



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ – ΤΜΗΜΑ**  
**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Προδραστική Διαχείριση Πόρων σε ασύρματα δίκτυα με  
τη χρήση δικαιωμάτων προαίρεσης (stock options)**

**Κωνσταντίνος Μ. Αντωνίου**

**Επιβλέπων: Ευστάθιος Π. Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΑΘΗΝΑ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2008**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Προδραστική Διαχείριση Πόρων σε ασύρματα δίκτυα με τη χρήση δικαιωμάτων  
προαίρεσης (stock options)**

**Κωνσταντίνος Μ. Αντωνίου**

**A.M. 099**

**Επιβλέπων: Ευστάθιος Π. Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2008**



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή προτείνεται ένα θεωρητικό μοντέλο τιμολόγησης πόρων σε ασύρματα δίκτυα, με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας των χρηστών που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για αυτό. Ταυτόχρονα, προκύπτει αύξηση της χρήσης του δικτύου που αντιστοιχεί σε αυξημένα έσοδα για τον πάροχο. Το μοντέλο βασίζεται στα ευρέως γνωστά δικαιώματα προαίρεσης. Πιο συγκεκριμένα, όπως ένα δικαίωμα προαίρεσης δίνει τη δυνατότητα στον κάτοχο να αγοράσει συγκεκριμένες μετοχές σε μία προκαθορισμένη τιμή μέχρι μία ημερομηνία, έτσι και ένα δικαίωμα σε εύρος ζώνης δίνει τη δυνατότητα στον κάτοχο να προχωρήσει στην αγορά των πόρων αν και εφόσον πραγματοποιηθεί η μεταπομπή στη συγκεκριμένη κυψέλη. Η εξομοίωση του μοντέλου έγινε σε περιβάλλον MATLAB.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Βελτίωση υπηρεσίας σε ασύρματα δίκτυα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: προδέσμευση πόρων, QoS, δικαιώματα προαίρεσης, δικαιώματα προαίρεσης σε δικτυακούς πόρους, ασύρματα δίκτυα



## **ABSTRACT**

In this thesis a new theoretical model for pricing resources in wireless networks is proposed. The target is to improve the quality of service that the users are experiencing, by paying the corresponding price. The model results in the increase of network usage of the network resources, which implied increase revenues for the provider. The model is based on the stock options. More specifically as we know the holder of a call option has the right to buy the underlying stock in a predefined price until a specific date. Similarly an option on a unit bandwidth, gives the owner the privilege to buy the corresponding bandwidth if the handover occurs, before a predefined time. MATLAB was used in order to perform the simulation.

**SUBJECT AREA:** Improve quality of service in wireless networks

**KEYWORDS:** bandwidth reservation, QoS, stock options, options in bandwidth units, wireless networks





## Περιεχόμενα

.....	5
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</u>	<u>5</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>7</u>
<u>Περιεχόμενα.....</u>	<u>9</u>
<u>Πρόλογος.....</u>	<u>11</u>
<u>Κεφάλαιο 1 Η προδέσμευση πόρων στα ασύρματα δίκτυα.....</u>	<u>12</u>
<u>1.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>12</u>
<u>1.2 Δομή της εργασίας.....</u>	<u>13</u>
<u>1.3 Η συνεισφορά της εργασίας.....</u>	<u>13</u>
<u>Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό υπόβαθρο - Το μοντέλο Black-Scholes για την αποτίμηση δικαιωμάτων προαίρεσης.....</u>	<u>15</u>
<u>2.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2 Δικαιώματα προαίρεσης.....</u>	<u>15</u>
<u>2.3 Δικαιώματα προαίρεσης αγοράς.....</u>	<u>16</u>
<u>2.3.1 Η αξία του δικαιώματος προαίρεσης αγοράς στην λήξη.....</u>	<u>16</u>
<u>2.4 Δικαιώματα προαίρεσης πώλησης.....</u>	<u>18</u>
<u>2.4.1 Η αξία του δικαιώματος προαίρεσης πώλησης στην λήξη.....</u>	<u>18</u>
<u>2.5 Η πώληση δικαιωμάτων προαίρεσης.....</u>	<u>20</u>
<u>2.6 Η επίδραση του χρόνου στην αξία ενός δικαιώματος προαίρεσης.....</u>	<u>22</u>
<u>2.7 Η επίδραση του επιτοκίου στην αξιολόγηση ενός δικαιώματος προαίρεσης.....</u>	<u>23</u>
<u>2.8 Η επίδραση της μεταβλητότητας της μετοχής στην αξιολόγηση ενός δικαιώματος προαίρεσης.....</u>	<u>24</u>
<u>2.9 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του δικαιώματος προαίρεσης.....</u>	<u>26</u>
<u>2.10 Εκτίμηση αξίας ενός δικαιώματος προαίρεσης με το τύπο Black-Scholes.....</u>	<u>27</u>
<u>Κεφάλαιο 3 Προτεινόμενο μοντέλο.....</u>	<u>29</u>
<u>3.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>29</u>
<u>3.2 Η ποιότητα υπηρεσίας και οι δικτυακοί πόροι στα ασύρματα δίκτυα.....</u>	<u>29</u>
<u>3.3 Σκοπός διαχείρισης πόρων σε ένα ασύρματο δίκτυο.....</u>	<u>31</u>
<u>3.4 Περιγραφή μοντέλου.....</u>	<u>33</u>
<u>Κεφάλαιο 4 Το πρόγραμμα.....</u>	<u>45</u>
<u>4.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>45</u>
<u>4.2 Χρήσιμες παράμετροι.....</u>	<u>45</u>
<u>4.3 Η κύρια συνάρτηση init.m.....</u>	<u>46</u>
<u>4.4 Η συνάρτηση NewVoiceCalls().....</u>	<u>50</u>
<u>4.5 Η συνάρτηση CalcActiveSessions().....</u>	<u>51</u>
<u>4.6 Η συνάρτηση find_next_cell().....</u>	<u>52</u>
<u>4.7 Η συνάρτηση Estimate_next_cell().....</u>	<u>52</u>
<u>4.8 Η συνάρτηση next_cell().....</u>	<u>53</u>
<u>4.9 Χρήσιμες στατιστικές μεταβλητές (counters).....</u>	<u>57</u>
<u>Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα εξομοίωσης.....</u>	<u>59</u>
<u>5.1 Εισαγωγή.....</u>	<u>59</u>
<u>5.2 Σενάριο Α.....</u>	<u>59</u>
<u>5.3 Σενάριο Β.....</u>	<u>63</u>
<u>5.4 Σενάριο C.....</u>	<u>67</u>
<u>5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....</u>	<u>70</u>
<u>5.5.1 Χαμηλό φορτίο δικτύου.....</u>	<u>70</u>
<u>5.5.2 Ενδιάμεσο φορτίο δικτύου.....</u>	<u>71</u>

