

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ
ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

**Ενεργειακώς αποδοτικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης με
κινούμενους χρήστες**

Γεωργικόπουλος Εμμανουήλ

AEM : 12060

Επιβλέπων καθηγητής : Άγγελος Ρούσκας

Περίληψη: Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε την ενεργειακή κατανάλωση δικτύων 4ης γενιάς. Υλοποιούμε ένα μοντέλο κινητικότητας τύπου Manhattan mobility model για την κίνηση των χρηστών σε αυτά τα δίκτυα. Με βάση προηγούμενες μετρήσεις, χρησιμοποιούμε συγκεκριμένα στιγμιότυπα του δικτύου και εφαρμόζοντας το νέο μοντέλο κινητικότητας εξετάζουμε και συγκρίνουμε αποτελέσματα όσον αφορά τις επιδόσεις του δικτύου.

Abstract: In this thesis we examine the power consumption of 4th generation networks. We implement a Manhattan mobility model in order to simulate the movement of the users on these networks. Finally, based on previous research we use pre-defined network schemes, implement the Manhattan mobility algorithm on them and evaluate the network's performance.

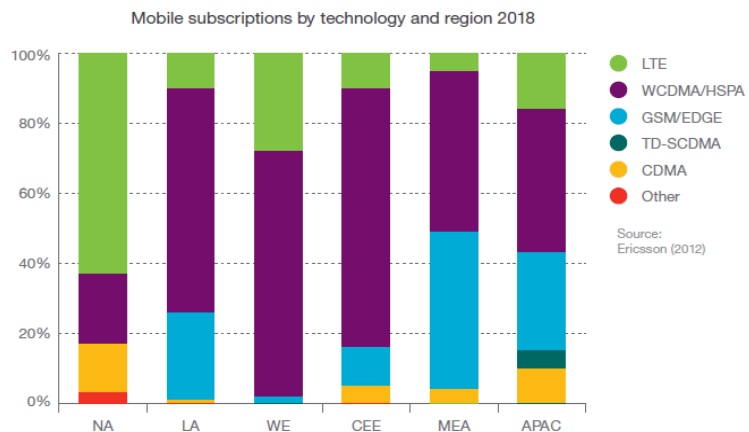
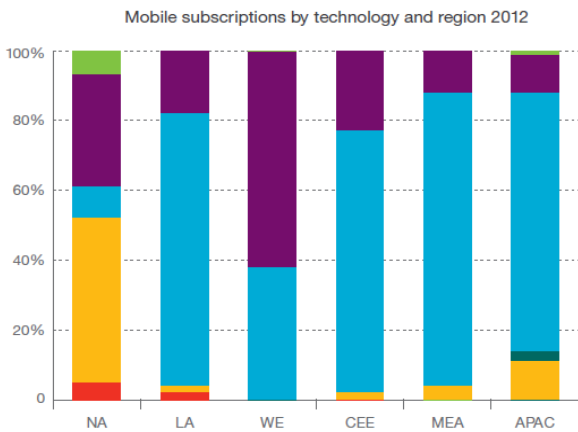
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	2
Κεφάλαιο 1	4
Ενεργειακή Κατανάλωση στα δίκτυα 3/4/5ης γενιάς	
1.1 Ο όρος πράσινα δίκτυα.....	4
1.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα.....	6
1.3 Βελτιστοποίηση ενισχυτών ισχύος.....	6
1.4 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στο LTE.....	7
1.4.1 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χρόνου.....	8
1.4.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο της συχνότητας.....	9
1.4.3 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χώρου.....	10
Κεφάλαιο 2	12
Κινητικότητα στις ασύρματες κινητές επικοινωνίες	
2.1 Μοντέλα κίνησης σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών.....	13
2.2 Παρουσίαση μοντέλων κίνησης.....	13
2.2.1 Αναφορά στα σημαντικότερα random based mobility simulation models.....	13
2.2.2 Αναφορά στα σημαντικότερα depended mobility simulation model.....	14
2.2.2.1 Mobility models με χρονική εξάρτηση.....	14
2.2.2.2 Mobility models με χωρική εξάρτηση.....	14
2.2.2.3 Mobility models με γεωγραφική εξάρτηση.....	15
2.3 Προτεινόμενος αλγόριθμος κινητικότητας.....	16
Κεφάλαιο 3	21
Περιγραφή του προσομοιωτή για την εξεύρεση των πιο αποδοτικών BS	
3.1 Αρχιτεκτονική του προσομοιωτή.....	21
3.2 Ευρεστικός αλγόριθμος BALSΟ.....	25
3.3 Προσδιορισμός ανοιχτών σταθμών ανά φορτίο χρηστών.....	27
Κεφάλαιο 4	29
Μελέτη αποδοτικότητας του παραπάνω αλγορίθμου σε περιβάλλον κινούμενων χρηστών	
4.1 Προσδιορισμός πειράματος.....	29
4.2 Πειραματικές μετρήσεις.....	31
Κεφάλαιο 5	55
Συμπεράσματα	
Βιβλιογραφία	59
Ευχαριστίες	60

1.Ενεργειακή κατανάλωση σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών

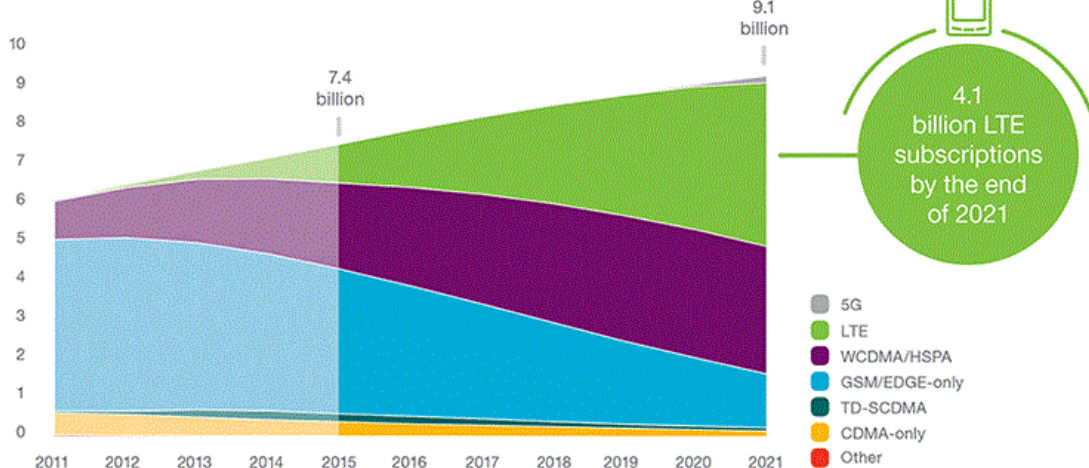
1.1 Ο όρος πράσινα δίκτυα

Στην εποχή μας η ανάπτυξη των δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών είναι ραγδαία. Η είσοδος των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και του Mobile Internet στην καθημερινότητα του μέσου ανθρώπου, δίνει μια επιπλέον ώθηση προς αυτήν την κατεύθυνση. Η επικράτηση των δικτύων 3ης και 4ης γενιάς επάνω σε παλιότερες τεχνολογίες, καθώς και ο ρυθμός αύξησης των νέων συνδρομητών (σχήματα 1 και 2) προβλέπουν πώς ο αριθμός των συνδρομητών αναμένεται να φτάσει τα 5,5 δισεκατομμύρια μέχρι το τέλος του 2018. Επιπλέον, πέρα από την αύξηση του αριθμού των συνδρομητών προβλέπεται και ραγδαία αύξηση στην μετάδοση δεδομένων από δίκτυα κινητών επικοινωνιών (σχήμα 3).



1 Χρήστες ανα τεχνολογία και περιοχή 2012-2018

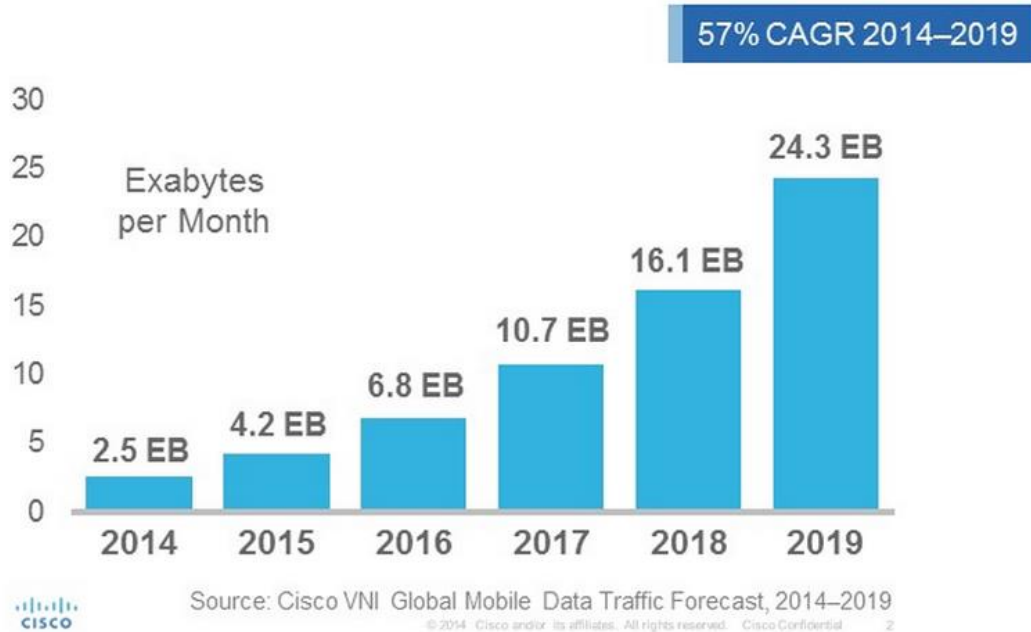
Mobile subscriptions by technology (billion)



2. Συνολικός αριθμός συνδρομητών ανα τεχνολογία έως το 2021

Global Mobile Data Traffic Growth / Top-Line

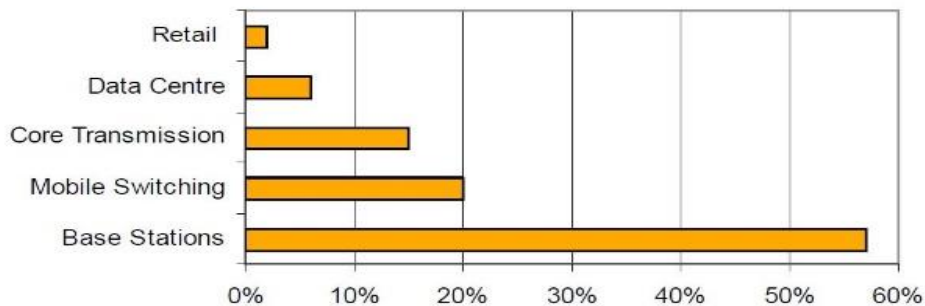
Global Mobile Data Traffic will Increase 10-Fold from 2014–2019



3 Αύξηση της συνολικής κίνησης στις κινητές επικοινωνίες

Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης καθώς και ο ρυθμός αύξησης του όγκου των δεδομένων που μετακινούν σε ένα δίκτυο, ώθησε τους παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας να πυκνώσουν το δίκτυο τους εγκαθιστώντας περισσότερα Base Stations, ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετήσουν την κίνηση. Σύμφωνα με έρευνες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε ένα δίκτυο αποδεικνύεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας καταναλώνεται από τα Base Stations του δικτύου(σχήμα 4). Με την αύξηση λοιπόν των Base Station αυξήθηκε η κατανάλωση ενέργειας στα δίκτυα αυτά και κατά συνέπεια και τα λειτουργικά κόστη των δικτύων. Προκειμένου λοιπόν οι πάροχοι κινητών επικοινωνιών να περιορίσουν τα λειτουργικά τους κόστη καθώς και το αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα, εφάρμοσαν

Cellular Network Power Consumption



4 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας από της οντότητες ενός κυψελωτού δικτύου

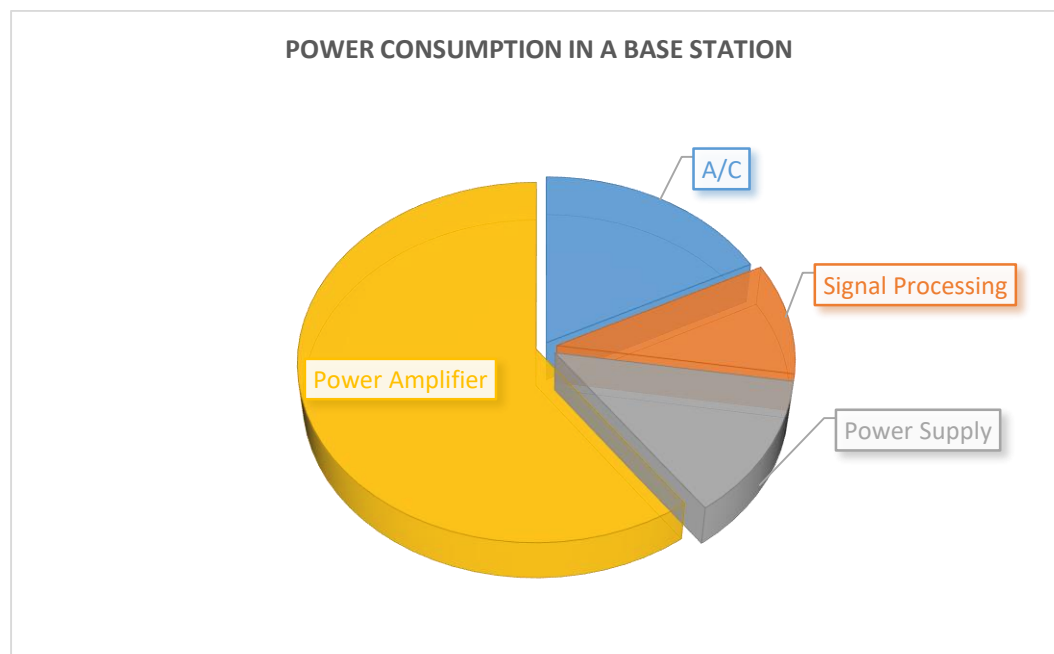
κάποιες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας και ουσιαστικά εισήγαγαν τον όρο «Πράσινα Δίκτυα»

1.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα

Γενικά στους τομείς της μηχανικής, η αποδοτικότητα ενός συστήματος ορίζεται ως η δυνατότητα του να παρέχει ωφέλιμο έργο. Το παραγόμενο έργο στα συστήματα επικοινωνιών αναφέρεται στην παράδοση κατάλληλα διαμορφωμένων σημάτων, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών. Προκύπτουν λοιπόν δύο μέθοδοι για την μέτρηση της αποδοτικότητας στα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Στην πρώτη περίπτωση η ενεργειακή αποδοτικότητα (Energy Efficiency ή EE) ορίζεται ως η συνολική ισχύς εξόδου του συστήματος προς την συνολική ισχύ εισόδου του συστήματος. Στην δεύτερη περίπτωση, ενεργειακή αποδοτικότητα ορίζεται ως ο λόγος της απόδοσης ανά μονάδα κατανάλωσης ενέργειας. Στα ασύρματα δίκτυα, απώλειες παρουσιάζονται με την μορφή θερμότητας στις διάφορες συσκευές του δικτύου. Επίσης, στον δέκτη φτάνει ένα μέρος της εκπεμπόμενης ενέργειας καθώς το κανάλι που χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεν είναι δυνατό να απομονωθεί.

1.3 Βελτιστοποίηση ενισχυτών ισχύος

Μια προσέγγιση για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι η μείωση της ποσότητας της ενέργειας που καταναλώνεται από τα συστήματα ψύξης, τα καλώδια τροφοδοσίας, και τους ενισχυτές ισχύος (PAs) των σταθμών βάσης. Επειδή οι PAs αποτελούν το πλέον ενεργοβόρο υποσύστημα ενός Macro Σταθμού βάσης (Καταναλώνει κατά μέσο όρο το 57% του σταθμού βάσης), συμβάλλουν σημαντικά στην ενεργειακή κατανάλωση του σταθμού.

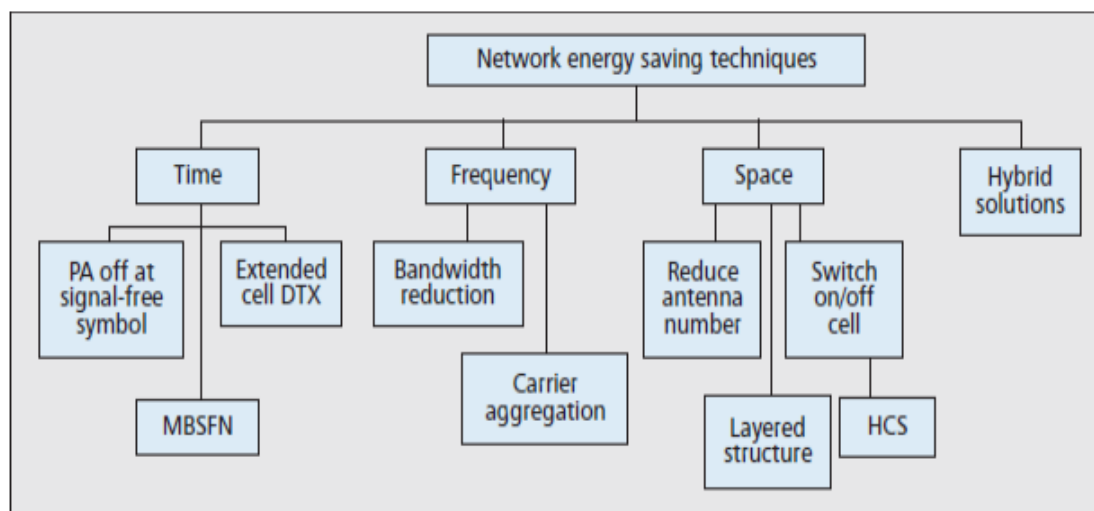


Προκειμένου να πετύχουμε την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, έχουν δημιουργηθεί οι ενισχυτές Doherty. Στην ουσία, πρόκειται για ένα ψηφιακό κύκλωμα που αποτελείται από δύο ενισχυτές τουλάχιστον. Κάθε υποσύστημα του κυκλώματος είναι σχεδιασμένο για καλύτερη απόδοση σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος σήματος. Αυτό επιλύει το πρόβλημα των απλών ενισχυτών που πετυχαίνουν την καλύτερη απόδοση μόνο στην μέγιστη ισχύ σήματος.

Επιπλέον, αφού οι PAs λειτουργούν πάντα με μέγιστη ισχύ εξόδου, ανεξάρτητα με το φορτίο που εξυπηρετείται, εισάγεται μια ακόμα λύση για εξοικονόμηση ενέργειας στο επίπεδο των ενισχυτών. Η λύση αυτή αφορά ένα νέο είδος Adaptive Energy Efficient Power Amplifiers (AAEPAs). Σε αυτούς τους τύπους ενισχυτών η μείωση της κατανάλωσης επιτυγχάνεται με δύο τρόπους. Μέσω της Operational Point Adjustment (OPA) ο ενισχυτής αλλάζει την ισχύ εξόδου του σε τιμές κοντά στις εκάστοτε επιθυμητές ανάλογα με την απαίτηση του κάθε σήματος. Μέσω του Component Deactivation ο ενισχυτής απενεργοποιείται κατά τη διάρκεια των χρονοθυρίδων χωρίς μετάδοση σήματος.

1.4 Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στο LTE

Η σημαντικότερη παράμετρος για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας (EE) σε ένα δίκτυο πρόσβασης είναι η βελτίωση της EE του σταθμού βάσης του δικτύου. Κατά τον σχεδιασμό των Base Station παλαιότερα οι πάροχοι λάμβαναν υπόψιν τους μόνο την μέγιστη απόδοση και όχι την ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ο σταθμός βάσης να μην κλιμακώνει την κατανάλωση ενέργειας ανάλογα με το φορτίο που εξυπηρετεί αλλά να διατηρεί την ενεργειακή του κατανάλωση σε υψηλά επίπεδα ανεξάρτητα από το φορτίο. Παρακάτω θα εξετάσουμε κάποιες μεθόδους κλιμάκωσης την ενέργειας που καταναλώνεται ανάλογα με το φορτίο κίνησης.

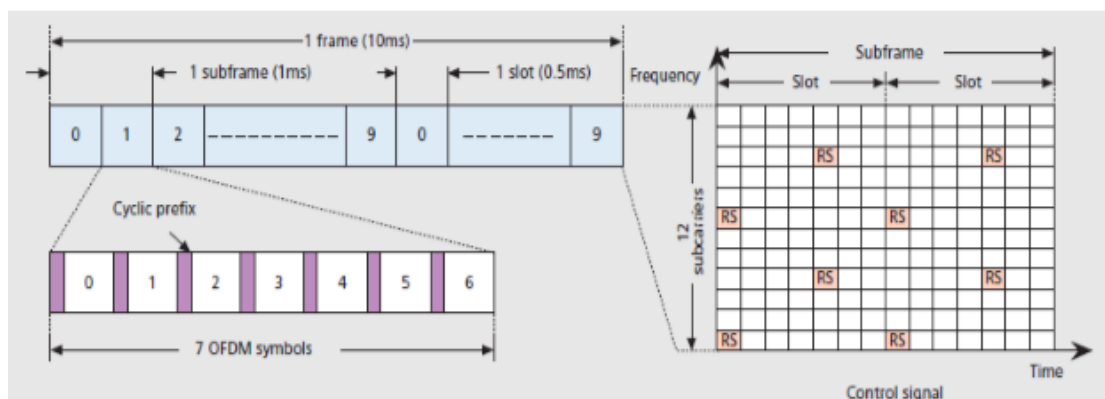


5 Σύνοψη των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργεια

1.4.1 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χρόνου.

Για να εξοικονομήσουμε ενέργεια στο πεδίο του χρόνου, εισάγουμε τεχνικές οι οποίες φροντίζουν να απενεργοποιείται ο ενισχυτής όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση στην καθοδική ζεύξη. Για να κατανοήσουμε πώς επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο πρέπει να δούμε την δομή ενός πλαισίου (frame) στο LTE

Στο LTE, το κανάλι αποτελείται από συνεχόμενα frames (καρέ στον χρόνο). Κάθε πλαίσιο αποτελείται από 10 υπό-πλαίσια σταθερής διάρκειας ίσης με 1 ms. Κάθε υπό-πλαίσιο διαιρείται σε δυο χρονοθυρίδες. Ανάλογα με το cyclic prefix που χρησιμοποιείται, η κάθε χρονοθυρίδα φιλοξενεί έναν αριθμό από OFDM σύμβολα, Επίσης, στο frame του LTE υπάρχουν σύμβολα για σήματα ελέγχου αλλά και δεδομένων. Ένας τύπος σημάτων ελέγχου, τα λεγόμενα reference signals (RS) χρησιμοποιούνται για τη παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του καναλιού (CSI) ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τα κινητά τερματικά που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν.



6 Frame structure στο LTE

Μεταδίδονται σήματα ελέγχου (RS) ακόμα και όταν δεν υπάρχει ωφέλιμη κίνηση προς μετάδοση ώστε να γνωρίζει ο σταθμός βάσης την κατάσταση του καναλιού ακόμα. Προκειμένου να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας μπορούμε να ελαττώσουμε τα σήματα ελέγχου που στέλνονται όταν δεν υπάρχει ωφέλιμη κίνηση. Οι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτό είναι οι εξής:

- Απενεργοποίηση του ενισχυτή όταν δεν υπάρχει εκπομπή σημάτων (R8):
- Χρήση του MBSF πλαισίου (R9):Αλλάζει η δομή του Frame έτσι ώστε να μειώνεται ο αριθμός των RS
- Εκτεταμένη ασυνεχής μετάδοση (R8):Εισάγει κάποιες επιπλέον αλλαγές στο πλαίσιο μειώνοντας περαιτέρω τον αριθμό των RS κατά την μετάδοση.

1.4.2 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο της συχνότητας.

Στο πεδίο της συχνότητας εισάγονται δύο τεχνικές για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος.

- **Bandwidth Reduction:** Το LTE υλοποιείται σε διάφορες εκδόσεις. Ανάλογα με τις συνθήκες φορτίου, ένας σταθμός βάσης μπορεί να αλλάζει το εύρος που εκπέμπει. Όταν στο σύστημα υπάρχει υψηλή κίνηση, χρησιμοποιείται μεγαλύτερο εύρος ζώνης και όταν υπάρχει χαμηλή κίνηση συμβαίνει το αντίθετο. Έτσι όταν η κίνηση είναι χαμηλή, μειώνεται το εύρος ζώνης του καναλιού προκειμένου να μειωθεί η ενεργειακή κατανάλωση.
- **Carrier Aggregation:** Στην advanced Version 10 του LTE εισάγεται η τεχνική συνάθροισης φερόντων (carrier aggregation). Πιο συγκεκριμένα, ένα σύνολο φερόντων (έως πέντε) αντιμετωπίζεται από τον ενισχυτή ως ένα ενιαίο φέρον. Χάρη σε αυτή την τεχνική, αυξάνονται οι πόροι του συστήματος συνεπώς και το Throughput. Σε αυτή την περίπτωση εξοικονομείται ενέργεια μόνο σε συστήματα με Dedicated PA ανά φέρον αφού για τα φέροντα που δεν μεταφέρουν πληροφορία, ο ενισχυτής μπορεί να απενεργοποιηθεί.

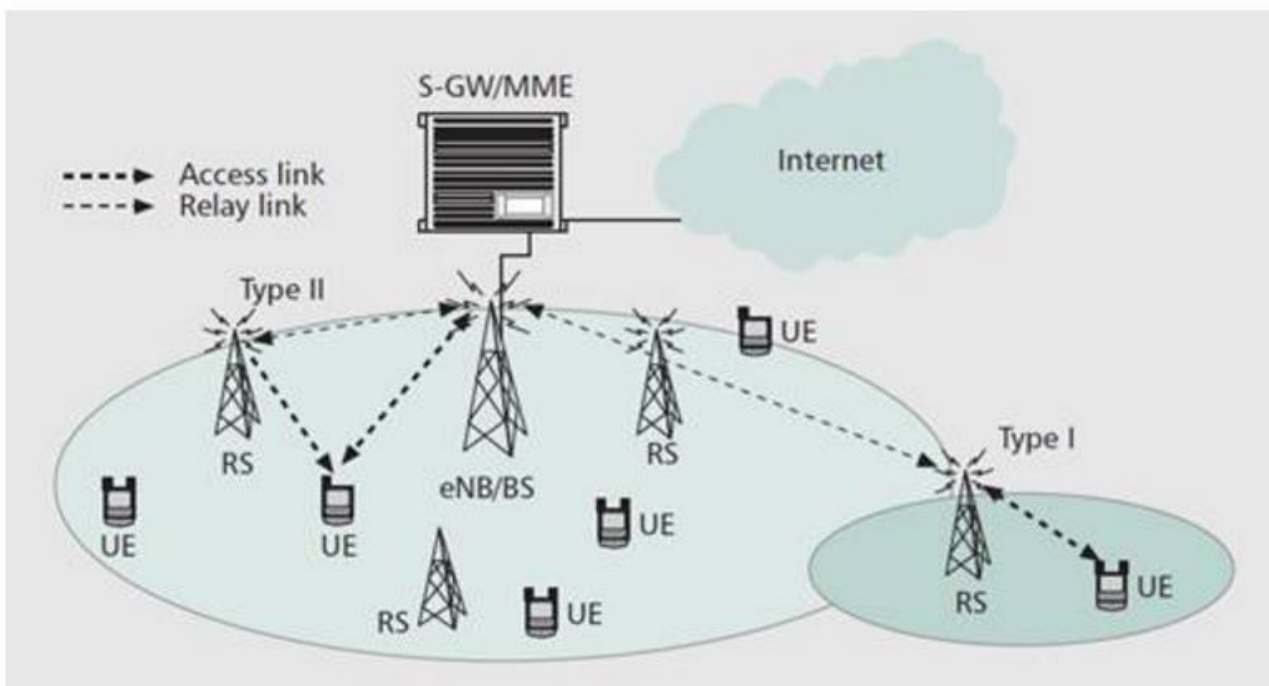
1.4.3 Ενεργειακή αποδοτικότητα στο πεδίο του χώρου.

Η δυναμική διαχείριση των πομπών, καθώς και των υποσυστημάτων που τους τροφοδοτούν είναι η πιο κοινή μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας στο πεδίο του χώρου.

