

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων

Επίδοση διαδικασίας μεταγωγής καναλιού σε
κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών

Γεώργιος Μουζής

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σεπτέμβριος 2009

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<u>ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ</u>	<u>5</u>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	5
1.3 ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΚΟΠΗ	6
1.4 ΚΙΝΗΤΗ IP	8
1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΠΙΠΕΔΟ	10
1.5.1 Οριζόντια Μεταγωγή	10
1.5.2 Κάθετη Μεταγωγή	11
1.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	13
1.6.1 Μέτρα της Επίδοσης	13
1.6.2 Έναρξη μεταγωγής	14
1.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ</u>	<u>23</u>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	26
2.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	28
2.3.1 Μοντέλα Κυκλοφορίας και Κινητικότητας στα Ασύρματα Δίκτυα	28
2.3.2 Ανάλυση της Επίδοσης των Ασύρματων Δικτύων	29
2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<u>ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ</u>	<u>32</u>
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
3.2 ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΥΧΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	32
3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ	33
3.4 ΕΠΙΔΟΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<u>ΕΠΙΔΟΣΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ</u> 37	
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ 37
4.1.1	<i>Μοντέλο Συστήματος</i> 38
4.1.2	<i>Παραγωγή των Μέτρων της Επίδοσης</i> 39
4.1.3	<i>Παραγωγή βάσει του Γεωμετρικού Τυχαίου Αθροίσματος</i> 42
4.2	ΓΑΜΜΑ-ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΙ CDT ΚΑΙ CHT 44
4.2.1	<i>Αποτελέσματα βάσει του Γεωμετρικού Τυχαίου Αθροίσματος</i> 44
4.2.2	<i>Συζήτηση των Αποτελεσμάτων που υπολογίστηκαν</i> 45
4.3	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΜΕ WEIBULL ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ CHT . 51
4.3.1	<i>Κατανομή Weibull για CHT</i> 52
4.3.2	<i>Πιθανότητα Ολοκλήρωσης της Κλήσης για Weibull κατανεμημένο CHT</i> 55
4.4	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΕ GENERALIZED GAMMA ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ CHT . 58

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία ανάλυση της διαδικασίας της διαδικασίας μεταγωγής (handover) στα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, ώστε να συνεχίζεται η παροχή υπηρεσίας στον κινούμενο χρήστη σε όλη την περιοχή που εκτείνεται το κυψελωτό σύστημα. Επίσης η μεταγωγή ταξινομείται σε κατηγορίες και παρουσιάζονται κάποιες τεχνικές που έχουν προταθεί ώστε η μεταγωγή να διεξάγεται δίχως να γίνεται αντιληπτή από τον κινούμενο χρήστη (seamless handover).

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά σε ποιοτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη διαδικασία μεταγωγής στα ασύρματα δίκτυα, όπως ο χρόνος μίας κλήσης και ο χρόνος περιαγωγής σε μία κυψέλη. Για την ανάλυση της εργασίας αυτής καθορίζονται οι παράμετροι του συστήματος που θα μελετηθούν, όπως η πιθανότητα επιτυχημένης ολοκλήρωσης κλήσης, η πιθανότητα απότομης διακοπής της κλήσης, και ο μέσος αριθμός μεταγωγών στη διάρκεια μίας κλήσης.

Το Κεφάλαιο 3 παρουσιάζει τις μαθηματικές σχέσεις που σχετίζονται με το άθροισμα τυχαίων μεταβλητών, τη διαδικασία ανανέωσης, και τα τυχαία αθροίσματα. Στόχος είναι να δοθεί το μαθηματικό υπόβαθρο το οποίο θα εφαρμοστεί στην ανάλυση της επίδοσης της διαδικασίας μεταγωγής.

Στο Κεφάλαιο 4 εφαρμόζεται η παραπάνω μαθηματική θεωρία στον υπολογισμό των παραπάνω μέτρων της επίδοσης των ασύρματων δικτύων για διάφορες στατιστικές κατανομές της χρονικής διάρκειας μίας κλήσης, όπως Γάμμα, Weibull, και Γενικευμένη Γάμμα. Τα αναλυτικά αποτελέσματα υπολογίζονται και συγκρίνονται με αποτελέσματα που προέκυψαν με προσομοίωση της διαδικασίας μεταγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος handover μεταφράζεται ως «μεταγωγή». Η ελεύθερη μετάφραση του όρου όπως ακριβώς χρησιμοποιείται στην καθομιλουμένη στα αγγλικά είναι «πάσα». Με τον ίδιο λοιπόν τρόπο που ένας ποδοσφαιριστής δίνει πάσα σε ένα συμπαίκτη του για να συνεχιστεί το παιχνίδι, ένας σταθμός βάσης δίνει «πάσα» σε έναν άλλο σταθμό ώστε να συνεχιστεί η παροχή υπηρεσιών στον κινούμενο χρήστη όταν πλέον ο πρώτος σταθμός αδυνατεί να τον εξυπηρετήσει. Στην ουσία, ο κινητός κόμβος αλλάζει το σημείο επαφής του από τον ένα σταθμό στον άλλον καθώς ο χρήστης κινείται μέσα στην περιοχή κάλυψης του ασύρματου κυβελοειδούς συστήματος, με την αλλαγή αυτή να ονομάζεται μεταγωγή (handover). Όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια, υπάρχουν δύο είδη μεταγωγών: η οριζόντια και η κάθετη μεταγωγή.

1.2 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

Γενικά, η μεταγωγή μπορεί να διεξαχθεί μεταξύ δύο δικτύων πρόσβασης, είτε αυτά είναι ομοιογενή είτε είναι ετερογενή. Ένα δίκτυο θεωρείται ομοιογενές όταν αποτελείται από μία μόνο τεχνολογία δικτύου [1]. Κατά συνέπεια δύο δίκτυα που χρησιμοποιούν ίδια τεχνολογία με ίδιους ρυθμούς μετάδοσης και χαρακτηριστικά ονομάζονται ομοιογενή. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν δύο τοπικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν Microsoft Windows πάνω από TCP/IP πρωτόκολλο. Αντίθετα, ένα δίκτυο ορίζεται ως ετερογενές όταν αποτελείται από στοιχεία διαφορετικών ειδών και διαφορετικής φύσης μεταξύ τους [2]. Συνεπώς, όταν δύο δίκτυα αποτελούνται από πολλαπλές (ή απλά διαφορετικές) τεχνολογίες δικτύων ονομάζονται ετερογενή. Σε σχέση με το προηγούμενο παράδειγμα, αν το ένα από τα δύο Windows δίκτυα ήταν UNIX ή αν στο ένα δίκτυο υπήρχαν PC και στο άλλο Macintosh, τα δίκτυα πλέον θα ήταν ετερογενή. Όπως είναι αναμενόμενο, τα

ετερογενή περιβάλλοντα πλέον επεκτείνονται και η πλειοψηφία των κινητών συσκευών υποστηρίζει interfaces πολλαπλών δικτύων. Τα ετερογενή ασύρματα δίκτυα πρόσβασης χωρίζονται γενικά σε:

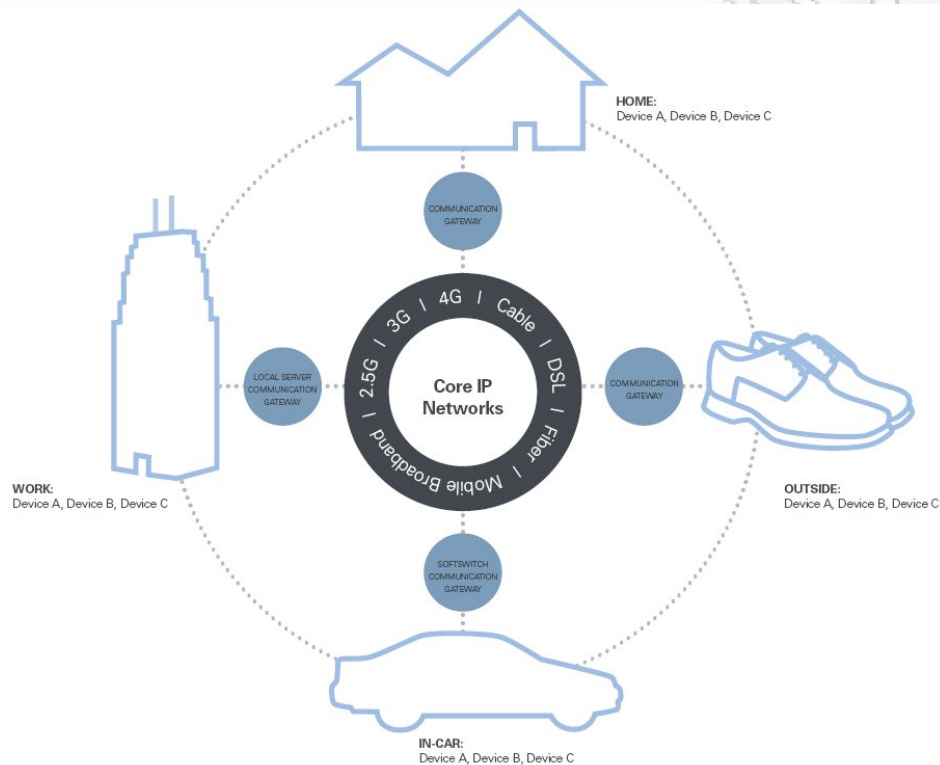
- Wireless personal area networks (WPAN): Ασύρματα δίκτυα που καλύπτουν μία γεωγραφική περιοχή πολύ περιορισμένης έκτασης, π.χ. Bluetooth.
- Wireless local area networks (WLAN): Χρησιμοποιούνται ευρέως σε κτήρια όπως γραφεία ή σχολεία, αν και πλέον έχουν υιοθετηθεί και για οικιακή χρήση σε συνδυασμό με μία ευρυζωνική σύνδεση όπως η ADSL.
- Wireless metropolitan area networks (WMAN): Ασύρματα δίκτυα που καλύπτουν έκταση όση μίας πόλης, π.χ. WiMAX.
- Wireless wide area networks (WWAN): Ασύρματα δίκτυα που εκτείνονται πάνω από μία πολύ μεγάλη γεωγραφική περιοχή, π.χ. UMTS.

1.3 ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΚΟΠΗ

Σε αυτό το σημείο μπορεί να οριστεί η «κινητικότητα χωρίς διακοπή» (seamless mobility) ως το γεγονός όπου όλα τα sessions ενός κινητού κόμβου διατηρούν τη σύνδεσή τους ακόμα και όταν ο κινητός κόμβος αλλάζει το σημείο επαφής του [3]. Επομένως, η κινητικότητα χωρίς διακοπή μπορεί γενικά να περιγραφεί ως ένα σύνολο λύσεων που παρέχουν εύκολη και αδιάκοπη πρόσβαση στην πληροφορία (και κατ' επέκταση στην επικοινωνία, στην ψυχαγωγία κλπ.) όπου, όπως και όποτε επιθυμεί ο κινούμενος χρήστης, ανεξαρτήτως της συσκευής, της υπηρεσίας, του δικτύου και της τοποθεσίας.

Οπότε, στις περιπτώσεις που υποστηρίζεται η κινητικότητα χωρίς διακοπή, ένας κινητός κόμβος μπορεί να περιφέρεται μέσα σε μια περιοχή που καλύπτεται από ετερογενή δίκτυα και να κρατάει τις συνδέσεις του ενεργές. Υπάρχει βέβαια και ένα πολύ σημαντικό εμπόδιο στο να επιτευχθεί η «κινητικότητα χωρίς διακοπή» και αυτό έγκειται κατά την απόδοση νέας IP διεύθυνσης στον κινητό κόμβο όταν πραγματοποιείται handover. Γιατί στην περίπτωση π.χ. που ο κινητός κόμβος τρέχει

εφαρμογές που χρησιμοποιούν TCP/UDP συνδέσεις, οι άλλες πλευρές των συνδέσεων αυτών δε θα γνωρίζουν τη νέα IP που αποδόθηκε στον κινητό κόμβο μετά το handover, με αποτέλεσμα τη διακοπή των συνδέσεων. Μια θεμελιώδη αρχιτεκτονική για κινητικότητα χωρίς διακοπή περιλαμβάνει ευφυΐα καταναεμημένη μεταξύ των συσκευών, εξυπηρετητών, πυλών και δικτύων που συνδέονται σε ένα IP δίκτυο πυρήνα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1 [4].



Εικόνα 1.1: Κινητικότητα χωρίς διακοπή

1.4 ΚΙΝΗΤΗ IP

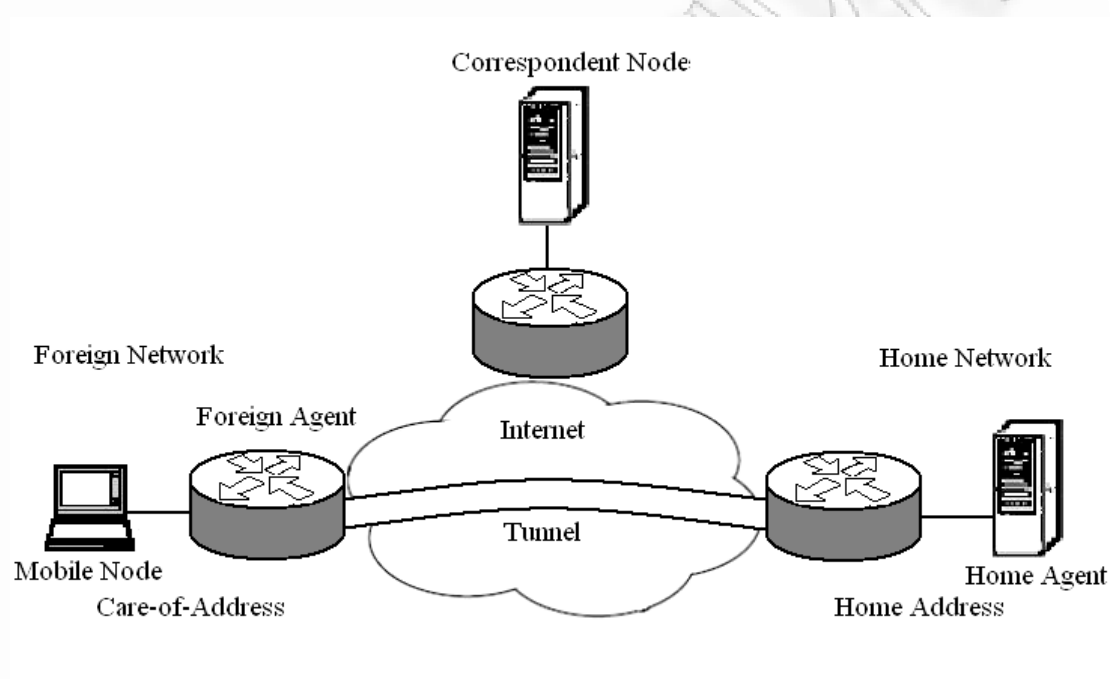
Η κινητή IP (Mobile IP) είναι ένα πρωτόκολλο που έχει προταθεί και προτυποποιηθεί ώστε να επιτραπεί η κινητικότητα της IP [5]. Δημιουργώντας την Κινητή IP,

παρέχεται ένα πεδίο δοκιμών για μεταγωγή χωρίς διακοπή, δίχως να αναδομηθεί η υπάρχουσα υποδομή του Ίντερνετ. Συνήθως αυτά τα πεδία δοκιμών αποτελούνται από φορητούς υπολογιστές εξοπλισμένους με τεχνολογίες δικτύων που υποστηρίζουν διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, όπως 802.11b, UMTS και GPRS. Οι φορητοί υπολογιστές συνήθως τρέχουν ένα open source λειτουργικό σύστημα, όπως το Linux [6]. Η κινητή IP αποτελείται από τους ακόλουθους συντελεστές:

- **Κινητός Κόμβος(Mobile Node):** Το τερματικό σύστημα (π.χ. ο φορητός υπολογιστής). Ο κινητός κόμβος είναι ελεύθερος να αλλάξει το σημείο επαφής του στο Ίντερνετ και έχει μία στατική IP διεύθυνση στο αρχικό δίκτυο (home network), δηλαδή στο υποδίκτυο όπου αρχικά ανήκει ο κινητός κόμβος. Οποιοδήποτε άλλο δίκτυο αναφέρεται ως ξένο δίκτυο.
- **Κόμβος Ανταπόκρισης (Correspondent Node):** Ο κόμβος ανταπόκρισης είναι ο σταθερός ή κινητός κόμβος με τον οποίο επικοινωνούν οι εφαρμογές που τρέχουν στον κινητό κόμβο. Για παράδειγμα, αν ο κινητός κόμβος κατεβάζει ένα αρχείο από έναν FTP εξυπηρετητή, ο τελευταίος είναι ο κόμβος ανταπόκρισης.
- **Φροντισμένη Διεύθυνσης (Care of address):** Η τρέχουσα IP διεύθυνση για τον κινητό κόμβο. Αν αυτή είναι μία global IP διεύθυνση, τότε λέγεται ότι είναι συντοποθετημένη φροντισμένη διεύθυνση (*Co-located CoA*).
- **Αρχικός Πράκτορας (Home Agent):** Έτσι ονομάζεται μια εφαρμογή που τρέχει σε έναν υπολογιστή ή router που βρίσκεται μέσα στο αρχικό δίκτυο του κινητού κόμβου. Ο Αρχικός Πράκτορας συλλαμβάνει τα IP πακέτα που ανήκουν στον κινητό κόμβο και τα *δρομολογεί υπογείως* στη Φροντισμένη Διεύθυνση του Κινητού Κόμβου. Η *δρομολόγηση υπογείως* εννοείται ως ο μηχανισμός όπου τα IP πακέτα ενθλακώνονται σε νέα IP πακέτα, με τα headers να ταιριάζουν με τη Φροντισμένη Διεύθυνση, και αποστέλλονται στον Κινητό Κόμβο ή στον Ξένο Πράκτορα.
- **Ξένος Πράκτορας (Foreign Agent):** Έτσι αποκαλείται μια εφαρμογή που τρέχει σε έναν υπολογιστή ή router που βρίσκεται σε ένα ξένο δίκτυο. Αν η Φροντισμένη Διεύθυνση του Κινητού Κόμβου δεν είναι συντοποθετημένη, πρέπει να δημιουργηθεί ένας ξένος πράκτορας στο ξένο δίκτυο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο Αρχικός Πράκτορας θα δρομολογήσει υπογείως τα IP πακέτα

του Κινητού Κόμβου στον Ξένο Κόμβο, ο οποίος τα αποθηλακώνει και τα παραδίδει στον Κινητό Κόμβο. Αν η Φροντισμένη Διεύθυνση είναι συντοποθετημένη, ο Αρχικός Πράκτορας μπορεί να δρομολογεί υπογείως τα πακέτα κατευθείαν στον Κινητό Κόμβο.

Στην Εικόνα 1.2 φαίνεται η αρχιτεκτονική της Κινητής IP.



Εικόνα 1.2: Αρχιτεκτονική της Κινητής IP.

1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΕΠΙΠΕΔΟ

Όταν κατηγοριοποιείται η διαχείριση της κινητικότητας ανά επίπεδο, η κινητικότητα μπορεί να διαιρεθεί σε [7]:

- Οριζόντια Κινητικότητα: ορίζεται ως η κινητικότητα πάνω στο ίδιο επίπεδο. Γενικά αναφέρεται ως η κινητικότητα μέσα στην ίδια τεχνολογία πρόσβασης.
- Κάθετη Κινητικότητα: ορίζεται ως η κινητικότητα μεταξύ διαφόρων επιπέδων. Γενικά αναφέρεται ως η κινητικότητα μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης.