5.5.3 Υψηλό φορτίο δικτύου.....	73
6 Συμπεράσματα και πιθανές επεκτάσεις του μοντέλου.....	74
6.2 Στοιχεία για περαιτέρω μελέτη και πιθανές επεκτάσεις του μοντέλου.....	75
6.2.1 Υπολογισμός αξίας μονάδας εύρους ζώνης.....	75
6.2.2 Υπολογισμός διάρκειας λήξης δικαιώματος τ.....	75
6.2.3 Η περίπτωση του over-subscription.....	76
6.2.4 Περίπτωση πεπερασμένου budget κινητών σταθμών.....	76
6.2.5 Υπολογισμός βέλτιστης τιμολογιακής πολιτικής για το δίκτυο.....	76
Ακρωνύμια.....	77
Παράρτημα.....	78
.....	86
Αναφορές.....	91

## Πρόλογος

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Διοίκηση και Οικονομικά των τηλεπικοινωνιακών δικτύων» των τμημάτων Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών και Οικονομικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή κ. Χατζηευθυμιάδη και τον ερευνητή του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Βαγγέλη Δούρο για τη συνεργασία τους.

## Κεφάλαιο 1 Η προδέσμευση πόρων στα ασύρματα δίκτυα

### 1.1 Εισαγωγή

Οι μεταπομπές (handovers) σε ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που προκύπτει από την κινητικότητα των χρηστών και αποτελούν βασικό στοιχείο στην έρευνα αλγορίθμων διαχείρισης πόρων (resource management algorithms). Μία σύνοδος (κλήση) μπορεί να τερματιστεί πρόωρα εάν ο κινητός σταθμός (MS) κατά την μεταπομπή του, μεταβεί σε έναν σταθμό βάσης ο οποίος δεν έχει τους απαιτούμενους πόρους για να υποστηρίξει την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας της συγκεκριμένης συνόδου. Το γεγονός αυτό που στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως φραγή μεταπομπής (handover blocking), είναι αρκετά ενοχλητικό για τον χρήστη.

Η πιθανότητα φραγής μίας μεταπομπής μπορεί να μειωθεί με τη χρήση προδραστικής δέσμευσης πόρων στις γειτονικές κυψέλες εκείνης στην οποία βρίσκεται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή ο κινητός σταθμός. Μετά το συμβάν της μεταπομπής, ο κινητός σταθμός δεν ανταγωνίζεται για ένα μερίδιο στους πεπερασμένους πόρους του συστήματος, αλλά έχει «προνομιακή» μεταχείριση, έχοντας εξασφαλισμένο μερίδιο καταβάλλοντας το αντίστοιχο τίμημα στο δίκτυο. Οι πόροι του δικτύου οι οποίοι μπορούν να ρυθμιστούν από τέτοια σχήματα περιλαμβάνουν το εύρος ζώνης, τον αριθμό αρχείων ή πακέτων που ανταλλάσσονται, τον αριθμό των MAC frames/slot κτλ [7], [8].

Το μοντέλο που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία, βασίζεται στις αγορές χρηματοοικονομικών συμβολαίων. Όπως λοιπόν τα δικαιώματα προαίρεσης λειτουργούν σαν ασφαλιστική δικλείδα για αυτόν που τα κατέχει σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες μετοχές, έτσι και τα δικαιώματα σε εύρος ζώνης για τα οποία γίνεται λόγος, εξασφαλίζουν στον κάτοχο την συνέχεια της συνόδου μεταξύ δύο μεταπομπών. Πιο συγκεκριμένα το ευρέως γνωστό μοντέλο Black-Scholes [1], [2] το οποίο χρησιμοποιείται για την τιμολόγηση δικαιωμάτων προαίρεσης, χρησιμοποιείται για την τιμολόγηση δικαιωμάτων εύρους ζώνης σε μελλοντικό χρόνο. Ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή που συμβαίνει η μεταπομπή.

Για την εξομοίωση θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα MATLAB. Ο κώδικας παραθέτεται στο τέλος της εργασίας.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια και ένα παράρτημα. Πέραν της εισαγωγής, στο κεφάλαιο δύο συνοψίζεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο. Αρχικά εισάγονται οι έννοιες των δικαιωμάτων προαίρεσης αγοράς και πώλησης, ενώ στη συνέχεια γίνεται λόγος για την εκτίμηση της αξίας των δικαιωμάτων προαίρεσης. Στα πλαίσια αυτής της συζήτησης αναφέρεται το μοντέλο Black-Scholes.

Το κεφάλαιο τρία αποτελεί τον πυρήνα της εργασίας, διότι σε αυτό περιγράφεται αναλυτικά το προτεινόμενο σχήμα για την προδραστική διαχείριση πόρων. Εδώ αναφέρονται δύο θεωρητικές αρχιτεκτονικές δικτύων, που αποτελούν το περιβάλλον της εξομοίωσης.

Στο κεφάλαιο τέσσερα περιγράφονται συνοπτικά τα κύρια σημεία του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση. Ορίζονται οι παράμετροι του συστήματος, οι μεταβλητές δηλαδή οι οποίες μπορούν εύκολα να αλλαχθούν και να επαναληφθεί το πείραμα. Τέλος περιγράφονται τα κυριότερα στατιστικά μεγέθη, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στην συνέχεια, στο κεφάλαιο πέντε αναφέρονται εκτενώς τα αποτελέσματα της εξομοίωσης, ενώ στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης. Επίσης υπάρχει ξεχωριστή παράγραφος στην οποία προτείνονται βελτιώσεις ή προεκτάσεις του μοντέλου οι οποίες ξεφεύγουν από τον σκοπό τούτης της εργασίας.

Τελειώνοντας, στο παράρτημα υπάρχει όλος ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε δηλαδή η κύρια συνάρτηση μαζί με τις υπορουτίνες.

## 1.3 Η συνεισφορά της εργασίας

Σε αυτήν την εργασία προτείναμε έναν μηχανισμό προδραστικής διαχείρισης πόρων που βασίζεται στις αγορές χρηματοοικονομικών συμβολαίων. Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός έχει οφέλη σε σχέση με τον συμβατικό μηχανισμό. Καταρχήν δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να έχουν «σχεδόν» εξασφαλισμένο QoS σε μία σύνοδο, καταβάλλοντας το αντίστοιχο τίμημα. Λέμε σχεδόν εξασφαλισμένο διότι σε περίπτωση που το δίκτυο είναι ήδη φορτωμένο με άλλες κλήσεις, δεν είναι δυνατόν να δώσει πόρους αλλού. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη την

περίπτωση που ο αλγόριθμος πρόβλεψης διαδρομής δεν κάνει σωστή εκτίμηση, δηλαδή να μην το κινητό προδεσμεύει πόρους, αλλά το κάνει για λάθος κυψέλη.