- **Reduce antenna number:** Κάποιες φορές μπορούμε να απενεργοποιήσουμε κάποιες κεραιές του σταθμού βάσης και κατά συνέπεια και τους ενισχυτές των κεραιών αυτών, μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση του δικτύου. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε περιπτώσεις χαμηλής κίνησης όπου ένας πομποδέκτης μπορεί να εξυπηρετήσει όλη την κίνηση. Σε τέτοιου είδους υλοποιήσεις ελλοχεύει ο κίνδυνος μείωσης του QoS των χρηστών.
- **Cell Switch On/Off:** Όταν στο δίκτυο υπάρχει χαμηλό φορτίο κίνησης, μπορούμε να απενεργοποιήσουμε κάποιες κυψέλες. Αντίστοιχα, μπορούμε να αυξήσουμε την ισχύ εκπομπής στις κυψέλες που παραμένουν ανοιχτές προκειμένου να καλύψουν τυχόν κενά στην ραδιοκάλυψη του δικτύου.
- **Layered Structure:** Τα ετερογενή δίκτυα παρουσιάζουν μια πολυ-επίπεδη δομή, στην οποία κυψέλες διαφορετικού μεγέθους συνδυάζονται για να εξυπηρετήσουν τα κινητά τερματικά. Τα ετερογενή δίκτυα αποσκοπούν στη βελτίωση τόσο της απόδοσης όσο και της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της ανάπτυξης ενός δικτύου κυψελών διαφορετικού μεγέθους (macro, micro, pico, femto) και διαφορετικών ενεργειακών προφίλ. Η χρησιμοποίηση των small cells στο σχεδιασμό των δικτύων μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας, αν ληφθεί υπόψη η διαφορά στην ενεργειακή κατανάλωση τους, σε σύγκριση με τους macro σταθμούς. Έτσι, οι macro κυψέλες χρησιμοποιούνται κυρίως για τη κάλυψη μεγάλων περιοχών με μικρή κίνηση, ενώ μικρότερες κυψέλες μπορούν να εγκατασταθούν για να προσφέρουν υψηλή χωρητικότητα σε συγκεκριμένα σημεία των περιοχών αυτών που εμφανίζουν υψηλό επίπεδο κίνησης. Σε συνεργασία με τη τεχνική cell-switch, η εξοικονόμηση ενέργειας αυξάνεται ακόμη περισσότερο, καθώς το δίκτυο μπορεί να ενεργοποιεί τους σταθμούς που απαιτούνται για την επίτευξη του απαιτούμενου QoS για τα

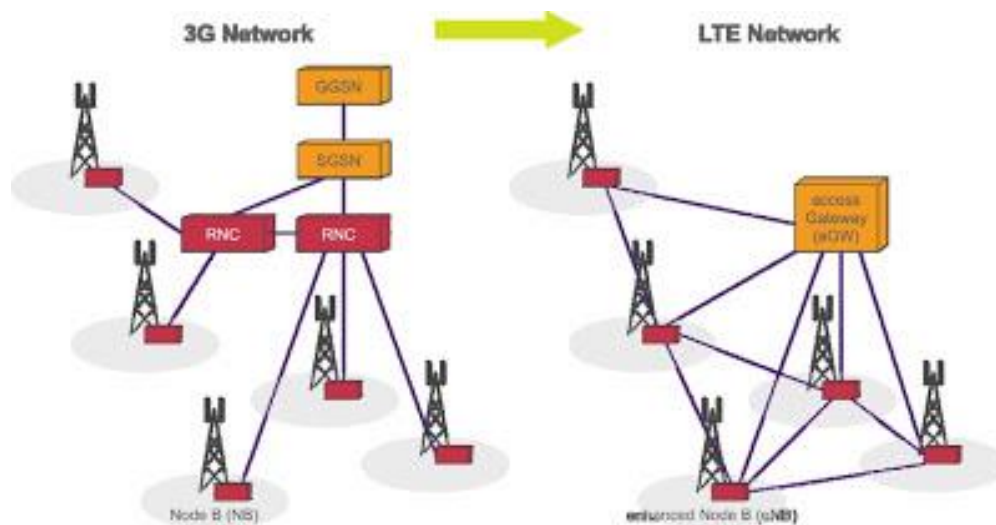
κινητά τερματικά που εξυπηρετεί, χρησιμοποιώντας αρκετά λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την συνεχή χρησιμοποίηση όλων των σταθμών του δικτύου.

- Cell Zooming: Η περιοχή κάλυψης (μέγεθος) των κυψελών αλλάζει ανάλογα με την κίνηση που εξυπηρετούν. Όταν υπάρχει υψηλή κίνηση σε μία κυψέλη, η κυψέλη αυτή μειώνει το μέγεθος της ώστε να μπορέσει να εξυπηρετήσει την κίνηση και αντίστοιχα, οι γύρω κυψέλες αναλαμβάνουν να καλύψουν τυχόν κενά στην ραδιοκάλυψη του δικτύου. Για να λειτουργήσει αυτή η τεχνική, υπάρχει ένας Cell Zooming server ο οποίος συλλέγει πληροφορίες σχετικά με το κανάλι και αποφασίζει για το μέγεθος των κυψελών. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας μεγαλώνοντας την κάλυψη κάποιων κυψελών, ώστε να καλύψουμε όλο το φορτίο χωρίς να ενεργοποιήσουμε όλα τα Base Station.
- Relaying: Οι κόμβοι αναμετάδοσης αποτελούν σταθμούς βάσης χαμηλής ισχύος τους οποίους χρησιμοποιεί το δίκτυο προκειμένου να καλύψει περιοχές εντός και εκτός κυψέλης. Τις περισσότερες φορές η τεχνική αυτή υλοποιείται για εξυπηρέτηση κόμβων κοντά στα όρια της κυψέλης. Σε αυτές τις περιπτώσεις μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας, καθώς μειώνουν την απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού και άρα μειώνεται το Path Loss. Έτσι, το Base Station μπορεί να επικοινωνεί με τερματικά στα άκρα της κυψέλης χρησιμοποιώντας μικρότερη ισχύ εκπομπής.



7 Relay note στο άκρο της κυψέλης (Type I) και μέσα στην κυψέλη (Type II)

- **BS Cooperation:** Η συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης (BSs), που αναφέρεται γενικά ως *coordinated multipoint (COMP) transmission*, είναι μια πολλά υποσχόμενη ιδέα για την αύξηση της φασματικής απόδοσης και τη βελτίωση της κάλυψης σε κυψελοειδή συστήματα επικοινωνιών, ενώ αποτελεί βασικό στοιχείο της προτυποποίησης LTE-Advanced. Οι συνεργαζόμενοι σταθμοί βάσης συνδέονται μεταξύ τους, συνήθως με οπτικές ίνες, διαμορφώνοντας ένα συνεργατικό δίκτυο σταθμών, με κύρια αρχή το συντονισμό της λειτουργίας τους, είτε για να μειωθεί η διακυβελική παρεμβολή είτε για να εκμεταλλευθεί ο κινητός σταθμός το κέρδος του χωρικού διαφορισμού, μέσω των σημάτων των γειτονικών. Η συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης μπορεί επίσης να βελτιώσει σημαντικά την ΕΕ των κυψελοειδών συστημάτων καθώς κάποιος σταθμός μπορεί να απενεργοποιηθεί εντελώς και οι συνεργαζόμενοι σταθμοί να αναλάβουν την εξυπηρέτηση της κίνησης στην περιοχή του απενεργοποιημένου σταθμού.



8 BS cooperation σε δίκτυα LTE

- **Physical Adjustment:** Η ρύθμιση των φυσικών παραμέτρων των σταθμών βάσης μπορεί να βοηθήσει στην υλοποίηση του *cell zooming*. Οι σταθμοί βάσης μπορούν να μεταβάλλουν την ακτίνα τους είτε αυξομειώνοντας την ισχύ εκπομπής τους, είτε χρησιμοποιώντας μηχανικά εξαρτήματα τα οποία ελέγχουν το ύψος και τη κλίση των κεραιών.

2. Κινητικότητα στις ασύρματες κινητές επικοινωνίες

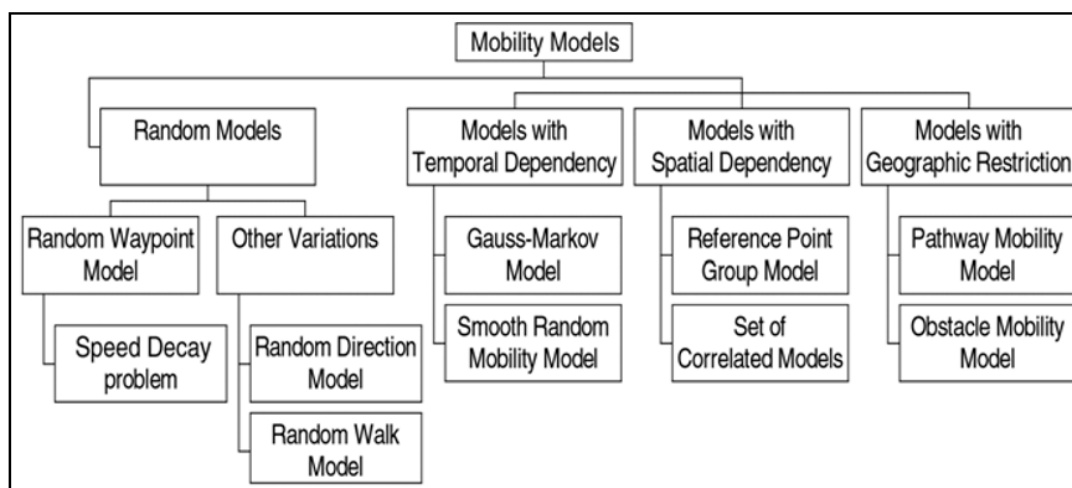
2.1 Μοντέλα κίνησης σε δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

Τα μοντέλα κίνησης σε ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών παρουσιάζουν την κινητικότητα των χρηστών σε ένα ασύρματο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, μας δίνουν πληροφορίες για τον τρόπο που η θέση, η ταχύτητα, και η επιτάχυνση ενός χρήστη αλλάζει στο πεδίο του χρόνου. Το μοντέλα κίνησης μπορούν να χωριστούν σε αναλυτικά και σε μοντέλα προσομοίωσης. Τα αναλυτικά μοντέλα χρησιμοποιούν απλουστευμένες παραμέτρους σχετικά με την συμπεριφορά κίνησης των χρηστών. Αντίθετα, τα μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιούν πιο σύνθετες παραμέτρους σχετικά με την συμπεριφορά κίνησης των χρηστών και συνήθως χρησιμοποιούνται σε πιο σύνθετες περιπτώσεις.

2.2 Παρουσίαση μοντέλων κίνησης.

Τα μοντέλα κίνησης χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες: τα Random Based mobility simulation models και στα depended mobility simulation models. Στα random base mobility models, η θέση, η ταχύτητα, η κατεύθυνση και η επιτάχυνση ενός χρήστη δεν επηρεάζονται από τους άλλους χρήστες ή από άλλους παράγοντες.

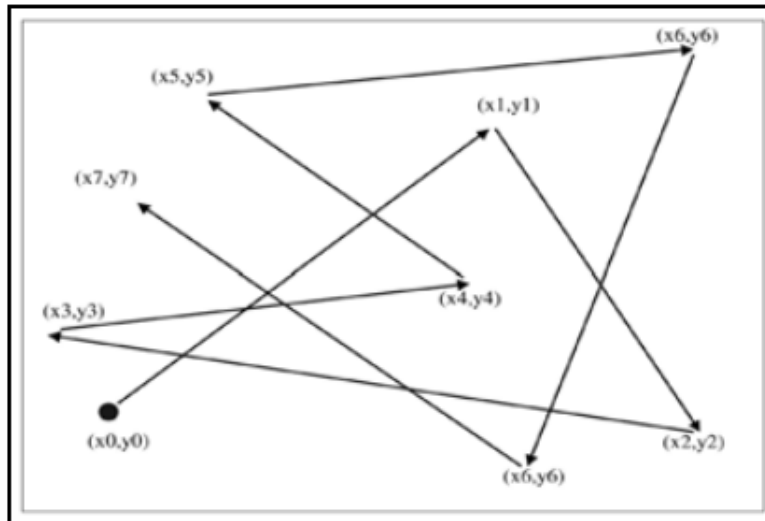
Στα μοντέλα αυτά, όπως προαναφέρθηκε, η ταχύτητα του κάθε χρήστη είναι μία τυχαία μεταβλητή χωρίς μνήμη. Για αυτό το λόγο σε αυτά τα μοντέλα μπορεί να παρατηρηθούν κάποια ακραία φαινόμενα, όπως απότομη διακοπή κίνησης (sudden stop), απότομη επιτάχυνση (Sudden acceleration) και απότομη στροφή (Sharp turn), τα οποία δεν ανταποκρίνονται στην πραγματική κίνηση των χρηστών σε ένα δίκτυο. Επίσης, σε αυτά τα μοντέλα ο κάθε χρήστης κινείται ανεξάρτητα από τους άλλους, κάτι που δεν ισχύει σε πραγματικές συνθήκες. Τέλος, στα μοντέλα αυτά θεωρείται πως ο χρήστης μπορεί να κινηθεί σε ολόκληρο τον χώρο της προσομοίωσης χωρίς να υπάρχουν εμπόδια, κάτι που επίσης δεν ανταποκρίνεται πάντα στις πραγματικές συνθήκες. Προκειμένου να επιλυθούν τέτοιου είδους προβλήματα, δημιουργήθηκαν τα depended mobility simulation models στα οποία η θέση, η ταχύτητα ή η κατεύθυνση ενός χρήστη επηρεάζονται από παράγοντες όπως η θέση των άλλων χρηστών, ο τρόπος που κινούνται οι άλλοι χρήστες καθώς και από γεωγραφικούς περιορισμούς.



1. Κατηγοριοποίηση μοντέλων κίνησης.

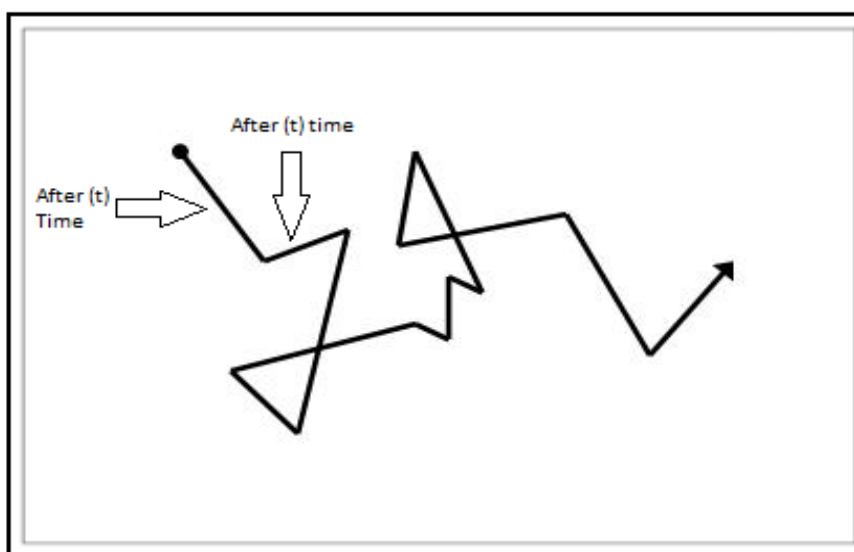
2.2.1 Αναφορά στα σημαντικότερα random based mobility simulation models.

1. Random waypoint mobility model: Στην εκκίνηση της προσομοίωσης ο κάθε κόμβος περιμένει για κάποια δευτερόλεπτα. Μετά από αυτό, ο κόμβος επιλέγει έναν τυχαίο προορισμό μέσα στην περιοχή της εξομοίωσης και μία τυχαία τιμή ανάμεσα στο 0 και στην μέγιστη ταχύτητα που έχει οριστεί για την εξομοίωση. Μόλις ο χρήστης φτάσει στον προορισμό του, περιμένει πάλι για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και μετά επιλέγει έναν νέο προορισμό.



2. Κίνηση ενός χρήστη στο random waypoint

2. Random walk mobility model: Μπορούμε να πούμε ότι το Random Walk πρόκειται για το random waypoint mobility model χωρίς pause time. Ο κάθε κόμβος δεν περιμένει για κάποιο χρονικό διάστημα πριν προχωρήσει στην κίνηση του. Επίσης στο random walk ο κάθε κόμβος αποφασίζει για την κατεύθυνση και την ταχύτητα του σε κάθε χρονικό διάστημα t που έχει οριστεί κατά την προσομοίωση.



3 Κίνηση ενός χρήστη στο Random Walk

2.2.2 Αναφορά στα σημαντικότερα depended mobility simulation models.

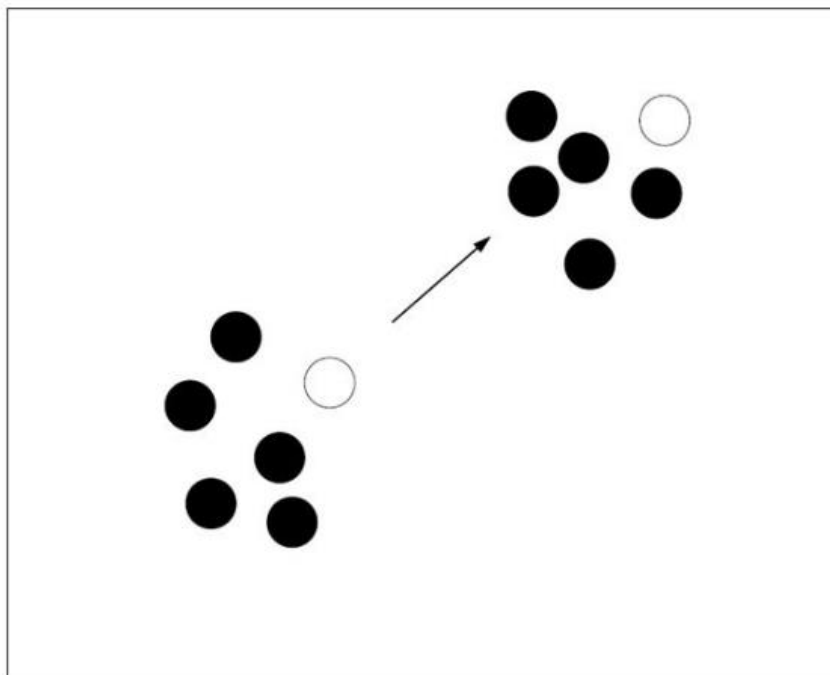
2.2.2.1 Mobility models με χρονική εξάρτηση

1. Gauss-Markov mobility model: Σε αυτό το μοντέλο θεωρούμε ότι η ταχύτητα του κάθε κόμβου είναι συσχετισμένη με τον χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα του κάθε κόμβου την χρονική στιγμή t εξαρτάται από την ταχύτητα του κόμβου την χρονική στιγμή $t-1$.
2. Smooth random mobility model: Σε αυτό το μοντέλο θεωρούμε ότι οι κόμβοι έχουν ένα σύνολο προτεινόμενων ταχυτήτων. Η πιθανότητα να επιλέξει ο κόμβος κάποια από αυτές τις ταχύτητες είναι μεγάλη, ενώ για τις υπόλοιπες ταχύτητες θεωρούμε ότι η πιθανότητα ακολουθεί κανονική κατανομή. Σε αυτό το μοντέλο η συχνότητα με την οποία αλλάζει η ταχύτητα των κόμβων θεωρείται ότι ακολουθεί κατανομή Poisson. Κάθε φορά που φτάνουμε σε σημείο αλλαγής ταχύτητας, μία καινούρια ταχύτητα επιλέγεται από κάθε κόμβο και ο κόμβος αρχίζει βαθμιαία να αλλάζει την τρέχουσα ταχύτητα του και να πλησιάζει την καινούρια του ταχύτητα. Ο ρυθμός με τον οποίο αλλάζει ταχύτητα ο κάθε κόμβος ακολουθεί και αυτός κανονική κατανομή.

2.2.2.2 Mobility models με χωρική εξάρτηση

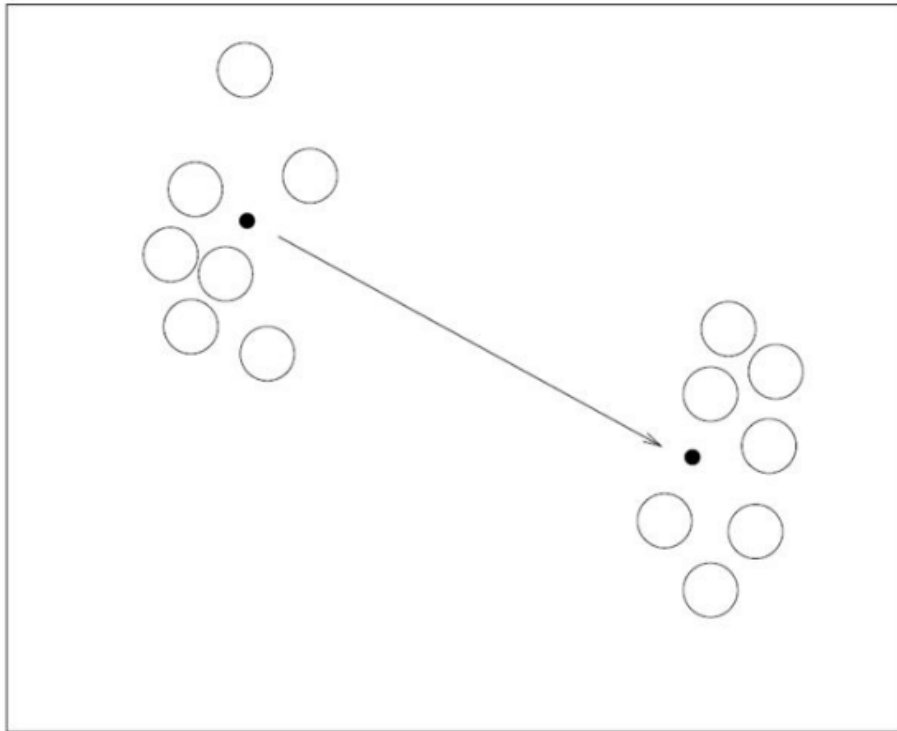
Στα μοντέλα αυτά θεωρούμε ένα κέντρο αναφοράς. Το κέντρο αυτό μπορεί να είναι ένα θεωρητικό σημείο ή κάποιος κόμβος του μοντέλου (group leader). Η κίνηση του Group leader είναι αυτή που καθορίζει την συμπεριφορά κίνησης όλων των κόμβων του μοντέλου μας.

1. Column mobility model: Ένα σύνολο κόμβων κινούνται προς μία προκαθορισμένη κατεύθυνση.
2. Pursue mobility model: Ένα σύνολο κόμβων κινείται ακολουθώντας έναν κόμβο ο οποίος βρίσκεται πιο μπροστά τους.



4 Pursue mobility model

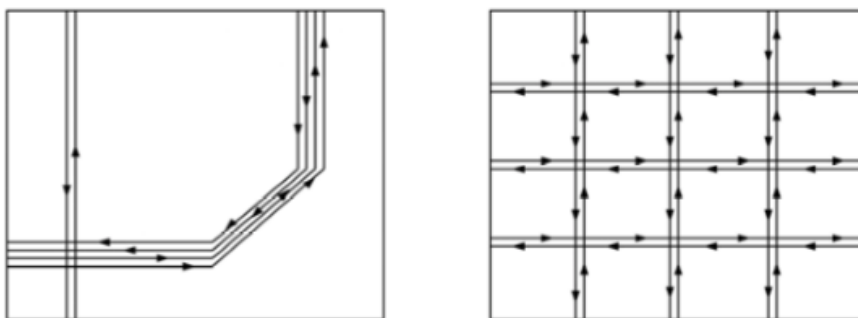
3. Nomadic mobility model: Ένα σύνολο κόμβων κινείται μαζί προς μία τυχαία κατεύθυνση.



5 Nomadic mobility model

2.2.2.3 Mobility models με γεωγραφική εξάρτηση

1. Pathway mobility model: Η κίνηση των κόμβων περιορίζεται σε συγκεκριμένο χώρο στον χάρτη. Ο χώρος αυτός ορίζεται κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης. Ο χώρος αυτός μπορεί να δημιουργηθεί τυχαία ή να είναι βασισμένος πάνω σε πραγματικό γεωγραφικό χώρο. Αρχικά, οι κόμβοι τοποθετούνται τυχαία επάνω στον προκαθορισμένο χώρο, επιλέγουν τυχαία έναν προορισμό και ξεκινούν την κίνηση τους προς αυτό τον προορισμό. Όταν φτάσουν στον προορισμό τους, περιμένουν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μετά δημιουργούν έναν τυχαίο καινούριο προορισμό και ξεκινούν νέα κίνηση. Τα πιο χαρακτηριστικά μοντέλα τέτοιου είδους είναι το Freeway model και το manhattan model.
 - Freeway model: Αναπαριστά την κίνηση των κόμβων σε μία εθνική οδό.
 - Manhattan model: Αναπαριστά την κίνηση των κόμβων σε ένα σύστημα κάθετων δρόμων (Αναφέρεται σε αστικό περιβάλλον).



6 Freeway model(Αριστερά) Manhattan Model(Δεξιά)

2. Obstacle mobility model: Στο συγκεκριμένο μοντέλο θεωρούμε ότι στον χώρο που κινούνται οι κόμβοι υπάρχουν κάποια εμπόδια. Για να μπορέσει ένας κόμβος να φτάσει στον προορισμό του, ίσως χρειαστεί να αλλάξει την κίνηση του προκειμένου να μπορέσει να αποφύγει τα εμπόδια αυτά. Σε μερικές περιπτώσεις, τέτοιου είδους μοντέλα κίνησης λαμβάνουν υπόψιν τους και τον τρόπο με τον οποίο τα εμπόδια επηρεάζουν την μετάδοση του σήματος για κάθε χρήστη.

2.3 Προτεινόμενος αλγόριθμος κινητικότητας.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται στην παρούσα εργασία, αφορά ένα geographic restricted mobility model και πιο συγκεκριμένα το Manhattan model. Στο μοντέλο αυτό έχουμε εισάγει και τον αλγόριθμο βέλτιστου μονοπατιού Bellman-Ford με το οποίο ο χρήστης αποφασίζει για το πώς θα κινηθεί ώστε να φτάσει στον προορισμό του.

Ο αλγόριθμος έχει γραφτεί σε γλώσσα Matlab και έχει δοκιμαστεί στις εκδόσεις 2013a, 2015a καθώς και στην 2016a και σε περιβάλλον Windows 8 και windows 10 (αρχιτεκτονικής 64bit). Ο αλγόριθμος μπορεί να τρέξει και αυτόνομα εκτός του προσομοιωτή.

Το αρχείο στο οποίο αποθηκεύεται ο κώδικας του αλγορίθμου μας είναι το mobilitySIM.m. Το αρχείο πρέπει να είναι αποθηκευμένο στο parent directory του προσομοιωτή μας (C:/Gkyriazis/mobilitySIM.m) και ο αλγόριθμός μας καλείται από την master_function του προσομοιωτή.

```
17 - | run 'mobilitySIM'|
```

Ο αριθμός των χρηστών καθορίζεται από εμάς κατά την εκτέλεση του master_function και το mobilitySIM φορτώνει αυτόματα τον αριθμό των χρηστών.

```
1 - |load('C:\GKyriazis\Channel Generator\_update no gui\users.mat')
```

```
5 - numberofusers=users;
```

Ο αλγόριθμος προσομοιώνει την κίνηση των χρηστών ανά μέτρο, αλλά εξάγει αποτελέσματα ανάλογα με την ταχύτητα που θα του ορίσουμε.

```
9 - wantedoutputspeed=17;
```

Επίσης ο αλγόριθμος αν και ουσιαστικά μπορεί να συνεχίζεται επ'άοριστον, παράγει αποτελέσματα ανάλογα με τον αριθμό επαναλήψεων που έχουμε ζητήσει να πραγματοποιήσει η master_function. Για να γίνει αυτό, ο αλγόριθμος φορτώνει τον αριθμό επαναλήψεων από το master_function και το χρησιμοποιεί μέσα στον αλγόριθμο.

Στο παράδειγμά μας, ο αριθμός οριζόντιων και κάθετων δρόμων είναι τέσσερις και ορίζεται στις γραμμές 3 και 4 του κώδικά μας.

```
3 - verticals=4;
4 - horizontals=4;
```

Η απόφαση αυτή πάρθηκε μιας και είναι ένας λογικός αριθμός αφού το σύνολο της επιφάνειας αναφοράς μας είναι 1000x1000 μέτρα.

Μπορούμε είτε να αφήσουμε το πρόγραμμα να δημιουργήσει τυχαία την θέση των οριζόντιων και κάθετων δρόμων,

```
24 - x=randperm(1000,verticals);
25 - y=randperm(1000,horizontal);
```

είτε να την εισάγουμε εμείς πριν την εκτέλεση του προγράμματος.

```
30 %Here we can manually pre-allocate the position of the roads for the
31 %simulation
32 - x={100,250,600,800};
33 - y={150,300,600,850};
```

Στην πρώτη περίπτωση όπου οι γραμμές παράγονται τυχαία, προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι η το πρόγραμμα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, εισάγουμε έναν έλεγχο όπου εξασφαλίζουμε ότι η απόσταση ανάμεσα σε κάθε ζεύγος γραμμών είναι τουλάχιστον 100 μέτρα.

```
23 - while xsorted(2)-xsorted(1)<=100 || xsorted(3)-xsorted(2)<=100 || xso
24 - x=randperm(1000,verticals);
25 - y=randperm(1000,horizontal);
26 - xsorted=sort(x);
27 - ysorted=sort(y);
28 - end
```

Μετά απ' αυτό, το πρόγραμμα τυχαία τοποθετεί τους χρήστες στο σύστημα και εάν κάποιος από τους χρήστες δεν έχει τοποθετηθεί επάνω σε κάποιον απ' τους δρόμους, τον μετακινεί στον πλησιέστερο δρόμο.