Στα δίκτυα της επόμενης γενιάς, σημαντική προϋπόθεση είναι να υποστηρίζεται η κίνηση του χρήστη διαμήκους διαφόρων ετερογενών δικτύων πρόσβασης. Από την άποψη της διαχείρισης της μεταγωγής, το χαρακτηριστικό γνώρισμα των δικτύων της επόμενης γενιάς είναι να αποτελούνται από ετερογενή δίκτυα πρόσβασης. Επομένως, έχουμε μία μεγάλη διάκριση μεταξύ οριζόντιας και κάθετης μεταγωγής ως ακολούθως [7]:

- Οριζόντια Μεταγωγή (Horizontal Handover): Όταν το handover γίνεται μεταξύ όμοιων δικτύων πρόσβασης. Γενικά αναφέρεται ως το Intra-AN handover.
- Κάθετη Μεταγωγή (Vertical Handover): Όταν το handover γίνεται μεταξύ ετερογενών δικτύων πρόσβασης. Γενικά αναφέρεται ως το Inter-AN handover.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η οριζόντια και η κάθετη μεταγωγή έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και χρησιμοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς για να επιτευχθεί η μεταγωγή.

1.5.1 Οριζόντια Μεταγωγή

Η κύρια ευθύνη της οριζόντιας μεταγωγής είναι να διατηρηθεί ενεργή η τρέχουσα υπηρεσία παρόλο που αλλάζει η IP διεύθυνση εξαιτίας της μετακίνησης του κινητού κόμβου σε διπλανή κυψέλη. Η διατήρηση λοιπόν της τρέχουσας υπηρεσίας γίνεται είτε κρύβοντας την αλλαγή της IP διεύθυνσης (π.χ. με τη μέθοδο της Κινητής IP) είτε ανανεώνοντας δυναμικά την αλλαγμένη δυναμική διεύθυνση (π.χ. χρησιμοποιώντας mSCTP). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για να κρυφτεί η αλλαγή της IP διεύθυνσης κατά την κίνηση ενός κινητού κόμβου, η Κινητή IP διατηρεί δύο είδη IP διεύθυνσης: μία μόνιμη IP διεύθυνση, δηλαδή την Αρχική διεύθυνση (Home Address) η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από το Transport Layer και μία μεταβλητή IP διεύθυνση, δηλαδή την Φροντισμένη Διεύθυνση (Care-of Address) η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από το Transport Layer. Το mSCTP από την άλλη πλευρά, μπορεί να ανανεώσει την IP διεύθυνση κατά τη διάρκεια της συνέχισης της υπηρεσίας. Η πλειονότητα των προτεινόμενων μηχανισμών μεταγωγής που

αντιστοιχούν στην οριζόντια μεταγωγή εστιάζονται στο να διατηρηθεί ενεργή η υπηρεσία παρόλο που η IP διεύθυνση και μόνο αλλάζει.

1.5.2 Κάθετη Μεταγωγή

Η κάθετη μεταγωγή συμβαίνει όταν ένας κινητός κόμβος κινείται κατά μήκος ετερογενών δικτύων πρόσβασης. Σε αντίθεση με την οριζόντια μεταγωγή, μαζί με την IP διεύθυνση αλλάζει και η τεχνολογία πρόσβασης που χρησιμοποιείται, διότι ο κινητός κόμβος μεταφέρεται σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί διαφορετική τεχνολογία πρόσβασης από αυτή που χρησιμοποιεί το δίκτυο στο οποίο ο κινητός κόμβος βρισκόταν προηγουμένως. Σε αυτή την περίπτωση, η κύρια ευθύνη της κάθετης μεταγωγής είναι να διατηρηθεί ενεργή η τρέχουσα υπηρεσία παρόλο που δεν αλλάζει μόνο η IP διεύθυνση αλλά και τα interfaces των δικτύων, τα χαρακτηριστικά του QoS κλπ. Ο Πίνακας 1.1 περιλαμβάνει τα αντικείμενα που αλλάζουν στην οριζόντια και στην κάθετη μεταγωγή.

	Horizontal handover	Vertical handover
IP address	Changed	Changed
Access technology	Not changed	Changed
Network interface	Not changed	Could be changed
QoS parameter	Not changed	Could be changed

Πίνακας 1.1

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί μεταγωγής (π.χ. Κινητή IP, ή mSCTP) για την οριζόντια μεταγωγή δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν για την κάθετη μεταγωγή [8], [9]. Επειδή οι προτεινόμενοι μηχανισμοί μεταγωγής για την οριζόντια μεταγωγή μπορούν να επιλύσουν μόνο το πρόβλημα της αλλαγής της IP διεύθυνσης, δε μπορούν να διατηρήσουν ενεργή την υπηρεσία όταν αλλάζουν τα interface των δικτύων ή τα χαρακτηριστικά του QoS.

Για να υποστηριχθεί η κάθετη μεταγωγή απαιτείται η τροποποίηση της Κινητής IP [10]. Επίσης, αν είναι επιθυμητή η χρήση του mSCTP για την κάθετη μεταγωγή, επιβάλλεται να τροποποιηθεί το mSCTP ως προς τα συσχετιζόμενα κομμάτια. Οι

κύριες δυνατότητες της κάθετης μεταγωγής συγκρινόμενη με την οριζόντια μεταγωγή είναι ως ακολούθως:

- Χρήση διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης.
- Χρήση πολλαπλών interfaces δικτύων.
- Χρήση πολλαπλών IP διευθύνσεων.
- Χρήση πολλαπλών (μεταβλητών) QoS παραμέτρων.
- Χρήση πολλαπλών συνδέσεων δικτύων (multi-homing features).

Οι δυνατότητες αυτές παρατίθενται και πιο κάτω, στον Πίνακα 1.2.

	Horizontal handover	Vertical handover
Access technology	Single technology	Heterogeneous technology
Network interface	Single interface	Multiple interface
Actually used IP address at a time	Single IP address	Multiple IP address
QoS parameter	Single value	Multiple values
Network connection	Single connection	Multiple connections

Πίνακας 1.2

Επειδή οι μηχανισμοί για την οριζόντια μεταγωγή υποθέτουν ότι ο κινητός κόμβος έχει μόνο ένα interface δικτύου, μία IP διεύθυνση, και μία σύνδεση δικτύου κάθε φορά, υπάρχουν πολλοί περιορισμοί ώστε να αναπτυχθούν μηχανισμοί τύπου break-before-make. Το break-before-make στην οριζόντια μεταγωγή σημαίνει ότι ο κινητός κόμβος μπορεί να κάνει μία νέα σύνδεση δικτύου μόνο κατόπιν αποσύνδεσης από την παλιά σύνδεση. Αν χρησιμοποιηθούν πολλαπλά interfaces δικτύου, πολλαπλές διευθύνσεις IP και πολλαπλές συνδέσεις δικτύων για την κάθετη μεταγωγή, μπορεί να αναπτυχθεί μηχανισμός που βασίζεται στο make-before-break. Το make-before-break σημαίνει ότι ο κινητός κόμβος μπορεί να κάνει μία νέα σύνδεση δικτύου πριν την αποσύνδεσή του από την παλιά σύνδεση. Έτσι ο χρόνος καθυστέρησης της

μεταγωγής θα μπορούσε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί τελείως. Επίσης μπορούν να είναι διαθέσιμοι για την κάθετη μεταγωγή μηχανισμοί που βασίζονται στο μαλακό (soft) handover.

1.6 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να παρατεθούν κάποιες πληροφορίες σχετικά με την έρευνα που έχει γίνει για τη μεταγωγή. Στη συνέχεια παρατίθεται μια λίστα με τα πιο κοινά μέτρα επίδοσης μαζί με μία περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιούνται συνήθως για να ξεκινήσει μία μεταγωγή. Αυτά αποτελούν τη βάση για να ερευνηθεί η μικροκυψελική μεταγωγή (microcellular handover) και η επικαλυμμένη μεταγωγή του συστήματος. Τα θέματα ελέγχου της μεταγωγής, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο ένας πάροχος ενός συστήματος μπορεί να ρυθμίσει την απόδοση ενός αλγορίθμου μεταγωγής, είναι επίσης ένα θέμα για έρευνα.

1.6.1 Μέτρα της Επίδοσης

Τα μέτρα της επίδοσης που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι αλγόριθμοι μεταγωγής είναι:

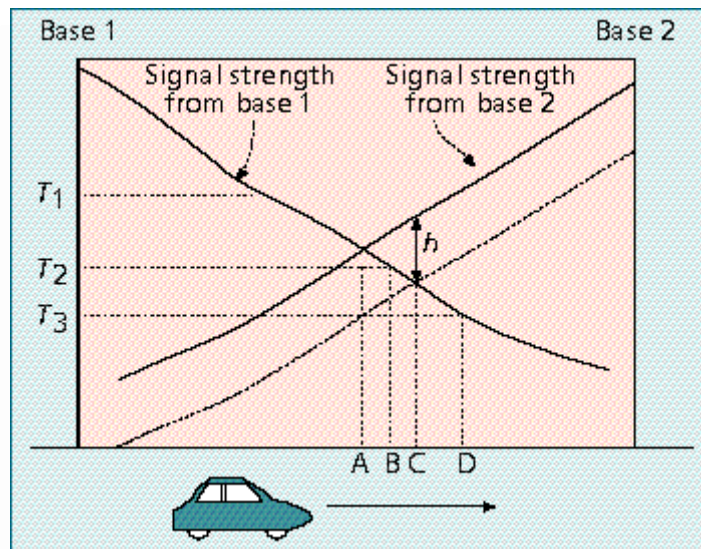
- Πιθανότητα αποκλεισμού της κλήσης (Call blocking probability): Η πιθανότητα μία απόπειρα για μια νέα κλήση να αποκλειστεί.
- Πιθανότητα αποκλεισμού της μεταγωγής (Handover blocking probability): Η πιθανότητα μια απόπειρα για μεταγωγή να αποκλειστεί.
- Πιθανότητα μεταγωγής (Handover probability): Η πιθανότητα μία τρέχουσα κλήση να ζητήσει μεταγωγή ενώ επικοινωνεί με μία συγκεκριμένη κυψέλη, πριν να τερματιστεί η κλήση. Αυτό το μέτρο μεταφράζεται στο μέσο αριθμό μεταγωγών ανά κυψέλη.
- Πιθανότητα απόρριψης της κλήσης (Call dropping probability): Η πιθανότητα μια κλήση να τερματιστεί εξαιτίας της αποτυχίας μίας μεταγωγής. Αυτό το

μέτρο προκύπτει από την πιθανότητα αποκλεισμού μεταγωγής και την πιθανότητα μεταγωγής.

- Πιθανότητα αναίτιας μεταγωγής (Probability of an unnecessary handover): Η πιθανότητα μια μεταγωγή να προκληθεί από έναν αλγόριθμο μεταγωγής ενώ η τρέχουσα ραδιοζεύξη είναι ακόμα επαρκής.
- Ρυθμός μεταγωγής (Rate of handover): Ο αριθμός των μεταγωγών στη μονάδα του χρόνου. Μαζί με τη μέση διάρκεια κλήσης είναι πιθανό να καθορίσει το μέσο αριθμό των μεταγωγών ανά κλήση και κατ' επέκταση την πιθανότητα μεταγωγής.
- Διάρκεια διακοπής (Duration of interruption): Η χρονική διάρκεια που ένα κινητό τερματικό δεν βρίσκεται σε επικοινωνία με κανένα σταθμό βάσης σε μια μεταγωγή. Αυτό το μέτρο εξαρτάται κυρίως από την τοπολογία του συγκεκριμένου δικτύου καθώς και ο αντικειμενικός σκοπός της μεταγωγής.
- Καθυστέρηση (Delay): Η απόσταση που ο κινητός κόμβος κινείται από το σημείο στο οποίο θα έπρεπε να συμβεί μια μεταγωγή ως το σημείο που τελικά συμβαίνει.

1.6.2 Έναρξη μεταγωγής

Ένα σκληρό (hard) handover, σε αντίθεση με ένα μαλακό (soft) handover, συμβαίνει όταν η παλιά σύνδεση διακόπτεται πριν ενεργοποιηθεί η νέα σύνδεση (break-before-make). Οι εκτιμήσεις της απόδοσης της σκληρής μεταγωγής που υπάρχουν στη βιβλιογραφία μελετούν αρκετά κριτήρια έναρξης. Όλες θεωρούν ότι το σήμα υπολογίζεται κατά μέσο όρο πάνω στο χρόνο για να αποκλειστούν οι απότομες μεταβολές εξαιτίας της πολυδιαδρομικής φύσης του περιβάλλοντος δαδιοδιάδοσης. Έχουν γίνει λεπτομερείς μελέτες για να καθοριστούν το σχήμα και το μήκος του averaging window, το οποίο εκφράζει τελικά το πόσο εμπιστευόμαστε τις παλαιότερες μετρήσεις ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Η Εικόνα 1.3 [11] δείχνει ένα κινητό κόμβο να κινείται από ένα σταθμό βάσης (base 1) σε έναν άλλον (base 2).



Εικόνα 1.3 Διαδικασία μεταγωγής σε κυψελωτά δίκτυα.

Η ισχύς του μέσου σήματος στον πρώτο σταθμό βάσης μειώνεται καθώς ο κινητός κόμβος απομακρύνεται από αυτόν. Παρομοίως, η ισχύς του μέσου σήματος στο δεύτερο σταθμό βάσης αυξάνεται καθώς ο κινητός κόμβος την πλησιάζει. Χρησιμοποιώντας την Εικόνα 1.3, μπορούμε να έχουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με κάποιες προσεγγίσεις [11].

- Η σχετική ισχύς σήματος (Relative signal strength) επιλέγει κάθε στιγμή τον δυνατότερα λαμβανόμενο σταθμό βάσης. Αυτή η απόφαση βασίζεται σε μία μέση μέτρηση του λαμβανόμενου σήματος. Στην Εικόνα 1.3 η μεταγωγή θα συμβεί στη θέση A. Αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί πάρα πολλές αναίτιες μεταγωγές ενώ το σήμα του τρέχοντος σταθμού βάσης είναι ακόμα επαρκές [12].
- Η σχετική ισχύς σήματος με κατώφλι (Relative signal strength with threshold) επιτρέπει στο χρήστη να μεταχθεί μόνο όταν το τρέχον σήμα είναι αρκετά αδύναμο (μικρότερο από ένα κατώφλι) και το άλλο είναι το δυνατότερο εκ των δύο. Η επίδραση που έχει το κατώφλι εξαρτάται από την τιμή του σε σχέση με την ισχύ των σημάτων των δύο σταθμών βάσης στο σημείο που είναι ίσες. Αν το κατώφλι είναι υψηλότερο από αυτή την τιμή, έστω T_1 στην Εικόνα 1.3, αυτή η μέθοδος αποδίδει ακριβώς όπως η μέθοδος της σχετικής ισχύος σήματος, οπότε η μεταγωγή συμβαίνει στη θέση A. Αν το κατώφλι είναι χαμηλότερο από αυτή την τιμή, έστω T_2 στην Εικόνα 1.3, ο κινητός

κόμβος θα καθυστερήσει τη μεταγωγή μέχρι το επίπεδο του τρέχοντος σήματος να διασχίσει το κατώφλι στη θέση B. Στην περίπτωση του T_3 , η καθυστέρηση μπορεί να είναι τόσο μεγάλη που ο κινητός κόμβος να έχει ήδη μετακινηθεί μακριά μέσα στη νέα κυψέλη. Αυτό φυσικά μειώνει την ποιότητα της ζεύξης και μπορεί τελικά να συντελέσει στην αποτυχία της κλήσης. Επιπρόσθετα, προκαλεί επιπλέον παρεμβολή στους ομοδιαυλους χρήστες. Επομένως, αυτή η μέθοδος μπορεί να δημιουργήσει επικάλυψη των περιοχών κάλυψης κάθε κυψέλης. Στην πράξη δε χρησιμοποιείται ένα κατώφλι μόνο, γιατί η αποτελεσματικότητά του βασίζεται σε προηγούμενη γνώση του σημείου που συμπίπτουν οι ισχύεις των σημάτων των δύο σταθμών βάσης.

- Η σχετική ισχύς σήματος με υστέρηση (Relative signal strength with hysteresis) επιτρέπει στο χρήστη να μεταχθεί μόνο όταν ο νέος σταθμός βάσης είναι αρκετά δυνατότερος (κατά ένα όριο υστέρησης (hysteresis margin), h , στην Εικόνα 1.3) από τον τρέχοντα σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση η μεταγωγή θα συμβεί στο σημείο C. Αυτή η τεχνική αποτρέπει το λεγόμενο φαινόμενο πινγκ πονγκ (ping-pong effect), δηλαδή την επαναλαμβανόμενη μεταγωγή μεταξύ δύο σταθμών βάσης που προκαλείται από απότομες μεταβολές της ισχύος των λαμβανόμενων σημάτων από τους δύο σταθμούς βάσης. Παρόλα αυτά, η πρώτη μεταγωγή μπορεί να είναι αναίτια, αν η βάση που εξυπηρετεί είναι αρκετά δυνατή.
- Η σχετική ισχύς σήματος με υστέρηση και κατώφλι (Relative signal strength with hysteresis and threshold) κάνει μεταγωγή ενός χρήστη σε μια νέα βάση μόνο αν το επίπεδο του τρέχοντος σήματος πέσει κάτω από ένα κατώφλι και ο νέος σταθμός είναι δυνατότερος από τον τρέχοντα κατά ένα όριο υστέρησης. Στη Εικόνα 1.3 η μεταγωγή θα συμβεί στο σημείο C αν το κατώφλι είναι είτε T_1 είτε T_2 , ενώ αντίθετα θα συμβεί στο σημείο D αν το κατώφλι είναι T_3 .
- Οι τεχνικές πρόγνωσης (Prediction techniques) βασίζουν την απόφαση για τη μεταγωγή στην αναμενόμενη μελλοντική τιμή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Έχει προταθεί μια τεχνική η οποία έχει αποδειχθεί μέσω εξομοίωσης ότι είναι καλύτερη από τις τεχνικές της σχετικής ισχύος σήματος και της σχετικής ισχύος σήματος με υστέρηση και κατώφλι, με βάση τη μείωση του αριθμού των αναίτιων μεταγωγών [13].

Συνοψίζοντας, τα κριτήρια έναρξης μεταγωγής που έχουν αναλυθεί στη βιβλιογραφία βασίζονται κυρίως σε τέσσερις μεταβλητές: το μήκος και το σχήμα του averaging window, την τιμή του κατωφλίου, και το όριο υστέρησης.

Μετά από την επιλογή ενός νέου σταθμού βάσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το δίαυλο σε αυτή τη βάση. Κάποιοι αλγόριθμοι υλοποιούν την επιλογή του σταθμού βάσης και του διαύλου ως μία μόνο απόφαση, την οποία συχνά δηλώνουν ως «από κοινού ανάθεση σταθμού βάσης και διαύλου» (joint base station and channel assignment). Μία τέτοια μελέτη εξομοιώνει έναν αλγόριθμο μεταγωγής βασισμένο στο signal-to-interference-ratio-(SIR) για ένα μονοδιάστατο σύστημα [14]. Επίσης, χρησιμοποιούν το ίδιο εργαλείο εξομοίωσης για να υπολογίσουν τη μέθοδο μεταγωγής της μέγιστης ισχύος (maximum power handover). Αυτή είναι μια παραλλαγή της μεθόδου της σχετικής ισχύος σήματος που συμπεριλαμβάνει πολλαπλές υποψήφιες μεταγωγές [15]. Συγκρινόμενη με τη SIR-βασισμένη μεταγωγή, η μεταγωγή μέγιστης ισχύος δείχνει μία αξιοσημείωτη μείωση στην απόρριψη της κλήσης για μία μικρή αύξηση στον αποκλεισμό της κλήσης, με αντίτιμο την αύξηση του αριθμού των αναίτιων μεταγωγών και των ping-pongs. Για να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα εισάγεται ένας χρονοδιακόπτης στη συγκεκριμένη μέθοδο, ώστε να δημιουργηθεί μία νέα μέθοδος, η μεταγωγή μέγιστης ισχύος με χρονοδιακόπτη (maximum power handover with timer). Σε αυτή τη μέθοδο μια μεταγωγή επιτρέπεται μόνο όταν λήξει ένας timer. Έχει αποδειχθεί ότι αυτή η τεχνική μειώνει τον αριθμό των αναίτιων μεταγωγών που σχετίζονται με τη μεταγωγή μέγιστης ισχύος, αλλά έχει μικρή επίδραση στον αποκλεισμό και την απόρριψη της κλήσης. Αυτή η έρευνα έχει επεκταθεί στα δισδιάστατα συστήματα [16].

Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα όρια υστέρησης και οι χρονοδιακόπτες για να μειωθεί το φαινόμενο πινγκ-πονγκ. Στα Πανευρωπαϊκά Ψηφιακά Κυψελωτά Πρότυπα (Pan-European Digital Cellular Standard) [17], χρησιμοποιείται σαν όριο υστέρησης μία παράμετρος που ονομάζεται όριο μεταγωγής. Επιπρόσθετα, υπάρχει ένα προσωρινό αντιστάθμισμα (temporary offset) που ελέγχεται από ένα χρονοδιακόπτη, για να προτιμούνται οι ενδοκυψελικές μεταγωγές από τις διακυψελικές όπου είναι δυνατόν. Το πρότυπο υπηρεσιών προσωπικής επικοινωνίας (personal communications services (PCS) standard) [18] του Συστήματος Προσωπικής Πρόσβασης Επικοινωνιών Βόρειας Αμερικής (North

American Personal Access Communications System - PACS) συνδιάζει το όριο υστέρησης με ένα χρονοδιακόπτη διαμονής (dwell timer). Δυστυχώς δεν έχει δημοσιοποιηθεί κάποια δουλειά σχετικά με αυτό το συνδιασμό.

Για να μελετηθεί η μεταγωγή, έχουν εφαρμοστεί κάποιες τεχνικές βελτιστοποίησης αμοιβής/κόστους [19]. Μία αμοιβή δίνεται για να διατηρηθεί μία σύνδεση, ενώ αντίστοιχα υπάρχει ένα κόστος που σχετίζεται με την αλλαγή της σύνδεσης. Αυτή η μεθοδολογία βρίσκεται ακόμα σε πολύ προκαταρκτικό στάδιο και δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα σε πραγματικά συστήματα.

1.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΝΑΡΞΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Στις παραμέτρους που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του σχεδιαστή περιλαμβάνονται το όριο υστέρησης, η τιμή κατωφλίου, το averaging interval, το σχήμα του παραθύρου και ο χρονοδιακόπτης διαμονής. Στον Πίνακα 1.3 [11] περιλαμβάνονται τα υποσύνολα αυτών των παραμέτρων ελέγχου που διάφοροι μελετητές έχουν επιλέξει να ερευνήσουν.

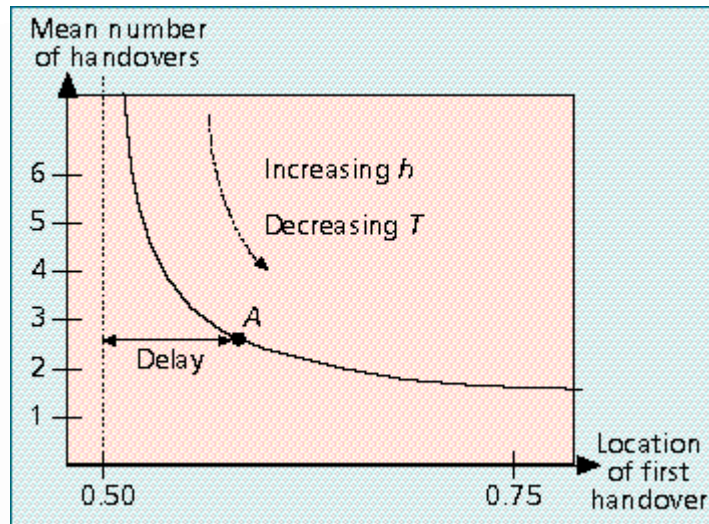
	Vijayan <i>et al.</i> [13, 14]	Zhang <i>et al.</i> [16]	Corazza <i>et al.</i> [15]
Hysteresis margin	X	X	X
Threshold level		X	
Averaging interval	X		X
Window shape			X

Πίνακας 1.3

Το όριο υστέρησης και η διάρκεια του υπολογισμού του μέσου όρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμβιβάσουν το μέσο αριθμό των μεταγωγών με την καθυστέρηση της μεταγωγής [20]. Η διαδικασία της μεταγωγής έχει ερευνηθεί σε σχέση με τη διαδικασία διασταύρωσης επιπέδου της διαφοράς των λαμβανόμενων σημάτων μεταξύ των δύο σταθμών βάσης, ενώ οι κινητοί κόμβοι κινούνται σε ευθεία γραμμή μεταξύ τους. Αρχικά η διαδικασία διασταύρωσης επιπέδου θεωρήθηκε ότι

είναι στάσιμη. Μεταγενέστερη έρευνα [21] συμπεριέλαβε τη μη στάσιμη περίπτωση. Μία έρευνα με εξομοίωση [22] υπολόγισε το συμβιβασμό μεταξύ της καθυστέρησης και του αριθμού (και της πιθανότητας) των αναίτιων μεταγωγών. Οι παράμετροι πάλι περιλαμβάνουν το επίπεδο καθυστέρησης και το μήκος του averaging window. Αυτή η έρευνα εστίασε στο σχήμα του averaging window και θεώρησε τόσο ορθογώνια παράθυρα όσο και εκθετικά με διάφορα βάρη. Τα μεγάλα παράθυρα μειώνουν τον αριθμό των μεταγωγών αλλά αυξάνουν την καθυστέρηση.

Η αναλυτική δουλειά που έχει γίνει πάνω στην απόδοση των αλγορίθμων μεταγωγής εκτείνεται [23] από την περίπτωση των σχετικών ισχύων στην περίπτωση των συνδυασμένων απόλυτων και σχετικών ισχύων. Με σταθερό το averaging interval, τα αποτελέσματα αναφέρουν την ανταλλαγή μεταξύ της καθυστέρησης και του αναμενόμενου αριθμού μεταγωγών. Η Εικόνα 1.4 δείχνει τη μέθοδο με την οποία αναφέρονται αυτά τα αποτελέσματα. Ο άξονας των y αντιστοιχεί στο μέσο αριθμό των μεταγωγών που συμβαίνουν, ενώ ο χρήστης κινείται από τη βάση 1 στη βάση 2 στην Εικόνα 1.3. Ο άξονας των x αντιστοιχεί στην τοποθεσία της πρώτης μεταγωγής μεταξύ της βάσης 1 και της βάσης 2, όπου το 0.50 δείχνει ότι συμβαίνει στα μισά της διαδρομής ενώ το 0.75 σημαίνει ότι ο κινητός κόμβος είναι στο 75% της πορείας του προς τη βάση 2. Για ένα συγκεκριμένο σύνολο τιμών για το όριο, h , και το threshold level, T , το σύστημα θα λειτουργεί στο σημείο που είναι μαρκαρισμένο ως A . Η οριζόντια απόσταση από το $x = 0.5$ και την τοποθεσία του A είναι ένα μέτρο της καθυστέρησης της μεταγωγής. Στην Εικόνα 1.4 φαίνεται ότι είτε αυξηθεί το όριο υστέρησης είτε χαμηλώσει το κατώφλι, ο μέσος αριθμός των μεταγωγών μειώνεται καθώς αυξάνεται η αναμενόμενη καθυστέρηση. Όταν το επίπεδο υστέρησης είναι μικρό για τις θεωρούμενες παραμέτρους, το κατώφλι έχει μεγαλύτερη επιρροή στον αναμενόμενο αριθμό μεταγωγών και στο σημείο διασταύρωσης [23].



Εικόνα 1.4

Ένας αλγόριθμος μαλακής μεταγωγής (soft handover) μοντελοποιείται [24] χρησιμοποιώντας τις τεχνικές που προτάθηκαν για τους συμβατικούς αλγόριθμους μεταγωγής. Σε ένα σύστημα με δύο σταθμούς βάσης, ένας χρήστης επικοινωνεί είτε με έναν από αυτούς είτε και με τους δύο μαζί. Ένας χρήστης που βρίσκεται σε επικοινωνία και με τους δύο είναι σε μαλακή μεταγωγή και λέγεται ότι είναι στο ενεργό σύνολο. Κάθε χρήστης σε ένα ενεργό σύνολο απαιτεί σταθερούς δικτυακούς πόρους για να παραδώσει την πληροφορία ομιλίας στο mobile switching center (MSC). Ο συμβιβασμός πρέπει να γίνει μεταξύ του αριθμού των χρηστών στο σύνολο και του αριθμού των ανανεώσεων των ενεργών συνόλων. Οι χρήστες προστίθενται στο σύνολο όταν το σήμα τους ξεπερνάει ένα κατώφλι, ενώ αφαιρούνται από το σύνολο όταν είναι κάτω από ένα άλλο κατώφλι για μια χρονική περίοδο που υπερβαίνει ένα χρονοδιακόπτη. Έχει αποδειχθεί ότι αυτός ο χρονοδιακόπτης μειώνει σημαντικά τον αριθμό των ανανεώσεων στο ενεργό σύνολο, ενώ δεν αυξάνει παρά ελάχιστα το μέγεθος του ενεργού συνόλου.

Διάφορα άλλα θέματα συζήτησης για τον έλεγχο της μεταγωγής περιλαμβάνουν τις μεθόδους της μεταγωγής προτεραιότητας (priority handover) [25]. Αυτή η έρευνα υποκινήθηκε από το γεγονός ότι η καλύτερη ραδιοζεύξη βάσει της ελαχιστοποίησης του αριθμού των μεταγωγών μπορεί να μη δουλεύει καλά από άποψη τηλεκίνησης στην περίπτωση των hot spots, περιοχών δηλαδή με πολύ πυκνή κίνηση. Οι χρήστες μπορεί να απορρίπτονται εξαιτίας ενός αλγόριθμου που αρνείται επιπρόσθετες απόπειρες για handover που θα μπορούσαν να διατηρήσουν την κλήση. Τα

αποτελέσματα λοιπόν συνηγορούν στο να διαφυλάσσονται ραδιοδιάυλοι για τη μεταγωγή.

Η εφαρμογή μη προτυποποιημένων προσεγγίσεων για τον έλεγχο της μεταγωγής περιλαμβάνει τα neural networks, τη fuzzy logic, το hypothesis testing, και τον δυναμικό προγραμματισμό. Τα neural networks προτείνονται ως ένα εργαλείο για να υλοποιηθούν αλγόριθμοι με πολυκριτήρια για τη μεταγωγή [26]. Ένα απλό παράδειγμα δείχνει εμφανώς τη μεθοδολογία αλλά απαιτεί σημαντική θεωρητική γνώση των neural networks. Σημειώνεται ότι όταν η προσέγγιση με τα neural networks χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της μεταγωγής, οι μικροκυβελικές και μακροκυβελικές επικαλύψεις έχουν μικρή επίδραση στην υλοποίηση της μεταγωγής [26]. Ο αριθμός των μεταγωγών μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας fuzzy logic και τεχνικές pattern recognition [27]. Επίσης, χρησιμοποιώντας δυναμικό προγραμματισμό στον αλγόριθμο μεταγωγής που ελαχιστοποιεί τόσο τις αποτυχίες της υπηρεσίας όσο και τον αριθμό των μεταγωγών, επιτυγχάνεται μια στρατηγική με όμοια ουσιαστικά απόδοση με την κλασική στρατηγική υστέρησης-κατωφλιού [28]. Αποτυχία υπηρεσίας συμβαίνει όταν η ισχύς του σήματος πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο που απαιτείται για να είναι ικανοποιητική η υπηρεσία και να μην απορριφθεί η κλήση.

Με βάση το θέμα της ραδιοδιάδοσης, έχει ερευνηθεί η χρήση μιας κινητά-βοηθούμενης μεταγωγής τύπου GSM [29]. Η απότομη αλλαγή στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος όταν ο κινητός κόμβος π.χ. στρίβει σε μία γωνία, το φαινόμενο γωνίας, έχει αποδειχθεί ότι έχει επίδραση στην άνω ζεύξη περισσότερο από ότι στην κάτω ζεύξη σε ένα μικροκυβελικό περιβάλλον. Αυτό βασίζεται στην παρατήρηση ότι ένας κινητός κόμβος στρίβει σε μία γωνία, το σήμα γίνεται ασθενέστερο ενώ το uplink interference παραμένει σταθερό και το downlink interference αλλάζει και γίνεται εν δυνάμει ασθενέστερο. Οι μετρήσεις του σήματος όταν ο χρήστης περνάει από διασταυρώσεις ή στρίβει σε γωνίες ερευνώνται μέσω εξομοίωσης [30].

Υπάρχει μια διάκριση που γίνεται μεταξύ line-of-sight (LOS) handover, όταν δύο σταθμοί βάσης βλέπουν ο ένας τον άλλον, και όταν αυτό δεν συμβαίνει. Στην περίπτωση που είναι line-of-sight, η υστέρηση είναι χρήσιμη για την αποφυγή

αιτημάτων για πρώιμες μεταγωγές, με κόστος μια πιθανή καθυστέρηση [31]. Συμπεραίνεται ότι μια απόφαση για μεταγωγή θα έπρεπε να βασίζεται τόσο σε upstream όσο και σε downstream μετρήσεις, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των μεταγωγών σε μη-LOS σταθμούς βάσης που γίνονται ορατοί κατά τη διάβαση μιας διασταύρωσης. Σε ένα μακροκυβελικό περιβάλλον με κυψέλες πάνω από 600 m, η κλίση της λαμβανόμενης ισχύος με την απόσταση είναι πιο επίπεδη κοντά στο equipower ενδιάμεσο μεταξύ των δύο σταθμών βάσης [31]. Επομένως, η υστέρηση θα καθυστερήσει σημαντικά τη διαδικασία έναρξης της μεταγωγής.

Υπάρχουν δύο αντικρουόμενοι στόχοι. Η LOS μεταγωγή αποφεύγει το φαινόμενο πινγκ-πονγκ, ενώ η μη-LOS μεταγωγή πρέπει να γίνει όσο το δυνατό γρηγορότερα εξαιτίας της απότομης πτώσης του σήματος όταν ένας κινητός κόμβος στρίβει σε μία γωνία [29]. Πιθανές λύσεις σε αυτό το πρόβλημα περιλαμβάνουν τη χρήση κυψελής-ομπρέλα, τη χρήση macrodiversity, και την αλλαγή σε κινητά-ελεγχόμενη μεταγωγή [29]. Μόνο η προσέγγιση με την κυψέλη-ομπρέλα παρέχει συμβατότητα με τα υπάρχοντα πρότυπα.

Στο [32] αναλύεται η επίδοση της πολυεκπομπής (simulcasting) και συγκρίνεται με την επιλογή diversity. Παρόλο που η πολυεκπομπή βελτιώνει την αντοχή του σήματος ενός χρήστη στη διάλειαση, πρέπει να ερευνηθεί η επίδραση που έχει στους άλλους χρήστες. Τα αποτελέσματα ποσοτικοποιούν την επίδοση της ομοδιαυλικής παρεμβολής στην πολυεκπομπή με coherent και noncoherent δέκτες. Και στις δύο περιπτώσεις μπορούν να σχεδιαστούν προσεκτικά αλγόριθμοι πολυεκπομπής που να μειώνουν την ομοδιαυλική παρεμβολή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι απαιτήσεις για τα ασύρματα συστήματα και υπηρεσίες έχουν αυξηθεί δραματικά κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας. Στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα όπως το GPRS (general packet radio service), το EDGE (enhanced data rates for GSM evolution), και το 3G/UMTS (3rd generation universal mobile telecommunication system), παρέχονται υψηλές ταχύτητες δεδομένων προκειμένου να εξυπηρετηθεί μια μεγάλη γκάμα υπηρεσιών, όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, το multimedia instant messaging (MIM), η πλοήγηση στο Ίντερνετ (WWW browsing) και άλλες. Πλέον οι ίδιες υπηρεσίες παρέχονται και στους χρήστες κινητών τηλεφώνων, τις οποίες μπορούν να αξιοποιήσουν στα κινητά τους με τον ίδιο τρόπο που θα το έκαναν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος ενσύρματα σε ένα δίκτυο. Παράλληλα, στις ασύρματες υπηρεσίες προστίθενται διαρκώς πιο προχωρημένες εφαρμογές με τα υψηλής τεχνολογίας «έξυπνα τηλέφωνα» (smart phones) όπως η GPS πλοήγηση, η local area help information, το video on demand, η hot spot Wi-Fi σύνδεση κλπ.

Στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας, στην περιοχή εξυπηρέτησης τοποθετούνται πολλοί σταθμοί βάσης (base stations) που αλληλοσυνδέονται και επικοινωνούν με το επίγειο σύστημα. Κάθε σταθμός βάσης παρέχει στους χρήστες κινητών τηλεφώνων έναν ορισμένο αριθμό ραδιοδιαύλων σε μία περιοχή κάλυψης που ονομάζεται κυψέλη (cell). Οι χρήστες μπορούν να εκκινήσουν μία κλήση από οποιοδήποτε σημείο βρεθούν μέσα στην κυψέλη, μέσω του διαθέσιμου ραδιοδιαύλου που τους παρέχει ο σταθμός βάσης. Η κλήση μπορεί να εξυπηρετηθεί μόνο από το σταθμό βάσης της

συγκεκριμένης κυψέλης εφόσον ο χρήστης παραμένει μέσα στα όρια της περιοχής κάλυψης του σταθμού, δηλαδή μέσα στα όρια της κυψέλης. Αν όμως ο χρήστης μετακινηθεί εκτός της περιοχής κάλυψης της κυψέλης, ο σταθμός βάσης της επόμενης κυψέλης πρέπει να φροντίσει για την παροχή ενός νέου ραδιοδιαύλου για να συνεχιστεί η κλήση. Η διαδικασία μετάβασης μίας κλήσης από ένα σταθμό βάσης σε έναν άλλον ονομάζεται μεταγωγή (handover ή handoff). Μπορεί να χρειαστούν αρκετά handover προκειμένου μία κλήση να ολοκληρωθεί επιτυχώς όσο ο χρήστης κινείται μέσα στην περιοχή κάλυψης. Ο πάροχος του ασύρματου δικτύου αναλαμβάνει να φέρει σε πέρας τη διαδικασία της μεταγωγής και να εγγυηθεί ότι η κλήση θα ολοκληρωθεί ικανοποιητικά ως προς τους πελάτες.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή η υποσχόμενη συνδεσιμότητα χρειάζεται να σχεδιαστεί σωστά ένα ασύρματο κυψελοειδές δίκτυο με υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την επίδοση ενός ασύρματου δικτύου είναι αρκετές και μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται οι εξής:

- σχέδιο κινητικότητας του χρήστη (user mobility pattern)
- σχέδιο κυκλοφορίας (traffic pattern)
- το μοντέλο του συστήματος (system model)

Ο ρόλος του Mobility model είναι πολύ σημαντικός για την εξέταση διαφόρων ζητημάτων που σχετίζονται με ένα κυψελοειδές σύστημα, όπως το handover, η ανανέωση της τοποθεσίας του χρήστη, η εγγραφή, το paging και η διαχείριση του πολυεπίπεδου δικτύου. Το μοντέλο περιλαμβάνει τις αλλαγές τόσο στην ταχύτητα όσο και στην κατεύθυνση του κινούμενου χρήστη. Εφόσον η κατεύθυνση και η ταχύτητα της κίνησης του χρήστη είναι τυχαίες μεταβλητές, η πορεία ενός κινητού θα είναι μια τυχαία τροχιά. Επομένως, για να μελετηθούν τα κριτήρια που σχετίζονται με την κινητικότητα του χρήστη απαιτείται μία κατάλληλη και συστηματική τυποποίηση των γεωμετρικών σχέσεων που ορίζουν το σύνθετο πρόβλημα της τυχαίας κίνησης. Μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με την κινητικότητα, αυτή που έλαβε δέουσα προσοχή είναι το cell dwell time (CDT) του χρήστη, δηλαδή ο χρόνος που ένας κινούμενος χρήστης παραμένει εντός κάθε κυψέλης της περιοχής

κάλυψης. Η κατανομή του CDT είναι σημαντική για την ανάλυση της επίδοσης των ασύρματων δικτύων.