Επίσης αυτό που προκύπτει από την εξομοίωση είναι ότι σε κάθε περίπτωση αυξάνονται τα έσοδα του δικτύου. Η αύξηση των εσόδων είναι άμεσα συσχετισμένη με τον αριθμό των συνδρομητών που προχωρούν σε προδέσμευση. Προφανώς μπορεί να βρεθεί η τιμολογιακή πολιτική για τους πόρους του δικτύου για την οποία θα μεγιστοποιούνται τα έσοδα του δικτύου. Το τίμημα για τα παραπάνω, το οποίο είναι και αναμενόμενο, είναι ότι η πιθανότητα φραγής νέων κλήσεων αυξάνεται.

## Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό υπόβαθρο - Το μοντέλο Black-Scholes για την αποτίμηση δικαιωμάτων προαίρεσης

### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Θα περιγραφούν τα δικαιώματα προαίρεσης, τα είδη τους και η χρησιμότητά τους και τέλος θα αναφερθεί το ευρέως γνωστό μοντέλο για την αποτίμηση των δικαιωμάτων – το μοντέλο Black-Scholes. Η χρησιμότητα του κεφαλαίου αυτού θα φανεί στα επόμενα κεφάλαια. Ο αναγνώστης ο οποίος είναι εξοικειωμένος με τις έννοιες του κεφαλαίου, μπορεί να προχωρήσει απευθείας στο επόμενο κεφάλαιο. Πάντως στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής αναφορά στις έννοιες του κεφαλαίου [1], [2].

### 2.2 Δικαιώματα προαίρεσης

Ένα δικαίωμα προαίρεσης είναι ένα συμβόλαιο το οποίο παρέχει στον ιδιοκτήτη του τη δυνατότητα να αγοράσει ή να πουλήσει ένα αγαθό σε μία καθορισμένη τιμή και πριν ή μέχρι μία συγκεκριμένη ημερομηνία. Για παράδειγμα ένα δικαίωμα προαίρεσης για ένα κτίριο μπορεί να δίνει τη δυνατότητα στον αγοραστή να αγοράσει το κτίριο για 1 εκατ. €, το Σάββατο πριν την 3<sup>η</sup> Τετάρτη του Ιανουαρίου 2010, ή οποιαδήποτε άλλη μέρα πριν από αυτή. Τα δικαιώματα είναι ένα ιδιαίτερο είδος χρηματιστηριακού συμβολαίου, διότι παρέχουν τη δυνατότητα στον αγοραστή, αλλά όχι την υποχρέωση να κάνει κάτι. Ο αγοραστής χρησιμοποιεί το δικαίωμα προαίρεσης μόνο εφόσον αυτό είναι επωφελές. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί το δικαίωμα να πεταχτεί στον κάλαθο των αχρήστων.

Υπάρχει ένα ειδικό λεξιλόγιο που συνδέεται με τα δικαιώματα προαίρεσης. Ακολουθούν ορισμένοι σημαντικοί ορισμοί [1]:

1. **Εξάσκηση του δικαιώματος** (exercising the option): Η πράξη της αγοράς ή της πώλησης του υποκείμενου αγαθού μέσω του δικαιώματος προαίρεσης.
2. **Τιμή εξάσκησης** (striking or exercise price): Η σταθερή τιμή στο συμβόλαιο του δικαιώματος στην οποία ο κάτοχος μπορεί να αγοράσει ή να πουλήσει το υποκείμενο αγαθό

3. **Ημερομηνία λήξεως** (expiration date): Η ημερομηνία πέρα από την οποία ο κάτοχος του δικαιώματος δεν μπορεί να το εξασκήσει.
4. **Αμερικανικά και Ευρωπαϊκά δικαιώματα** (American and European Options): Το Αμερικανικό δικαίωμα μπορεί να εξασκηθεί οποιαδήποτε στιγμή μέχρι την ημερομηνία λήξεως. Το Ευρωπαϊκό διαφέρει από το Αμερικάνικο δικαίωμα στο ότι μπορεί να εξασκηθεί μόνο την ημερομηνία λήξεως.

## 2.3 Δικαιώματα προαίρεσης αγοράς

Το πλέον κοινό είδος δικαιώματος είναι το δικαίωμα αγοράς (call option). Το δικαίωμα προαίρεσης αγοράς δίνει τη δυνατότητα στον ιδιοκτήτη να αγοράσει ένα αγαθό σε μία σταθερή τιμή σε μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δεν υπάρχει περιορισμός στο είδος του αγαθού, αλλά οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις είναι τα δικαιώματα σε μετοχές και σε ομόλογα.

Για παράδειγμα, δικαιώματα προαίρεσης αγοράς για μετοχές της IBM μπορούν να αγοραστούν από το Chicago Board Options Exchange. Η ίδια η IBM δεν εκδίδει (δηλαδή δεν πουλάει) δικαιώματα προαίρεσης για τις κοινές μετοχές της. Αντίθετα, μεμονωμένοι επενδυτές είναι οι πρωτογενείς αγοραστές ή πωλητές των δικαιωμάτων προαίρεσης των κοινών μετοχών της IBM. Ένα δικαίωμα λοιπόν προαίρεσης αγοράς σε μετοχές της IBM επιτρέπει σε έναν επενδυτή να αγοράσει 100 μετοχές στις 15 Ιουλίου ή νωρίτερα, στην τιμή εξάσκησης των  $E=100$  €. Η επιλογή αυτή όμως έχει αξία μόνο εάν η τιμή των μετοχών της IBM υπερβούν τα 100 € στις 15 Ιουλίου ή νωρίτερα.

### 2.3.1 Η αξία του δικαιώματος προαίρεσης αγοράς στην λήξη

Η αξία ενός δικαιώματος αγοράς στη λήξη του εξαρτάται από την τιμή της υποκείμενης μετοχής στη λήξη του δικαιώματος. Συνεχίζοντας το παραπάνω παράδειγμα με τις μετοχές της IBM, υποθέτουμε ότι η αξία τους είναι 130 € στην λήξη. Ο κάτοχος του δικαιώματος έχει το δικαίωμα να αγοράσει τις αντίστοιχες μετοχές στην τιμή 100 €. Με άλλα λόγια έχει τη δυνατότητα να εξασκήσει το δικαίωμα. Η αξία του δικαιώματος είναι συνεπώς  $130 € - 100 € = 30 €$ .