Με τον ίδιο τρόπο, το πρόγραμμα δημιουργεί και τους προορισμούς τους κάθε χρήστη.

Ύστερα, το πρόγραμμα δημιουργεί δύο πίνακες, τους οποίους χρησιμοποιεί ώστε να μπορέσει να φτιάξει το αρχείο με τα βάρη τα οποία αναθέτει σε κάθε υπάρχουσα ζεύξη. Τα βάρη τα οποία εισάγουμε, δημιουργούνται τυχαία μέσα στον αλγόριθμό μας και με αυτά δημιουργούμε ένα Sparse μέσα στο οποίο αναφέρεται η κάθε ζεύξη καθώς και το κόστος που αντιστοιχεί στην ζεύξη αυτή. Αυτό το Sparse είναι απαραίτητο ώστε να μπορέσει το matlab να εφαρμόσει τον αλγόριθμο εύρεσης βέλτιστου μονοπατιού στο σύνολο των χρηστών.

```
234 - DG = sparse(hopspart1,hopspart2,Weight,totalhops-2,totalhops-2);
```

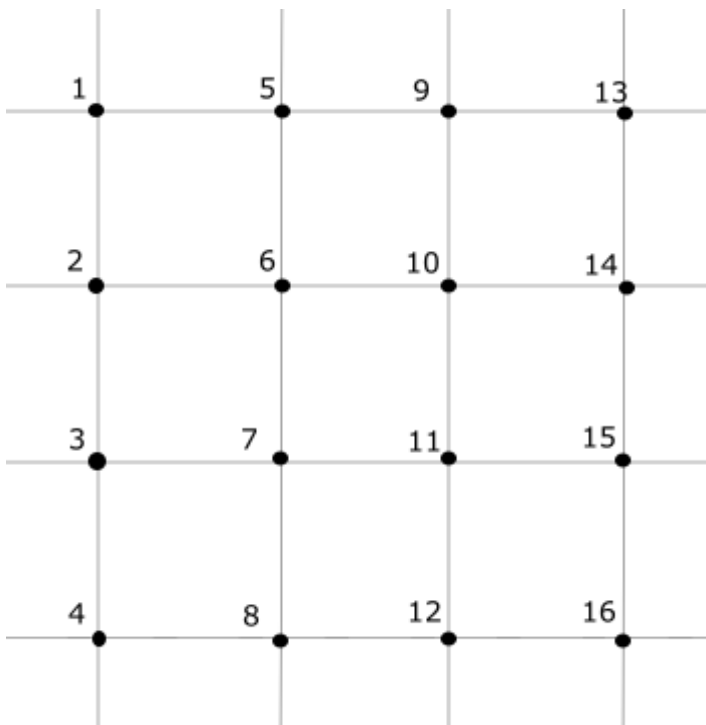
Το παραγόμενο αρχείο είναι της μορφής:

```

DG <48x48 sparse double>
val =
(2,1) 0.8491
(5,1) 0.7060
(1,2) 0.6557
(3,2) 0.7577
(6,2) 0.8238
(2,3) 0.9340
(4,3) 0.6555
(7,3) 0.0244
(3,4) 0.7431
(8,4) 0.3816
(1,5) 0.0357
(6,5) 0.0462
(9,5) 0.1869
(2,6) 0.6787
(5,6) 0.2769
(7,6) 0.3171
(10,6) 0.7547
(3,7) 0.3922
(6,7) 0.6948
(8,7) 0.7952
(11,7) 0.1626
(4,8) 0.1712
(7,8) 0.4287
(12,8) 0.9597
(5,9) 0.0318
(10,9) 0.6463

```

Όπου το ζεύγος μέσα στην παρένθεση υποδεικνύει το ζεύγος των ακραίων κόμβων της ζεύξης και ο αριθμός δίπλα σε αυτά, το κόστος της κάθε ζεύξης. Για να γίνει πιο κατανοητό πώς γίνεται η αρίθμηση των κόμβων, αριθμούμε το πλέγμα απ' τα αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.



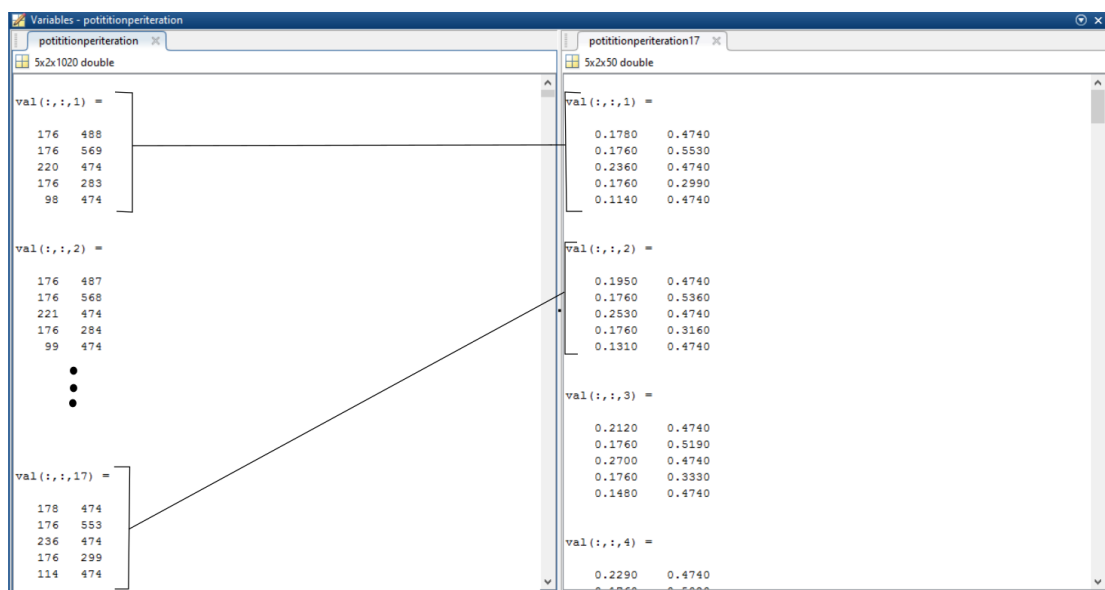
Αμέσως μετά το πρόγραμμα ξεκινάει την εξομοίωση. Αρχικά, το πρόγραμμα βρίσκει τους 2 κοντινότερους κόμβους σε κάθε χρήστη και σε κάθε προορισμό, κι έτσι δημιουργείται μια τετράδα διαθέσιμων ζευγών ακραίων σταθμών. Για κάθε ένα ζεύγος, το πρόγραμμα τρέχει έναν αλγόριθμο βέλτιστου μονοπατιού Belman Ford και επιλέγει ως μονοπάτι κίνησης το μονοπάτι με το μικρότερο κόστος. Αφού το κάνει αυτό για κάθε χρήστη, μπορεί να ξεκινήσει η προσομοίωση της κίνησης.

Για την προσομοίωση της κίνησης, το πρόγραμμα κάνει σε κάθε επανάληψη ένα σύνολο ελέγχων, βάσει των οποίων το πρόγραμμα υπολογίζει προς τα πού θα κινηθεί ο χρήστης. Το πρόγραμμα αρχικά ελέγχει εάν το μονοπάτι που θα ακολουθήσει ο χρήστης περιέχει μόνο 1 κόμβο. Αν ναι, ακολουθεί συγκεκριμένο έλεγχο για να δει αν ο χρήστης θα χρειαστεί να αλλάξει κίνηση, και αν ναι, φροντίζει να γίνει η αλλαγή στην κατάλληλη επανάληψη.

Εάν το μονοπάτι περιέχει παραπάνω από έναν κόμβο, το πρόγραμμα ελέγχει την σχετική θέση του χρήστη σε σχέση με τον επόμενο κόμβο και τον κινεί σε κάθε επανάληψη προς τον επόμενο κόμβο. Όταν ο χρήστης φτάσει στο σημείο να αλλάξει κατεύθυνση, ο αλγόριθμος υπολογίζει πόσο διάστημα θα έχει διανύσει ο χρήστης πριν και μετά την αλλαγή κατεύθυνσης, μετακινεί ανάλογα τον χρήστη, και επίσης ενημερώνει το σύστημα σχετικά με τον επόμενο κόμβο που πρέπει να κινηθεί ο χρήστης. Σε κάθε επανάληψη της κίνησης το πρόγραμμα αναβαθμίζει τον πίνακα `positionperiteration` με την θέση του χρήστη στην συγκεκριμένη επανάληψη.

Όταν κάποιος χρήστης φτάσει στον προορισμό του μπαίνει σε κατάσταση αναμονής. Σε κάθε επανάληψη το πρόγραμμα ενημερώνει τον πίνακα `positionperiteration` με τις ίδιες συντεταγμένες και έτσι ο χρήστης παραμένει ακίνητος. Ο χρήστης μένει στην θέση αυτή για 50 επαναλήψεις. Μετά από 50 επαναλήψεις το πρόγραμμα δημιουργεί έναν νέο προορισμό για αυτόν τον χρήστη και αρχικοποιεί κάποιες μεταβλητές τις οποίες θα χρειαστεί το πρόγραμμα για να υλοποιήσει την νέα κίνηση του χρήστη. Αφού γίνει η αρχικοποίηση ο χρήστης βγαίνει από την κατάσταση αναμονής και στην αμέσως επόμενη επανάληψη μπαίνει και πάλι σε διαδικασία κίνησης.

Τέλος, αφού το πρόγραμμα κάνει τόσες επαναλήψεις όσες του αναθέσει η `master_function`, κατά την εκκίνηση του τερματίζει και εξάγει τα αποτελέσματα. Σε αυτό το σημείο λαμβάνεται υπόψη η ταχύτητα που έχει ορίσει ο χρήστης. Ο τελικός πίνακας που εξάγει το πρόγραμμα είναι μία δειγματοληψία του πίνακα `positionperiteration`. Αν στο πρόγραμμα έχουμε ορίσει ταχύτητα 17, το πρόγραμμα θα δημιουργήσει έναν καινούριο πίνακα (τον `positionperiteration17`) όπου θα υπάρχει ένα στιγμιότυπο του πίνακα `positionperiteration` ανά 17 επαναλήψεις. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουμε την επιθυμητή ταχύτητα των χρηστών κατά την προσομοίωση μας και την απλούστευση των ελέγχων κατά την διαδικασία κίνησης μέσα στον αλγόριθμο. Για λόγους κανονικοποίησης, ο πίνακας `positionperiteration` διαιρείται επίσης και με το 1000 καθώς αυτό απαιτεί ο κύριος εξομοιωτής. Παρακάτω μπορούμε να δούμε και να συγκρίνουμε ένα στιγμιότυπο των δύο πινάκων.



Αυτός ο πίνακας αποθηκεύεται στον φάκελο του προσομοιωτή.

```
1272 - save('C:\GKyriazis\potititionperiteration17.mat')
```

Προκειμένου να φορτώσουμε τις θέσεις αυτές στον κύριο εξομοιωτή, αλλάζουμε ένα κομμάτι του κώδικα στο master_function, και δημιουργούμε μια καινούρια μέθοδο, την newrandomuser.

Πιο συγκεκριμένα, στο master_function, αντί να καλέσουμε την μέθοδο randomuser καλούμε την νέα μέθοδο newrandusers[], μέσα στην οποία περνάμε και τον μετρητή της επανάληψης στην οποία βρισκόμαστε.

```
51 - newrandusers(i)
```

Μέσα στην μέθοδο newrandusers, φορτώνουμε το αρχείο στο οποίο φαίνονται οι θέσεις των χρηστών,

```
5 - load('C:\GKyriazis\potititionperiteration17.mat')
```

και αντί σε κάθε επανάληψη να δημιουργούμε τυχαία θέσεις, παίρνουμε από το αρχείο μας την θέση του κάθε χρήστη στην συγκεκριμένη επανάληψη

```
11 - for i=1:1:users
12 -     MSpos_FIXED(i,:) = [potititionperiteration17(i,1,arg1),potititionperiteration17(i,2,arg1),MS_btr];
13 - end
```

Έτσι, το νέο MSpos_FIXED το οποίο χρησιμοποιεί ο προσομοιωτής για να προσδιορίσει την θέση του χρήστη σε κάθε επανάληψη περιέχει την θέση του χρήστη που παράγει ο αλγόριθμος κινητικότητας του χρήστη στην αντίστοιχη επανάληψη.

Τέλος για την λογική ορθότητα του παραπάνω αλγορίθμου χρειάστηκε να αποφασίσουμε για την ταχύτητα που επιλέξαμε στον παραπάνω αλγόριθμο. Η επιφάνεια πάνω στην οποία κινούνται οι χρήστες έχει διαστάσεις 1000x1000. Ο διάμεσος του τετραγώνου είναι 1410 μέτρα. Για να εξασφαλίσουμε ότι η κίνηση του κάθε χρήστη επαρκεί ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι σωστά, πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι θα καλύπτουν τουλάχιστον το 70% του συνολικού μήκους που μας παράγει η πράξη (διάμεσος + μήκος πλευράς)/2 και άρα 840 περίπου μέτρα. Το σύνολο των επαναλήψεων για κάθε μονοπάτι αποφασίσαμε ότι θα είναι 60 και άρα για να καλυφθεί αυτό το μήκος θα πρέπει ο κάθε χρήστης να διανύει 17 μέτρα ανά επανάληψη. Τέλος, αφού ο μέση ταχύτητα κίνησης ενός ανθρώπου είναι τα 5 χλμ/ώρα, θεωρούμε ότι η κάθε επανάληψη που μας παράγει το πρόγραμμα απέχει από την προηγούμενη 12 δευτερόλεπτα.

3. Περιγραφή του προσομοιωτή για την εξεύρεση των πιο αποδοτικών σταθμών βάσης.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο δουλεύει ο προσομοιωτής, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο επιλέγουμε τα ανοιχτά Base Station ανάλογα με τον αριθμό χρηστών στο σύστημα μας (Activation schemes).

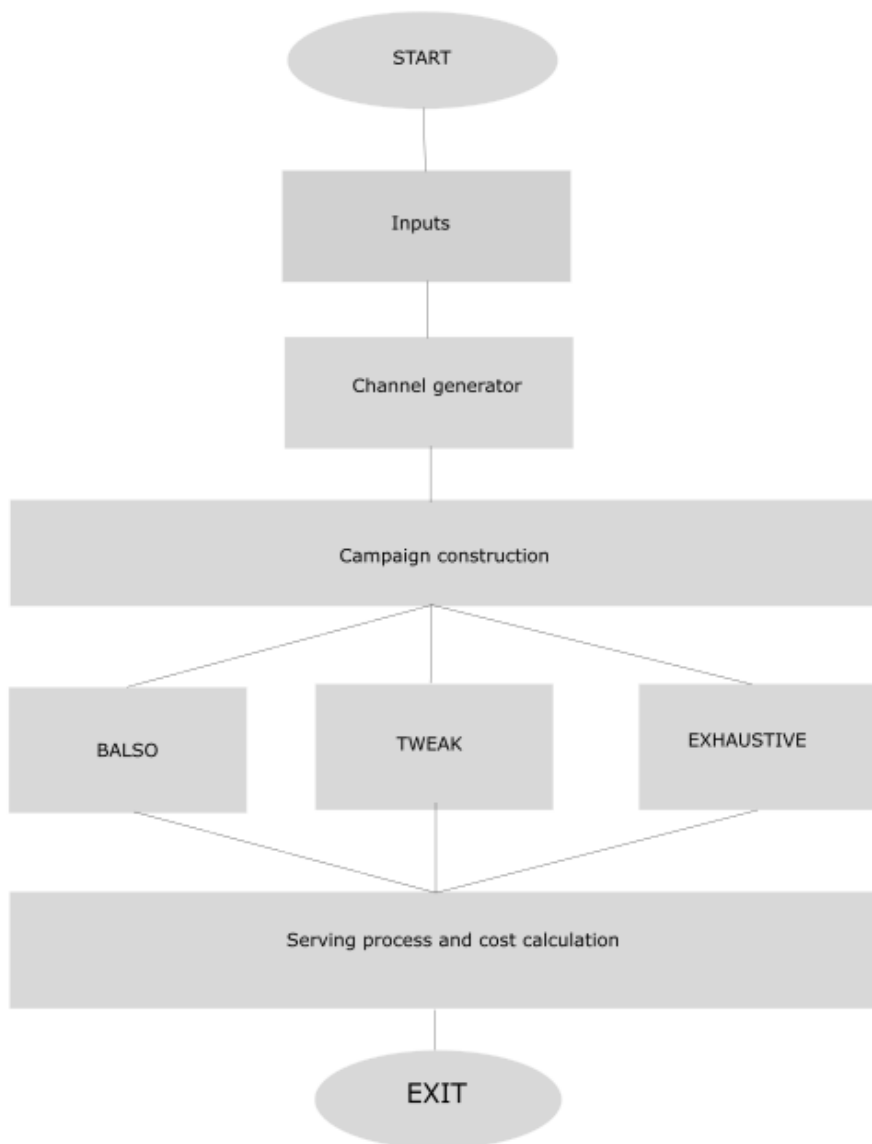
3.1 Αρχιτεκτονική του προσομοιωτή.

Ο προσομοιωτής είναι γραμμένος σε γλώσσα Matlab και αποτελείται από δύο οντότητες: τον Channel Generator καθώς και τον Simulator.

Για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος διάδοσης, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 'Wireless World Initiative New Radio' II . Πρόκειται για ένα μοντέλο επιπέδου συστήματος, το οποίο μπορεί να περιγράψει υλοποιήσεις όλων των προτυποποιημένων σεναρίων μετάδοσης (A*, B*, C*, D*) και σύνθεσης κεραιών. Οι παράμετροι του καναλιού καθορίζονται στοχαστικά, με βάση τις στατιστικές κατανομές που έχουν εξαχθεί από μετρήσεις των αντίστοιχων καναλιών.

Αρχικά, ορίζονται οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας (LS) όπως delay spread and distribution, angle of departure spread and distribution, angle of arrival Spread and distribution shadow fading standard deviation, Ricean K-factor, με βάση το εκάστοτε σενάριο μετάδοσης. Στη συνέχεια, οι παράμετροι μικρής κλίμακας όπως διάφορες τιμές καθυστέρησης, ισχύος κτλ, καθορίζονται προσεγγιστικά, με βάση τις LS παραμέτρους [11]. Αφού έχει υλοποιηθεί το κανάλι WINNER II, ο Simulator αναλαμβάνει να στήσει ένα σύστημα LTE, παραμετροποιώντας όλες τις παραμέτρους φυσικού και mac επιπέδου όπως εύρος ζώνης συστήματος, αριθμός των subcarriers, διάρκεια μετάδοσης συμβόλου, διάρκεια μετάδοσης πλαισίου κτλ. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα επιλογής ενός αλγόριθμου ανάθεσης πόρων για να επιλυθεί το σενάριο και να αποτιμηθεί η επίδοση του αλγόριθμου στην ενεργειακή κατανάλωση, την ταχύτητα εξεύρεσης λύσης και την αναλυτική χρήση των πόρων των σταθμών βάσης.

Για να ξεκινήσει η λειτουργία του προσομοιωτή πρέπει να εκτελέσουμε την master_function. Στη συνέχεια, η master_function καλεί τα κατάλληλα αρχεία, ώστε να δημιουργηθεί το κανάλι WINNER II, να δημιουργήσει τον χώρο μέσα στον οποίο τοποθετούνται οι χρήστες και οι σταθμοί βάσης και τέλος, καλεί τα κατάλληλα αρχεία ώστε να πραγματοποιηθεί η επίλυση του παραπάνω σεναρίου μέσω του αλγόριθμου ανάθεσης πόρων που του ορίσαμε. Μπορούμε να δούμε αυτή την ροή στο επόμενο σχήμα.



1 Διάγραμμα οντοτήτων προσομοιωτή

- **Input**

Ο προσομοιωτής δέχεται σαν δεδομένα εισόδου πληροφορίες σχετικά με τα Base Station, τους κινητούς χρήστες και την μέθοδο την οποία θα χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να επιλύσουμε το πρόβλημα. Τα περισσότερα δεδομένα τα εισάγουμε στον προσομοιωτή πριν την εκκίνηση του προγράμματος είτε σαν μεταβλητές είτε σαν αρχεία τύπου .mat μέσα στον φάκελο του προσομοιωτή. Κατά την εκκίνηση του προσομοιωτή, εισάγουμε επιπλέον δεδομένα, όπως τον αριθμό των χρηστών, την απαίτηση των χρηστών σε Bitrate καθώς τον αλγόριθμο τον οποίο θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής, ώστε να κάνει την ανάθεση των πόρων, και τέλος τις επαναλήψεις για τις οποίες θα λύσει ο προσομοιωτής το πρόβλημα που του αναθέτουμε.

Ο αριθμός των σταθμών βάσης καθώς και οι επιπλέον πληροφορίες για τον σταθμό βάσης θα πρέπει να εισαχθούν ως ένα .mat αρχείο στις θέσεις:

`C:\dkomna\Channel Generator_update no gui\Bs_Ms_pos`

`C:\dkomna\Channel Generator_update no gui`

Η μορφή του αρχείου φαίνεται στο σχήμα 3 του κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα, στις στήλες 1 και 2 αναφέρονται οι συντεταγμένες του σταθμού βάσης. Στην στήλη 3, η ισχύς που καταναλώνεται για την εκπομπή του κάθε subcarrier από τον σταθμό βάσης, στην στήλη 4 ο τύπος λειτουργίας του σταθμού βάσης (HSPA ή LTE), στην στήλη 5 φαίνεται αν ο σταθμός θα είναι συνέχεια ενεργός ή ανενεργός και στην στήλη 6 ο τύπος του σταθμού βάσης (Macro, micro, fempto) και στην στήλη 7 ένας βοηθητικός αριθμός που μας δίνει το ID του σταθμού βάσης.

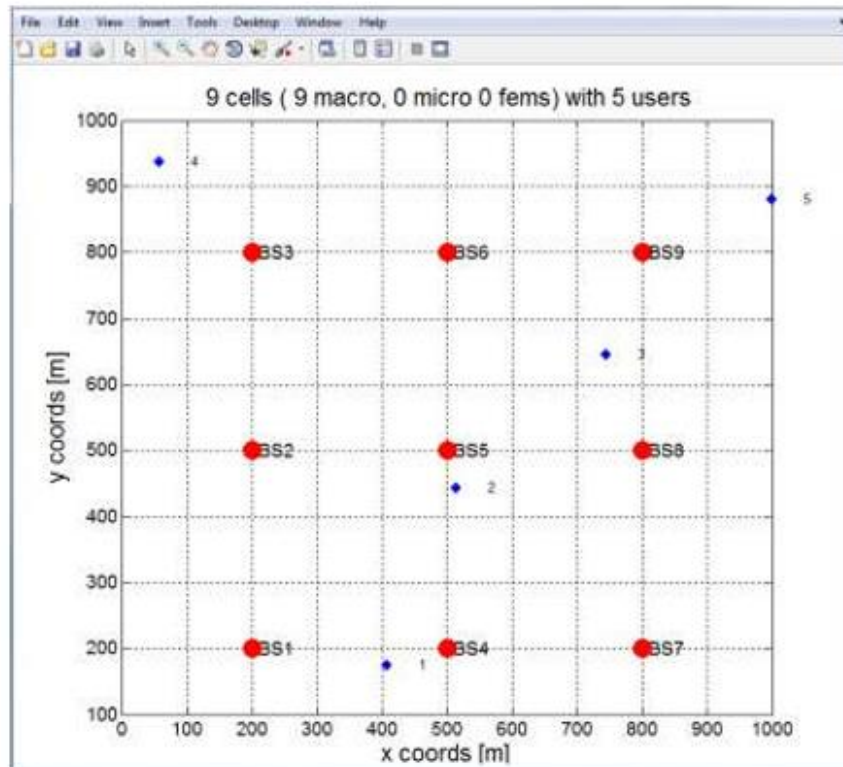
```
Command Window
Enter number of users (5, 15, 30 or 50): 5
Select algorithm: BALS0 (2), TWEAK (4), EXHAUSTIVE 2
Enter GBR (2 for 500kbps, 3 for 750kbps, 4 for 1000kbps etc (steps of 250kbps)): 2
fx How many iterations would you like to run? 100
```

2 Εισαγωγή των πληροφοριών κατά την εκκίνηση του αλγορίθμου

	1	2	3	4	5	6	7	
1	0.2000	0.2000	0.7000	0	0	1	1	
2	0.2000	0.5000	0.7000	0	0	1	2	
3	0.2000	0.8000	0.7000	0	0	1	3	
4	0.5000	0.2000	0.7000	0	0	1	4	
5	0.5000	0.5000	0.7000	0	0	1	5	
6	0.5000	0.8000	0.7000	0	0	1	6	
7	0.8000	0.2000	0.7000	0	0	1	7	
8	0.8000	0.5000	0.7000	0	0	1	8	
9	0.8000	0.8000	0.7000	0	0	1	9	
10								

3 BSpos_FIXED για 9 σταθμούς βάσης.

Αφού έχουν οριστεί οι παράμετροι εισόδου, ο προσομοιωτής τοποθετεί τα κινητά τερματικά σε τυχαίες θέσεις στο πλέγμα χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `randusers.m` του προσομοιωτή και τους σταθμούς βάσης στις αντίστοιχες συντεταγμένες, όπως έχουν οριστεί στο αρχείο `BSros_FIXED`.



4 Παράδειγμα για 9 macro Base Stations και 5 users

- **Channel generator**

Η γεννήτρια του καναλιού ξεκινάει από το αρχείο `test_Wim2_channel_generation.m` και δημιουργεί ένα κανάλι σύμφωνα με παραμέτρους που έχει ορίσει ο χρήστης πριν την εκκίνηση του αλγορίθμου. Οι παράμετροι αυτοί ορίζονται στο αρχείο `Wim2_PrmsDefinition.m`. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, αλλά και με το στοχαστικό προσδιορισμό των LS παραμέτρων, στήνεται το κανάλι, υπολογίζοντας το `path_loss` για κάθε πιθανή σύνδεση BS-MS.

- **Campaign construction.**

Η λειτουργία του προσομοιωτή ξεκινάει με την εκκίνηση του αρχείου `Execute_Campaign.m`. Αρχικά υπολογίζονται και αρχικοποιούνται όλες οι παράμετροι φυσικού (`bandwidth`, αριθμός το εύρος ζώνης και ο θόρυβος κάθε `subcarrier` και το κατώφλι BER των κινητών σταθμών βάσης) και Mac επιπέδου (διάρκεια OFDM συμβόλου, διάρκεια πλαισίου αποστολής) προκειμένου να γίνει χρήση τους στις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν. Στη συνέχεια καλείται το αρχείο `Execute_Runs.m`, όπου καλείται ο αλγόριθμός που έχει επιλεγεί και λύνει το σενάριο με τις συγκεκριμένες μεταβλητές

- **Αλγόριθμοι επίλυσης**

Για την επίλυση του προβλήματος υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι. Οι δύο από αυτές (Balso και Tweak) είναι ευρεστικές και το χαρακτηριστικό τους είναι η ταχεία εύρεση μίας όχι σίγουρα βέλτιστης λύσης. Η Τρίτη μέθοδος είναι εξαντλητική, χαρακτηρίζεται από μεγάλο χρόνο εκτέλεσης και δίνει ως αποτέλεσμα πάντα την βέλτιστη λύση.

- **Serving Process and cost calculation**

Η τελευταία οντότητα του προσομοιωτή, αφορά τη πραγματοποίηση της αποδοτικής ανάθεσης των πόρων του συστήματος στους χρήστες, με βάση τα δεδομένα που της επιστρέφουν οι παραπάνω αλγόριθμοι και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάθεσης αυτής. Στο τέλος της ανάθεσης, πραγματοποιείται και ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης του συστήματος με βάση τον αριθμό των σταθμών και των subcarriers που συμμετείχαν στην ανάθεση. Τα παράγωγα της κάθε προσομοίωσης αποθηκεύονται σε αρχεία κειμένου μέσα σε ξεχωριστούς φακέλους. Κάθε φάκελος περιλαμβάνει δυο αρχεία κειμένου, μια σύνοψη της προσομοίωσης στο αρχείο compact.txt και το αναλυτικό αποτέλεσμα της μέσα από το αρχείο results.txt.

3.2 Ευρεστικός αλγόριθμος BALSΟ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, στον προσομοιωτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τρεις διαφορετικές μεθόδους. Στην μετρήσεις που έγιναν για την εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος BALSΟ, για αυτό και θα ακολουθήσει μία περιγραφή της ευρεστικής αυτής μεθόδου.