Το Traffic model είναι σημαντικό για το σχεδιασμό και την εφαρμογή διαστάσεων με το μικρότερο κόστος στους πόρους του δικτύου και συνεπώς είναι η βάση για την εγγύηση της ποιότητας των υπηρεσιών. Η συμπεριφορά του χρήστη, το περιβάλλον της περιοχής εξυπηρέτησης και τα είδη των υπηρεσιών είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον χαρακτηρισμό των παραμέτρων που σχετίζονται με το traffic. Το Call holding time (CHT), δηλαδή ο χρόνος που ένας κινούμενος χρήστης μένει συνδεδεμένος ενώ χρησιμοποιεί μια υπηρεσία, είναι ένα μέτρο που σχετίζεται με το traffic και είναι πολύ σημαντικό για τη διαχείριση του ασύρματου δικτύου. Το CHT είναι τυχαία μεταβλητή που είναι διαφορετική για κάθε μία από τη μεγάλη γκάμα υπηρεσιών που προσφέρονται. Ο χαρακτηρισμός της κατανομής του CHT είναι πολύ σημαντικός για την ανάλυση της επίδοσης του ασύρματου δικτύου.

Επιπλέον, το system model σκιαγραφεί τη συνολική διαδικασία μιας υπηρεσίας στο ασύρματο δίκτυο και είναι απαραίτητο στο σχηματισμό μίας σχέσης μεταξύ όλων των συσχετιζόμενων παραμέτρων, ώστε να εκτιμηθούν τα κριτήρια επίδοσης στην ποιότητα των υπηρεσιών. Ένα χρήσιμο μοντέλο είναι η θεώρηση ενός ομοιογενούς ασύρματου δικτύου. Ομοιογενές δίκτυο είναι αυτό στο οποίο το σύστημα αποτελείται από πολλαπλές κυψέλες που έχουν όλες πανομοιότυπο σχήμα, μέγεθος και αριθμό ραδιοδιαύλων. Εφόσον όλες οι κυψέλες του ασύρματου δικτύου είναι ίδιες, έχουν και το ίδιο σύνολο παραμέτρων με όμοιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Η αναλυτική μέθοδος για να εκτιμηθεί η ποιότητα των υπηρεσιών σε τέτοια ομοιογενή ασύρματα δίκτυα είναι πιο απλή και δίνει πιο βολικές εκφράσεις για τα κριτήρια της επίδοσης. Τέλος, για την παροχή και τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών (QoS) του ασύρματου συστήματος ώστε να ικανοποιηθούν οι κινούμενοι χρήστες, απαιτούνται όλα αυτά τα μοντέλα που προαναφέρθηκαν.

2.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την επίτευξη ακριβής εκτίμησης του QoS απαιτείται να θεωρηθούν όλα τα πιθανά γεγονότα και καταστάσεις σε ένα πρακτικό ασύρματο σύστημα. Πολλές παράμετροι του συστήματος είναι τυχαίες και κάνουν αρκετά δυσκίνητη την ανάλυση της επίδοσης. Μολονότι η εξομοίωση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή φαίνεται ως η πιο δημοφιλής μέθοδος για την ανάλυση της επίδοσης, αυτή απαιτεί ικανότητα στον προγραμματισμό και γρήγορο υπολογιστικό μηχάνημα, ενώ είναι και αρκετά χρονοβόρα. Επιπλέον, αρκετές αναλυτικές μέθοδοι έχουν προταθεί με την εφαρμογή κλασσικών θεωρήσεων για τις τιμές των τυχαίων παραμέτρων. Για παράδειγμα, οι κατανομές και των δύο τυχαίων χρονικών παραμέτρων (του CDT και του CHT) συνήθως θεωρείται ότι ακολουθούν εκθετικές κατανομές. Εφόσον ο αριθμός των χρηστών κινητής τηλεφωνίας ήταν σχετικά μικρός στο παρελθόν, λίγοι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούνταν και ο καθένας κάλυπτε μία αρκετά μεγάλη περιοχή, με αποτέλεσμα το CDT να ταιριάζει με την εκθετική κατανομή. Εκτός αυτού, τα πρώιμα ασύρματα δίκτυα εξυπηρετούσαν μόνο υπηρεσίες φωνής, με συνέπεια το CHT να θεωρείται τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί εκθετική κατανομή.

Στις μέρες μας, οι απαιτήσεις για ασύρματες υπηρεσίες έχουν αυξηθεί δραματικά οπότε χρειάζεται να εμπλουτιστεί ο αριθμός των διαθέσιμων διαύλων. Επομένως μια ραδιοσυχνότητα συχνά επαναχρησιμοποιείται, ενώ και το μέγεθος των κυψελών έχει μειωθεί. Το CDT έχει ερευνηθεί εκτενώς και έχει αποδειχθεί ότι δεν ακολουθεί εκθετική κατανομή. Ο χαρακτηρισμός της κατανομής του CDT γίνεται καλύτερα από πιο γενικευμένες κατανομές όπως οι gamma, Weibull, Pareto, και log-normal. Όμως αυτές δεν οδηγούν σε απλές αναλυτικές εκφράσεις για σημαντικά κριτήρια επίδοσης του συστήματος, τα οποία συχνά υπολογίζονται με τη χρήση της συνάρτησης μετασχηματισμού Laplace (LTF) της κατανομής του CDT. Η LTF της κατανομής Weibull δεν είναι ξεκάθαρη, ενώ οι LTF των Pareto και log-normal κατανομών δεν υπάρχουν, με συνέπεια, δυστυχώς, οι τεχνικές ανάλυσης της επίδοσης που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν να μην είναι πλέον κατάλληλες για αυτά τα μοντέλα CDT.

Από την άλλη μεριά, οι υπηρεσίες πολυμέσων που συστήνονται στους χρήστες κινητής τηλεφωνίας με τις «έξυπνες κινητές συσκευές» έχουν αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο αυτοί εκμεταλλεύονται τα ασύρματα δίκτυα. Για παράδειγμα οι χρήστες μπορεί να μείνουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο μόνο για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα όταν στέλνουν ένα γραπτό μήνυμα ή για πολύ περισσότερο χρόνο όταν θελήσουν να πλοηγηθούν στο διαδίκτυο. Οι μετρήσεις της χρονικής διάρκειας των υπηρεσιών φανερώνουν ότι το CHT για υπηρεσίες πολυμέσων ακολουθεί περισσότερο Weibull και Pareto κατανομές, ενώ το CHT των υπηρεσιών φωνής συνεχίζει να ακολουθεί εκθετική κατανομή.

Η ανάλυση της επίδοσης των ασύρματων δικτύων μπορεί να χωριστεί σε δύο επίπεδα. Η low-level performance analysis ασχολείται με το traffic σε μία μόνο κυψέλη του ασύρματου δικτύου. Τα μέτρα που σχετίζονται με τη low-level performance περιλαμβάνουν την πιθανότητα για μεταγωγή (μιας νέας κλήσης ή μιας κλήσης που προήλθε από handover), την απόρριψη κλήσης (για μια νέα κλήση ή μια κλήση που προήλθε από handover) και την κατανομή του χρόνου που διαρκεί η κλήση στο διάλυο. Η high-level performance analysis ασχολείται με την ποιότητα της συνολικής διαδικασίας της κλήσης και δίνει πιο πολλές πληροφορίες για τους χρήστες, ενώ η πρώτη ομάδα μέτρων επίδοσης που αναφέρθηκε πριν παρέχει αξιολογικές πληροφορίες για τους παρόχους των ασύρματων δικτύων. Η high-level performance analysis των ασύρματων δικτύων έχει μελετηθεί εκτενώς για τα κριτήρια του QoS, όπως η πιθανότητες ολοκλήρωσης της κλήσης και απόρριψης της κλήσης αντίστοιχα. Οι εκφράσεις για τα μέτρα της high-level performance παράγονται βάσει της θεώρησης του μοντέλου ομοιογενούς δικτύου. Δυστυχώς η μέθοδος υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε σε παλαιότερες έρευνες, με το συνδυασμό της LTF και του θεωρήματος υπολοίπου (residue theorem), περιορίζεται σε κάποιες κατανομές των CDT και CHT που έχουν πολυωνυμική LTF. Οι εφαρμόσιμες κατανομές είναι οι επεκτάσεις της εκθετικής κατανομής, όπως οι mixed-exponential, Erlang και mixed-Erlang κατανομές. Επιπλέον, αυτή η αναλυτική μέθοδος δεν είναι χρήσιμη για τις γενικευμένες κατανομές των CDT και CHT, όπως αυτά συναντώνται στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα.

Ακόμα, η ανάλυση της επίδοσης ενός ασύρματου δικτύου υπό την παρουσία διάλειψης καναλιού έχει γίνει ένα άκρως ενδιαφέρον αντικείμενο για τους ερευνητές

τελευταία. Εισάγοντας το cross-layer system model, συμπεριλαμβάνεται πλέον η επίδραση της διάλειψης καναλιού στη high-layer performance των ασύρματων δικτύων. Οι αναλυτικοί τύποι δίνονται με άπειρα ολοκληρώματα και αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να φανούν χρήσιμα μόνο με την κατανομή του CHT που έχει πολυωνυμική LTF.

2.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.3.1 Μοντέλα Κυκλοφορίας και Κινητικότητας στα Ασύρματα Δίκτυα

Η νέα γενιά των συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών προσφέρει μια πληθώρα από υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών (π.χ. voice, low- και high-bit-rate data, video) μέσω διαφόρων κινητών τερματικών, λειτουργώντας τόσο σε δημόσιο όσο και ιδιωτικό περιβάλλον. Επιπλέον η ικανότητα πρόσβασης των υπηρεσιών και απόκτησης πληροφορίας οπουδήποτε και οποτεδήποτε, ανεξάρτητα από το δίκτυο και το τερματικό, πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των χρηστών και να χρησιμοποιεί τα παγιωμένα δίκτυα. Το ίντερνετ και η πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό είναι το επίκεντρο πολλών ερευνών για τα προχωρημένα ασύρματα δίκτυα. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, τα δίκτυα θα πρέπει να σχεδιαστούν σαν συστήματα μεγάλης χωρητικότητας, ικανά να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις από τη μελλοντική υπερβολική αύξηση της κυκλοφορίας. Η αρχιτεκτονική θα περιλαμβάνει κυψέλες με πολλά επίπεδα, που θα αποτελούνται από macro- micro- και pico-cells. Το μοντέλο και η επίδραση του CDT στα ασύρματα δίκτυα γίνονται αντικείμενο μελέτης στα [33] και [34]. Οι κατανομές gamma, Weibull, Pareto, log-normal, και γενικευμένη gamma προτείνονται και χρησιμοποιούνται για την κατανομή του CDT στα [33]-[40].

Στα [40]-[44], η κατανομή του CHT για διαφορετικές υπηρεσίες σε ποικίλους τύπους δικτύων και η επίδρασή του στην επίδοση των ασύρματων δικτύων είναι τα κύρια θέματα της έρευνας. Στα ασύρματα δίκτυα, εμπειρικά δεδομένα του CHT έχουν μελετηθεί και αντιστοιχιστεί σε κατανομές όπως οι εκθετική, gamma, Weibull, Pareto

και log-normal κατανομές, με κάθε μία να εξαρτάται από τον τύπο των υπηρεσιών. Στο [33], η ολοκληρωμένη κλήση φωνής και δεδομένων περιγράφεται καλύτερα από την Weibull ή την Pareto κατανομή, που έχουν μια πιο μακροσκελή ιδιότητα. Πρόσφατα, τα αποτελέσματα εξομοιώσεων μέσω υπολογιστή εφαρμογών του Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) φανέρωσαν ότι η εκθετική κατανομή είναι έγκυρη μόνο για το CHT των φωνητικών κλήσεων, ενώ άλλες κλήσεις (π.χ. e-mail, IM, WWW, κλπ) αντιστοιχίζονται καλύτερα στις Weibull, Pareto ή lognormal κατανομές [34].

2.3.2 Ανάλυση της Επίδοσης των Ασύρματων Δικτύων

Η έρευνα γύρω από την ανάλυση της επίδοσης των ασύρματων δικτύων μπορεί να ομαδοποιηθεί ως προς:

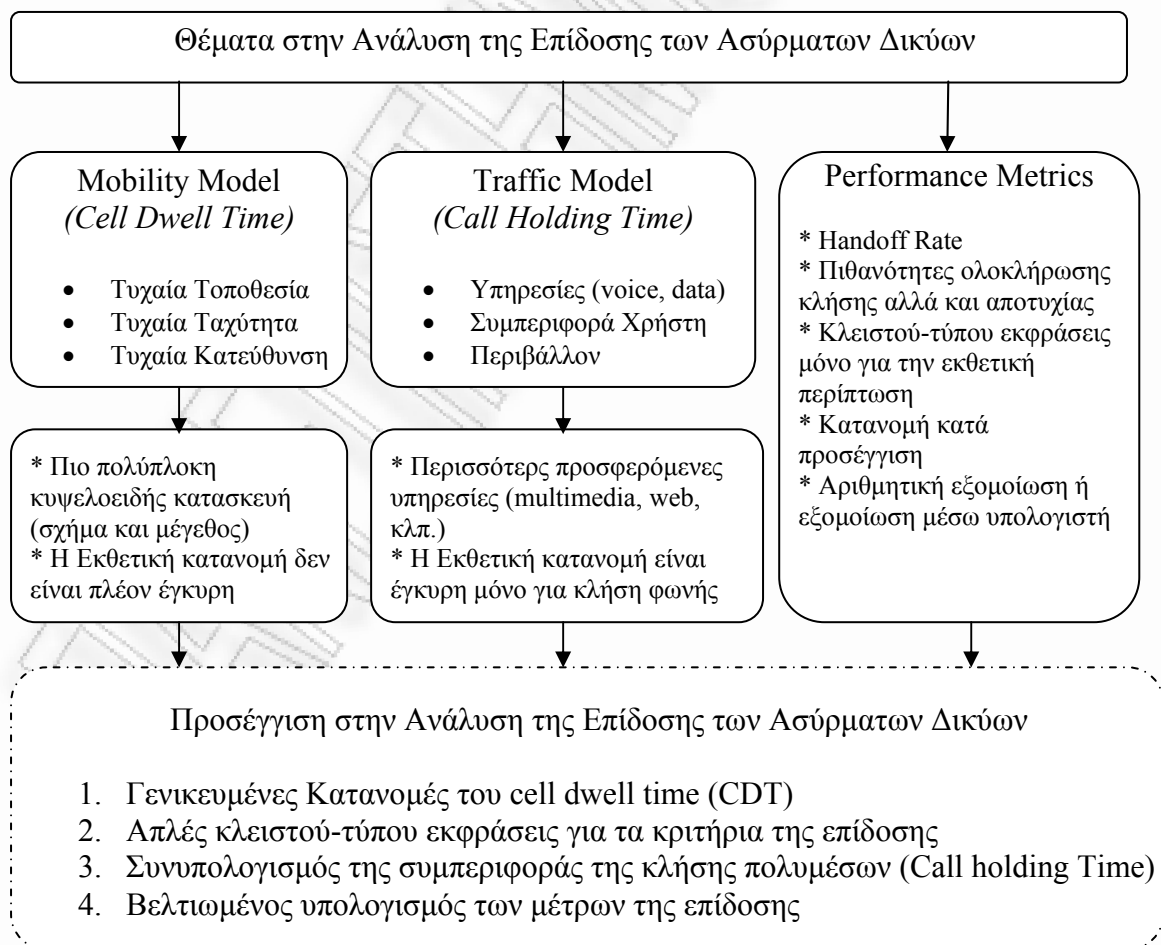
- θέματα που σχετίζονται με το handover
- low- και high-level performance analysis των ασύρματων δικτύων
- μέτρα της επίδοσης υπό την επίδραση της διάλειψης διαύλου
- τα χαρακτηριστικά της διάλειψης διαύλου

Η εκτενής έρευνα που έγινε την προηγούμενη δεκαετία επικεντρώθηκε στις τεχνικές για τη διεξαγωγή του handover και τις στατιστικές που σχετίζονται με αυτό στα κυψελοειδή δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Η εξομοίωση με τη βοήθεια υπολογιστή, που περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις αναλόγως με το αρχικό σύνολο παραμέτρων και δεδομένων, χρησιμοποιείται για να μελετηθεί η διαδικασία της μεταγωγής.

Ο Yuguang Fang [42]-[46] χρησιμοποιεί την LTF και το residue theorem για να υπολογίσει τα high-level performance μέτρα στα PCS δίκτυα. Τα ιεραρχικά κυψελοειδή δίκτυα έχουν μελετηθεί προσεγγίζοντας την κατανομή του CHT με τη διφασική υπερεκθετική κατανομή (two-phased hyper-exponential distribution) [46].

2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σε προηγούμενες έρευνες για την ανάλυση της επίδοσης των ασύρματων δικτύων, έχουν γίνει συχνά αρκετές έμφυτες υποθέσεις ώστε να προκύψουν «βολικά αποτελέσματα». Για παράδειγμα, οι κατανομές των CDT και CHT συνήθως θεωρούνται ότι είναι εκθετικές ή επεκταμένες εκδόσεις της εκθετικής κατανομής. Δυστυχώς οι κατανομές που δεν έχουν εκθετική βάση (όπως οι gamma, Weibull, Pareto, και log-normal) ταιριάζουν καλύτερα στα στατιστικά των σύγχρονων ασύρματων δικτύων. Επιπλέον, οι εκφράσεις που προκύπτουν για τον υπολογισμό των μέτρων της επίδοσης δεν είναι εκφράσεις κλειστού-τύπου και δε μπορούν να υπολογιστούν εύκολα αριθμητικά. Ο σκοπός αυτής της διατριβής είναι να προτείνει μια νέα προσέγγιση για την ανάλυση της επίδοσης των ασύρματων δικτύων με γενικευμένες κατανομές για το CDT και το CHT. Το σύνολο των θεμάτων και των στόχων της έρευνας απεικονίζονται στην Εικόνα 2.1



Εικόνα 2.1 Στόχοι της Έρευνας

- Γενικευμένες Κατανομές του Cell Dwell Time

Η προτεινόμενη προσέγγιση της ανάλυσης της επίδοσης των ασύρματων δικτύων θα είναι εφαρμόσιμη σε γενικευμένες κατανομές για το CDT. Το CDT είναι μία τυχαία μεταβλητή που προκύπτει από το mobility model που ασχολείται με την τυχαιότητα της τοποθεσίας, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των χρηστών. Σε σχέση με την κατηγορία των εκθετικών κατανομών, μία γενικευμένη κατανομή όπως η gamma, Weibull, Pareto ή log-normal χαρακτηρίζει καλύτερα την κατανομή του CDT στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα, εξαιτίας της αλλαγής του σχήματος και του μεγέθους της κυψέλης.

- Απλές εκφράσεις κλειστού-τύπου για τα κριτήρια της επίδοσης

Σε αυτή τη διπλωματική θα υπολογιστούν τα high-layer performance κριτήρια όπως

- η πιθανότητα ολοκλήρωσης/απόρριψης της κλήσης και
- ο μέσος αριθμός των μεταγωγών.

Η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης ορίζεται ως η πιθανότητα μια κλήση να συνδεθεί επιτυχώς στο σύστημα και να ολοκληρωθεί ή τερματιστεί από το χρήστη. Η πιθανότητα απόρριψης της κλήσης και ο μέσος αριθμός των handovers είναι συσχετιζόμενοι παράμετροι και μπορούν να υπολογιστούν από την πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης. Το πρόβλημα στον υπολογισμό αυτής της πιθανότητας ουσιαστικά είναι ο υπολογισμός του κομματιού της σύνθετης κατανομής που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ των CDT, CHT, και της διαδικασίας της μεταγωγής. Στη σύνθετη κατανομή, οι παράμετροι που σχετίζονται με τη διαδικασία της μεταγωγής είναι η πιθανότητα να αποτύχει η προσπάθεια για τη μεταγωγή. Ένα άλλο κομμάτι της σύνθετης κατανομής είναι η κατανομή του αθροίσματος των CDTs με το CHT σαν παράμετρο επιπέδου.