Προφανώς η αξία του δικαιώματος θα ήταν ακόμη μεγαλύτερη εάν η αντίστοιχη τιμή των μετοχών ήταν μεγαλύτερη. Πιο συγκεκριμένα για κάθε 1 € ανόδου της αξίας της μετοχής, έχουμε και 1 € άνοδο στην αξία του δικαιώματος.

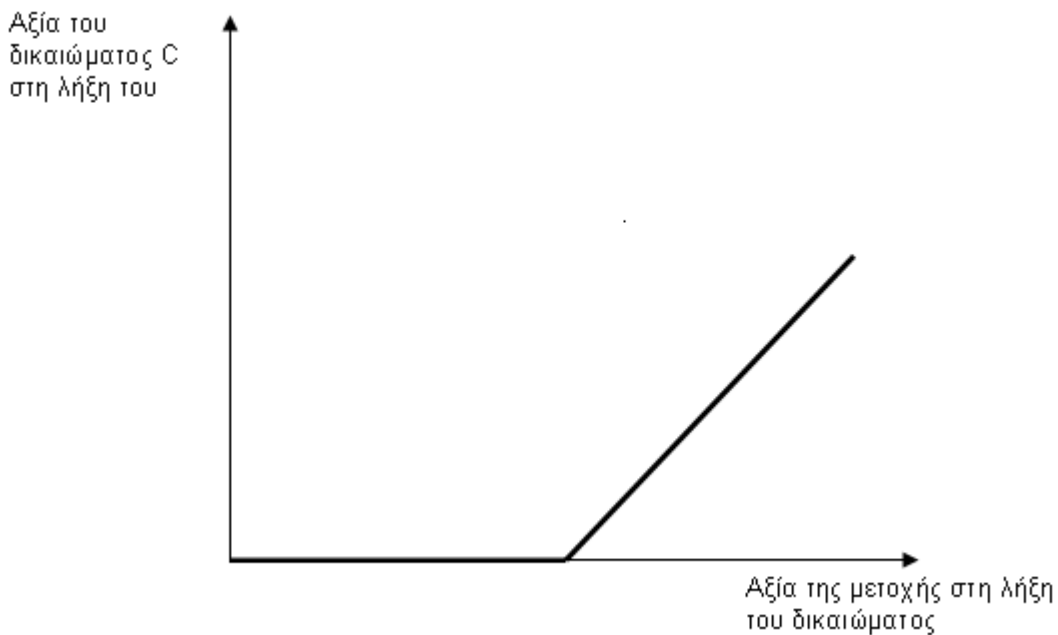
Αντίθετα, υπάρχει το σενάριο η αξία των μετοχών να είναι μικρότερη από την τιμή εξάσκησης. Ο χρήστης στην περίπτωση αυτή δεν θα προχωρήσει στην εξάσκηση. Για παράδειγμα εάν η τιμή των μετοχών ήταν 90 €, κανένας λογικός επενδυτής δεν θα εξασκούσε το δικαίωμα. Γιατί να πληρώσει κάποιος 100 € για μετοχές που αξίζουν 90 €; Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι αν η τιμή των μετοχών της IBM είναι μικρότερη από 100 € την ημερομηνία λήξεως του δικαιώματος, η αξία του δικαιώματος προαίρεσης θα είναι 0. Στην περίπτωση αυτή δηλαδή, η αξία δεν θα ισούται με την διαφορά της τιμής της μετοχής και των 100 €.

Το όφελος που προκύπτει από ένα δικαίωμα προαίρεσης αγοράς τη στιγμή της λήξης του παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

### Πίνακας 1: Αξία δικαιώματος προαίρεσης αγοράς τη στιγμή της λήξης του

	Αξία μετοχής < Τιμή εξάσκησης	Αξία μετοχής > Τιμή εξάσκησης
Αξία δικαιώματος προαίρεσης αγοράς	0	Αξία μετοχής - Τιμή εξάσκησης

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η αξία του δικαιώματος στη λήξη του, σε συνάρτηση με τη αξία της μετοχής την ίδια χρονική στιγμή. Όπως είναι εμφανές από το σχήμα το δικαίωμα δεν δύναται να λάβει αρνητικές τιμές. Υπάρχει λοιπόν ένα όριο στο ποσό που μπορεί να χάσει ο κάτοχος και αυτό είναι το τίμημα που είχε καταβάλει αρχικά για την αγορά του.



Σχήμα 1: Η αξία ενός δικαιώματος προαίρεσης στην ημερομηνία λήξης του

## 2.4 Δικαιώματα προαίρεσης πώλησης

Ένα δικαίωμα προαίρεσης πώλησης μπορεί να θεωρηθεί ως το αντίθετο ενός δικαιώματος προαίρεσης αγοράς που αναφέρθηκε προηγουμένως. Όπως το δικαίωμα αγοράς δίνει την δυνατότητα αγοράς των μετοχών σε σταθερή τιμή, το δικαίωμα πώλησης δίνει στον κάτοχο τη δυνατότητα να πουλήσει τις μετοχές σε μία συγκεκριμένη σταθερή τιμή.

### 2.4.1 Η αξία του δικαιώματος προαίρεσης πώλησης στην λήξη

Οι παράμετροι που καθορίζουν την τιμή ενός δικαιώματος πώλησης είναι οι αντίθετες από εκείνες που καθορίζουν την τιμή ενός δικαιώματος αγοράς. Ας υποθέσουμε ότι η τιμή εξάσκησης ενός δικαιώματος πώλησης είναι 50 € και ότι η τιμή της μετοχής στη λήξη του δικαιώματος είναι 40 €. Ο κάτοχος του δικαιώματος, έχει τη δυνατότητα να πουλήσει τη μετοχή, περισσότερο από όσο αξίζει, κάτι που προφανώς του αποφέρει κέρδος. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να αγοράσει την μετοχή στην τιμή που διαπραγματεύεται στην αγορά, δηλ. 40 € και να την πουλήσει πάραυτα στην τιμή εξάσκησης των 50 €, έχοντας κέρδος 10 €. Προφανώς η αξία του δικαιώματος στην περίπτωση αυτή θα είναι 10 €.

Το κέρδος θα ήταν ακόμη μεγαλύτερο εάν η τιμή της μετοχής θα ήταν μικρότερη, π.χ. αν η μετοχή διαπραγματευόταν προς 30 €, η αξία του δικαιώματος θα ήταν 20 € κ.ο.κ. Στην πράξη για κάθε 1 € που μειώνεται η αξία της μετοχής στη λήξη, η αντίστοιχη αξία του δικαιώματος αυξάνεται κατά 1 €.