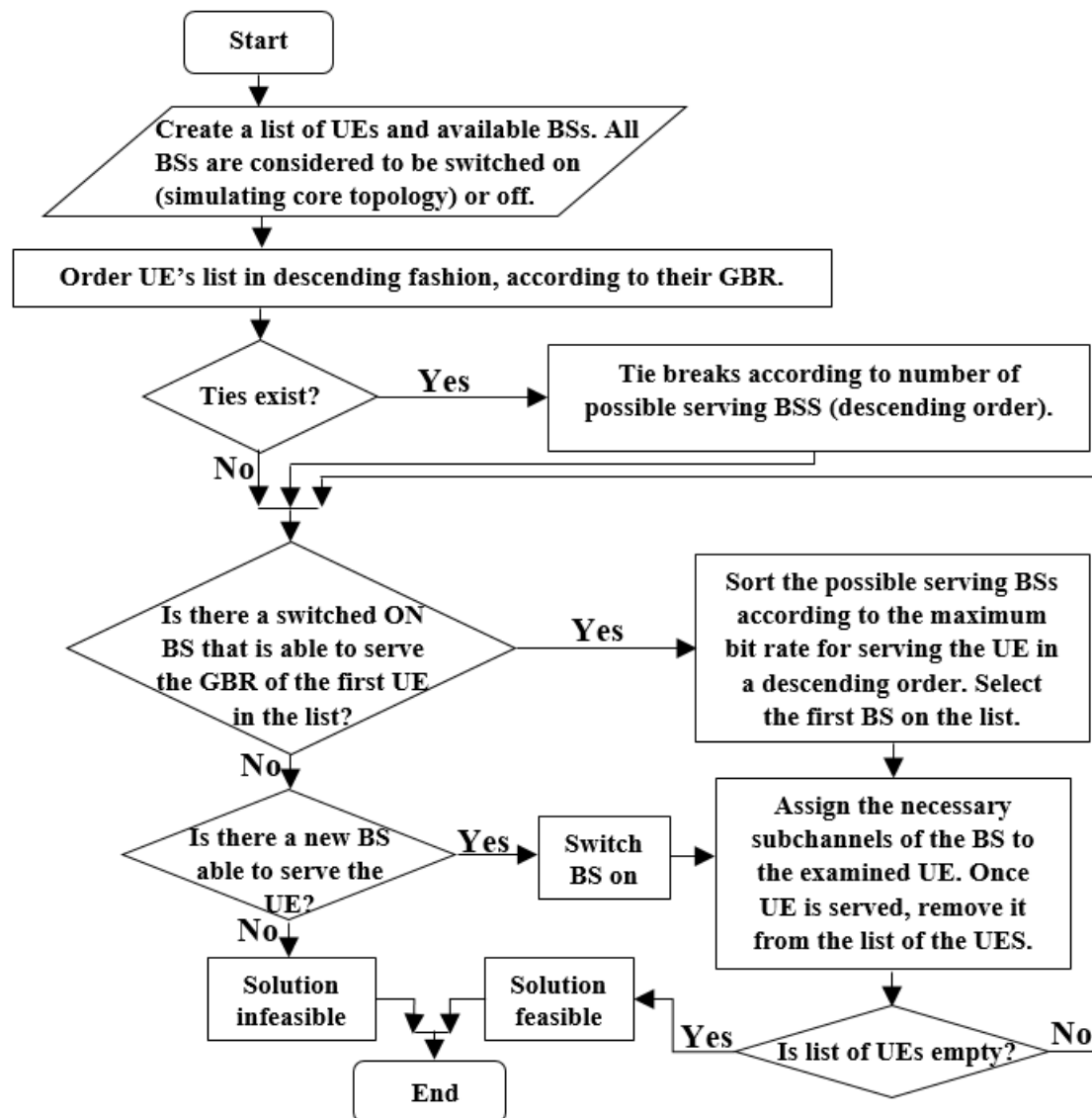
Ο Base Location / Status Optimizer (BALSΟ) είναι ένας ευρεστικός αλγόριθμος. Ο αλγόριθμος αναθέτει στο σύστημα μεμονωμένους σταθμούς βάσης μέχρις ότου καλυφθεί η ζήτηση των χρηστών. Αρχικά, όλοι οι σταθμοί βάσεις θεωρούνται ανενεργοί και ο αλγόριθμος ενεργοποιεί τον καταλληλότερο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έως ότου όλοι οι χρήστες του συστήματος να είναι ικανοποιημένοι. Ως καταλληλότερος ορίζεται ο σταθμός βάσης όπου έχει την μεγαλύτερη συνολική προσφορά στην εξυπηρέτηση των χρηστών. Όσο μεγαλύτερο Bit-rate μπορεί να επιτύχει ένας σταθμός τόσο πιο πιθανό είναι να τον ενεργοποιήσει το σύστημά μας.

Ειδικότερα, υποψήφιος για ενεργοποίηση είναι ο σταθμός βάσης που επιτυγχάνει το υψηλότερο μέσο bit-rate για όλους τους χρήστες του συστήματος. Για να υπολογιστεί αυτός ο παράγοντας, κατασκευάζεται ένας τρισδιάστατος πίνακας παρεμβολών (interference matrix), ο οποίος αποθηκεύει τις τιμές της παρεμβολής για κάθε ένα ζεύγος (BS, subcarrier, UE). Για τον υπολογισμό του πίνακα αυτού, χρησιμοποιούνται οι τιμές ισχύος εκπομπής των σταθμών βάσης, οι τιμές ευαισθησίας του δέκτη για κάθε κινητό σταθμό και η στάθμη θορύβου του καναλιού. Ο εξεταζόμενος σταθμός βάσης θεωρείται σταθμός εξυπηρέτησης, και όλοι οι υπόλοιποι ενεργοί σταθμοί αποτελούν πηγές παρεμβολής. Χρησιμοποιώντας το θεώρημα Shannon-Hartley, ο πίνακας παρεμβολών μετασχηματίζεται σε έναν αντίστοιχο πίνακα bit-rates, όπου κάθε πεδίο του αποτελεί την επίδοση ενός συγκεκριμένου subcarrier προς ένα χρήστη. Αυτές οι τιμές περιορίζονται όμως από τη μέγιστη φασματική απόδοση του LTE, οπότε όσες τιμές υπερβαίνουν αυτό το όριο αντικαθίστανται από τη μέγιστη επιτρεπτή τιμή. Σε αυτό το σημείο, είναι εύκολο να υπολογιστεί η μέση τιμή της επίδοσης του εξεταζόμενου σταθμού βάσης αθροίζοντας τα bit-rate και διαιρώντας με τον αριθμό των χρηστών.

Αν ένας χρήστης δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από το σύστημα με την υπάρχουσα τοπολογία σταθμών, ο BALSΟ θα επιχειρήσει να βρει έναν ακόμα σταθμό για να επιστρέψει. Ο σταθμός αυτός πρέπει να πληροί δυο κριτήρια.

- Το bit rate του εξεταζόμενου σταθμού βάσης για τον χρήστη που δεν εξυπηρετήθηκε προηγουμένως, πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο bit-rate του, δηλαδή δίνεται έμφαση στην εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου χρήστη.
- Οι σταθμοί βάσης που πληρούν το πρώτο κριτήριο θα συμμετάσχουν στο δεύτερο, το οποίο και πάλι είναι η μεγαλύτερη μέση απόδοση σε όλο το εύρος των χρηστών, έτσι ώστε ο σταθμός που θα επιλεγεί να είναι σε θέση να προσφέρει όσο το δυνατόν περισσότερο bit-rate στο σύστημα.

Αυτό το σετ περιορισμών διασφαλίζει τη γρήγορη απόκριση του συστήματος σε μια αδυναμία εξυπηρέτησης, καθώς ο επόμενος σταθμός βάσης που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάθεση θα είναι ο βέλτιστος για την εξυπηρέτηση του προβληματικού κινητού τερματικού. Σε περίπτωση που κανένας από τους εναπομείναντες σταθμούς βάσης δε μπορεί εξυπηρετήσει επαρκώς το 'προβληματικό' κινητό τερματικό, επιστρέφεται ο σταθμός βάσης χρησιμοποιώντας μόνο το δεύτερο κριτήριο της συνολικής απόδοσης για το σύστημα.

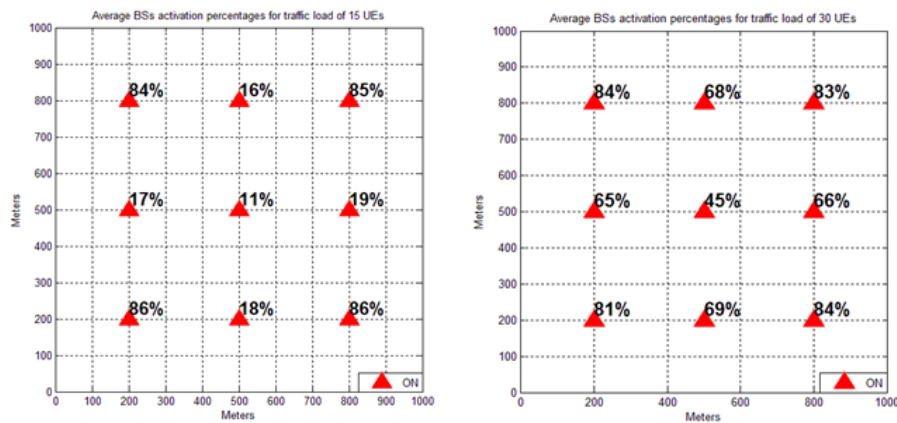


5 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου BALSΟ

3.3 Προσδιορισμός ανοιχτών σταθμών ανά φορτίο χρηστών.

Το πλήθος των ανοιχτών σταθμών βάσης ανά φορτίο χρηστών έχει ήδη προσδιοριστεί από την βιβλιογραφία. Χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο, υλοποιήθηκαν 200 επαναλήψεις για κάθε πλήθος χρηστών (5,15,30 και 50) και ποιότητα υπηρεσίας (500, 750 και 1000Kbps). Από τις επαναλήψεις αυτές, προσδιορίστηκε ένα ποσοστό χρήσης του κάθε Base Station ανά πλήθος χρηστών.

Ενδεικτικά παραθέτουμε τα αποτελέσματα για φορτίο 15 και 30 χρηστών και επίπεδο υπηρεσίας 750kbps.

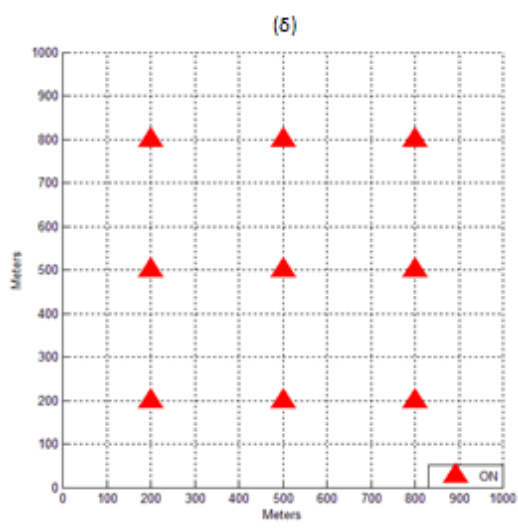
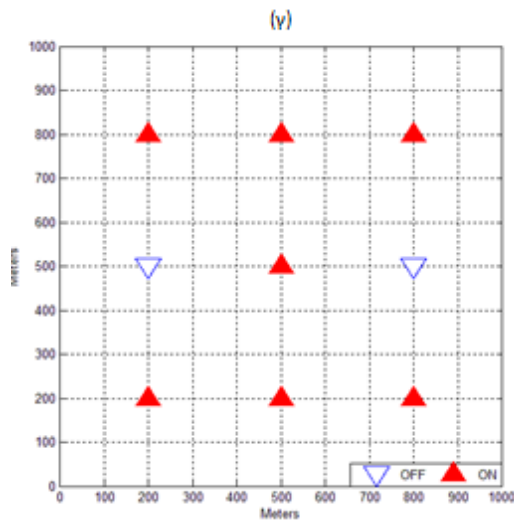
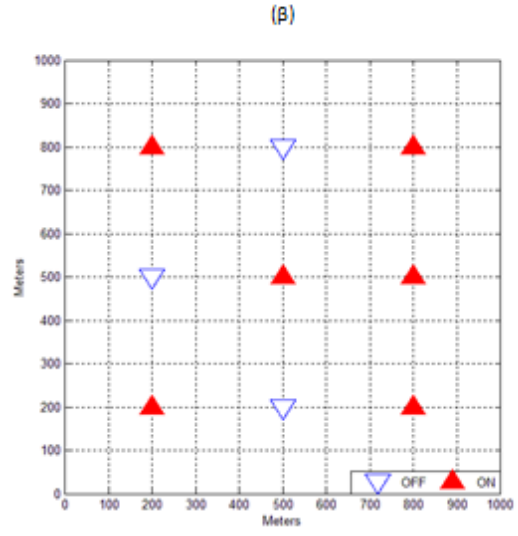
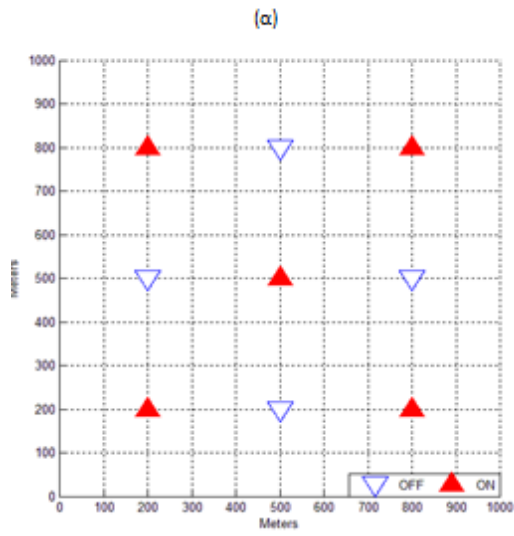


6 Base station activation percentage for 15 and 30 UEs

Με βάση αυτές της μετρήσεις προτείνονται τα Activation Schemes στο σχήμα 7 του κεφαλαίου. Με κόκκινο τρίγωνο αναφέρονται τα ενεργοποιημένα Base Station, ενώ με λευκό τα απενεργοποιημένα.

Στην περίπτωση των 15 χρηστών ενεργοποιούνται 6 base station. Τα πέντε από αυτά είναι σίγουρα τα Base Stations που βρίσκονται στις γωνίες του χώρου μας καθώς και το κεντρικό Base Station. Το 6^ο Base Station μπορεί να είναι ένα οποιοδήποτε από τα άλλα τέσσερα που υπάρχουν μέσα στον χώρο.

Με τα προτεινόμενα activation schemes επιτυγχάνονται βελτιωμένα αποτελέσματα όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση του συστήματος μας χωρίς να υπάρχει παραβίαση της ποιότητας υπηρεσίας που ζητάνε οι χρήστες μας.



7 Activation schemes για 5(α), 15(β), 30(γ) και 50(δ) χρήστες

4.Μελέτη αποδοτικότητας του παραπάνω αλγορίθμου σε περιβάλλον κινούμενων χρηστών

4.1 Προσδιορισμός πειράματος.

Προκειμένου να μπορέσουμε να μελετήσουμε το πώς ανταποκρίνεται το σύστημά μας σε συνθήκες κίνησης των χρηστών, χρειάστηκε να παραμετροποιήσουμε τον προσομοιωτή μας. Αρχικά, χρησιμοποιήσαμε τα συμπεράσματα του προηγούμενου κεφαλαίου προκειμένου να ενεργοποιούμε τα κατάλληλα Base Station ανάλογα με το φορτίο χρηστών.

Έτσι, για 5 χρήστες ενεργοποιούμε τα Base Station 1,3,5,7 και 9. Όταν οι χρήστες είναι 15, ενεργοποιούμε τα Base Station 1,3,5,7,9 και ένα οποιοδήποτε Base Station από την παρακάτω τετράδα 2,4,6,8. Για 30 χρήστες ενεργοποιούνται όλα τα Base Station εκτός από τα 2 και 8. Τέλος, σε περιβάλλον με 50 χρήστες ενεργοποιούνται όλα τα Base Station.

Στην περίπτωση των 15 χρηστών, χρειάστηκε να δημιουργήσουμε ειδικό έλεγχο ώστε να εξασφαλίσουμε ότι σε κάθε επανάληψη μέσα στο ίδιο μονοπάτι θα ενεργοποιείται πάντα το ίδιο από τα τυχαία Base Station.

```
24 - if users ==5
25 -     BSpos_FIXED = BSpos_FIXED([1,3,5,7,9],:);
26 - elseif users==15
27 -     %Whichever of the BS ids [2,4,6,8] chosen is expected to deliver
28 -     %the same performance, thus choose randomly one.
29 -     if i==1; %This ensures that the random BS will be chosen only on the beginning of any given path.
30 -         BSidtorand=[2,4,6,8]; %List of BS id to choose randomly from
31 -         BSidfromrand = randsample(BSidtorand,1); %Choose one BS id randomly
32 -         BSids = sort([1,3,5,7,9,BSidfromrand]); %Sort the list of the BS ids
33 -         BSpos_FIXED = BSpos_FIXED(BSids,:);
34 -     elseif i~=1;
35 -         load ('C:\GKyriazis\BSpos_FIXED.mat','BSpos_FIXED');
36 -     end
37 - elseif users==30
38 -     BSpos_FIXED = BSpos_FIXED([1,3,4,5,6,7,9],:);
39 - elseif users==50
40 -     BSpos_FIXED = BSpos_FIXED(1:9,:);
41 - end
```

Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών, είναι ένας τετραγωνισμένος χώρος διαστάσεων 1000τ.μ. (1000μ x 1000μ) και οι σταθμοί βάσης τοποθετήθηκαν σε αυτόν σε επιλεγμένα σημεία με κριτήρια την συμμετρία και την ομοιογένεια ως προς το εμβαδό που καλύπτει ο κάθε ένας.

Οι χρήστες κινούνται επάνω σε οριζόντιους και κάθετους δρόμους που τυχαία δημιουργούμε μέσα στο πλέγμα μας σύμφωνα με τον αλγόριθμο που υλοποιήσαμε στο κεφάλαιο 2. Υλοποιήσαμε μετρήσεις για 50 διαφορετικές τυχαίες περιπτώσεις οριζόντιων και κάθετων δρόμων και ανά περίπτωση τοποθετήσαμε τους χρήστες σε 100 διαδοχικές θέσεις. Έτσι συνολικά για κάθε φορτίο και ποιότητα υπηρεσίας υλοποιήθηκαν 5000 μετρήσεις.

Ο ευρεστικός αλγόριθμος με τον οποίο παράγουμε τα αποτελέσματα είναι ο Balso, τον οποίο έχουμε θέσει και σαν προεπιλογή μέσα στην master_function.

Για να έχουμε μέτρο σύγκρισης για τις παραπάνω μετρήσεις, αποφασίσαμε να πάρουμε 100 μετρήσεις για κάθε ζεύγος αριθμού χρηστών και απαιτούμενου bitrate, με τους χρήστες αυτή την φορά να κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα στο Grid του πειράματος χωρίς να ακολουθούν κάποιο προσδιορισμένο μονοπάτι.

Οι θέσεις των σταθμών βάσης παρέμειναν σταθερές για το σύνολο των προσομοιώσεων. Οι αλγόριθμοι δοκιμάστηκαν σε ένα σύνολο πειραμάτων με σκοπό τη καταγραφή της απόδοσής τους, τόσο σε ευνοϊκές όσο και σε δυσχερείς συνθήκες φόρτου, πάνω από ένα σύστημα LTE με εύρος 5MHz. Ο αλγόριθμος δοκιμάστηκε διαδοχικά σε σενάρια 5, 15, 30 και 50 χρηστών με επιθυμητό bit-rate του κάθε χρήστη 500, 750 και 1000kbps αντίστοιχα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ				
Αριθμός σταθμών βάσης	5	6	7	9
BW συστήματος LTE	5MHz			
Αριθμός UEs	5	15	30	50
Απαιτήσεις σε bit rate /UE	500kbps, 750kbps, 1000kbps			
Μοντέλο διάδοσης	C3 - Bad Urban Macro cell (NLOS)			
Μοντέλα Κίνησης	Random Distributed		Manhattan Model	

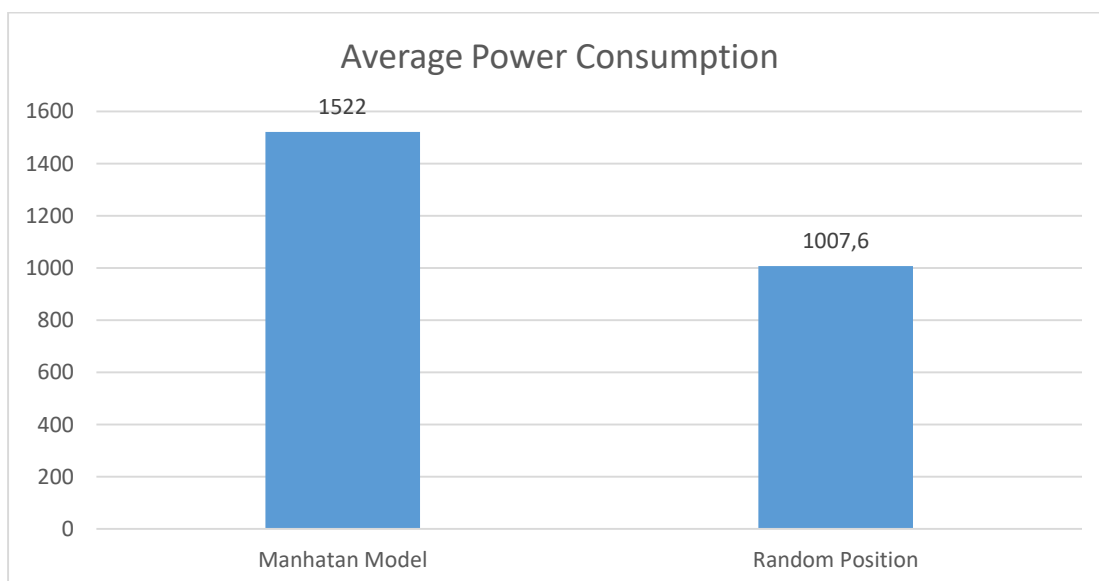
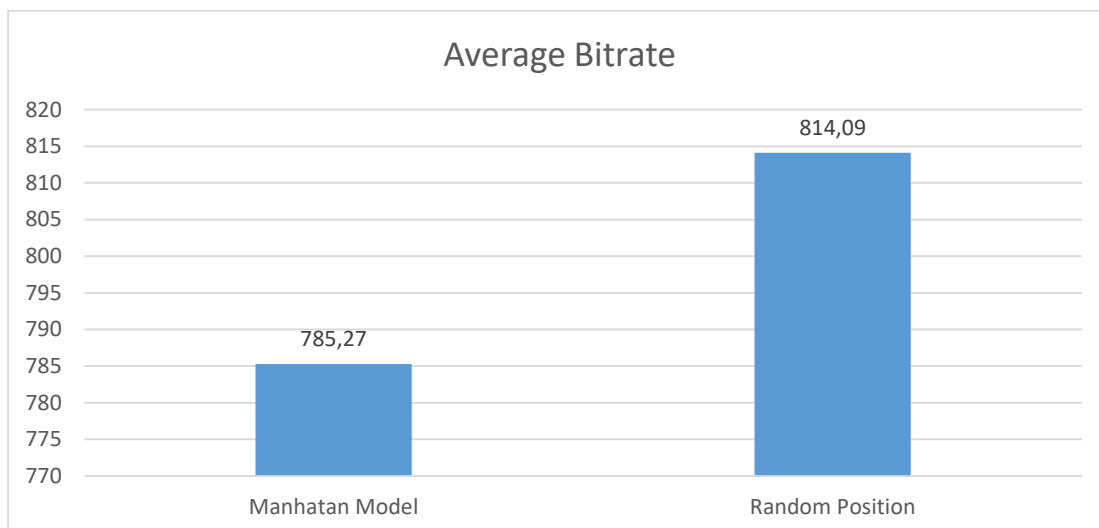
Μελετήσαμε και συγκρίναμε την αποδοτικότητα του συστήματος ως προς την ενεργειακή κατανάλωση (Average Power consumption και Bit Per Joule), την μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση το Outage Probability καθώς και του Hand-off Distance. Στις μετρήσεις όπου οι χρήστες είναι τοποθετημένοι τυχαία και ομοιόμορφα στο σύστημα μας, δεν υπάρχει σαν έννοια το Handoff Distance καθώς δεν υπάρχει κάποια συνέχεια στην τοποθέτηση των χρηστών στον χώρο. Στους παρακάτω πίνακες παραθέτουμε τα αποτελέσματα.

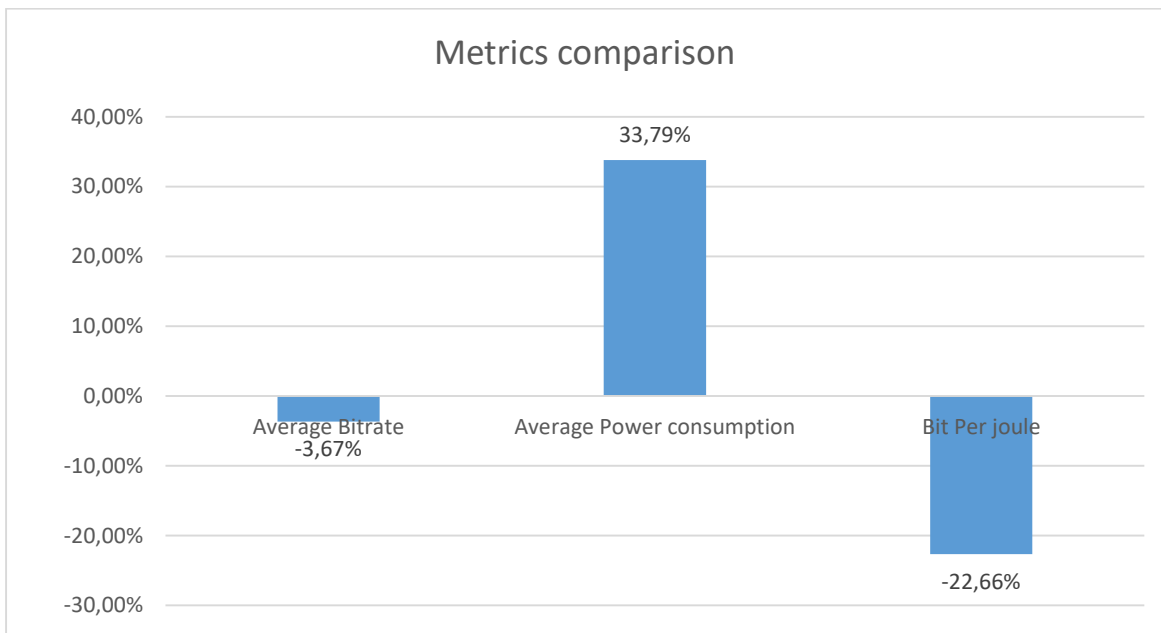
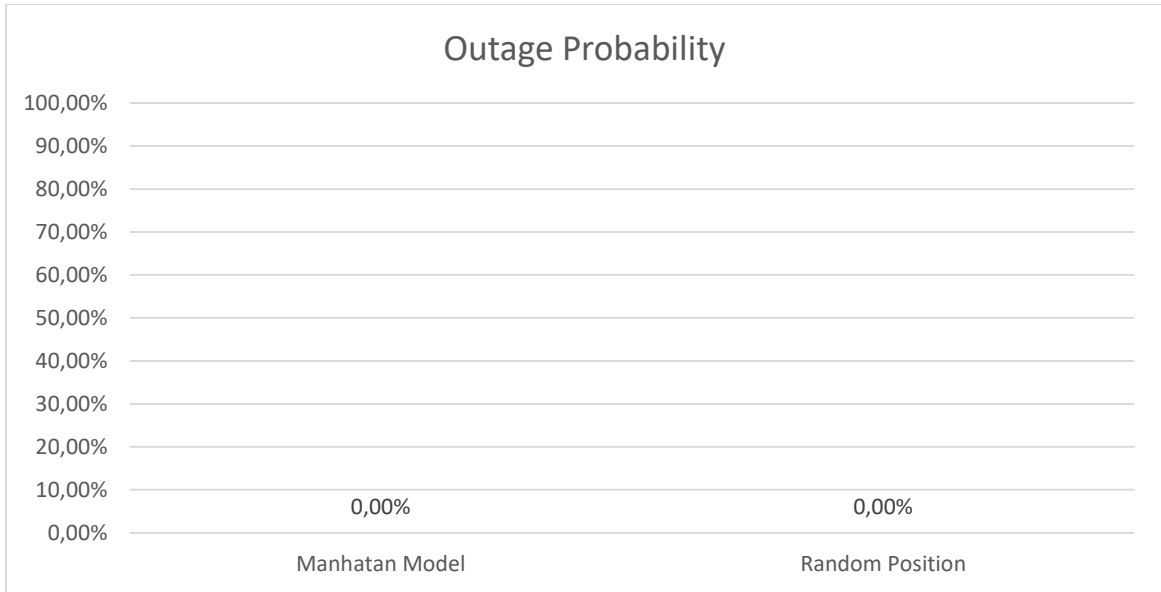
4.2 Πειραματικές μετρήσεις

Σενάριο 1(5 users/500kbps)

5UEs with 500Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	1007,76Watts	1522Watts
Average Bitrate	814,09Kbps	785,27Kbps
Outage Probability	0%	0%
Bit Per Joule	0,40270	0,32831
Handoff Distance	*	172m

Σενάριο χαμηλού φόρτου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παραμένει περίπου ίδια και στις δύο περιπτώσεις κινητικότητας. Παρατηρείται μια διαφορά στην μέση κατανάλωση του συστήματος. Τα ποσοστά Outage είναι μηδενικά.

