο προσδιορισμός μιας εκτιμώμενης τιμής λαμβανόμενου σήματος για την πιθανή θέση του χρήστη έχει αναλυθεί εκτενώς στη παράγραφο 4.2.3.2

#### **4.4.1.3 Δεδομένα MGIS**

Το σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών κινητού δικτύου (Mobile Geographic Information System - MGIS) παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.4.1. Ο αλγόριθμος ανάλυσης δεδομένων του κινητού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Mobile Network Geographic Information System – MGIS Data Resolution -MDR) χρησιμοποιεί δεδομένα που περιέχονται σε αυτό τον εξυπηρετητή. Ο MGIS εξετάστηκε λεπτομερώς στην παράγραφο και στην προηγούμενη παράγραφο. Εν συντομία, ο MGIS [48][49][50] συλλέγει σε τακτά χρονικά διαστήματα σημαντικές πληροφορίες από το δίκτυο και τις αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων. Μια γρήγορη ανασκόπηση θα ήταν χρήσιμη για τον αναγνώστη. Συνοπτικά, ο εξυπηρετητής MGIS αναπτύχθηκε για τη συλλογή στοιχείων τόσο από την πλευρά του τερματικού όσο και από τις κυψελών στην πλευρά του δικτύου. Η αποθήκευση αυτών των στοιχείων και παραμέτρων του δικτύου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πληροφορίες από τη βάση δεδομένων να είναι εύκολα προσβάσιμες. Ο εξυπηρετητής MGIS έχει την δυνατότητα συλλογής στοιχείων και παραμέτρων τόσο από δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς όσο και από εκείνα της 3<sup>ης</sup> όπως το UMTS. Βασικό πλεονέκτημα του MGIS είναι και η σχετικά γρήγορη ενημέρωση των στοιχείων που αποθηκεύει. Έτσι οι προδιαγραφές αναφέρουν ότι μπορεί και κάθε 2 ώρες ο MGIS να συλλέγει και να ενημερώνει τα αποθηκευμένα δεδομένα

Για το σκοπό του αλγορίθμου αποσυμφόρησης περιοχών hotspots τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον MGIS είναι τα *BR* και *DCR* ανά κυψέλη.

#### 4.4.1.4 Αλγόριθμος ανάλυσης δεδομένων του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών Κινητού Δικτύου (MGIS Data Resolution – MDR Algorithm)

Το πρόβλημα των δυναμικών ζωνών (hot spots) έχει περιγραφεί ως ένα πολύ σημαντικό θέμα, όπως δείχνει και η ανάλυση στη εισαγωγή της παραγράφου 4.4. Η δυναμική ζώνη μπορεί να χαρακτηριστεί και ως κρίσιμη περιοχή (critical area). Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας για τα hotspots μέχρι σήμερα εξετάζει τις δυναμικές ζώνες μέσα στο πλαίσιο άλλων προβλημάτων όπως η εξισορρόπηση φορτίων ή ο έλεγχος συμφόρησης. Κανένας από τους δεν προσδιορίζει τις συγκεκριμένες χαρακτηριστικές παραμέτρους των δυναμικών ζωνών, όπως ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων (*Drop Call Rate – DCR*), ο υψηλός ρυθμός απόρριψης διαπομπών (*Handover Failure Rate*) και βεβαίως ο ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων (*Block Rate – BR*). Ακόμα και μελέτες, οι οποίες κάνουν χρήση διαφόρων προσομοιώσεων, υποθέτουν ότι μια κυψέλη δυναμικής ζώνης είναι υπερφορτωμένη σε σχέση με τις κανονικές κυψέλες από κάποιο αυθαίρετο παράγοντα. Επιπλέον, δεν είναι πάντα σαφές πώς προκαλείται αυτή η υπερφόρτωση. Ένα κίνητρο, λοιπόν είναι η αξιολόγηση και εκμετάλλευση μιας ενδεχόμενης καλής γνώσης των χαρακτηριστικών των δυναμικών ζωνών, όπως τα μέτρα απόδοσης που αναφέρθηκαν και παραπάνω (*DCR, BR*). Μια καλύτερη και άμεση, όσο το δυνατό, γνώση δημιουργίας δυναμικής ζώνης (κρίσιμης περιοχής) μπορεί να βοηθήσει στο καλύτερο σχεδιασμό των δικτύων και στη δυναμική, πιο άμεση, προσαρμογή αυτών στις συγκεκριμένες συνθήκες. Για το λόγο αυτό, προτείνεται και παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος εφαρμόσιμος τόσο για τη διαπομπή, σε ενεργή κατάσταση, όσο και για την επιλογή των κυψελών, σε idle κατάσταση, που βασίζεται στην ανάλυση και αξιολόγηση των διάφορων ιδιοτήτων των δυναμικών ζωνών και την επανεπιλογή παραμέτρων, όπως η τιμή του C2 στο GSM.

Η γενική ιδέα του αλγορίθμου είναι η καλύτερη κατανομή φορτίου βάσει των μέτρων απόδοσης (*DCR, BR*) ανά κυψέλη και βάσει της θέσης του κάθε χρήστη (ουσιαστικά του λαμβανόμενου σήματος εκεί). Ο απώτερος σκοπός του αλγορίθμου αυτού είναι, η αποφυγή διαπομπών και η εγκαθίδρυση νέων κλήσεων σε περιοχή με υψηλούς ρυθμούς *DCR* και *BR* και επομένως σε περιοχές hotspots. Ο καθορισμός των κατωφλίων του *DCR* και *BR* ανά κυψέλη, που ορίζουν μια περιοχή σαν hotspots, υποτίθεται ότι βρίσκεται στη διακριτή ευχέρεια του διαχειριστή του δικτύου στη φάση σχεδιασμού αυτού. Η λειτουργία του αλγορίθμου δίνεται μαθηματικά ως ακολούθως:

Το σύνολο κυψελών είναι  $C$  και των pixels είναι  $P$ . Υποθέτουμε ότι κάθε επιλεγμένη κυψέλη  $j \in C$  έχει δύο πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα: α) τη μέση τιμή του ρυθμού απόρριψης κλήσης – Drop Call Rate ( $\forall j \in C$ ) και β) τη μέση τιμή του ρυθμού αποκλεισμού – Block Rate ( $\forall j \in C$ ). Και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά προέρχονται από τα διαρκώς συλλεγόμενα στοιχεία του MGIS.

Μία από τις βασικότερες αιτίες απόρριψης κλήσης είναι το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος. Έτσι, θεωρείται λογική η κατανομή αυτής της μέσης τιμής DCR από το επίπεδο της κυψέλης σε επίπεδο pixel μιας στα pixels με χαμηλό επίπεδο λαμβανόμενου σήματος (κοντά στα σύνορα) η πιθανότητα DCR είναι αρκετά πιο υψηλή από ότι σε αυτά με πολύ ισχυρό λαμβανόμενο σήμα (κοντά στην κυψέλη). Για το λόγο αυτό προτείνεται η κατανομή αυτού του ποσοστού μόνο στα pixels (θέσεις) όπου βρίσκονται κοντά στα επικαλυπτόμενα σύνορα (overlapping borders) δύο κυψελών. Τα pixels αυτά είναι εύκολο να προκύψουν αφού είναι γνωστή, μέσα από τα αρχεία που περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2.3.2, η εκτιμώμενη τιμή λαμβανόμενου σήματος από κάθε κυψέλη. Έτσι εάν σε ένα pixel  $p_i$  η διαφορά στα λαμβανόμενα σήματα  $Rx[p_i, j]$  και  $Rx[p_i, k]$ , από δύο γειτονικές κυψέλες  $j, k \in C$ , είναι μικρότερη από μια παράμετρο υστέρησης *Hysteresis* (dB) τότε αυτό το pixel  $p_i$  θεωρείται σημείο κοντά στα σύνορα κυψελών. Για κάθε  $p_i$ , για το οποίο ισχύει το παραπάνω, το ποσοστό  $DCR[p_i, j]$ , που συμβολίζει την τιμή πλέον DCR στο συγκεκριμένο pixel  $p_i$ , ισούται με τη μέση τιμή  $DCR_{(j)}$  ανά κυψέλη ( $\forall j \in C$ ). Τα λοιπά pixels, που θεωρούνται θέσεις κοντά στα σύνορα, δεν επιβαρύνονται στη μέθοδο αυτή με την παράμετρο  $DCR[p_i, j]$ , αφού για αυτά ισχύει  $DCR[p_i, j] = 0$ . Με άλλα λόγια η τιμή DCR ουσιαστικά κατανέμεται μόνο στις θέσεις εκείνες που βρίσκονται κοντά στα σύνορα των κυψελών. Η φυσική σημασία μπορεί να δοθεί ως εξής: Χρήστες που βρίσκονται στα όρια μιας κυψέλης είναι πιο πιθανό να υποστούν απόρριψη της κλήσης και για το λόγο αυτό υπόκεινται στη μέθοδο ανακατανομής φορτίου που προτείνεται παρακάτω. Στην περίπτωση των ενεργών χρηστών η μέθοδος εφαρμόζεται μέσω του μηχανισμού Forced Handover που μπορεί να ενεργοποιηθεί από το BSS.

Για τους μη ενεργούς χρήστες (idle mode) η παράμετρος που ενδιαφέρει πρωτίστως για την καλύτερη ανακατανομή αυτών, όπως προτείνει η παρούσα μέθοδος, είναι το ποσοστό αποκλεισμένων κλήσεων  $BR$ . Στην περίπτωση αυτή, λόγω του γεγονότος ότι ο αποκλεισμός κλήσεων ως επί το πλείστον οφείλεται στην έλλειψη διαθέσιμων καναλιών και όχι στα

επίπεδα λαμβανόμενου σήματος, η μέση τιμή  $BR_{(j)}$  για την κυψέλη  $j \in C$  κατανέμεται εξίσου σε όλα τα pixels αυτή. Έτσι

$$BR[p_i, j] = BR_{(j)} \quad \{\forall (i, j) \in (P \times C)\} \quad (4-19),$$

Μια συνάρτηση “κόστους” υλοποιήθηκε βασισμένη σε αυτές τις δύο παραμέτρους και την ισχύ σημάτων  $Rx[p_i, j]$  (σε dBm) στο pixel  $p_i$  της κυψέλης  $j \in (C \times U)$ . Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζεται για κάθε χρήστη που βρίσκεται στο pixel  $p_i$  της κυψέλης  $j$ . Κάθε μια από τις παραμέτρους συμμετέχει με ένα επιλεγμένο βάρος στην προτεινόμενη συνάρτηση κόστους. Κατά συνέπεια:

$$S[p_i, j] = w_1 \cdot \left( \frac{Rx_{MAX} - Rx[p_i, j]}{63} \right) + w_2 \cdot DCR[p_i, j] + w_3 \cdot BR[p_i, j] \quad (4-20),$$

όπου  $S[p_i, j] \geq 0 \quad \{\forall (p_i, j) \in (P \times C)\}$  και  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ .

Η παράμετρος  $Rx_{MAX}$  αντιπροσωπεύει την μέγιστη τιμή που μπορεί να ληφθεί από μια κυψέλη και ορίζεται -47dBm και  $Rx[p_i, j]$  η τιμή της λαμβανόμενης ισχύος  $Rx(p_{(i,j)})$ , στο συγκεκριμένο pixel  $p_i$  όπου το τερματικό βρίσκεται

Από την εξίσωση 4-21 μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι, όσο πιο αδύνατη είναι η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος στη ζεύξη καθόδου σε ένα συγκεκριμένο pixel μιας κυψέλης, π.χ. -94dBm, τόσο αυξανόμενο είναι το “κόστος” για αυτό το pixel (με άλλα λόγια το “κόστος” του χρήστη που βρίσκεται σε αυτό το pixel).

Ο πυρήνας του αλγορίθμου αυτού είναι, ο υπολογισμός του κόστους  $S[p_i, j]$  σε ένα συγκεκριμένο pixel  $p_i \quad \forall j \in C$ . Ο αλγόριθμος MDR κάνει τον υπολογισμό αυτής της συνάρτησης “κόστους”, για κάθε χρήστη που είναι στο pixel  $p_i$  και για όλες τις κυψέλες εκείνες που καλύπτουν επαρκώς σε εκείνο το σημείο.

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού αυτού είναι οδηγείται σε δύο διαδικασίες. Η πρώτη αναφέρεται σε μη ενεργούς χρήστες (idle) και η δεύτερη σε ενεργούς (active).

#### 4.4.1.4.1 Μη ενεργοί χρήστες (idle mode)

Η μέθοδος σε αυτή την περίπτωση επεμβαίνει στην επανεπιλογή της κατάταξης των κυψελών στο ενεργό σύνολο<sup>7</sup> του τερματικού (*cell reselection*). Αυτή η επανεπιλογή επιτυγχάνεται μέσα από τον έλεγχο και σύγκριση των τιμών C1 και C2. Η κεντρική ιδέα της μεθόδου βασίζεται στη λογική ότι «**Ένα τερματικό, κατά τη διάρκεια εγκαθίδρυσης μιας κλήσης, θα πρέπει να επιλέξει την κυψέλη εκείνη με την καλύτερη κάλυψη αλλά παράλληλα με το καλύτερο (χαμηλότερο) δυνατό κόστος**».

Η ιδέα, μέχρι σήμερα, για τις παραμέτρους C1 και C2 στηριζόταν στο γεγονός ότι το τερματικό συγκρίνει τα επίπεδα λαμβανόμενων σημάτων από διαφορετικές κυψέλες μέσα σε μια περιοχή και επέλεγε τα καλύτερα από αυτά. Μια από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του C2 είναι και το *cellReselectOffset*, το οποίο σήμερα αλλάζεται από τον πάροχο δικτύου με σκοπό να καταμερίσει το φορτίο σε άλλες κυψέλες.

$$C2 = C1 + \text{cellReselectOffset} - \text{temporaryOffset} * H(\text{penaltyTime} - T) \quad (4-21),$$

Οι περιορισμοί σε αυτή την δυναμική αναπροσαρμογή του φορτίου είναι α) ότι οι τιμές των παραμέτρων για το C2 μιας κυψέλης εκτέμπονται ταυτόχρονα μέσα από το κανάλι ευρείας εκπομπής (*Broadcast Control Channel – BCCH*) και είναι ίδια για όλα τα κινητά και β) ότι η δυναμική προσαρμογή του *cellReselectOffset* δεν είναι και τόσο δυναμική αφού δεν αλλάζει συχνά (π.χ εάν ένας ποδοσφαιρικός αγώνας πραγματοποιείται σε μια περιοχή, το δίκτυο δεν είναι σε θέση, σήμερα, να ρυθμίσει άμεσα την τιμή του *cellReselectOffset* και έτσι να “υποβιβάσει” τις κυψέλες της συγκεκριμένης περιοχής στα ενεργά σύνολα των τερματικών που βρίσκονται σε αυτή).

Ο αλγόριθμος MDR προσεγγίζει το πρόβλημα ανακατανομής του φορτίου βασισμένος στην παραπάνω ιδέα, αλλά με διαφορετικές παραδοχές. Τα αποτελέσματα του  $S[p_i, j]$  αφορούν το κάθε τερματικό ξεχωριστά ή πιο σωστά το κάθε pixel ξεχωριστά. Έτσι ο καθορισμός του *cellReselectOffset* γίνεται πλέον ανά χρήστη (ανά θέση καλύτερα) και όχι ανά κυψέλη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη διαδικασία των Setup SMS (τα οποία πολλές φορές είναι λέγονται και Silent SMS). Αυτά τα SMS μπορούν να αποστέλλονται από το δίκτυο και να



περιέχουν εντολές δικτύου όπως η αναπροσαρμογή της τιμής του *cellReselectOffset*. Μια παραδοχή που πρέπει να γίνει εδώ είναι ότι, υποτίθεται ότι το λογισμικό των τερματικών θα υποστηρίζει την λήψη αυτών των SMS.

Έτσι, ο αλγόριθμος MDR κατατάσσοντας τα  $S[p_i, j]$  για έναν χρήστη που βρίσκεται στη θέση  $p_i$ , διαμορφώνει παράλληλα και τις τιμές *cellReselectOffset* για τις 6 ισχυρότερες κυψέλες που καλύπτουν αυτό το σημείο (pixel). Όσο μεγαλύτερο είναι το “κόστος” για μια κυψέλη στο  $p_i$  (αυτό σημαίνει χαμηλό λαμβανόμενο σήμα, υψηλό DCR και BR), τόσο περισσότερο θα πρέπει να αποφευχθεί, το τερματικό που βρίσκεται σε αυτό το pixel, να εξυπηρετηθεί από αυτή την κυψέλη. Έτσι για τη συγκεκριμένη περίπτωση, το *cellReselectOffset* θα είναι χαμηλό (π.χ 3dB) και το C2 χαμηλό με αποτέλεσμα την κατανομή (αν πρόκειται για χρήστη που ξεκινάει μια καινούργια κλήση) ή ανακατανομή (για το χρήστη που ήδη έχει ξεκινήσει την κλήση) του φορτίου στις διάφορες κυψέλες.

Για να γίνει πιο κατανοητή η εφαρμογή του MDR αλγορίθμου, δίνεται το παρακάτω αριθμητικό παράδειγμα:

Θεωρείται ότι, ένα τερματικό στη θέση  $p_i$  λαμβάνει σήμα έστω από τρεις κυψέλες  $C_1, C_2, C_3$  με αντίστοιχες τιμές,  $Rx[p_i, 1] = -75dBm$ ,  $Rx[p_i, 2] = -80dBm$  -  $Rx[p_i, 3] = -80dBm$ . Επίσης, ας υποθεθεί ότι για κάποιο λόγο η κυψέλη  $C_1$  υπερφορτώθηκε ( $DCR_{C_1} = 9\%$ ,  $BR_{C_1} = 20\%$ ) με αποτέλεσμα τον χαρακτηρισμό αυτής ως hotspot ή κρίσιμη περιοχή. Αντίθετα, οι υπόλοιπες δύο κυψέλες  $C_2, C_3$  έχουν χαμηλότερα ποσοστά και για τις δύο παραμέτρους ( $DCR_{C_2} = 2\%$ ,  $DCR_{C_3} = 1,89\%$  και  $BR_{C_2} = 3,1\%$ ,  $BR_{C_3} = 1,1\%$ ). Εφαρμόζοντας την εξίσωση (4-24) για το συγκεκριμένο παράδειγμα και για δύο διαφορετικά σετ βαρών προκύπτει:

---

<sup>7</sup> Ενεργό σύνολο, για ένα τερματικό, καλείται το σύνολο των κυψελών που το εκπεμπόμενο τους σήμα μετράται και καταγράφεται από αυτό. Συνήθως το μέγεθος του ενεργού συνόλου στο GSM είναι έξι (6). Οι έξι κυψέλες με το καλύτερο μετρούμενο λαμβανόμενο σήμα στο συγκεκριμένο σημείο αποτελούν και το ενεργό σύνολο το τερματικού εκεί.

Πίνακας 4-2: Παράδειγμα εφαρμογής της συνάρτησης “κόστους” για τον αλγόριθμο MDR και για δύο διαφορετικά σετ βαρών

$w_1 = 0,8, w_2 = 0,1, w_3 = 0,1$	$w_1 = 0,6, w_2 = 0,3, w_3 = 0,1$	
$S_{p_i,C1} = 0,327$	$S_{p_i,C2} = 0,259$	<i>cell Re selectOffset = 16dB</i>
$S_{p_i,C2} = 0,336$	$S_{p_i,C3} = 0,289$	<i>cell Re selectOffset = 12dB</i>
$S_{p_i,C3} = 0,376$	$S_{p_i,C1} = 0,450$	<i>cell Re selectOffset = 8dB</i>

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4-2) παρατηρεί κάποιος ότι, ενώ για το πρώτο σετ βαρών η σειρά των κοστών συμπίπτει με την σειρά της ισχύς των σημάτων που λαμβάνονται στο τερματικό, για το δεύτερο σετ, στο οποίο δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο μέσο ρυθμό απόρριψης κλήσεων της κυψέλης, η σειρά αυτή αλλάζει, με αποτέλεσμα την «υποβίβαση» της hotspot κυψέλης  $C_1$  μέσα από την εφαρμογή ενός υψηλού offset. Έτσι σε περίπτωση idle κατάστασης, το τερματικό στην μεν πρώτη περίπτωση να είναι πιθανότερο να ζητήσει κανάλι επικοινωνίας από την κυψέλη  $C_1$  με αυξημένη πιθανότητα αποκλεισμού της κλήσης ή απόρριψης της αν γίνει δεκτή, στη δε δεύτερη το τερματικό θα επικοινωνήσει με την κυψέλη  $C_2$  για να ενεργοποιήσει την υπηρεσία.

Η επιλογή των offsets γίνεται σχεδόν με αυθαίρετο τρόπο. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκαν offset τέτοια που να μπορούν να επιτρέπουν την υποβάθμιση ή αναβάθμιση των κυψελών αλλά με καλύτερο έλεγχο της τιμής  $C_2$ . Μεγάλες τιμές των offset και μάλιστα με βήμα μεγαλύτερο (4dB στην περίπτωση εδώ) κάνουν πιο δύσκολη την καλύτερη εξισορρόπηση του φορτίου. Η διαδικασία επιλογής των offset παραμένει στην ευχέρεια του πάροχου.

#### 4.4.1.4.2 Ενεργοί χρήστες (Active Users)

Στην περίπτωση ενεργούς κατάστασης, προκειμένου να προκληθεί μια εκτέλεση forced handover, η κυψέλη του καλύτερου (χαμηλότερου) κόστους δεν θα πρέπει να είναι η ίδια με την κυψέλη που τον εξυπηρετεί και επιπλέον θα πρέπει το κόστος αυτής να είναι καλύτερο από αυτό της εξυπηρετούσας κυψέλης πάνω από 5 δευτερόλεπτα.

Τα τρία αυτά βάρη ουσιαστικά δίνουν μια ευελιξία στον φορέα παροχής δικτύου για να καθορίσει ανάλογα με την επιλογή αυτών, πιο θεωρεί βασικότερο μέτρο απόδοσης, μεταξύ των  $Rx$ ,  $DCR$  ή  $BR$ , και πιο κρίσιμο για τον καθορισμό των περιοχών hotspots. Τα

αποτελέσματα που προκύπτουν για τον αλγόριθμο MDR, μέσα από έναν μεγάλο αριθμό προσομοιώσεων, παρουσιάζονται και μελετώνται στις παραγράφους 5.3.1.8 και 5.3.1.9.

#### **4.5 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CDMA**

Τα ευρείας ζώνης συστήματα CDMA, στο εγγύς μέλλον, θα παράσχουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών πολυμέσων συμπεριλαμβανομένης της φωνής, των δεδομένων και του βίντεο [51]. Με την παρουσία τέτοιων υπηρεσιών, οι χρήστες εξυπηρετούνται από το δίκτυο με ένα ευρύ φάσμα εύρους ζώνης αλλά παράλληλα έχοντας αυξημένες απαιτήσεις για την ποιότητα υπηρεσιών (QoS requirements). Οι εφαρμογές και τα πρωτόκολλα που έχουν σχεδιασθεί με σκοπό να παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως ως εφαρμογές τρόπου κυκλωμάτων και πακέτων (Circuit and Packet), βασισμένες στα χαρακτηριστικά κίνησης και τις απαιτήσεις QoS. Οι εφαρμογές τρόπου κυκλωμάτων είναι παρεχόμενοι αποκλειστικοί τομείς εύρους ζώνης με εγγυημένο QoS ενώ οι υπηρεσίες πακέτων είναι σποραδικής φύσης (*Bursty nature*) και το εύρος ζώνης παρέχεται σε μια βάση ριτής.

Η απόδοση των συστημάτων DS-CDMA περιορίζεται από την παρεμβολή (interference). Οι εφαρμογές πακέτων (*Bursty nature*) μπορούν να είναι σποραδικές πηγές υψηλής παρεμβολής κατά τη διάρκεια των ενεργών περιόδων. Αυτές οι «εκρήξεις» παρεμβολών μπορούν να προκαλέσουν τη ρήξη στην υπηρεσία δεδομένων αποκλειστικού εύρους ζώνης ή σε εκείνες τις υπηρεσίες κυκλωμάτων που έχουν ήδη γίνει αποδεκτές από το σύστημα και είναι εγγυημένες ως προς το *BER* και το ρυθμό απόδοσης. Επομένως, προκειμένου να παρασχεθούν εγγυήσεις για την υψηλή ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες υπηρεσιών δεδομένων, η παρεμβολή στο σύστημα πρέπει να ελεγχθεί. Η παρεμβολή, που δημιουργείται από το φαινόμενο πολλαπλής πρόσβασης, ρυθμίζεται με τον έλεγχο ισχύων μετάδοσης των χρηστών. Οι τεχνικές ελέγχου ισχύος που έχουν ως σκοπό μόνο να καταπολεμήσουν την εξασθένιση, υποφέρουν από το πρόβλημα ότι ένας ενεργός νέος χρήστης μπορεί να προκαλέσει τη μείωση του *SNRs* των ήδη ενεργών χρηστών να μειωθεί κάτω από τα απαραίτητα κατώτατα όριά του. Επομένως, οι τεχνικές ελέγχου ισχύος πρέπει να σχεδιασθούν έτσι ώστε να ρυθμίσουν τις ισχύς εκπομπής των ενεργών χρηστών, όταν οι νέοι χρήστες υπηρεσιών (είτε υπηρεσίες πακέτων είτε κυκλωμάτων) γίνονται δεκτοί στο

σύστημα, να διατηρούν εγγυημένο το QoS τους. Αυτή η απαίτηση καλείται "προστασία ποιότητας ενεργών συνδέσεων".

Η ποσότητα υπερβολικής παρεμβολής που μπορεί να γίνει ανεχτή από τους ενεργούς χρήστες, χωρίς παραβίαση των κατώτατων ορίων SNR τους, καλείται περιθώριο παρεμβολής (interference margin). Όταν οι υπηρεσίες δεδομένων κυκλωμάτων (με εγγυημένο το εύρος ζώνης και το QoS) ενσωματώνονται με τις υπηρεσίες δεδομένων πακέτων, ο αλγόριθμος προστασίας ποιότητας ενεργών συνδέσεων, εκτός από τον καθορισμό της κατανομής ισχύος για τους χρήστες δεδομένων κυκλωμάτων που εξασφαλίζουν ότι η ενεργός σύνδεση SNRs είναι επάνω από τα κατώτατα όριά τους, απαιτείται και για τη μεγιστοποίηση του διαθέσιμου περιθωρίου παρεμβολής για την καλύτερη εξυπηρέτηση της bursty κίνησης πακέτων δεδομένων. Ο ρυθμός απόδοσης που παρέχεται στους χρήστες πακέτων δεδομένων εξαρτάται από αυτό το περιθώριο παρεμβολής. Η προσέγγιση και το πρόβλημα για την σωστή ρύθμιση ισχύων των συνδέσεων ενεργών χρηστών και των κατανομών ποσοστού ισχύος για τους νέους χρήστες περιγράφεται κατωτέρω.

#### **4.5.1 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

Αυτό το υποκεφάλαιο της διατριβής περιγράφει το πρόβλημα της κατανομής ισχύος όπως αυτό έχει καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία και στις διάφορες μελέτες που έχουν λάβει χώρα έως σήμερα. Οι διάφορες τεχνικές διαχείρισης ισχύος, καταρχάς, απαιτούνται για να εφαρμόσουν τον έλεγχο αποδοχής σε ένα σύστημα CDMA. Η διαδικασία ελέγχου αποδοχής εκτελείται σε δύο ευδιάκριτες φάσεις:

- Πρώτα, οι ισχύς των ενεργών χρηστών (χρήστες με εγγυημένο το ρυθμό δεδομένων και το QoS) κατηγοριοποιούνται κατάλληλα ώστε να μεγιστοποιήσουν την ανοχή τους στην πρόσθετη παρεμβολή, διατηρώντας την ποιότητα συνδέσεων για όλους τους ενεργούς χρήστες. Το περιθώριο ανοχής για την παρεμβολή παρέχει μια εκτίμηση του μέγιστου ρυθμού δεδομένων που το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει για τους νέους χρήστες πακέτων δεδομένων ή τους χρήστες υπηρεσίας φωνής, λαμβάνοντας υπόψη το τρέχων συνολικό φορτίο του δικτύου. Αυτή η φάση, της κατηγοριοποίησης, αναφέρεται ως "scaling" κατωτέρω, επειδή οι ισχύς των ενεργών χρηστών ρυθμίζονται προς τα πάνω. Το πρόβλημα της προστασίας ποιότητας ενεργών συνδέσεων τίθεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου η ελέγξιμη

μεταβλητή είναι το διάνυσμα κατανομής ισχύος για τους ενεργούς χρήστες. Ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί το περιθώριο παρεμβολής για τις νέες αποδεχόμενες κλήσεις. Οι βέλτιστες στρατηγικές για την προστασία ποιοτικών συνδέσεων μέσω του ελέγχου κατανομής ισχύος, που μεγιστοποιούν το περιθώριο παρέμβασης, ερευνώνται εκτεταμένα στη διεθνή κοινότητα.

- Το περιθώριο παρεμβολής διαθέσιμο από τη διαδικασία "scaling" χρησιμοποιείται για να εισαγάγει τους νέους χρήστες (υπηρεσίες κυκλώματος ή πακέτων) στο σύστημα. Οι νέοι χρήστες επιλέγονται από την ομάδα των χρηστών που ζητούν τη συγκεκριμένη υπηρεσία, και με κατανεμημένες τις ισχύς μετάδοσης, με έναν τρόπο που βελτιστοποιεί κάποιο ευρύ μέτρο απόδοσης δικτύων, όπως ο γενικός ρυθμός απόδοσης, ο αριθμός ενεργών χρηστών, το ενεργειακό κόστος ανά bit ή ακόμη πιο αυθαίρετα το μέγεθος εισοδήματος του πάροχου.

Ο έλεγχος ισχύος, ως μέσο ελαχιστοποίησης της παρεμβολής και βελτίωσης της χωρητικότητας του δικτύου, μελετήθηκε αρχικά στα πλαίσια των στενοζωνικών συστημάτων. Μελέτες όπως οι [52,53] περιγράφουν αναλυτικές τεχνικές για τις ρυθμίσεις ισχύος προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια αναλογία φέροντος προς παρεμβολής (carrier to interference – C/I) σε όλες τις συνδέσεις. Σε αυτή την έρευνα, οι αλγόριθμοι απαιτούσαν την εκ των προτέρων γνώση των διαδρομών απολαβής (path gain) για όλες τις ράδιο συνδέσεις. Στην επόμενη αναφορά [54], προτάθηκε ένας κατανεμημένος αλγόριθμος ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιεί μόνο τη μετρημένη αναλογία C/I στις ενεργές συνδέσεις (αντί των διαδρομών απολαβής) προκειμένου να ρυθμίσει τις ισχύς και για να επιτύχει την εξισορρόπηση του C/I. Περαιτέρω εργασίες για την εξισορρόπηση του C/I οδήγησαν σε αλγορίθμους ελέγχου ισχύος που ενσωμάτωσαν τους μέγιστους περιορισμούς ισχύος και είχαν κεντρικές και κατανεμημένες εφαρμογές. Αυτοί οι αλγόριθμοι περιγράφονται μέσα στις [55,56]. Αυτοί οι αλγόριθμοι, εντούτοις, δεν θεώρησαν σενάρια κίνησης όπου οι χρήστες απαιτήσαν διαφορετικό SNRs στις ράδιο συνδέσεις. Ένας απλός κατανεμημένος και ασύγχρονος αλγόριθμος ελέγχου ισχύος, όπου οι ράδιο συνδέσεις έχουν διαφορετικό SNRs, παρουσιάζεται μέσα στις [57,58]. Οι Yates [59] και Hanly [60] έχουν περιγράψει επαναληπτικούς αλγορίθμους που καθορίζουν την ελάχιστη κατανομή ισχύος αλλά επίσης και την ανάθεση του βέλτιστου σταθμού βάσης. Μια άριστη αναφορά για τους αλγορίθμους ελέγχου ισχύος για ένα ευρύ φάσμα συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων με τους περιορισμούς ισχύος, των αναθέσεων σταθμών βάσης βασισμένες σε σταθερές και

μάκρο-ποικιλομορφίες, περιγράφεται μέσα στο [61]. Ένας αλγόριθμος ελέγχου ισχύος που παρέχει την προστασία ποιότητας ενεργών συνδέσεων προτείνεται από τον Bambos στο [62]. Αυτοί οι αλγόριθμοι διένειμαν και χρησιμοποιούν τις επαναληπτικές αναπροσαρμογές του διανύσματος ισχύος μετάδοσης, οι οποίες διατηρούν το SNRs των ενεργών συνδέσεων επάνω από τα κατώτατα όρια ενώ οι νέοι χρήστες αποδέχονται από το σύστημα. Οι αλγόριθμοι αποδοχής βασισμένοι σε αυτόν τον αλγόριθμο ελέγχου ισχύος προτείνονται επίσης και για τον καθορισμό των συνδέσεων που πρέπει να ενεργοποιηθούν και εκείνων που πρέπει να απενεργοποιηθούν. Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει ένα σύστημα με τους χρήστες να έχουν την ίδια απαίτηση εύρους ζώνης (ενιαίο κανάλι ανά κώδικας και ίδιος ρυθμός δεδομένων για όλους τους χρήστες).

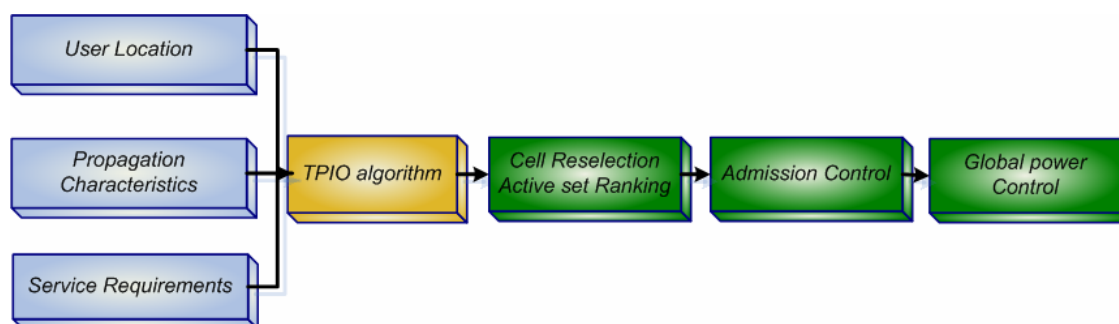
Το βασικό κίνητρο όμως για την προσπάθεια μελέτης της επίδρασης της θέσης του τερματικού στα συστήματα WCDMA, στα πλαίσια της παρούσης έρευνας, προήλθε από τη διαπίστωση που έκαναν ο Chebaro [63] και αργότερα ο Viterbi [64], οι οποίοι τόνισαν ότι ένας τρόπος μείωσης της προκαλούμενης παρεμβολής είναι η διαπομπή των χρηστών σε κυψέλες, με την κατάλληλη εκείνη κατανομή αυτών, ώστε να υποβαθμιστεί η συνολική παρεμβολή του συστήματος. Σε αυτές τις δημοσιεύσεις έχειδειχθεί ότι η εξυπηρέτηση του τερματικού από το σταθμό που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτό παρά από σταθμό που προσφέρει τη χαμηλότερη εξασθένιση σήματος μπορεί να δημιουργήσει έως και 4-20 φορές μεγαλύτερη παρεμβολή. Θα πρέπει εδώ να τονισθεί το γεγονός ότι, αυτά τα αποτελέσματα έχουν ληφθεί από ένα σύστημα UTRA/FDD όπου υπάρχει μόνο η παρεμβολή του τερματικού προς το σταθμό βάσης. Αντίθετα σε σύστημα UTRA/TDD αυτή η επίδραση μπορεί να είναι ακόμη πιο σημαντική αφού οι ζεύξεις ανόδου και καθόδου (UL and DL) χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα φέροντος.

#### **4.5.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ (TRANSMISSION POWER AND INTERFERENCE OPTIMIZATION- TPIO)**

Με αφορμή αυτές τις μελέτες, ένας αλγόριθμος που αντιμετωπίζει το πρόβλημα παρεμβολών και επιπέδων ισχύος μετάδοσης μέσα από την καλύτερη κατανομή χρηστών στις κυψέλες έχει σχεδιασθεί, υλοποιηθεί και αξιολογηθεί στα πλαίσια αυτής της διατριβής. Αυτός ο αλγόριθμος καλείται αλγόριθμος «Βελτιστοποίησης ισχύος μετάδοσης και παρεμβολών (*Transmission Power and Interference Optimization - TPIO*)». Η βασική ιδέα πίσω από αυτόν τον αλγόριθμο μπορεί να συνοψιστεί στη φράση: "Λαμβάνοντας υπόψη την

περιοχή κάλυψης υπηρεσιών, τη θέση του τερματικού (*User Equipment-UE*, πόσο μακριά είναι ο χρήστης από την κυψέλη), την ζητούμενη υπηρεσία και τις απαιτήσεις αυτής, στόχος είναι η καλύτερη κατανομή των χρηστών στις κυψέλες με το καλύτερο “κόστος” και επομένως η καλύτερη και αποδοτικότερη διαμόρφωση των ισχύων εκπομπής κινητού και σταθμού βάσης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό των επιπέδων παρεμβολής, τόσο για τις ζεύξεις ανόδου όσο και καθόδου”.

Το πρόβλημα που αφορά την καλύτερη κατανομή των χρηστών στις διάφορες κυψέλες και το οποίο προσπαθεί να αντιμετωπισθεί από τον αλγόριθμο TPIO παριστάνεται στο Σχήμα 4-26.



Σχήμα 4-26: Πρόβλημα κατανομής των χρηστών σε ένα σύστημα UMTS

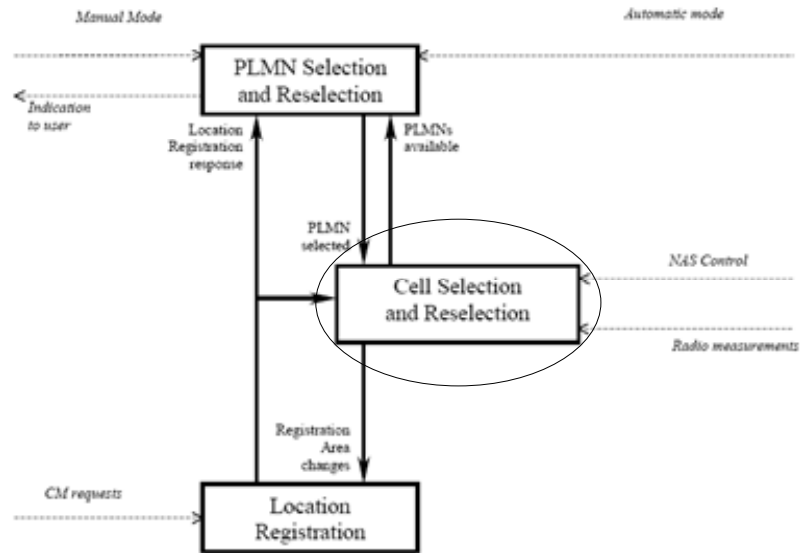
Ουσιαστικά ο αλγόριθμος TPIO παρεμβαίνει στη διαμόρφωση του ενεργού συνόλου (*active set*) του τερματικού και επομένως στη σειρά των κυψελών που θα πραγματοποιηθούν τόσο η διαδικασία αποδοχής κλήσεων όσο και η διαδικασία ελέγχου ισχύος. Είναι εύκολα κατανοητό ότι, ο αλγόριθμος TPIO προηγείται των ελέγχων αποδοχής κλήσης και ελέγχου ισχύος (*Admission and Power Control*) που εφαρμόζονται σε ένα δίκτυο UMTS. Ο αλγόριθμος TPIO εφαρμόζεται τόσο στην περίπτωση της κατάστασης ενεργούς υπηρεσίας όπου μπορεί να απαιτηθεί διαπομπή σε μια άλλη κυψέλη όσο και στη διαδικασία ελέγχου αποδοχής νέας υπηρεσίας (*admission control*) που υπάρχει στο UMTS. Ο αλγόριθμος αυτός έχει εξεταστεί και αξιολογηθεί για περιβάλλον UTRA-TDD.