- Συνυπολογισμός της συμπεριφοράς της κλήσης πολυμέσων (Call holding Time)

Οι υπηρεσίες πολυμέσων έχουν γίνει οι πιο σημαντικές υπηρεσίες των ασύρματων δικτύων και έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από την επικοινωνία φωνής. Θα μελετηθεί το CHT αυτών των υπηρεσιών και θα εφαρμοστεί η γενικευμένη κατανομή του CHT των υπηρεσιών πολυμέσων στην προτεινόμενη ανάλυση της επίδοσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κομμάτι παρουσιάζονται κάποια προκαταρκτικά μαθηματικά αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία.

3.2 ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΥΧΑΙΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Έστω ότι X_i ($i=1,2,3,\dots$) είναι μία ακολουθία από ανεξάρτητες αλλά όχι απαραίτητα όμοιες μη αρνητικές τυχαίες μεταβλητές και έστω ότι $N=1,2,3,\dots$ είναι ένας ακέραιος. Ορίζουμε $Y_N = \sum_{k=1}^N X_k$ ως το μερικό άθροισμα των τυχαίων μεταβλητών X_i . Αν $N=n$ είναι μια γνωστή σταθερά, η κατανομή του Y_N δίνεται από:

$$\Pr(Y_N \leq x) = \Pr(Y_n \leq x) = \Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_n \leq x). \quad (3.1)$$

Αν $\{X_i\}_{i=1}^n$ είναι μία ακολουθία από ανεξάρτητες και όμοια κατανομημένες (independent identical distributed, i.i.d.) τυχαίες μεταβλητές με μία κοινή συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (cumulative distribution function, cdf) $F_X(x)$, η κατανομή του Y_N δίνεται από:

$$\Pr(Y_N \leq x) = F_{X_1} * F_{X_2} * \dots * F_{X_n}(x) = F_X^{n*}(x), \quad (3.2)$$

όπου $F_X^{n*}(x)$ είναι η n -fold συνέλιξη της $F_X(x)$. Η κατανομή του Y_N στη σχέση (3.2) συνήθως εφαρμόζεται στη διαδικασία ανανέωσης.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΤΥΧΑΙΑ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΑ

Όταν ο αριθμός των όρων στο άθροισμα, N , είναι μια μη αρνητική τυχαία μεταβλητή με ακέραια τιμή, το μερικό άθροισμα Y_N λέγεται τυχαίο άθροισμα και η τιμή του αυξάνει γραμμικά με την αύξηση του αριθμού των όρων στο άθροισμα. Η κατανομή του Y_N δίνεται από [47]:

$$\Pr(Y_N \leq x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Pr(N = k) \Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_k \leq x). \quad (3.3)$$

Η κατανομή στη (3.3) ονομάζεται σύνθετη κατανομή τυχαίου αθροίσματος (compound random sum distribution). Το είδος αυτών των κατανομών εξαρτάται από την pmf μιας τυχαίας μεταβλητής N . Αν η N είναι μια δυνωμικά κατανεμημένη τυχαία μεταβλητή με pmf [48]

$$\Pr(N = k) = \binom{m}{k} q^k (1-q)^{m-k}; \quad k \geq 0, \quad (3.4)$$

όπου $\binom{m}{k}$ είναι ο δυνωμικός συντελεστής του φυσικού αριθμού m (ο αριθμός των πειραμάτων) και του ακέραιου k (ο αριθμός των γεγονότων που έχουν συμβεί) και q είναι η πιθανότητα γεγονότος που θα συμβεί. Η *compound binomial distribution* δίνεται από:

$$\Pr(Y_N \leq x) = \sum_{k=1}^{\infty} \binom{n}{k} q^k (1-q)^{n-k} \Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_k \leq x). \quad (3.5)$$

Επίσης, αν το N είναι τυχαία μεταβλητή με γεωμετρική κατανομή και pmf [48]:

$$\Pr(N = k) = p(1-p)^{k-1}; \quad k \geq 1, \quad (3.6)$$

όπου p είναι η πιθανότητα ένα i.i.d. γεγονός να αποτύχει και $(1-p)$ η πιθανότητα να πετύχει αντίστοιχα. Τότε η σύνθετη γεωμετρική κατανομή (*compound geometric distribution*) δίνεται από:

$$\Pr(Y_N \leq x) = \sum_{k=1}^{\infty} p(1-p)^{k-1} \Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_k \leq x). \quad (3.7)$$

3.4 ΕΠΙΔΟΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Μια κλήση σε ένα ασύρματο δίκτυο τερματίζεται στην K ή κυψέλη, όπου το K είναι μία τυχαία μεταβλητή. Αυτό υποδηλώνει ότι ο χρόνος διάρκειας της κλήσης (CHT) είναι μικρότερος από το άθροισμα των πρώτων K cell dwell times (CDTs). Έστω ότι p_o είναι η πιθανότητα μια νέα κλήση να μπλοκαριστεί όταν προσπαθήσει να συνδεθεί σε ένα ασύρματο δίκτυο. Επιπλέον, έστω ότι p_D είναι η πιθανότητα απόρριψης κλήσης, δηλαδή η πιθανότητα μια νέα κλήση να συνδεθεί επιτυχώς σε ένα κυψελοειδές δίκτυο αλλά στη συνέχεια η κλήση απορρίπτεται όταν αποτύχει μια προσπάθεια για handover. Υποθέτοντας ότι η κλήση απορρίπτεται στην $(n+1)$ ή κυψέλη, συνεπάγεται ότι έχουν έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς $n-1$ handovers και η n -ή αποτυγχάνει ενώ ο call holding time της κλήσης είναι μεγαλύτερος από το n άθροισμα των cell dwell times της κλήσης. Επομένως, η πιθανότητα απόρριψης κλήσης μπορεί να οριστεί ως:

$$\begin{aligned} p_D &= (1-p_o) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c) \\ &= (1-p_o) \cdot \Pr(S_K \leq T_c) \end{aligned} \quad (3.8)$$

όπου $S_K = R_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_K$ είναι ένα τυχαίο άθροισμα από ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές. Η σχέση (3.8) είναι γνωστή ως γεωμετρικό τυχαίο άθροισμα (geometric compound random sum).

Θεώρημα Ορίου (Limit Theorem): Έστω $S_K = R_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_K$ είναι μία ακολουθία από ανεξάρτητες μη-αρνητικές τυχαίες μεταβλητές, κάθε μία με πεπερασμένο μέσο, και έστω ότι K είναι μια γεωμετρική τυχαία μεταβλητή με παράμετρο p_f ανεξάρτητη του T_n $n=1,2,\dots,K$. Τότε για αρκούντως μικρή p_f είναι το γεωμετρικό τυχαίο άθροισμα $S_K = R_1 + \sum_{n=2}^K T_n$ έχει μια εκθετική κατανομή με μέσο

$$E(S_K) = E(R_1) + [E(K) - 1] \cdot E(T) = \frac{p_f E(R_1) + (1 - p_f) E(T)}{p_f}, \quad (3.9)$$

όπου $E(K) = 1/p_f$ είναι η μέση τιμή του K , και

$$E[R_1] = \frac{1}{E(T)} \int_0^\infty f_r(\tau) d\tau = E(T^2)/2E(T) \text{ είναι το μέσο του } R_1. \text{ Επιπλέον, όταν } \{T_n\}_{n=1}^K$$

είναι i.i.d., ακολουθεί το Θεώρημα Ορίου Renyi (Renyi Limit Theorem).

Συνεπάγεται ότι όταν το T_c στη σχέση (3.8) είναι μια τυχαία μεταβλητή, τότε για δεδομένο call holding time $T_c = x$, η κατανομή του S_K δίνεται από:

$$\begin{aligned} \Pr(S_K \leq x | T_c = x) &= \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1 - p_f)^{n-1} \cdot \Pr(R_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n \leq x | T_c = x) \\ &\simeq 1 - \exp\left(\frac{-x}{E[S_K]}\right). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Χρησιμοποιώντας την (3.10), η πιθανότητα απόρριψης κλήσης στην (3.8) μπορεί να υπολογιστεί παίρνοντας το μέσο όρο της conditional probability στην κατανομή του call holding time T_c ,

$$p_D = \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \int_0^{\infty} \Pr(R_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n \leq x | T_c = x) f_{T_c}(x) dx, \quad (3.11)$$

όπου $f_{T_c}(x)$ είναι η pdf του call holding time T_c .

Εφόσον σε ένα πρακτικό κυψελοειδές δίκτυο, η p_f είναι συνήθως πολύ μικρή, τυπικά μικρότερη από 5%, παίρνουμε το μέσο όρο της κατανομής του T_c , χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Θεωρήματος Ορίου (Limit Theorem),

$$\begin{aligned} \Pr(S_K \leq T_c) &= \int_0^{\infty} \left[\lim_{p \rightarrow 0} \sum_{n=1}^{\infty} p (1-p)^{n-1} \Pr(R_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n \leq x | T_c = x) \right] f_{T_c}(x) dx \\ &\simeq \int_0^{\infty} \left[1 - \exp\left(\frac{-x}{E[S_K]}\right) \right] f_{T_c}(x) dx \\ &= 1 - \mathcal{M}_{T_c}\left(\frac{1}{E[S_K]}\right). \end{aligned} \quad (3.12)$$

όπου $\mathcal{M}_{T_c}(-s) = \int_0^{\infty} e^{-sy} f_{T_c}(y) dy$ είναι η συνάρτηση ροπογεννήτριας (Moment Generating Function, MGF) της μη-αρνητικής τυχαίας μεταβλητής T_c .

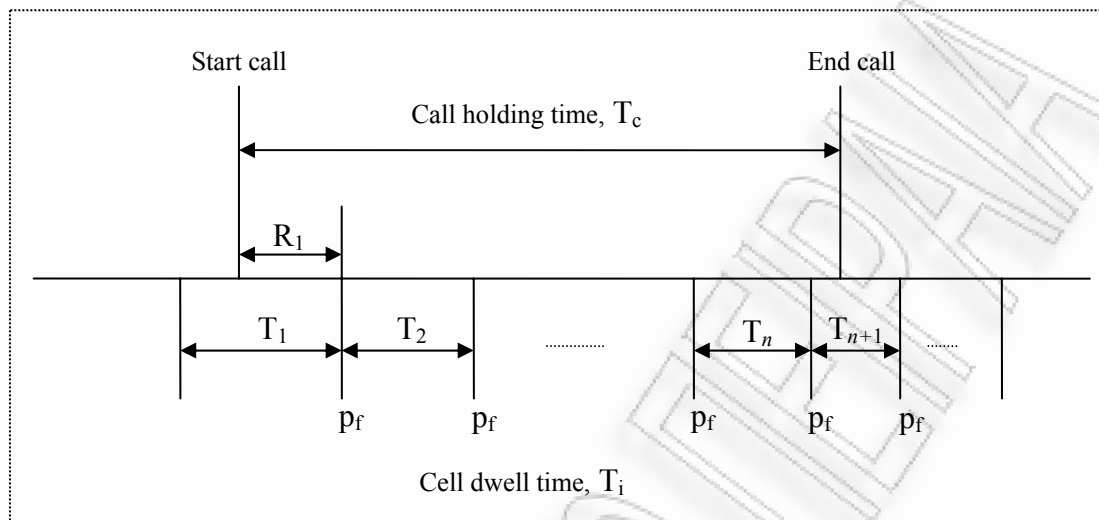
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΔΟΣΗ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρόσφατες αναλύσεις της επίδοσης των ασύρματων δικτύων [32]-[46] έχουν επικεντρωθεί στα high-level μεγέθη όπως η ολοκλήρωση/απόρριψη κλήσης και ο μέσος αριθμός των μεταγωγών. Το ασύρματο σύστημα έχει θεωρηθεί να είναι ένα ομοιογενές δίκτυο που έχει την ίδια πιθανότητα για να αποτύχει μια μεταγωγή. Η κλήση που συνδέεται επιτυχώς στο ασύρματο σύστημα και μετάγεται στην επόμενη κυψέλη (όταν ο χρήστης μετακινείται έξω από την κυψέλη) μέχρι να τερματιστεί από τον ίδιο το χρήστη, χρησιμοποιείται για να προτυποποιηθούν και να παραχθούν τα μέτρα της επίδοσης. Με αυτά σχετίζονται και οι πολύ σημαντικές τυχαίες μεταβλητές CDT και CHT. Αυτά τα μέτρα-κριτήρια μπορούν να παραχθούν σε σχέση με την κατανομή σύνθετου τυχαίου αθροίσματος και μπορούν να εφαρμοστούν με γενικές κατανομές για τα CDT και CHT. Για να διαπιστωθεί η εγκυρότητα της μεθόδου του τυχαίου αθροίσματος, σε αυτή τη μελέτη υπολογίζεται η ειδική περίπτωση των gamma κατανεμημένων CDT και CHT και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα της συμβατικής προσέγγισης (για ακέραια παράμετρο κλίμακας) [46] και της έκφρασης που μας προέκυψε με την απευθείας ολοκλήρωση (για ακέραια παράμετρο κλίμακας). Επιπλέον, υπολογίζονται τα κριτήρια της επίδοσης ενός ασύρματου δικτύου για υπηρεσίες πολυμέσων που έχουν Weibull and γενικευμένες gamma κατανομές του CHT. Τέλος, συζητείται η βελτίωση της ακρίβειας στην προσέγγιση με την κατανομή σύνθετου αθροίσματος για την περίπτωση όπου οι κατανομές του CDT έχουν βαρύτερη ουρά από την εκθετική κατανομή.

4.1.1 Μοντέλο Συστήματος



Εικόνα 4.1: Το διάγραμμα χρόνου για το call holding time και το cell dwell time.

Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται το διάγραμμα χρόνου μιας ολοκληρωμένης κλήσης σχετικά με τα CDT και CHT. Εστω ότι η τυχαία μεταβλητή T_c με pdf $f_c(t)$ δηλώνει το CHT, απεικονίζοντας τη διάρκεια του χρόνου από τη στιγμή που μία κλήση εκκινείται και συνδέεται επιτυχώς στο κυψελοειδές ασύρματο δίκτυο ως τη στιγμή που η κλήση τερματίζεται από το χρήστη του κινητού. Η διάρκεια του χρόνου που μια κινητή μονάδα βρίσκεται εντός της i -στής κυψέλης ορίζεται ως ο i -στός CDT και συμβολίζεται $T_i (i=1, 2, 3, \dots, n, n+1, \dots)$. Υποθέτουμε ότι οι CDTs είναι ανεξάρτητες και i.i.d. μη αρνητικές τυχαίες μεταβλητές με κοινή pdf, $f_T(t)$ με πεπερασμένες στιγμές, $\mu_n = E(T^n) < \infty$. Επιπλέον θεωρείται ότι η κλήση εκκινείται σε αυθαίρετο χρόνο εντός της πρώτης κυψέλης και η πραγματική διάρκεια της κλήσης στην πρώτη κυψέλη συμβολίζεται με την τυχαία μεταβλητή R_1 . Οπότε ο πρώτος CDT R_1 είναι ο χρόνος μεταξύ της στιγμής που εκκινείται η νέα κλήση και της στιγμής που ο χρήστης μετακινείται εκτός της πρώτης κυψέλης, δεδομένου ότι η κλήση δεν έχει ολοκληρωθεί. Βάσει της θεωρίας ανανέωσης, το R_1 είναι η παραμένουσα ζωή του πρώτου CDT (T_1) και η κατανομή του υπολογίζεται από:

$$f_{R_1}(t) = \frac{1}{\mu_1} \int_t^{\infty} f_T(\tau) d\tau . \quad (4.1)$$

Η n -στή στιγμή του R_1 μπορεί να βρεθεί μέσω μερικής ολοκλήρωσης ως ακολούθως:

$$E(R_1^n) = \frac{1}{\mu_1} \int_0^{\infty} t^n \int_t^{\infty} f_T(\tau) d\tau dt = \frac{\mu_{n+1}}{(n+1)\mu_1} . \quad (4.2)$$

Επίσης, έστω ότι η πιθανότητα αποτυχίας μιας απόπειρας για μεταγωγή ορίζεται ως p_f .

4.1.2 Μέτρα Επίδοσης

Εστω ότι p_0 είναι η πιθανότητα μία νέα κλήση να αποκλειστεί από τη σύνδεση με το ασύρματο δίκτυο. Η πιθανότητα απόρριψης της κλήσης (call dropping probability) ορίζεται ως η πιθανότητα μια νέα κλήση που δεν έχει προηγουμένως αποκλειστεί να συνδεθεί επιτυχώς με το κυψελοειδές δίκτυο αλλά στη συνέχεια να απορριφθεί λόγω αποτυχίας του handover. Υποτίθεται ότι η κλήση απορρίπτεται στη $(n+1)$ -στή κυψέλη (όπως στην Εικόνα 4.1), που συνεπάγεται ότι η n -στή απόπειρα για μεταγωγή της κλήσης αποτυγχάνει έπειτα από $(n-1)$ επιτυχημένες μεταγωγές, ενώ ο CHT της κλήσης είναι μεγαλύτερος από το άθροισμα των n CDTs ($R_1 + T_2 + \dots + T_n$). Επομένως, η πιθανότητα απόρριψης της κλήσης μπορεί να εκφραστεί ως [56]:

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_D &= \Pr[a \text{ call is not blocked when it is initiated, the call is later dropped due to handover failure}] \\ &= (1-p_0) \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c) . \end{aligned} \quad (4.3)$$

Επιπλέον, η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης (call completion probability), \mathcal{P}_c , ορίζεται ως η πιθανότητα μία κλήση να συνδεθεί επιτυχώς και να τερματιστεί φυσιολογικά από το χρήστη. Οπότε η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης ισούται με την πιθανότητα μία κλήση να μην έχει αποκλειστεί κατά τη σύνδεση και να μην έχει απορριφθεί λόγω αποτυχημένης μεταγωγής. Μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\begin{aligned}\mathcal{P}_c &= 1 - p_0 - \mathcal{P}_D \\ &= (1 - p_0) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1 - p_f)^{n-1} \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c) \right],\end{aligned}\quad (4.4)$$

Επιπρόσθετα, έστω ότι \mathcal{H} είναι μια τυχαία μεταβλητή που αναπαριστά τον αριθμό των handovers για μια κλήση στο ασύρματο δίκτυο, οπότε ο μέσος αριθμός των handovers δίνεται από [46]:

$$E[\mathcal{H}] = \sum_{n=1}^{\infty} n \Pr(\mathcal{H} = n) \quad (4.5)$$

όπου

$$\begin{aligned}\Pr(\mathcal{H} = 0) &= (1 - p_0) \Pr(R_1 \geq T_c) \\ \Pr(\mathcal{H} = 1) &= (1 - p_0) \Pr(R_1 \leq T_c \leq R_1 + T_2) (1 - p_f) + (1 - p_0) \Pr(R_1 \leq T_c) p_f \\ &\vdots \\ \Pr(\mathcal{H} = n) &= (1 - p_0) \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c \leq R_1 + T_2 + \dots + T_{n+1}) (1 - p_f)^n \\ &\quad + (1 - p_0) \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c) (1 - p_f)^{n-1} p_f\end{aligned}\quad (4.6)$$

Αντικαθιστώντας την (4.) στην (4.), ο μέσος αριθμός των μεταγωγών μπορεί να απλοποιηθεί ως:

$$E[\mathbb{H}] = \frac{(1-p_0)}{p_f} \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c) \quad (4.7)$$

Για ένα ασύρματο σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει αποκλεισμός κλήσης ($p_0 = p_f = 0$), ο μέσος αριθμός των μεταγωγών στην (4.) γίνεται [38]:

$$E[\mathbb{H}] = \sum_{n=1}^{\infty} \Pr(R_1 + T_2 + \dots + T_n \leq T_c), \quad (4.8)$$

που είναι μία συνάρτηση ανανέωσης (renewal function) [47]. Από τον ορισμό των πιθανοτήτων ολοκλήρωσης/απόρριψης της κλήσης και το μέσο αριθμό των μεταγωγών, η σύνθετη γεωμετρική κατανομή μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το θεώρημα υπολοίπου (residue theorem) και τους μετασχηματισμούς Laplace [47].