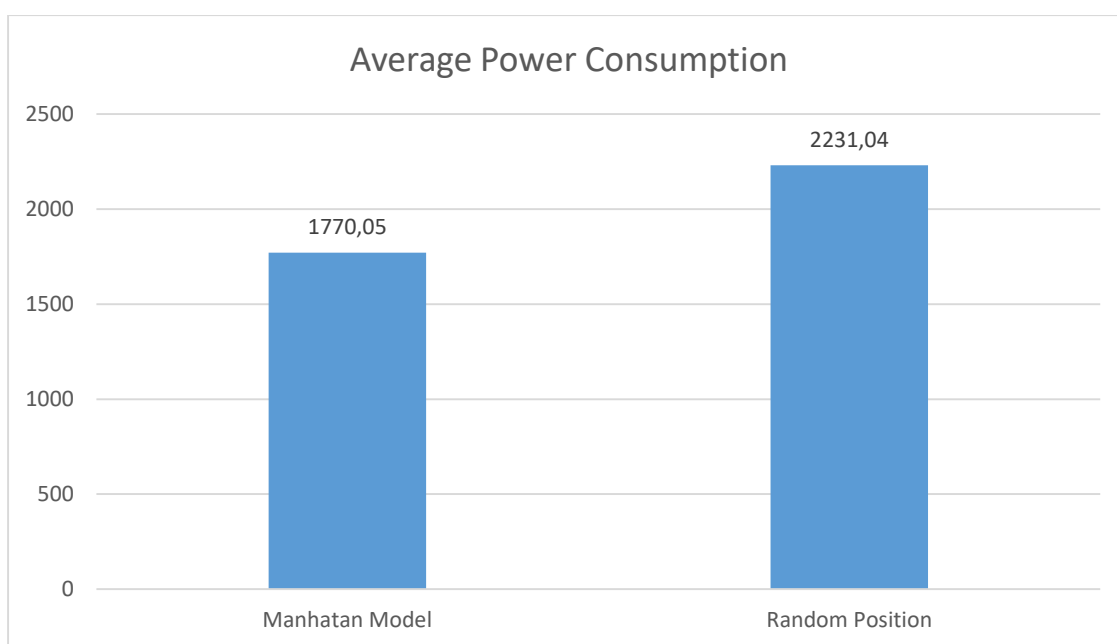
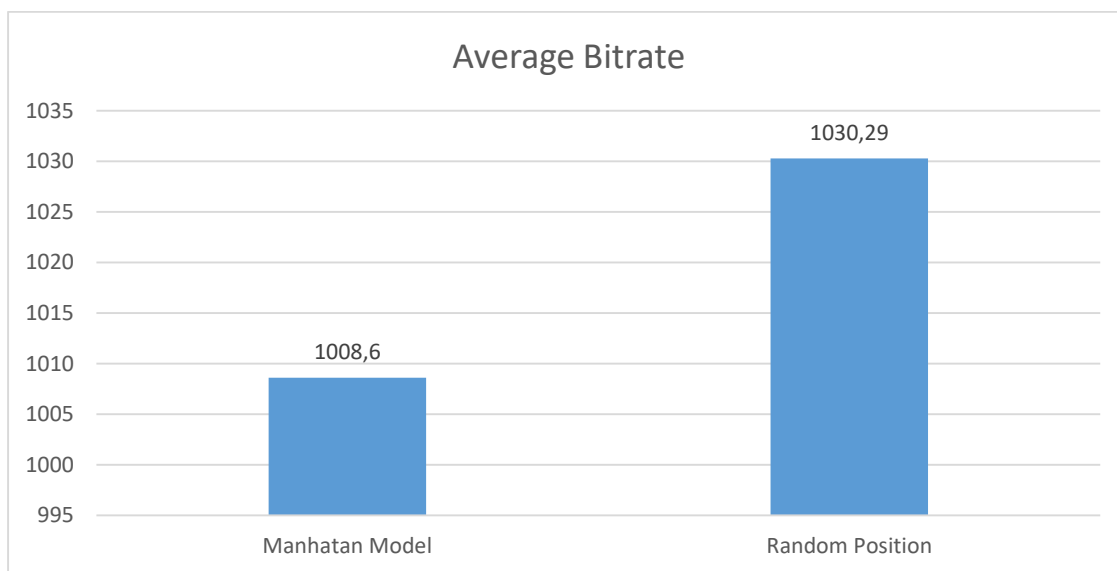


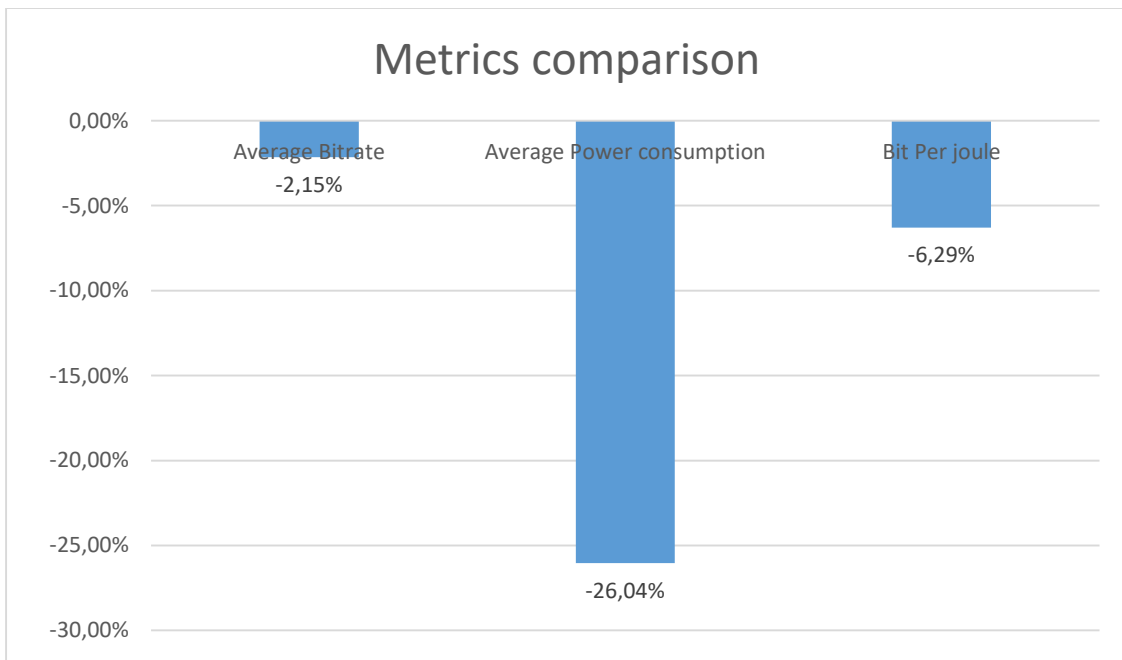
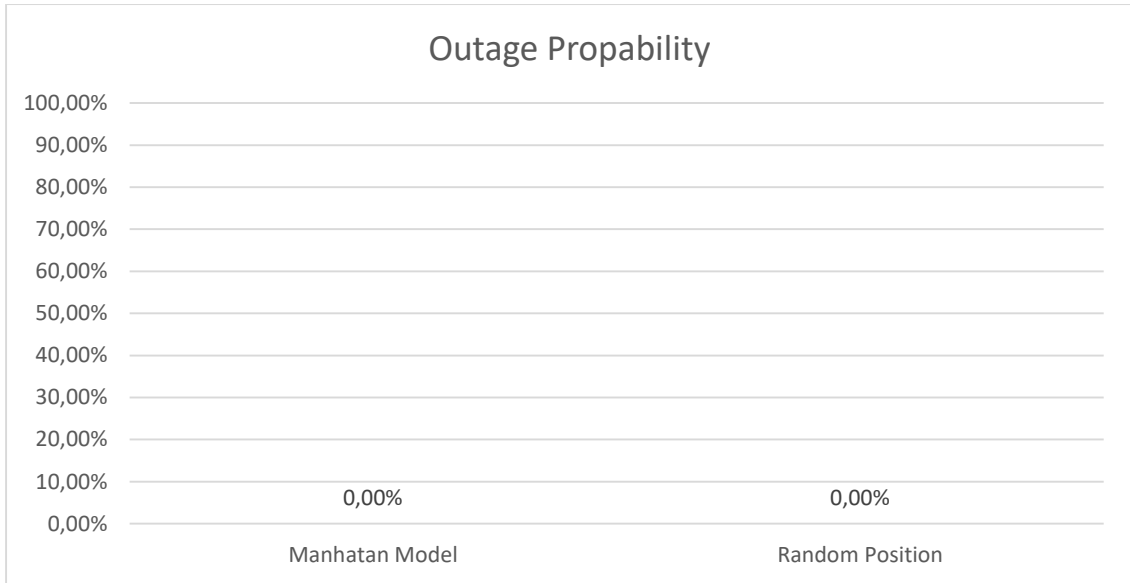


Σενάριο 2(5 χρήστες 750Kbps)

5UEs with 750Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	2231,04Watts	1770,05Watts
Average Bitrate	1030,29kbps	1008,6Kbps
Outage Probability	0%	0%
Bit Per Joule	0,41706	0,39238
Handoff Distance	*	210m

Σενάριο χαμηλού φόρτου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση εξακολουθεί να παραμένει σχεδόν ίδια και στις δύο περιπτώσεις κινητικότητας. Σε αυτήν την περίπτωση η ενέργεια που καταναλώνεται από το Manhattan Σύστημα είναι λιγότερη. Τα ποσοστά Outage παραμένουν μηδενικά.

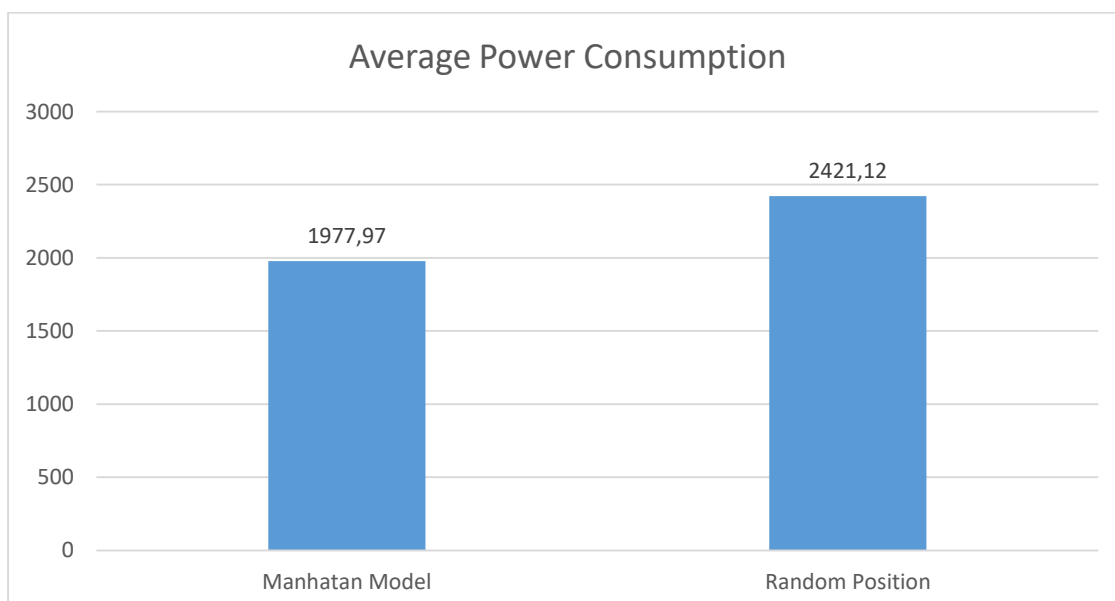
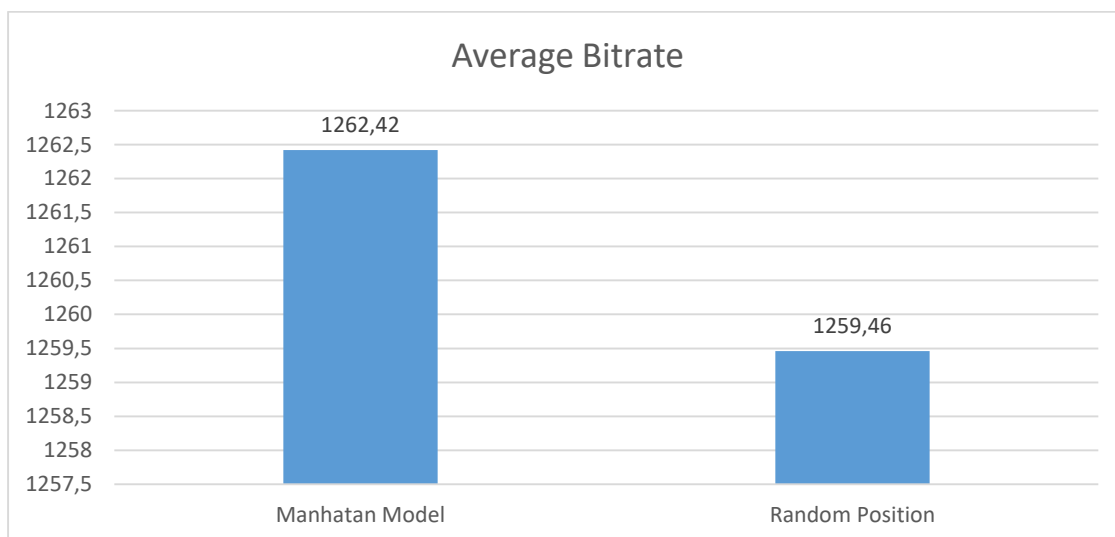


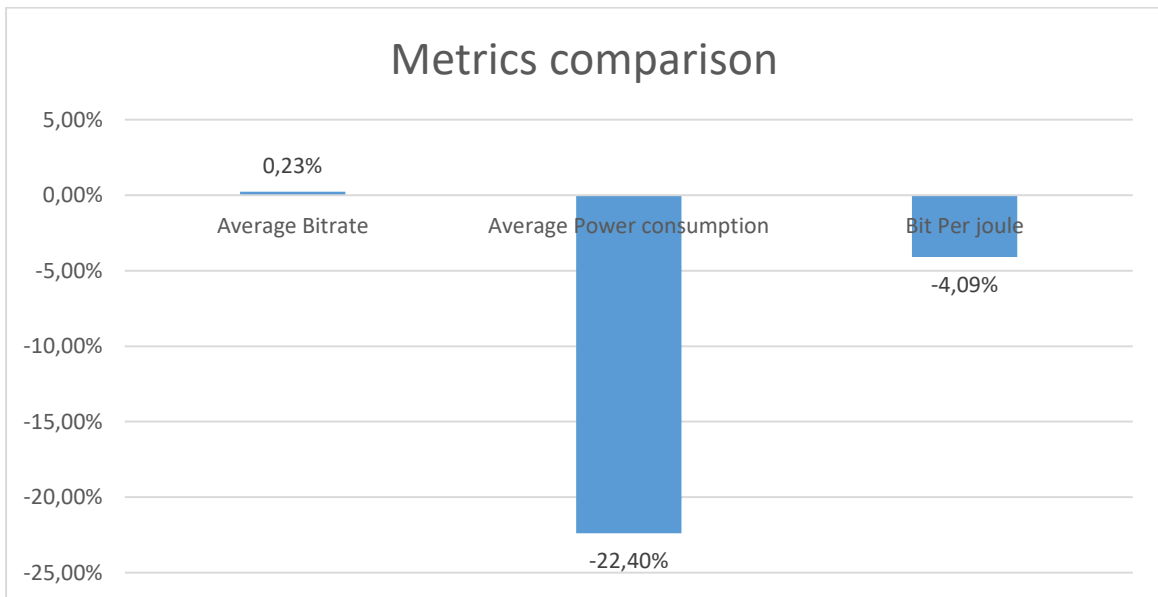
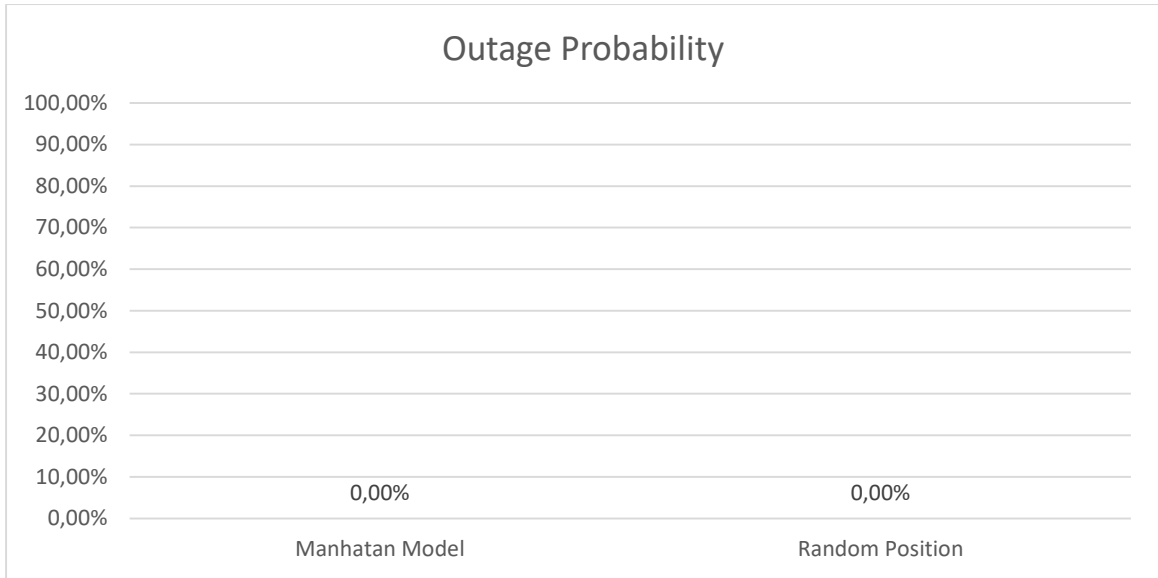


Σενάριο 3(5 χρήστες 1000kbps)

5UEs with 1000Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	2421,12Watts	1977,97Watts
Average Bitrate	1259,46Kbps	1262,42Kbps
Outage Probability	0%	0%
Bit Per Joule	0,48307	0,46410
Handoff Distance	*	212m

Σενάριο χαμηλού φόρτου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση έχει σχεδόν εξισωθεί και στις δύο περιπτώσεις κινητικότητας. Και σε αυτή την περίπτωση το Manhattan Model φαίνεται να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια κατά μέσο όρο. Τα ποσοστά Outage εξακολουθούν να παραμένουν μηδενικά.

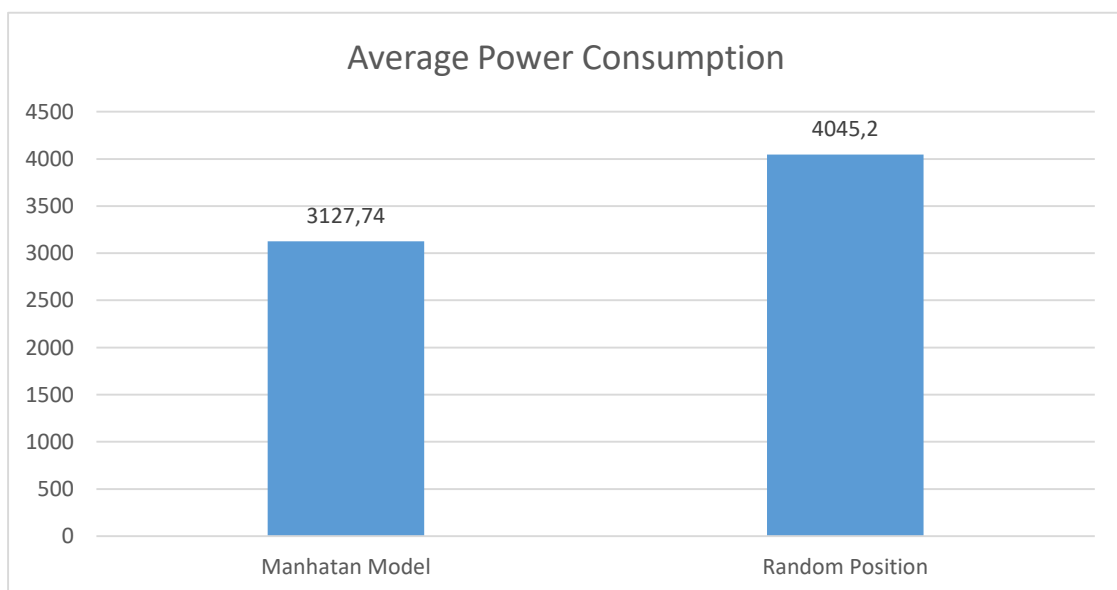
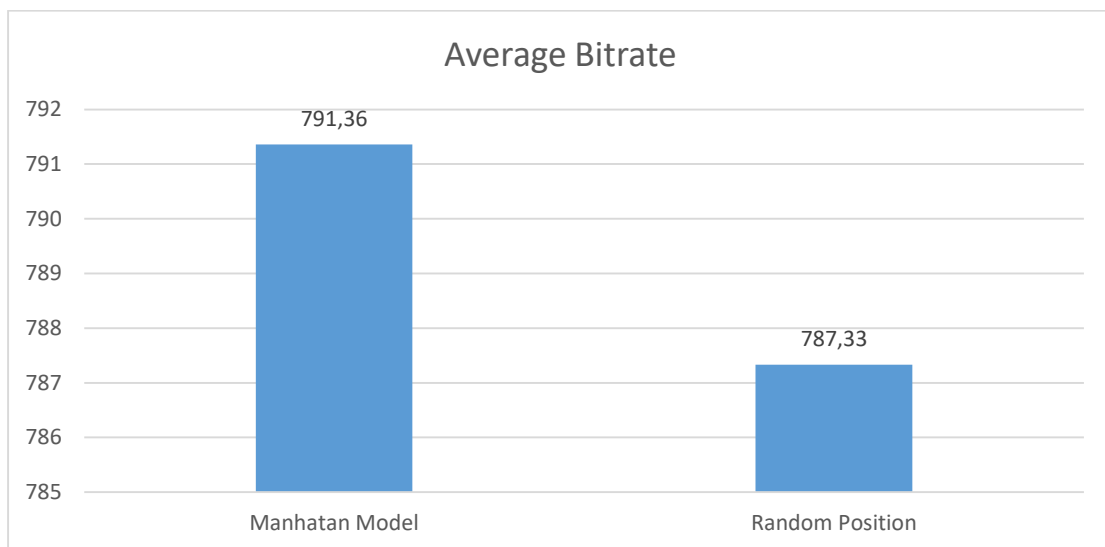


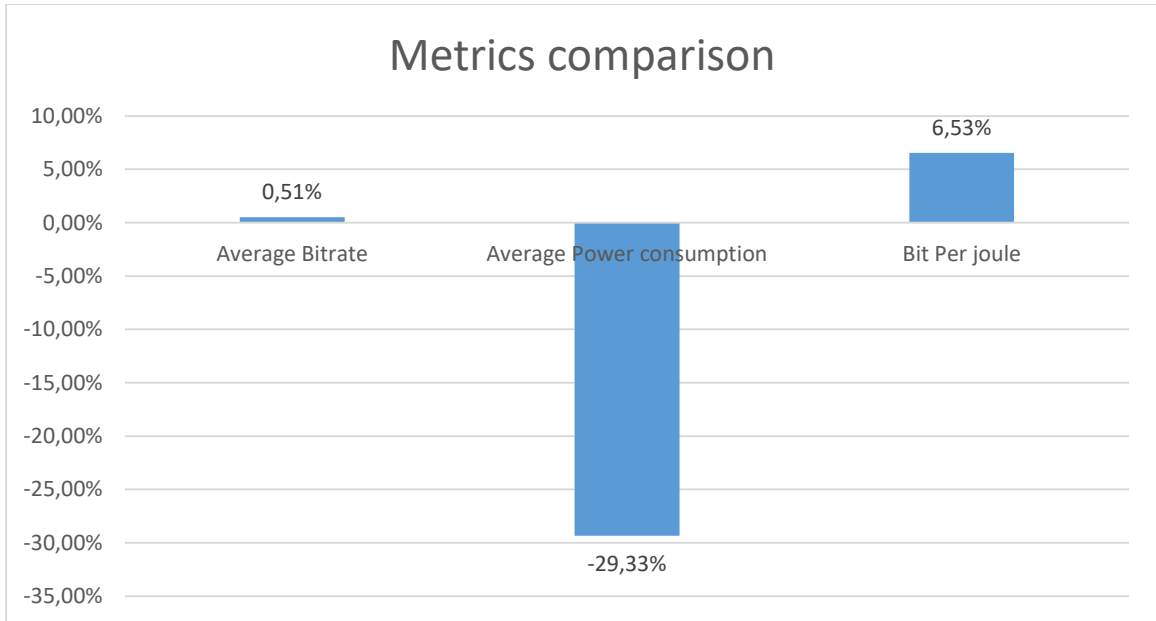
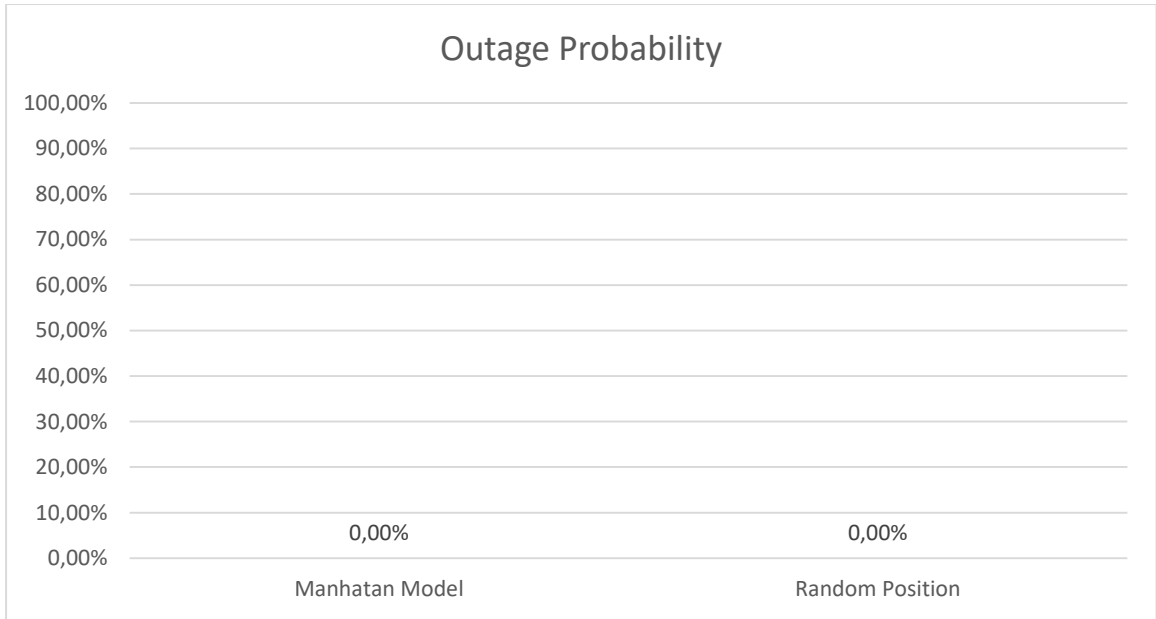


Σενάριο 4(15 χρήστες 500Kbps)

15UEs with 500Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	4045,2Watts	3127,74Watts
Average Bitrate	787,33Kbps	791,369Kbps
Outage Probability	0%	0%
Bit Per Joule	0,62544	0,66914
Handoff Distance	*	140m

Σενάριο μέσου φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παραμένει σχεδόν ίδια. Το outage του συστήματος παραμένει στο 0%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για τον Manhattan Model.