#### 4.5.2.1 Αναδιάταξη του ενεργού συνόλου-Cell Selection and Reselection in the active set

Πιο συγκεκριμένα, ο TPIO παρεμβαίνει στην επιλογή και επανεπιλογή των κυψελών όταν το UE είναι σε *idle* κατάσταση σε περιβάλλον UTRA-TDD.

Πριν εξηγηθεί περαιτέρω πως ο TPIO αλγόριθμος παρεμβαίνει, θα πρέπει να εξετασθεί πως λειτουργεί το UE σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Η γενική εικόνα διαδικασίας του UE ενώ

βρίσκεται σε idle κατάσταση διαφαίνεται στο Σχήμα 4-27 [65]. Στο ίδιο σχήμα επίσης φαίνεται και που επεμβαίνει ο ΤΡΙΟ αλγόριθμος (*Cell Selection and Reselection*).



Σχήμα 4-27: Γενική διαδικασία ενός UE σε idle κατάσταση

Ας δούμε όμως, πως γίνεται η επιλογή της κυψέλης βάσει των τεχνικών προδιαγραφών της 3GPP [65].

Στη περίπτωση της επιλογής κυψέλης, το κινητό εκτελεί μετρήσεις στο Common Pilot Channel (CPICH) για FDD κυψέλες και στο Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH) σε TDD κυψέλες που είναι απαραίτητες για την επιλογή αυτή. Οι απαιτήσεις απόδοσης των μετρήσεων αυτών έχουν προδιαγραφεί στα [66][67]. Το ελάχιστο διάστημα για αυτές τις μετρήσεις είναι 60msec. Η επιλογή των κυψελών για την ένταξη τους στο ενεργό σύνολο γίνεται βάσει της παραμέτρου  $S$  που είναι κάτι αντίστοιχο του C2 στο GSM.

Το κριτήριο ένταξης ικανοποιείται όταν:

$$\text{για FDD: } S_{rxlev} > 0 \text{ και } S_{qual} > 0$$

$$\text{για TDD: } S_{rxlev} > 0$$

όπου,

$$S_{qual} = Q_{qualmeas} - Q_{qual\ min}$$

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - Q_{rxlev\ min} - P_{compensati\ on}$$

και



Squal	Cell Selection quality value (dB) Applicable only for FDD cells.
Srxlev	Cell Selection RX level value (dB)
Qqualmeas	Measured cell quality value. The quality of the received signal expressed in CPICH Ec/N0 (dB) for FDD cells. CPICH Ec/N0 shall be averaged as specified in [66]. Applicable only for FDD cells.
Qrxlevmeas	Measured cell RX level value. This is received signal, CPICH RSCP for FDD cells (dBm) and P-CCPCH RSCP for TDD cells (dBm).
Qqualmin	Minimum required quality level in the cell (dB). Applicable only for FDD cells.
Qrxlevmin	Minimum required RX level in the cell (dBm)
Pcompensation	max(UE_TXPWR_MAX_RACH – P_MAX, 0) (dB)
UE_TXPWR_MAX_RACH	Maximum TX power level an UE may use when accessing the cell on RACH (read in system information) (dBm)
P_MAX	Maximum RF output power of the UE (dBm)

Το κριτήριο S απλά αποφασίζει εάν μια κυψέλη θα μπει στο ενεργό σύνολο του UE. Η σειρά κατάταξης αυτής μέσα στο σύνολο καθορίζεται από το κριτήριο κατάταξης R. Αυτό δίνεται από τα παρακάτω:

$$R_s = Q_{meas,s} + Q_{hyst,s}$$

$$R_n = Q_{meas,n} - Q_{offset_{s,n}} - TO_n * (1 - L_n)$$

όπου,

Qmeas	Measured cell RX level value. This is received signal, CPICH RSCP for FDD cells (dBm) and P-CCPCH RSCP for TDD cells (dBm).
Qhyst	This specifies the hysteresis value (). It is used for TDD and GSM cells and for FDD cells in case the quality measure for cell selection and re-selection is set to CPICH RSCP
Qoffsets,n	This specifies the offset between the two cells. It is used for TDD cells and for FDD cells in case the quality measure for cell selection and re-selection is set to CPICH RSCP
TO <sub>n</sub>	TEMP_OFFSET <sub>n</sub> * W(PENALTY_TIME <sub>n</sub> – T <sub>n</sub> )

Βάσει των τιμών του κριτηρίου R για κάθε κυψέλη γίνεται και η κατάταξη των κυψελών στο ενεργό σύνολο. Ο αλγόριθμος TPIO ουσιαστικά παρεμβαίνει στην τιμή του R μέσω της

αναπροσαρμογής της τιμής της παραμέτρου  $Q_{offset_{s,n}}$ . Κάτι αντίστοιχο, πραγματοποιήθηκε και στην περίπτωση του MDR αλγορίθμου, μόνο που στην περίπτωση εκείνη αναπροσαρμοζόταν η τιμή του  $temporaryOffset$  της παραμέτρου C2 (§4.4.1.4). Πως όμως φθάνει ο TPIO να διαλέξει την τιμή του κάθε  $Q_{offset_{s,n}}$  για κάθε κυψέλη του ενεργού συνόλου;

Ο αλγόριθμος TPIO συνδυάζει α) το λαμβανόμενο σήμα ( $Q_{rxlevmeas}$  για το κριτήριο S και  $Q_{meas}$  για το κριτήριο R) από κάθε κυψέλη β) την απόσταση του τερματικού από τις κυψέλες αυτές και γ) την υπηρεσία που απαιτεί το UE. Η γνώση της θέσης του χρήστη, η ζητούμενη υπηρεσία από αυτόν και η προσφερόμενη ισχύς πεδίου σε εκείνο το σημείο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορούν να προσφέρουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο πρόβλημα της καλύτερης κατανομής των χρηστών στις κυψέλες και άρα στην αποτελεσματικότερη διαπομπή, όταν πρόκειται για ενεργούς χρήστες, και στην κατάλληλη επιλογή σταθμού βάσης που θα τον εξυπηρετήσει, όταν πρόκειται για έναρξη νέων κλήσεων. Και τα δύο αυτά επιτυγχάνονται μέσω της αναδιάταξης των κυψελών στο ενεργό σύνολο του UE βάσει ενός «κόστους» το οποίο εισάγει ο αλγόριθμος TPIO.

Η περιοχή εξυπηρέτησης είναι χωρισμένη σε ένα σύνολο pixels  $P$ . Κάθε pixel  $p \in P$  αντιστοιχεί σε ένα μικρό μέρος ( $10m \times 10m$ ) της περιοχής. Το σύνολο υπηρεσιών είναι  $S$ . Οι υπηρεσίες όπως η κλήση φωνής (Voice Call), η βίντεο-συνδιάσκεψη (Videoconference), τα διαδραστικά δεδομένα (interactive data, like FTP) ή η ροή δεδομένων βίντεο (Streaming Video) έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από την άποψη του εύρους ζώνης, του μέγιστου ποσοστού δεδομένων, του διαθέσιμου ποσοστού δεδομένων, του BER, της ανοχής στην καθυστέρηση, ο βαθμός υπηρεσίας κτλ..

Το σύνολο κυψελών που βρίσκονται στο ενεργό σύνολο του χρήστη  $UE_i$  είναι  $C$  και το σύνολο των χρηστών  $U$ . Αυτές έχουν προκύψει βάσει του κριτηρίου S. Ο αλγόριθμος TPIO χρησιμοποιεί μια συνάρτηση “κόστους” (Εξίσωση 4-27).

$$S(UE_i, j) = w_1 \cdot \left[ \frac{Q_{meas,MAX} - Q_{meas}(UE_i, j)}{63} \right] + w_2 \cdot s_{nor}(UE_i) + w_3 \cdot d_{nor}(UE_i, j)$$

(4-22),

όπου

$$S(UE_i, j) \geq 0 \quad \{\forall(UE_i, j) \in (U \times C)\}, \quad w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

και

$Q_{meas}(UE_i, j)$  η λαμβανόμενη τιμή ισχύος στο Common Pilot Channel (CPICH) της κυψέλης  $j$ ,  $Q_{meas,MAX} = -47dBm$  η μέγιστη τιμή αυτής στη περιοχή κάλυψης. Αντίστοιχα,  $s_{nor}(UE_i)$  είναι η κανονικοποιημένη τιμή της υπηρεσίας που ζητά ο χρήστης  $s(UE_i) \in S$  εκφρασμένη σε *Bit Rate (kbps)*. Η μέγιστη τιμή είναι  $s_{max}(UE_i) = 384kbps$ . Τέλος,  $d_{nor}(UE_i, j)$  είναι η κανονικοποιημένη τιμή της απόστασης  $d(UE_i, j)$  του χρήστη  $UE_i$  από την κυψέλη  $j$  βάσει της μέγιστης απόστασης (ακτίνας) της περιοχής κάλυψης της κυψέλης  $j$ . Η παραδοχή που γίνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι η θέση του χρήστη είναι γνωστή από ένα GPS πομποδέκτη σε αυτό. Έτσι για την περίπτωση του ΤΡΙΟ δεν θα γίνει μελέτη επίδρασης του λάθους στον προσδιορισμό της θέσης μιας και σκοπός της μελέτης αυτής είναι η έρευνα του κατά πόσο μια ακριβής γνώση της θέσης του χρήστη θα επηρεάσει τα επίπεδα ισχύς μετάδοσης και παρεμβολών σε ένα αρκετά περίπλοκο σύστημα όπως το UMTS.

Έτσι, ο αλγόριθμος ΤΡΙΟ προσαρμόζει τα  $Q_{offset_{s,n}}$  με βάση το “κόστος”  $S(UE_i, j) \forall j \in C$ . Η κυψέλη με ένα χαμηλό “κόστος” θα βρίσκεται ψηλά στην κατάταξη του ενεργού συνόλου. Για παράδειγμα, το  $UE_i$  λαμβάνει μετρήσεις από 5 κυψέλες που πληρούν το κριτήριο  $S$ . Επομένως,  $C = [1,2,3,4,5]$  το ενεργό σύνολο αυτού του χρήστη. Εφαρμόζεται η συνάρτηση  $S(UE_i, j)$  για κάθε κυψέλη μέσα σε αυτό το σύνολο. Αν υποθεθεί ότι, από τα αποτελέσματα των  $S(UE_i, j) \forall j \in C$  προκύπτει,

$$S(UE_i,2) > S(UE_i,3) > S(UE_i,1) > S(UE_i,4) > S(UE_i,5)$$

τότε τα κριτήρια  $R$  για κάθε μία από τις κυψέλες στο σύνολο  $C$  προκύπτουν ως εξής:

$R_2 = R_s = Q_{meas,2} + Q_{hyst,2}$	
$R_3 = Q_{meas,3} - Q_{offset_{2,3}} - TO_3 * (1 - L_3)$	$Q_{offset_{2,3}} = 6dB$
$R_1 = Q_{meas,1} - Q_{offset_{2,1}} - TO_1 * (1 - L_1)$	$Q_{offset_{2,1}} = 9dB$
$R_4 = Q_{meas,4} - Q_{offset_{2,4}} - TO_3 * (1 - L_4)$	$Q_{offset_{2,4}} = 12dB$

$R_s = Q_{meas,s} - Q_{offset_{2,5}} - TO_s * (1 - L_s)$	$Q_{offset_{2,5}} = 15dB$
--	---------------------------

Έτσι σύμφωνα με τη τιμή του  $R$   $\forall j \in C$ , το ενεργό σύνολο του χρήστη  $UE_i$  φτιάχνεται κατάλληλα.

Η επιλογή των offset ακολουθεί τη λογική όπως αυτή περιγράφηκε και για τον αλγόριθμο MDR.

#### 4.5.2.2 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call admission control) – Έλεγχος ισχύος (Power control) – Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover)

Το αποτέλεσμα αυτού οδηγείται στη διαδικασία ελέγχου ισχύος τόσο για τη ζεύξη ανόδου όσο και για τη ζεύξη καθόδου όπως δείχνει και το Σχήμα 4-26. Επιπλέον πραγματοποιείται και ο έλεγχος ήπιας διαπομπής. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι προαναφερθείσες τόσο σημαντικές διαδικασίες που έχουν υλοποιηθεί για το σκοπό της παρούσης έρευνας και στα πλαίσια ανάπτυξης ενός προσομοιωτή UMTS (§5.2.2.2.2). Τέλος, μετά και από αυτές τις διαδικασίες στις κυψέλες του ενεργού συνόλου, σημαντικά αποτελέσματα καταγράφονται (§5.3.2). Στα αποτελέσματα, παρουσιάζονται η ισχύς εκπομπής, τόσο στο uplink όσο και στο downlink, και ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων εφαρμόζοντας τον παραπάνω προτεινόμενο αλγόριθμο.

## 4.6 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Antonis E. Markopoulos, Panagiotis Pissaris, Sofoklis Kyriazakos, Efstathios D. Sykas, “*Cellular Network Performance Analysis: Handoff Algorithms Based on Mobile Location and Area Information*”, Kluwer, Wireless Personal Communications, Volume 30, Issue 2-4, September 2004, Pages 97 – 117
- [2] Antonis E. Markopoulos, Panagiotis Pissaris, Sofoklis Kyriazakos, Prof. Efstathios D. Sykas, “*Efficient Location-Based Hard Handoff Algorithms for Cellular Systems*”, Third International IFIP-TC6 Networking Conference, LNCS 3042 / 2004, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 476 – 489
- [3] Juuso Pesola, Sami Pönkänen, Antonis E. Markopoulos, “*Location-Aided Handover in Heterogeneous Wireless Networks*”, Kluwer, Wireless Personal Communications, Volume 30, Issue 2-4, September 2004, Pages 195 – 205
- [4] Antonis Markopoulos, Panagiotis Pissaris, Sofoklis Kyriazakos, E.D. Sykas, “*Performance of Cellular Networks and mobile location-Driven Handover Algorithms*”, in proceedings of 59th IEEE Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 2004 Spring), Milan, Italy, 11-14 May 2004
- [5] A.Markopoulos, K.Tsagkaris, N.Papadakis, P.Demestichas, T.Varvarigou, E.D Sykas “*Intelligent handoff algorithms in cellular systems based on mobile terminal location and area information*”, submitted for publication in the IEEE Journal on Selected Areas of Communications
- [6] ETS 300 578, Digital cellular telecommunications system (Phase 2), Radio subsystem link control, GSM 05.08 version 4.22.1, March 1999
- [7] 3GPP, TSG GSM/EDGE Radio Access Network (TSG GERAN), Vodafone, “*I<sub>ur-G</sub> required functionality*”, 2002
- [8] Antonis E. Markopoulos, Panagiotis Pissaris, Sofoklis Kyriazakos, Efstathios D. Sykas, “*Cellular Network Performance Analysis: Handoff Algorithms Based on Mobile Location and Area Information*”, Kluwer, Wireless Personal Communications, Volume 30, Issue 2-4, September 2004, Pages 97 - 117

- [9] Antonis Markopoulos, Panagiotis Pissaris, Sofoklis Kyriazakos, Prof. E.D. Sykas, “Performance of Cellular Networks and mobile location-Driven Handover Algorithms”, in proceedings of 59<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2004 Spring), Milan, Italy, 11-14 May 2004
- [10] B. A. Akyol and D. C. Cox, “Signaling alternatives in a wireless ATM network,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, pp. 35–49, Jan. 1997.
- [11] A. Bar-Noy, I. Kessler, and M. Sidi, “Mobile users: To update or not to update?,” in *Proc. IEEE INFOCOM*, 1994.
- [12] M. Mouly and M. B. Pautet, *The GSM System for Mobile Communications*. ISBN 2-9507190-0-7, 1992.
- [13] Telecommunications Industry Association, Cellular Radio Telecommunications Intersystem Operation, TIA/EIA IS-41B, 1991.
- [14] Y. Zhao, "Mobile Phone Location Determination and Its Impact on Intelligent Transportation Systems," *IEEE Trans. Intell. Trans. Sys.*, vol. 1, no. 1, Mar. 2000, pp. 55–67.
- [15] D. Lam, D. C. Cox, and J. Windom, “Teletraffic modeling for personal communication services,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 35, pp. 79–87, Feb. 1997
- [16] S. Nanda, “Teletraffic models for urban and suburban microcells: Cell sizes and handoff rates,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, pp. 673–682, Nov. 1993
- [17] R. A. Guerin, “Channel occupancy time distribution in a cellular radio system,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-35, pp. 89–99, Aug. 1987.
- [18] I. Seskar, S. V. Maric, J. Holtzman, and J. Wasserman, “Rate of location area updates in cellular systems”, in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC), May 1992, pp. 694–697.
- [19] S. Tabbane, “An alternative strategy for location tracking,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 13, June 1995.
- [20] G. Y. Liu and G. Q. Maguire, Jr., “A predictive mobility management algorithm for wireless mobile computation and communication,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Universal Personal Commun.*, 1995.
- [21] M. D. Austin and G. L. Stuber, “Velocity adaptive handoff algorithm for microcellular systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, pp. 549–561, Aug. 1994.
- [22] “Direction biased handoff algorithms for urban microcells,” in *Proc. ICUPC*, 1994, pp. 101–104.

- [23] R. Viayan and J. M. Holtzman, "A model for analyzing handoff algorithms," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, Aug. 1993.
- [24] D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, Aug. 1993
- [25] T. Liu, P. Bahl, and I. Chlamtac, "Mobility modeling, location tracking, and trajectory prediction in wireless ATM networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 16, no. 6, Aug. 1998, pp. 922-36.
- [26] D. A. Levine, I. F. 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, Feb. 1997, pp. 1-12.
- [27] W.-S. Soh and H.S. Kim, "Dynamic guard bandwidth scheme for wireless broadband networks", in *Proc. IEEE INFOCOM'01*, Anchorage, Alaska, USA, Apr. 2001, pp. 572-81.
- [28] Y. Zhao, "Standardization of mobile phone positioning for 3G systems," *IEEE Communication Magazine*, Jul. 2002, pp. 108-116.
- [29] E. A. Bretz, "X marks the spot, maybe," *IEEE Spectrum*, Apr. 2000, pp. 26-36.
- [30] «Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική», Γ.Κοκολάκης, Ι Σπηλιώτης
- [31] Plamen I. Bratanov and Ernst Bonek, *Senior Member, IEEE*, "Mobility Model of Vehicle-Borne Terminals in Urban Cellular Systems", *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, VOL. 52, NO. 4, JULY 2003, pp-pp 947-952
- [32] <http://www.teleplan.no/sys/solutions.html>
- [33] Sunghyun Choi, Member, IEEE, and Kang G. Shin, Fellow, IEEE, "Adaptive Bandwidth Reservation and Admission Control in QoS-Sensitive Cellular Networks", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol 13, No 9, September 2002
- [34] D. Hong and S.S. Rappaport; "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures" *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, Aug. 1986
- [35] Y.C. Kim, D.E. Lee; "Dynamic Channel Reservation Based on Mobility in Wireless ATM Networks" *IEEE Communications Magazine*, Nov. 1999.
- [36] O. T. Yu and V. C. M. Leung; "Adaptive Resource Allocation for Prioritized Call Admission over an ATM-Based Wireless PCN" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.15, No.7, September 1997

- [37] M.H. Chiu and M.A. Bassiouni; “Predictive Schemes for Handoff Prioritization in Cellular Networks Based on Mobile Positioning” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.18, No.3, March 2000
- [38] W. Zhuang, K.C. Chua and S.M. Jiang; “Measurement-Based Dynamic bandwidth Reservation Scheme for Handoff in Mobile Multimedia Networks” *IEEE 1998 International Conference on Universal Personal Communications. Conference Proceedings*
- [39] S. Tekinay and B. Jabbari, “Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks,” *IEEE Commun. Mag.*, Nov. 1994, pp. 42–46.
- [40] S. Tekinay and B. Jabbari, “A measurement-based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks,” *IEEE JSAC*, vol. 10, no. 8, Oct. 1995.
- [41] D. A. Levine, I. F. Akyildiz and M. Naghshineh; “A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept.” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, No.1, February 1997
- [42] Z. Xu et al. “A New Adaptive Channel Reservation Scheme for Handoff Calls in Wireless Cellular Networks,” *Proc. of IFIP Networking2002*. pp 672-684, 2002.
- [43] Sajal K. Das, Sanjoy K. Sen, Rajeev Jayaram. *A Novel Load Balancing Scheme for the Tele-traffic Hot Spot Problem in Cellular Networks*. *Wireless Networks*, No.4, 1998, pp.325-340
- [44] Johan Karlson, Berth Eklundh. *A Cellular Mobile Telephone System with Load Sharing - An Enhancement of Directed Retry*. *IEEE Transactions on Communications*, Vol.37, No.5, May 1989, pp530-535.
- [45] Jung-Shyr Wu, Jen-Kung Chung, Chang-Chung Wen. *Hot-Spot Traffic Relief with a Tilted Antenna in CDMA Cellular Networks*. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.47, No.1, February 1998, pp.1-9.
- [46] Jung-ShyrWu, Jen-Kung Chung, Chang-ChungWen. *Performance Study for a Microcell Hot Spot Embedded in CDMA Macrocell Systems*. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.48, No.1, January 1999, pp.47-59.
- [47] Tak-Shing Peter Yum, Wing-Shing Wong. *Hot-Spot Traffic Relief in Cellular Systems*. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.11, No.6, August 1993.
- [48] Seppo Horsmanheimo, Heli Kokkonieni-Tarkkanen, Juuso Pajunen, Lotta Tuomimäki, Jaakko Lähteenmäki, “MGIS database”, CELLO-WP3-VTT-D21-003-Int, 2002



- [49] Seppo Horsmanheimo, Juuso Pajunen, Heli Kokkonen-Tarkkanen, Lotta Tuomimäki, Jaakko Lähteenmäki, "MGIS technical documentation", CELLO-WP3-VTT-D22-003-Pub, 2002.
- [50] Jaakko Lähteenmäki, "CELLO project plan", CELLO-WP1-VTT-I02-001-Int, 2000.
- [51] A.J.Viterbi, "*CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*", Addison-Wesley, New York, 1995.
- [52] J.M. Aein, Power balancing in systems employing frequency reuse, COMSAT Technical Review 3 (Fall 1973).
- [53] D. Mitra, An asynchronous distributed algorithm for power control in cellular radio systems, in: *4th WINLAB Workshop on 3rd Generation Wireless Info. Networks* (1993).
- [54] J. Zander, Distributed co-channel interference control in cellular radio systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 41 (August 1992) 305–311.
- [55] S.A.Grandhi, R.Vijayan, D.J.Goodman, "Distributed power control in cellular radio systems", *IEEE Transactions on Communications*, vol.42, pp.226-228, 1994.
- [56] G.J.Foschini, Z.Miljanic, "A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.42, pp.641-646, 1993.
- [57] S.A.Grandhi, R.Vijayan, D.J.Goodman, J.Zander, "Centralized power control in cellular radio systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.42, pp.466-468, 1993.
- [58] R.D.Yates, C.Y.Huang, "Integrated power control and base station assignment", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.44, pp.638-644, 1995.
- [59] C.Y.Huang, R.D.Yates, "Rate of convergence for minimum power assignment in cellular radio systems", *ACM/Baltzer Wireless Networks Journal*, vol.1, pp.223-231, 1998.
- [60] S.V. Hanly, An algorithm for combined cell-site selection and power control to maximize cellular spread spectrum capacity, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 13 (September 1995) 1332–1340
- [61] R.Yates, "A framework for uplink power control in cellular radio systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.13, pp.1341-1347, 1995.
- [62] N.Bambos, "Toward power-sensitive network architectures in wireless communications: Concepts, issues, and design aspects", *IEEE Personal Commun.*, Vol. 5, No. 3, June 1998

[63] T. Chebaro and P. Godlewski, "About the CDMA Capacity Derivation," in *Proceedings of the International Symposium on Signals, Systems and Electronics*, (Paris, France), pp. 36–39, September 1–4 1992.

[64] A. J. Viterbi and A. M. Viterbi, "Other–Cell Interference in Cellular Power–Controlled CDMA," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, pp. 1501–1504, February 1994.

[65] 3GPP TS 25.304 V4.5.0 (2002-06), Technical Specification Group Radio Access Network; UE Procedures in Idle Mode and Procedures for Cell Reselection in Connected Mode (Release 4)

[66] 3GPP TS 25.133: "Requirements for Support of Radio Resource Management (FDD)".

[67] 3GPP TS 25.123: "Requirements for Support of Radio Resource Management (TDD)".





---

# Κεφάλαιο 5

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---



## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των εργαλείων προσομοίωσης που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια αυτής της έρευνας, με σκοπό την αξιολόγηση και αποτίμηση των αλγόριθμων LAH, που παρουσιάστηκαν στο αμέσως προηγούμενο κεφάλαιο, και η παρουσίαση ενδεικτικών αποτελεσμάτων από διάφορα σενάρια που εξετάστηκαν.

Οι προσομοιώσεις είναι συμπληρωματικές ως προς την ανάλυση, όχι μόνο παρέχοντας έναν έλεγχο στην ακρίβεια της ανάλυσης, αλλά επιπλέον επιτρέποντας την έρευνα περίπλοκων σεναρίων διαπομπής στα ασύρματα δίκτυα που θα ήταν είτε δύσκολο είτε αδύνατο να αναλυθούν.

Η προσομοίωση, αξιολόγηση και αποτίμηση των αλγορίθμων LAH που προτάθηκαν στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής απαιτούσαν την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου περιβάλλοντος προσομοίωσης τόσο για το GSM όσο και για το UMTS. Η ανάπτυξη και των δύο εργαλείων προσομοιώσεων έλαβε χώρα μέσα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος IST-CELLO. Η ανάπτυξη αυτών θα μπορούσε να διαχωριστεί σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση ήταν η ανάπτυξη αξιόπιστων εργαλείων προσομοιώσεων με κύριο στόχο τη μεταφορά όλων των κύριων διαδικασιών διαχείρισης δικτύων (διαχείριση καναλιών, διαχείριση κίνησης, έλεγχος ισχύος και αποδοχής κλήσης για το UMTS, έλεγχος ήπιας διαπομπής κ.α.) όπως και την ανάπτυξη όλων των υπάρχοντων διαδικασιών διαπομπής τόσο για το GSM όσο και για το UMTS. Η δεύτερη φάση περιέλαβε την ενσωμάτωση και εφαρμογή των προτεινόμενων αλγορίθμων διαπομπής LAH.

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μια επισκόπηση των εργαλείων προσομοίωσης που αναπτύχθηκαν τόσο για το GSM όσο και για το UMTS. Πιο συγκεκριμένα, στην παράγραφο 5.2.1 θα δοθεί μια περιγραφή του προσομοιωτή GSM και ειδικά των συστατικών κομματιών που αποτελούν αυτόν (το στόχο και την ευθύνη του καθενός) και των διαδικασιών αρχικοποίησης. Παρόμοια, στην παράγραφο 5.2.2 δίδεται μια ανάλυση του προσομοιωτή UMTS. Εκεί, παρουσιάζονται οι διαδικασίες όπως αυτές α) της αρχικοποίησης και β) της κύριας διαδικασίας, που εκεί συμπεριλαμβάνονται η γέννηση χρηστών (κίνησης), οι αξιολογήσεις μετρήσεων, οι διαδικασίες ελέγχου ισχύος και αποδοχής κλήσεων, ο έλεγχος ήπιας διαπομπής, η διαδικασία κίνησης των χρηστών και ο τερματισμός αυτών.

Πριν την παράθεση των διαφόρων αποτελεσμάτων (§5.3), θα επιχειρηθεί να οριστούν οι έννοιες κάποιων χαρακτηριστικών μέτρων απόδοσης των δικτύων, τα οποία θα

χρησιμοποιηθούν και για την αποτίμηση και αξιολόγηση των προτεινόμενων αλγορίθμων (§3.5).

Τα αποτελέσματα διαχωρίζονται ανά αλγόριθμο και ανά σενάριο.

## **5.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**

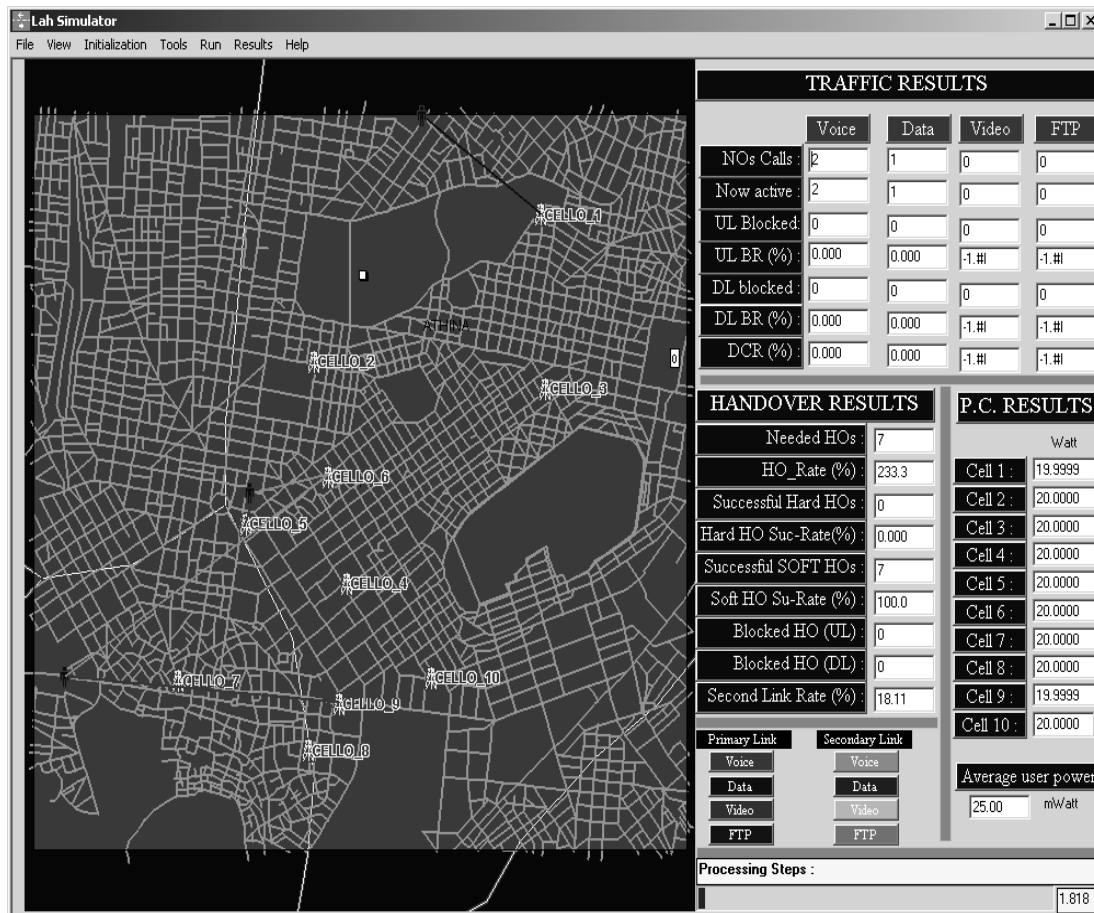
Ένας προσομοιωτής θα πρέπει να είναι εύκολα επεκτάσιμος, με προσθήκη νέων λειτουργιών, προσαρμοστικός και εύκολα διαμορφώσιμος έτσι ώστε να μπορεί να ερευνηθεί μια σειρά σεναρίων. Για το λόγο αυτό οι προσομοιωτές αποτελούνται από διάφορες ξεχωριστές οντότητες λογισμικού (συνιστώσες). Κάθε συνιστώσα είναι αρμόδια για ένα σύνολο διαδικασιών όπως και για την επικοινωνία αυτής με άλλες συνιστώσες. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους των εργαλείων προσομοίωσης LAN ήταν η κατασκευή ενός ευέλικτου εργαλείου, όπου οι παράμετροι, τα δεδομένα εισόδου, τα πρότυπα, οι αλγόριθμοι, οι τεχνικές και οι διαδικασίες δικτύων να μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στο σύστημα. Ο γενικός στόχος ήταν να παρασχεθεί επαρκής ευελιξία χωρίς περιορισμό της απόδοσης των προσομοιωτών.

Και τα δύο εργαλεία προσομοίωσης αναπτύχθηκαν σε περιβάλλον Windows NT. Διεργασίες όπως αυτές της επεξεργασίας χαμηλού επιπέδου και η διαχείριση κίνησης απαιτούν υψηλή απόδοση. Έτσι οι σκοποί αυτών των προσομοιωτών εξυπηρετούνται καλύτερα με την έκφραση τους με μια σύνθετη γλώσσα προγραμματισμού όπως την C++. Επιπλέον, η οπτική διεπαφή της C++ (Visual C++) μπορεί να προσφέρει μια γραφική διεπαφή χρήστη (Graphical User Interface – GUI) την ευκολότερη και πιο φιλική χρήση των προσομοιωτών. Έτσι για τους προαναφερθέντες λόγους η ανάπτυξη των δύο προσομοιωτών στηρίχθηκε σε περιβάλλον Visual C++.

Η γραφική διεπαφή χρήστη και των δύο προσομοιωτών αποτελείται από ένα συστατικό ActiveX (MapInfo MapX), το οποίο παρέχει στο χρήστη μια απεικόνιση της περιοχής, που θέλει να προσομοιώσει. Εδώ θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι αυτό το συστατικό απεικόνισης της περιοχής επιλέχθηκε βάσει της συμβατότητας αυτού με πολλά εργαλεία σχεδιασμού δικτύου που έχουν στα χέρια τους οι πάροχοι δικτύου, όπως το ASTRIX. Έτσι η επιλογή διαφορετικών σεναρίων (διαφορετικών περιοχών), από τον χρήστη του προσομοιωτή αν αυτός είναι ο πάροχος δικτύου, είναι εύκολη. Επιπλέον, μια κύρια χρησιμότητα των διεπαφών αυτών (GUI) είναι η απεικόνιση και κατάδειξη της κίνησης των χρηστών και ο εντοπισμός περιοχών συμφόρησης στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή.



Σαν παράδειγμα αυτού, ένας χάρτης του κέντρου της Αθήνας (Σχήμα 5-1) θα μπορούσε να φορτωθεί στον προσομοιωτή μας και η απεικόνιση της μετακίνησης του χρήστη θα μπορούσε να επιτευχθεί με την παρουσίαση σημείων που κινούνται στους δρόμους. Επιπλέον, μέσω αυτής της διεπαφής είναι δυνατή για χρήστη του εργαλείου προσομοίωσης να δει όχι μόνο από ποιους σταθμούς βάσης ένα συγκεκριμένο σημείο της περιοχής εξυπηρετείται καλύτερα αλλά και μια πιθανή διαπομπή ενός χρήστη. Μάλιστα στην περίπτωση του UMTS, η απεικόνιση της ήπιας διαπομπής και της ενεργής υπηρεσίας είναι δυνατή.

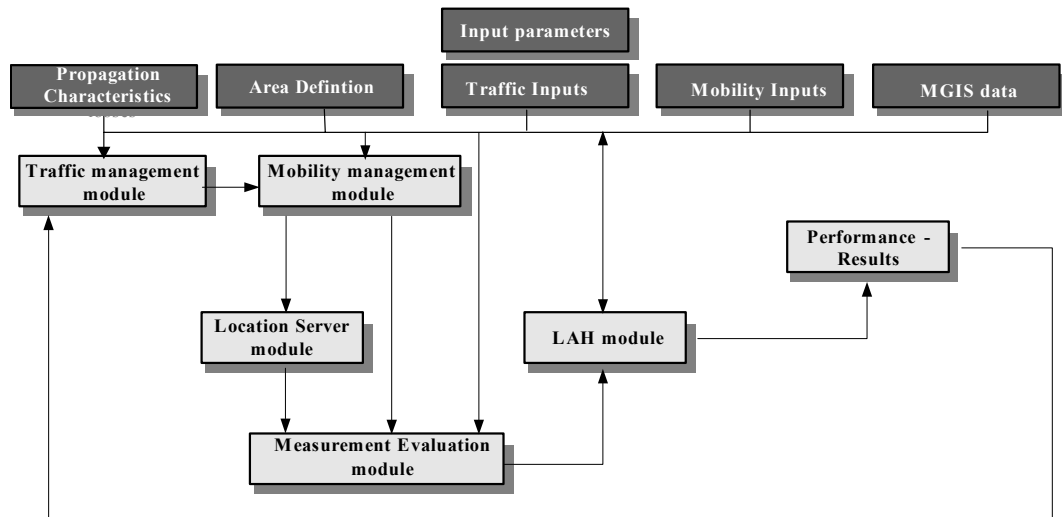


Σχήμα 5-1: GUI προσομοιωτή UMTS

Οι διαδικασίες και οι λειτουργίες που «κρύβονται» πίσω από αυτή την διεπαφή περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω τόσο για το GSM όσο και για το UMTS.

### 5.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ GSM

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένας προσομοιωτής θα πρέπει να είναι ευέλικτος, προσαρμοστικός και κλιμακοθετήσιμος (scalable) για την εύκολη επέκταση αυτού. Έτσι ο προσομοιωτής GSM αποτελείται από διάφορες συνιστώσες που λειτουργούν μεταξύ τους με τον κατάλληλο τρόπο. Η γενική αρχιτεκτονική του προσομοιωτή GSM φαίνεται στο Σχήμα 5-2.



Σχήμα 5-2: Δομή GSM προσομοιωτή

Η πάνω σειρά των συστατικών (components) της αρχιτεκτονικής του προσομοιωτή αφορά τις παραμέτρους αρχικοποίησης του προσομοιωτή που αποτελούν και δεδομένα εισόδου στα δομοστοιχεία (modules) του συστήματος.

Τόσο ο προσομοιωτής GSM όσο και αυτός για το UMTS, που ακολουθεί παρακάτω, είναι προσομοιωτές time driven. Είναι προσομοιωτές διακριτοί στον χρόνο. Οι πληροφορίες που ακολουθούν είναι η περιγραφή των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα ενδιάμεσα στα βήματα του χρόνου. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι το βήμα του προσομοιωτή GSM είναι 480msec. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να συγχρονιστεί ο προσομοιωτής με το χρονικό βήμα στο οποίο το τερματικό στέλνει και λαμβάνει τα σήματα από το δίκτυο GSM [1].

#### 5.2.1.1 Παράμετροι Αρχικοποίησης

Οι κύριες παράμετροι αρχικοποίησης του προσομοιωτή GSM περιλαμβάνουν τον καθορισμό της περιοχής προσομοίωσης, τα δεδομένα διάδοσης σημάτων, τις παραμέτρους

εισόδου για τα μοντέλα κινητικότητας και φορτίου και τις πληροφορίες από τον MGIS. Τέλος κάποιες γενικές παράμετροι όπως ο χρόνος προσομοίωσης δίδονται σαν παράμετροι εισόδου.

- *Καθορισμός περιοχής (Area Definition)*

Ο καθορισμός περιοχής περιλαμβάνει τη γεωμετρία περιοχής (αστική, προαστιακή, ανοικτή περιοχή, κ.λ.π.), τις συντεταγμένες του κάτω αριστερού σημείου της περιοχής (στο σύστημα WG84, UTM ζώνη 32, Νότιο Ημισφαίριο) και τις διαστάσεις της περιοχής ενδιαφέροντος (σε pixels 10x10m). Με αυτό τον τρόπο δίνεται μια ευελιξία στον χρήστη να ορίσει την ακριβή περιοχή που θα ήθελε να προσομοιώσει αρκεί να γνωρίζει τις ακριβείς συντεταγμένες. Η περιοχή πάνω στην οποία βασίστηκαν όλα τα σενάρια αποτίμησης και αξιολόγησης των προτεινόμενων αλγορίθμων LAH είναι το κέντρο της Αθήνας και μάλιστα μια περιοχή 3,2 επί 3 Km.