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \Pr\left(R_1 + \sum_{i=2}^n T_i \leq T_c\right) = p_f \sum_{p \in \sigma_c} \operatorname{Res}_{s=p} \frac{\mathcal{L}_{R_1}(-s) \mathcal{L}_{T_c}(-s)}{s^2 \{1 - (1-p_f) \mathcal{L}_T(s)\}}, \quad (4.9)$$

όπου $\mathcal{L}_{R_1}(s)$, $\mathcal{L}_T(s)$ και $\mathcal{L}_{T_c}(s)$ είναι οι συναρτήσεις μετασχηματισμού Laplace των $f_{R_1}(t)$, $f_T(t)$ και $f_{T_c}(t)$, αντίστοιχα. Στην (4.), το σ_c συμβολίζει το σύνολο των πόλων του $\mathcal{L}_{T_c}(s)$ στο δεξιό μέρος του μιγαδικού επιπέδου, και το $\operatorname{Res}_{s=p}$ συμβολίζει

το υπόλοιπο στον πόλο $s = p$ [47], [48]. Η συνάρτηση μετασχηματισμού Laplace

μιας τυχαίας μεταβλητής X ορίζεται ως $\mathcal{L}_X(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-sx) f_X(x) dx$.

Αξιοσημείωτο είναι ότι το αποτέλεσμα της (4.) απαιτεί recursive τεχνικές προγραμματισμού για να βρεθεί και βασίζεται στη θεώρηση ότι η $\mathcal{L}_{T_c}(s)$ είναι ρητή

συνάρτηση, το υπόλοιπο της οποίας ορίζεται κανονικά. Γενικά η $\mathcal{L}_{T_c}(s)$ μπορεί να μην είναι πάντοτε ρητή συνάρτηση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου ο CHT έχει gamma κατανομή με παράμετρο μη ακέραιας μορφής, το αποτέλεσμα της (4.)

δεν εφαρμόζεται. Επίσης, η $\mathcal{L}_{R_1}(s)$ και η $\mathcal{L}_T(s)$ για κάποιες πρακτικές κατανομές μπορεί να μην ορίζονται κανονικά ή μπορεί ακόμα και να μην υπάρχουν.

4.1.3 Μέτρα Επίδοσης με χρήση του Γεωμετρικού Τυχαίου Αθροίσματος

Έστω $S_K = R_1 + \sum_{i=2}^K T_i$, όπου το K είναι μία γεωμετρικά κατανομημένη τυχαία μεταβλητή με παράμετρο p_f . Από τη (3.14), η κατανομή του S_K είναι κατανομή σύνθετου γεωμετρικού τυχαίου αθροίσματος που δίνεται από:

$$\Pr(S_K \leq T_c) = \sum_{n=1}^{\infty} p_f (1-p_f)^{n-1} \Pr\left(R_1 + \sum_{i=2}^n T_i \leq T_c\right). \quad (4.10)$$

Είναι αξιοσημείωτο πως ο CHT, T_c είναι τυχαία μεταβλητή και η κατανομή του S_K στην (4.) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την τροποποιημένη εκθετική προσέγγιση. Δηλαδή,

$$\Pr(S_K \leq T_c) \approx 1 - \mathcal{M}_{T_c}\left(\frac{-1}{E(S_K)}\right), \quad (4.11)$$

όπου $E(S_K) = [p_f E(R_1) + (1-p_f)\mu_1] / p_f$. Χρησιμοποιώντας τη σχέση (4.2),

$$E(R_1) = \mu_2 / 2\mu_1 \quad \text{και} \quad \eta \quad \text{αναμονή} \quad \text{του} \quad S_K \quad \text{γίνεται}$$

$$E(S_K) = [p_f (\mu_2 / 2\mu_1) + (1-p_f)\mu_1] / p_f.$$

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου η πιθανότητα διακοπής κλήσης (call dropping probability) δίνεται από

$$p_D = (1-p_o) \left[1 - \mathcal{M}_{T_c}\left(\frac{-p_f}{p_f E(R_1) + (1-p_f)E(T)}\right) \right], \quad (4.12)$$

ενώ η πιθανότητα επιτυχημένης κλήσης (probability of call completion) δίνεται από

$$\begin{aligned} p_c &= (1-p_o - p_D) \\ &= (1-p_o) \mathcal{M}_{T_c}\left(\frac{-p_f}{p_f E(R_1) + (1-p_f)E(T)}\right) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Επιπλέον ο μέσος αριθμός μεταγωγών στο δίκτυο δίνεται από

$$\begin{aligned}
 E(\mathbb{H}) &= (1 - p_o) \cdot \Pr(S_K \leq T_c) \cdot E(K) \\
 &= \frac{(1 - p_o)}{p_f} \left\{ 1 - \mathcal{M}_{T_c} \left[\frac{-p_f}{p_f E(R_1) + (1 - p_f) E(T)} \right] \right\} \\
 &= \frac{(1 - p_o - p_c)}{p_f}, \tag{4.14}
 \end{aligned}$$

Χρησιμοποιώντας την τροποποιημένη εκθετική προσέγγιση της (4.11) στην (4.14), ο μέσος αριθμός των handovers μπορεί να εκφραστεί ως:

$$E[\mathbb{H}] \approx \frac{(1 - p_o)}{p_f} \left[1 - \mathcal{M}_{T_c} \left(\frac{-p_f}{p_f (\mu_2/2\mu_1) + (1 - p_f) \mu_1} \right) \right]. \tag{4.15}$$

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιώντας τη σχέση (4.11) στην (4.12), η πιθανότητα απόρριψης της κλήσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\mathcal{P}_D \approx (1 - p_o) \left[1 - \mathcal{M}_{T_c} \left(\frac{-p_f}{p_f (\mu_2/2\mu_1) + (1 - p_f) \mu_1} \right) \right], \tag{4.16}$$

όπου φαίνεται καθαρά η σχέση $E[\mathbb{H}] = \mathcal{P}_D / p_f$. Ομοίως, χρησιμοποιώντας τη σχέση (4.11) στην (4.13), η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης γίνεται:

$$\mathcal{P}_c \approx (1 - p_o) \mathcal{M}_{T_c} \left(\frac{-p_f}{p_f (\mu_2/2\mu_1) + (1 - p_f) \mu_1} \right). \tag{4.17}$$

Σημειώνεται ότι η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθεί η πιθανότητα απόρριψης της κλήσης και ο μέσος αριθμός των μεταγωγών:

$$E[\mathbb{H}] = \mathcal{P}_D / p_f = (1 - p_o - \mathcal{P}_c) / p_f. \tag{4.18}$$

4.2 GAMMA-ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ CDT ΚΑΙ CHT

Εδώ υπολογίζεται η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης για την ειδική περίπτωση των gamma κατανεμημένων CDT και CHT. Θεωρείται πως οι CDTs είναι i.i.d. gamma τυχαίες μεταβλητές με κοινή pdf που δίνεται από:

$$f_T(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-t/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, \quad t \geq 0, \quad (4.19)$$

και τις αντίστοιχες στιγμές $\mu_n = \beta^n \Gamma(\alpha + n)/\Gamma(\alpha)$, όπου $\Gamma(\cdot)$ είναι μία συνάρτηση gamma [48]. Θεωρείται επίσης ότι ο CHT ακολουθεί gamma κατανομή που δίνεται από:

$$f_{T_c}(t) = \frac{t^{\eta-1} e^{-t/\gamma}}{\gamma^\eta \Gamma(\eta)}, \quad t \geq 0, \quad (4.20)$$

με αντίστοιχη MGF [50]

$$\mathcal{M}_{T_c}(-s) = (1 + \gamma s)^{-\eta} \quad (4.21)$$

4.2.1 Αποτελέσματα των Μέτρων της Επίδοσης

Χρησιμοποιώντας στιγμές του T_i και την MGF του gamma κατανεμημένου T_c στη σχέση (4.1), η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης γίνεται:

$$\mathcal{P}_c \approx (1 - p_o) \left(1 + \frac{\gamma p_f}{p_f [\beta(\alpha + 1)/2] + (1 - p_f)(\alpha\beta)} \right)^{-\eta}. \quad (4.22)$$

Για την ειδική περίπτωση που ο CDT είναι εκθετικά κατανεμημένος ($\alpha = 1$) και ο CHT είναι επίσης εκθετικά κατανεμημένος ($\eta = 1$), η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης στη σχέση (4.22) γίνεται $(1 - p_o)/(1 + \gamma p_f/\beta)$, που συμφωνεί με τα αποτελέσματα που δίνονται στο [46].

Επίσης, η πιθανότητα διακοπής είναι:

$$\mathcal{P}_D \approx 1 - p_o - \mathcal{P}_c = (1 - p_o) \left[1 - \left(1 + \frac{\gamma p_f}{p_f [\beta(\alpha+1)/2] + (1-p_f)(\alpha\beta)} \right)^{-\eta} \right] \quad (4.23)$$

και ο μέσος αριθμός μεταγωγών

$$E[\mathcal{H}] \approx \frac{(1-p_o)}{p_f} \left[1 - \left(1 + \frac{\gamma p_f}{p_f [\beta(\alpha+1)/2] + (1-p_f)(\alpha\beta)} \right)^{-\eta} \right] \quad (4.24)$$

4.2.2 Αριθμητικά Αποτελέσματα

Σε αυτό το τμήμα του κεφαλαίου παρουσιάζονται κάποια αριθμητικά αποτελέσματα για να καταδειχθεί εμφανώς η ακρίβεια της παραπάνω μεθόδου, τα οποία συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο Matlab.

Στο Σχήμα 4.2, παρουσιάζεται η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης για τρεις διαφορετικές τιμές της πιθανότητας αποτυχίας της μεταγωγής, p_f , για διαφορετικές τιμές του call-to-mobility factor, που ορίζεται ως $\rho = E(T_c)/E(T)$. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κάποια ευδιάκριτη διαφορά στο αποτέλεσμα που υπολογίζεται από τη σχέση (4.22) και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος.

Τα Σχήματα 4.3 και 4.4 δείχνουν αντίστοιχα την πιθανότητα διακοπής κλήσης και το μέσο αριθμό των handovers για τρεις διαφορετικές τιμές της πιθανότητας αποτυχίας της μεταγωγής, p_f , για διαφορετικές τιμές του call-to-mobility factor. Παρατηρείται επίσης ότι τα αποτελέσματα των αναλυτικών εκφράσεων (4.23) και (4.24) είναι πολύ κοντά σε αυτά της προσομοίωσης.

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΗΣ ΚΛΗΣΗΣ

```
clear;
N=50000;
po=0.02;
p_fail=0.02;
```

```

alpha=0.5;
bita=1.5;

gama=1.5;

n=1;
for ro=30:5:30
    fail=0;

    hta=ro*alpha*bita/gama;

    for i=1:N
        rej=0;
        temp = fail;

        p1=random('unif',0, 1);
        if p1>=1-po
            fail=fail+1;
        end

        % If Login to Network was successful
        if fail == temp
            Tc = random('gamma', hta, gama);
            Tres = Tc;

            T = random('gamma', alpha, bita);
            R = random('unif', 0, T);
            Tres = Tres - R;

            while Tres > 0

                h=random('unif',0, 1);

                if h>=(1-p_fail)
                    fail = fail+1;
                    break;
                end
                T = random('gamma', alpha, bita);
                Tres = Tres - T;
            end

        end % Login Failed
    end % N

    pc_sim(n) = (1 - fail/N)

    mean_t = alpha*bita;

    z_f=p_fail/(p_fail*(alpha+1)*bita/2+(1-p_fail)*mean_t);

    term=(1+gama*z_f)^(-hta);

    pc_th(n) =(1-po)*term;

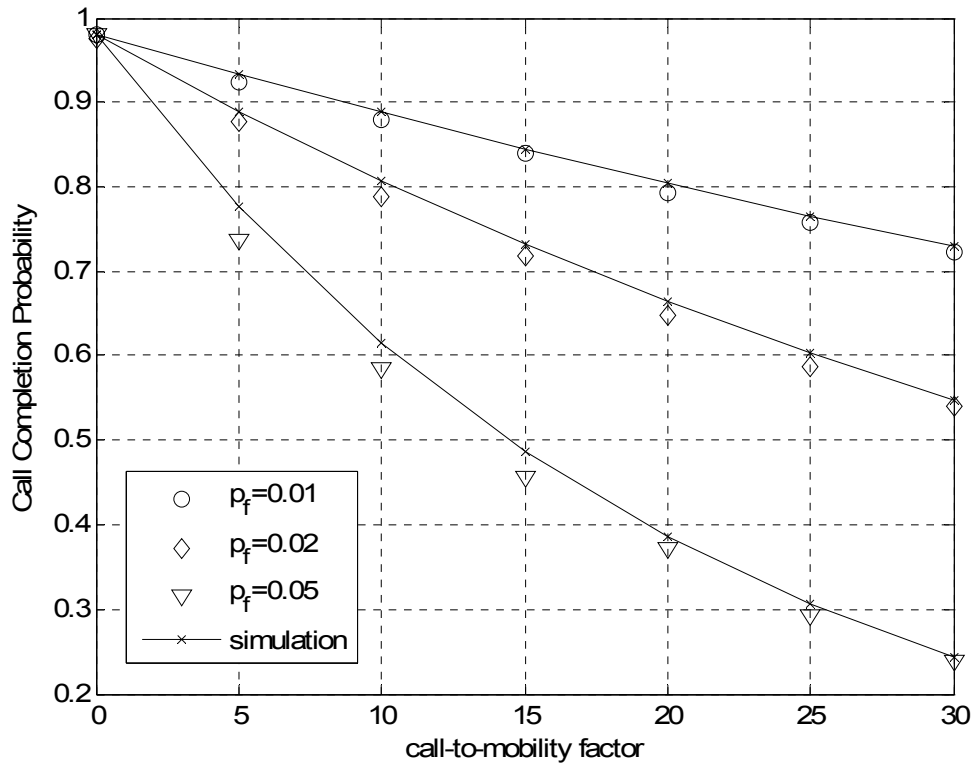
    r(n) = ro;
    n=n+1;
end %ro

```

```

plot(r,pc_sim,'ko', r, pc_th,'k-')
%save pc_p2_f2_l0_k1 pc_sim pc_th

```



Σχήμα 4.2: πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης για τρεις διαφορετικές τιμές της πιθανότητας αποτυχίας της μεταγωγής, p_f , για διαφορετικές τιμές του call-to-mobility factor $\rho = E(T_c)/E(T)$

ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΚΛΗΣΗΣ

```

clear;

N=50000;

po=0.02;
p_fail=0.02;

alpha=0.5;
bita=1.5;
gama=1.5;

n=1;

```

```

for ro=0:5:30
    fail=0;
    hta=ro*alpha*bita/gama;

for i=1:N

    Tc = random('gamma', hta, gama);
    Tres = Tc;

    T = random('gamma', alpha, bita);
    R = random('unif', 0, T);
    Tres = Tres - R;

    while Tres > 0 && fail==temp

        h=random('unif',0, 1);

        if h>=(1-p_fail)
            fail = fail+1;
            break;
        end
        T = random('gamma', alpha, bita);
        Tres = Tres - T;
    end
end
pd_sim(n) = fail/N

mean_t = alpha*bita;
R1 = (alpha+1)*bita/2;
z_f=p_fail/(p_fail*R1+(1-p_fail)*mean_t);

term=(1+gama*z_f)^(-hta);

pd_th(n) =(1-po)*(1-term);

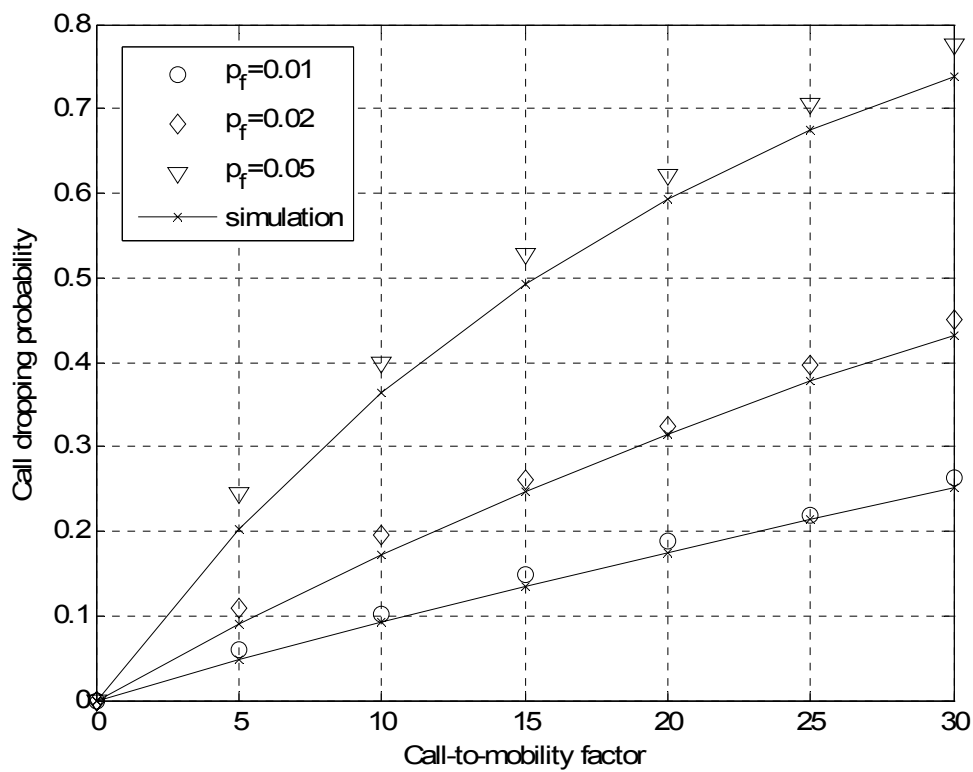
r(n) = ro;
n=n+1;

end %ro

plot(r,pd_sim,'ko', r, pd_th,'kx-')

save pd_p2_g05_15_g15 pd_sim pd_th

```

Σχήμα 4.3: πιθανότητα διακοπής κλήσης και το μέσο αριθμό των handovers για διαφορετικές τιμές της gamma κατανομής για τον CHT και τον CDT.