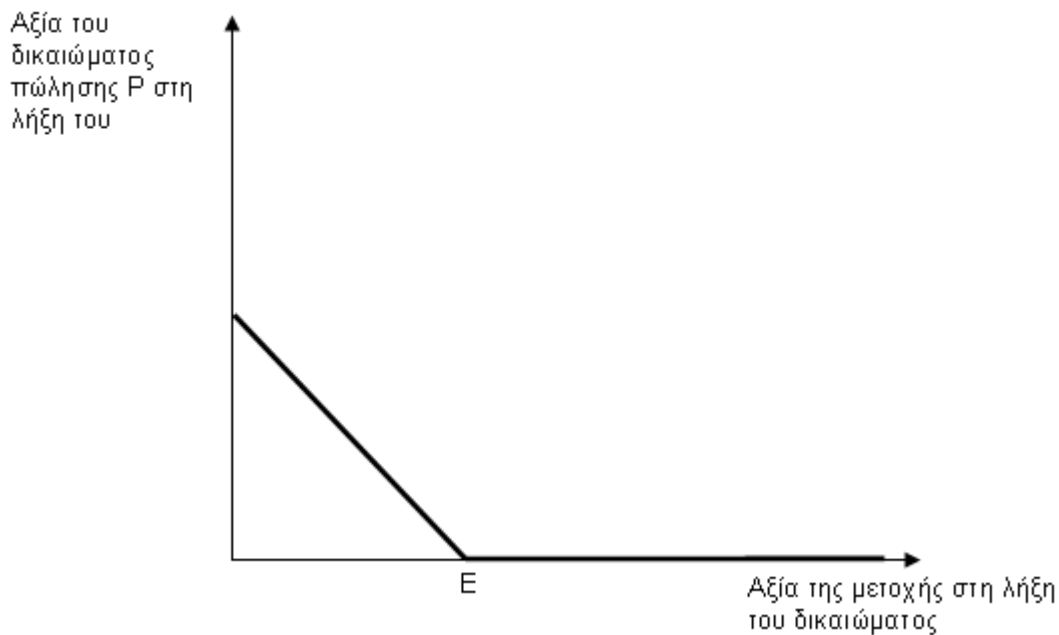
Εάν όμως υποθέσουμε ότι η μετοχή διαπραγματευόταν προς 60 € - ή εν τέλει οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη από 50 € - ο κάτοχος δεν θα προχωρούσε σε εξάσκηση του δικαιώματος. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό δεν είναι προς το συμφέρον του να πουλήσει την μετοχή 50 €, την στιγμή που η αξία της είναι 60 €.

Το όφελος που προκύπτει από ένα δικαίωμα προαίρεσης πώλησης τη στιγμή της λήξης του παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2: Αξία δικαιώματος προαίρεσης πώλησης τη στιγμή της λήξης του**

	Αξία μετοχής < Τιμή εξάσκησης	Αξία μετοχής > Τιμή εξάσκησης
Αξία δικαιώματος προαίρεσης πώλησης	Τιμή εξάσκησης – αξία μετοχής	0

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η αξία του δικαιώματος στη λήξη του, σε συνάρτηση με τη αξία της μετοχής την ίδια χρονική στιγμή. Το δικαίωμα πώλησης έχει αξία μόνο όταν η τιμή της μετοχής είναι μικρότερη από την τιμή εξάσκησης, αντίθετα το δικαίωμα αγοράς έχει αξία μόνο όταν η τιμή της μετοχής είναι μεγαλύτερη από την τιμή εξάσκησης.



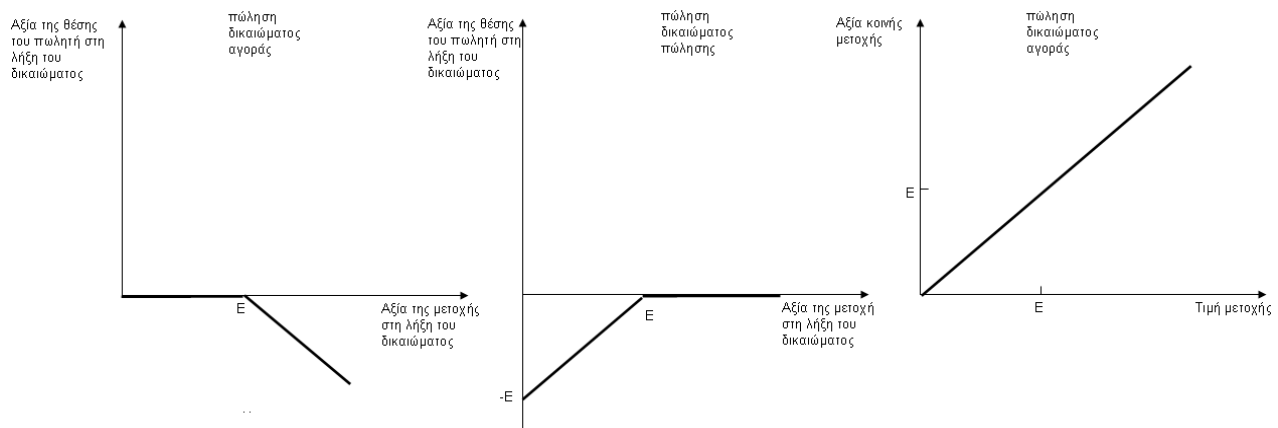
Σχήμα 2: Η αξία ενός δικαιώματος προαίρεσης πώλησης στην ημερομηνία λήξης του

## 2.5 Η πώληση δικαιωμάτων προαίρεσης

Ένας επενδυτής ο οποίος πουλάει ένα δικαίωμα αγοράς πάνω σε μία κοινή μετοχή, έχει την υποχρέωση να παραδώσει την μετοχή στον κάτοχο του δικαιώματος. Όπως προαναφέρθηκε εάν κατά τη λήξη, η τιμή στην οποία διαπραγματεύεται η μετοχή είναι μεγαλύτερη από την τιμή εξάσκησης, ο κάτοχος θα εξασκήσει το δικαίωμα και ο πωλητής θα πρέπει να δώσει στον κάτοχο την μετοχή στην τιμή εξάσκησης. Προφανώς στην περίπτωση αυτή ο πωλητής χάνει την διαφορά ανάμεσα στην αξία της μετοχής και στην τιμή εξάσκησης. Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα γιατί ο πωλητής να θελήσει να μπει σε αυτήν την επισφαλή θέση. Από την μία χάνει χρήματα εάν η μετοχή είναι ακριβότερη από την τιμή εξάσκησης και από την άλλη οριακά αποφεύγει να χάσει χρήματα στην περίπτωση που η μετοχή είναι φθηνότερη από την τιμή εξάσκησης. Η απάντηση είναι ότι ο πωλητής ανταμείβεται για το ρίσκο που παίρνει. Τη στιγμή που η συναλλαγή του δικαιώματος αγοράς λαμβάνει χώρα, ο πωλητής εισπράττει την τιμή που πληρώνει ο αγοραστής. Όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο το ρόλο του πωλητή δικαιωμάτων τον διαδραματίζει το δίκτυο.