**Σχήμα 5-3: Περιοχή ενδιαφέροντος**

Βασικό στοιχείο όλων των αναλύσεων που θα ακολουθήσουν από εδώ και πέρα αποτελεί ο χωρισμός της περιοχής εξυπηρέτησης σε ένα σύνολο από υποπεριοχές ή πιο απλά *pixels*. Η κατάτμηση μιας κυψέλης σε pixels διευκολύνει σημαντικά το έργο του σχεδιασμού και της διαχείρισης του εκάστοτε εξεταζομένου συστήματος. Κάθε pixel αποτελεί μια ορισμένη γεωγραφική οντότητα που μπορεί να περικλείει έναν ή περισσότερους συνδρομητές.



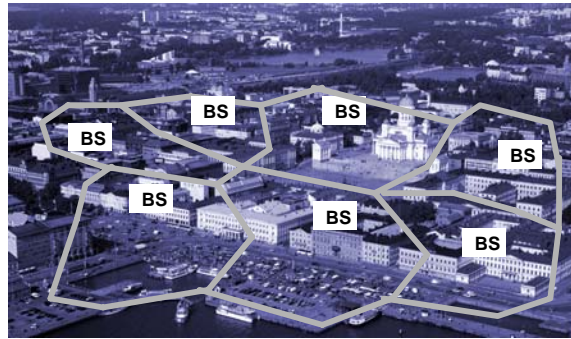
*Σχήμα 5-4: Διαχωρισμός της περιοχής ενδιαφέροντος σε pixel*

Ένα δεδομένο που δίνεται σαν είσοδος στον προσομοιωτή και αφορά τον καθορισμό της περιοχής είναι και ο καθορισμός του κάθε pixel αν πρόκειται για δρόμο ή κτήριο. Αυτή η πληροφορία δίνεται από τον πάροχο δικτύου μέσω ενός αρχείου που ομαδοποιεί τα pixels της περιοχής σε κατηγορίες .



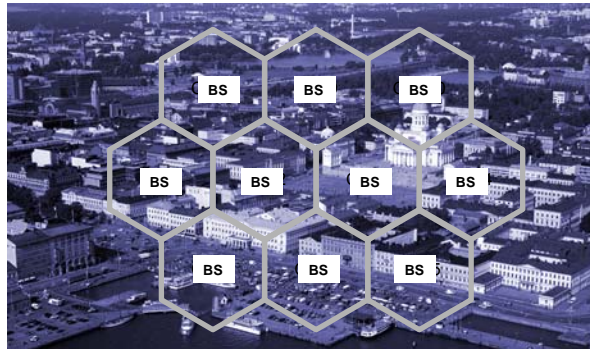
*Σχήμα 5-5: Συσταδοποίηση (clustering) των pixels*

Στο καθορισμό της περιοχής εκτός από τον διαχωρισμό αυτή σε pixels σημαντικό ρόλο παίζει και ο καθορισμός των ορίων κάλυψης κυψελών. Σχεδόν όλες οι εργασίες, που επιχειρούν να πραγματοποιήσουν πρόβλεψη κίνησης βασισόμενες στη θέση του χρήστη [25][2][3] για την εύρεση της κυψέλης στόχο, δεν αντιμετώπισε τα όρια των κυψελών ως ασαφή και ανώμαλα σχηματισμένα, όπως η παρούσα έρευνα, λόγω των χαρακτηριστικών του εδάφους και της ύπαρξης εμποδίων που παρεμβάλλονται στη διάδοση των σημάτων.



Σχήμα 5-6: Ασαφή και ανώμαλα όρια κυψελών

Αντ' αυτού, είτε εξαγωνικά ή κυκλικά όρια κυψελών έχουν υποτεθεί για απλότητα.



Σχήμα 5-7: Εξαγωνικές κυψέλες

Αυτό είναι σημαντικό μιας και η διαδικασία διαπομπής πραγματοποιείται συνήθως κοντά στα σύνορα των κυψελών. Έτσι η τοποθέτηση του χρήστη πάνω σε μια περιοχή με ασαφή όρια προσφέρει μια καλύτερη προσέγγιση και αποτύπωση της πραγματικότητας.

- *Χαρακτηριστικά διάδοσης (Propagation characteristics)*

Ισχύει ότι αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.3.2

- *Παράμετροι φορτίου (traffic inputs)*

Οι παράμετροι φορτίου που δίδονται σαν δεδομένα εισόδου για το μοντέλο κίνησης του προσομοιωτή (traffic model) είναι ιδιαίτερος κρίσιμοι για την σωστή προσέγγιση ενός πραγματικού συστήματος GSM. Παράμετροι όπως, α) τα Erlangs ανά χρήστη, β) η μέση διάρκεια κλήσης, γ) ο αριθμός SDCCH καναλιών (Stand-alone Dedicated Control Channel) καναλιών, δ) αριθμός TCH (Traffic Channel) καναλιών ανά κυψέλη και ε) μέσος αριθμός χρηστών ανά κυψέλη περιοχής στην ώρα αιχμής, δίνονται σαν δεδομένα εισόδου

στο σύστημα. Όλα αυτά είναι γνωστά στον πάροχο του δικτύου και επομένως είναι εύκολη η μεταφορά των ακριβών παραμέτρων δικτύου και στον προσομοιωτή.

**Πίνακας 5-1: Παράμετροι φορτίου για την περιοχή κάλυψης των σεναρίων**

Base Station ID	USERS (AV)	DUR (sec)	DCR	SDCCH_DROP	TRX
CELLO 1	1530	45,9	1,3%	13,1%	6
CELLO 2	388	54,0	1,1%	6,2%	3
CELLO 3	712	45,3	0,9%	8,5%	4
CELLO 4	321	51,4	0,6%	6,5%	3
CELLO 5	407	47,8	0,4%	6,5%	4
CELLO 6	893	48,2	1,0%	10,2%	6
CELLO 7	88	48,1	0,4%	5,3%	3
CELLO 8	875	52,5	0,4%	3,6%	5
CELLO 9	770	32,1	1,7%	37,5%	4
CELLO 10	381	59,8	0,3%	3,2%	4

Τα στοιχεία του Πίνακα 5-1 είναι και δεδομένα εισόδου για τον προσομοιωτή. Ο μέσος αριθμός χρηστών (USERS (AV)), η μέση διάρκεια κλήσης (DUR (sec)), ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων (DCR), ο ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων στο κανάλι σηματοδοσίας SDDCCH και ο αριθμός των TRX (επομένως ο αριθμός των TCH) δίνονται ανά κυψέλη (Base Station ID).

- *Παράμετροι κινητικότητας (Mobility Inputs)*

Η θέση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του χρήστη αποτελούν τις παραμέτρους κινητικότητας. Όταν ένας χρήστης «γεννάται» (ενεργοποίηση της κλήσης), προσδίδονται σε αυτόν τρεις παράμετροι:

- ο *Ένα ζεύγος συντεταγμένων (x,y)* προσδίδεται στο χρήστη «σχεδόν» τυχαία και καθορίζει την αρχική θέση του χρήστη. «Σχεδόν» τυχαία διότι, λόγω της παραμέτρου USERS (AV) που δίνεται σε δεδομένο εισόδου (Πίνακας 5-1), προβλέπεται αρχικά η επιλογή της κυψέλης που θα βρεθεί ο χρήστης. Αυτή η επιλογή γίνεται με βάση το αντίστοιχο βάρος που προκύπτει από το παραπάνω δεδομένο και όχι τυχαία. Για παράδειγμα, είναι πολύ πιο πιθανό ο χρήστης να βρεθεί στην περιοχή κάλυψης της κυψέλης *CELLO 1* παρά στην κυψέλη *CELLO 7*. Μετέπειτα, ο καθορισμός του συγκεκριμένου (x,y) μέσα

στην επιλεγμένη κυψέλη γίνεται τυχαία. Η γνώση των συνόρων των κυψελών επιτρέπει την επιλογή ενός (x,y) μέσα στα όρια της επιλεγμένης κυψέλης.

- **Μια μέση ταχύτητα.** Η ταχύτητα ακολουθεί την κανονική κατανομή (Σχέση 4-5). Η μέση τιμή και η απόκλιση αυτής δίνονται σαν παράμετροι εισόδου στον προσομοιωτή ( $\bar{u} = 40Km/h$  και  $\sigma_u = 10km/h$ ). Αυτή παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της κλήσης
- **Μια αρχική κατεύθυνση.** Η επιλογή της αρχικής κατεύθυνσης ακολουθεί και αυτή την κανονική κατανομή της σχέσης 4-1 . Η μέση τιμή και η απόκλιση αυτής δίνονται σαν παράμετροι εισόδου στον προσομοιωτή.

Συνοπτικά κάποιες από τις κύριες παραμέτρους που δίδονται σαν δεδομένα εισόδου στον προσομοιωτή GSM φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-2: Παράμετροι αρχικοποίησης του προσομοιωτή

Παράμετρος	Τιμή
Περιοχή εξυπηρέτησης	Αστική περιοχή, Κέντρο Αθήνας ( $x_{II} = 738663.8$ , $y_{II} = 4206064.4$ ), WGS 84, UTM Zone 34, Βόρειο ημισφαίριο, $3,2 \times 3,2Km$
Χαρακτηριστικά κυψελών	14 μακρό κυψέλες, ακτίνας 200m μέχρι 2 Km
Erlangs ανά χρήση	Δίνεται ανά σενάριο
Μέσος αριθμός χρηστών ανά κυψέλη	Γνωστός
Αριθμός TCH και SDCCH	195 TCHs, 31 SDCCHs
Μέση διάρκεια κλήσεων	0,48 sec
Μέση ταχύτητα χρηστών	40Km/h
Location server error	10m (GPS assumed)
Προσομοίωση πραγματικού χρόνου	1ώρα
Ρυθμός δειγμάτων	480msec
Κατώφλι λήψης	-99dBm

### 5.2.1.2 Δομοστοιχεία (modules) του προσομοιωτή

- Διαχείριση τηλεπικοινωνιακής κίνησης (φορτίου)

Ένα βασικό ζήτημα για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση του κυψελοειδούς ραδιοδικτύου είναι η παραγωγή κίνησης (φορτίου). Το δομοστοιχείο διαχείρισης τηλεπικοινωνιακής κίνησης (**Traffic Management Module-TMm**) είναι αρμόδιο για την παραγωγή κλήσεων (οι χρήστες που κάνουν μια κλήση καλούνται από εδώ και στο εξής ενεργοί χρήστες), για την τοποθέτηση αυτών στο σύστημα (επιλογή κυψέλης που θα τον εξυπηρετήσει) και για τον έλεγχο σε κάθε βήμα του φορτίου κίνησης. Οι ενεργοί χρήστες είναι εκείνοι οι χρήστες που κάνουν μια κλήση και δεσμεύουν πόρους. Στην περίπτωση μας υποθέτουμε ότι οι πόροι αυτοί είναι ένα είδος ελεύθερων χρονικών χρονοθυρίδων (όπως σε ένα σύστημα TDM).

Για τις circuit-switched υπηρεσίες, στις οποίες επικεντρώνεται η μελέτης μας για το GSM, το μοντέλο παραγωγής τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι μια παραδοσιακή διαδικασία γέννησης-θανάτου. Η ομιλία και άλλες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου φθάνουν στο σύστημα σύμφωνα με μια διαδικασία Poisson με έναν ρυθμό  $\lambda_s$ . Η αναχώρηση από το σύστημα διαμορφώνεται με τον καθορισμό του μέσου χρόνου παραμονής (mean holding time- *mht*) (που μετριέται στα δευτερόλεπτα) των χρηστών. Δηλαδή το μήκος συνόδου για έναν χρήστη διανέμεται εκθετικά με έναν μέσο όρο *mht*.

Το TMm παίρνει ως δεδομένα εισόδου το μέσο αριθμό χρηστών ανά κυψέλη σε ώρα αιχμής, τον αριθμό καναλιών κυκλοφορίας (TCH), τον αριθμό αυτόνομων καναλιών αφιερωμένου ελέγχου (SDCCH), τη μέση διάρκεια κλήσης και το ποσοστό άφιξης κλήσης. Όλες αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες ανά κυψέλη. Από αυτές τις παραμέτρους, το TMm υπολογίζει τις εισερχόμενες κλήσεις ανά βήμα. Μια προϋπόθεση για την αποδοχή της κλήσης είναι μια χρονοθυρίδα να είναι διαθέσιμη. Ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών SDCCH και TCH στη συγκεκριμένη κυψέλη είναι γνωστός. Αρχικά, προσομοιώνεται η ζήτηση από τον χρήστη ενός καναλιού SDCCH. Στην περίπτωση που τέτοιο κανάλι δεν είναι διαθέσιμο, η κλήση αποκλείεται και η παράμετρος που μεταβάλλεται είναι το *SDCCH Block Rate*. Στην αντίθετη περίπτωση, ο χρήστης δεσμεύει ένα τέτοιο κανάλι και μετέπειτα πραγματοποιείται αίτηση για κανάλι TCH. Αν Εάν δεν υπάρχει καμία ελεύθερη χρονοθυρίδα TCH, η κλήση αποκλείεται και η παράμετρος που μεταβάλλεται είναι το *TCH Block Rate*. Ο τελευταίος έλεγχος πραγματοποιείται ακόμα και στην κατάσταση ενεργής υπηρεσίας (on going call) όταν απαιτηθεί διαπομπή σε μια κυψέλη στόχο. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια γίνεται έλεγχος ύπαρξης μόνο TCH καναλιού αφού και το κινητό έχει ήδη δεσμεύσει κανάλι SDCCH.



- Διαχείριση κινητικότητας (*Mobility Management*)

Ένα κρίσιμο ζήτημα που υποστηρίζεται από τον προσομοιωτή είναι η κινητικότητα των χρηστών στην περιοχή προσομοίωσης. Το δομοστοιχείο διαχείρισης κινητικότητας (**Mobility Management module - MMm**) υπολογίζει σε κάθε βήμα τη νέα θέση χρηστών, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του μοντέλου κινητικότητας όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.2.3.1.2. Η εκτίμηση της νέας θέσης των χρηστών εκτελείται κάθε 480msec.

Δύο σημαντικά δομοστοιχεία που συμβάλουν σημαντικά στην αποτελεσματικότητα του προσομοιωτή είναι η οντότητα του εξυπηρετητή θέσης (**Location Server module-LSm**) και η οντότητα που πραγματοποιεί τις αξιολογήσεις των λαμβανόμενων ισχύων (**Measurement Evaluation module-MEm**). Πιο αναλυτικά:

- Εξυπηρετητής θέσης (*Location Server-LSm*)

Ισχύει ότι αναφέρεται στην παράγραφο 4.2.3.1.1

- Αξιολογήσεις των λαμβανόμενων ισχύων (*Measurement Evaluation module-MEm*)

Το δομοστοιχείο **MEm** είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό όλων εκείνων των απαραίτητων εκείνων παραμέτρων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 και αφορούν τους αλγόριθμους PPA, TTB και MDR.

Ο καθορισμός των πιθανών μονοπατιών κίνησης του χρήστη, ο υπολογισμός των πιθανοτήτων μετάβασης για την κάθε θέση αυτών, όπως και η πιθανότητα ring-rong διαπομπής για κάθε ένα μονοπάτι, πραγματοποιείται μέσα σε αυτό το δομοστοιχείο. Τα δεδομένα που προκύπτουν από αυτόν τον υπολογισμό οδηγούνται στις διαδικασίες «ψήφισης» και «απόφασης» όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για τον αλγόριθμο PPA.

Επίσης στο **MEm** πραγματοποιείται η εκτίμηση για το εάν ένα τερματικό κατευθύνεται προς τα σύνορα δύο κυψελών. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στην ανάλυση της παραγράφου 4.3.2.1.2. Στην περίπτωση που η πιθανότητα αυτή υπερβεί κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι τότε σκανδαλίζεται ο αλγόριθμος TTB.

Τέλος, στο δομοστοιχείο **MEm** λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον καθορισμό της συνάρτησης «κόστους» για τον αλγόριθμο MDR. Τα στοιχεία αυτά είναι το

λαμβανόμενο σήμα στη συγκεκριμένη θέση και οι ρυθμοί αποκλεισμού και απόρριψης κλήσεων στο επίπεδο της κυψέλης.

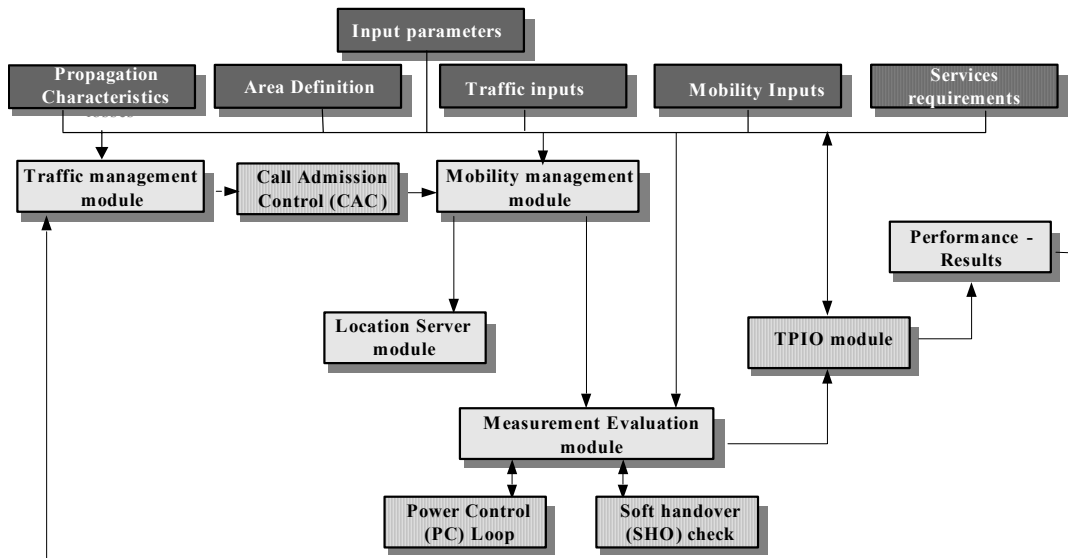
Το διάφορα αποτελέσματα του **MEM** προωθούνται στο δομοστοιχείο που έχει τον πλέον θεμελιώδη και καινοτόμο ρόλο στον προσομοιωτή και είναι αυτό που εφαρμόζει τους αλγορίθμους διαπομπής υποβοηθούμενους από την θέση του τερματικού (**Location-Aided Handover module-LAHm**). Οι διαδικασίες «ψήφισης» και «απόφασης» για τον αλγόριθμο PPA, η δυναμική δέσμευση πόρων και η αναπροσαρμογή των κατωφλίων *lowthreshold* και *highthreshold* για τον αλγόριθμο TTB, και τέλος ο υπολογισμός της συνάρτησης κόστους και ο καθορισμός των τιμών offset που «επιβάλλονται» στον κάθε χρήστη, λαμβάνουν χώρα μέσα από αυτό το δομοστοιχείο του προσομοιωτή.

Τέλος όλα τα αποτελέσματα και μετρήσεις σε κάθε βήμα δρομολογούνται προς την οντότητα **Results-Performance** του προσομοιωτή. Εκεί συγκεντρώνονται και τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης.

### **5.2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ UMTS**

Από την πλευρά της αρχιτεκτονικής, και οι δύο προσομοιωτές στηρίζονται σε παρόμοια αρχιτεκτονική δομοστοιχείων αλλά με διαφορετικό τρόπο ανάπτυξης χαμηλού επιπέδου αφού πρόκειται για δύο διαφορετικά συστήματα. Η δομή του UMTS προσομοιωτή φαίνεται στο *Σχήμα 5-8*. Οι κύριες διαφορές με τον GSM προσομοιωτή είναι τα δομοστοιχεία:

- Απαιτήσεων υπηρεσιών (Services Requirements) σαν δεδομένα εισόδου
- Ελέγχου αποδοχής κλήσης (Call Admission Control) που έπεται του δομοστοιχείου που παράγει το φορτίο (traffic management module)
- Ελέγχου ισχύος (Global Power control)
- TPIO αλγόριθμου
- Ελέγχου ήπιας διαπομπής (Soft Handover)



Σχήμα 5-8: Δομή UMTS προσομοιωτή

Η λειτουργία του UMTS προσομοιωτή χωρίζεται κυρίως σε δύο φάσεις. Την φάση αρχικοποίησης και την φάση των κύριων διαδικασιών. Και οι δύο αυτές φάσεις περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

### 5.2.2.1 Παράμετροι Αρχικοποίησης

Ο προσομοιωτής προκειμένου να τρέξει απαιτεί κάποιες παραμέτρους αρχικοποίησης. Αυτές οι παράμετροι κατηγοριοποιούνται στα επόμενα:

- *Καθορισμός περιοχής (Area Definition) - Διαχείριση κινητικότητας (Mobility Management) - Εξυπηρετητής θέσης (Location Server-LSM)*

Ισχύει ότι αναφέρεται στην παράγραφο 5.2.1.1.

- *Απαιτήσεις υπηρεσιών (Services requirements)*

Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στον προσομοιωτή του UMTS φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 5-3. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τεσσάρων υπηρεσιών όπως ο ρυθμός δεδομένων (bit rate Kbps), η ενέργεια ανά bit διαιρεμένη με την φασματική πυκνότητα της παρεμβολής (περιλαμβανομένου του θερμικού θορύβου)  $E_b/I_0$ , ο παράγοντας δραστηριότητας υπηρεσίας (Service Activity Factor – SAF) και ο παράγοντας ορθογωνιότητας (Orthogonality factor). Οι τέσσερις αυτές υπηρεσίες είναι η φωνή, η βίντεο

συνδιάσκεψη, η αλληλοδραστική υπηρεσία, και το βίντεο ροής πραγματικού χρόνου. Τα επίπεδα  $\left(\frac{E_b}{I_0}\right)_s$  είναι τα επιθυμητά και θεωρούνται ήδη εγνωσμένα από προσομοιώσεις σε επίπεδο ζεύξης (link level simulations). Ο ρυθμός chip,  $W$ , λαμβάνεται ίσος με  $3.84\text{Mcps}$  και η φασματική πυκνότητα θορύβου,  $N_u$ , ίση με  $174\text{dBm/MHz}$  αντιστοιχώντας έτσι σε ισχύ θορύβου ίση με  $-108.1\text{dBm}$ .

Πίνακας 5-3: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών UMTS [4]

	Voice Call		Videoconference		Interactive Data		Streaming Video	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Bit Rate (kbps)	12.2	12.2	64	64	144	144	-	384
Eb/Io requirement (dB)	4	6.5	2	5	1.5	4	-	3
Service Activity Factor	0.67	0.67	1.0	1.0	1.0	1.0	-	1.0
Orthogonality factor	-	0.5	-	0.5	-	0.5	-	0.5

- Διαχείριση τηλεπικοινωνιακής κίνησης (φορτίου)

Οι παράμετροι φορτίου που δίδονται σαν δεδομένα εισόδου για το μοντέλο κίνησης του προσομοιωτή (traffic model) είναι η μέση διάρκεια της κλήσης-υπηρεσιών και ο μέσος αριθμός χρηστών ανά υπηρεσία και κυψέλη.

- Μοντέλο διάδοσης (Propagation characteristics)

Για το μοντέλο διάδοσης χρησιμοποιούμε τη σχέση (4)

$$Loss_{i,p} = 138.5 + 35.7 \cdot \log_{10}(r) + X_{sh} \text{ (dB)} \quad (5-1),$$

όπου  $r$  είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου του pixel  $p$  και του Node-B που το εξυπηρετεί, δοσμένη σε  $Km$ . Η σχέση (2.23) περιλαμβάνει 3 όρους: Οι δύο πρώτοι όροι εκφράζουν τις απώλειες λόγω διαδρομών (path loss) που εκφράζονται βάσει του μοντέλου *Okumura-Hata* για μακροκυψέλες, όπως αυτό εμφανίζεται στην [5], κατά το οποίο η κεραία των Node-Bs βρίσκεται στα  $25m$ , η κεραία των κινητών τερματικών στο  $1.5m$  και η συχνότητα λειτουργίας στα  $1950\text{MHz}$ . Ο δε τρίτος όρος,  $X_{sh}$ , αποτελεί μια λογάριθμο-

κανονική (log-normal) τυχαία μεταβλητή (δηλαδή Gauss μετρούμενη σε dB) [6], με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση  $6-10dB$  και η οποία μοντελοποιεί το φαινόμενο της σκίασης (shadowing) [7]. Ακόμη, θεωρούμε πανκατευθυντικές κεραίες (omnidirectional antennas). Θεωρούμε, τέλος, ότι τα κινητά τερματικά μπορούν να εκπέμπουν το πολύ  $125mW (=21dBm)$  για όλες τις υπηρεσίες.

Η διαφορά στο μοντέλο διάδοσης μεταξύ του προσομοιωτή GSM, που τα δεδομένα προέρχονταν από τα αρχεία ραδιοκάλυψης, και του προσομοιωτή UMTS, με την χρήση του μοντέλου *Okumura-Hata*, οφείλεται στο γεγονός ότι το εργαλείο σχεδιασμού δικτύων, κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των εργαλείων, που παρείχε και τα αρχεία ραδιοκάλυψης δεν ήταν αναβαθμισμένο για σχεδιασμό δικτύου UMTS. Έτσι ενώ για το GSM η ραδιοκάλυψη ήταν θέμα εξαγωγής δεδομένων από το εργαλείο σχεδιασμού, για το UMTS έγινε χρήση του θεωρητικού μοντέλου *Okumura-Hata* και εξαγωγή παρόμοιων αρχείων ραδιοκάλυψης.

#### 5.2.2.2 Κύριες διαδικασίες

Μετά τις αρχικοποιήσεις, ο προσομοιωτής μπαίνει στη φάση των κύριων διαδικασιών οι οποίες αποτελούνται από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- **Παραγωγή τηλεπικοινωνιακής κίνησης (User generation):** Γέννηση νέων χρηστών (υπηρεσιών) βάσει του μοντέλου τηλεπικοινωνιακής κίνησης και τοποθέτηση αυτών στην περιοχή προσομοίωσης.
- **Αξιολόγηση μετρήσεων (Measurements evaluation):** Εκτιμά τη λαμβανόμενη ισχύ πεδίου για τον κάθε χρήστη καθώς κινείται και προσθέτει στην υπολογισμένη απώλεια διαδρομής το φαινόμενο της σκίασης (shadowing)
- **Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call admission control) – Έλεγχος ισχύος (Power control) – Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover):** Οι λειτουργίες αυτές εκτελούν τις απαραίτητες διαδικασίες που ορίζονται από ένα σύστημα UMTS όπως το CAC, PC (τόσο για ζεύξη ανόδου όσο και καθόδου) και SHO.
- **Διαχείριση κινητικότητας:** Κινεί τον κάθε χρήστη με βάση το μοντέλο κινητικότητας.

Αυτές οι διαδικασίες εκτελούνται καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης και σε κάθε βήμα αυτής. Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια πιο αναλυτική περιγραφή αυτών.

### 5.2.2.2.1 Παραγωγή τηλεπικοινωνιακής κίνησης (φορτίου)

Το μοντέλο παραγωγής τηλεπικοινωνιακής κίνησης «γεννά» χρήστες τεσσάρων διαφορετικών τύπων υπηρεσιών. Οι χρήστες αυτοί, σε αντίθεση με το GSM, δεν είναι ακόμα ενεργοί. Θα πρέπει να γίνουν αποδεκτοί από την διαδικασία ελέγχου αποδοχής κλήσεων και να ρυθμίσουν την ισχύ εκπομπής βάσει του ελέγχου ισχύος για τη ζεύξη ανόδου. Οι υπηρεσίες που παράγονται με τα χαρακτηριστικά των ρυθμών δεδομένων και για τις δύο κατευθύνσεις ζεύξεων δίνονται στον Πίνακα 5-4

Πίνακας 5-4: Ρυθμός δεδομένων υπηρεσιών UMTS

Description	Bit Rate (kbps) Uplink	Bit Rate(kbps) Downlink
Voice call	12.2	12.2
Videoconference	64	64
Interactive Data	144	144
Streaming Video	-	384 kbps

Όπως αναφέρθηκε, το μοντέλο παραγωγής φορτίου δέχεται σαν παράμετρος εισόδου τον μέσο αριθμό χρηστών ανά υπηρεσία και το μέσο χρόνο διάρκειας κλήσης ή συνόδου αν πρόκειται για υπηρεσίες πακέτων. Η ομιλία και άλλες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου φθάνουν στο σύστημα σύμφωνα με μια στοχαστική διαδικασία Poisson με ρυθμό άφιξης  $\lambda$  και συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $f_x(x) = e^{-\lambda T} \cdot \frac{(\lambda T)^x}{x!}$

Όπου  $x$  είναι ο αριθμός των κλήσεων ανά περίοδο πλαισίου. Κάθε πλαίσιο διαρκεί 10 ms, βάσει των προδιαγραφών του UMTS [8].

Σύμφωνα με την ETSI [9], το μοντέλο παραγωγής τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι τύπου ON-OFF, με ενεργές περιόδους (active) και καταστάσεις ηρεμίας (idle).

Η αναχώρηση από το σύστημα διαμορφώνεται με τον καθορισμό του μέσου χρόνου παραμονής (mean holding time- $mht$ ) (που μετριέται στα δευτερόλεπτα) των χρηστών. Δηλαδή το μήκος συνόδου για έναν χρήστη διανέμεται εκθετικά με έναν μέσο όρο  $mht$ .

5.2.2.2.2 Έλεγχος αποδοχής κλήσεων (Call admission control) – Έλεγχος ισχύος (Power control) – Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover)

Τα μελλοντικά 3G συστήματα κινητών επικοινωνιών όπως το UMTS θα προσφέρουν βελτιστοποίηση της χωρητικότητας με κύρια μέσα τους αποτελεσματικούς αλγορίθμους για διαχείριση του ραδιοδικτύου και της ποιότητας υπηρεσιών όπως ο έλεγχος αποδοχής κλήσης, ο έλεγχος ισχύων και ο έλεγχος διαπομπών [10]. Αυτές οι διαδικασίες είναι σημαντικές λόγω του γεγονότος ότι σε ένα σύστημα W-CDMA δεν υπάρχει σταθερή τιμή μέγιστης χωρητικότητας αφού εξαρτάται ισχυρά από το ποσό της παρεμβολής στο ραδιοδίκτυο.

Αυτό το στοιχείο του προσομοιωτή ενσωματώνει αυτές τις βασικές και πολύ σημαντικές αρχές και διαδικασίες του UMTS. Αποτελούνται δε, από 4 κυρίως μέρη:

- Έλεγχος Αποδοχής κλήσης (Call Admission Control)
- Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη ανόδου (Uplink Power Control)
- Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη καθόδου (Downlink Power Control)
- Έλεγχος ήπιας διαπομπής (Soft Handover check)

5.2.2.2.2.1 Έλεγχος αποδοχής κλήσης (Call Admission Control-CAC)

Ο έλεγχος αποδοχής κλήσης είναι η διαδικασία που ελέγχει τους νεοεισερχόμενους χρήστες στο σύστημα και αποφασίζει ότι είτε τους δέχεται και τους δεσμεύει σε μια κυψέλη είτε όχι. Διάφοροι αλγόριθμοι και πολλαπλές τεχνικές για το CAC έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία [11][12][13][14][15][16]. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής εφαρμόζει το CAC που έχει προταθεί στο βιβλίο “Radio network planning and optimization for UMTS” [16]. Αυτός βασίζεται στο γεγονός ότι το φορτίο που επιφέρει μια καινούργια υπηρεσία στο σύστημα δεν ξεπερνά ένα προκαθορισμένο κατώφλι τόσο για την ζεύξη ανόδου όσο και καθόδου. Εκεί αναφέρεται και ως “Throughput-Based Admission Control Strategy”.

Στη επιλεγμένη στρατηγική ο χρήστης που ζητά την έναρξη μιας υπηρεσίας δε γίνεται αποδεκτός στο ράδιο-δίκτυο αν:

$$\eta_{UL} + \Delta L_i > \eta_{UL\_threshold}, \text{ για τη ζεύξη ανόδου} \quad (5-2),$$

$$\eta_{DL} + \Delta L_i > \eta_{DL\_threshold}, \text{ για τη ζεύξη καθόδου} \quad (5-3),$$

όπου  $i$  κάθε νέος χρήστης,  $\eta_{UL}$  ο παράγοντας φόρτωσης για την ζεύξη ανόδου,  $\eta_{DL}$  ο αντίστοιχος παράγοντας για τη ζεύξη καθόδου,  $\Delta L_i$  ο παράγοντας φόρτωσης που επιφέρει η καινούργια ζητούμενη υπηρεσίας από τον χρήστη  $i$ .

Οι σχέσεις (5-4) και (5-5) δίνουν τους παράγοντες φόρτωσης  $\eta_{UL}$  και  $\eta_{DL}$  για το σύνολο των χρηστών  $N$  που είναι εκείνη τη στιγμή ενεργοί στο σύστημα.

$$\eta_{UL} = (1 + f) \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + \frac{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i \cdot R_i \cdot SAF_i}{W}} \quad (5-4),$$

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^N SAF_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i [(1 - \bar{a}) + f] \quad (5-5)$$

όπου

- $f = \frac{\text{other cell Interference}}{\text{own cell Interference}}$  εκφράζει την αναλογία της εξωτερικής παρεμβολής που δέχεται ο Node-B μιας κυψέλης από uplink συνδέσεις που προέρχονται από γειτονικές σε αυτή κυψέλες προς την παρεμβολή που δέχεται από δικές του συνδέσεις
- $W$  ο ρυθμός chip του UMTS (3.84 Mcps)
- $E_b/I_o$  ο «λόγος ενέργειας ανά bit προς την πυκνότητα ισχύος θορύβου» (energy per bit divided by the interference spectral density) όπου στην παρεμβολή συνυπολογίζεται και ο θερμικός θόρυβος
- $R_i$  ο ρυθμός δεδομένων που απαιτεί ο χρήστης ανάλογα με την υπηρεσία
- $SAF_i$  ο «παράγοντας δραστηριότητας της υπηρεσίας» (service activity factor), που αποτελεί ένα δείκτη του βαθμού απασχόλησης του καναλιού από την κάθε υπηρεσία.
- $N$  ο συνολικός αριθμός χρηστών σε μια κυψέλη



- $\bar{\alpha}$  είναι ο παράγοντας ορθογωνιότητας (Orthogonality factor)

Ο παράγοντας φόρτωσης  $\Delta L_i$  που προσθέτει μια νέα υπηρεσία δίνεται από την σχέση (5-7).

$$\Delta L_i = \frac{1}{1 + \frac{W}{SAF_i \cdot (E_b/N_0)_i \cdot R_i}} \quad (5-6)$$

Τα κατώφλια  $\eta_{UL\_threshdd}$ ,  $\eta_{DL\_threshdd}$  έχουν την ίδια τιμή βάσει του [16]

$$\eta_{UL\_threshdd} = \eta_{DL\_threshdd} = 0.8 \quad (5-7)$$

#### 5.2.2.2.2 Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη ανόδου (Uplink Power Control)

Ο έλεγχος ισχύος εκπομπής είναι πάντα ένα κρίσιμο ζήτημα για την ασύρματη κινητή επικοινωνία. Οι στόχοι του ελέγχου, ή της κατανομής αλλιώς, της ισχύος στην ζεύξη ανόδου είναι κυρίως δύο: 1) να ορίσει την ισχύ εκπομπής μέσα σε κάποια όρια για κάθε τερματικό σε μια κυψέλη έτσι ώστε όλες οι εκπομπές να καλύπτουν τις απαιτήσεις QoS τους κάτω από ένα δεδομένο ποσό θερμικών θορύβων, ενδό και διακυβελικών παρεμβολών και 2) να ελαχιστοποιήσει το σύνολο των εκπεμπόμενων ισχύων από τα τερματικά ώστε να μειωθεί η κατανάλωση των μπαταριών αυτών.

Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) εκφράζεται μέσα από τον ελάχιστο επιθυμητό «λόγο σήματος προς θόρυβο» (signal-to-noise ratio) στο δέκτη του uplink δηλ. τον Node-B και συμβολίζονται ως  $SNR_i$ . Ο λόγος  $SNR_i$  δίνεται από τη σχέση  $SNR_i = \frac{R_i}{W} \cdot \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_i$  και συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε υπηρεσίας.

Για την ζεύξη ανόδου υπολογίζεται λοιπόν η απαραίτητη ισχύς εκπομπής με εξασφαλισμένο για κάθε υπηρεσία ένα ελάχιστος λόγος «σήματος προς θόρυβο»  $SNR_i$  (σχέση 5-8)

$$\frac{P_{TX}(i) \cdot Loss(i)}{\bar{I}_{tot}(i) + N_i W} \geq SNR(i) \quad (5-8)$$

όπου:

- $N_i$  είναι η φασματική πυκνότητα θερμικού θορύβου στο uplink
- $W$  ο ρυθμός chip του UMTS (3.84 Mcps)

- $P_{TX}(i)$  η εκπεμπόμενη ισχύς του τερματικού
- $\bar{I}_{tot}(i)$  εκφράζει τη συνολική παρεμβολή που αντιλαμβάνεται ο Node-B της κυψέλης
- $\overline{Loss}_j$  εκφράζει την απώλεια διαδρομής μεταξύ Node-B και τερματικού

Η συνολική παρεμβολή που φθάνει στο Node-B μπορεί να εκφρασθεί ως άθροισμα της ενδοκυψελικής και διακυψελικής παρεμβολής. Στην προκειμένη περίπτωση η διακυψελική παρεμβολή λαμβάνεται από μια σταθερή τιμή  $f$ , που συμβολίζει την αναλογία της παρεμβολής όλων των κυψελών προς ενδοκυψελική. Για τα σενάρια που εξετάζονται υποθέτονται μακροκυψέλες με πανκατευθυντικές κεραίες (omnidirectional antennas) και τιμή του  $f = 55\%$  [17].

$$\bar{I}_{tot} = \bar{I}_{intra} + \bar{I}_{inter} = \bar{I}_{intra} \cdot (1 + f) \quad (5-9),$$

Η ενδοκυψελική παρεμβολή δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$\bar{I}_{intra}(j) = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N P_{TX}(i) \cdot SAF(i) \cdot Loss(i) \quad (5-10),$$

Στην προσομοίωση η απώλεια διαδρομών υπολογίζεται από τον τύπο (5-1). Υποθέτουμε ότι η απώλεια διαδρομών είναι η ίδια τόσο για τη ζεύξη ανόδου όσο και για τη ζεύξη καθόδου. Στην απώλεια δρόμων προσθέτουμε και μια in-car απώλεια (6dB).

Προκειμένου, να προσδιοριστεί η ισχύς εκπομπής για κάθε χρήστη που ικανοποιεί την παραπάνω ανισότητα (5-8), το παρακάτω σύστημα με το συνδυασμό των δύο σχέσεων, πρέπει να επιλυθεί:

$$\begin{cases} \frac{P_{TX}(i) \cdot Loss(i)}{\bar{I}_{tot}(i) + N_i W} \geq SNR(i) \\ \bar{I}_{intra}(j) = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N P_{TX}(i) \cdot SAF(i) \cdot Loss(i) \end{cases} \quad (5-11),$$

Για την επίλυση του άνωθεν συστήματος, προτείνουμε μια αριθμητική, επαναληπτική μέθοδο. Πρόκειται ουσιαστικά για την κλασική επαναληπτική μέθοδο επίλυσης μη γραμμικών συστημάτων, την *Jacobi*. Στη βιβλιογραφία είναι γνωστές αρκετές επαναληπτικές μέθοδοι για την επίλυση γραμμικών εξισώσεων. Εντούτοις, σε αυτήν την περίπτωση μόνο λίγες μέθοδοι φαίνονται να είναι κατάλληλες. Αυτές είναι η *Jacobi*, και η

Gauss-Seidel. Αποδοτικότερες μέθοδοι, όπως εκείνη της υπέρ-χαλάρωσης (over-relaxation) ενδέχεται να προκαλέσουν αστάθειες που δεν είναι επιθυμητές στην εφαρμογή μας. Επιλέγουμε, λοιπόν, τη μέθοδο Jacobi και στη συνέχεια ο τρόπος εξαγωγής του αλγορίθμου παρουσιάζεται αναλυτικά.