Μέσος αριθμός handoffs

```

clear;

N=5000;

po=0.02;
p_fail=0.02;

alpha=0.5;
bita=1.5;
gama=1.5;

i=1;
for ro=20:5:30

    hta=ro*alpha*bita/gama;

for q=1:N

    fail=0;
    n=0;

    Tc = random('gamma', hta, gama);
    Tres = Tc;
    T = zeros(1,K);

```

```

T1 = random('gamma', alpha, bita);
T(1) = random('unif', 0, T1);
Tres = Tres - T(1);

while Tres > 0

h=random('unif',0, 1);

if h>=(1-p_fail)
    fail = 1;
    break;
end
n=n+1;
T(n+1) = random('gamma', alpha, bita);
Tres = Tres - T(n+1);

end    % while

k=0;
if fail ~= 0
    result = Tres;
    while result > 0 && T(k+1)~=0
        result = result - T(k+1);
        k=k+1;
    end
    H(q)=k;
else
    H(q)=n;
end

end    %N

hand = zeros(1,max(H)+1);
for d=1:N
    for t=0:max(H)
        if H(d)==t
            hand(t+1)=hand(t+1)+1;
        end
    end
end

av_H(i) = sum([0:max(H)].*hand)./N
mean_t = alpha*bita;
R1 = (alpha+1)*bita/2;
z_f=p_fail/(p_fail*R1+(1-p_fail)*mean_t);

term=(1+gama*z_f)^(-hta);

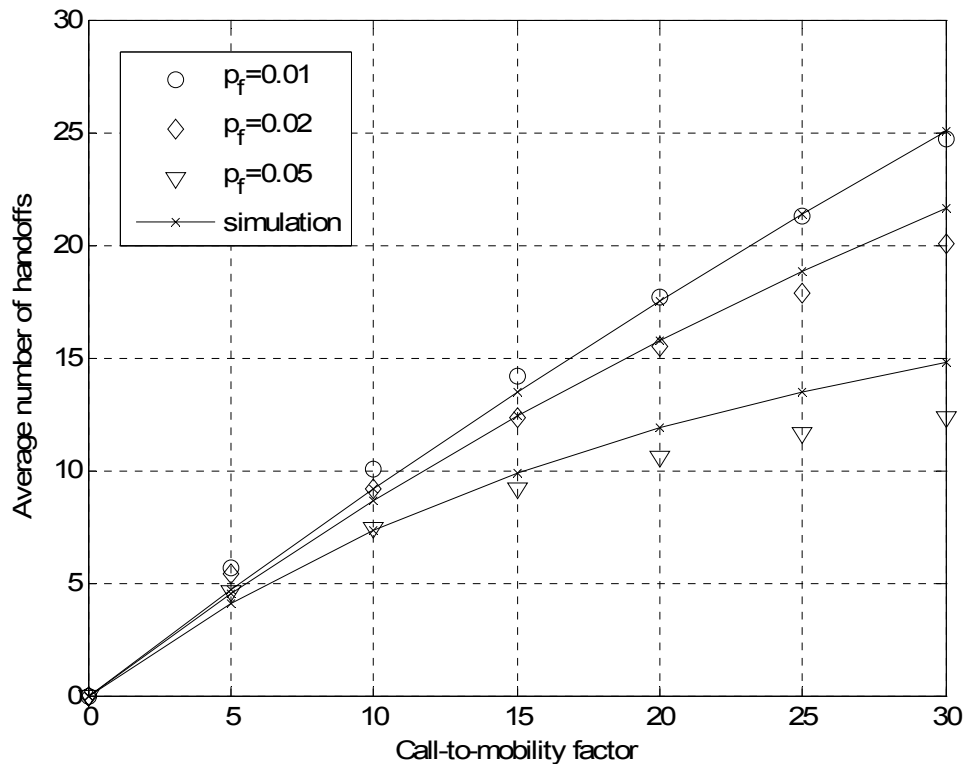
avH_th(i) =(1-po)*(1-term)/p_fail;

r(i) = ro;
i=i+1;
end    %ro

plot(r,avH_sim,'ko', r, avH_th,'kx-')

save avH_p2_g05_15_g15 avH_sim avH_th

```



Σχήμα 4.4 μέσος αριθμός μεταγωγών για τρεις διαφορετικές τιμές της πιθανότητας αποτυχίας της μεταγωγής, p_f , για διαφορετικές τιμές του call-to-mobility factor $\rho = E(T_c)/E(T)$

4.3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΜΕ WEIBULL ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ CHT

Τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα σκοπεύουν να μικρύνουν το χάσμα μεταξύ των ασύρματων και ενσύρματων υπηρεσιών προσφέροντας αυξημένους ρυθμούς εκπομπής δεδομένων και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Επομένως, τα κυβελοειδή δίκτυα έχουν αναπτυχθεί για να φιλοξενούν ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, το instant text messaging, το κατέβασμα μουσικής και video, το video-conferencing και την πλοήγηση στο World Wide Web. Ένας χρήστης μπορεί να βιώσει υπηρεσίες web μέσω μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου κατά τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιεί έναν προσωπικό υπολογιστή συνδεδεμένο σε ένα

ενδύρματο δίκτυο [1]. Ο CHT έχει μελετηθεί για μία ποικιλία ειδών κλήσης [32]-[38]. Για τα ενσύρματα δίκτυα, οι Weibull και Pareto κατανομές έχουν χρησιμοποιηθεί για να προτυποποιήσουν τον CHT των υπηρεσιών με πακέτα δεδομένων ολοκληρωμένης φωνής και πολυμέσων [38]. Για τα ασύρματα δίκτυα, τα εμπειρικά δεδομένα για τον multimedia CHT της video-τηλεφωνίας, του instant messaging, κλπ., έχουν αντιστοιχιστεί σε κατανομές όπως οι Weibull και Pareto, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα [34].

Applications	Active state (ON)			Inactive state (OFF)	
	Average [s]	File size [kB]	Distribution	Average [s]	Distribution
Voice	1.4	2.14	Exponential	1.7	Exponential
Multimedia Web Browsing	5	240	Pareto	13	Pareto
Multimedia Instant Messaging	5	640	Weibull	90	Pareto
Assistance in Travel	60	11520	Weibull	14	Pareto
Wireless LAN Interconnection	5	7988	Weibull	1	Pareto

Πίνακας 4.1 Στατιστική Κατανομή Υπηρεσιών των Enhanced UMTS Wireless Networks [34, Table 12].

4.3.1 Κατανομή Weibull για CHT

Ο CHT, T_c , θεωρείται ότι ακολουθεί Weibull κατανομή με την pdf να δίνεται από:

$$f_{T_c}(t) = \frac{\nu}{\lambda^\nu} t^{\nu-1} e^{-(t/\lambda)^\nu}, \quad t \geq 0, \quad (4.25)$$

όπου λ είναι η παράμετρος κλίμακας και ν είναι η παράμετρος μορφής. Η LTF της Weibull κατανομής στην (4.5) ορίζεται από [50]:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{T_c}(x) &= \int_0^\infty e^{-xt} f_{T_c}(t) dt \\ &= \frac{\nu}{\lambda^\nu} \int_0^\infty t^{\nu-1} e^{-xt} e^{-(t/\lambda)^\nu} dt. \end{aligned} \quad (4.26)$$

Σημειώνεται ότι η εκθετική συνάρτηση στην (4.26) μπορεί να εκφραστεί βάσει του αντίστροφου μετασχηματισμού Mellin [50]:

$$e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\nu}} = \frac{1}{2\pi i} \int_{\delta-i\infty}^{\delta+i\infty} \Gamma(s) \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{-\nu s} ds, \quad \delta > 0 \quad (4.27)$$

όπου $i = \sqrt{-1}$. Αντικαθιστώντας την (4.27) στην (4.26), προκύπτει:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{\nu}{\lambda^{\nu}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\delta-i\infty}^{\delta+i\infty} \Gamma(s) \lambda^{\nu s} \int_0^{\infty} t^{\nu-\nu s-1} e^{-xt} dt ds, \quad \delta > 0. \quad (4.28)$$

Υπολογίζοντας το εσωτερικό ολοκλήρωμα, προκύπτει [50]:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{\nu}{(x\lambda)^{\nu}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\delta-i\infty}^{\delta+i\infty} \Gamma(s) \Gamma(\nu-\nu s) (x\lambda)^{\nu s} ds, \quad \delta > 0. \quad (4.29)$$

Θεωρώντας ότι η παράμετρος μορφής ν είναι ρητός αριθμός, δηλ. $\nu = j/k$ με τα j και k να είναι ακέραιοι και αντικαθιστώντας το s με ks , η LTF του T_c γίνεται:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{(j)}{(x\lambda)^{j/k}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\delta-i\infty}^{\delta+i\infty} \Gamma(ks) \Gamma[j(1/k-s)] (x\lambda)^{js} ds, \quad \delta > 0. \quad (4.30)$$

Χρησιμοποιώντας τον τύπο πολλαπλασιασμού του Gauss (Gauss multiplication formula), προκύπτει:

$$\Gamma[j(1/k-s)] = (2\pi)^{\frac{1-j}{2}} j^{\frac{j}{k}-js-\frac{1}{2}} \prod_{n=0}^{j-1} \Gamma\left(\frac{1}{k}-s+\frac{n}{j}\right), \quad (4.31)$$

και

$$\Gamma[ks] = (2\pi)^{\frac{1-k}{2}} k^{ks-\frac{1}{2}} \prod_{m=0}^{k-1} \Gamma\left(s+\frac{m}{k}\right). \quad (4.32)$$

Αντικαθιστώντας την (4.31) και την (4.32) στην (4.30), προκύπτει:

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}_{T_c}(x) &= \frac{j^{\frac{j+1}{k}}}{k^{\frac{1}{2}}(x\lambda)^{j/k}} (2\pi)^{1-\frac{j-k}{2}} \frac{1}{2\pi i} \int_{\delta-i\infty}^{\delta+i\infty} \prod_{n=0}^{j-1} \Gamma\left(\frac{1}{k} + \frac{n}{j} - s\right) \prod_{m=0}^{k-1} \Gamma\left(\frac{m}{k} + s\right) \left[k^k \left(\frac{x\lambda}{j}\right)^j \right]^s ds \\
&= \left(\frac{j}{x\lambda}\right)^{j/k} \sqrt{\frac{j(2\pi)^{2-j-k}}{k}} G_{k,j}^{j,k} \left[k^k \left(\frac{x\lambda}{j}\right)^j \left| \begin{array}{c} 1, 1-\frac{1}{k}, 1-\frac{2}{k}, \dots, 1-\frac{k-1}{k} \\ \frac{1}{k}, \frac{1}{k} + \frac{1}{j}, \frac{1}{k} + \frac{2}{j}, \dots, \frac{1}{k} + \frac{j-1}{j} \end{array} \right. \right], \quad (4.33)
\end{aligned}$$

όπου έχουμε τον ορισμό της Meijer-G συνάρτησης [51]. Όταν το ν είναι ακέραιος (π.χ., $k=1$ και $j=\nu$), η σχέση (4.33) απλοποιείται σε:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \left(\frac{\nu}{x\lambda}\right)^{\nu} \sqrt{\nu(2\pi)^{1-\nu}} G_{1,\nu}^{\nu,1} \left[\left(\frac{x\lambda}{\nu}\right)^{\nu} \left| \begin{array}{c} 1 \\ 1, 1+\frac{1}{\nu}, \dots, 1+\frac{\nu-1}{\nu} \end{array} \right. \right]. \quad (4.34)$$

Σημειώνεται ότι για την ειδική περίπτωση όπου $\nu=1$ (εκθετική κατανομή), η LTF απλοποιείται επιπλέον σε:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{1}{x\lambda} G_{1,1}^{1,1} \left[xb \left| \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \right. \right] = {}_1F_0(1; -x\lambda) = \frac{1}{1+x\lambda}, \quad (4.35)$$

όπως αναμενόταν.

Η παράμετρος μορφής ν της Weibull κατανομής μπορεί να πάρει τιμές από 0 ως ∞ . Στην ειδική περίπτωση όπου $\nu=1$ γίνεται εκθετική κατανομή και όταν $\nu=2$ συγκρύνεται στην κατανομή Rayleigh. Για $\nu < 1$, η κατανομή Weibull ανήκει σε μία υπο-εκθετική τάξη κατανομών με heavy tail ιδιότητα [38]. Στη συνέχεια ερευνάται η κατανομή Weibull για τις οριακές τιμές του ν (i.e., ν τείνει στο μηδέν ή στο άπειρο). Από το [48], η μέση τιμή και η διακύμανση της Weibull κατανομής είναι $E(X) = \lambda\Gamma(1+1/\nu)$ και $Var(X) = \lambda^2 \left\{ \Gamma(1+2/\nu) - [\Gamma(1+1/\nu)]^2 \right\}$, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 4.7 φαίνονται η μέση τιμή και η διακύμανση σε σχέση με την παράμετρο μορφής ν όταν $\lambda=1$. Σημειώνοντας ότι $\lim_{\nu \rightarrow \infty} \Gamma(1+n/\nu) = 1$, για $n < \infty$, παρατηρείται

ότι καθώς η παράμετρος ν τείνει στο άπειρο, η μέση τιμή τείνει στην παράμετρο κλίμακας $\lambda = 1$ ενώ η διακύμανση τείνει στο μηδέν. Από αυτό συνεπάγεται ότι καθώς η παράμετρος μορφής τείνει στο άπειρο, η pdf τείνει σε μία σταθερή τιμή, π.χ. $f_{T_c}(t) = \delta(t - \lambda)$ και η LTF γίνεται:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \int_0^{\infty} e^{-xt} \delta(t - \lambda) dt = e^{-x\lambda}. \quad (4.36)$$

Αντίθετα, όταν η παράμετρος μορφής τείνει στο μηδέν, όλες οι gamma συναρτήσεις στις εκφράσεις της μέσης τιμής και της διακύμανσης τείνουν στο άπειρο. Επομένως, οι τιμές της μέσης τιμής και της διακύμανσης τείνουν επίσης στο άπειρο. Συνεπώς, η ουρά της κατανομής Weibull γίνεται βαριά και ανήκει σε μία υπο-εκθετική τάξη βαριάς ουράς. Συνεπάγεται λοιπόν ότι η pdf της κατανομής Weibull τείνει στην ομοιόμορφη κατανομή στο ολοκλήρωμα $(0, \lambda/\nu)$, i.e., $f_{T_c}(t) = \nu/\lambda$, $0 \leq t \leq \lambda/\nu$, και η LTF γίνεται:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{\nu}{\lambda} \int_0^{\lambda/\nu} e^{-xt} dt = \frac{\nu}{\lambda x} (1 - e^{-\lambda x/\nu}). \quad (4.37)$$

Σημειώνεται ότι όσο η τιμή της παραμέτρου μορφής ν γίνεται μικρότερη, η ομοιόμορφη κατανομή γίνεται ευρύτερη.

4.3.2 Πιθανότητα Ολοκλήρωσης της Κλήσης για Weibull κατανεμημένο CHT

Χρησιμοποιώντας την LTF (ισοδύναμη με την MGF) της κατανομής Weibull της σχέσης (4.33) στην (4.17), η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης μπορεί να βρεθεί από:

$$\mathcal{P}_c \approx \frac{(1-p_o)j^{\frac{j+1}{k}}(2\pi)^{1-\frac{j}{2}\frac{k}{2}} \left\{ \frac{p_f(\mu_2/2\mu_1)+(1-p_f)\mu_1}{\lambda p_f} \right\}^{j/k}}{k^{\frac{1}{2}}} \times G_{k,j}^{j,k} \left[k^k \left(\frac{\lambda p_f}{j \{ p_f(\mu_2/2\mu_1)+(1-p_f)\mu_1 \}} \right)^j \left[\begin{array}{c} 1, 1-\frac{1}{k}, 1-\frac{2}{k}, \dots, 1-\frac{k-1}{k} \\ \frac{1}{k}, \frac{1}{k} + \frac{1}{j}, \frac{1}{k} + \frac{2}{j}, \dots, \frac{1}{k} + \frac{j-1}{j} \end{array} \right] \right]. \quad (4.38)$$

Όταν η παράμετρος μορφής ν της κατανομής Weibull τείνει στο άπειρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση (4.36) στην (4.17) και η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης γίνεται:

$$\mathcal{P}_c \approx (1-p_o) e^{-\lambda p_f / [p_f(\mu_2/2\mu_1)+(1-p_f)\mu_1]}. \quad (4.39)$$

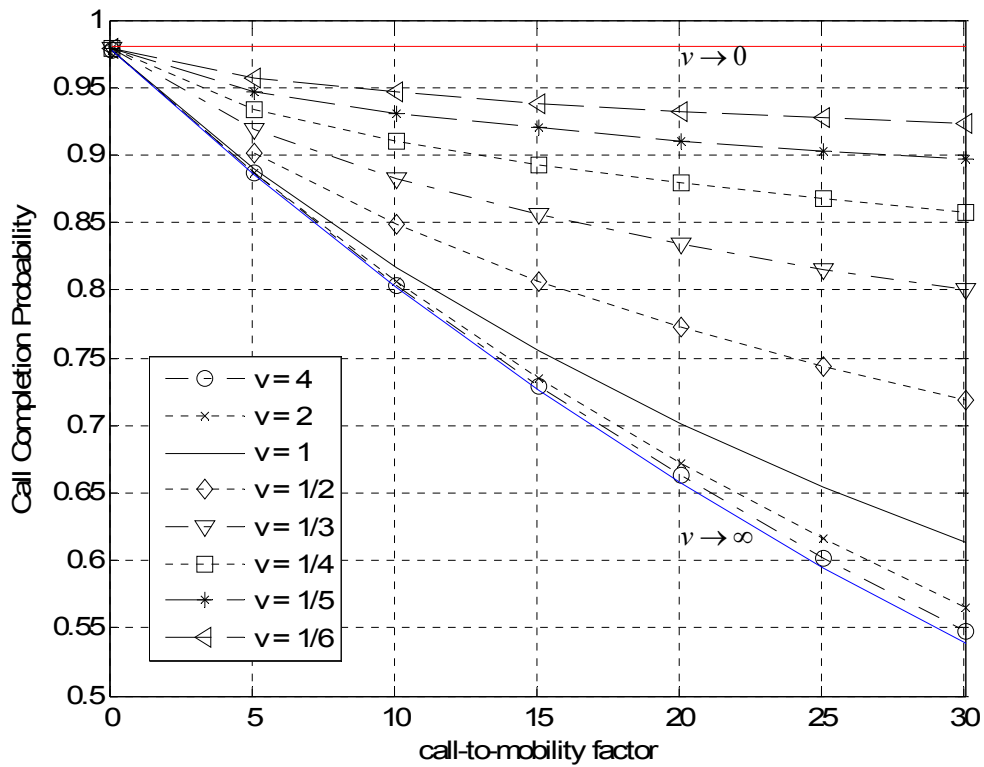
Ομοίως, όταν η παράμετρος μορφής ν της κατανομής Weibull τείνει στο μηδέν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση (4.37) στην (4.17) για να προκύψει:

$$\mathcal{P}_c \approx (1-p_o) \nu \left(1 - e^{-\lambda p_f / \nu \{ p_f(\mu_2/2\mu_1)+(1-p_f)\mu_1 \}} \right) \left\{ p_f(\mu_2/2\mu_1)+(1-p_f)\mu_1 \right\} / (\lambda p_f). \quad (4.40)$$

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται κάποια αριθμητικά αποτελέσματα για την πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης βάσει των Weibull κατανεμημένων CHTs. Για τον CDT, θεωρείται ότι οι T_i ($i=1,2,3,\dots,K,\dots$) έχουν i.i.d. gamma κατανομές με παραμέτρους (α, β) και οι πρώτες δύο στιγμές είναι $\mu_1 = \alpha\beta$ και $\mu_2 = \alpha(\alpha+1)\beta^2$ [49]. Σαν αποτέλεσμα, έχουμε $E(R_1) = \mu_2/2\mu_1 = \beta(\alpha+1)/2$. Οι αντίστοιχες παράμετροι σχεδιάζονται σε σχέση με τον call-to-mobility factor, $\rho = \frac{b\Gamma(1+1/\nu)}{(\alpha\beta)}$.

Θεωρούμε ότι $p_o = p_f = 0.02$ in σε όλα τα αριθμητικά αποτελέσματα. Στο Σχήμα 4.5 η πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης σχεδιάζεται για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου μορφής ν της κατανομής του CHT, ενώ οι CDTs ακολουθούν i.i.d. gamma κατανομές με παραμέτρους $(\alpha=0.5, \beta=1.5)$. Τα αποτελέσματα για τις οριακές περιπτώσεις του ν δίνουν τα άνω και κάτω όρια στην Εικόνα. 4.5.

Σημειώνεται ότι, όταν η παράμετρος μορφής μειώνεται, η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης αυξάνεται και είναι λιγότερο ευαίσθητη στην κινητικότητα του χρήστη. Ακόμα, η επίδραση της παραμέτρου μορφής στην επίδοση του συστήματος είναι αμελητέα όταν η τιμή της είναι μεγαλύτερη από δύο. Όμως, στην υπο-εκθετική περιοχή ($0 < \nu < 1$), η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης είναι πολύ ευαίσθητη σε αλλαγές στην τιμή της παραμέτρου μορφής.



Σχήμα 4.5 Πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης συναρτήσει του call-to-mobility factor για $p_f = p_o = 0.02$ με $T_c \sim \text{Weibull}(\nu, 1)$ και T_i 's \sim i.i.d. $\text{Gamma}(0.5, 1.5)$.