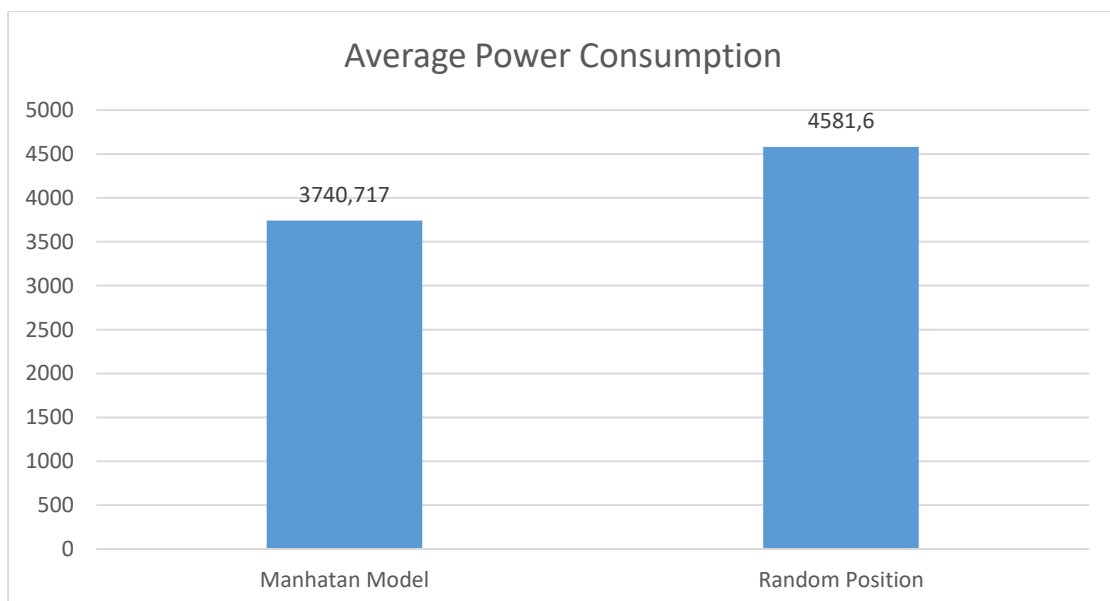
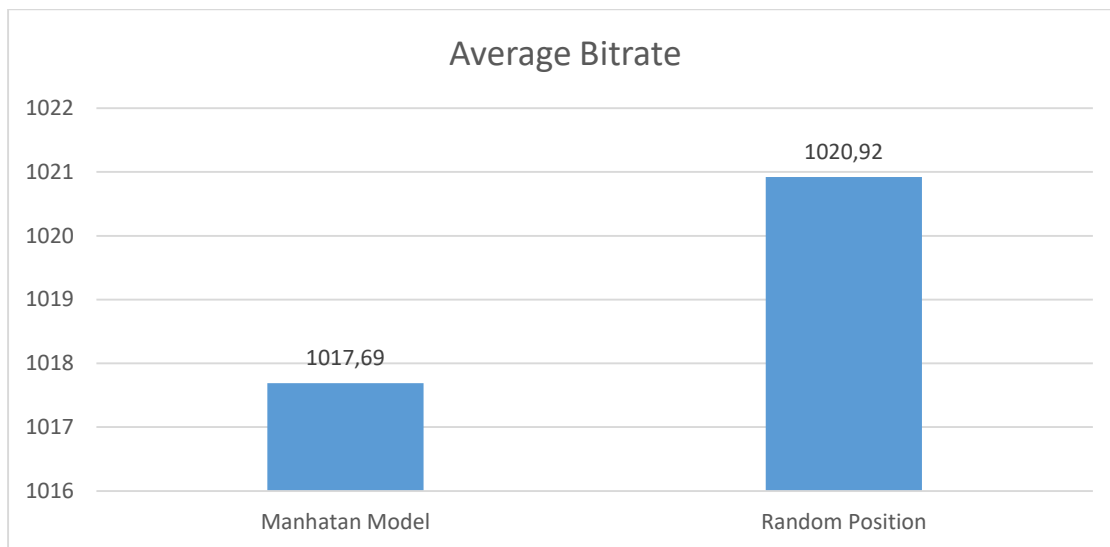


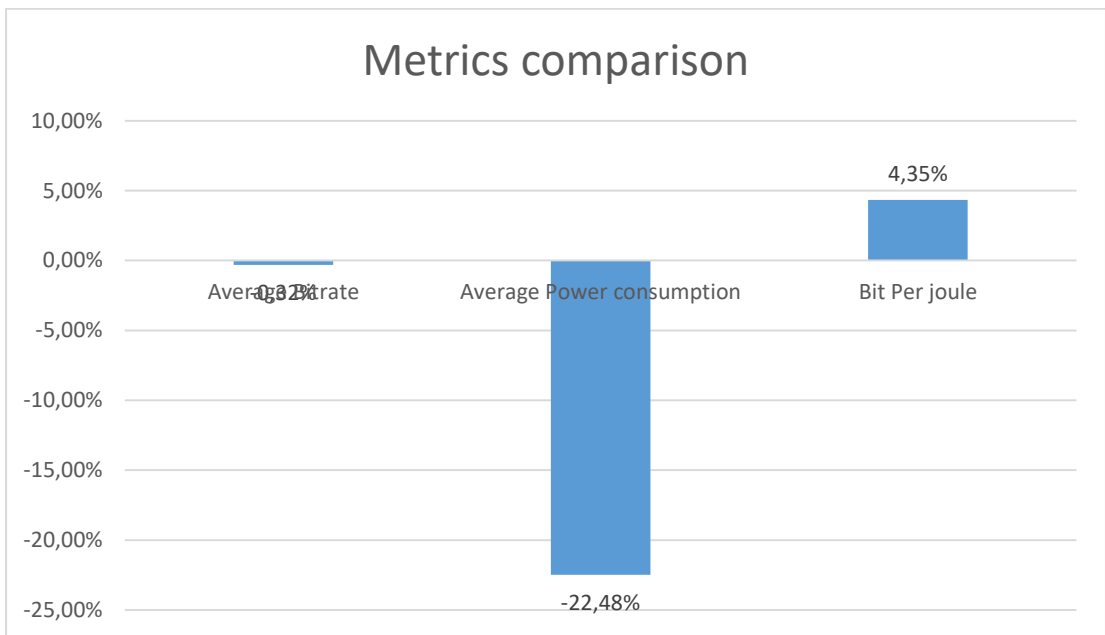
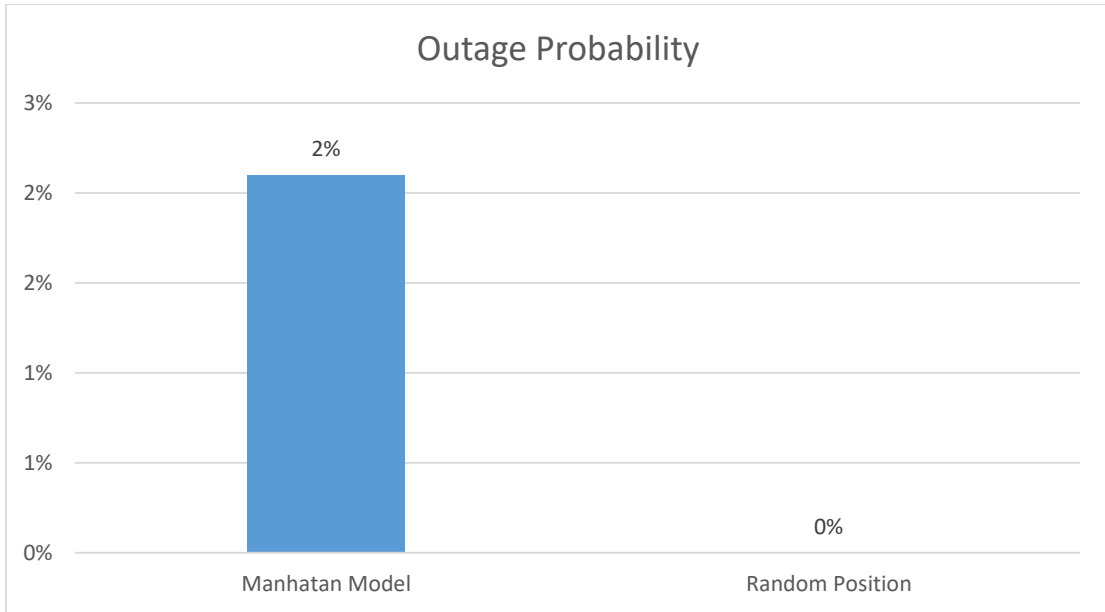


Σενάριο 5(15 χρήστες 750Kbps)

15UEs with 750Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	4581,6Watts	3740,717Watts
Average Bitrate	1020,92Kbps	1017,69Kbps
Outage Probability	0%	2%
Bit Per Joule	0,82095	0,85825
Handoff Distance	*	131m

Σενάριο μέσου φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση συνεχίζει να παραμένει ίδια. Το outage του συστήματος είναι κοντά στο 0%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για τον Manhattan Model.

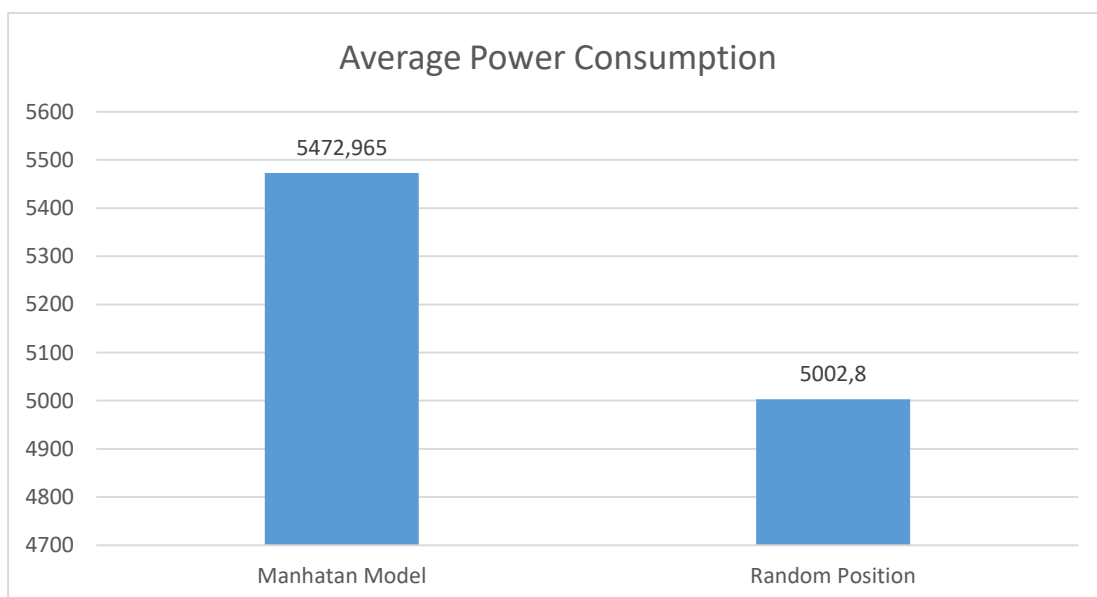
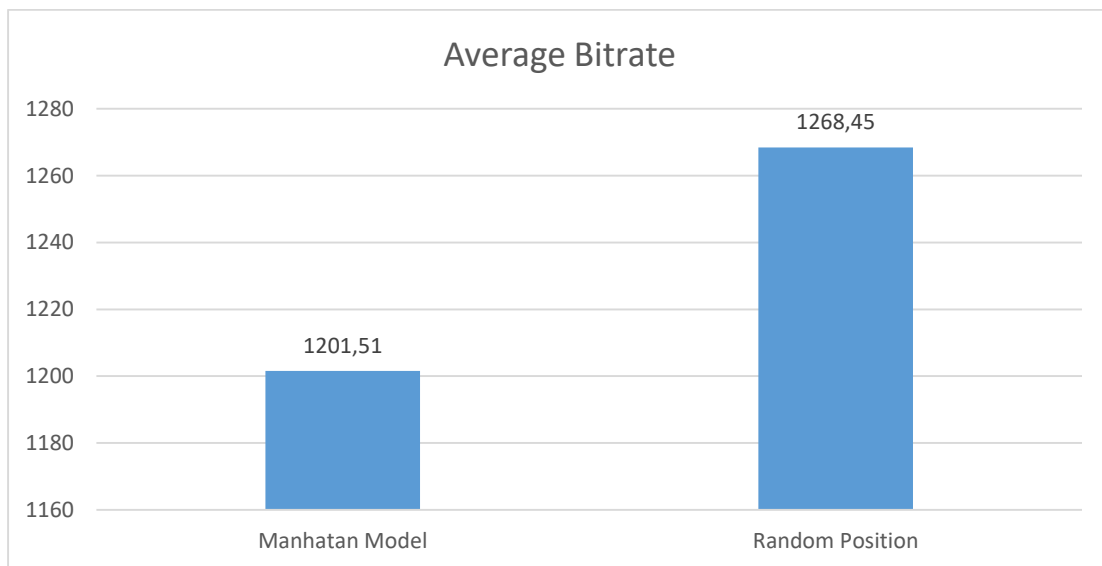


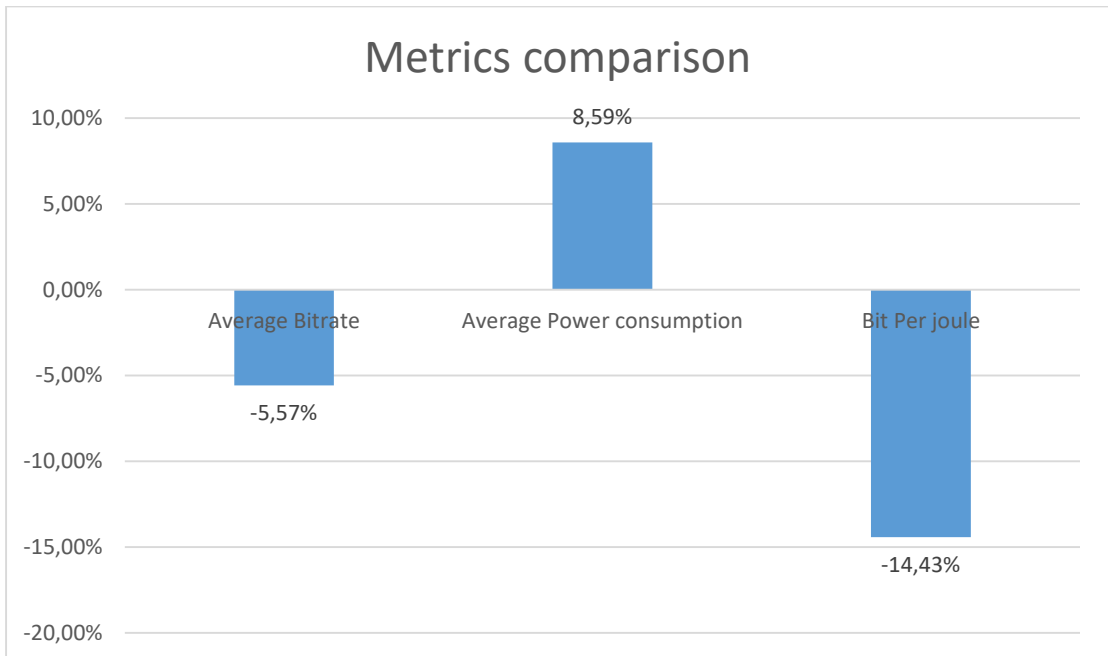
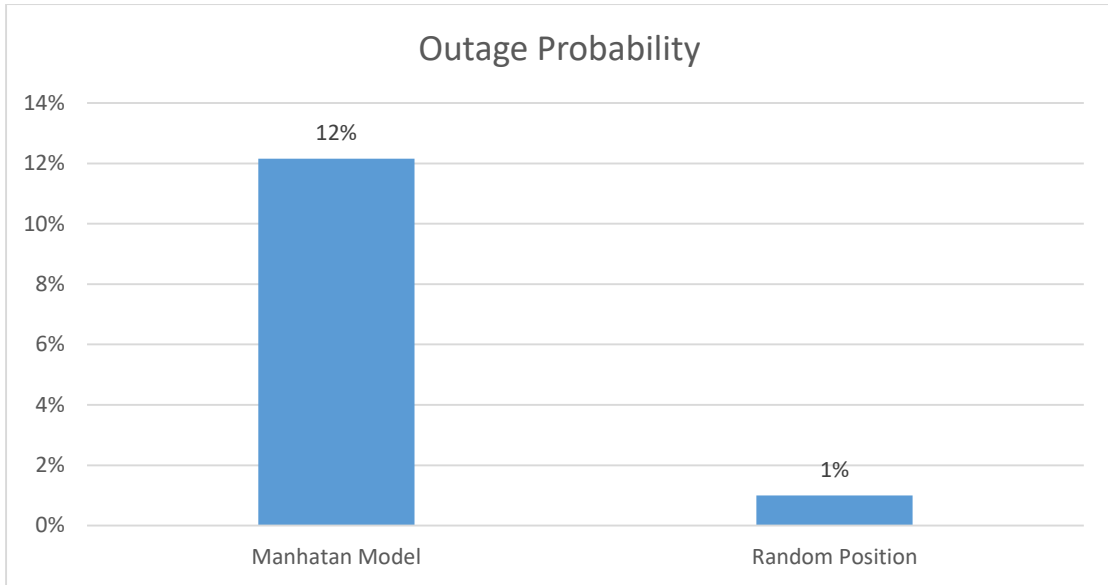


Σενάριο 6(15 χρήστες 1000Kbps)

15UEs with 1000Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	5002,8Watts	5472,965Watts
Average Bitrate	1268,45Kbps	1201,51Kbps
Outage Probability	1%	12%
Bit Per Joule	0,94332	0,82436
Handoff Distance	*	128m

Σενάριο μέσου φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση συνεχίζει να παραμένει ίδια. Το outage του συστήματος είναι για το Random Model παραμένει κοντά στο 0%. Αντίθετα παρατηρούμε αύξηση για το Manhattan Model. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Random model.

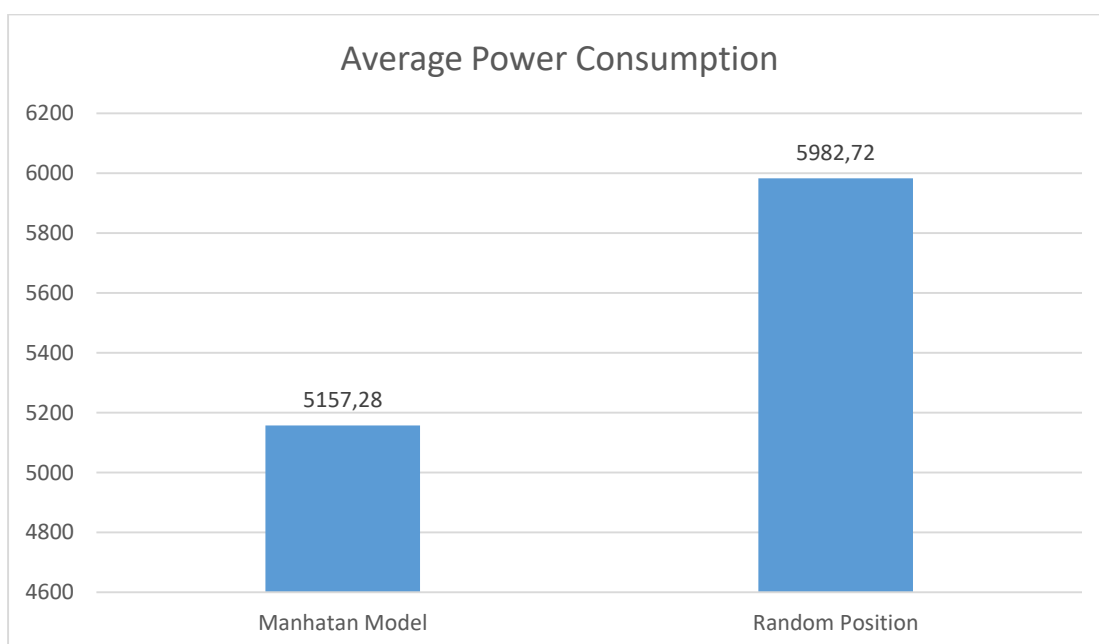
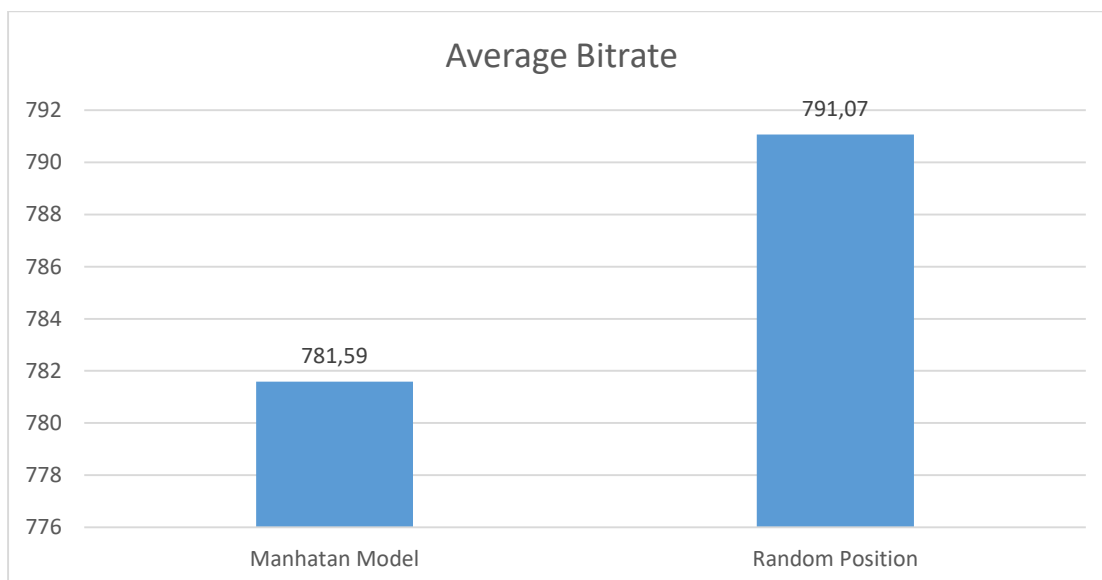


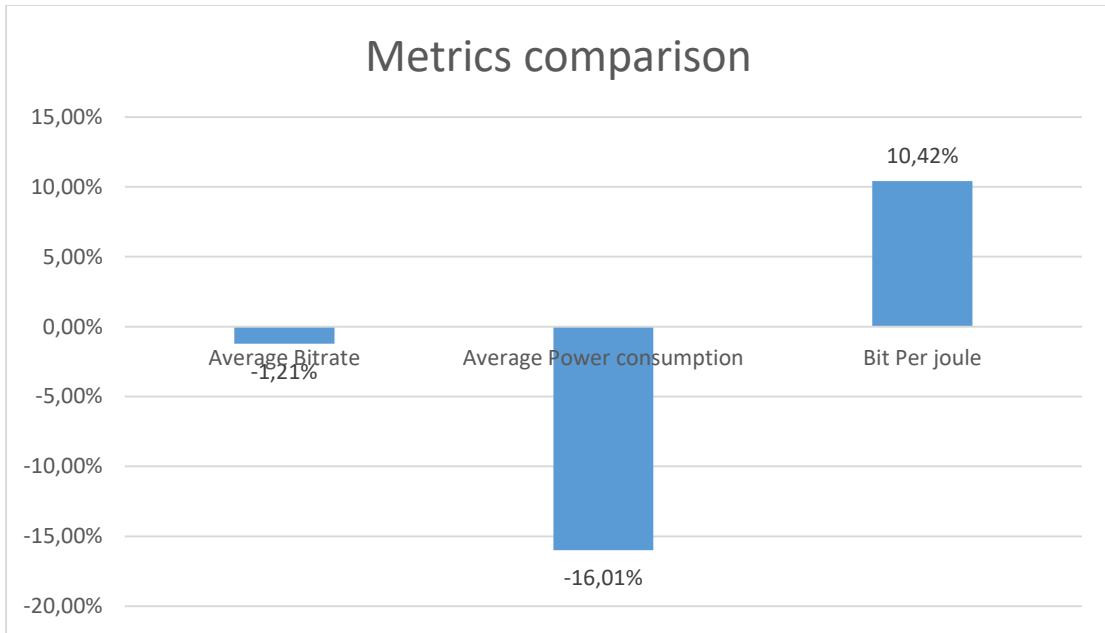
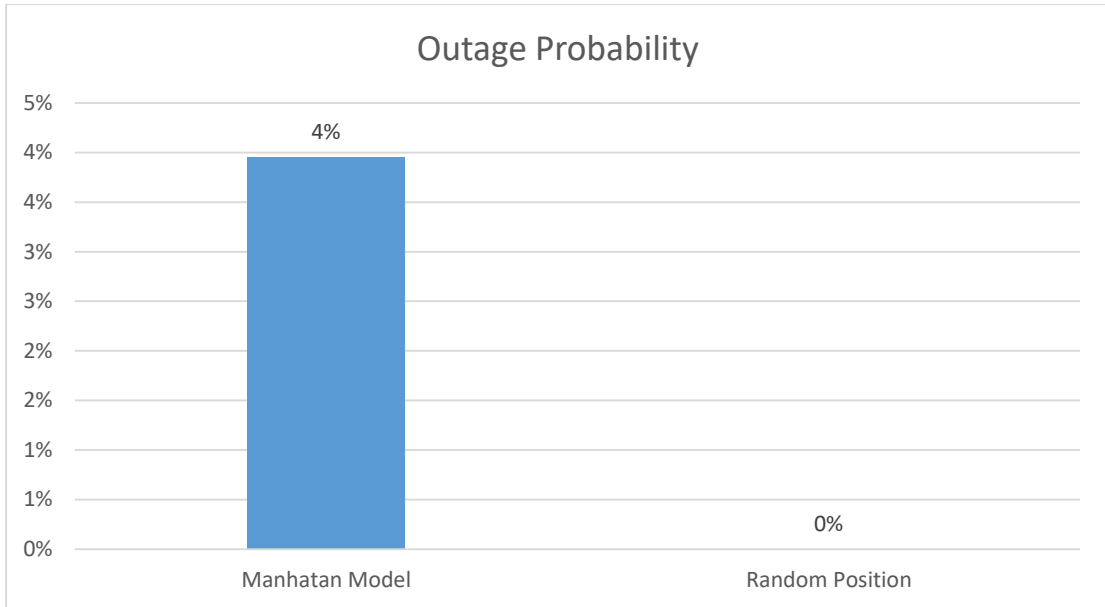


Σενάριο 7(30χρήστες 500Kbps)

30UEs with 500Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	5982,72Watts	5157,28Watt
Average Bitrate	791,07Kbps	781,59Kbps
Outage Probability	0%	4%
Bit Per Joule	0,91779	1,02453
Handoff Distance	*	96m

Σενάριο υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση συνεχίζει να παραμένει ίδια. Το outage του συστήματος είναι κοντά στο 0% και για τα δύο μοντέλα. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model.