Για απλοποίηση το σύστημα γράφεται με την μορφή πινάκων:

$$\begin{bmatrix} L_1 & -L_2 K_2 SNR_1(1+f) & -L_3 K_3 SNR_1(1+f) & \dots & -L_N K_N SNR_1(1+f) \\ -L_1 K_1 SNR_2(1+f) & L_2 & & & -L_N K_N SNR_2(1+f) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ -L_1 K_1 SNR_N(1+f) & \dots & \dots & \dots & L_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \end{bmatrix} = \bar{b}$$

$i = 1, 2, \dots, N$  όπου,

- $L_i = Loss(i)$
- $K_i = SAF(i)$
- $\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix}$ ,  $b = N_i W$
- $P_i$  είναι το διάνυσμα των εκπεμπόμενων ισχύων από τους  $N$  χρήστες του συστήματος

Οι παραπάνω πίνακες μπορούν να γραφούν στην μορφή

$$A \cdot P = b$$

όπου

$$A = \underbrace{\begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_2 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & \dots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & L_N & \vdots \end{bmatrix}}_D + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & -L_2 K_2 SNR_1 & -L_3 K_3 SNR_1 & \dots & -L_N K_N SNR_1 \\ -L_1 K_1 SNR_2 & 0 & & & -L_N K_N SNR_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -L_1 K_1 SNR_N & \dots & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix}}_{-C} \cdot (1+f)$$

Η επαναληπτική μέθοδος που προκύπτει για την επίλυση του συστήματος:

$$DP^{(k+1)} = -CP^{(k)} + b \quad (5-12),$$

Σαν πρώτο βήμα επιλέγεται σαν  $P_i^{(0)} = P_{MAX}$ , όπου  $P_{MAX}$  είναι η μέγιστη τιμή εκπομπής, λόγω του γεγονότος ότι, αυτό θα οδηγήσει σε ελάχιστο αριθμό επαναλήψεων που απαιτούνται για τη σύγκλιση. Γενικά η επαναληπτική διαδικασία διακόπτεται όταν το σύστημα επιλυθεί και ελεγχθεί αν οι εκπεμπόμενες ισχύς είναι κάτω από την μέγιστη τιμή  $P_{MAX}$ .

#### 5.2.2.2.3 Έλεγχος ισχύος για την ζεύξη καθόδου (Downlink Power Control)

Ο έλεγχος ισχύος για τη ζεύξη καθόδου [16][18] καθορίζει τα επίπεδα ισχύος εκπομπής κάθε. Όπως και ο έλεγχος ισχύος στη ζεύξη ανόδου, διενεργείται συνεχώς για κάθε κυψέλη, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι στην αντίστοιχη κυψέλη. Το αποτέλεσμα είναι η επαναπροσαρμογή της εκπεμπόμενης ισχύος κάθε κυψέλης.

Η διαδικασία είναι αρκετά πιο απλή από αυτής της ανόδου αφού δεν αποτελείται από επαναληπτικούς αλγορίθμους.

Στον UMTS προσομοιωτή έχει υλοποιηθεί επίσης το κομμάτι που αφορά τον έλεγχο ισχύος στη ζεύξη καθόδου. Πρώτος στόχος είναι η πιστοποίηση ότι η ισχύς εκπομπής ενός Node-B είναι μικρότερη από την μέγιστη επιτρεπτή. Στη ζεύξη καθόδου η μέγιστη ισχύς εκπομπής είναι η ίδια ανεξαρτήτως τον αριθμό των χρηστών που υπάρχουν σε αυτήν. Αυτή η ισχύς μοιράζεται με τον βέλτιστο τρόπο ανάμεσα σε χρήστες με στόχο την κάλυψη τους. Η συνολική ισχύς μετάδοσης του Node-B (κατεύθυνση καθόδου):

$$P_{NODE-B} = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \sum_{j=0}^N SAF_j \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot Loss_i}{1 - \eta_{DL}} \quad (5-13),$$

όπου,

$$N_{rf} = -108.2dBm + NF$$

και

$P_{NOBE-B}$  : Είναι η συνολική ισχύς εκπομπής του Node-B

$R_i$  : ο ρυθμός δεδομένων του χρήστη  $i$  ;

$N_{rf}$  : Φασματική πυκνότητα θορύβου του τερματικού δέκτη και  $-108.2dBm$  είναι ο θερμικός θόρυβος του συστήματος στα 3.84 Mcps;

$NF$  : είναι ο θόρυβος του δέκτη στο τερματικό με τυπικές τιμές 5÷9dB.

Ο παράγοντας φόρτωσης ζεύξης καθόδου μπορεί να προσεγγιστεί με την ακόλουθη σχέση:

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^N SAF_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot \left( \frac{E_b}{N_o} \right)_i [(1 - \bar{a}) + f] \quad (5-14),$$

Στην συγκεκριμένη προσέγγιση υποθέτουμε βέλτιστο έλεγχο ισχύος και έλλειψη μακρό διαφορικότητας. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα κύρια στοιχεία-μεταβλητές που χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο αποδοχής κλήσης όσο και για αυτόν της ισχύος εκπομπής με τις τιμές που δίνονται.

Πίνακας 5-5: Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων UMTS

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
$W$	Ρυθμός WCDMA chip	3.84 Mcps
$N_{rf}$	Φασματική πυκνότητα θορύβου του τερματικού δέκτη (Downlink)	-108,2dBm+ $NF$ *
$NF$ *	Θόρυβος του τερματικού δέκτη	Τυπικές τιμές 4-9dB Στην περίπτωση του UMTS προσομοιωτή μόνο in-car loss (6 dB)
$N$	Συνολικός αριθμός χρηστών	Εξαρτάται από το μοντέλο κίνησης
$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_i$	Λόγος ενέργειας ανά bit προς την φασματική πυκνότητα θερμικού θορύβου»	Εξαρτάται από την υπηρεσία χρηστών
$R_i$	Ρυθμός δεδομένων του χρήστη $i$	Εξαρτάται από την υπηρεσία χρηστών
$f = \frac{\text{other cell Interference}}{\text{own cell Interference}}$	Αναλογία εξωτερικών προς εσωτερικών παρεμβολών σε μια κυψέλη	55%
$SAF_i$	Παράγοντας δραστηριότητας υπηρεσίας του χρήστη $i$	0.67 (Voice) 1 (Data,Ftp,Video)

### 5.2.2.2.3 Έλεγχος ήπιας διαπομπής

Όπως φαίνεται από τις προηγούμενες παραγράφους, για κάθε κυψέλη υπάρχει ένας αριθμός ενεργών χρηστών (εμφανίζεται ως  $N$ ) που είναι συνδεδεμένοι στο αντίστοιχο Node-B. Υποθέτοντας ότι ένας μπορεί να επικοινωνήσει με παραπάνω από ένα Node-B ταυτόχρονα,

πρέπει να υπάρξει κάποιος έλεγχος με πόσα και ποια Node-Bs θα μπορούσε να επικοινωνήσει. Αυτός είναι και ο κύριος σκοπός του ελέγχου ήπιας διαπομπής.

Μια σημαντική παράμετρος για τον αλγόριθμο ήπιας διαπομπής είναι το μέγεθος του ενεργού συνόλου (active set) που ορίζεται το σύνολο των σταθμών βάσης που ένα τερματικό μπορεί να επικοινωνήσει κάθε στιγμή. Στο προσομοιωτή UMTS υποθέτουμε ότι ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονων συνδέσεων είναι δύο (2).

Μια υπόθεση που γίνεται στον προσομοιωτή είναι η εξής: όταν ένας χρήστης «γεννηθεί» το ενεργό σύνολο αποτελείται από τις δύο κυψέλες με το ισχυρότερο σήμα στο συγκεκριμένο σημείο. Ο έλεγχος αποδοχής κλήσεων και έλεγχος ισχύος θα πραγματοποιηθεί για αυτές τις δύο κυψέλες. Μετά τις δύο αυτές διαδικασίες και τις αναπροσαρμογές ισχύων μετάδοσης, η διαδικασία ελέγχου ήπιας διαπομπής συνεχώς αναπροσαρμόζει το ενεργό σύνολο.

Είναι φανερό ότι κάποια κριτήρια εφαρμόζονται ούτως ώστε να διεκπεραιωθεί αυτή η διαδικασία. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στο λαμβανόμενο σήμα  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$  από τα Node-Bs

και στον παράγοντα φόρτωσης της κάθε κυψέλης. Έτσι προκειμένου ένα δεύτερο Node-B να προστεθεί στο ενεργό σύνολο ενός χρήστη, θα πρέπει το λαμβανόμενο σήμα να είναι αποδεκτό και το επιπλέον φορτίο που θα επέφερε αυτός ο χρήστης σε αυτό το node-B να μην προκαλούσε υπερφόρτωση. Προκειμένου λοιπόν να αποφασιστεί ποιοι σταθμοί βάσης θα λειτουργήσουν σε κατάσταση μακροδιαφορικότητας, το τερματικό μετρά το λαμβανόμενο σήμα  $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$  πάνω από το κανάλι CPICH που εκπέμπεται από τις γειτονικές

κυψέλες. Συγκρίνοντας το σήμα, στο πιλοτικό κανάλι, που λαμβάνει από τις γειτονικές κυψέλες με αυτό της κυψέλης που εξυπηρετείται, το κινητό αποφασίζει με ένα συγκεκριμένο αλγόριθμο, ου περιγράφεται παρακάτω, αν θα εφαρμόζει ήπια διαπομπή. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο ήπιας διαπομπής περιγράφονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5-6):

**Πίνακας 5-6: Παράμετροι αλγορίθμου ήπιας διαπομπής**

<b>Παράμετρος</b>	<b>Περιγραφή</b>
<i>AC</i>	Active Cell
<i>BCAS</i>	Best Cell in the Active Set

<i>BCC</i>	Best Candidate Cell
<i>WCAS</i>	Worst Cell in the Active Set

Όλες οι παράμετροι εκφράζονται από το λαμβανόμενο σήμα (σε dBm) των αντίστοιχων κυψελών που περιγράφουν.

Η διαδικασία ελέγχου ήπιας διαπομπής καθορίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

- Εάν μια κυψέλη δεν ανήκει στο ενεργό σύνολο του χρήστη και η λαμβανόμενη ισχύς ικανοποιεί το κριτήριο  $CC > BCAS - MarginA$ , και το ενεργό σύνολο δεν είναι γεμάτο, η υποψήφια κυψέλη προστίθεται στο ενεργό σύνολο.
- Εάν μια κυψέλη είναι ήδη στο ενεργό σύνολο, και ικανοποιείται το κριτήριο  $CC > BCAS - MarginB$ , η κυψέλη αυτή αφαιρείται από το ενεργό σύνολο.
- Εάν το ενεργό σύνολο είναι γεμάτο και  $BCAS > WCAS - MarginC$ ,  $CC > BCAS - MarginA$ , το πιο αδύνατο Node-B του ενεργού συνόλου αντικαθίσταται με το υποψήφιο.

Τα  $MarginA$ ,  $MarginB$ ,  $MarginC$  είναι οι τιμές υστέρησης για την προσθήκη, αφαίρεση και αντικατάσταση αντίστοιχα από το ενεργό σύνολο.

### 5.2.2.3 Κινητικότητα

Το μοντέλο κινητικότητας ακολουθεί τις προδιαγραφές όπως έχουν περιγραφεί και στον προσομοιωτή του GSM (5.2.1.1).

## 5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Ένας μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων οδήγησε στην εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιούνται σε σχέση με τον αλγόριθμο που έχει εφαρμοστεί και βέβαια βάσει του συστήματος (GSM και UMTS). Τα αποτελέσματα κυρίως αφορούν μέτρα απόδοσης του δικτύου GSM, όπως η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων, συμπεριλαμβανομένου και της πιθανότητας αποτυχημένης διαπομπής, ο ρυθμός διαπομπών, ο αριθμός διαπομπών ring-rong ειδικά για το PPA, κ.α.. Όσο για το UMTS, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν κυρίως πως η ισχύς μετάδοσης και αντίστοιχα η παρεμβολή επηρεάζεται από την απόσταση του χρήστη από το NodeB και από την υπηρεσία που αυτός ζητά.

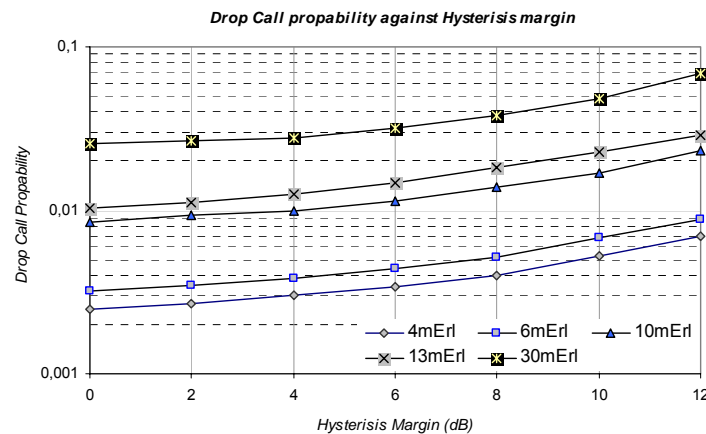
### 5.3.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ GSM

#### 5.3.1.1 PPA-Σενάριο 1 - Επίδραση περιθωρίου υστέρησης

Το σενάριο που εξετάζεται στη συνέχεια αποτελεί ένα μέρος των αποτελεσμάτων εκτέλεσης του αλγορίθμου PPA.

Θεωρείται η περιοχή εξυπηρέτησης που φαίνεται στο Σχήμα 5-1 και η διάταξη κυψελών στο Σχήμα 4-15, αντίστοιχα. Επιπλέον, όλες οι υπόλοιπες παράμετροι είναι αυτές που προσδιορίστηκαν στην παράγραφο 5.2.1.1. Συνοπτικά οι κυριότερες παράμετροι φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα.

Όπως αναφέρθηκε και στην §4.2, το πρόβλημα ring-rong διαπομπής, μέχρι στιγμής στη βιβλιογραφία, αντιμετωπίζεται πρωτίστως με την κατάλληλη επιλογή του περιθωρίου υστέρησης (*Hysteresis Margin-HOMargin*). Αξίζει λοιπόν, να εξεταστεί η επίδραση αυτού του περιθωρίου σε κύριες παραμέτρους απόδοσης δικτύου όπως η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων<sup>8</sup>. Από την ανάλυση του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 5-9) φαίνεται η σχέση του περιθωρίου υστέρησης με την ως άνω πιθανότητα. Διαπιστώνεται ότι, όσο το περιθώριο υστέρησης αυξάνεται, τόσο και η πιθανότητα απορρίψεων κλήσεων αυξάνεται.

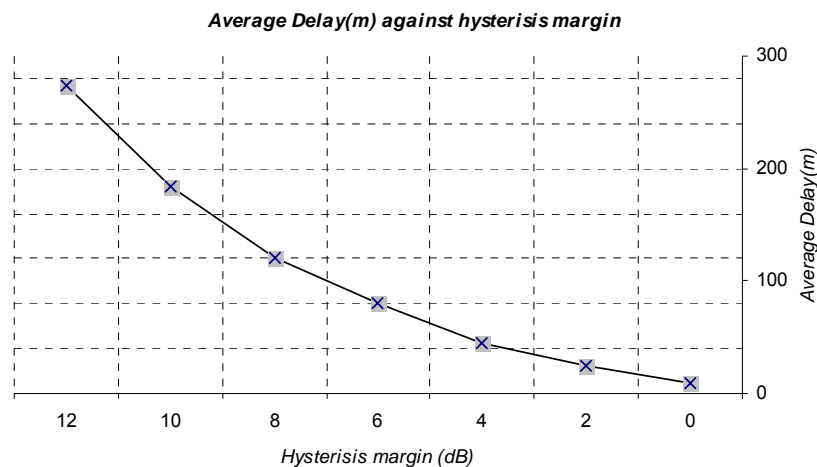


Σχήμα 5-9: Πιθανότητα απόρριψης κλήσεων έναντι του περιθωρίου υστέρησης

<sup>8</sup> Στη συνέχεια, όπου αναφέρεται ο όρος πιθανότητα-ρυθμός απόρριψης κλήσης, θα θεωρείται ότι πρόκειται για απόρριψης κλήσης λόγω αποτυχημένης διαπομπής. Γι αυτό το λόγο, παρακάτω καλείται και πιθανότητα-ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών



Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, με την αύξηση του περιθωρίου υστέρησης υπάρχει πιθανότητα το λαμβανόμενο σήμα στο τερματικό να έχει εξασθενήσει αρκετά αλλά να μην πραγματοποιηθεί διαπομπή στην κυψέλη στόχο, με κριτήριο την ισχύ σήματος, μιας και το λαμβανόμενο σήμα αυτής δεν θα είναι μεγαλύτερο από  $HOMargin$  dB από το αντίστοιχο της κυψέλης που εξυπηρετεί το τερματικό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ποιότητα λαμβανόμενου σήματος και στην τελικά απόρριψη της κλήσης. Επίσης, μια παράμετρος που επηρεάζεται από την τιμή του  $HOMargin$  είναι και η καθυστέρηση που παρατηρείται στη διαπομπή. Το Σχήμα 5-10 παρουσιάζει την καθυστέρηση που προκαλείται στη θεωρητικά αναγκαία διαπομπή σε συνάρτηση με την τιμή του  $HOMargin$ .

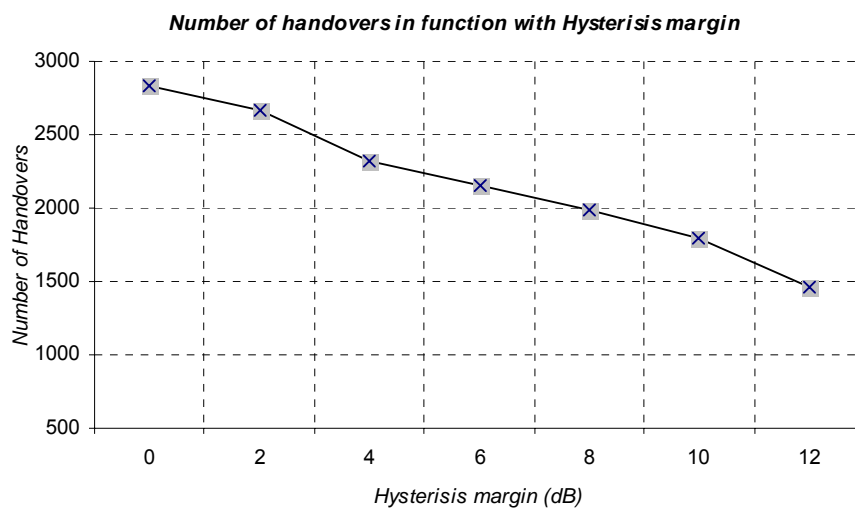


**Σχήμα 5-10: Καθυστέρηση έναντι του περιθωρίου υστέρησης**

Η καθυστέρηση ορίζεται εδώ, όπως και σε όλες τις προηγούμενες μελέτες, ως η απόσταση μεταξύ του σημείου που πραγματοποιήθηκε η διαπομπή από το θεωρητικό σημείο που είναι το σύνορο των δύο κυψελών βάσει των μετρούμενων λαμβανόμενων σημάτων εκεί. Έτσι, στη περίπτωση που δεν υπήρχε περιθώριο υστέρησης, το τερματικό θα πραγματοποιούσε την διαπομπή στο πρώτο σημείο όπου το λαμβανόμενο σήμα από την κυψέλη στόχο θα ήταν καλύτερο (ισχυρότερο) από το αντίστοιχο της κυψέλης που το εξυπηρετούσε μέχρι εκείνη τη στιγμή. Η αυξημένη καθυστέρηση στη διαπομπή μπορεί οδηγήσει σε υπερβολικό «σύρσιμο» (*dragging*) των καναλιών στη νέα κυψέλη, το οποίο αυξάνει την πιθανότητα της ενδοκαναλικής παρεμβολής και επομένως μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην απώλεια επικοινωνίας.

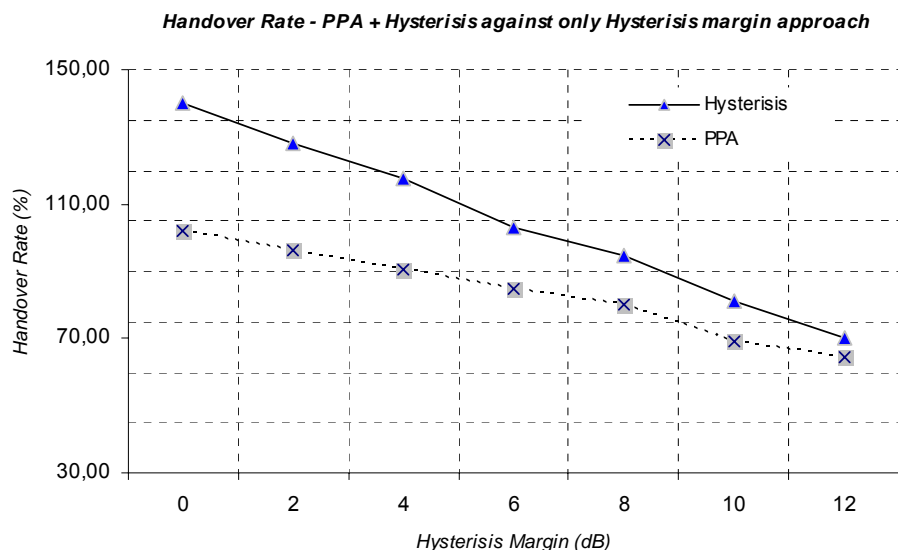
Αν τα μοναδικά κριτήρια επιλογής της τιμής του *HOMargin* ήταν η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων και η καθυστέρηση στη διαπομπή τότε αυτή θα έπρεπε να ήταν η μικρότερη δυνατή. Στην πραγματικότητα όμως, μια χαμηλή τιμή του *HOMargin* θα επέφερε και αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του δικτύου. Θα φανεί παρακάτω πως μια χαμηλή τιμή του *HOMargin* αυξάνει δραματικά τον αριθμό και επομένως το ρυθμό των διαπομπών σε ένα δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5-11 όπου αναπαριστάνεται ο ρυθμός διαπομπών στην περιοχή εξυπηρέτησης για το συγκεκριμένο σενάριο.



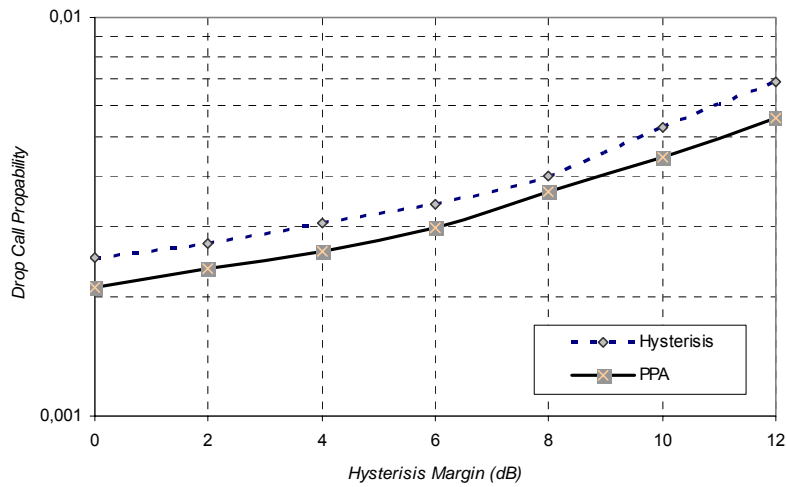
Σχήμα 5-11: Αριθμός διαπομπών σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης

Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι με την αύξηση της τιμής υστέρησης από 0dB σε 12dB επιτυγχάνεται μείωση του ρυθμού διαπομπών κατά 50% (Σχήμα 5-11) ταυτόχρονα προκαλείται αύξηση της πιθανότητας απόρριψης κλήσης κατά 250% (Σχήμα 5-9, 4mEr1). Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι, είναι αναγκαίο το tradeoff μεταξύ της πιθανότητας αποκλεισμού κλήσεων και της καθυστέρησης στη διαπομπή με τον αριθμό και κατά προέκταση ρυθμό διαπομπών. Συνήθως ένα δίκτυο αυτή τη στιγμή χρησιμοποιεί μια τιμή υστέρησης γύρω στα 5-10dB. Αξίζει λοιπόν, να συγκριθεί ο PPA αλγόριθμος με την προσέγγιση του περιθωρίου υστέρησης και να διαπιστωθεί τι αποτελέσματα επιφέρει αυτός σε συνδυασμό με αυτό το περιθώριο. Στο Σχήμα 5-12 φαίνονται τόσο ο ρυθμός διαπομπών όταν χρησιμοποιείται μόνο το *HOMargin* όσο και ο αντίστοιχος ρυθμός όταν ο αλγόριθμος PPA εφαρμόζεται σε συνδυασμό με αυτό. Μια γρήγορη διαπίστωση είναι ότι, η μείωση του ρυθμού διαπομπών που επιφέρει ο αλγόριθμος PPA είναι αρκετά σημαντική.



**Σχήμα 5-12: Ρυθμός διαπομπών- PPA αλγόριθμος έναντι περιθωρίου υστέρησης**

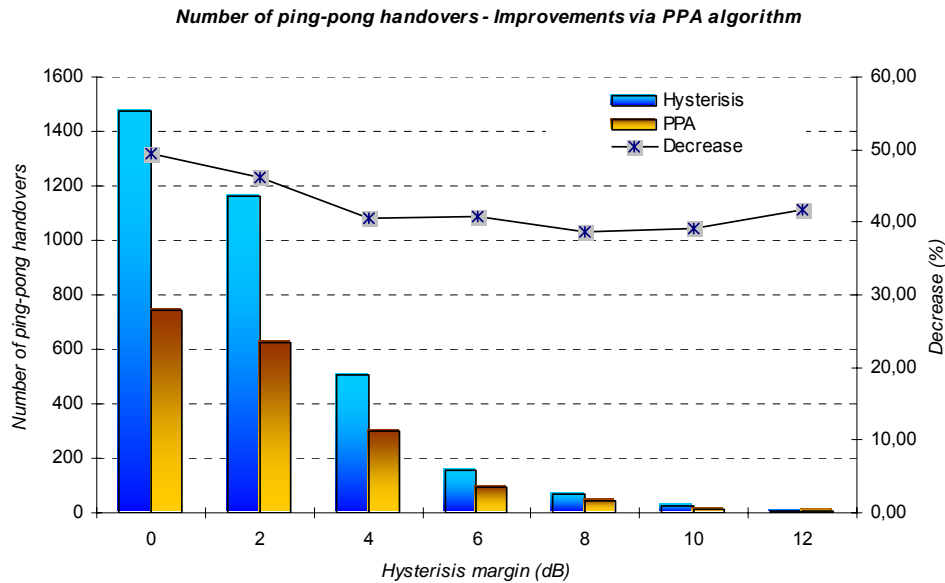
Παράλληλα όμως, ο PPA αλγόριθμος επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα και στην πιθανότητα απόρριψης μιας κλήσης. Στο συγκεκριμένο σενάριο, μπορεί το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης να είναι χαμηλό και επομένως η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων να βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (τάξη του  $10^{-3}$ ) αλλά δεν παύει να επιτρέπει την αξιολόγηση του PPA αλγορίθμου. Όπως και το Σχήμα 5-13 δείχνει, με την εφαρμογή του PPA η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων μειώνεται. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί και θεωρητικά από τη στιγμή που ο χρήστης «κλειδώνει» κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης κίνησης σε μια κυψέλη και έτσι αποφεύγεται η συνεχής εναλλαγή των κυψελών που τον εξυπηρετούν που θα μπορούσε να επιφέρει και πτώση της κλήσης λόγω έλλειψης καναλιών αλλά και λόγω αυξημένης σηματοδοσίας στο δίκτυο με αποτέλεσμα την καθυστέρηση εντολής για διαπομπή. Το τελευταίο επηρεάζει και το μέτρο της πιθανότητας αποτυχημένων διαπομπών. Έτσι, ο αλγόριθμος PPA έχει την ως άνω συμπεριφορά και στην περίπτωση της πιθανότητας αποτυχημένων διαπομπών.



Σχήμα 5-13: Πιθανότητα απόρριψης κλήσης - PPA έναντι περιθωρίου υστέρησης

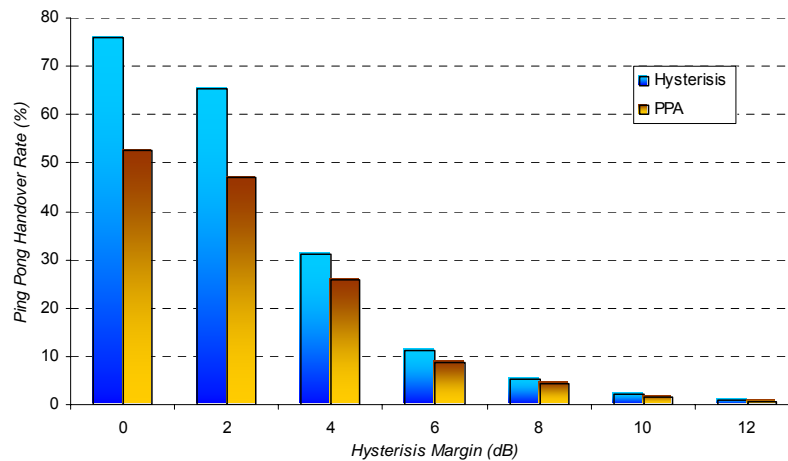
Λόγω του «κλειδώματος» του χρήστη, ο οποίος ανιχνεύθηκε να οδηγείται σε μια διαπομπή ring-rong, σε μια κυψέλη για ένα χρονικό διάστημα, ο αριθμός των ring-rong διαπομπών μειώνεται με τη χρήση του PPA αλγορίθμου. Όπως λεπτομερώς αναλύθηκε και στο κεφάλαιο 4.2 ο PPA αλγόριθμος εξαρτάται άμεσα από την επιτυχημένη ή μη πρόβλεψη της κίνησης, την αποτίμηση των λαμβανόμενων σημάτων κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης κίνησης και της ικανότητας ανίχνευσης ring-rong διαπομπής. Έτσι δεν είναι εφικτή η πλήρης απαλοιφή του φαινομένου της ring-rong διαπομπής μιας και μια ή και περισσότερες από τις παραπάνω διαδικασίες μπορεί να αποτύχει. Αξίζει λοιπόν να φανεί η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου στον αριθμό των ring-rong διαπομπών. Με τις παραμέτρους που περιγράφονται στον Πίνακα 5-2 και πάντα σε συνάρτηση με την τιμή υστέρησης που προσδίδει ο πάροχος, ο αλγόριθμος PPA παρουσιάζει μείωση σχεδόν κατά 50% στον αριθμό των ring-rong διαπομπών<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Η ring-rong διαπομπή έχει ορισθεί επακριβώς στην παράγραφο 4.2.3.3. Κάθε ring-rong διαπομπή αποτελείται από 3 διαδοχικές διαπομπές.



**Σχήμα 5-14: Μείωση του αριθμού ping pong διαπομπών μέσω του PPA αλγορίθμου**

Προκειμένου να τονισθεί η αξία των ping-pong διαπομπών σε ένα δίκτυο GSM το Σχήμα 5-15 παραθέτει το ποσοστό αυτών σε μια αστική περιοχή όπως προέκυψε από την προσομοίωση του συγκεκριμένου σεναρίου.



**Σχήμα 5-15: Ποσοστό ping-pong διαπομπών με βάσει τις συνολικές διαπομπές**

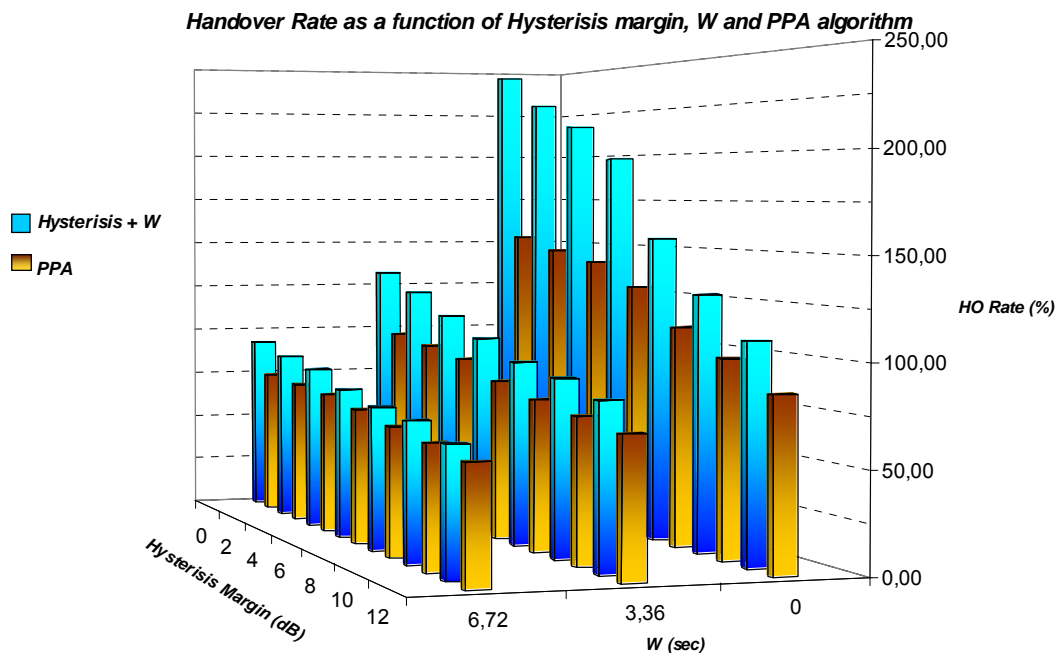
Το ποσοστό αυτό εκφράζεται σε σχέση το συνολικό αριθμό διαπομπών που πραγματοποιείται στο δίκτυο. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι, η ανάγκη για εισαγωγή του περιθωρίου υστέρησης επιβεβαιώνεται και από τον προσομοιωτή αφού με μηδενική τιμή

αυτού το ποσοστό των ring-pong διαπομπών προσεγγίζει το 45%. Παρά τη σχεδόν γραμμική μείωση του ποσοστού αυτού με την αύξηση της τιμής του περιθωρίου υστέρησης, εντούτοις σε κάθε περίπτωση, ο PPA αλγόριθμος σε συνδυασμό με το περιθώριο υστέρησης έχει καλύτερα αποτελέσματα.

### **5.3.1.2 PPA-Σενάριο 2 - Ενσωμάτωση της παραμέτρου «Διάρκεια παραθύρου λήψης μέσων όρων» (Averaging Window Length-W)**

Όπως περιγράφηκε και στην αρχή της §4.2, μια επιπλέον παράμετρος που χρησιμοποιείται και για το σκοπό της αποφυγής των ring-pong διαπομπών είναι η *Διάρκεια παραθύρου λήψης μέσων όρων* (Averaging Window Length-W). Με αυτή την παράμετρο, η διαπομπή προς την κυψέλη στόχο θα πραγματοποιηθεί μόνο εάν ο μέσος όρος των πρόσφατων δειγμάτων  $W$  της λαμβανόμενης ισχύος από το σταθμό στόχου (υποψήφιος) είναι μεγαλύτερος κατά μια παράμετρο υστέρησης από το μέσο όρο των πρόσφατων δειγμάτων  $W$  της λαμβανόμενης ισχύος από τον τρέχοντα σταθμό αναφοράς. Στη πλαίσιο αυτού του σεναρίου, εξετάζεται η συμπεριφορά του  $W$  τόσο στο ρυθμό διαπομπών όσο και στο ρυθμό απόρριψης κλήσεων. Η αξιολόγηση της συμπεριφορά ενσωμάτωσης αυτής της παραμέτρου θα συγκριθεί σε συνδυασμό με το περιθώριο υστέρησης και την εφαρμογή του αλγορίθμου PPA. Το σενάριο που εξελέχθη για τους σκοπούς της προσομοίωσης έχει τα χαρακτηριστικά του 1<sup>ου</sup> σεναρίου (Πίνακας 5-2) με τη διαφορά ότι τώρα επιλέχθηκε μεγαλύτερο φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης (10mErl per user).

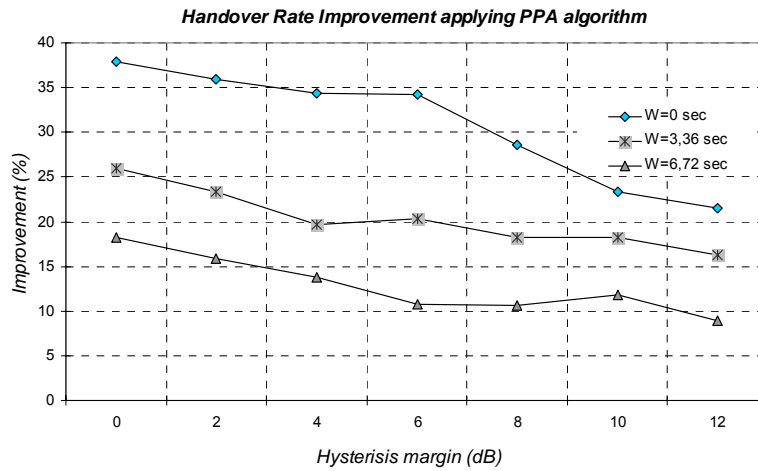
Αν παρατηρήσει κανείς το επόμενο σχήμα (Σχήμα 5-16) θα μπορέσει να εξάγει σημαντικά συμπεράσματα.



Σχήμα 5-16: Ρυθμός διακομών σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης, το  $W$  και την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου

Ένα από τα πρώτα συμπεράσματα είναι ότι, το  $W$  από μόνο του (χωρίς την παρουσία του περιθωρίου υστέρησης και του αλγορίθμου PPA) βελτιώνει σημαντικά τον ρυθμό διακομών. Αυτό φαίνεται αν δούμε ότι για  $Hysterisis\ margin=0$  και αυξανόμενο το  $W$  προκύπτει μείωση του ρυθμού διακομών. Επίσης, με την προσθήκη της παραμέτρου  $W$  και σε συνδυασμό αυτής με το περιθώριο υστέρησης  $HOmargin$  επιτυγχάνονται ακόμα καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με την ύπαρξη μόνο του δεύτερου. Αυτό φαίνεται αν προσέξει κανείς ότι με σταθερό το περιθώριο υστέρησης (άξονας  $x$ ) και με την αυξανόμενη τη διάρκεια παραθύρου λήψης μέσω  $\omega$  ο ρυθμός διακομών μειώνεται αισθητά. Συμπερασματικά λοιπόν, το  $W$  πρόσθεσε ακόμη καλύτερη μείωση σε σχέση με το  $HOmargin$  από μόνο του.

Παρόλα αυτά, το πλέον σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από το Σχήμα 5-16 είναι ότι με την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου με συνδυασμό τόσο του  $W$  όσο και του  $HOmargin$  επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα για **κάθε συνδυασμό** των παραμέτρων. Προκειμένου να φανεί ακόμα περισσότερο η βελτίωση που επιφέρει ο αλγόριθμος PPA, παρατίθεται παρακάτω το Σχήμα 5-17 που δείχνει το ποσοστό βελτίωσης για κάθε συνδυασμό.