Τα αντίστοιχα ισχύουν και στην περίπτωση του πωλητή δικαιωμάτων πώλησης. Ένας επενδυτής ο οποίος πουλάει ένα δικαίωμα πώλησης σε μία κοινή μετοχή, συμφωνεί να αγοράσει κοινές μετοχές, εάν το απαιτήσει ο κάτοχος του δικαιώματος.

Οι αξίες πώλησης ενός «δικαιώματος αγοράς<sup>1</sup>» και πώλησης ενός «δικαιώματος πώλησης<sup>2</sup>» παρουσιάζονται στο σχήμα 3. Στο αριστερό σχήμα φαίνεται ότι ο πωλητής ενός δικαιώματος αγοράς δεν χάνει τίποτα όταν η αξία της μετοχής στη λήξη του δικαιώματος είναι μικρότερη από  $E$ . Όμως έχει απώλειες  $1 \text{ €}$  για κάθε  $1 \text{ €}$  που ανεβαίνει η αξία της μετοχής πάνω από την τιμή  $E$ . Στο μεσαίο σχήμα φαίνεται ότι ο πωλητής ενός δικαιώματος πώλησης δεν χάνει τίποτα όταν στην ημερομηνία λήξης του δικαιώματος η αξία της μετοχής είναι μεγαλύτερη από  $E$ , αλλά χάνει  $1 \text{ €}$ , για κάθε  $1 \text{ €}$  που μειώνεται η αξία της μετοχής κάτω από την τιμή  $E$ . Αξίζει να συγκρίνουμε τα διαγράμματα του σχήματος 3 με αυτά των σχημάτων 1 και 2. Παρατηρούμε ότι το διάγραμμα πώλησης ενός δικαιώματος αγοράς (αριστερό διάγραμμα σχήματος 3) είναι το κατοπτρικό του διαγράμματος του σχήματος 1. Αυτό σημαίνει ότι ο πωλητής του δικαιώματος χάνει αυτό που κερδίζει ο αγοραστής. Το ίδιο ισχύει και για το διάγραμμα πώλησης δικαιώματος πώλησης με το σχήμα 2.



Σχήμα 3: Το όφελος των πωλητών από την πώληση δικαιωμάτων αγοράς και πώλησης και των αγοραστών κοινών μετοχών.

<sup>1</sup> Call option

<sup>2</sup> Put option

## 2.6 Η επίδραση του χρόνου στην αξία ενός δικαιώματος προαίρεσης

Έστω ένα Ευρωπαϊκό δικαίωμα αγοράς μετοχών. Όσο παραμένει άγνωστη η τιμή που θα λάβει η μετοχή κατά την ημερομηνία λήξης, άλλο τόσο άγνωστη είναι και η αξία του δικαιώματος. Γενικά όσο πιο μεγάλο είναι το χρονικό διάστημα μέχρι την ημερομηνία λήξης του δικαιώματος, τόσο πιο μεγάλη είναι η αξία του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι γίνονται πιο πιθανές οι οριακές τιμές της μετοχής, σε συνδυασμό με την ιδιότητα του δικαιώματος αγοράς να μην εξασκείται όταν η τιμή της μετοχής γίνεται μικρότερη από την τιμή εξάσκησης του δικαιώματος. Επιπρόσθετα, όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα τόσο πιο μικρή είναι η παρούσα αξία της τιμής εξάσκησης του δικαιώματος που εξαργυρώνεται την ημερομηνία λήξης.

Συνεπώς, η ευθεία A του σχήματος 4 που αναφέρεται στην αξία του δικαιώματος προαίρεσης κατά την ημερομηνία λήξης, αποτελεί ένα κάτω όριο για κάθε καμπύλη που σχετίζεται με ένα όμοιο δικαίωμα το οποίο έχει χρονικό περιθώριο μέχρι τη λήξη του. Στην αντίθετη περίπτωση όπου η ημερομηνία λήξης είναι πολύ μακριά στο μέλλον, η παρούσα αξία της τιμής εξάσκησης του δικαιώματος τείνει στο μηδέν. Επομένως, η αξία του δικαιώματος προαίρεσης γίνεται σχεδόν ίση με την τιμή της μετοχής

$$C(S, t) = S - x \approx S - 0 = S \quad (2-1)$$

Αυτό είναι το άνω όριο στην τιμή του δικαιώματος προαίρεσης και απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 4 από τη γραμμή B με κλίση 1/2. Όσο απομένει χρόνος μέχρι τη λήξη, η τιμή του δικαιώματος προαίρεσης είναι μεγαλύτερη από τη θεωρητική γραμμή A. Το παραπάνω αποτελεί τον κύριο λόγο ύπαρξης αυτού του συμβολαίου και γίνεται κατανοητό με ένα απλό ισορροπημένο παράδειγμα.

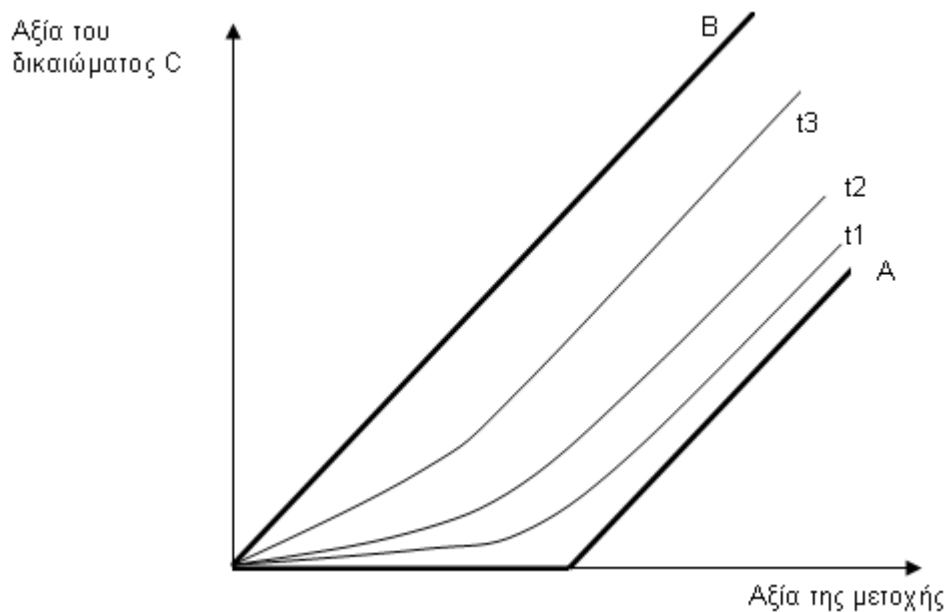
Ένα δικαίωμα προαίρεσης αγοράς μίας συγκεκριμένης μετοχής έχει τιμή εξάσκησης 10 € όσο ακριβώς κοστίζει και η μετοχή. Υπολογίζεται ότι η μετοχή έχει πιθανότητα 0.3 να πέσει στα 5 €, 0.4 να παραμείνει στα 10 € και 0.3 να ανέβει στα 15 € μέχρι την ημερομηνία λήξης. Η αξία του δικαιώματος προαίρεσης υπολογίζεται ως εξής:

Όσον αφορά το πρώτο και δεύτερο ενδεχόμενο, ο ιδιοκτήτης δεν έχει κέρδος από την εξάσκηση του δικαιώματος. Επομένως η τιμή του δικαιώματος προαίρεσης σε αυτές της

περιπτώσεις είναι μηδέν. Αν λάβει χώρα το τρίτο ενδεχόμενο, η αγορά της μετοχής με 10 € αποφέρει κέρδος  $15-10=5$  €. Επομένως η αξία του δικαιώματος προαίρεσης είναι:

$$0.3 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0 + 0.3 \cdot 5 = 1.5 \text{ €}$$

κάτι που οφείλεται στην εξ ορισμού ιδιότητα του να εξαλείφει τα αρνητικά ενδεχόμενα.



Σχήμα 4: Η επίδραση του χρόνου στην τιμή ενός δικαιώματος προαίρεσης αγοράς μετοχών.

Στο παραπάνω σχήμα, απεικονίζονται επίσης τρεις καμπύλες αξιολόγησης ενός πανομοιότυπου δικαιώματος προαίρεσης  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , που όμως διαφοροποιείται στα χρονικά περιθώρια μέχρι τη λήξη, για τα οποία ισχύει:  $t_1 < t_2 < t_3$ . Παρατηρούμε ότι για ίδιες τιμές της μετοχής, τα δικαιώματα προαίρεσης με πιο σύντομη ημερομηνία λήξης έχουν μικρότερη αξία. Αυτό οφείλεται στη μείωση της πιθανότητας να αυξηθεί δραματικά η τιμή της μετοχής σε σύντομο χρονικό διάστημα.

## 2.7 Η επίδραση του επιτοκίου στην αξιολόγηση ενός δικαιώματος προαίρεσης

Μία άλλη παράμετρος στην αξιολόγηση ενός δικαιώματος προαίρεσης είναι η αξία του χρήματος στο χρόνο. Η απόκτηση του δικαιώματος προαίρεσης γίνεται με την καταβολή

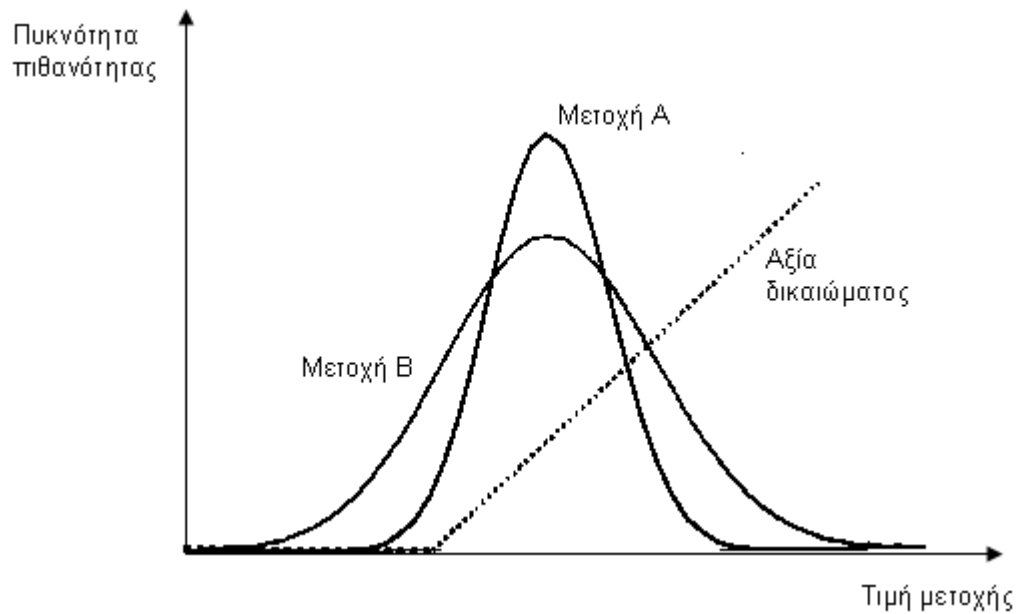
του ποσού διαπραγμάτευσης (premium) στον εκδότη. Ωστόσο, η τιμή εξάσκησης καταβάλλεται σε κάποια καθορισμένη μελλοντική χρονική στιγμή.

Σε ένα ευρωπαϊκό δικαίωμα προαίρεσης για την αγορά μετοχικού κεφαλαίου, όσο πιο μεγάλο είναι το επιτόκιο, τόσο πιο μικρή είναι η αγοραστική αξία του ποσού εξάσκησης του δικαιώματος (αγοράς της μετοχής). Επομένως ο ιδιοκτήτης του δικαιώματος ωφελείται από μεγαλύτερα επιτόκια. Είναι φανερό πως αν μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι τη λήξη του δικαιώματος, το όφελος από το υψηλό επιτόκιο είναι αναλόγως αυξημένο, καθώς αυτό εφαρμόζεται σε όλη αυτή την περίοδο.

## **2.8 Η επίδραση της μεταβλητότητας της μετοχής στην αξιολόγηση ενός δικαιώματος προαίρεσης**

Συνήθως, ο πιο σημαντικός παράγοντας στην τιμή ενός δικαιώματος προαίρεσης είναι η μεταβλητότητα (volatility) της τιμής του υποκείμενου τίτλου. Συγκεκριμένα όσο πιο μεγάλη είναι η μεταβλητότητα, επομένως και η πιθανότητα να λάβει ακραίες τιμές η μετοχή, τόσο πιο μεγάλη είναι η αξία του αντίστοιχου δικαιώματος προαίρεσης. Για τη μέτρηση της μεταβλητότητας ενός μεγέθους, χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση  $\sigma$ , ή η διασπορά της  $\sigma^2$ . Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο του κατά πόσο είναι πιθανό η μετοχή να μεταβληθεί σημαντικά από την ενδεχόμενη μέση τιμή της. Ένας απλός τρόπος για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης στηρίζεται στη μελέτη της συμπεριφοράς της μετοχής στο εγγύς παρελθόν. Τα δείγματα μπορεί να λαμβάνονται κάθε εβδομάδα για μία περίοδο 20 εβδομάδων, με τα πιο πρόσφατα να έχουν πιο μεγάλο βάρος στους υπολογισμούς.