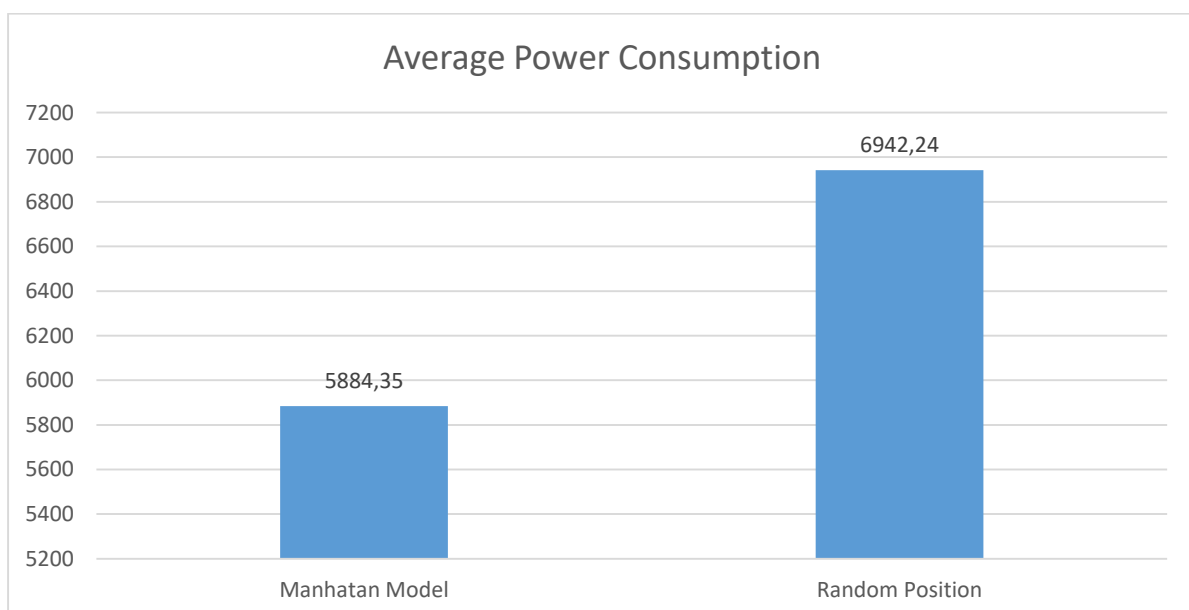
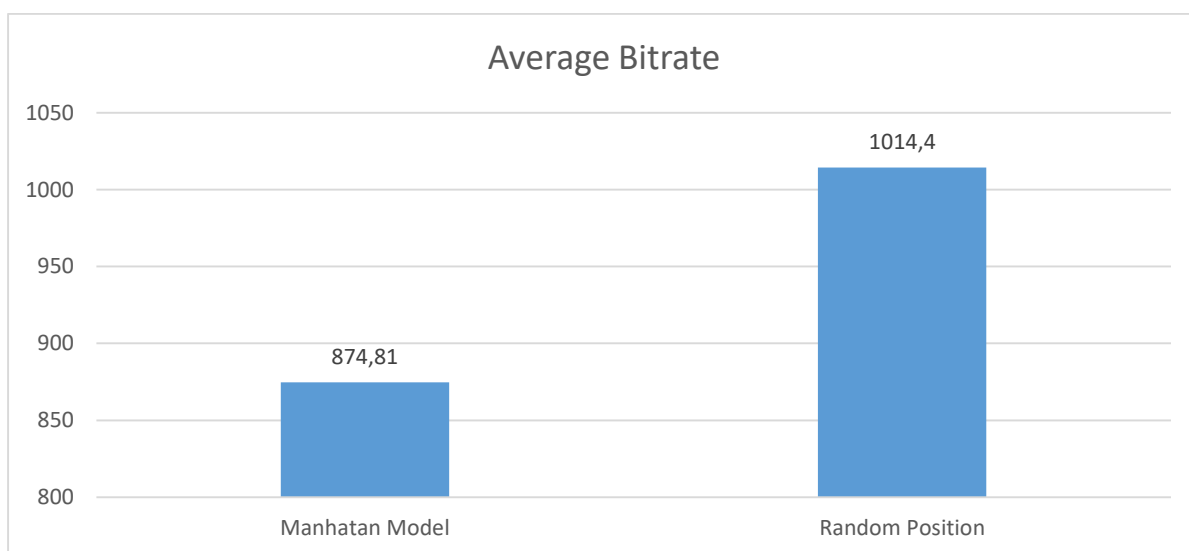


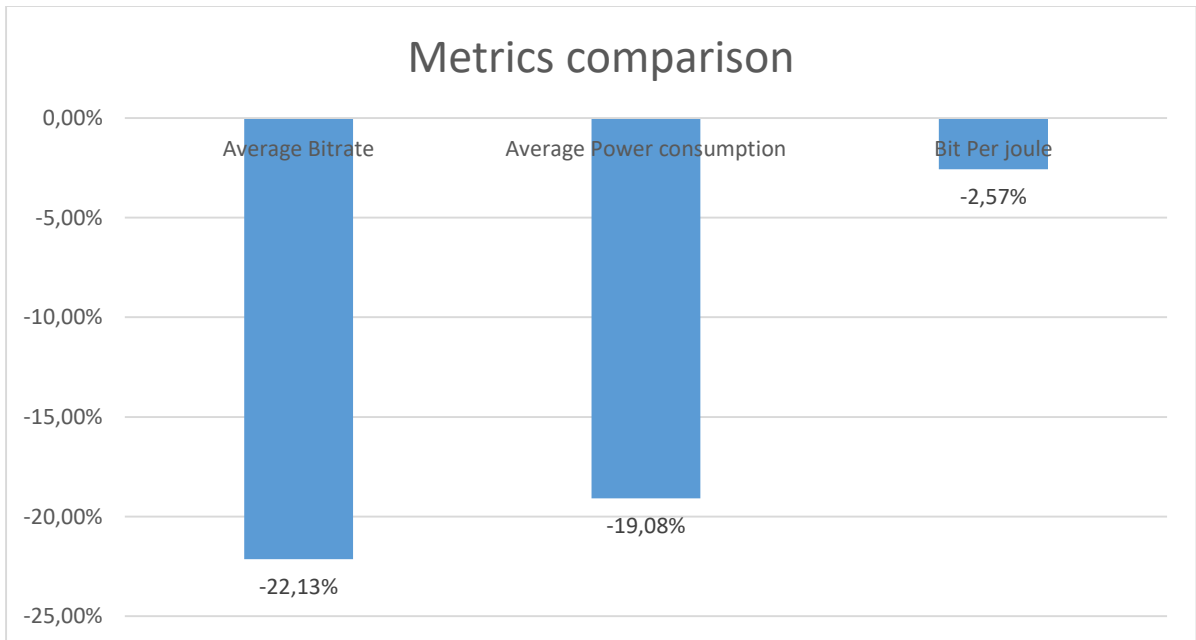
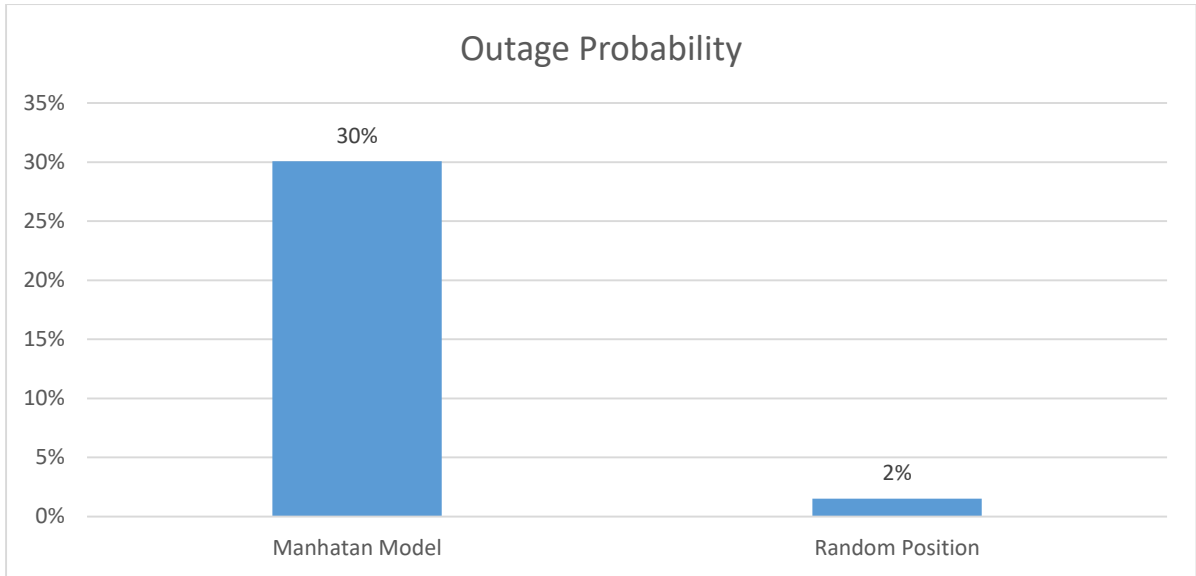


Σενάριο 8(30 χρήστες 750Kbps)

30UEs with 750Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	6942,24Watts	5884,35Watts
Average Bitrate	1014,4Kbps	874,81Kbps
Outage Probability	2%	30%
Bit Per Joule	1,12080	1,23889
Handoff Distance	*	96m

Σενάριο υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παρουσιάζει μία απόκλιση της τάξης του 20%. Το outage του συστήματος για το Random Model είναι κοντά στο 0% ενώ στο Manhattan παρουσιάζει ιδιαίτερη αύξηση. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model. Τελικά το Bit Per joule στο σύστημα μας παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα.

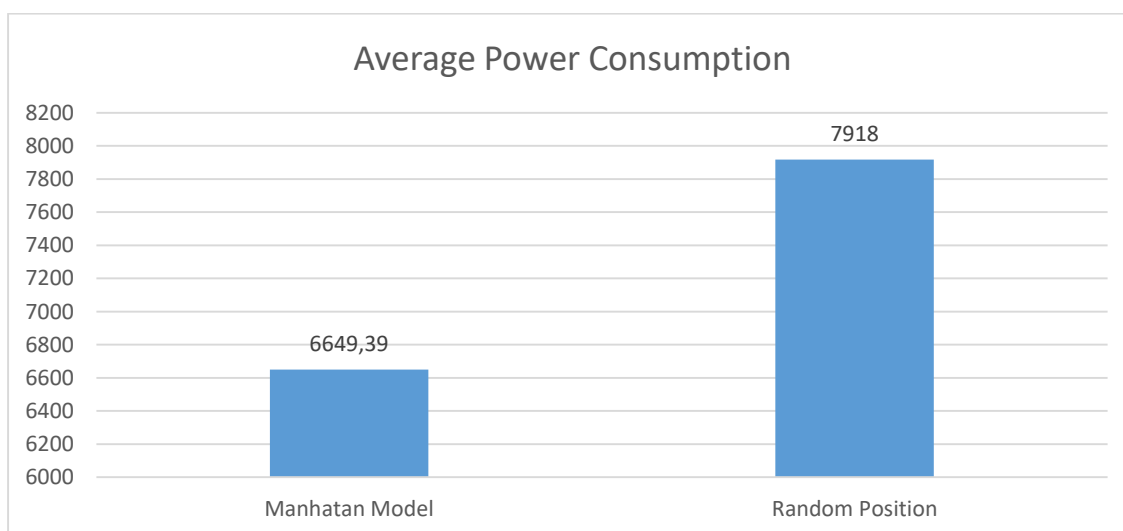
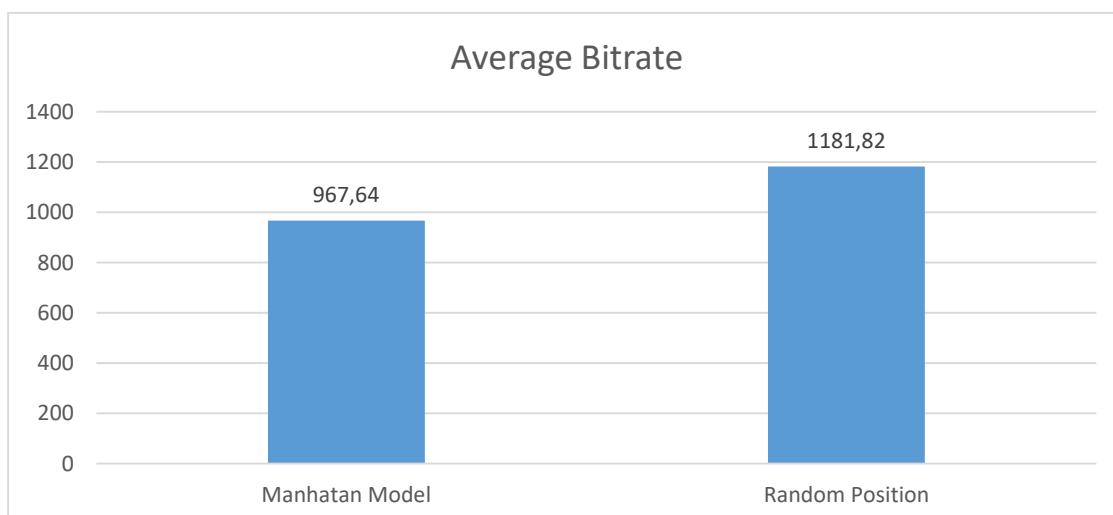


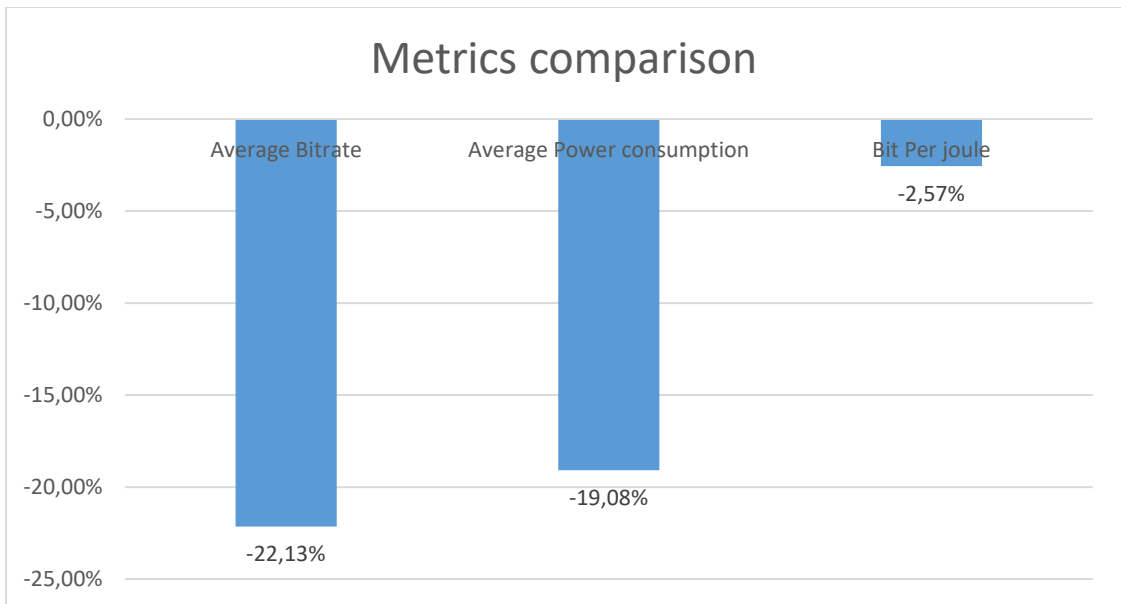
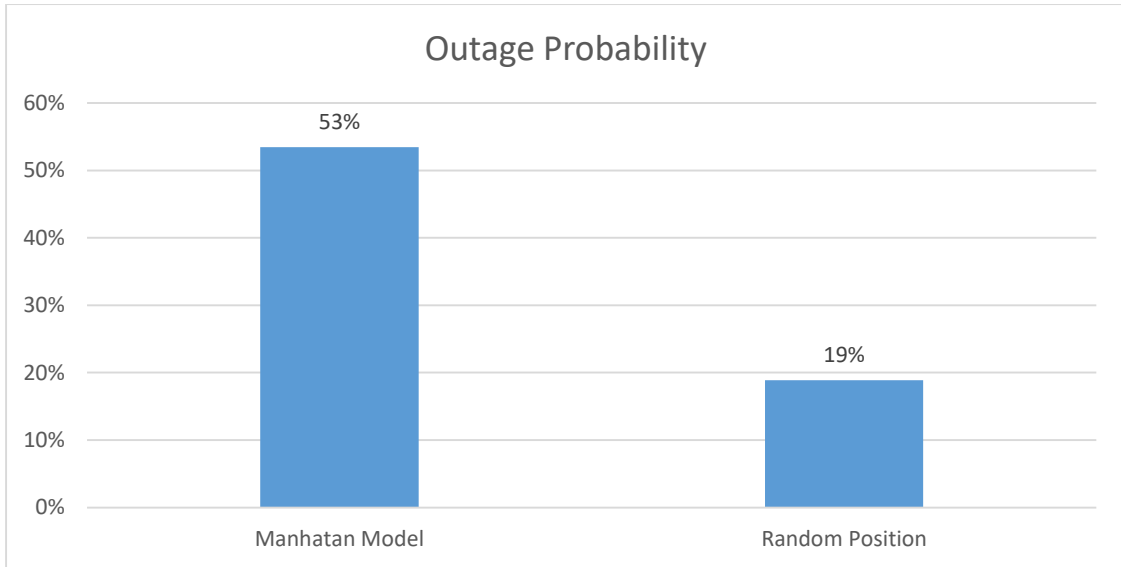


Σενάριο 9(30 χρήστες 1000Kbps)

30UEs with 1000Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	7918Watts	6649,39Watts
Average Bitrate	1181,82Kbps	967,64Kbps
Outage Probability	19%	53%
Bit Per Joule	1,24381	1,21269
Handoff Distance	*	129m

Σενάριο υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παρουσιάζει μία απόκλιση της τάξης του 20%. Το outage του συστήματος έχει αυξηθεί και για τις δύο περιπτώσεις. Ειδικά στο Manhattan model παρουσιάζεται αρκετά υψηλό αφού φτάνει στο 55%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model.

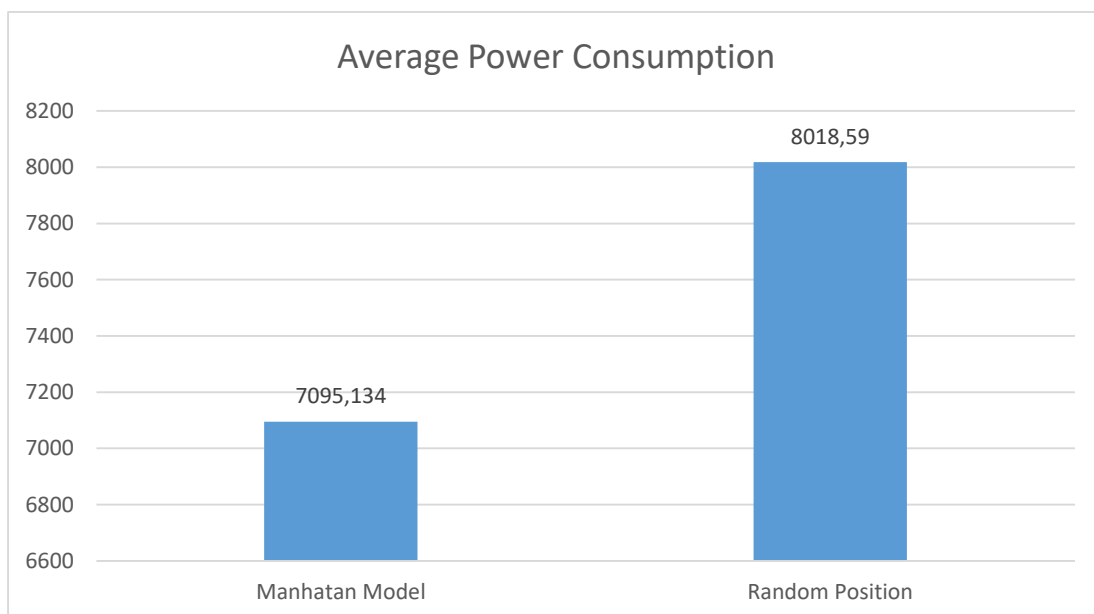
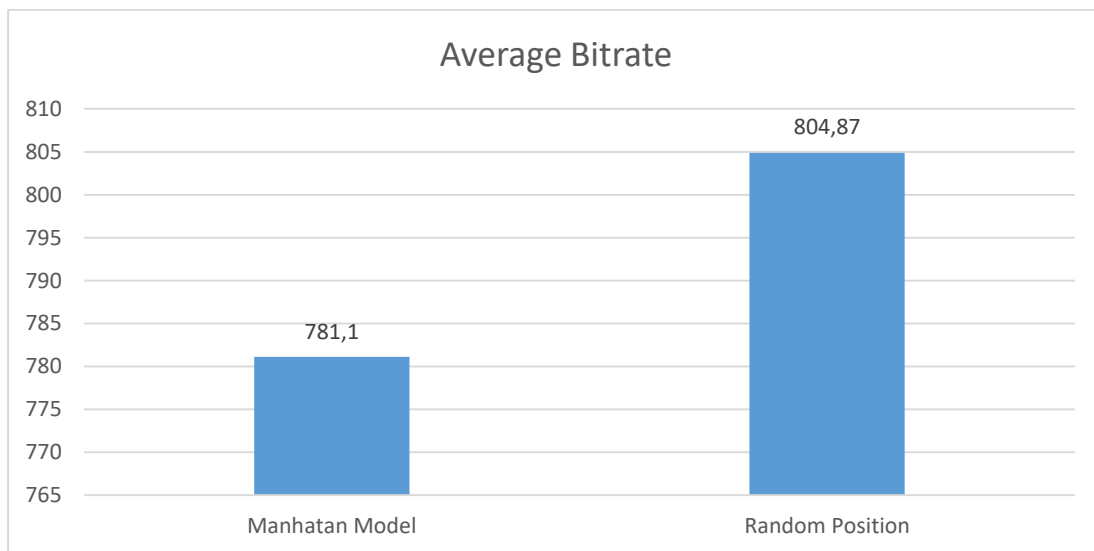


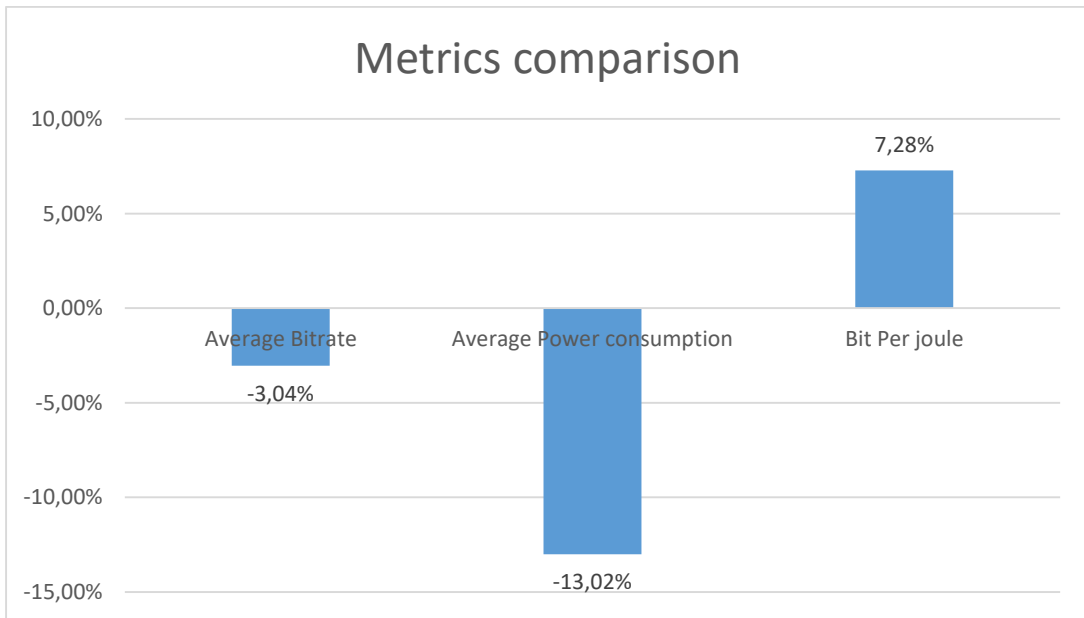
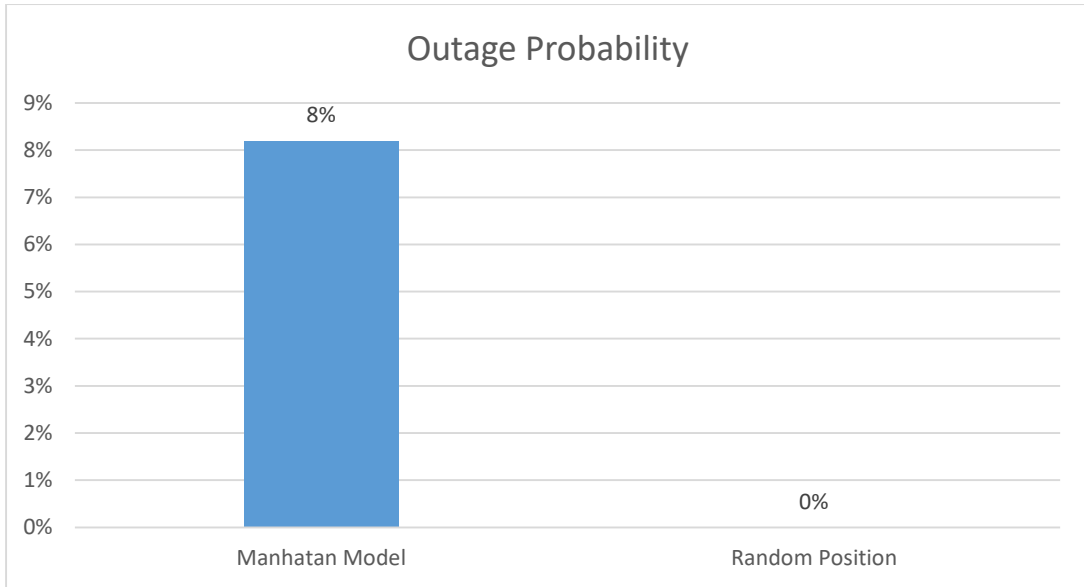


Σενάριο 10(50 χρήστες 500Kbps)

50UEs with 500Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	8018,59Watts	7095,13Watts
Average Bitrate	804,87Kbps	781,1Kbps
Outage Probability	0%	8%
Bit Per Joule	1,21263	1,30783
Handoff Distance	*	80m

Σενάριο υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παραμένει σχεδόν ίδια Το outage του συστήματος για τον Manhattan Model είναι περίπου στο 10% ενώ το Random Model παραμένει στο 0%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model.

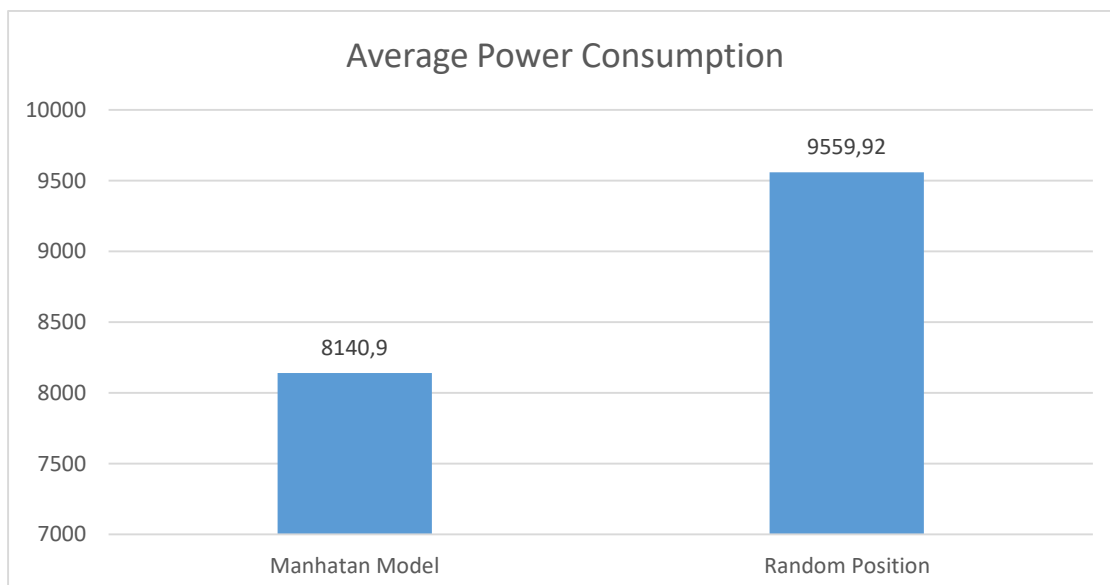
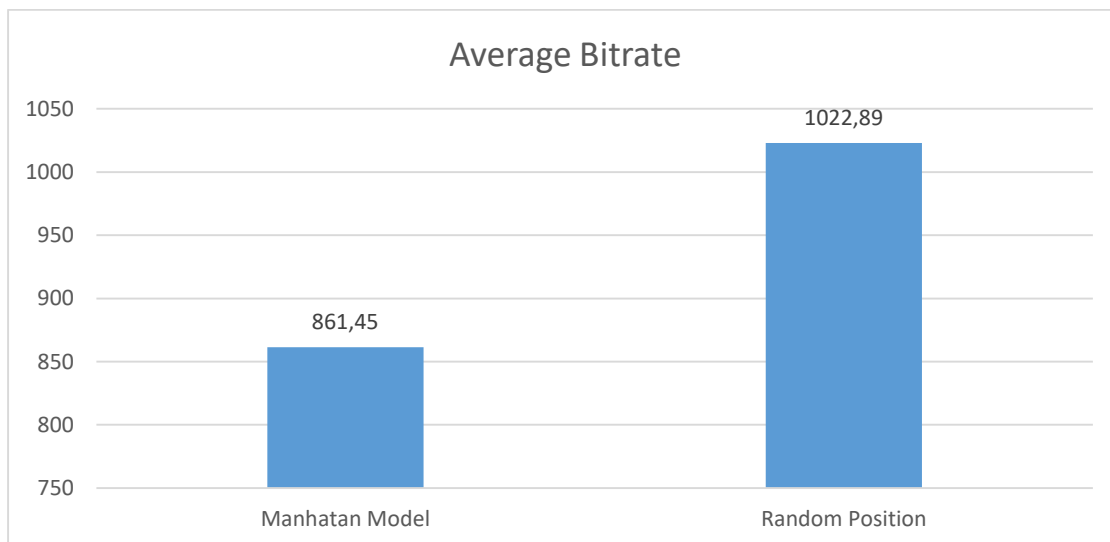


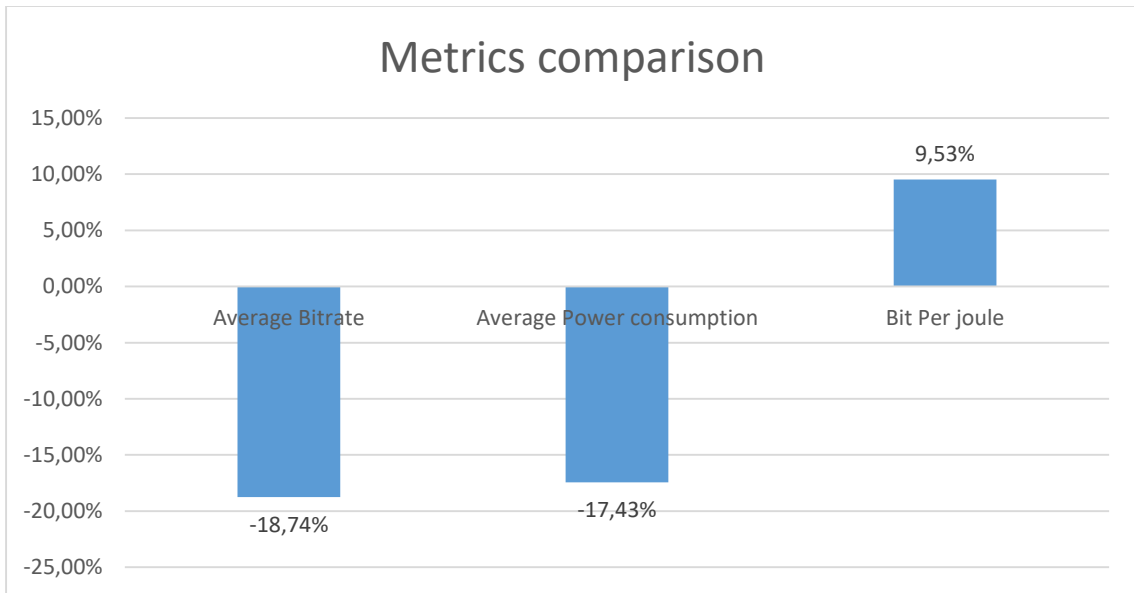
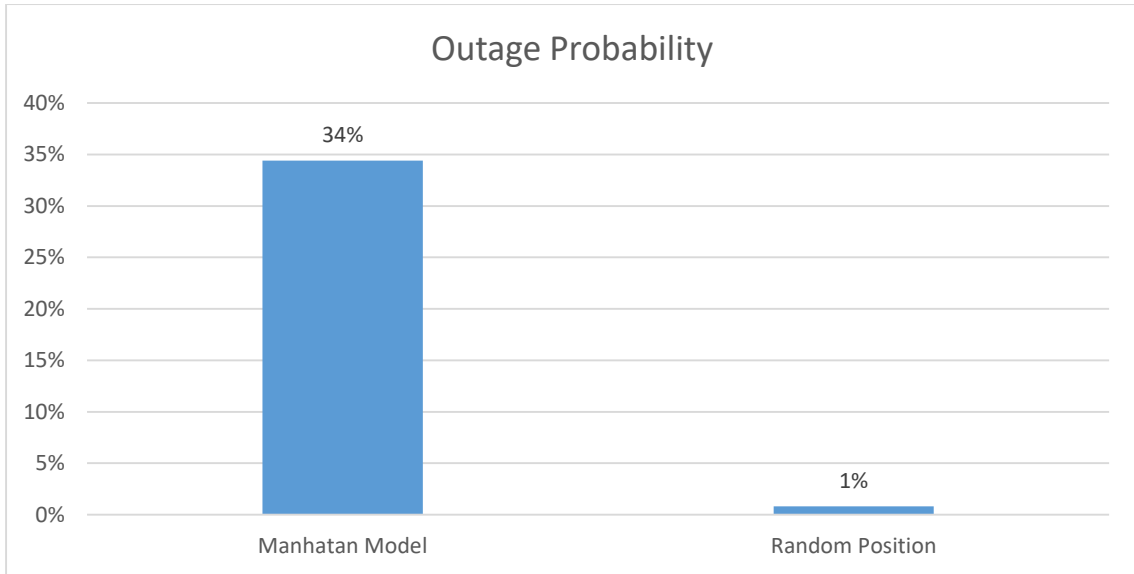


Σενάριο 11(50 χρήστες 750Kbps)

50UEs with 750Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	9559,92Watts	8140,9Watts
Average Bitrate	1022,89Kbps	861,45Kbps
Outage Probability	1%	34%
Bit Per Joule	1,39832	1,46969
Handoff Distance	*	142m

Σενάριο πολύ υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παρουσιάζει απόκλιση της τάξης του 20%. Το outage του συστήματος για τον Manhattan Model είναι περίπου στο 35% ενώ το Random Model παραμένει σχεδόν στο 0%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model.