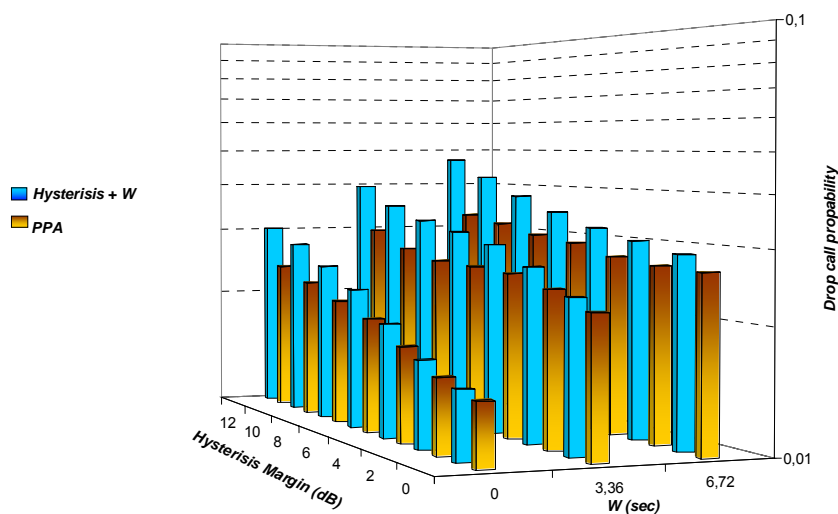


Σχήμα 5-17: Ποσοστό μείωσης στο ρυθμό διαπομπών εφαρμόζοντας τον PPA αλγόριθμο

Ένα επιπλέον σημαντικό μέτρο απόδοσης του δικτύου που εξετάστηκε και παρατηρήθηκε είναι και το ποσοστό απόρριψης κλήσεων. Συμπερασματικά από το σενάριο 1 (§5.3.1) διαπιστώθηκε ότι με την προσθήκη του περιθωρίου υστέρησης η πιθανότητα και επομένως ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων αυξάνεται. Η ίδια συμπεριφορά προκύπτει και από την ενσωμάτωση του  $W$ . Αυτό προκύπτει και από τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν συνδυάζοντας το  $W$ , το  $HOmargin$  και μετέπειτα την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου. Το Σχήμα 5-18 παριστάνει την διαβάθμιση της πιθανότητας απόρριψης κλήσης σε ένα δίκτυο GSM σε συνάρτηση και με τις δύο παραμέτρους, στη μια περίπτωση, και με την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου στην άλλη. Ενώ στο Σχήμα 5-16 παρατηρείται ότι με μηδενική τιμή του περιθωρίου υστέρησης και του  $W$  ο ρυθμός των διαπομπών είναι ο μεγαλύτερος δυνατός, στο Σχήμα 5-18 φαίνεται ότι με αυτές τις δύο τιμές έχουμε, αντίθετα με το ρυθμό διαπομπών, τη μικρότερη δυνατή τιμή της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων. Έτσι αποδεικνύεται για ακόμη μια φορά η ανάγκη για trade off μεταξύ αυτό των δύο σημαντικών μέτρων απόδοσης ενός δικτύου.



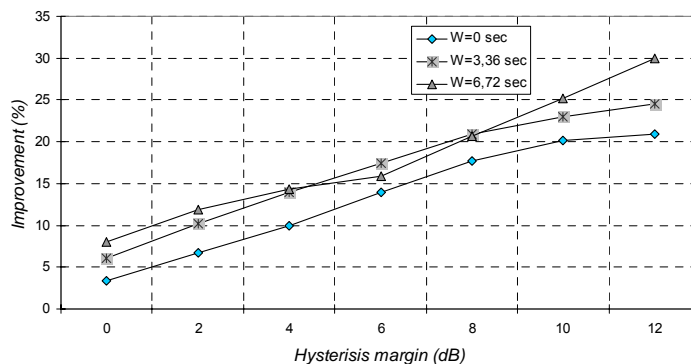
Drop Call probability as a function of Hysteresis margin,  $W$  and PPA algorithm



Σχήμα 5-18: Πιθανότητα απόρριψης κλήσης σε συνάρτηση με το περιθώριο υστέρησης, το  $W$  και την εφαρμογή του PPA αλγόριθμου

Παρόλα αυτά, από το Σχήμα 5-18, αποδεικνύεται επίσης ότι, όποιος συνδυασμός και από τις δύο παραμέτρους και εάν εφαρμοστεί, κανένας δεν επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα αν παράλληλα εφαρμοστεί για τον αντίστοιχο συνδυασμό και ο PPA αλγόριθμος. Η βελτίωση που επιφέρει ο αλγόριθμος PPA είναι πολύ σημαντικός. Ειδικά, όσο το πρόβλημα της αυξημένης πιθανότητας απόρριψης κλήσεων εντείνεται, τόσο ο PPA αλγόριθμος φέρει και καλύτερα αποτελέσματα. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει και από το Σχήμα 5-19 όπου φαίνεται το ποσοστό βελτίωσης (μείωσης) που επιφέρει η εφαρμογή του PPA στην παραπάνω πιθανότητα.

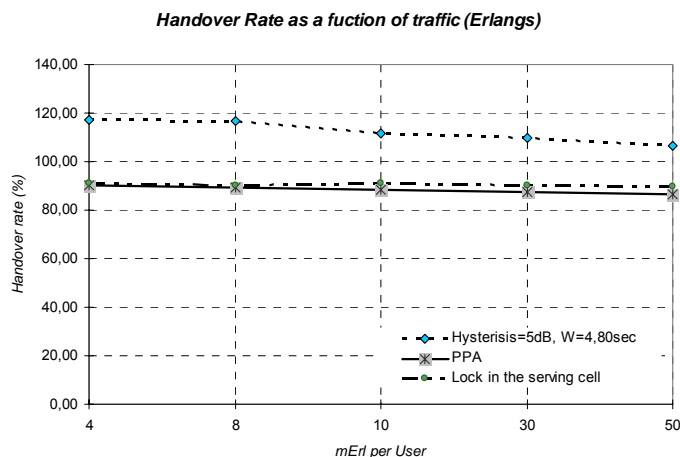
Drop Call Rate Improvement applying PPA algorithm



Σχήμα 5-19: Ποσοστό μείωσης στο ρυθμό διακοπών εφαρμόζοντας τον PPA αλγόριθμο

### **5.3.1.3 PPA-Σενάριο 3 - Επίδραση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου**

Συμπερασματικά, από τα 2 εξετασθέντα παραπάνω σενάρια, προκύπτει ότι ο αλγόριθμος PPA αντιμετωπίζει με αποτελεσματικότερο τρόπο τα προβλήματα που προκαλούνται σε ένα δίκτυο GSM παρά την ύπαρξη σε αυτό δύο σημαντικών παραμέτρων που είναι το  $W$  και το *περιθώριο υστέρησης*. Το trade off μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων είναι έξω από τα πλαίσια έρευνας της παρούσης εργασίας, ο στόχος της οποίας είναι η παρατηρούμενη συμπεριφορά κάποιων κρίσιμων μέτρων απόδοσης του δικτύου με την εφαρμογή του PPA αλγορίθμου. Έτσι, προκειμένου να εξεταστεί ο αλγόριθμος PPA σε σχέση και με κάποιες άλλες σημαντικές παραμέτρους, όπως το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης και το σφάλμα θέσης που προκύπτει από τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία εντοπισμού θέσης, θα ληφθεί σα δεδομένο μια συγκεκριμένη τιμή τόσο για το περιθώριο υστέρησης όσο και για τη διάρκεια του  $W$ . Όπως προηγουμένα αναφέρθηκε, μια συνήθης τιμή που επιλέγεται για το περιθώριο υστέρησης σε ένα δίκτυο GSM είναι 5-10dB. Έτσι για τους λόγους αξιολόγησης του PPA αλγορίθμου με βάση το τηλεπικοινωνιακό φορτίο θα θεωρηθούν οι τιμές  $HOMargin=5dB$  και  $W=3,26sec$ . Επίσης, προκειμένου να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα της διαδικασία «ψήφισης» και απόφασης στον PPA (διαλέγουμε την ισχυρότερη κυψέλη από τις δύο για τις πιθανές διαδρομές του τερματικού) πραγματοποιείται προσομοίωση και για την περίπτωση που η απόφαση στηρίζεται στην επιλογή να «κλειδώσει» το τερματικό στην κυψέλη που το εξυπηρετεί την στιγμή της ενεργοποίησης του αλγορίθμου χωρίς να πραγματοποιηθεί έλεγχος για την καλύτερη κυψέλη. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές καταστάσεις τηλεπικοινωνιακού φορτίου (από 4mErl που είναι συνήθως το φορτίο για ώρα χαμηλής κίνησης, σε 8mErl και 10mErl που είναι η κίνηση που αναφέρεται σε ένα μέσο φορτίο και 30mErl, 50mErl που πρόκειται για υψηλά και πολύ υψηλά φορτία κίνησης). Με μια πρώτη ανάγνωση των αποτελεσμάτων, τα οποία προέκυψαν από πληθώρα προσομοιώσεων, προκύπτει ότι η επιρροή του PPA αλγορίθμου παραμένει σταθερή στη βελτίωση (μείωση) που επιφέρει σε στο ρυθμού διαπομπών σε ένα σύστημα (Σχήμα 5-20). Το ίδιο παρατηρήθηκε και για την περίπτωση που το τερματικό κλειδώσει απ' ευθείας στην κυψέλη που το εξυπηρετεί.

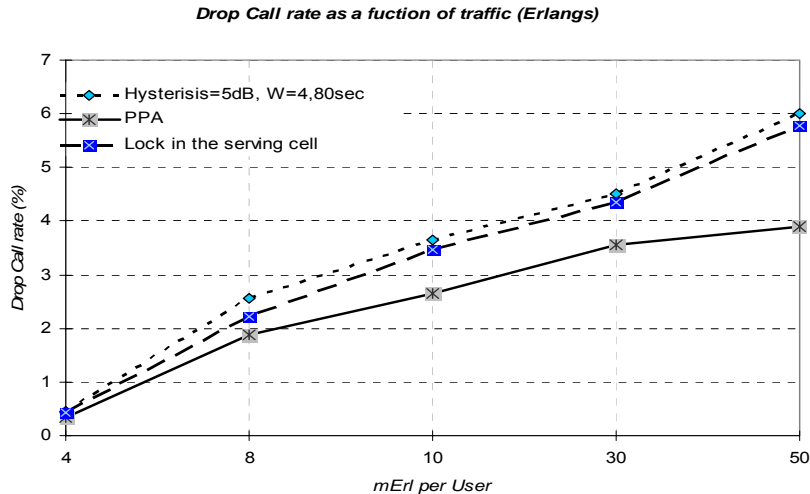


**Σχήμα 5-20: Ρυθμός διαπομπών σε συνάρτηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου**

Παράλληλα μία γενικότερη παρατήρηση είναι ότι, ο ρυθμός διαπομπών παραμένει σχεδόν ανεπηρέαστος από το μέγεθος φορτίου. Αυτό είναι και λογικό μιας και ο ρυθμός διαπομπών σε ένα σύστημα επηρεάζεται περισσότερο από το μέγεθος των κυψελών (ακτίνα κάλυψης, αριθμός ορίων), τη ταχύτητα των χρηστών τις παραμέτρους υστέρησης και το  $W$  παρά με το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Για τον αλγόριθμο PPA, παρατηρείται ότι, επιδρά το ίδιο καλά, όσο αφορά το ρυθμό διαπομπών, για κάθε εξεταζόμενη κατάσταση τηλεπικοινωνιακού φορτίου και η μείωση που επιφέρει, στο ρυθμό διαπομπών, δεν αλλάζει αισθητά για όλες τις καταστάσεις φόρτου που εξετάστηκαν (Σχήμα 5-20).

Δε συμβαίνει το ίδιο όμως με τον ρυθμό απόρριψης των κλήσεων. Εκεί, η επίδραση του φορτίου επεμβαίνει καθοριστικά στην αύξηση του ρυθμού αποτυχημένων κλήσεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5-21. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται επίσης και ο αντίστοιχος ρυθμός όταν ο PPA αλγόριθμος εφαρμόζεται. Εκεί παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος PPA γίνεται πολύ πιο σημαντικός όταν τα πρόβλημα αύξησης του φορτίου εντείνονται. Και γίνεται πιο σημαντικός όχι απαραίτητα γιατί επιτυγχάνει καλύτερο ποσοστό βελτίωσης (μείωσης) με την αύξηση του φορτίου αλλά επειδή κυρίως αυτή η βελτίωση είναι πολύ πιο αισθητή και σημαντική για την απόδοση του δικτύου. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό, ένα παράδειγμα θα δοθεί. Σε μια κατάσταση δικτύου όπου το φορτίο είναι 4mErl ανά χρήστη, πάντα με περιθώριο υστέρησης 5dB και  $W=3,36\text{sec}$ , ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων είναι περίπου 0,45%. Εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο PPA ο ρυθμός αυτός πέφτει στο 0,34%. Αντίστοιχα, σε μια κατάσταση υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου, 30mErl, οι αντίστοιχες τιμές είναι 4,51% και 2,79%. Εύκολα συμπεραίνεται ότι, η αποτελεσματική εφαρμογή του PPA

αλγόριθμου αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν ένα δίκτυο αντιμετωπίζει κατάσταση υψηλού φορτίου.



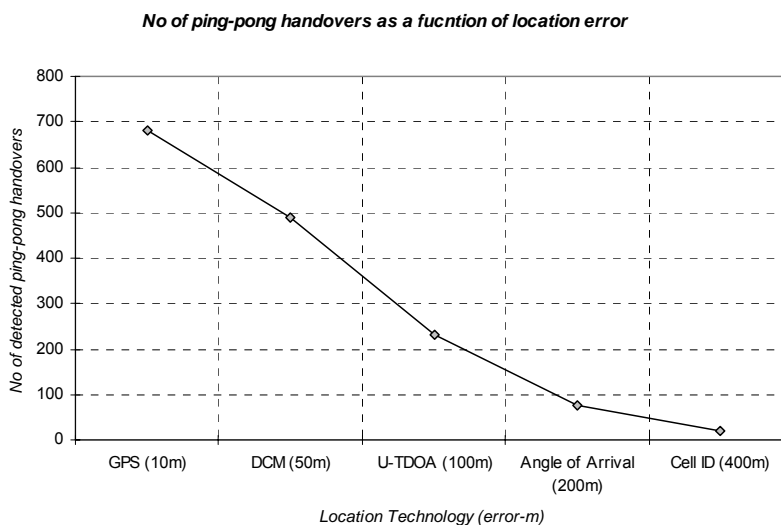
Σχήμα 5-21: Ρυθμός απόρριμης κλήσεων σα συνάρτηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου

#### 5.3.1.4 PPA-Σενάριο 4 - Επίδραση του σφάλματος θέσης

Όλα τα παραπάνω σενάρια προσομοιώθηκαν με την παραδοχή ότι ο προσδιορισμός της θέσης του χρήστη γίνονταν με τη χρήση πομποδεκτών GPS σε αυτά. Έτσι θα ήταν εύκολος ο εντοπισμός αυτών. Στις διάφορες προσομοιώσεις για τα σενάρια που προηγήθηκαν, η θέση δινόταν σαν παράμετρος εισόδου στους αλγόριθμους με ένα μέσο σφάλμα τα 5 μέτρα, όσο δηλαδή είναι περίπου το λάθος που επιφέρει σήμερα το GPS.

Από τη στιγμή που ο αλγόριθμος PPA είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη θέση του χρήστη, αξίζει κανείς να εξετάσει την επίπτωση της ακρίβειας εντοπισμού θέσης (ή αλλιώς του σφάλματος) πάνω στον αλγόριθμο. Ένα χαρακτηριστικό που θα οδηγούσε σε κάποια συμπεράσματα για την επίπτωση του σφάλματος θέσης είναι ο αριθμός των ring-rong διαπομπών που ανιχνεύονται σε ένα δίκτυο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και με διάφορες τεχνολογίες εντοπισμού θέσης (Κεφάλαιο 2). Μια σημαντική παραδοχή που λαμβάνεται εδώ είναι ότι ο προσομοιωτής δεν εξετάζει τον χρόνο ανάκτησης της θέσης του χρήστη. Υποθέτει ότι, η πληροφορία για τη θέση του τερματικού από τις διάφορες τεχνολογίες εντοπισμού είναι άμεσα προσβάσιμη στον πάροχο του δικτύου. Εξάλλου οι διάφορες έρευνες που πραγματοποιούνται αυτή τη στιγμή έχουν σα στόχο όχι μόνο την βελτίωση στον εντοπισμό του τερματικού αλλά και στο χρόνο απόκρισης της θέσης προς το

δίκτυο. Ο αριθμός των ανιχνευθέντων ring-pong διαπομπών είναι η παράμετρος εκείνη που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την αποτελεσματικότητα του PPA αλγορίθμου. Μέχρι στιγμής έχει δειχθεί ότι, όσο καλύτερη είναι η ακρίβεια προβλεπόμενης κίνησης και ανίχνευσης ring-pong διαπομπών, τόσο καλύτερα αποτελέσματα επιφέρει και ο PPA αλγόριθμος.



*Σχήμα 5-22: Αριθμός ανιχνευθέντων ring-pong διαπομπών σε συνάρτηση του σφάλματος θέσης*

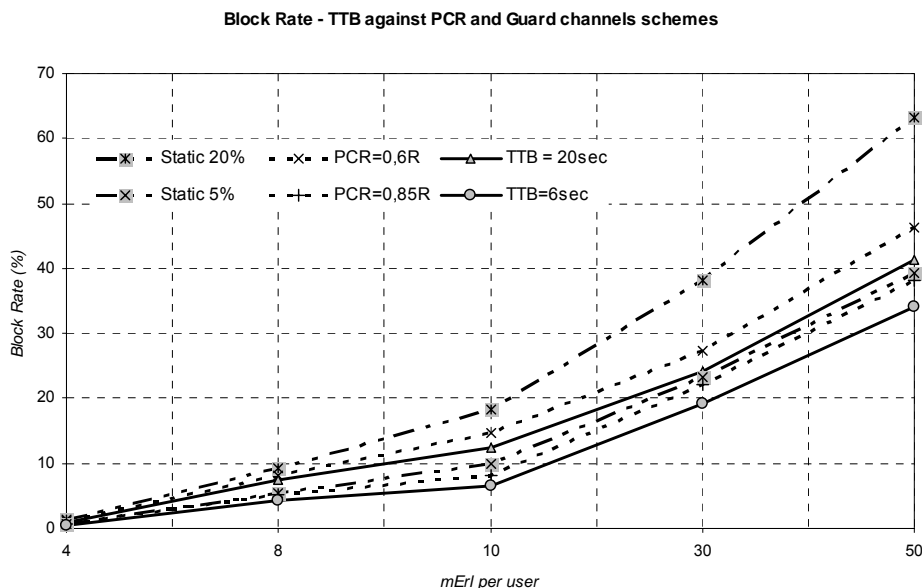
Στο Σχήμα 5-22 φαίνεται ξεκάθαρα ότι, ένα δίκτυο έχει την ικανότητα να προβλέπει (ανιχνεύει) πιθανή ring-pong διαπομπή όσο το σφάλμα στον εντοπισμό της θέσης είναι μικρό. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, με τεχνολογίες εντοπισμού θέσης όπως το GPS και το DCM που επιφέρουν σφάλμα μέχρι 10 και 50 μέτρα αντίστοιχα, η ανίχνευση πιθανών ring-pong διαπομπών αποδίδει καλύτερα. Από την άλλη πλευρά, σφάλματα της τάξης των εκατοντάδων μέτρων (U-TDOA, AOA, Cell ID) δε προσφέρουν μια αρκετά καλή βοήθεια στο δίκτυο προκειμένου αυτό να μπορέσει να πάρει τη σωστή απόφαση για τις ring-pong διαπομπές αφού όχι μόνο είναι δύσκολη η ανίχνευσης τους αλλά σε πολλές περιπτώσεις είναι και αναληθείς.

### 5.3.1.5 TTB-Σενάριο 1 - Επίδραση του χρόνου πρόβλεψης ( $T_{prediction}$ ) και του τηλεπικοινωνιακού φορτίου – Σύγκριση με Guard channels and PRC

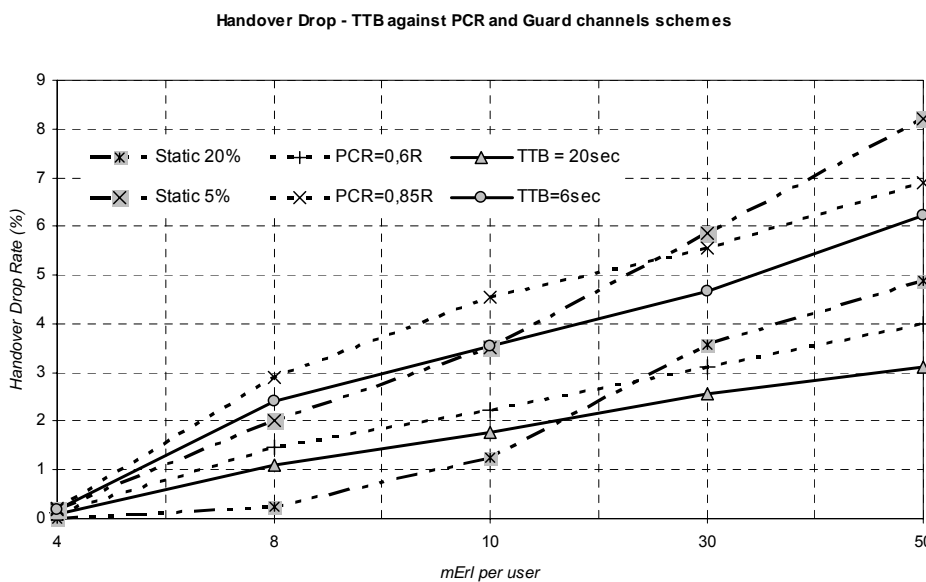
Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από τις προσομοιώσεις για την εφαρμογή του TTB αλγορίθμου θεωρείται καλό να γίνει μια γρήγορη ανασκόπηση για τις κρίσιμες παραμέτρους που αυτός έχει. Μια από αυτές είναι και ο χρόνος πρόβλεψης της

κίνησης του τερματικού που κινείται «προς τα σύνορα» δύο κυψελών. Αυτός ο χρόνος είναι πολύ σημαντικός μια και επηρεάζει άμεσα τις διάφορες κρίσιμες παραμέτρους απόδοσης του δικτύου, όπως ο ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων ( $R_B$ ) και ο ρυθμός απόρριψης κλήσεων που οφείλονται μόνο σε αποτυχημένη διαπομπή ή αλλιώς ρυθμός απόρριψης διαπομπής ( $R_{HD}$ ). Ο αλγόριθμος βασίζεται, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.3.2.3 στη δυναμική εξισορρόπηση του εύρους  $B_H(c_{target}, T_{prediction}, u_i)$ , το οποίο απευθύνεται προς τους χρήστες που επιθυμούν διαπομπή σε μια κυψέλη, με αυτό που απευθύνεται για τις νέες κλήσεις που εγκαθιδρύονται στην ίδια κυψέλη  $B_{NC}(c_{target}, T_{prediction}, u_j) = 1$ . Η συμπεριφορά του χρόνου  $T_{prediction}$  σε συνάρτηση και του φορτίου τηλεπικοινωνιακή κίνησης πραγματοποιείται με σύγκριση του TTB αλγορίθμου με δύο εκ των σημαντικότερων προσεγγίσεων που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία. Αυτές αναφέρθηκαν λεπτομερώς στην αρχή του κεφαλαίου 4.3 και είναι τα κανάλια φρουράς και η μέθοδος PCR. Για τα κανάλια φρουράς θα θεωρηθεί ότι ένα ποσοστό των καναλιών σε κάθε κυψέλη είναι αφιερωμένα για τους σκοπούς μόνο της διαπομπής. Στο PCR θα θεωρηθεί ένα ποσοστό της ακτίνας της κάθε κυψέλης. Για τους σκοπούς της σύγκρισης στη συγκεκριμένη περιοχή και λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν ομοιόμορφες κυψέλες, σαν ακτίνα θα θεωρηθεί η κατά προσέγγιση μέγιστη απόσταση που μία κυψέλη είναι κυρίαρχη.

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5-23 και Σχήμα 5-24) είναι σχεδιασμένα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή τη σύγκριση. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές καταστάσεις τηλεπικοινωνιακού φορτίου (από 4mErl που είναι συνήθως το φορτίο για ώρα χαμηλής κίνησης, σε 8mErl και 10mErl που είναι η κίνηση που αναφέρεται σε ένα μέσο φορτίο και 30mErl, 50mErl που πρόκειται για υψηλά και πολύ υψηλά φορτία κίνησης). Επίσης, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων θεωρήθηκε μια ταχύτητα για όλους τους χρήστες,  $V1: V_{min}=30Km/h$  και  $V_{max}=50Km/h$ .



Σχήμα 5-23: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB αλγόριθμος έναντι μεθόδων καναλιών φρουράς και PCR



Σχήμα 5-24: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων λόγω αποτυχημένων διαπομπών – TTB αλγόριθμος έναντι μεθόδων καναλιών φρουράς και PCR

Και στα δύο αυτά σχήματα αναλύεται η αποτελεσματικότητα του TTB αλγορίθμου έναντι των μεθόδων των καναλιών φρουράς, όπου χρησιμοποιούνται ένας στατικός αριθμός δεσμευμένων καναλιών μόνο προς διαπομπή (20% και 5% των συνολικών καναλιών) και

της μεθόδου PCR όταν χρησιμοποιεί κατώφλι απόστασης 0,6R και 0,85R, όπου R η ακτίνα της κυψέλης. Παρατηρείται λοιπόν ότι η μέθοδος, όπου εφαρμόστηκε και χρονολογικά πρωτύτερα, της στατικής δέσμησης καναλιών επιφέρει τα χειρότερα αποτελέσματα όσο αφορά την παράμετρο  $R_B$ . Μάλιστα, όσο μεγαλύτερο είναι και το φορτίο στο σύστημα, τόσο ο συγκεκριμένος ρυθμός αυξάνεται. Αυτό φαντάζει και λογικό, μιας και ένα ποσοστό ανεξάρτητα από το εάν χρησιμοποιείται ή όχι αφαιρείται ουσιαστικά από το εύρος που είναι διαθέσιμο για την εγκαθίδρυση νέων κλήσεων. Βέβαια αν το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο (Static 5%) η πιθανότητα να αποκλειστεί μια κλήση είναι μικρότερη για κάθε κατάσταση τηλεπικοινωνιακού φορτίου από όταν το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο (Static 20%). Προσομοιώνοντας στη συνέχεια την μέθοδο PCR, παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού  $R_B$  σε σχέση με τη στατική δέσμηση. Η μέθοδος PCR χρησιμοποιεί τη δυναμική περιοχή δέσμησης καναλιών ή αλλιώς το κατώφλι απόστασης. Αυτή ορίζεται με βάση την ακτίνα της κάθε κυψέλης. Όταν χρησιμοποιείται περιοχή 0,6R η πιθανότητα αποκλεισμού νέων κλήσεων είναι μικρότερη από την μέθοδο Static 20% αλλά χειρότερο από στο Static 5%. Για το λόγο αυτό αν μειωθεί αυτή η περιοχή σε 0,85R, παρατηρούνται καλύτερα αποτελέσματα και από το Static 5%. Εισάγοντας τέλος τον αλγόριθμο TTB, παρατηρείται ότι αυτός επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα και από τις δύο προαναφερθείσες μεθόδους με κατάλληλη επιλογή του  $T_{prediction}$  όπου και είναι και ο χρόνος που δεσμεύεται το κανάλι. Παρόλα αυτά παρατηρείται ότι, και στις τρεις λύσεις ο ρυθμός  $R_B$  αυξάνεται όσο η κίνηση στο δίκτυο μεγαλώνει. Αυτό είναι και το τίμημα που πληρώνουν όλοι οι αλγόριθμοι δυναμικής, στατικής ή προσαρμοστικής δέσμησης καναλιών προς διαπομπή. Άλλωστε ο κύριος στόχος αυτών των αλγορίθμων είναι η μείωση του ρυθμού  $R_{HD}$ .

Το Σχήμα 5-24 αναφέρεται σε αυτή την παράμετρο. Ο αλγόριθμος TTB επιδρά σταθερά αποτελεσματικότερα και στην  $P_{HD}$  σε σύγκριση με τη μέθοδο PCR. Έτσι αν  $PCR=0,6R$  μια επιλογή του  $T_{prediction}$  στα 20 δευτερόλεπτα θα επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Όμως, η στατική δέσμηση (Static 20%) σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα και από τους δύο αλγορίθμους αλλά μόνο για φορτίο που αντιστοιχεί σε ήπια και μέση κατάσταση. Όταν το φορτίο ξεπεράσει μια τιμή, ο ρυθμός  $R_{HD}$  αυξάνεται απότομα με την χρήση του Static 5% και ο αλγόριθμος TTB τότε έχει τα καλύτερα αποτελέσματα και από τις δύο άλλες μεθόδους. Αυτό δικαιολογείται μιας και όταν το φορτίο κίνησης είναι χαμηλό ή μέσο, ένα ποσοστό 20% μπορεί να προσφέρει ένα ικανοποιητικό διαθέσιμο εύρος για τους χρήστες που επιθυμούν διαπομπή. Όταν όμως οι χρήστες αυτοί



αυξάνονται απότομα (αύξηση φορτίου) το ποσοστό αυτό καλύπτεται γρήγορα και οι περαιτέρω κλήσεις είναι πολύ πιθανό να απορριφθούν. Για το λόγο αυτό και η απότομη αύξηση του ρυθμού  $R_{HD}$ . Εφαρμόζοντας τον TTB αλγόριθμο από την άλλη, η αύξηση του  $R_{HD}$  σε συνάρτηση του φορτίου είναι πιο ομαλή και έτσι για μεσαίες και υψηλές τιμές αυτού προκύπτει σαν η αποτελεσματικότερη λύση. Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και για το σετ  $PCR=0,85R$ ,  $T_{prediction}=6sec$  και Static 5%.

### 5.3.1.6 TTB-Σενάριο 2 - Επίδραση της ταχύτητας του χρήστη

Μια επόμενη παράμετρος που θα μπορούσε να παρατηρηθεί η επίδραση της στον αλγόριθμο TTB είναι η ταχύτητα των χρηστών. Το προηγούμενο σενάριο εξετάστηκε για ταχύτητα του χρήστη V1:  $V_{min}=30Km/h$  και  $V_{max}=50Km/h$ . Αυτή θεωρείται μια μέση ταχύτητα (medium speed pattern). Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση της επίδρασης των διαφόρων μοτίβων ταχύτητας, τρία μοτίβα καθορίζονται.

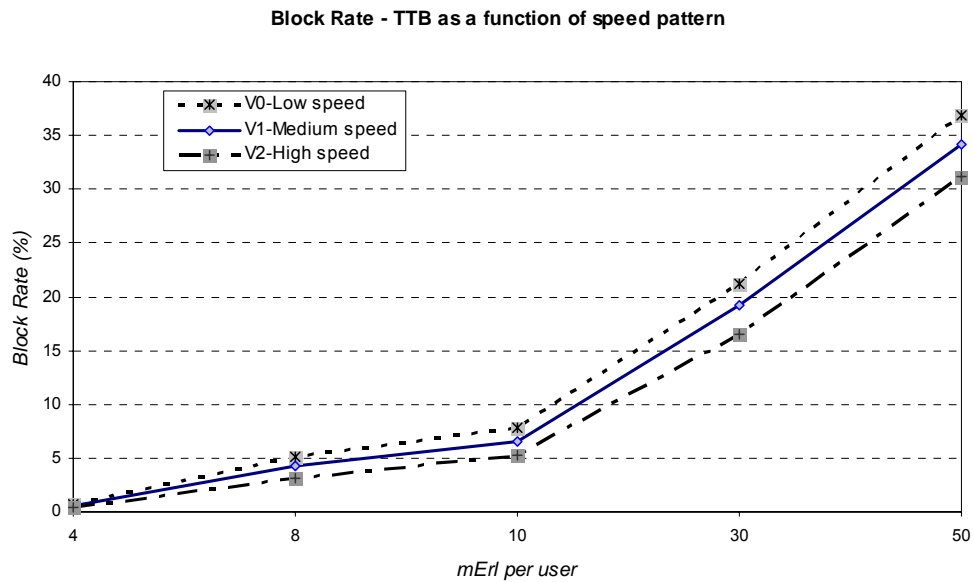
- V0:  $V_{min}=10Km/h$  και  $V_{max}=30Km/h$
- V1:  $V_{min}=30Km/h$  και  $V_{max}=50Km/h$
- V2:  $V_{min}=50Km/h$  και  $V_{max}=70Km/h$

Συγκριτικά με το V1, το V0 θεωρείται μοτίβο χαμηλής ταχύτητας (low speed pattern), και το V2 υψηλής (high speed pattern). Η αξιολόγηση της ταχύτητας θα πραγματοποιηθεί με 2 διαφορετικές προσεγγίσεις.

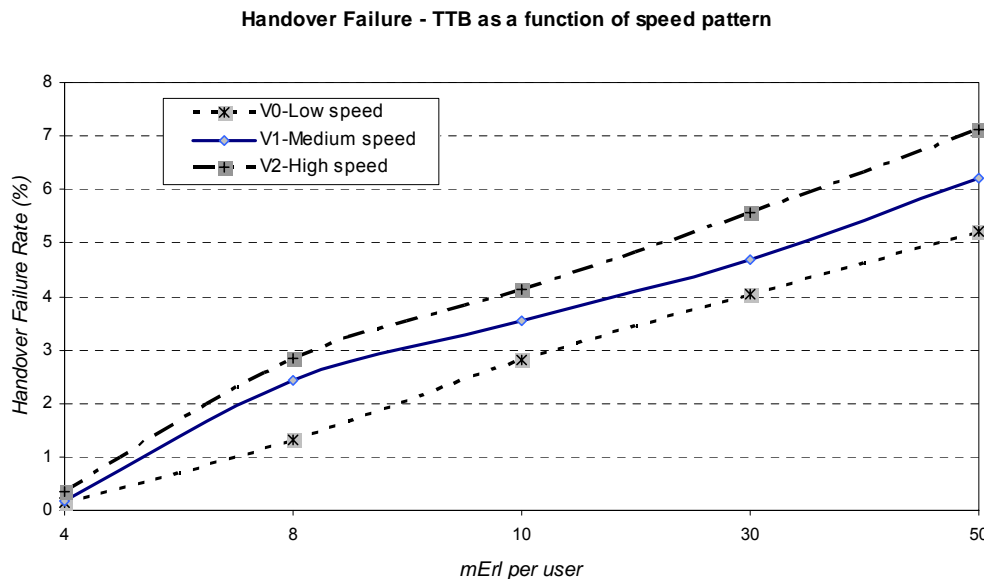
Πριν γίνει αναφορά στις δύο αυτές προσεγγίσεις θα πρέπει να τονισθεί ότι οι συγκεκριμένες προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για τον TTB αλγόριθμο και μάλιστα για χρόνο δέσμευσης 6 δευτερόλεπτα.

Στην πρώτη προσέγγιση, η ταχύτητα των χρηστών θα θεωρείται «σταθερή». Με άλλα λόγια, όλοι οι χρήστες θα ανήκουν στο ίδιο μοτίβο ταχύτητας και δεν θα μπορούν αλλάξουν μοτίβο κατά τη διάρκεια της πορείας τους. Κάτι τέτοιο θεωρήθηκε και στο TTB -Σενάριο 1.

Κρατώντας σταθερό το χρόνο πρόβλεψης, το μοτίβο της ταχύτητας του χρήστη επηρεάζει τόσο το ρυθμό αποκλεισμού νέων κλήσεων όσο και το ρυθμό αποτυχημένων διαπομπών. Τα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5-25, Σχήμα 5-26) παρουσιάζουν αυτή την επιρροή με σταθερό και κοινό μοτίβο για κάθε χρήστη του συστήματος.



Σχήμα 5-25: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας- Σταθερό μοτίβο ταχύτητας καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης

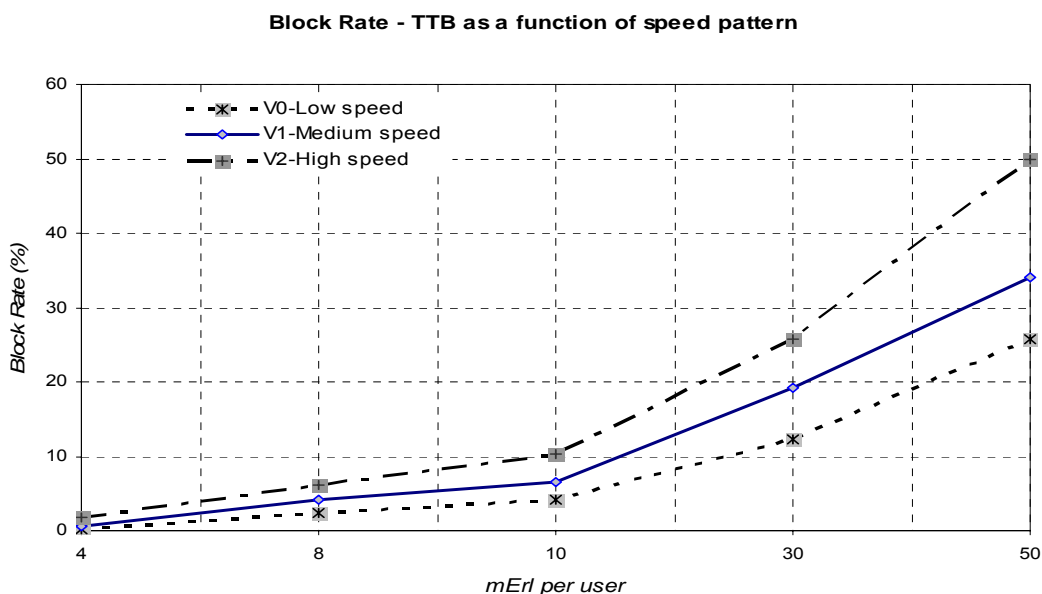


Σχήμα 5-26: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας - Σταθερό μοτίβο ταχύτητας καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης

Από τα δύο αυτά σχήματα παρατηρεί κανείς ότι, στην περίπτωση ταχύτητας μοτίβου V0 ο ρυθμός  $R_{HD}$  (Σχήμα 5-26) είναι λίγο υψηλότερος από ότι στη μέση και υψηλή ταχύτητα (V1 και V2 αντίστοιχα). Από την άλλη πλευρά, ο ρυθμός  $R_B$  είναι χαμηλότερος όταν οι ταχύτητες των χρηστών κινούνται σε χαμηλά επίπεδα. Κάτω από συνθήκες χαμηλής

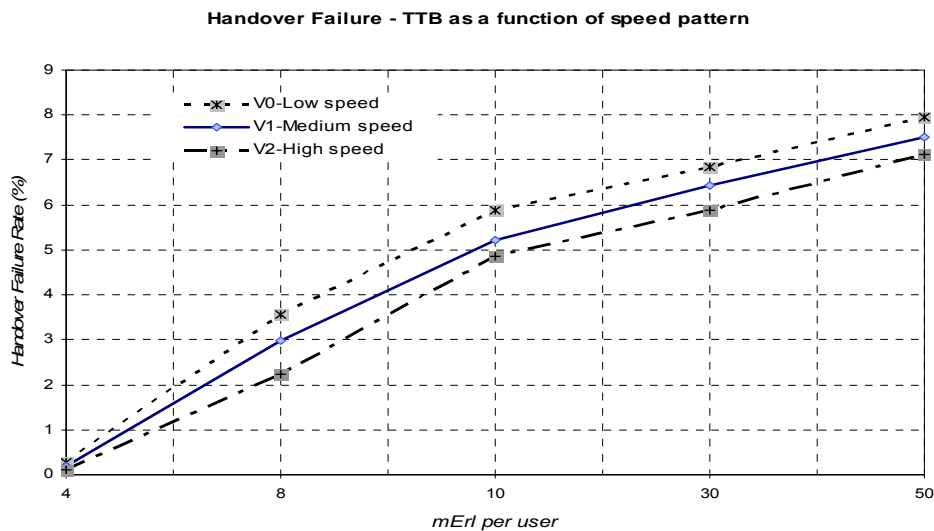
ταχύτητας, η πιθανότητα μια εν εξελίξει κλήση να διαπεμφθεί σε μια άλλη κυψέλη είναι μικρότερη από την περίπτωση υψηλής ταχύτητας. Το αποτέλεσμα της χαμηλής ταχύτητας είναι ότι, ο συνολικός αριθμός διαπομπών είναι μικρότερος και επομένως, ο αριθμός των απαιτητών δεσμευμένων καναλιών σε κάθε χρονική στιγμή είναι επίσης μικρότερος. Λόγω του γεγονότος ότι, ο TTB αλγόριθμος στηρίζεται σε αυτή τη δέσμευση, όσο λιγότερα κανάλια δεσμεύονται, χαμηλές ταχύτητες  $V_0$ , τόσο χαμηλότερος είναι και ο ρυθμός  $R_B$ . Για το ρυθμό  $R_{HD}$ , αυτό που φαίνεται είναι ότι, οι χαμηλές ταχύτητες που οδηγούν και τον αλγόριθμο TTB σε λιγότερες δεσμεύσεις, προκαλούν αύξηση αυτού.