4.4 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΜΕ GENERALIZED GAMMA ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟ CHT

Η γενικευμένη gamma κατανομή είναι μια γενικευμένη κατανομή για αρκετές από τις καλά γνωστές κατανομές, όπως συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Γενικευμένη Gamma (c, b, ν)	c	b	ν
Εκθετική (μ)	1	μ	1
Erlang (m, b)	Ακέραιος (m)	b	1
Gamma (α, β)	α	β	1
Weibull (β, λ)	1	β	λ
Lognormal (m, σ) $\lambda^2 \alpha \rightarrow 1/\sigma^2, \beta \alpha^{1/\lambda} \rightarrow m$	$\alpha \rightarrow \infty$	$\beta \rightarrow \infty$	$\lambda \rightarrow 0$
Pareto (b, p) $\lambda \alpha \rightarrow -p$	$\alpha \rightarrow 0$	b	$\lambda \rightarrow -\infty$

Πίνακας 4.2 Η Γενικευμένη gamma distribution και οι οριακές και ειδικές περιπτώσεις της

Ο CHT, T_c , θεωρείται ότι ακολουθεί γενικευμένη gamma κατανομή με την pdf να δίνεται από [48]:

$$f_{T_c}(t) = \frac{\nu}{b^{c\nu}\Gamma(c)} t^{c\nu-1} e^{-(t/b)^\nu}, \quad t \geq 0. \quad (4.41)$$

Η LTF ορίζεται ως [50]:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{T_c}(x) &= \int_0^\infty e^{-xt} f_{T_c}(t) dt \\ &= \frac{\nu}{b^{c\nu}\Gamma(c)} \int_0^\infty t^{c\nu-1} e^{-xt} e^{-(t/b)^\nu} dt \end{aligned} \quad (4.41)$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (7) στην (4.41), προκύπτει:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{\nu}{b^{c\nu}\Gamma(c)} \frac{1}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \Gamma(s) b^{vs} \int_0^\infty t^{c\nu-vs-1} e^{-xt} dt ds \quad (4.43)$$

Σύμφωνα με το [52], μπορεί να αποδειχθεί ότι:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{T_c}(x) &= \frac{\nu}{(xb)^{c\nu} \Gamma(c)} \frac{1}{2\pi j} \int_{\delta-j\infty}^{\delta+j\infty} \Gamma(s) \Gamma(c\nu - \nu s) (bx)^{\nu s} ds \\ &= \frac{\nu}{(xb)^{c\nu} \Gamma(c)} H_{1,1}^{1,1} \left[(xb)^\nu \left| \begin{matrix} (1,1) \\ (c\nu, \nu) \end{matrix} \right. \right].\end{aligned}\quad (4.44)$$

που χρησιμοποιεί τον ορισμό της Fox's H-function. Η H-function για ένα ρητό αριθμό $\nu = j/k$ (j και k είναι ακέραιοι), η LTF του T_c γίνεται [52]

$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{T_c}(x) &= \frac{j}{(xb)^{cj/k} \Gamma(c)} H_{1,1}^{1,1} \left[(xb)^j \left| \begin{matrix} (1,k) \\ (cj/k, j) \end{matrix} \right. \right] \\ &= \frac{j^{cj/k + \frac{1}{2}} (2\pi)^{1 - \frac{j-k}{2}}}{k^{\frac{1}{2}} (xb)^{cj/k} \Gamma(c)} G_{k,j}^{j,k} \left[k^k \left(\frac{xb}{j} \right)^j \left| \begin{matrix} 1, 1 - \frac{1}{k}, 1 - \frac{2}{k}, \dots, 1 - \frac{k-1}{k} \\ \frac{c}{k}, \frac{c}{k} + \frac{1}{j}, \frac{c}{k} + \frac{2}{j}, \dots, \frac{c}{k} + \frac{j-1}{j} \end{matrix} \right. \right].\end{aligned}\quad (4.45)$$

Όταν το $c=1$, η pdf υποβιβάζεται στην κατανομή Weibull με την LTF:

$$\mathcal{L}_{T_c}(x) = \frac{j^{j/k + \frac{1}{2}} (2\pi)^{1 - \frac{j-k}{2}}}{k^{\frac{1}{2}} (xb)^{j/k} \Gamma(c)} G_{k,j}^{j,k} \left[k^k \left(\frac{xb}{j} \right)^j \left| \begin{matrix} 1, 1 - \frac{1}{k}, 1 - \frac{2}{k}, \dots, 1 - \frac{k-1}{k} \\ \frac{1}{k}, \frac{1}{k} + \frac{1}{j}, \frac{1}{k} + \frac{2}{j}, \dots, \frac{1}{k} + \frac{j-1}{j} \end{matrix} \right. \right], \quad (4.46)$$

που συμφωνεί με την (4.33). Χρησιμοποιώντας την LTF της γενικευμένης gamma κατανομής της (4.46) στην (4.17), η πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης δίνεται από:

$$(4.43)$$

Στην Εικόνα 4.7 φαίνεται η πιθανότητα ολοκλήρωσης της κλήσης σε σχέση με τον call-to-mobility factor με $p_f = p_o = 0.02$, και τους i.i.d. gamma κατανεμημένους CDTs με παράμετρο (0.5,1.5) για γενικευμένη gamma κατανεμημένο CHT με παράμετρο ($c = 0.5, b, \nu$) και μεταβαλλόμενη παράμετρο ν .

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στο Mathematica για διάφορες τιμές του $\nu = j/k$ δίνεται παρακάτω:

```

omega=5;
p=0.02;
p0=0.02;
c=1
alpha=0.5;
bita=1.5;

meanT=alpha*bita

j=2;
k=2;
v=j/k
b=omega*meanT*Gamma[c]/Gamma[c+1/v]

s=p/((p*bita*(alpha+1)/2)+(1-p)*alpha*bita)

factor=(j/(s*b))(c*v) * (  $\sqrt{v * (2 * \pi)^{(2-j-k)}}$  ) / Gamma[c]

x=kk * ((s*b)/j)j
e=N[(1-p0)*factor*MeijerG[{{1,1-1/k},{}},{{c/k,c/k+1/j},{}},x]]

j=3;
k=2;
v=j/k
b=omega*meanT*Gamma[c]/Gamma[c+1/v]

s=p/((p*bita*(alpha+1)/2)+(1-p)*alpha*bita)

factor=(j/(s*b))(c*v) * (  $\sqrt{v * (2 * \pi)^{(2-j-k)}}$  ) / Gamma[c]

x=kk * ((s*b)/j)j
e=N[(1-p0)*factor*MeijerG[{{1,1-1/k},{}},{{c/k,c/k+1/j,c/k+2/j},{}},x]]

j=5;
k=2;
v=j/k
b=omega*meanT*Gamma[c]/Gamma[c+1/v]

s=p/((p*bita*(alpha+1)/2)+(1-p)*alpha*bita)

factor=(j/(s*b))(c*v) * (  $\sqrt{v * (2 * \pi)^{(2-j-k)}}$  ) / Gamma[c]

x=kk * ((s*b)/j)j
e=N[(1-p0)*factor*MeijerG[{{1,1-1/k},{}},{{c/k,c/k+1/j,c/k+2/j,c/k+3/j,c/k+4/j},{}},x]]

```

```

j=9;
k=2;
v=j/k
b=omega*meanT*Gamma [c] /Gamma [c+1/v]

s=p/ ((p*bita*(alpha+1)/2)+(1-p)*alpha*bita)

factor=(j/(s*b))^(c*v) * (sqrt(v*(2*pi)^(2-j-k))) /Gamma [c]

x=k^k*((s*b)/j)^j
e=N[(1-p0)*factor*MeijerG[{{1,1-
1/k},{}},{{c/k,c/k+1/j,c/k+2/j,c/k+3/j,c/k+4/j,c/k+5/j,c/
k+6/j,c/k+7/j,c/k+8/j},{}},x]]

```

Επίσης ο κώδικας Matlab για την προσομοίωση δίνεται παρακάτω:

```
function y = gg3(c,b,v)
```

```

z = random('gamma', c, 1);
x = z^(1/v);
y = x*b;

```

```
% Main Program
```

```
clear;
```

```
N=50000;
```

```
po=0.02;
```

```
p_fail=0.02;
```

```
alpha=0.5;
```

```
bita=1.5;
```

```
c = 1.5;
```

```
v = 1;
```

```

n=1;
for ro=0:5:30
    fail=0;
    b=ro*alpha*bita*gamma(c)/(gamma(c+1/v));

    for i=1:N

        temp = fail;

        p1=random('unif',0, 1);
        if p1>=1-po
            fail=fail+1;
        end

        % If Login to Network was successful
        if fail == temp
            Tc = gg3(c,b,v);
            Tres = Tc;

            T = random('gamma', alpha, bita);
            R = random('unif', 0, T);
            Tres = Tres - R;

            while Tres > 0

                h=random('unif',0, 1);

                if h<=p_fail
                    fail = fail+1;
                    break;
                end

                T = random('gamma', alpha, bita);
                Tres = Tres - T;
            end
        end
    end
end

```

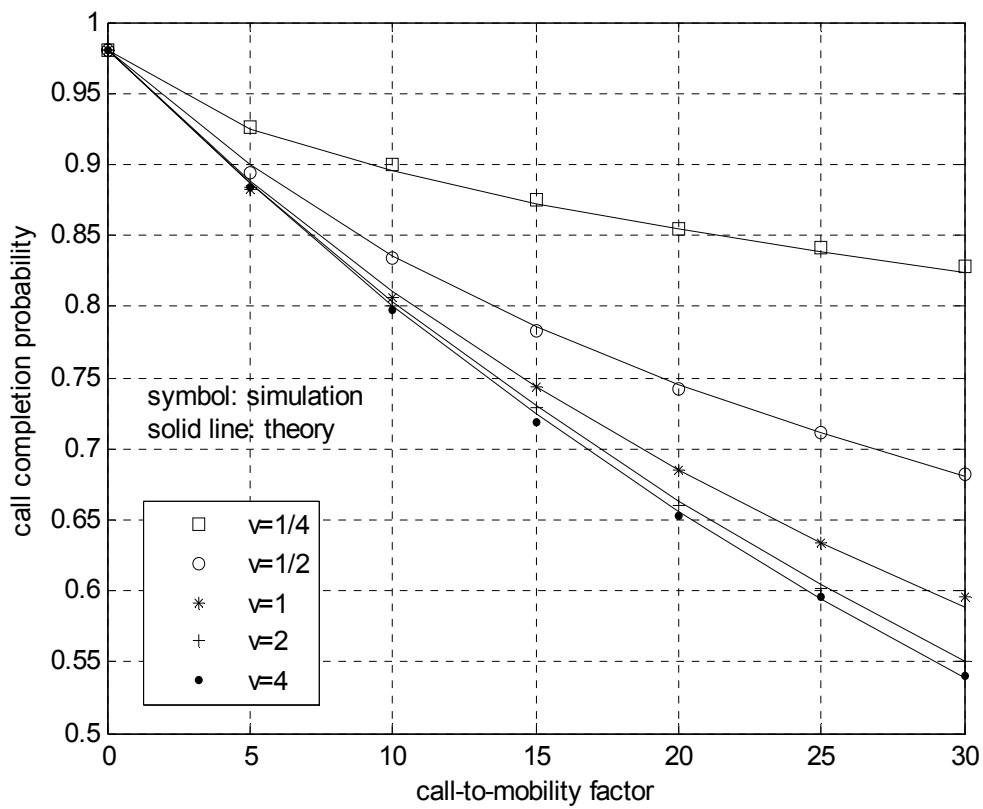
```

end % Login Failed
end % N

pc_sim(n) = (1 - fail/N)

n=n+1;
end %ro
r=[0:5:30];
plot(r, pc_sim, 'ko')

```



Εικόνα 4.7: Πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης συναρτήσει του call-to-mobility factor με $p = p_o = 0.02$, $T_c \sim GG3(c = 1.5, b, \nu)$.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Encyclopedia of Networking, Mitch Tulloch, 2nd edition, ISBN:0735605734 , 2000.
- [2] <http://www.thefreedictionary.com/heterogenous>, 2005-12-12.
- [3] http://www.commsdesign.com/csdmag/sections/cover_story/showArticle.jhtml?articleID=16500515, 2005-12-12
- [4] Seamless Mobility, A Continuity of Experiences Across Domains, Devices and Networks, Motorola, Inc., Sep 2005
- [5] C. Perkins, Ed. IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, Aug. 2002.
- [6] M. Ylianttila, Vertical Handoff and Mobility - System Architecture and Transition Analysis, Doctoral thesis, Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, Finland. ACTA Univ. Oul. C220, 2005.
- [7] ITU-T Recommendation Q.1706/Y.2801 (2006), Mobility management requirements for NGN.
- [8] Considerations of horizontal handover and vertical handover, International Telecommunication Union (ITU), Study Group 19 – Contribution 25, COM 19 – C 25 – E, April 2007.
- [9] IETF monimi6 WG Internet Draft, Motivations and Scenarios for Using Multiple Interfaces and Global Addresses.
- [10] IETF monimi6 WG Internet Draft, Analysis of Multihoming in Mobile IPv6.
- [11] IETF monimi6 WG Internet Draft, Multiple Care-of Addresses Registration.
- [12] Trends in Handover Design, Gregory P. Pollini, Bell Communications Research, Inc., IEEE Communications Magazine, March 1996.
- [13] M. Gudmundson, "Analysis of Handover Algorithms," Proc. Vehicular Tech. Conf. '91, St. Louis, MO, May 19.
- [14] V. Kapoor, G. Edwards, and R. Sankar, "Handoff Criteria for Personal Communication Networks," Proc. ICC '94, New Orleans, LA, May 1, 1994.
- [15] C-N. Chuah, R. D. Yates, and D. J. Goodman, "Integrated Dynamic Radio Resource Management," Proc. Vehicular Tech. Conf. '95, Chicago, IL, July 25, 1995.
- [16] C-N. Chuah and R. D. Yates, "Evaluation of a Minimum Power Handoff Algorithm," Proc. IEEE Int'l. Symp. on Personal, Indoor, and Mobile Radio Commun. (PIMRC) '95, Toronto, Canada, Sept. 27, 1995.

- [17] K. G. Chen, "Integrated Dynamic Radio Resource Management of Wireless Communication Systems," M.S. thesis, Rutgers, May 1996.
- [18] GSM 05.08 (prETS 300 578) "European Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2); Radio Subsystem Link Control," 3rd ed., May 1995.
- [19] JTC(AIR)95.06.08-033R3, "Baseline Text for TAG 3 (PACS)," Section 6.2, June 8, 1995.
- [20] M. Asawa and W. E. Stark, "A Framework for Optimal Scheduling of Handoffs in Wireless Networks," Proc. Globecom '94, San Francisco, CA, Dec. 2, 1994.
- [21] R. Vijayan and J. M. Holtzman, "The Dynamic Behavior of Handoff Algorithms," Proc. 1st ICUPC '92, Dallas, TX, paper 2.03, Oct. 2, 1992.
- [22] R. Vijayan and J. M. Holtzman, "Analysis of Handover Algorithms Using Nonstationary Signal Strength Measurements," Proc. Globecom '92, Orlando, FL, paper 41.2, Dec. 6, 1992.
- [23] G. E. Corazza, D. Giancristofaro, and F. Santucci, "Characterization of Handover Initialization in Cellular Mobile Radio Networks," Proc. Vehicular Tech. Conf. '94, Stockholm, Sweden, June 8, 1994.
- [24] N. Zhang and J. M. Holtzman, "Analysis of Handoff Algorithms Using Both Absolute and Relative Measurements," Proc. Vehicular Tech. Conf. '94, Stockholm, Sweden, June 8, 1994.
- [25] N. Zhang and J. M. Holtzman, "Analysis of a CDMA Soft Handoff Algorithm," Proc. PIMRC '95, Toronto, Canada, Sept. 27, 1995.
- [26] G. N. Senarath and D. Everitt, "Performance of Handover Priority and Queuing Systems under Different Handover Request Strategies for Microcellular Mobile Communication Systems," Proc. Vehicular Tech. Conf. '95, Chicago, IL, July 25, 1995.
- [27] D. Munoz-Rodriguez et al., "Neural Supported Handoff Methodology in Micro Cellular Systems," Proc. Vehicular Tech. Conf. '92, Denver, CO, May 10, 1992.
- [28] H. Maturino-Lozoya, D. Munoz-Rodriguez, and H. Tawfik, "Pattern Recognition Techniques in Handoff and Service Area Determination," Proc. Vehicular Tech. Conf. '94, Stockholm, Sweden, June 8, 1994.
- [29] O. E. Kelly, and V. V. Veeravalli, "A Locally Optimal Handoff Algorithm," Proc. IEEE PIMRC '95, Toronto, Canada, Sept. 27, 1995.

- [30] O. Grimlund and B. Gudmundson, "Handoff Strategies in Microcellular Systems," Proc. Vehicular Tech. Conf. '91, St. Louis, MO, May 19, 1991.
- [31] P-E. Ostling, "Implications of Cell Planning on Handoff Performance in Manhattan Environments," Proc. PIMRC '94, The Hague, The Netherlands, paper 6.1, Sept. 18, 1994.
- [32] S. T. S. Chia, "The Control of Handover Initiation in Microcells," Proc. Vehicular Tech. Conf. '91, St. Louis, MO, May 19, 1991.
- [33] R. Litjens and R. J. Boucherie, "Elastic calls in an integrated services networks: the greater the call size variability the better the QoS," Performance Evaluation, vol. 52, pp. 193-220, 2003.
- [34] J. Ferreira and F. J. Velez, "Enhanced UMTS services and applications characterization," Telektronikk, vol. 1, pp. 113-131, 2005.
- [35] M. A. Marsan, G. Ginella, R. Maglione, and M. Meo, "Performance analysis of hierarchical cellular networks with generally distributed call holding times and dwell times," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 3, pp. 246-257, 2004.
- [36] M. M. Zonoozi and P. Dassanayake, "User mobility modeling and characterization of mobility patterns," IEEE J. Select. Areas Comm., vol. 15, no. 7, pp. 1239-1252, 1997.
- [37] F. Khan and D. Zeglache, "Effect of cell residence time distribution on the performance of cellular mobile networks," Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 2, pp. 949-953, 1997.
- [38] E. Jugl and H. Boche, "Dwell time models for wireless communication systems," Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 5, pp. 2984-2988, 1999.
- [39] E. Chlebus, "Empirical validation of call holding time distribution in cellular communications systems", Proc. of 15th International Teletraffic Congress (ITC15), pp. 1179-1188, 1977.
- [40] J. F. Shortle, "An equivalent random method with hyper-exponential service," Performance Evaluation, vol. 57, pp. 409-422, 2004.
- [41] A. Feldmann and W. Whitt, "Fitting mixtures of exponentials to long-tail distributions to analyze network performance models," Performance Evaluation, vol. 31, pp. 245-279, 1998.
- [42] Y. Fang, I. Chlamtac, and Y. B. Lin, "Modelling PCS networks under general call holding time and cell residence time distributions," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 5, no. 6, pp. 893-906, 1997.
- [43] Y. Fang, I. Chlamtac, and Y. B. Lin, "Call performance for a PCS network," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 15, pp. 1568-1581, 1997.

- [44] Y. Fang, I. Chlamtac, and Y. B. Lin, "Channel occupancy times and handoff rate for mobile computing and PCS networks," *IEEE Trans. Computers.*, vol. 47, no. 6, pp. 679-692, 1998.
- [45] Y. Fang, and I. Chlamtac, "Analytical generalized results for handoff probability in wireless networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 3, pp. 396-399, 2002.
- [46] Y. Fang, "Modeling and performance analysis for wireless mobile networks: A new analytical approach," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 13, no. 5, pp. 989-1002, 2005.
- [47] V. Kalashnikov, *Geometric Sums: Bounds for Rare Events with Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [48] M. Evans, N. Hastings and B. Peacock, *Statistical Distributions* 2nd ed. , John Wiley & Sons, 1993.
- [49] T. Rolski, H. Schmidli, V. Schmidt, and J. Teugels, *Stochastic Processes for Insurance and Finance*, John Wiley & Sons, 1998.
- [50] M. Abramowitz and I. A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*, Dover Publications, 1970.
- [51] I. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, and A. Jeffrey, *Tables of Integrals, Series, and Products*, New York: Academic, 1994.