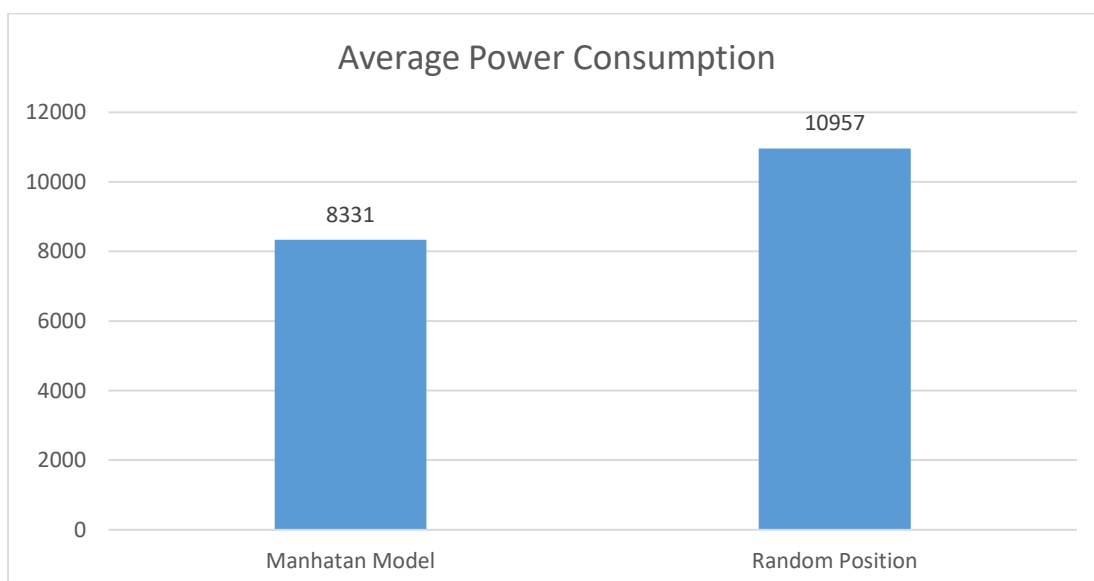
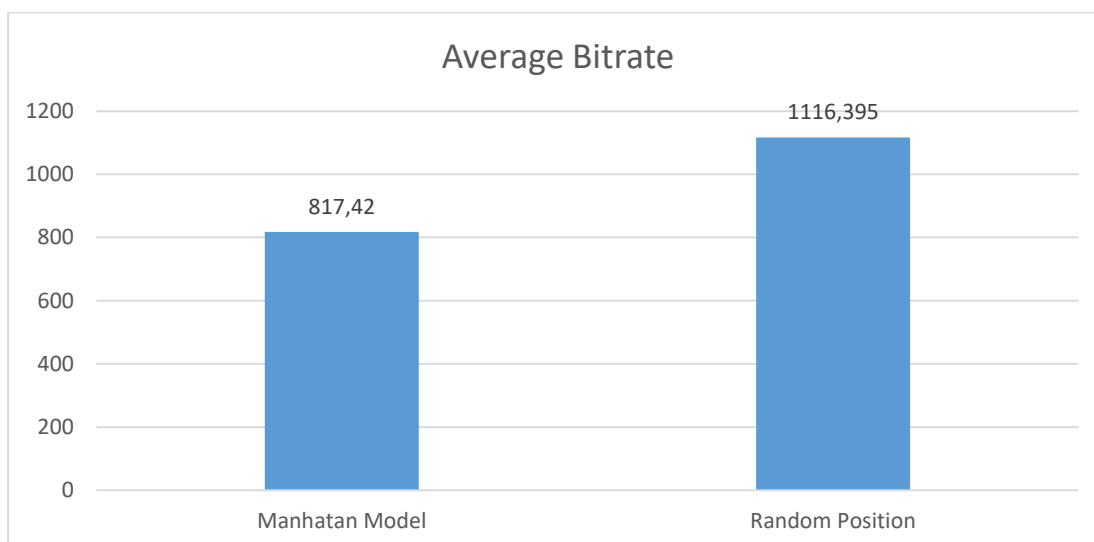


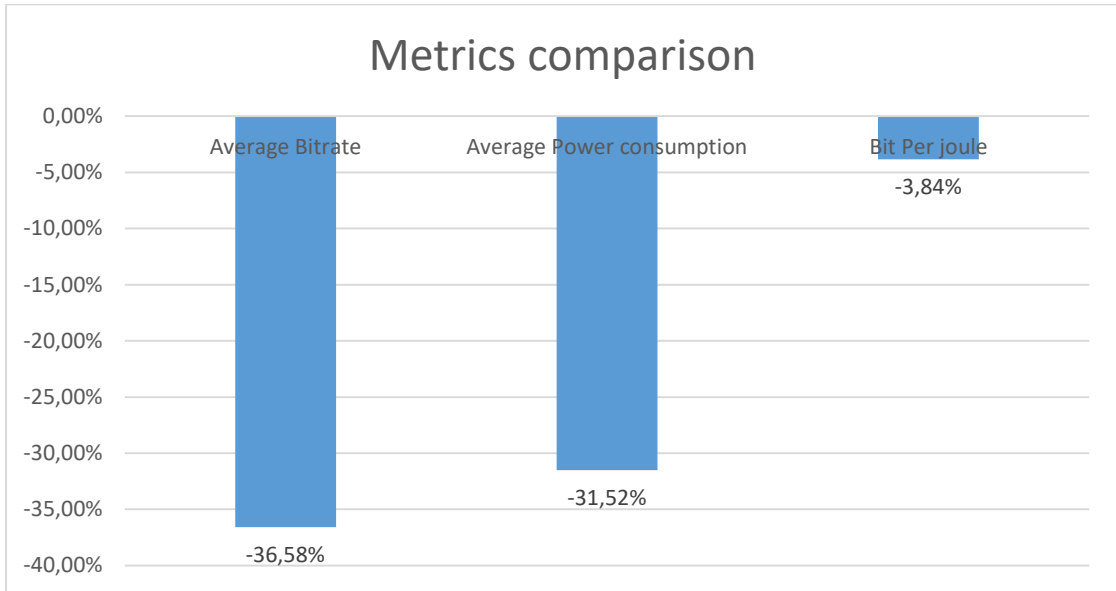
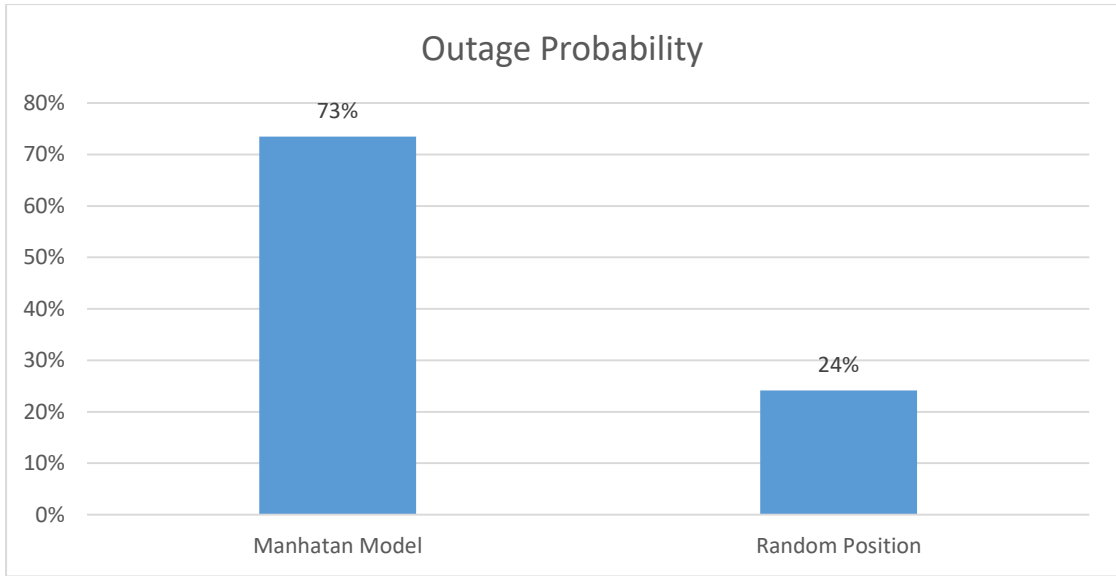


Σενάριο 12(50 χρήστες 1000Kbps)

50UEs with 1000Kbps		
	Random Position	Manhattan Model
Average Power Consumption	10957Watts	8331Watts
Average Bitrate	1116,395Kbps	817,42Kbps
Outage Probability	24%	73%
Bit Per Joule	1,4151	1,36275
Handoff Distance	*	172m

Σενάριο πολύ υψηλού φορτίου. Η μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση παρουσιάζει απόκλιση της τάξης του 20%. Το outage του συστήματος για τον Manhattan Model είναι περίπου στο 75% ενώ το Random Model παραμένει πολύ χαμηλότερα περίπου στο 25%. Η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι καλύτερη για το Manhattan model. Παρά την μεγάλη διαφορά στην μέση κατανάλωση ενέργεια και επειδή ο Manhattan Model έχει αρκετά χαμηλότερο Bitrate παρατηρούμε ότι το Bitrate Per Joule του Manhattan Model τελικά είναι μικρότερο σε σχέση με τους Random Users.





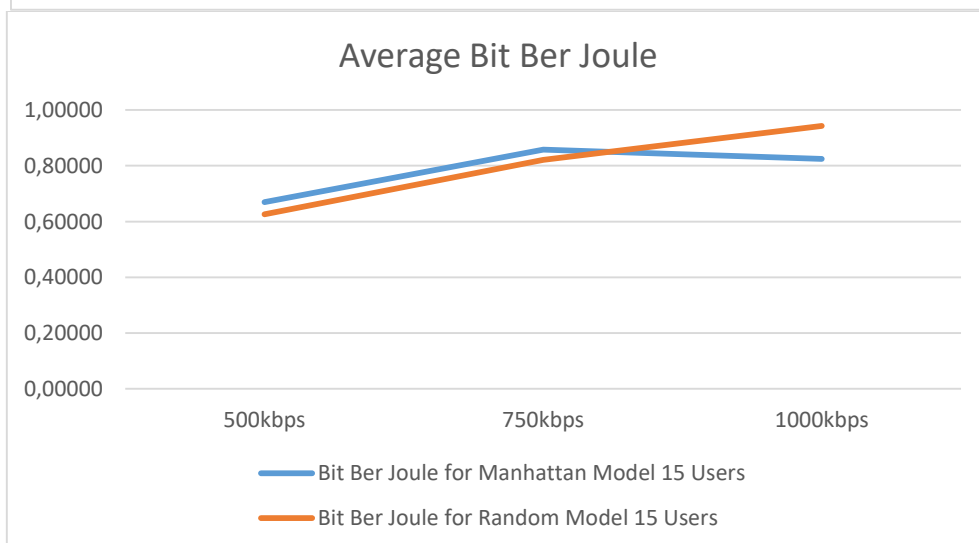
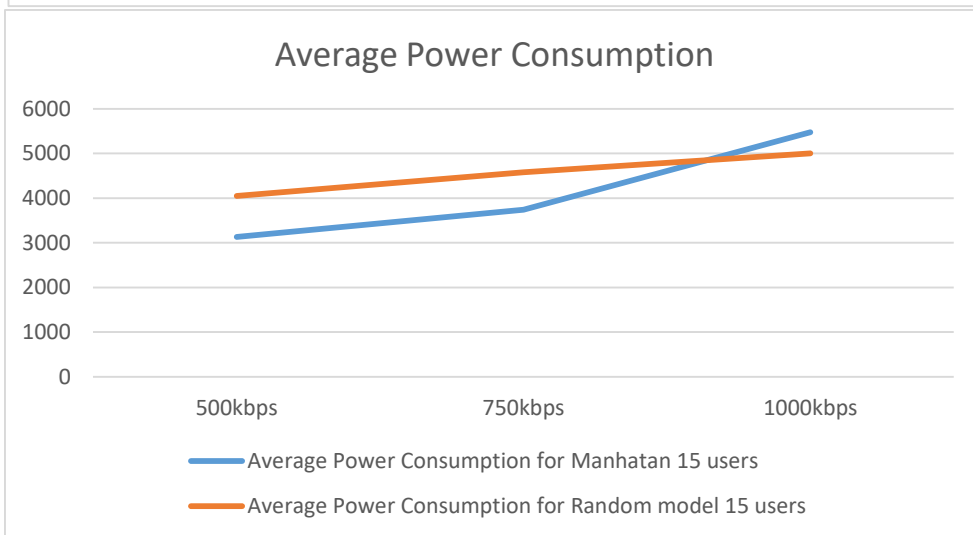
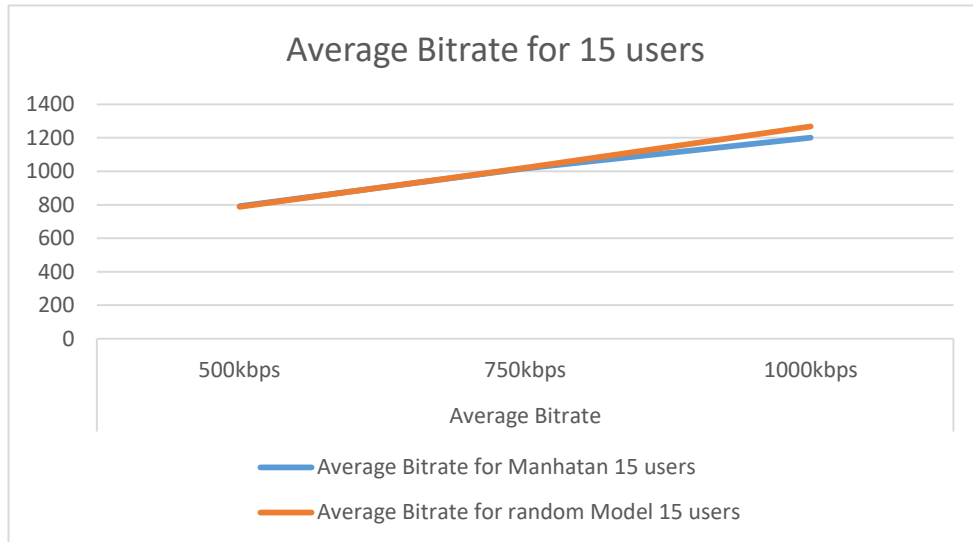
5. Συμπεράσματα.

Παρατηρώντας συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα μπορούμε να επισημάνουμε κάποιες εμφανείς τάσεις.

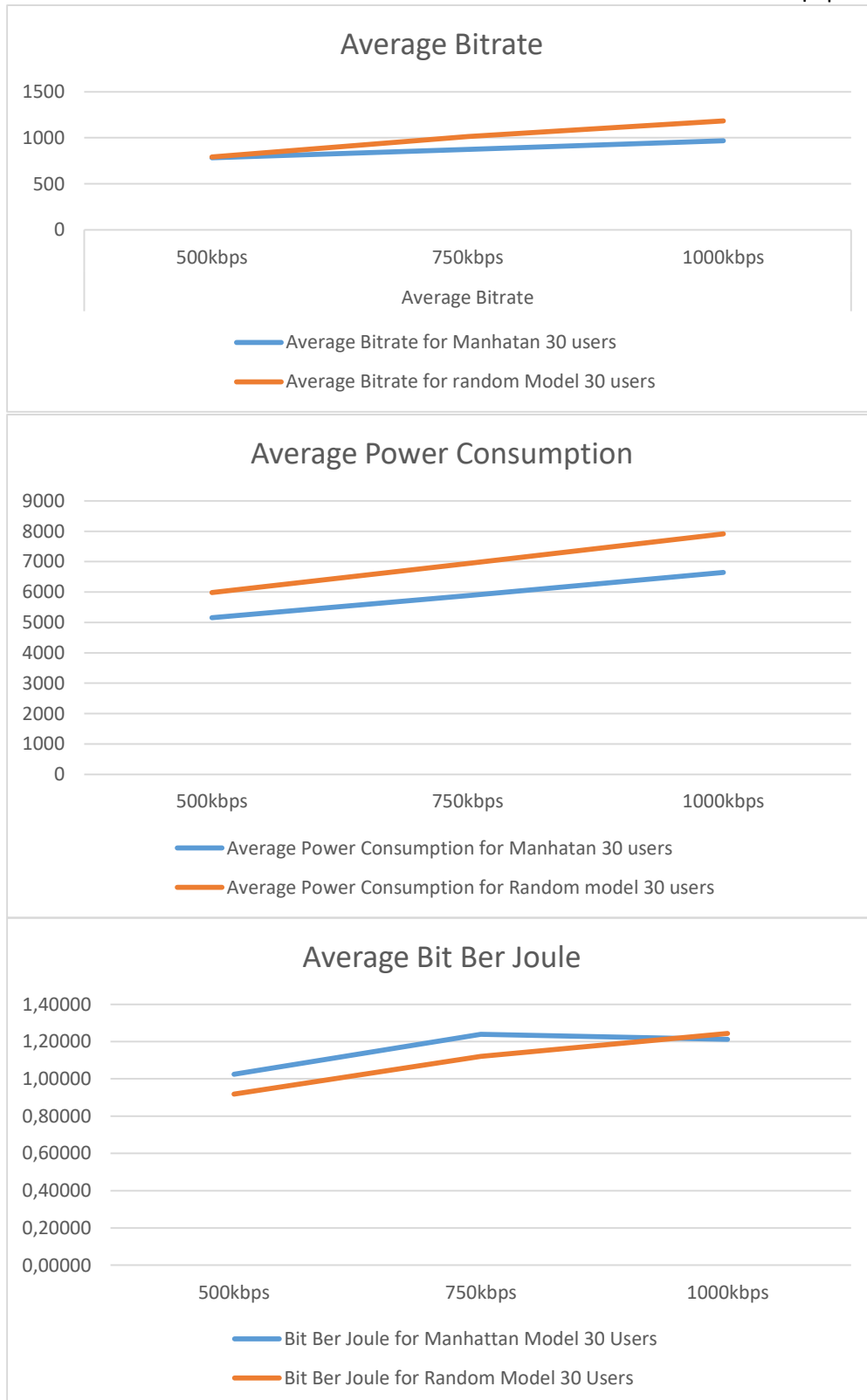
- Στην περίπτωση χαμηλού φορτίου (5 χρηστών) το μέσο αποδιδόμενο Bitrate και στις δύο προσομοιώσεις παραμένει ίδιο. Το bit Per joule παραμένει σταθερά καλύτερο για το Random Movement με την διαφορά όμως να μειώνεται αναλογικά όσο το απαιτούμενο Bitrate ανεβαίνει.



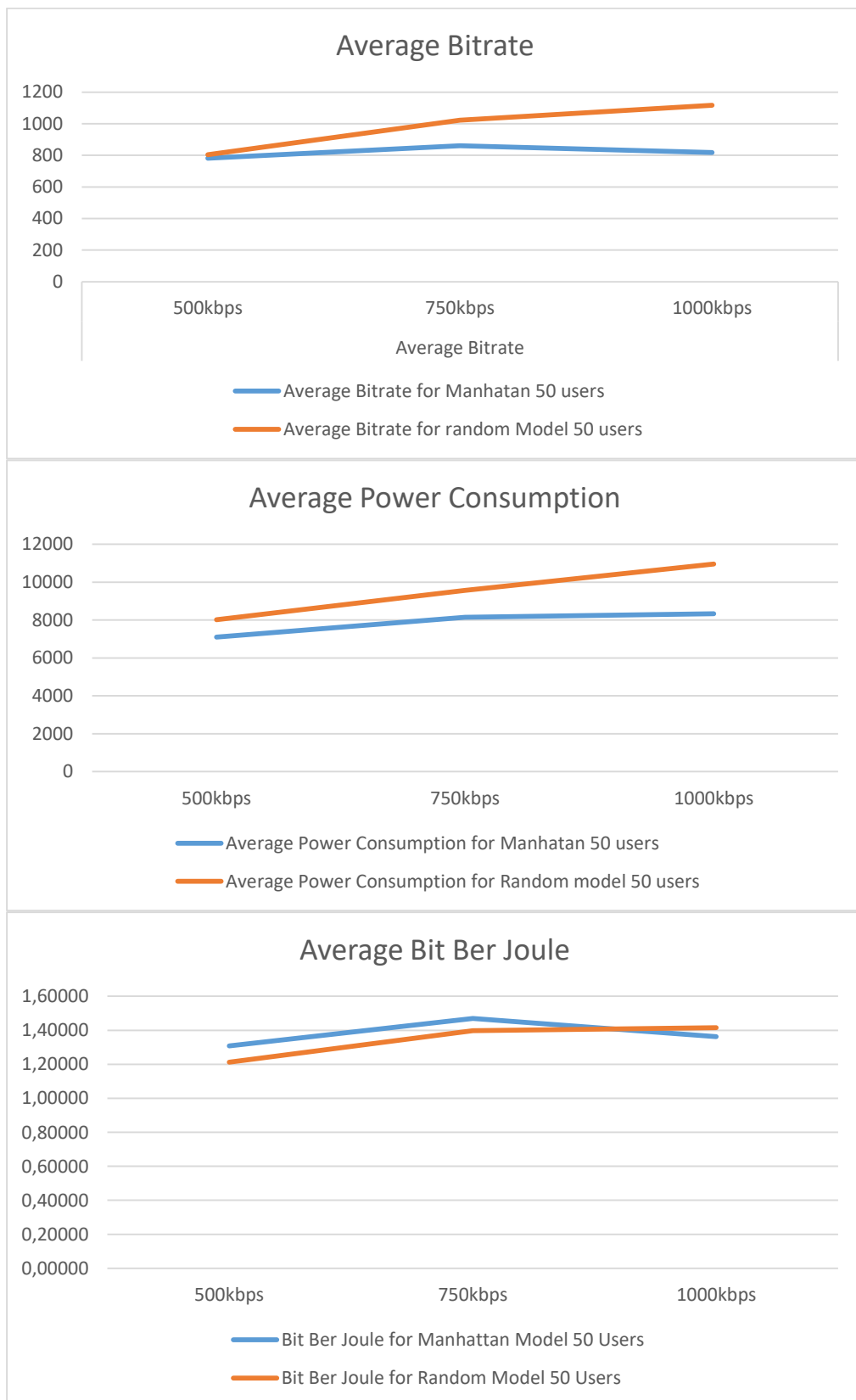
- Σε περίπτωση μέσου φορτίου (15 χρήστες) το Bitrate εξακολουθεί να παραμένει σχεδόν ίδιο. Η μέση κατανάλωση ενέργειας για τον Manhattan Model, παραμένει μικρότερη για 500 και 750 kbps, ενώ στα 1000Kbps αυξάνεται ιδιαίτερα και ξεπερνάει την κατανάλωση του Random Model. Αφού το Bitrate είναι σχεδόν ίδιο, η διαφορά αυτή αποτυπώνεται και στο Bit Per Joule.



- Στην περίπτωση υψηλού φορτίου (30 χρήστες) αρχίζει να παρατηρείται μία διαφορά στην μέση αποδιδόμενη ρυθμαπόδοση. Είναι φανερό πως όσο αυξάνεται το φορτίο αυτή η διαφορά μεγαλώνει. Παρά την διαφορά στην ρυθμαπόδοση, το Manhattan Model παρουσιάζει μειωμένη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τους random users και μάλιστα η διαφορά ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου.



- Τέλος στην περίπτωση του πολύ μεγάλου φορτίου φαίνεται να επαναλαμβάνεται το μοτίβο των 30 . Το manhattan model πετυχαίνει μικρότερη μέση ρυθμαπόδοση όσο μεγαλώνει το φορτίο αλλά παράλληλα πετυχαίνει και μικρότερη μέση κατανάλωση ενέργειας.



Βιβλιογραφία

1. **Cisco Visual Networking Index: Global mobile data traffic forecast update, 2014-2019**
2. **Survey of Green Radio Communications Networks: Techniques and Recent Advances** Mohammed H. Alsharif, Rosdiadee Nordin, and Mahamod Ismail
3. **Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-Efficient Wireless Networks**
4. **EARTH Project: Final report on green radio technologies D4.3, pp. 23-27**
5. **Network energy saving technologies for green wireless access networks**
Tao Chen, Yang Yang, Honggang Zhang, Haesik Kim, Kari Horneman
6. **sCell zooming for cost-efficient green cellular networks**
Zhisheng Niu, Yiqun Wu, Jie Gong, and Zexi Yang, Tsinghua University
7. **Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks**
Luis M. Correia, Dietrich Zeller, Oliver Blume, Dieter Ferling, Ylva Jading, Istvan Godor, Gunther Auer, Liesbet Van der Perre
8. **A SURVEY OF MOBILITY MODELS in Wireless Adhoc Networks**
Fan Bai and Ahmed Helmy University of Southern California, U.S.A
9. **Stochastic Properties of the Random Waypoint Mobility Model**
Bettstetter, C., Hartenstein, H. & Pérez-Costa
10. **Green optimization schemes for mobile network design and operation**
Angelos Rouskas, Georgios Kyriazis and Dimitrios Komnagos
11. **Mobility Models for Systems Evaluation**
Mirco Musolesi, Dartmouth College, USA Cecilia Mascolo, University of Cambridge, UK

Θα ήθελα να ευχαριστίσω των Κύριο Ρούσκα για την καθοδήγηση την υπομονή και την βοήθεια καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα για την περίοδο την διπλωματικής μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω των κύριο Κυριαζή για την πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσε ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω την εργασία μου.