Στη δεύτερη προσέγγιση, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της επίδρασης της ταχύτητας των χρηστών στον αλγόριθμο TTB, θεωρήθηκε ότι η ταχύτητα αυτών δεν είναι σταθερή. Έτσι παίρνοντας σα δεδομένο ότι, η πρόβλεψη της ταχύτητας του χρήστη στηρίζεται πάνω στο μοτίβο  $V_1$ , αλλά από εκεί και πέρα μπορεί να πέσει στο μοτίβο  $V_0$  ή και στο  $V_2$ , πραγματοποιήθηκε μελέτη πάνω στην επίδραση αυτής της αλλαγής στην ταχύτητα. Τα επόμενα σχήματα δίνουν μια πρώτη εικόνα αυτής της επιρροής. Αξίζει να τονισθεί πάλι το γεγονός ότι, η πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη στον αλγόριθμο TTB πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοτίβο ταχύτητας  $V_1$ .



Σχήμα 5-27: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας-Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης

Πιο συγκεκριμένα, από το Σχήμα 5-27 προκύπτει ότι, μια μικρή ταχύτητα (μοτίβο V0), ουσιαστικά θα επιβάρυνε το δίκτυο με “σύρσιμο” των πόρων για αρκετή ώρα (στη χειρότερη περίπτωση, τόσο χρόνο όσο και ο χρόνος δέσμευσης, αφού μόλις λήξει αυτός και δεν έχει πραγματοποιηθεί η διαπομπή ο πόρος αυτός απελευθερώνεται). Έτσι, εάν η πρόβλεψη γίνει με μια μέση ταχύτητα  $x$  Km/h και η ταχύτητα αυτή κινηθεί στην πραγματικότητα σε αρκετά πιο χαμηλά επίπεδα, τότε προκύπτει ότι, ο ρυθμός απόρριψης νέων κλήσεων στη κυψέλη στόχο αυξάνεται. Αντίθετα, όταν ο χρήστης κινηθεί με μια υψηλότερη ταχύτητα (μοτίβο V2) ο ρυθμός αυτός μειώνεται. Αυτό εξηγείται καλύτερα από το γεγονός ότι, ο χρήστης κινούμενος με υψηλότερη ταχύτητα από την ταχύτητα πρόβλεψης είναι πολύ πιθανό, παρά το γεγονός ότι πόρος για αυτόν να έχει δεσμευθεί για  $T_{prediction}$ , να ζητήσει και να έχει τον απαιτούμενο πόρο αρκετά πιο νωρίς. Αυτό δίνει το δικαίωμα να απελευθερώσει πιο νωρίς τον πόρο προς διαπομπή ή να μειώσει τον αριθμό των δεσμευμένων πόρων και επομένως να μειώσει και το ρυθμό απόρριψης νέων κλήσεων.



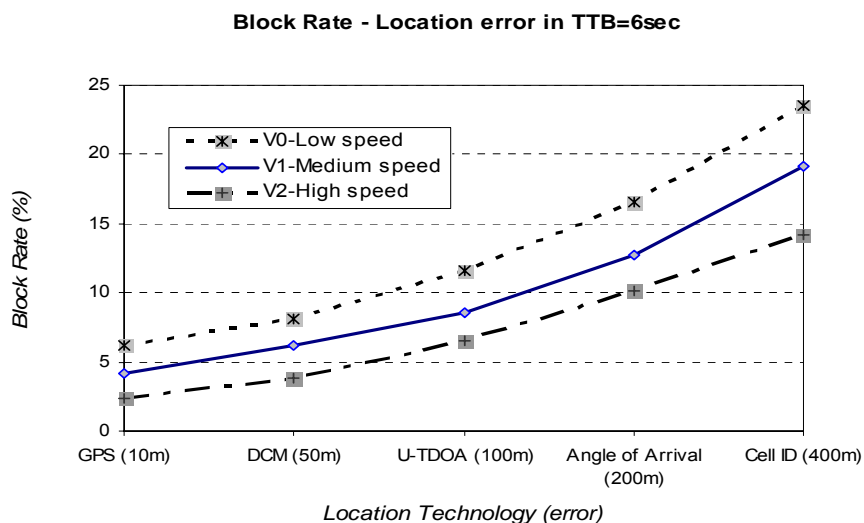
Σχήμα 5-28: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του μοτίβου ταχύτητας - Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης

Αντίθετα, ο ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5-28, αυξάνει εάν η ταχύτητα των χρηστών τελικά είναι μεγαλύτερη (V2) από αυτή που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη (V1) μειώνεται ένα η μέση ταχύτητα στη διάρκεια της κίνησης κινηθεί σε χαμηλότερα επίπεδα (V0) από το V1.

### 5.3.1.7 TTB-Σενάριο 3 – Επίδραση του σφάλματος θέσης

Όπως και στην περίπτωση του PPA αλγορίθμου, τα παραπάνω σενάρια για τον αλγόριθμο TTB, προσομοιώθηκαν με την παραδοχή ότι, ο προσδιορισμός της θέσης του χρήστη γίνονταν με τη χρήση πομποδεκτών GPS σε αυτά. Η θέση προσδιορίζονταν με ένα μέσο σφάλμα τα 5 μέτρα, όσο δηλαδή είναι περίπου το λάθος που επιφέρει σήμερα το GPS. Σε αυτή την παράγραφο εξετάζεται η επίδραση της θέσης του χρήστη για τον αλγόριθμο TTB.

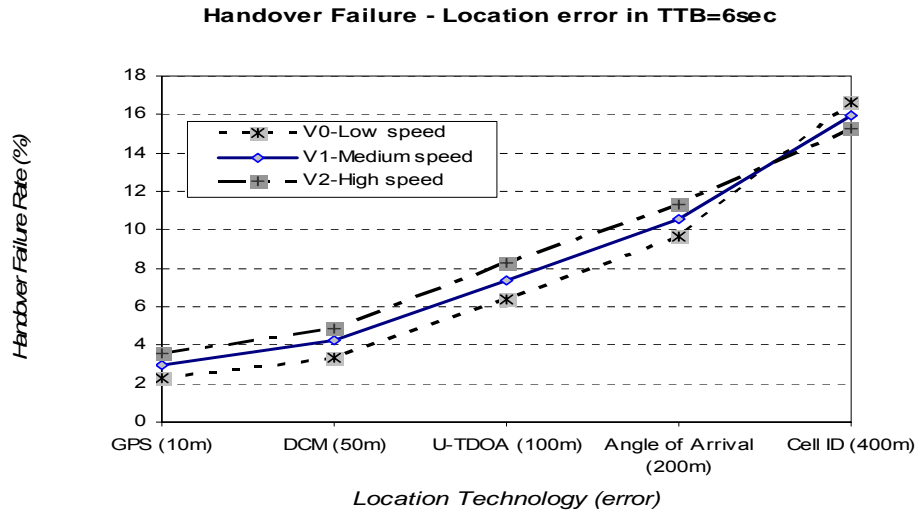
Και σε αυτή την περίπτωση, προκειμένου να μελετηθεί η επιρροή της θέσης θα θεωρήσουμε μια κατάσταση μέσου προς υψηλού φόρτου τηλεπικοινωνιακής κίνησης (8mErI ανά χρήστη) και εφαρμογή του αλγορίθμου TTB με  $T_{prediction}=6sec$ . Τα μέτρα απόδοσης που θα παρουσιάσουν και την επίδραση του σφάλματος στη θέση είναι οι ρυθμοί  $R_B$  και  $R_{HD}$ . Από τα δύο επόμενα σχήματα, προκύπτει συμπερασματικά ότι ο αλγόριθμος TTB επηρεάζεται, και μάλιστα σε αρκετά μεγάλο βαθμό, από το λάθος εντοπισμού του κινητού τερματικού. Για παράδειγμα, αξίζει να αναφερθεί ότι, ενώ για GPS (10m λάθος) οι τιμές του ρυθμού αποκλεισμού νέων κλήσεων  $R_B$  και για τα τρία μοτίβα ταχύτητας κυμαίνονται από 2,25% μέχρι 6,23% για τα V2, V0 αντίστοιχα, οι αντίστοιχες τιμές για με την χρήση της τεχνολογίας AOA, οι τιμές είναι 10,08% και 16,56%.



**Σχήμα 5-29: Ρυθμός αποκλεισμού νέων κλήσεων – TTB σε συνάρτηση του λάθους θέσης- Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης**

Αυτό είναι και αναμενόμενο βέβαια, μιας και ένα τέτοιο μεγάλο λάθος επιφέρει δέσμευση πόρων για χρήστες που ούτε καν είναι κοντά στα σύνορα δύο κυψελών, πόσο μάλλον να κινούνται προς τα

σύνορα αυτών. Έτσι ο αριθμός των δεσμευμένων καναλιών αυξάνεται, ασκόπως, και επομένως ο ρυθμός  $R_B$  αυξάνεται.



**Σχήμα 5-30: Ρυθμός αποτυχημένων διαπομπών – TTB σε συνάρτηση του λάθους θέσης - Εναλλασσόμενο μοτίβο ταχύτητας σ τη διάρκεια της κίνησης**

Αντίστοιχα, χρήστες, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στα σύνορα και κατευθύνονται προς μία κυψέλη, με την εισαγωγή ενός μεγάλου σφάλματος είναι δυνατό να εντοπισθούν αρκετά μακριά, να μην πραγματοποιηθεί η κατάλληλη δέσμευση πόρου και επομένως όταν απαιτηθεί η διαπομπή να είναι πολύ πιθανή η αποτυχία αυτής λόγω έλλειψης κατάλληλου πόρου. Σχηματικά, αυτό προκύπτει και από το Σχήμα 5-30, όπου διακρίνεται εύκολα, πως η αύξηση στο ρυθμό του  $R_{HD}$  είναι αρκετά σημαντική όσο αυξάνεται και το λάθος στον εντοπισμό της θέσης του χρήστη.

Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι, το σφάλμα θέσης είναι πολύ σημαντικό για τον αλγόριθμο TTB. Γι' αυτό και πιστεύεται ότι αυτός ο αλγόριθμος έχει αρκετά μεγάλη προοπτική εφαρμογής μιας και οι τεχνολογίες εντοπισμού αλλά και νέα συστήματα (navigation systems) εντάσσονται στην καθημερινότητα μας. Στο κεφάλαιο με τις μελλοντικές επεκτάσεις, μάλιστα, δίνεται και η πρόταση εφαρμογής αυτού του αλγορίθμου πάνω από συστήματα πλοήγησης που χρησιμοποιούνται ήδη στα αυτοκίνητα.

### 5.3.1.8 MDR-Σενάριο 1 – Βάρη συνάρτησης

Ο αλγόριθμος MDR περιγράφηκε αναλυτικά στην παράγραφο 4.4. Όπως εκεί αναπτύχθηκε και μελετήθηκε, η κεντρική ιδέα του αλγορίθμου βασίζεται στη λογική ότι «Ένα τερματικό

θα πρέπει να επιλέξει την κυψέλη εκείνη με την καλύτερη κάλυψη αλλά παράλληλα με το καλύτερο (χαμηλότερο) δυνατό κόστος» ή πιο απλά πως ένα τερματικό θα αποφύγει μια περιοχή υψηλής τηλεπικοινωνιακής συμφόρησης με . Προκειμένου έτσι, να βρεθεί η κυψέλη με το καλύτερο “κόστος”, εφαρμόζεται η παρακάτω συνάρτηση:

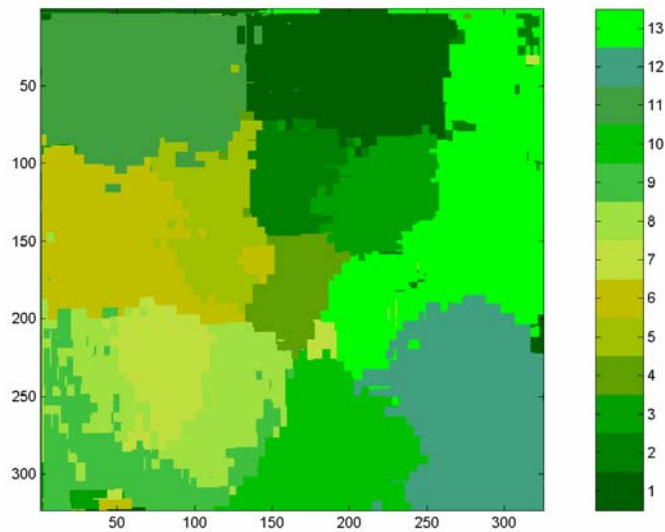
$$S[p_i, j] = w_1 \cdot \left( \frac{Rx_{MAX} - Rx[p_i, j]}{63} \right) + w_2 \cdot DCR[p_i, j] + w_3 \cdot BR[p_i, j]$$

Οι παράμετροι αυτής, αναλύθηκαν διεξοδικά στην παράγραφο 4.4.1.4.

Κατά την εξέταση του παρόντος σεναρίου, η προσοχή θα στραφεί στη επιλογή των βαρών και πως αυτά επηρεάζουν τις παραμέτρους απόδοσης που εξετάστηκαν και στα προηγούμενα σενάρια για τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Θα εξεταστεί δηλαδή, πως μέσα από τη διαμόρφωση των τιμών *temporaryOffset* της παραμέτρου C2, για τις 6 ισχυρότερες κυψέλες που καλύπτουν αυτό το σημείο (pixel), τα μέτρα απόδοσης του δικτύου συμπεριφέρονται. Τα τρία αυτά βάρη έχουν αντιστοιχηθεί με την ποιότητα λαμβανόμενου σήματος (*Rx level*), το μέσο ρυθμό απορριπτέων κλήσεων (*DCR*) και το μέσο ρυθμό αποκλεισμένων κλήσεων (*BR*), ανά κυψέλη τα τελευταία δύο.

Ένα μειονέκτημα της παραπάνω συνάρτησης είναι ότι, η βελτιστοποίηση αυτής είναι αδύνατη μιας και δεν μπορεί να εκφραστεί μέσα από ένα συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο (π.χ αντικειμενική, πολυωνυμική συνάρτηση). Προκειμένου έτσι, να παρατηρηθεί και να μελετηθεί η συμπεριφορά των διάφορων μεταβλητών σε αυτή, πραγματοποιήθηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων και απλά καταγράφηκαν κάποια συμπεράσματα. Συνήθως ένα δίκτυο προκειμένου να επιλέξει την καλύτερη κυψέλη για κάλυψη του χρήστη, κάνει χρήση μόνο του κριτηρίου του λαμβανόμενου σήματος. Αυτό το κριτήριο είναι και αυτό που καθορίζει και σε μεγάλο βαθμό την τιμή της παραμέτρου C2 σήμερα.

Θεωρούμε την περιοχή εξυπηρέτησης (Σχήμα 5-31), όπου η περιοχή κάλυψης (dominant signal) για κάθε μία από τις 13 κυψέλες φαίνεται από τα διαφορετικά χρώματα του σχήματος.



Σχήμα 5-31: Περιοχή εξυπηρέτησης

Συνολικά εξετάστηκαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις κατανομής φορτίου στην περιοχή αυτή. Θεωρούμε επίσης ότι, το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης για τις δύο αυτές περιπτώσεις είναι 8 και 10mErl ανά χρήστη, αντίστοιχα. Το κατώφλι, που ορίστηκε, για τον καθορισμό μιας κυψέλης ως hotspot είναι για το DCR 6% και το BR 10%. Στην πρώτη περίπτωση, δύο κυψέλες έχουν χαρακτηριστεί ως κρίσιμες. Σε αυτές τις κυψέλες τα ποσοστά του DCR και BR έχουν ξεπεράσει τα προκαθορισμένα κατώφλια. Οι τιμές DCR και BR, που προέρχονται από τον MGIS, για τις δύο αυτές περιπτώσεις και πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου MDR, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

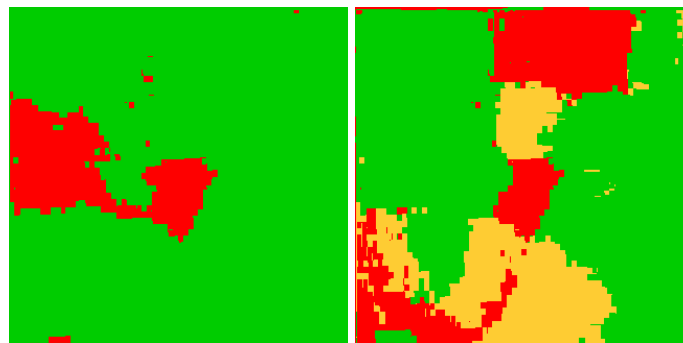
Πίνακας 5-7: Δύο περιπτώσεις (8 και 10mErl ανά χρήστη) με κατώφλια, χαρακτηρισμού κυψέλης σαν hotspot, για το DCR 6% και το BR 10%

	Case 1		Case 2	
	8mErl		10mErl	
	DCR	BR	DCR	BR
CELL-1	2,21	5,11	7,12	15,35
CELL-2	1,67	5,24	2,21	5,74
CELL-3	1,88	5,68	1,99	4,26
CELL-4	6,52	14,36	6,85	14,32
CELL-5	1,56	4,21	2,34	5,87



CELL-6	6,23	13,12	4,12	8,21
CELL-7	1,77	3,62	2,33	5,522
CELL-8	1,54	4,13	3,89	6,21
CELL-9	1,88	4,35	6,77	11,23
CELL-10	2,14	4,89	3,89	6,87
CELL-11	1,24	4,98	2,12	4,52
CELL-12	1,74	5,21	2,24	5,12
CELL-13	1,77	5,14	3,10	5,89

Στη συνέχεια θα δειχθεί ότι, μέσα από την εφαρμογή του MDR αλγορίθμου το αποτέλεσμα δεν είναι μόνο η μείωση αυτών των ρυθμών στις κρίσιμες περιοχές αλλά και η συνολική μείωση αυτών, των κρίσιμων μέτρων, στο σύστημα. Αυτό πετυχαίνεται, όπως είναι και ο σκοπός του MDR, από την καλύτερη ανακατανομή των χρηστών, που καλύπτονται αρχικά από τις κυψέλες hotspots, στις γειτονικές αυτών κυψέλες. Σχηματικά οι δύο παραπάνω περιπτώσεις φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 5-32).



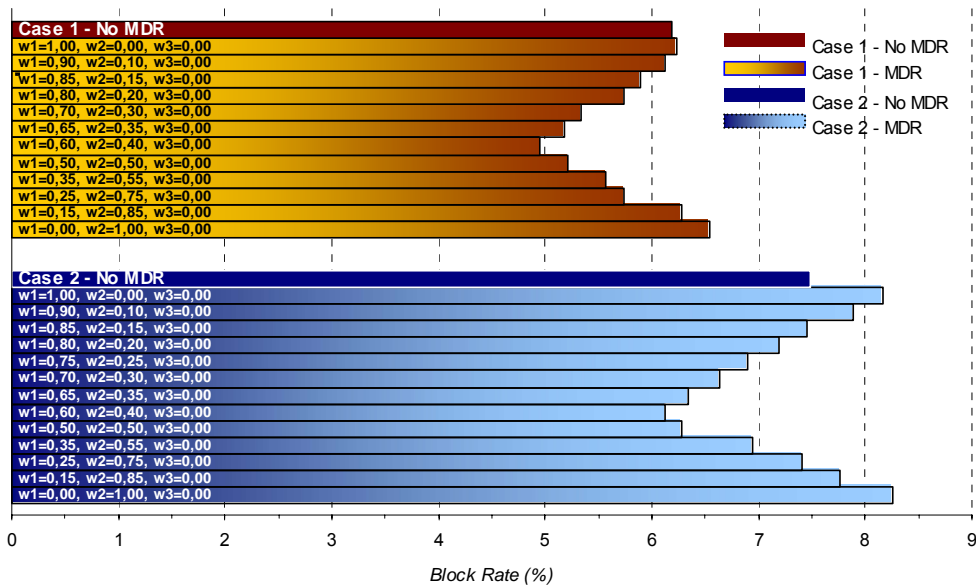
Περίπτωση 1''

Περίπτωση 2''

Σχήμα 5-32: Περιπτώσεις περιοχών hotspots

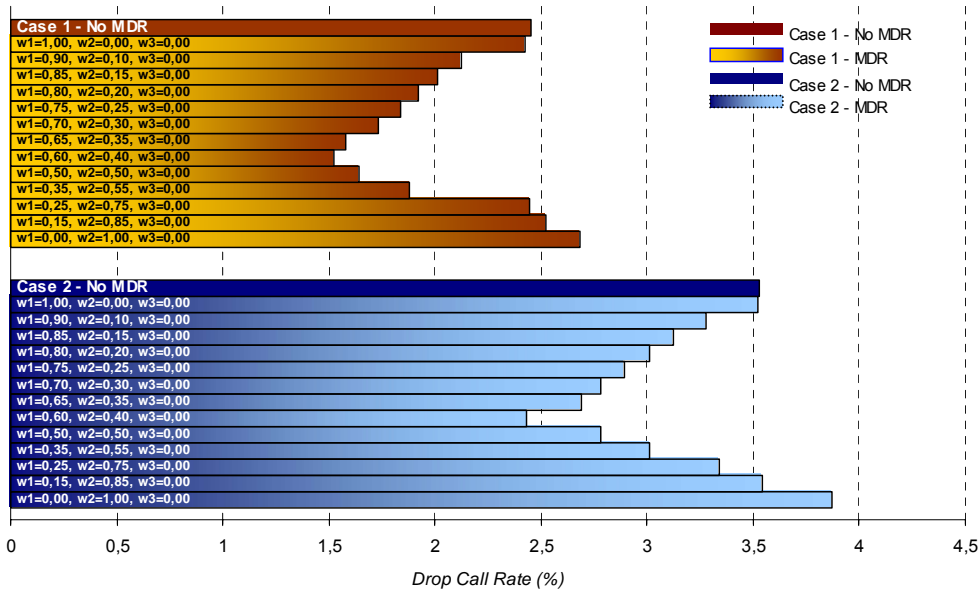
Και οι δύο παραπάνω περιπτώσεις προσομοιώθηκαν με διάφορα σετ βαρών για τη συνάρτηση  $S_{p_i,j}$ . Στην αρχή, προκειμένου να γίνει μια εκτίμηση της επιρροής της κάθε μία μεταβλητής της συνάρτησης, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις, όπου μόνο το λαμβανόμενο σήμα στο τερματικό, διαμόρφωνε το κόστος στον αλγόριθμο MDR ( $w_1 \neq 0, w_2 = 0, w_3 = 0$ ). Στη συνέχεια, προστέθηκε και το βάρος για το DCR ανά κυψέλη ( $w_1 \neq 0, w_2 \neq 0, w_3 = 0$ ).

Blocking Rate - MDR effectiveness as a function of  $w_1, w_2$  weight's



Σχήμα 5-33: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σεί  $w_1, w_2$  βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR

Drop Call Rate - MDR effectiveness as a function of  $w_1, w_2$  weight's

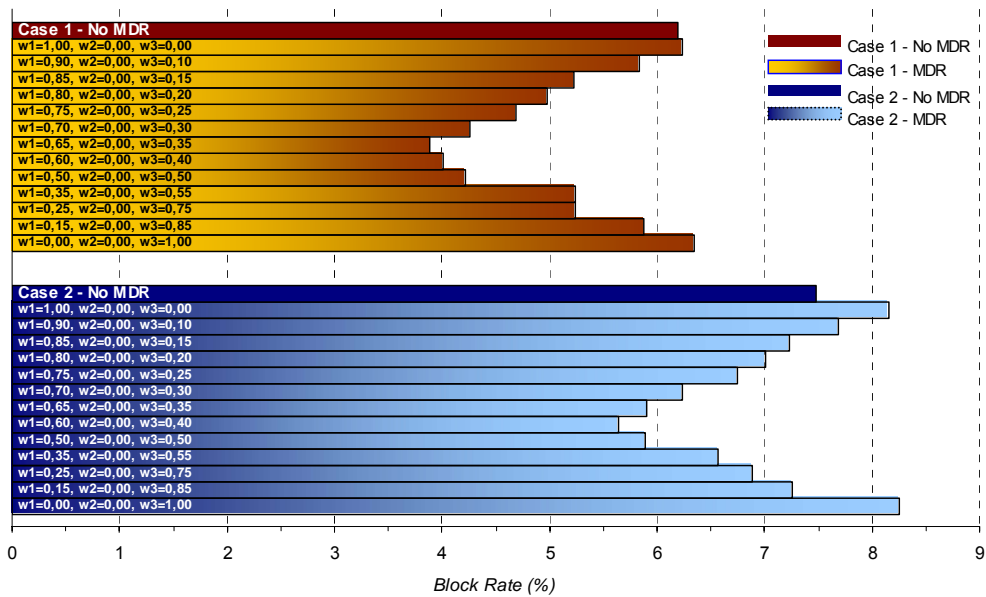


Σχήμα 5-34: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σεί  $w_1, w_2$  βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR

Τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από αυτές τις πολυάριθμες προσομοιώσεις, τόσο για τον μέσο ρυθμό BR όσο και για το μέσο ρυθμό DCR, στο σύστημα και όχι ανά κυψέλη, φαίνονται στα προηγούμενα σχήματα (Σχήμα 5-33, Σχήμα 5-34). Μια πρώτη παρατήρηση θα μπορούσε να είναι ότι, ο συνδυασμός των δύο βαρών, δηλαδή η ενσωμάτωση στη συνάρτηση και του λαμβανόμενου σήματος αλλά και του DCR, προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την μεμονωμένη συμμετοχή είτε μόνο του ενός είτε του άλλου. Μάλιστα, ο αποτελεσματικότερος συνδυασμός των δύο προκύπτει όταν το  $w_1$  είναι περί του 0,6 και το  $w_2$  περί του 0,4. “Αδυνατίζοντας” και άλλο το βάρος του λαμβανόμενου σήματος ( $w_1$ ) αυτό που επιτυγχάνεται είναι η αύξηση και πάλι τόσο του BR όσο και του DCR. Αυτό είναι και λογικό μιας και το λαμβανόμενο σήμα είναι η σημαντικότερη παράμετρος καθορισμού της κατάλληλης κυψέλης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα παραπάνω αποτελέσματα. Θα πρέπει επίσης να τονισθεί ότι, χρησιμοποιώντας μόνο τα  $w_1$  και  $w_2$ , ο MDR αλγόριθμος είναι σαφώς αποδοτικότερος στην ποσοστιαία βελτίωση που επιφέρει στο DCR από ότι στο BR του συστήματος.

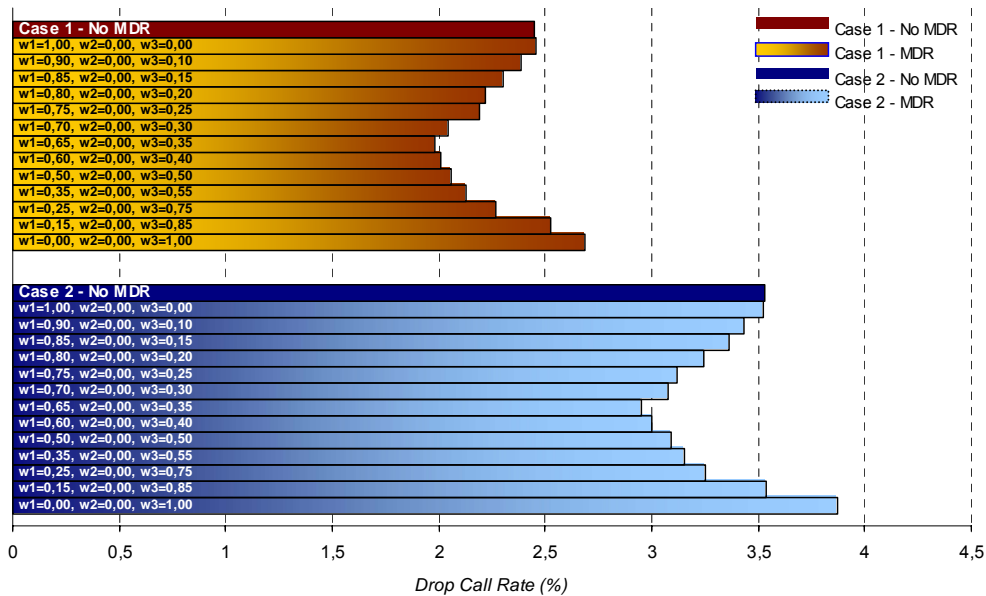
Το επόμενο βήμα για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων ήταν και η ενσωμάτωση του τελευταίου βάρους της συνάρτησης ( $w_3$ ) στις προσομοιώσεις. Στην αρχή, το βάρος  $w_3$  εξετάστηκε σε συνδυασμό μόνο με το  $w_1$  όπως και παραπάνω. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την ενσωμάτωση αυτού δεν έδειξαν κάτι διαφορετικό από τα παραπάνω (Σχήμα 5-35, Σχήμα 5-36). Το βάρος  $w_1$  εξακολουθεί και διαδραματίζει το πιο καθοριστικό ρόλο. Παρατηρήθηκε για ακόμη μια φορά ότι, όταν το βάρος αυτού πέσει κάτω από μια τιμή ο ρυθμός των BR και DCR στο σύστημα αυξάνεται και πάλι. Επίσης παρατηρήθηκε πάλι ότι, ο MDR αυτή τη φορά επιφέρει σημαντικότερα (ποσοστιαία) αποτελέσματα για τις κλήσεις που πρόκειται να ξεκινήσουν και αποκλείονται παρά για τους χρήστες που βρίσκονται εν εξελίξει μιας κλήσης και αυτή απορρίπτεται.

Block Rate - MDR effectiveness as a function of  $w_1, w_3$  weight's



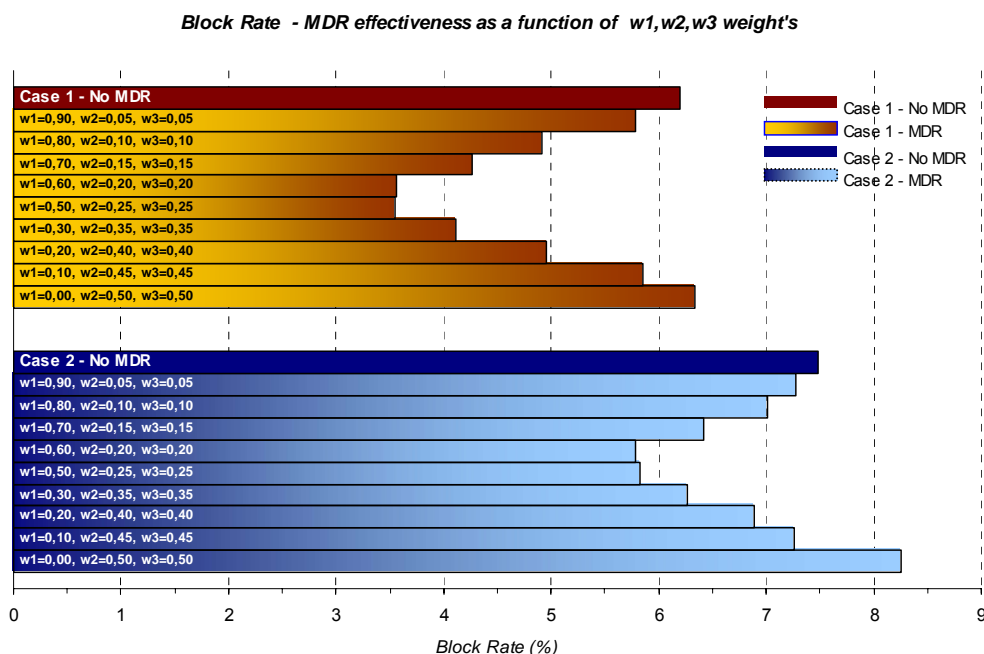
Σχήμα 5-35: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σκετ βαρών  $w_1, w_3$  για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR

Drop Call Rate - MDR effectiveness as a function of  $w_1, w_3$  weight's

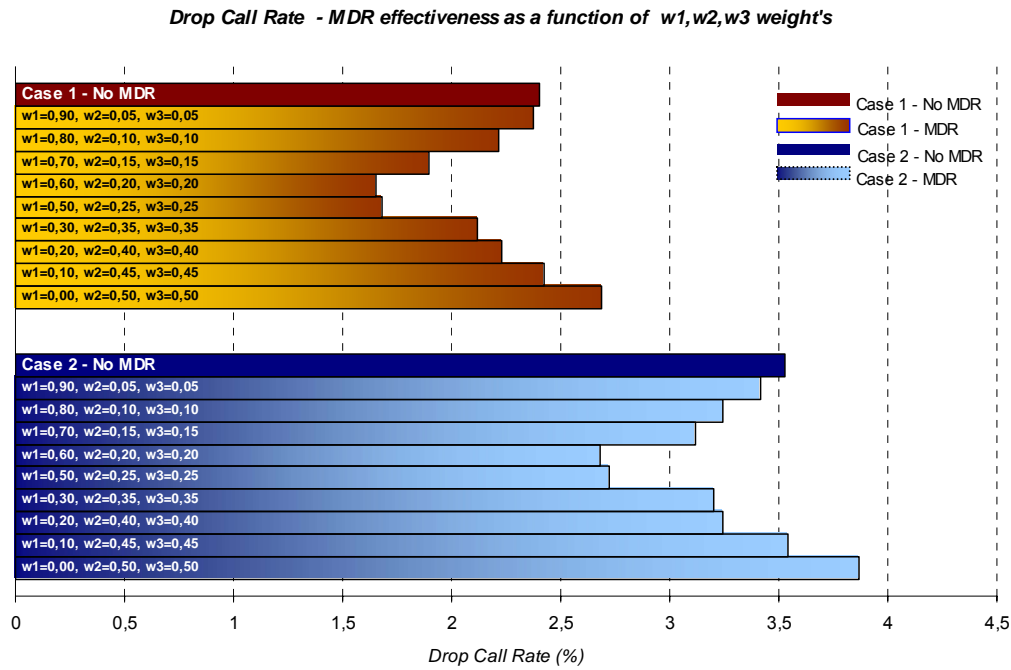


Σχήμα 5-36: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σκετ βαρών  $w_1, w_3$  για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR

Τέλος, στο τελευταίο στάδιο έγινε συνδυασμός και των τριών βαρών. Τα χαρακτηριστικά των αποτελεσμάτων, των δύο προηγούμενων συνθηκών, δεν αλλοιώθηκαν ούτε σε αυτή την περίπτωση. Ακολουθώντας και πάλι την τεχνική μείωσης του βάρους για το λαμβανόμενο σήμα και μοιράζοντας, στην ουσία, το υπόλοιπο στα  $w_2$   $w_3$  πραγματοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός προσομοιώσεων και για τις δύο περιπτώσεις κατανομής τηλεπικοινωνιακού φορτίου (*Case 1* και *Case 2*). Κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα αυτών φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα. Εκεί παρατηρείται ότι, ο αλγόριθμος MDR, με τον κατάλληλο συνδυασμό βαρών, μπορεί να επιφέρει έως και 33% περίπου μείωση στις κλήσεις που αποκλείονται από ένα σύστημα με φορτίο 8mErl ανά χρήστη (δηλαδή ένα μέσο φορτίο) και περίπου 27% στο δίκτυο με φορτίο 10mErl ανά χρήστη. Παράλληλα όμως προκαλεί και μείωση του DCR περίπου 31% και 25% για τις αντίστοιχες περιπτώσεις φορτίου. Οι καταλληλότερες τιμές για τα βάρη, από όπου προκύπτουν και τα παραπάνω αποτελέσματα είναι  $w_1 \approx 0,60$ ,  $w_2 \approx 0,20$ ,  $w_3 \approx 0,20$ .



Σχήμα 5-37: Ρυθμός αποκλεισμού κλήσεων με την εφαρμογή σκετ  $w_1, w_2, w_3$  βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR



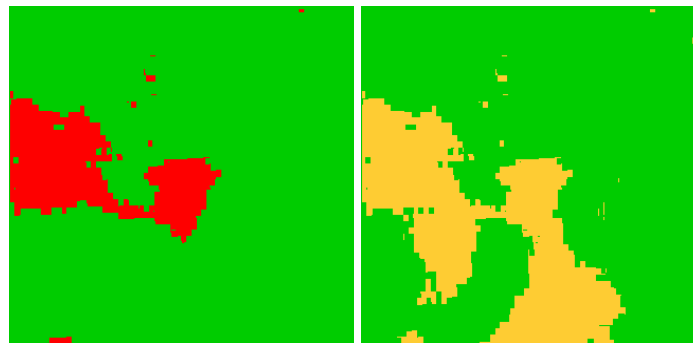
Σχήμα 5-38: Ρυθμός απόρριψης κλήσεων με την εφαρμογή σετ  $w_1, w_2, w_3$  βαρών για τη συνάρτηση “κόστους” του αλγορίθμου MDR

Επιλέγοντας ένα συγκεκριμένο σετ βαρών από αυτές τις τιμές, η ανακατανομή του φορτίου και οι παράμετροι DCR και BR ανά κυψέλη και για τις δύο περιπτώσεις (Case1 και Case2) μετά την εφαρμογή του MDR αλγορίθμου, προκύπτουν ως εξής:

Πίνακας 5-8: Οι περιπτώσεις του Πίνακα 5-7 μετά την εφαρμογή του MDR αλγορίθμου

	Case 1 8mErl				Case 2 10mErl			
	DCR	BR	DCR MDR	BR MDR	DCR	BR	DCR MDR	BR MDR
CELL-1	2,21	5,11	1,68	3,27	7,12	15,35	4,12	9,54
CELL-2	1,67	5,24	1,24	3,65	2,21	5,74	1,68	3,89
CELL-3	1,88	5,68	1,98	5,88	1,99	4,26	1,42	3,65
CELL-4	6,52	14,36	3,14	9,16	6,85	14,32	4,23	8,87
CELL-5	1,56	4,21	2,21	3,87	2,34	5,87	1,56	3,88
CELL-6	6,23	13,12	3,11	6,58	4,12	8,21	3,51	7,28
CELL-7	1,77	3,62	3,31	8,24	2,33	5,522	1,74	3,25
CELL-8	1,54	4,13	1,24	3,89	3,89	6,21	3,77	7,02
CELL-9	1,88	4,35	1,26	2,89	6,77	11,23	6,11	9,75
CELL-10	2,14	4,89	3,08	7,23	3,89	6,87	3,12	6,11
CELL-11	1,24	4,98	1,02	3,56	2,12	4,52	1,23	3,21
CELL-12	1,74	5,21	1,12	4,21	2,24	5,12	1,45	2,89
CELL-13	1,77	5,14	1,54	4,33	3,10	5,89	1,89	4,23
CELL-14	1,52	4,33	0,98	2,55	2,32	5,64	1,88	2,89

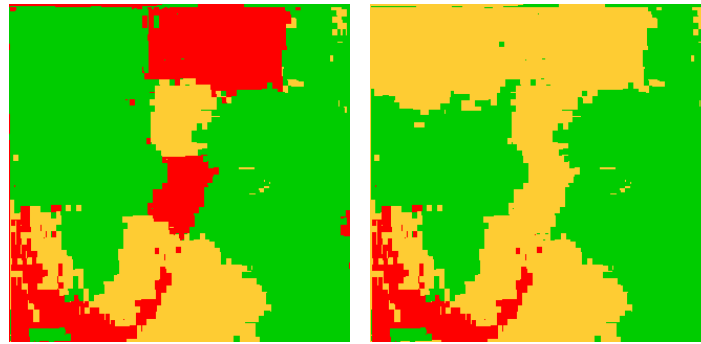
Και σχηματικά:



No MDR

MDR

-Case 1-



No MDR

MDR

-Case 2-

Σχήμα 5-39: Οι περιπτώσεις από το Σχήμα 5-32 με την εφαρμογή του MDR αλγόριθμου

Βέβαια, το μειονέκτημα του MDR, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω με άλλα λόγια, είναι το γεγονός ότι, οι συγκεκριμένες τιμές των βαρών είναι οι καταλληλότερες για τα συγκεκριμένα σενάρια κατανομής φορτίου και όχι για κάθε περίπτωση. Επομένως, πόσο αξιόπιστος είναι ο αλγόριθμος MDR και για άλλες τυχαίες κατανομές φορτίου σε ένα σύστημα; Η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα μπορεί να δοθεί μόνο μέσα από λογικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την πληθώρα των προσομοιώσεων. Έτσι τα κυριότερα συμπεράσματα είναι:

- 1) Το λαμβανόμενο σήμα στο τερματικό από τους σταθμούς εξακολουθεί και είναι το σημαντικότερο κριτήριο για την κατάλληλη επιλογή και επανεπιλογή του σταθμού βάσης από ένα τερματικό. Εξάλλου, το λαμβανόμενο σήμα παίζει το δικό του ξεχωριστό ρόλο, εκτός από τη διαμόρφωση του *temporaryOffset* του C2, όπως ο αλγόριθμος MDR προτείνει, και στην διαμόρφωση του C1 που είναι και ο κύριος παράγοντας της διαμόρφωσης της τιμής του C2. Αυτό που προέκυψε και από τις προσομοιώσεις σε διάφορες συνθήκες δικτύου και διάφορες περιοχές εξυπηρέτησης, είναι πως, το βάρος του λαμβανόμενου σήματος πρέπει να είναι αρκετά σημαντικό. Έτσι ουσιαστικά αποφεύγεται η περίπτωση που ένα τερματικό βρισκόμενο σε μια περιοχή hotspot θα προτιμήσει μια κυψέλη με χαμηλότερα DCR και BR αλλά με πολύ χαμηλό επίπεδο Rx, ικανοποιητικό για να τον καλύψει. Έτσι ενώ ουσιαστικά αποφεύγει αυτή την περιοχή για τους υψηλούς ρυθμούς DCR και BR που υπάρχουν εκεί, είναι πολύ πιθανό να μην μπορεί καν να εγκαθιδρύσει τη κλήση ή να πραγματοποιήσει διαπομπή, στην περίπτωση που βρίσκεται ήδη εν εξέλιξη η κλήση



- 2) Από εκεί και πέρα, η επιλογή των βαρών  $w_2$   $w_3$  πραγματοποιείται στις πιο πάνω περιπτώσεις βάσει της παραδοχής ότι ένας πάροχος χαρακτηρίζει μια περιοχή ως κρίσιμη επειδή αυτές ξεπέρασαν κάποια κατώφλια τόσο του DCR όσο και του BR. Αν κάποιος πάροχος, στρατηγικά, επιλέξει ότι μια περιοχή θα χαρακτηριστεί κρίσιμη στο δίκτυο, όταν εμφανιστεί μόνο το ένα από τα δύο μέτρα αυξημένο αρκετά, τότε το tradeoff μεταξύ των δύο βαρών, για εκείνη την περιοχή, θα πρέπει να κλίνει προς το βάρος που αντιστοιχεί και στο μέτρο που όρισε για το πιο κρίσιμο. Αυτό εξηγείται και από τα παραπάνω αποτελέσματα, όπου όταν χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα βάρη  $w_1, w_2$  και  $w_1, w_3$  αντίστοιχα, παρατηρήθηκε καλύτερη βελτίωση, στην μεν πρώτη περίπτωση στο ρυθμό DCR, στη δε δεύτερη, στο ρυθμό BR.

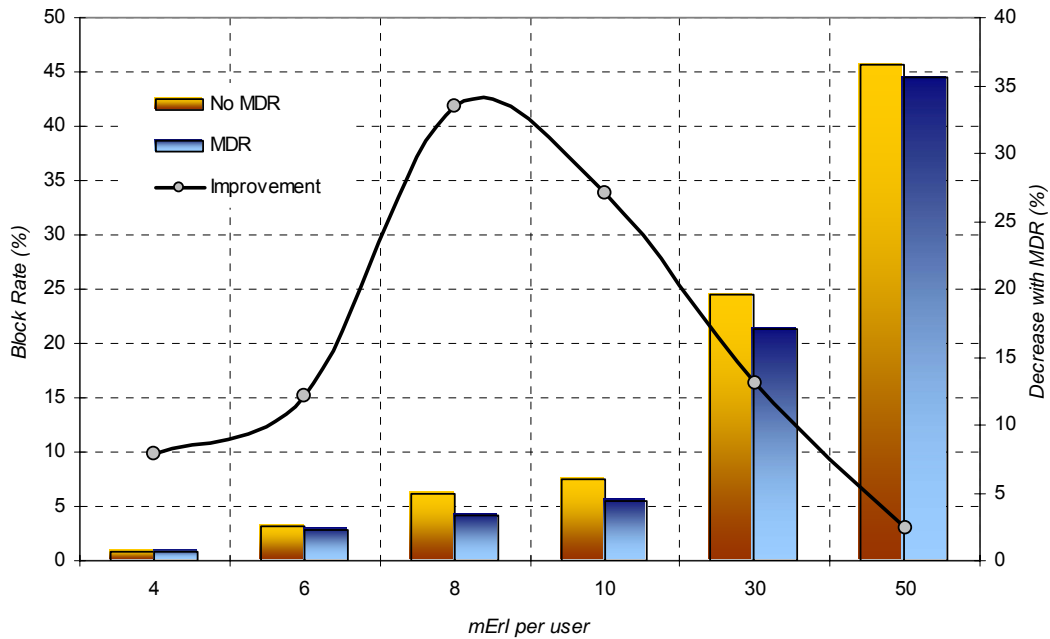
Αυτά τα δύο συμπεράσματα, προερχόμενα από την πληθώρα παρατηρήσεων για τη συμπεριφορά του MDR αλγορίθμου, κάνουν τον αλγόριθμο αυτό υποσχόμενο για την βελτίωση που μπορεί να επιφέρει σε ένα δίκτυο μέσα από την εφαρμογή του σε αυτό. Στην επόμενη παράγραφο ακολουθεί η ανάλυση για το πως ο αλγόριθμος MDR αντιδρά σε διάφορα επίπεδα τηλεπικοινωνιακού φορτίου.

#### 5.3.1.9 MDR-Σενάριο 2 - Επίδραση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου

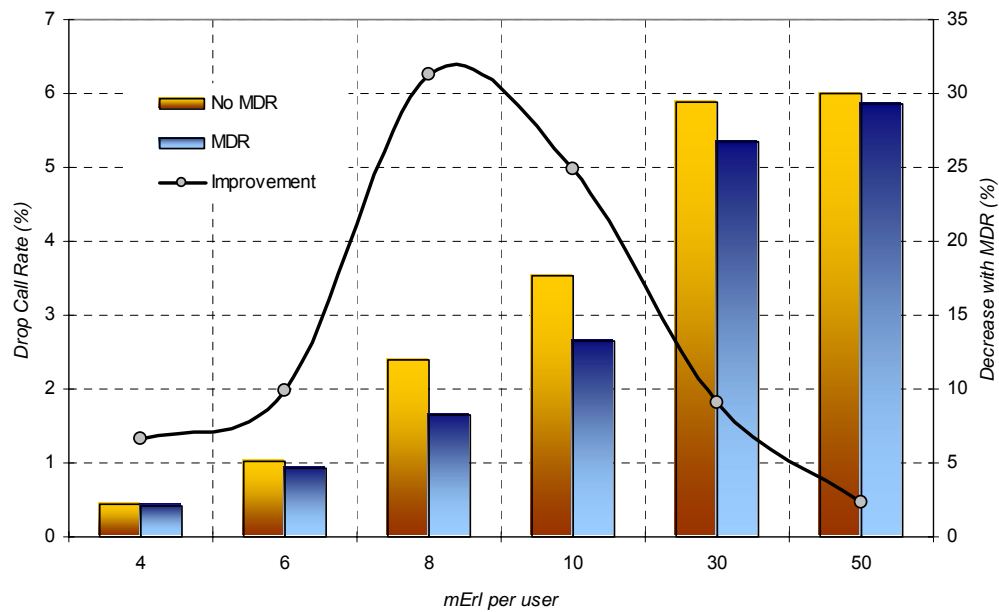
Στην παράγραφο αυτή, εξετάζεται η εφαρμογή και αποτελεσματικότητα του MDR αλγορίθμου σε συνάρτηση με τα επίπεδα φορτίου που επικρατούν στο δίκτυο. Μια πρώτη αίσθηση των αποτελεσμάτων αυτών δόθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, όπου με την εφαρμογή του αλγορίθμου MDR για την περίπτωση Case 1 με 8mErl και με συγκεκριμένο σετ βαρών παρουσιάστηκε μείωση του ρυθμού BR κατά 33% περίπου. Με το ίδιο σετ βαρών και με αυξημένο το φορτίο στο δίκτυο (10mErl), ο MDR αλγόριθμος μείωσε κατά 27% περίπου τον ίδιο ρυθμό. Κάτι αντίστοιχο παρατηρήθηκε και για το DCR όπου στην περίπτωση φορτίου 8mErl ο MDR επέφερε μείωση 31% στον ρυθμό αυτό, ενώ για την περίπτωση φορτίου 10mErl η αντίστοιχη μείωση ανέρχεται στο 25%.

Για την περαιτέρω ανάλυση πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για διαφορετικές καταστάσεις τηλεπικοινωνιακού φορτίου (από 4mErl και 6mErl που είναι συνήθως το φορτίο για ώρα χαμηλής κίνησης, σε 8mErl και 10mErl που είναι η κίνηση που αναφέρεται σε ένα μέσο προς υψηλό φορτίο και 30mErl, 50mErl που πρόκειται για υψηλά και πολύ υψηλά φορτία κίνησης). Για το σκοπό αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σετ βαρών για

την συνάρτηση  $S_{\rho_i, j}$  του MDR αλγορίθμου για όλες τις περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 5-40, Σχήμα 5-41).



Σχήμα 5-40: Blocking Rate - Συμπεριφορά του MDR σε διάφορες καταστάσεις επιπέδων φορτίου



Σχήμα 5-41: Drop Call Rate - Συμπεριφορά του MDR σε διάφορες καταστάσεις επιπέδων φορτίου

Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, ο MDR αλγόριθμος είναι αρκετά αποδοτικός για καταστάσεις φορτίου μέσες προς υψηλές (8,10mErI). Για καταστάσεις χαμηλού, υψηλού και πολύ υψηλού φορτίου, η αποτελεσματικότητα του MDR πέφτει. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, πρωτίστως ο MDR προσπαθεί να περιορίσει τις hotspot περιοχές. Σε καταστάσεις χαμηλού φορτίου είναι σπάνιο να παρατηρηθούν τέτοιες. Έτσι και η επιρροή του MDR είναι μικρότερη. Από την άλλη μεριά, οι καταστάσεις υψηλού και πολύ υψηλού φορτίου προκαλούνται συνήθως από την ύπαρξη πολλών τέτοιων κρίσιμων περιοχών. Ο αλγόριθμος MDR, παρόλο που παρεμβαίνει σε αυτές τις περιοχές, είναι εξαιρετικά πιο δύσκολο να πετύχει σημαντικά αποτελέσματα μιας και η ανακατανομή των χρηστών καθίσταται δυσκολότερη μιας και σχεδόν όλες οι περιοχές πλέον χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες. Γι αυτό και στα υψηλά και πολύ υψηλά φορτία, η αποτελεσματικότητα του MDR πέφτει στο 5% μείωσης των δύο κρίσιμων μέτρων απόδοσης.

### 5.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ UMTS

Τα αποτελέσματα, που καταγράφονται σε αυτή την παράγραφο, προέκυψαν από την εφαρμογή του TPIO αλγορίθμου (4.5.2) και τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή UMTS, όπως αυτός περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.2.2.

Μια γρήγορη ανασκόπηση του TPIO αλγορίθμου θα βοηθούσε σε αυτό το σημείο.

Ο TPIO αλγόριθμος ουσιαστικά παρεμβαίνει στη διαμόρφωση και αναδιαμόρφωση του ενεργού συνόλου (active set) ενός χρήστη (τερματικού) στο UMTS. Μέχρι σήμερα, στις προδιαγραφές για το UMTS, η διαμόρφωση αυτού του συνόλου στηρίζεται στις μετρήσεις που το κινητό εκτελεί στο Common Pilot Channel (CPICH) για FDD κυψέλες και στο Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH) σε TDD. Μετρώντας τα λαμβανόμενα σήματα, σε αυτά τα κανάλια, το κινητό ελέγχει τα κριτήρια S, για την επιλογή ή μη, του κάθε NodeB στο ενεργό σύνολο και τα κριτήρια R για κάθε NodeB, που περνάει επιτυχώς το κριτήριο S, για την αναδιάταξη αυτού στο ενεργό σύνολο. Ο TPIO έρχεται και προσθέτει δύο επιπλέον παραμέτρους στη διαδικασία αυτή. Η πρώτη παράμετρος έχει να κάνει με την απόσταση του τερματικού από το κάθε NodeB του ενεργού συνόλου, επομένως τη θέση του χρήστη, και η δεύτερη με την υπηρεσία που αυτό απαιτεί από το δίκτυο.

Στην περίπτωση των προσομοιώσεων για ένα δίκτυο UMTS, θεωρήθηκε και πάλι η περιοχή που φαίνεται στο Σχήμα 5-31. Τα τερματικά στο UMTS μπορούν να εκπέμπουν μέγιστο  $300mW$  ( $25dBm$ ) για όλες τις παρεχόμενες υπηρεσίες, ενώ οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν στο

μέγιστο  $20W$  ( $43dBm$ ). Οι υπόλοιποι παράμετροι του UMTS που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση δίνονται και στον Πίνακας 5-5: *Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων UMTS*.

Το σετ των υπηρεσιών που προσφέρονται περιλαμβάνει 4 υπηρεσίες. Οι τέσσερις αυτές υπηρεσίες είναι η φωνή (voice)  $s_1$ , η βίντεο συνδιάσκεψη (Video Conference)  $s_2$ , η αλληλοδραστική υπηρεσία (Interactive Data)  $s_3$  και το βίντεο ροής πραγματικού χρόνου (Streaming Video)  $s_4$  με χαρακτηριστικά που συνοψίζονται στον Πίνακα 5-3, χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές που ορίστηκαν προηγουμένως.

Οι προσομοιώσεις εξέτασαν τα αποτελέσματα τόσο για τη ζεύξη ανόδου όσο και για τη ζεύξη καθόδου.

### 5.3.2.1 TPIO – Ζεύξη Ανόδου (Uplink)

Ας υποθέσουμε ένα στιγμιότυπο του συστήματος σε αυτό το σενάριο με το διάνυμα ζήτησης, για τη ζεύξη ανόδου μόνο, να αποτελείται από συνδέσεις για τις τρεις υπηρεσίες (η υπηρεσία streaming video προβλέπεται μόνο στη ζεύξη καθόδου) κατανεμημένες ανάμεσα στην κάθε κυψέλη. Συνοπτικά οι ενεργές συνδέσεις κάθε υπηρεσίας φαίνονται στον Πίνακα 5-9. Αυτές οι συνδέσεις προκύπτουν χωρίς την εφαρμογή του TPIO αλγορίθμου και αναφέρονται στο μέσο αριθμό ενεργών χρηστών ανά λεπτό. Τα ενεργά σύνολα των χρηστών καθορίζονται μόνο μέσα από το λαμβανόμενο σήμα.

*Πίνακας 5-9: Φορτίο ανά υπηρεσία στη ζεύξη ανόδου*

Υπηρεσία	Αριθμός ενεργών συνδέσεων/ κυψέλη (Uplink)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$s_1$ (Voice 12,2Kbps)	24	20	22	21	22	22	27	28	21	23	28	21	23
$s_2$ (Video Conference 64Kbps)	9	8	8	6	5	8	6	7	8	7	5	8	8
$s_3$ (Interactive Data 144Kbps)	2	2	2	1	2	3	1	3	3	2	3	3	2
$s_4$ (Streaming Video 384Kbps)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

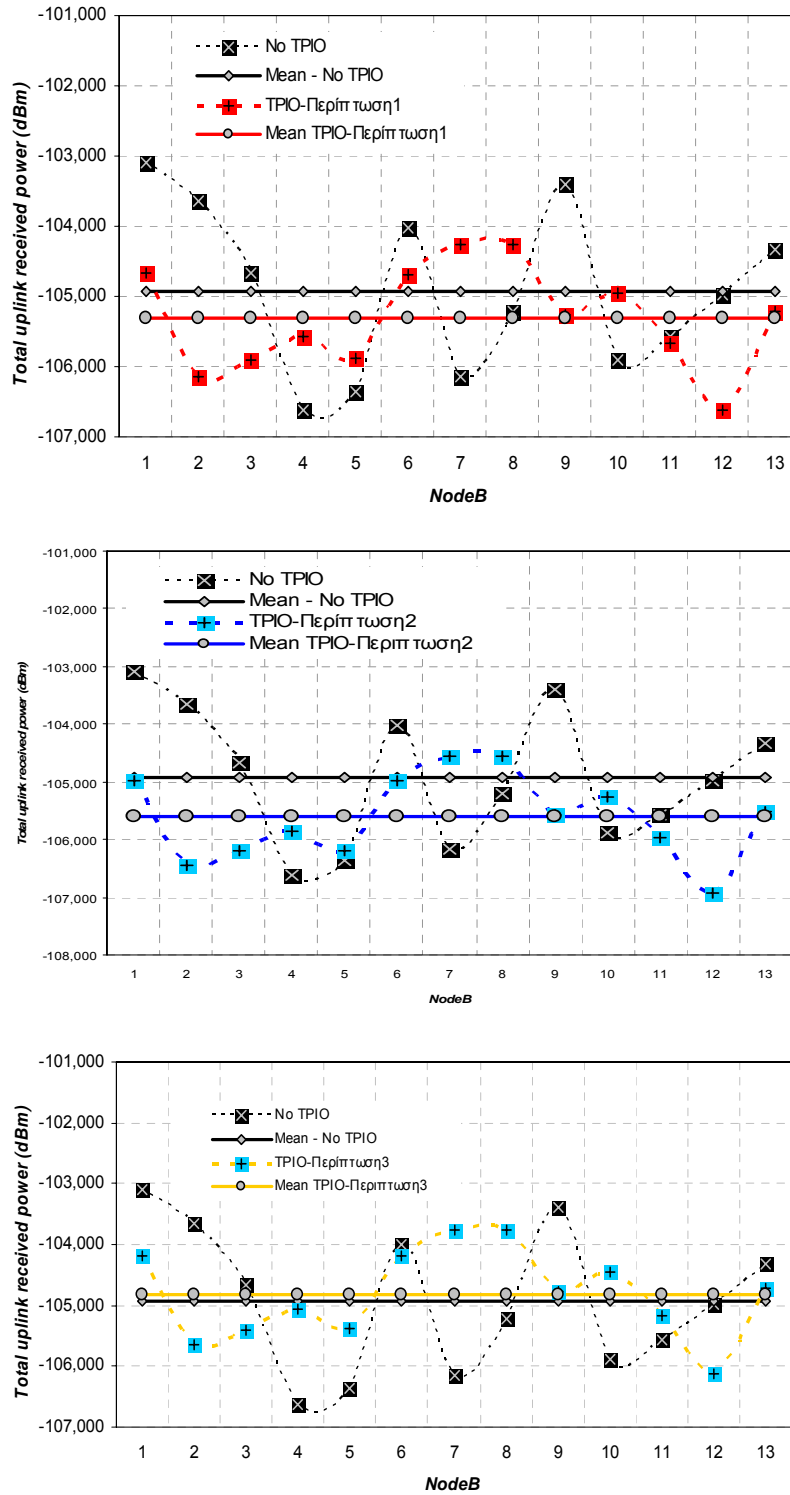
Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο TPIO τα ενεργά σύνολα και επομένως οι ενεργές συνδέσεις ανά κυψέλη αναπροσαρμόζονται. Ο TPIO ουσιαστικά ανακατανέμει του χρήστες στο σύστημα λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση του από τα NodeB's και την

υπηρεσία που ζητά. Οι περιπτώσεις των βαρών της συνάρτησης, που ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί, και εξετάστηκαν στη διάρκεια αυτής της μελέτης είναι οι κάτωθι:

- Περίπτωση 1:  $w_1 = 0.8, w_2 = 0.1, w_3 = 0.1$
- Περίπτωση 2:  $w_1 = 0.6, w_2 = 0.2, w_3 = 0.2$
- Περίπτωση 3:  $w_1 = 0.4, w_2 = 0.3, w_3 = 0.3$

Υπενθυμίζεται ότι, το  $w_1$  αντιστοιχείται στην κανονικοποιημένη τιμή του λαμβανόμενου σήματος  $Q_{meas}(UE_i, j)$  στο Common Pilot Channel (CPICH) της κυψέλης, το  $w_2$  στην κανονικοποιημένη τιμή της υπηρεσίας που ζητά ο χρήστης  $s(UE_i) \in S$  εκφρασμένη σε *Bit Rate (kbps)* και το  $w_3$  τιμή στην κανονικοποιημένη τιμή της απόστασης  $d(UE_i, j)$  του χρήστη  $UE_i$  από την κυψέλη  $j$ .

Τα παρακάτω σχήματα παριστάνουν τη συνολική ισχύ/παρεμβολή που «αισθάνεται» ο Node-B σε κάθε κυψέλη, όπως αυτή υπολογίζεται από τον TPIO αλγόριθμο και για τις 3 περιπτώσεις. Στα ίδια σχήματα παριστάνεται και η συνολική ισχύς, αυτή δηλαδή που υπολογίζεται με βάση το θεωρητικό μέγεθος του uplink παράγοντα φόρτωσης της παραγράφου 5.2.2.2.1 και χωρίς την εφαρμογή του TPIO αλγορίθμου.

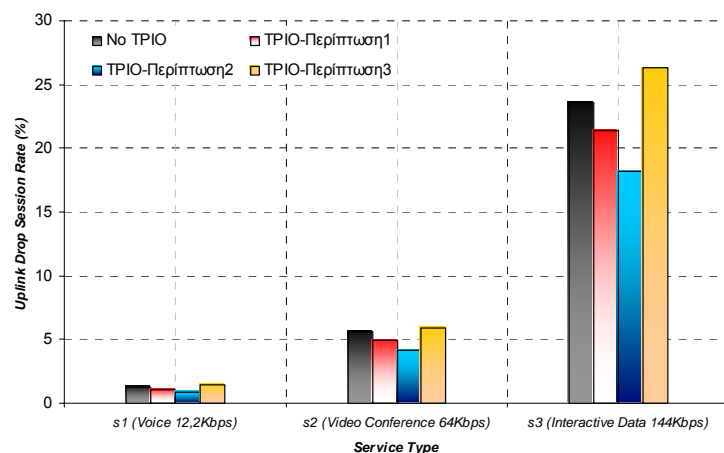


ζ

Σχήμα 5-42: Συνολικά λαμβανόμενη ισχύς/παρεμβολή ανά Node-B και ανά περίπτωση σετ βαρών της συνάρτησης του TPIO αλγορίθμου

Από τα σχήματα αυτά προκύπτει για τις δύο περιπτώσεις μείωση της μέσης παρεμβολής που δέχεται το σύστημα. Στην τρίτη περίπτωση, όπου το βάρος της λαμβανόμενης ισχύος εξασθένησε αρκετά, παρατηρείται μια αύξηση της μέσης παρεμβολή που φθάνει στο σύστημα (NodeB's). Αυτό οδηγεί και στο συμπέρασμα ότι η λαμβανόμενη ισχύς εξακολουθεί να είναι η κρισιμότερη παράμετρος για το τερματικό στην επανεπιλογή της κατάλληλης κυψέλης που θα τον καλύψει. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βελτίωση της δεύτερης περίπτωσης βαρών συνάρτησης είναι σημαντικότερη από αυτή της πρώτης. Αυτό, σε συνδυασμό με το πιο πάνω αποτέλεσμα, οδηγεί σε ένα αρκετά σημαντικό συμπέρασμα για τη συμπεριφορά του TPIO αλγορίθμου. Η απόσταση από την κυψέλη και η υπηρεσία που ζητά ο χρήστης μπορούν να παίξουν ένα καθοριστικό ρόλο αν αυτός δεν είναι ούτε αρκετά υποβαθμισμένος (Περίπτωση 1) αλλά ούτε και περισσότερο σημαντικός από το λαμβανόμενο σήμα (Περίπτωση 3).

Επίσης, μια παράμετρος που εξετάστηκε στην περίπτωση του TPIO αλγορίθμου είναι το ποσοστό αποκλεισμένων συνόδων (sessions) ανά τύπο υπηρεσίας. Η αποκλεισμένη σύνοδος μιας υπηρεσίας ορίζεται εκείνη η “κλήση” που για κάποιους λόγους δεν περνάει επιτυχώς τον έλεγχο κλήσεων (Admission control) του UMTS. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις τρεις παραπάνω περιπτώσεις σετ βαρών σε συνάρτηση με την περίπτωση που ο TPIO αλγόριθμος δεν εφαρμόζεται, διαφαίνονται στο Σχήμα 5-43.



Σχήμα 5-43: Ρυθμός αποκλεισμένων συνόδων ανά υπηρεσία στη ζεύξη ανόδου

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι, η περίπτωση 3, όπου το βάρος του λαμβανομένου σήματος είναι το μικρότερο από όλες τις περιπτώσεις, προκαλεί αύξηση στον ρυθμό των αποκλεισμένων συνόδων και για τις τρεις διαφορετικές υπηρεσίες σε σχέση με τη μη

εφαρμογή του ΤΡΙΟ αλγορίθμου. Από την άλλη πλευρά, η περίπτωση σετ βαρών 2, μειώνει αισθητά αυτόν το ρυθμό. Η αναπροσαρμογή των κυψελών μέσα στα ενεργά σύνολα των χρηστών, μέσα από την εφαρμογή του ΤΡΙΟ, για τις περιπτώσεις 1 και 2, επιτρέπει στο σύστημα να κάνει δεκτές περισσότερες συνόδους (εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών).

### 5.3.2.2 ΤΡΙΟ – Ζεύξη Καθόδου (Downlink)

Σα συνέχεια των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η εξέταση των ίδιων περιπτώσεων και στη ζεύξη καθόδου. Ας υποθέσουμε ένα στιγμιότυπο του συστήματος σε αυτό το σενάριο με το διάλυμα ζήτησης ανά υπηρεσία και κυψέλη, για τη ζεύξη καθόδου, να δίνεται από τον Πίνακα 5-10

Πίνακας 5-10: Φορτίο ανά υπηρεσία στη ζεύξη καθόδου

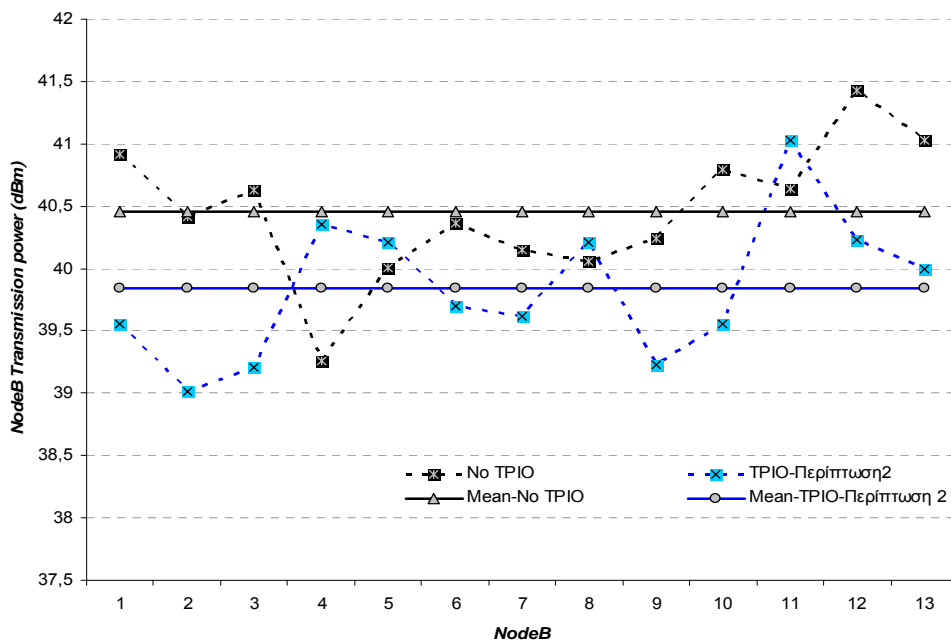
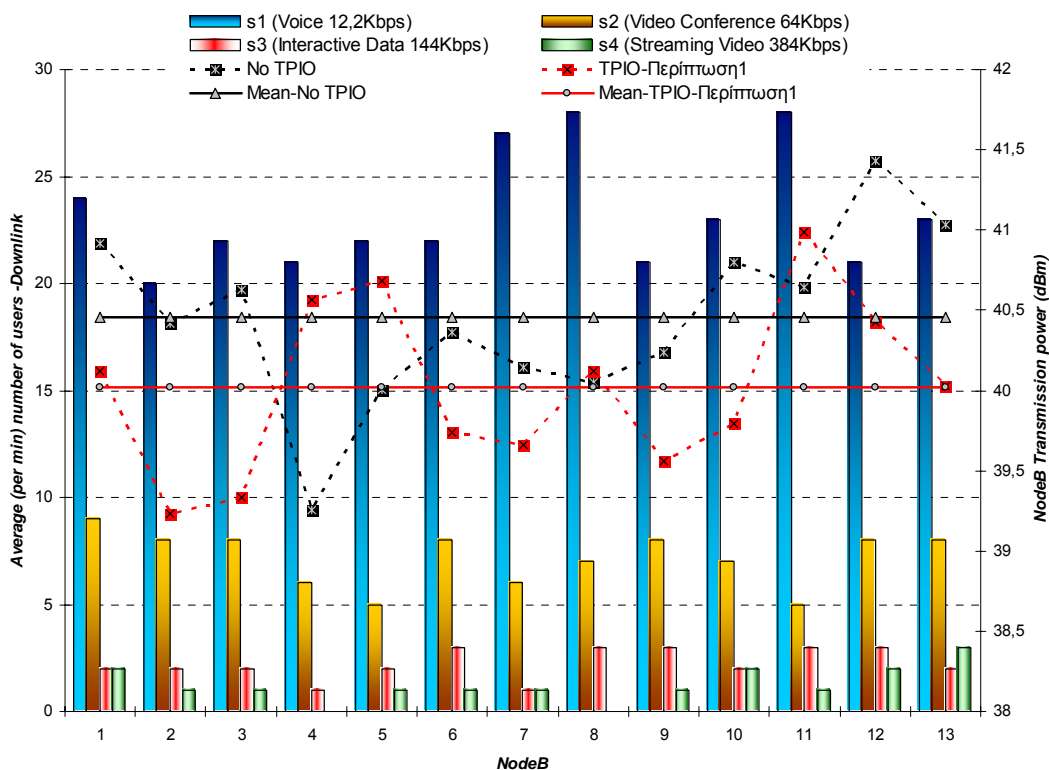
Υπηρεσία	Αριθμός ενεργών συνδέσεων/ κυψέλη (Uplink)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s1 (Voice 12,2Kbps)	24	20	22	21	22	22	27	28	21	23	28	21	23
s2 (Video Conference 64Kbps)	9	8	8	6	5	8	6	7	8	7	5	8	8
s3 (Interactive Data 144Kbps)	2	2	2	1	2	3	1	3	3	2	3	3	2
s4 (Streaming Video 384Kbps)	2	1	1	0	1	1	1	0	1	2	1	2	3

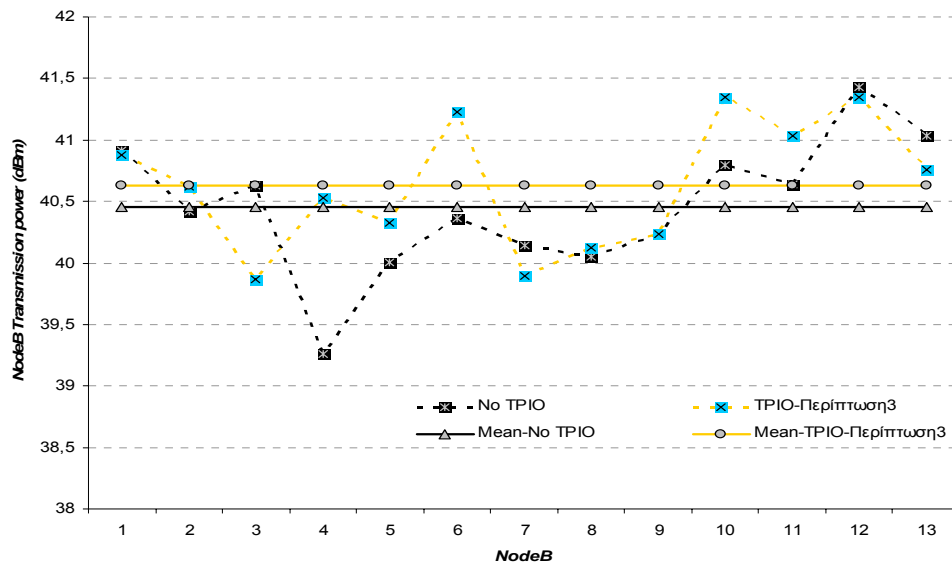
Όλες οι παραπάνω συνδέσεις περνάνε μέσα από τη διαδικασία ελέγχου ισχύος στη ζεύξη καθόδου. Η ισχύς εκπομπής για κάθε NodeB καθορίζεται από τη σχέση

$$P_{NODE-B} = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \sum_{j=0}^N SAF_j \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot \frac{R_i}{W} \cdot Loss_i}{1 - \eta_{DL}}$$

Οι παράμετροι της παραπάνω σχέσης έχουν εξηγηθεί λεπτομερώς στην παράγραφο (5.2.2.2.2). Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να επισημανθεί, για ακόμη μια φορά, ότι η ισχύς εκπομπής προσδιορίζεται και από τις συνδέσεις ήπιας διαπομπής στο συγκεκριμένο NodeB. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν αρχικά χωρίς τη χρήση του ΤΡΙΟ αλγορίθμου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με τη χρήση αυτού και για τις τρεις περιπτώσεις, όπως και πιο πάνω.







Σχήμα 5-44: Εκπεμπόμενη ισχύς ανά Node-B και ανά περίπτωση σεν βαρών της συνάρτησης του TPIO αλγορίθμου

Από τα σχήματα αυτά προκύπτει σχεδόν ότι προέκυψε και νωρίτερα με τη ζεύξη ανόδου. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις όπου τα βάρη των τριών παραμέτρων είναι  $w_1 = 0.8, w_2 = 0.1, w_3 = 0.1$  και  $w_1 = 0.6, w_2 = 0.2, w_3 = 0.2$  αντίστοιχα, η εκπεμπόμενη ισχύς, συνολικά, μειώνεται. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως μέσα από τη μετατόπιση του φορτίου στις κυψέλες με χαμηλό, εκείνη τη στιγμή, τηλεπικοινωνιακό φόρτο. Βέβαια το λαμβανόμενο σήμα, η απόσταση από αυτές και η ζητούμενη υπηρεσία θα οδηγήσουν στην όσο το δυνατό καλύτερη κατανομή του χρήστη στις γύρω κυψέλες. Τέλος, στην τρίτη περίπτωση, όπου  $w_1 = 0.4, w_2 = 0.3, w_3 = 0.3$ , παρατηρείται μια αύξηση της μέσης ισχύς εκπομπής στο σύστημα. Η εξήγηση για το γεγονός αυτό είναι η ίδια με αυτή της προηγούμενης παραγράφου και για τη συγκεκριμένη περίπτωση σεν βαρών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] B. Walke, “Mobile Radio Networks Networking and Protocols”, Wiley 1999
- [2] M.-H. Chiu and M. A. Bassiouni, “Predictive schemes for handoff prioritization in cellular networks based on mobile positioning,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, Mar. 2000, pp. 510-22.
- [3] A. Aljadhari and T. Znati, “Predictive mobility support for QoS provisioning in mobile wireless environments,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 19, no. 10, Oct. 2001, pp. 1915-30
- [4] P. Demestichas, K. Tsagkaris, G. Kotsakis, E. Tzifa, M. Theologou, “ Uplink Transmission Power Allocation in the Design and Management of CDMA-based Cellular Networks”, *IEEE Electronic Letters Journal*, Vol. 39, No. 1, 2003
- [5] M. Hata, “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, no. 3, 317-325, August 1980
- [6] Papoulis A., *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, New York: McGraw-Hill, pp. 92-94, 2<sup>nd</sup> edition, 1984
- [7] T. S. Rappaport. *Wireless communications, principles and practice*. Prentice Hall, 1996.
- [8] 3GPP TR 25.942, “*RF system scenarios*”.
- [9] ETSI, “Universal Mobile Telecommunication System; Selection Procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS”, UMTS 30.03.
- [10] 3GPP TR 25.922 v4.0.0, “Radio resource management strategies”
- [11] M. Viterbi and A. J. Viterbi “Erlang Capacity of a Power-Controlled CDMA,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 11, no 6, Aug 1993
- [12] Dahlman, E., Knutsson J., Ovesjo, F., Persson, M. and Roobol, C., «WCDMA - The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications». *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47. No. 4. November 1998. pp. 1105-1118.
- [13] Z. Liu and M. E. Zarki, “SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 4, pp. 638-644, May 1994.
- [14] Y. Ishikawa and N. Umeda, “Capacity Design and Performance of Call Admission Control in Cellular CDMA Systems”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* vol. 15, no. 8, 8 Oct. 1997
- [15] S. Shin, C.H. Cho and D.K. Sung “Interference Based Channel Assignment for DS-CDMA Cellular Systems,” *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 48, no 1 Jan 1999
- [16] J.Laiho, A.Wacker, T.Novosad (Editors), “Radio network planning and optimisation for UMTS”, J.Wiley&Sons

[17] Harri Holma and Antti Toskala "WCDMA for UMTS" John Wiley & Sons, LTD

[18] Fredrik Berggren, Student Member, IEEE, Seong-Lyun Kim, Member, IEEE, Riku Jantti, and Jens Zander, Member, IEEE, "Joint Power Control and Intracell Scheduling of DS-CDMA Nonreal Time Data", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 19, No. 10, October 2001

---

# Κεφάλαιο 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ

ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

---



## **6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Οι ασύρματες επικοινωνίες είναι από τους πλέον ταχύτατα εξελισσόμενους τομείς στην βιομηχανία τηλεπικοινωνιών σήμερα. Ένα από τους σημαντικότερους τομείς της ασύρματης επικοινωνίας είναι και τα κυψελοειδή συστήματα. Σε αυτά, η διαπομπή είναι μια από τις διαδικασίες που επιδρούν κρίσιμα και καθοριστικά στη γενικότερη απόδοση των δικτύων. Έτσι, ένα από τις περιοχές «κλειδιά» για έρευνα στα κυψελοειδή και γενικότερα στα ασύρματα δίκτυα, είναι η διαπομπή. Η μελέτη, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής, έχει σαν κύριο αντικείμενο τη διαπομπή και πιο συγκεκριμένα τη διαπομπή με χρήση της πληροφορίας θέσης του κινητού τερματικού.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, εξετάστηκαν και μελετήθηκαν νέοι αλγόριθμοι που βασίζονται, υποβοηθούνται, χρησιμοποιούν τη θέση του κινητού τερματικού. Προκειμένου όμως να φθάσει η διδακτορική μελέτη σε αυτό το στάδιο, προηγήθηκε μια γενική, αρχική, αναφορά στα ασύρματα δίκτυα που θα απασχολούσαν τη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή στη συνέχεια. Αυτή η αναφορά παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 1. Στη συνέχεια της διδακτορικής διατριβής, Κεφάλαιο 2, παρουσιάστηκαν σχεδόν όλες οι τεχνολογίες εντοπισμού της θέσης του τερματικού. Αυτές παρόλο που δεν χρησιμοποιήθηκαν εξ' ολοκλήρου στη μελέτη των προτεινόμενων αλγορίθμων αποτελούν βασικό συστατικό για κάποιον που πρόκειται να μελετήσει την επίπτωση της θέσης των τερματικών πάνω στις διαδικασίες διαπομπής. Τεχνολογίες βασισμένες στο δίκτυο, στο τερματικό, υβριδικές και δορυφορικές παρουσιάζονται. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι κύριες διαδικασίες όπως και τα πλεονέκτημα και μειονεκτήματα της καθεμίας τεχνολογίας. Συμπερασματικά, από την ανάλυση και των προτεινόμενων αλγορίθμων στη συνέχεια, προκύπτει ότι, το GPS είναι η πλέον υποσχόμενη τεχνολογία τόσο για προσφορά υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους πελάτες του δικτύου όσο και για την ενίσχυση της δυνατότητας των πάροχων για αύξηση της απόδοσης του δικτύου.

Το Κεφάλαιο 3 στη συνέχεια απαντά σε κρίσιμα ερωτήματα όπως τα αίτια, τα κριτήρια απόφασης και τις διαδικασίες εκτέλεσης των διαπομπών σε ένα δίκτυο GSM όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση των παραδοσιακών αλγορίθμων διαπομπής που επικρατούν σήμερα. Η παραδοσιακή διαδικασία διαπομπής αναλύεται σε μικρότερα κομμάτια. Αυτή η ανάλυση βοηθά τον αναγνώστη να αποκτήσει βαθιά γνώση πάνω στην διαδικασία μετρήσεων από το τερματικό, τα κριτήρια και τέλος τη διαδικασία απόφασης του δικτύου για διαπομπή αυτού σε διαφορετική κυψέλη. Μάλιστα πραγματοποιείται και η

κατηγοριοποίηση αυτών σε ενδοκυψελικές, διακυψελικές / Ενδο-BSC, Δια-BSC / Ενδο-  
MSC και Δια-MSC διαπομπές. Ταυτόχρονα, παρουσιάστηκαν και ορισμένες προτεινόμενες  
μέθοδοι διαπομπών πέρα από τους παραδοσιακούς για το GSM, όπως οι fuzzy διαπομπές, οι  
προσαρμοστικές κεραίες και οι προτεραιότητες στη διαπομπή. Στο ίδιο κεφάλαιο, γίνεται  
μια λεπτομερής περιγραφή των διαφόρων τύπων διαπομπών που έχουν καθοριστεί στο  
UMTS. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις σκληρές και ήπιες διαπομπές μιας και αυτές κατά  
κύριο λόγο απασχόλησαν την έρευνα στα πλαίσια του προτεινόμενου αλγορίθμου TPIO για  
το UMTS. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο έκλεισε με μια σύντομη αλλά περιεκτική αναφορά  
για το Mobile IP που είναι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τις διαπομπές μεταξύ  
διαφορετικών ασύρματων δικτύων σε ετερογενή περιβάλλοντα 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι που αποτελούν το κύριο και σημαντικότερο μέρος της  
παρούσης έρευνας αναλύθηκαν λεπτομερέστερα στο Κεφάλαιο 4. ΟΙ αλγόριθμοι PPA, TTb  
και MDR αναπτύχθηκαν για ένα δίκτυο GSM και ο αλγόριθμος TPIO για το UMTS. Για  
όλους τους αλγόριθμους δόθηκε η θεωρητική περιγραφή του επιμέρους προβλήματος.  
Μάλιστα έγινε εκτενή μελέτη και έρευνα στις συσχετιζόμενες, με αυτά τα προβλήματα,  
εργασίες. Μια πληθώρα παρόμοια ή εργασιών καταγράφηκε, ώστε να δοθεί μια όσο το  
δυνατό πληρέστερη εικόνα για τα προβλήματα που συζητήθηκαν και αντιμετωπίστηκαν.  
Περαιτέρω, παρουσιάστηκαν τα δομικά στοιχεία (υποπροβλήματα) του κάθε προβλήματος  
και ο προτεινόμενος τρόπος αντιμετώπισης για το καθένα από αυτά.

Πιο συγκεκριμένα για κάθε αλγόριθμο:

Ο PPA αλγόριθμος προσπαθεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των ping-pong διαπομπών  
που έχει γνωστοποιηθεί και καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Το πρόβλημα αυτό, μέχρι  
και σήμερα, αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή δύο κρίσιμων παραμέτρων, που είναι το  
περιθώριο υστέρησης και η διάρκεια του παραθύρου λήψης μέσω των W. Η προτεινόμενη  
λύση, §4.2.3, στηρίζεται στη θέση του χρήστη, στην προβλεπόμενη κίνηση, στην εκτίμηση  
των λαμβανόμενων σημάτων για την προβλεπόμενη κίνηση και τέλος στην επιτυχή  
ανίχνευση μιας ping-pong διαπομπής. Ο αλγόριθμος PPA, εν συντομία, υπό αυτές τις  
συνθήκες, επιλέγει την κατάλληλη κυψέλη για κάλυψη του χρήστη στη διάρκεια αυτής της  
πορείας και “κλειδώνει” εκεί το χρήστη αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο τις συνεχόμενες  
διαπομπές.

Εξετάζοντας κανείς τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από την πληθώρα προσομοιώσεων  
που έλαβαν χώρα για ένα δίκτυο GSM, παρατηρεί ότι, καταρχήν η αύξηση του περιθωρίου  
υστέρησης μπορεί να βοηθά στην καταπολέμηση του φαινομένου ping-pong αλλά επιφέρει



και αρνητικές συνέπειες σε κρίσιμες παραμέτρους του δικτύου, όπως η καθυστέρηση στη διαπομπή και η πιθανότητα απόρριψης κλήσης (§5.3.1.1). Εφαρμόζοντας λοιπόν, τον αλγόριθμο PPA με συνδυασμό του περιθωρίου υστέρησης επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα για κάθε τιμή αυτού του περιθωρίου. Με τον όρο “καλύτερα αποτελέσματα” προσδιορίζεται η ακόμη καλύτερη μείωση του αριθμού διαπομπών και επομένως του ρυθμού διαπομπών και η μείωση της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων. Αν σε αυτά κανείς προσθέσει και το γεγονός ότι, ο PPA αλγόριθμος ανιχνεύει και αντιμετωπίζει αποτελεσματικά, αποφεύγει δηλαδή, περί του 50% των ring-rong διαπομπών, θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι ο PPA πετυχαίνει στον κύριο ρόλο του.

Προσθέτοντας στη συνέχεια και την παράμετρο  $W$  (§5.3.1.2), η συμπεριφορά του PPA αλγόριθμου παραμένει αναλλοίωτη. Εξετάστηκαν πιο συγκεκριμένα τρεις τιμές του  $W$  (0, 3.36, 6,72), που αντιστοιχούν στη λήψη μέσω των όρων από 0, 7, 14 συνεχόμενες μετρήσεις ενός τερματικού (κάθε 0,480sec η κάθε μέτρηση) αντίστοιχα. Εκεί (§5.3.1.2) διαπιστώθηκε ότι, όσο το περιθώριο υστέρησης και το  $W$  έχουν χαμηλές τόσο ο ρυθμός διαπομπών αυξάνεται δραματικά. Παράλληλα όμως, η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων μειώνεται με τις ίδιες χαμηλές τιμές. Εφαρμόζοντας τον PPA αλγόριθμο μειώνεται τόσο ο ρυθμός διαπομπών όσο και η πιθανότητα απόρριψης κλήσεων για οποιοδήποτε συνδυασμό των τιμών του περιθωρίου υστέρησης και  $W$ . Συμπερασματικά, η εισαγωγή του  $W$  μπορεί σε συνδυασμό με το περιθώριο να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με το περιθώριο μεμονωμένα αλλά με την προσθήκη και του PPA αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ακόμα καλύτερη βελτίωση στις δύο προαναφερθείσες παραμέτρους.

Πώς όμως ο PPA αλγόριθμος συμπεριφέρεται συγκριτικά με το φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης που επικρατεί σε ένα δίκτυο GSM (§5.3.1.3); Συμπερασματικά προκύπτει ότι, ο PPA αλγόριθμος σταθερά μειώνει το ρυθμό διαπομπών τόσο για ήπιο όσο και για μέσο και υψηλό φορτίο. Αυτό όμως που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η αποτελεσματικότητα του στην μείωση της πιθανότητας απόρριψης κλήσεων που αυξάνεται εντυπωσιακά όσο το φορτίο κίνησης μεγαλώνει. Τα κέρδη που επιφέρει ο PPA, για μέσο και υψηλό φορτίο, είναι πολύ σημαντικά για έναν πάροχο μιας και η μείωση της πιθανότητας αυτής μπορεί να φθάσει και το 35%. Στο συγκεκριμένο σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι μια σημαντική παραδοχή που γίνεται είναι ότι, το δίκτυο σε καταστάσεις μέσου και υψηλού φορτίου θα είναι σε θέση να δεχτεί πολύ περισσότερα *location updates* από τα τερματικά. Αυτό θα πρέπει να απασχολήσει και μια πιθανή μελλοντική έρευνα στο πώς αυτοί οι αλγόριθμοι θα

μπορούσαν να ενσωματωθούν σε ένα πραγματικό δίκτυο. Αναλυτικότερα, αναφορά σε αυτό γίνεται παρακάτω (§6.2)

Τέλος, για τον αλγόριθμο PPA, εξετάστηκε και η επίδραση του σφάλματος εντοπισμού της θέσης του κινητού τερματικού. Όλα τα κέρδη, που προέκυψαν από τις παραπάνω μελέτες, ουσιαστικά ήταν απόρροια της εξάλειψης κατά το δυνατό των διαπομπών ring-rong. Έτσι το κρίσιμο εκείνο μέγεθος που θα έδινε μια σαφή εντύπωση για την επιρροή στην αποτελεσματικότητα του PPA από το σφάλμα θέσης ήταν ο αριθμός των ανιχνευθέντων ring-rong διαπομπών. Από την ανάλυση στην παράγραφο 5.3.1.4 προέκυψε ότι, με τη χρήση τεχνολογιών, με χαμηλό σφάλμα στον εντοπισμό της θέσης, όπως το GPS ή το DCM, ο αλγόριθμος PPA ανιχνεύει ένα σημαντικά υψηλό αριθμό ring-rong διαπομπών. Όσο αυτό το σφάλμα μεγαλώνει (AOA, TOA, Cell-ID) τόσο η ανίχνευση δυσκολεύει. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα όπου, χρησιμοποιώντας GPS (*10m error*) για συγκεκριμένες συνθήκες προσομοιώσεις, το αποτέλεσμα ήταν η ανίχνευση περί των 700 ring-rong διαπομπών, ενώ για την περίπτωση του Cell-ID (*400m error*), πάλι υπό τις ίδιες συνθήκες προσομοίωσης, το αποτέλεσμα ήταν η ανίχνευση περί των 30 τέτοιων διαπομπών. Έτσι, εύκολα συνειδητοποιεί κανείς τη σημαντικότητα της ακρίβειας εντοπισμού θέσης του κινητού τερματικού για τον αλγόριθμο PPA.

Ο αλγόριθμος TTB, συνοψίζοντας, επιχειρεί να προσφέρει μια πιο δυναμική και προσαρμοστική λύση στο θέμα των προτεραιοτήτων στις διαπομπές. Η πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη, άρα και η θέση αυτού, παίζουν έναν καθοριστικό ρόλο στην έγκαιρη και έγκυρη δέσμευση πόρων στην κυψέλη, ή στο δίκτυο, στόχο. Ο TTB αλγόριθμος στηρίζεται και αυτός, όπως και ο PPA, στην πρόβλεψη της κίνησης με απώτερο σκοπό όχι πλέον την ανίχνευση ring-rong διαπομπής αλλά την ανίχνευση (πρόβλεψη) μιας κίνησης προς τα σύνορα δύο κυψελών (ή δικτύων). Η γνώση της τοπολογίας των δρόμων και σε αυτή την περίπτωση προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα για μια πιο ακριβή πρόβλεψη μιας τέτοιας κίνησης. Χρησιμοποιώντας ουσιαστικά σα μοναδική παράμετρο ρύθμισης τον χρόνο, ο οποίος χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη και επομένως και για τη δέσμευση των απαραίτητων πόρων, ο TTB αλγόριθμος συγκρίνεται τόσο με τη μέθοδο των καναλιών φρουράς (*Guard channels*) όσο και με την μέθοδο PCR που στηρίζεται στο κατώφλι απόστασης. Οι δύο αυτές μέθοδοι, οι οποίες παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.3, αποτελούν δύο σημαντικές αναγνωρισμένες προτάσεις στη διεθνή κοινότητα. Από τα αποτελέσματα, που παρουσιάστηκαν (§5.3.1.5), προκύπτει ότι, ο

αλγόριθμος TTB, με την κατάλληλη επιλογή του χρόνου πρόβλεψης  $T_{prediction}$ , μπορεί να αποδώσει καλύτερα τόσο από την μέθοδο των στατικών καναλιών φρουράς όσο και από τον αλγόριθμο PCR. Βέβαια, μπορεί και οι τρεις αυτοί αλγόριθμοι, συμπεριλαμβανομένου του TTB, να προκαλούν αύξηση της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων σε μια κυψέλη, αφού με τον έναν ή με τον άλλο τρόπο δεσμεύουν κανάλια για διαπομπή, όμως ο TTB αλγόριθμος μειώνει αισθητά την πιθανότητα αυτή σε σύγκριση με τους άλλους δύο αλγορίθμους. Ο λόγος που επιτυγχάνεται αυτό είναι ότι η μέθοδος δέσμευσης πόρων είναι περισσότερο δυναμικά και προσαρμοστική στο αλγόριθμο TTB παρά στους άλλους δύο.

Μολονότι, λοιπόν, ο αλγόριθμος TTB προκαλεί αύξηση της πιθανότητας αποκλεισμού νέων κλήσεων λόγω αυτής της δέσμευσης, τα αποτελέσματα (§5.3.1.5) δείχνουν και αρκετά σημαντική μείωση στην πιθανότητα διακοπής της κλήσης λόγω αποτυχημένης διαπομπής. Η μέθοδος στατικών καναλιών αποδίδει καλύτερα σε συνθήκες ήπιου και σχεδόν μέσου φορτίο τηλεπικοινωνιακής κίνησης τόσο από το PCR όσο και το TTB. Όμως, ο αλγόριθμος TTB αποδίδει καλύτερα και από τους δύο άλλους όταν το φορτίο αρχίζει να είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία ενός δικτύου GSM. Τα δεσμευμένα στατικά κανάλια πλέον δεν επαρκούν για την εξυπηρέτηση των διαπομπών μιας και ο αριθμός ζήτησης για αυτές αυξάνεται όσο το φορτίο αυξάνεται. Ο TTB όμως, εξακολουθεί και δουλεύει σχεδόν σταθερά αξιόπιστα ακόμα και με υψηλό φορτίο κίνησης, με αποτέλεσμα να φέρει και τα καλύτερα αποτελέσματα.

Για τον αλγόριθμο MDR, εξετάστηκαν, καταρχήν οι επιπτώσεις που επιφέρουν τα βάρη της συνάρτησης “κόστους”, που αυτός χρησιμοποιεί, σε διάφορα μέτρα απόδοσης του δικτύου, όπως οι ρυθμοί αποκλεισμού και απόρριψης κλήσεων. Αυτό που προέκυψε είναι πως, με δεδομένο ένα μέσο τηλεπικοινωνιακό φορτίο (8mErI ανά χρήστη), ο αλγόριθμος MDR αποδίδει καλύτερα με ένα σύνολο βαρών όπου το βάρος που αντιστοιχεί στο λαμβανόμενο σήμα παραμένει ένα ισχυρό κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης κυψέλης ή καλύτερα παραμένει το ισχυρότερο ( $w_1 \approx 0,60$ ,  $w_2 \approx 0,20$ ,  $w_3 \approx 0,20$ ). Μειώνοντας όμως ακόμα περισσότερο το βάρος  $w_1$  οι παραπάνω ρυθμοί αυξάνονται διαρκώς. Μάλιστα, όταν στη συνάρτηση αυτή δεν ληφθεί καθόλου υπόψη το λαμβανόμενο σήμα για την τιμή του *offset* που δίνεται στην τιμή του C2 του κάθε χρήστη τότε τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ακόμη χειρότερα και από την περίπτωση που ο MDR αλγόριθμος δεν εφαρμόζεται. Διαλέγοντας στη συνέχεια, το παραπάνω σύνολο, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα του

MDR αλγόριθμου σε διάφορες καταστάσεις τηλεπικοινωνιακού φορτίου. Εκεί παρατηρήθηκε το εξής: Ο MDR φαίνεται να λειτουργεί αποδοτικότερα σε καταστάσεις φορτίου μέσου προς υψηλού. Συνήθως σε τέτοιες καταστάσεις μπορούν να δημιουργηθούν περιορισμένες περιοχές hotspots και ο MDR να επέμβει με αποτελεσματικό τρόπο μέσα από την ανακατανομή των χρηστών στις διάφορες κυψέλες. Από την άλλη πλευρά, ο MDR καταστάσεις χαμηλού φορτίου δεν επιφέρει και τόσο θεαματικά αποτελέσματα, αφού τόσο ο ρυθμός BR όσο και το DCR είναι ήδη σε χαμηλά επίπεδα και οι περιοχές hotspots είναι σπάνιες. Τέλος, σε περιπτώσεις πολύ υψηλού τηλεπικοινωνιακού φορτίου ο MDR δεν έχει πολλά περιθώρια δράσης μιας και οι περιοχές hotspot εξαπλώνονται σχεδόν σε όλη την περιοχή και έτσι η αποσυμφόρηση αυτών είναι σχεδόν αδύνατη.

Τελειώνοντας τα μεμονωμένα συμπεράσματα για κάθε προτεινόμενο αλγόριθμο, ακολουθούν κάποια συμπεράσματα από τις προσομοιώσεις σε περιβάλλον UMTS και με την εφαρμογή του TPIO αλγόριθμου. Μιας και η πολυπλοκότητα αυτού του συστήματος, σε σχέση με το GSM, είναι αυξημένη, επιχειρήθηκε μια καταρχήν ανάγνωση αυτών των αποτελεσμάτων με κάποιες βασικές παραδοχές. Η πιο βασική παραδοχή για αυτή την περίπτωση είναι η υπόθεση εργασίας ότι κάθε τερματικό είναι εξοπλισμένο με πομποδέκτη GPS. Έτσι το σφάλμα που υπεισέρχεται στη θέση του χρήστη είναι πολύ μικρό (~10m).

Παίρνοντας λοιπόν σα δεδομένο αυτό, εξετάστηκαν και εκτιμήθηκαν τα αποτελέσματα τριών περιπτώσεων σετ βαρών που χρησιμοποιεί η συνάρτηση “κόστους”. Η επιλογή αυτών των συνόλων βαρών έγινε με το σκεπτικό που ακολουθήθηκε και στον αλγόριθμο MDR. Μιας και οι δύο αλγόριθμοι, παρόμοια, επεμβαίνουν στην επιλογή και διάταξη των κυψελών στο ενεργό σύνολο του χρήστη, στην τιμή του  $C2$  ο MDR και στο κριτήριο  $R$  ο TPIO, ακολουθήθηκε και παρόμοια λογική στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Βέβαια τα μέτρα απόδοσης που κατεγράφησαν, στην περίπτωση του TPIO είναι η λαμβανόμενη ισχύς/παρεμβολή ανά NodeB, ο ρυθμός αποκλεισμένων συνόδων για τη ζεύξη ανόδου και η εκπεμπόμενη ισχύς ανά NodeB για τη ζεύξη καθόδου. Η λογική των τριών συνόλων βασίζεται αρχικά (Περίπτωση1) στο πάντοτε ισχυρό κριτήριο της λαμβανόμενης ισχύος και ακολούθως στην εξασθένιση της επιρροής αυτού στον αλγόριθμο TPIO (Περίπτωση2 και 3).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την προσθήκη των βαρών  $w2$  και  $w3$  για την επιλογή του  $Q_{offset}_{s,n}$  με βάση το “κόστος”  $S(UE_i, j)$  προέκυψε μείωση της συνολικής παρεμβολής που δέχεται ένα σύστημα (τα Node’s στη ζεύξη ανόδου). Μάλιστα όταν αυτά παίρνουν μια

σημαντική αξία,  $w_2 = 0.2$ ,  $w_3 = 0.2$ , αλλά παράλληλα όχι μεγαλύτερη από την αξία του βάρους του λαμβανόμενου σήματος,  $w_1 = 0.6$  τα αποτελέσματα είναι ακόμη πιο ενθαρρυντικά. Η μείωση στην παρεμβολή είναι μεγαλύτερη και τα ποσοστά αποκλεισμένων συνόδων και για τις τρεις υπηρεσίες στη ζεύξη ανόδου μειώνονται μέσα από την αποτελεσματικότερη «τοποθέτηση» (ποιο NodeB θα εξυπηρετήσει το χρήστη) των τερματικών μέσα στην περιοχή κάλυψης. Αντίθετα όταν το βάρος του λαμβανόμενου σήματος μειωθεί σημαντικά  $w_1 = 0.4$  τότε τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν και κατεγράφησαν κάθε άλλο παρά ενθαρρυντικά είναι. Επομένως, ο TPIO πρέπει πάντα να διαλέγει βάρη τέτοια που να μπορεί η απόσταση και η υπηρεσία να παίζουν κάποιο ρόλο για την επανεπιλογή της κυψέλης προς κάλυψη αλλά και πάλι όχι πιο σημαντικό από το ρόλο που εξακολουθεί και παίζει η τιμή της λαμβανόμενης ισχύος στο συγκεκριμένο σημείο από τις γειτονικές κυψέλες. Το μειονέκτημα του αλγορίθμου TPIO είναι ότι, προτού ο πάροχος ρυθμίσει τα βάρη για τη συνάρτηση  $S(UE_i, j)$  θα πρέπει να προηγηθεί λεπτομερής και εκτενής προσομοίωσης των διαφόρων χαρακτηριστικών της περιοχής ενδιαφέροντος. Μια από τις ενδεχόμενες, μάλιστα, επεκτάσεις αυτού, όπως θα περιγραφεί και παρακάτω είναι και η προσομοίωση της συμπεριφοράς του αλγορίθμου αυτού με την εισαγωγή pico κυψελών και επιπλέον σε διαφορετικά περιβάλλοντα (αγροτικά, ημιαστικά) μιας και η συγκεκριμένη μελέτη στα πλαίσια της παρούσης διατριβής έγινε μόνο για αστικό περιβάλλον με micro και macro κυψέλες.

Από τα παραπάνω προκύπτουν άκρως ενδιαφέροντα και υποσχόμενα συγκεκριμένα συμπεράσματα. Η θέση του χρήστη πλέον εκτός από τις υπηρεσίες θέσης προσφέρει στον πάροχο μια πρώτης τάξεως ευκαιρία για εκμετάλλευση αυτής με απώτερο στόχο την βελτίωση κρίσιμων παραμέτρων απόδοσης των δικτύων. Τα αποτελέσματα για τις περισσότερες περιπτώσεις είναι αρκετά ενθαρρυντικά. Αυτό προσδίδει στον ερευνητή ένα μεγαλύτερο κίνητρο για αξιοποίηση της παρούσης μελέτης, με την ενσωμάτωση νέων ιδεών για τις παραπάνω διαδικασίες και πολύ περισσότερο για την περαιτέρω μελέτη πως αυτές θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε πραγματικά δίκτυα. Προκειμένου έτσι, να δοθεί και στον αναγνώστη, μια συνοπτική εικόνα για το πώς αυτοί οι αλγόριθμοι θα μπορούσαν να επεκταθούν με νέες ιδέες, κάτω από άλλα πρίσματα, συνδυασμένοι με νέες τεχνολογίες αλλά και πως θα μπορούσε να γίνει η ενσωμάτωση αυτών σε πραγματικά δίκτυα, ακολουθεί το επόμενο κεφάλαιο.

## **6.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

### **6.2.1 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ LAH ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

Ο σκοπός αυτής της έρευνας εξ αρχής ήταν η καταγραφή κάποιων συμπερασμάτων σχετικά με το πως η πληροφορία θέσης των τερματικών θα μπορούσε να βοηθήσει τους πάροχους δικτύων προκειμένου να κάνουν πιο αποδοτικά τα δίκτυα τους. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώθηκε στις διαδικασίες διαπομπής που παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένα προβλήματα. Έτσι οι LAH αλγόριθμοι λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του χρήστη προτείνουν κάποια εναλλακτική λύση για τα προβλήματα αυτά.

Η ερευνά στους LAH αλγορίθμους θα μπορούσε να επεκταθεί μελλοντικά με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς, ίσως και ο σημαντικότερος, είναι η ενσωμάτωση αυτών σε πραγματικά δίκτυα. Αυτό είναι ένα έργο δύσκολο, επίπονο και ίσως και χρονοβόρο που ήταν έξω από τα πλαίσια της έρευνας στη διάρκεια της διδακτορικής διατριβής. Η επόμενη παράγραφος παρουσιάζει κάποιες αρχικές ιδέες πάνω σε αυτό το κομμάτι μελλοντικής εργασίας.

Πέρα όμως από την ενσωμάτωση των LAH αλγορίθμων υπάρχουν και άλλα ζητήματα τα οποία θα μπορούσαν να εξεταστούν μελλοντικά. Γενικά, θα μπορούσαν να αναφερθούν:

- Ένα πρώτο ζήτημα θα μπορούσε να ήταν η μελέτη και έρευνα πάνω στο συνδυασμό των προτεινόμενων αλγορίθμων. Μέχρι στιγμής οι αλγόριθμοι αυτοί υλοποιήθηκαν και εφαρμόστηκαν αυτόνομα. Έτσι θα ήταν χρήσιμο μελλοντικά να μελετηθεί και η συνύπαρξη και ταυτόχρονη εφαρμογή αυτών.
- Επέκταση των LAH αλγορίθμων σε ετερογενή περιβάλλοντα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Μια πρώτη αρχή έγινε και στα πλαίσια της παρούσης έρευνας όταν επιχειρήθηκε, επιτυχώς, η ανάπτυξη του TTB αλγορίθμου ένα ασύρματο ετερογενές με WLAN (802.11.b) και GPRS. Τόσο ο αλγόριθμος PPA όσο και ο MDR θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε τέτοια περιβάλλοντα. Ο PPA θα χρησιμοποιούταν προκειμένου να αποφευχθούν οι συνεχείς εναλλασσόμενες διαπομπές μεταξύ διαφορετικών δικτύων και ο MDR για την επιλογή, όχι μόνο του κατάλληλου δικτύου κάλυψης του τερματικού αλλά και για την επιλογή του κατάλληλου σταθμού κάλυψης αυτού (κυψέλη, access point, κλπ). Βέβαια, οι παράμετροι που θα εμπλακούν στην ανάπτυξη αυτών των

αλγορίθμων θα διαφέρουν σε σχέση με τις παρούσες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται.

- Η αναφορά στις διαπομπές επιτάσσουν την μελέτη για την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων αυτών όταν κυψέλες μικρότερου μεγέθους ενσωματωθούν σε ένα σύστημα. Αυτή τη στιγμή, η μελέτη επικεντρώθηκε σε micro-macro κυψέλες ακτίνας 200m και άνω. Εύκολα φαντάζεται κανείς ότι η ενσωμάτωση κυψελών με μικρότερη ακτίνα κάλυψης θα αυξήσει την ανάγκη μελέτης της συμπεριφοράς των προτεινόμενων αλγορίθμων μιας και η διαπομπή θα παίζει ακόμη πιο κυρίαρχο και καθοριστικό ρόλο για την ομαλή λειτουργία των δικτύων.

Συγκεκριμενοποιώντας τις μελλοντικές επεκτάσεις για καθένα από τους αλγορίθμους θα μπορούσε να αναφερθούν τα εξής:

- Για τους αλγορίθμους PPA και TTB, οι οποίοι βασίζονται στην πρόβλεψη της κίνησης του χρήστη, θα μπορούσε να ενσωματωθεί και η βοήθεια που προσφέρει η γνώση ιστορικών στοιχείων για την κίνηση των τερματικών. Αυτή τη στιγμή, η πρόβλεψη γίνεται βάσει ενός μοντέλου πρόβλεψης και της τοπολογίας των δρόμων. Αν σε αυτά κανείς προσέθετε και τη γνώση της ιστορικής κίνησης των τερματικών ίσως θα μπορούσε να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα στη ακρίβεια της προβλεπόμενης κίνησης.
- Στο ίδιο πνεύμα, για την πρόβλεψη της κίνησης, μια μελλοντική εργασία θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην ενσωμάτωση της κυκλοφοριακής κίνησης και κυκλοφοριακών παραγόντων (φανάρια, κλπ) στους αλγορίθμους PPA και TTB. Ειδικά για τον αλγόριθμο TTB αυτό αποτελεί κρίσιμο παράγοντα μιας και η εκ των προτέρων δέσμευση του πόρου, στην κυψέλη στόχο, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικότερα με την ακριβέστερη γνώση της πορείας του χρήστη στη διάρκεια του χρόνου δέσμευσης (χρόνος στάσης στο φανάρι, κυκλοφοριακή κίνηση, κλπ).
- Επίσης, στα πλαίσια της παρούσης διδακτορικής διατριβής, η έρευνα για τον εντοπισμό της θέσης του τερματικού και την πρόβλεψη της κίνησης, ειδικά για τους αλγορίθμους PPA και TTB στηρίχθηκε πάνω σε δεδομένα GIS. Μια ενδιαφέρουσα επέκταση και περαιτέρω έρευνα θα ήταν η εφαρμογή και ενσωμάτωση συστημάτων πλοήγησης (*navigation*). Από τη στιγμή που τέτοια συστήματα έχουν ήδη

εγκατασταθεί στα νέα μοντέλα αυτοκινήτων, η κίνηση, πλέον, του κινητού τερματικού είναι άμεσα προσβάσιμη, σε κάθε στιγμή και η πρόβλεψη αρκετά πιο



*Σχήμα 6-1: Συστήματα πλοήγησης (Navigation Systems)*

ρεαλιστική αφού ο ίδιος χρήστης έχει εισάγει τον προορισμό του. Με τη βοήθεια της θέσης του τερματικού (αυτοκινήτου στη προκειμένη περίπτωση) και το σύστημα πλοήγησης το δίκτυο θα είναι στη θέση άμεσης επέμβασης τόσο για την αποφυγή των ring-rong διαπομπών, όσο και για την καλύτερη δέσμευση των κατάλληλων πόρων προς διαπομπή.

- Ανάλυση και μελέτη του αλγορίθμου TTB για δίκτυα πέραν του GSM θα μπορούσε να σταθεί σαν μελλοντική εργασία. Η δυναμική και προσαρμοστική δέσμευση καναλιών-πόρων προς διαπομπή είναι ένα σημαντικό ζήτημα εξετάζεται ήδη στη διεθνή κοινότητα και για δίκτυα όπως το UMTS ή οποιασδήποτε μορφής WLAN. Επομένως, ο TTB έχει περιθώρια επέκτασης σε τέτοια δίκτυα.
- Για τον αλγόριθμο TPIO, ο οποίος αναφέρεται σε ένα δίκτυο UMTS θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν μια περαιτέρω εξέλιξη η υλοποίηση της υποβάθμισης της ποιότητας



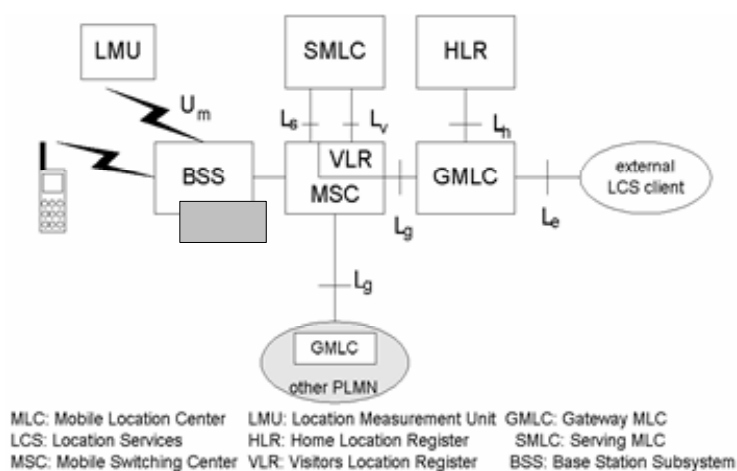
υπηρεσιών (service degradation) που θα είναι μια πραγματικότητα σε ένα δίκτυο UMTS. Στην παρούσα φάση ο ΤΡΙΟ εφαρμόζεται με την παραδοχή ότι η υπηρεσία που ζητά ένας χρήστης δεν μπορεί να υποβαθμιστεί.

- Τέλος ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα θα είχε η μελέτη της συμπεριφοράς του ΤΡΙΟ αλγορίθμου σε περιβάλλον αγροτικό ή ημιαστικό όπως και η ενσωμάτωση στην έρευνα των pico κυψελών μιας και αυτές θα είναι μια πραγματικότητα σε ένα δίκτυο κάλυψης UMTS.

### 6.2.2 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ LAH ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ένας από τους κύριους στόχους μιας μελλοντικής εργασίας πάνω στους προτεινόμενους αλγόριθμους είναι η έρευνα στο κατά πόσο αυτοί μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα περιβάλλον πραγματικών δικτύων. Μια πρώτη μελέτη που έχει γίνει προς αυτή την κατεύθυνση έχει οδηγήσει στην παραδοχή ότι οι αλγόριθμοι LAH μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα επιπλέον συστατικό των δικτύων το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σαν ένα μικρό κομμάτι λογισμικού στο λογισμικό του BSC ή αργότερα του RNC σε ένα δίκτυο 3<sup>ης</sup> γενιάς. Για την περίπτωση του GSM, μια αρχική πρόταση που παρουσιάζει μια λογική αρχιτεκτονική ενός δικτύου που υποστηρίζει το LAH παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-2. Το συγκεκριμένο σχήμα βασίζεται στην πρόταση της ETSI TS 101723.

Το συστατικό LAH, σαν μέρος του BSS, έχει διεπαφές με άλλα δύο συστατικά και πιο συγκεκριμένα με το BSC και το LMUs (Location Measurement Units). Το συστατικό LAH θα μπορεί να πληροφορηθεί τη θέση του χρήστη από το LMU.



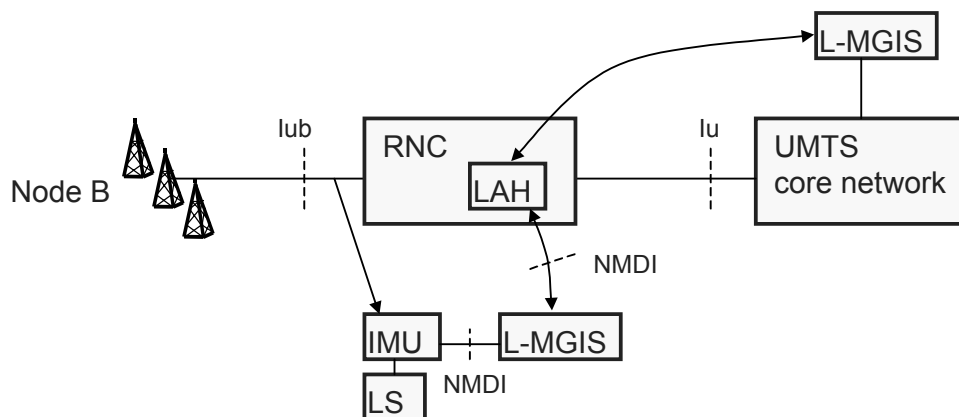
Σχήμα 6-2: Αρχιτεκτονική υποστήριξη των LAH αλγορίθμων στο GSM

Οι απαιτήσεις για μια ενδεχόμενη επικοινωνία του LAH-BSC μπορούν να συνοψιστούν στις: 1) Οι αποφάσεις και οι διαδικασίες που απαιτούνται για να ληφθούν αυτές να εκτελούνται από το BSCs, αφού είναι πολύ πιο ισχυρό υπολογιστικά από ένα τερματικό 2) Η λήψη αυτών των αποφάσεων να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και 3) Να ορισθεί επακριβώς η διεπαφή μεταξύ του LAH συστατικού και του BSC.

Όσο αφορά το πρώτο, κάθε κατασκευαστής παρέχει μια λίστα από τις εντολές που MMLs (Man Machine Language) και οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν από ένα BSC. Έτσι οι αλγόριθμοι LAH θα πρέπει να μεταφραστούν σε MMLs έτσι ώστε να μπορούν να εκτελεστούν οι αποφάσεις που περιγράφηκαν στα παραπάνω τμήματα. Οι εντολές MML πρακτικά δεν προκαλούν καμιά καθυστέρηση στο σύστημα αφού μπορούν να εκτελεστούν αμέσως. Η επικοινωνία ίσως θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με telnet, RS-232 και επίσης μέσω του OMC αν απαιτείται μια πιο κεντρική τοποθέτηση του LAH.

Οι απαιτήσεις, τώρα, όσο αφορά την επικοινωνία LAH-LMU, θα πρέπει να εντοπισθούν στην ακρίβεια των μετρήσεων της θέσης σε πρώτη φάση και στο αριθμό των location updates που μπορεί να χειριστεί ένα σύστημα. Αυτό είναι και το μεγάλο στοίχημα των περαιτέρω μελλοντικών επεκτάσεων της παρούσης έρευνας.

Για το UMTS μια αρχικά προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι κάτω από συνεχή μελέτη στη παρούσα φάση. Το επόμενο σχήμα δείχνει αυτή την πρόταση της ενσωμάτωσης των LAH αλγορίθμων σε ένα δίκτυο UMTS.



Σχήμα 6-3: Αρχιτεκτονική υποστήριξη των LAH αλγορίθμων στο UMTS

Τέλος, θα πρέπει να ορισθούν ακριβώς και οι διεπαφές μεταξύ των διαφόρων συστατικών και του LAH λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς που τα δίκτυα βάζουν.