Σχήμα 5: Η επίδραση της μεταβλητότητας της μετοχής στην αξία του δικαιώματος προαίρεσης.

Ο πίνακας 3, παρουσιάζει τις τιμές δύο μετοχών με τις αντίστοιχες πιθανότητες εκδήλωσής τους. Η μετοχή B παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα από τη μετοχή A (βλ. σχήμα 5), όμως και οι δύο έχουν στατιστική μέση τιμή 40 €. Στη συνέχεια συγκρίνονται δυο πανομοιότυπα δικαιώματα προαίρεσης των παραπάνω μετοχών που έχουν την ίδια τιμή εξάσκησης 38 €.

**Πίνακας 3: Δύο μετοχές με ίδια μέση τιμή αλλά διαφορετική μεταβλητότητα**

Πιθανότητα Εμφάνισης	0,10	0,25	0,30	0,25	0,10
Τιμή Μετοχής A	30€	36€	40€	44€	50€
Τιμή Μετοχής B	20€	30€	40€	50€	60€

Η τιμή του δικαιώματος προαίρεσης που αφορά τη μετοχή A είναι:

$$S_A = 0.10 \cdot 0 + 0.25 \cdot 0 + 0.30 \cdot (40 - 38) + 0.25 \cdot (44 - 38) + 0.10(50 - 38) = 3.30 \text{ €}$$

Η τιμή του δικαιώματος προαίρεσης που αφορά τη μετοχή B είναι:

$$S_B = 0.10 \cdot 0 + 0.25 \cdot 0 + 0.30 \cdot (40 - 38) + 0.25 \cdot (50 - 38) + 0.10(60 - 38) = 5.80 \text{ €}$$

Το δικαίωμα προαίρεσης για τη μετοχή Β έχει πιο μεγάλη αξία, γεγονός που οφείλεται στη μεγαλύτερη διασπορά των πιθανών τιμών της μετοχής Β κατά την ημερομηνία λήξης. Η επίδραση των ακραίων, μη επιθυμητών τιμών, δεν λαμβάνεται υπ' όψη στην αξιολόγηση του δικαιώματος προαίρεσης, αφού ο κάτοχός του δεν θα εξασκήσει το δικαίωμα που του παρέχεται. Δηλαδή, το πόσο αρνητικό είναι ένα ενδεχόμενο δεν απασχολεί την αξιολόγηση του δικαιώματος προαίρεσης. Βεβαία η πιθανότητα εμφάνισης του συνόλου των αρνητικών ενδεχομένων μας απασχολεί. Αντιθέτως, οι πιθανές πολύ μεγάλες τιμές που εμφανίζονται λόγω της αυξημένης μεταβλητότητας, αυξάνουν την τιμή του δικαιώματος προαίρεσης. Ουσιαστικά, η αξία ενός δικαιώματος προαίρεσης δεν εξαρτάται από την προβλεπόμενη μέση τιμή της μετοχής. Δύο δικαιώματα προαίρεσης με ίδια χαρακτηριστικά, πάνω σε μετοχές ίσης μεταβλητότητας, αξίζουν το ίδιο, άσχετα με το αν οι μετοχές έχουν διαφορετική αναμενόμενη μελλοντική τιμή. Το κρίσιμο μέγεθος στην τιμή του δικαιώματος προαίρεσης είναι η μεταβλητότητα ή αλλιώς η διασπορά της τιμής της μετοχής.

## 2.9 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του δικαιώματος προαίρεσης

Η ανάλυση και τα παραδείγματα μέχρι αυτό το σημείο παρέμειναν απλά και αγνόησαν εσκεμμένα ορισμένες παραμέτρους που επηρεάζουν την τιμή ενός δικαιώματος προαίρεσης. Εντούτοις βοήθησαν να αναδειχθούν ορισμένα βασικά συμπεράσματα όσον αφορά τις παραμέτρους και το πώς αυτές επιδρούν στην τιμή του δικαιώματος προαίρεσης. Τα συμπεράσματα αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

**Πίνακας 4: Οι παράμετροι που επηρεάζουν την τιμή ενός δικαιώματος προαίρεσης**

Αύξηση μεταβλητής	Μεταβολή στην τιμή του δικαιώματος προαίρεσης
Μεταβλητότητα της μετοχής	Αύξηση
Χρόνος μέχρι τη λήξη	Αύξηση
Επιτόκιο	Αύξηση
Τιμή εξάσκησης	Μείωση
Τρέχουσα τιμή μετοχής	Αύξηση

## 2.10 Εκτίμηση αξίας ενός δικαιώματος προαίρεσης με το τύπο Black-Scholes

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος αξιολόγησης ενός δικαιώματος προαίρεσης είναι η εξίσωση Black-Scholes. Οι Fischer Black και Myron Scholes, το 1973, διατύπωσαν έναν τύπο συνεχούς μορφής για τον υπολογισμό της τιμής των ευρωπαϊκών δικαιωμάτων προαίρεσης αγοράς μετοχικού κεφαλαίου. Σύμφωνα με την εξίσωση Black-Scholes η τιμή ενός δικαιώματος προαίρεσης δίνεται από τη σχέση:

$$C(S, t) = SN(d_1) - Ee^{-rt}N(d_2) \quad (2-2)$$

όπου

$$d_1 = \frac{\left[ \ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t \right]}{\sqrt{\sigma^2 t}} \quad (2-3)$$

$$d_2 = d_1 - \sqrt{\sigma^2 t} \quad (2-4)$$

$C(S, t)$  : Αξία του δικαιώματος.

$S$  : Η τιμή της μετοχής

$E$  : Η τιμή εξάσκησης του δικαιώματος.

$t$  : Το διάστημα που απομένει μέχρι την λήξη του δικαιώματος.

$r$  : Το χωρίς κίνδυνο επιτόκιο.

$\sigma^2$  : Η διασπορά της τιμής της μετοχής.

$N()$  : Η αθροιστική κανονική κατανομή πιθανοτήτων (cumulative normal probability)

Το μοντέλο Black-Scholes στηρίζεται σε ορισμένες βασικές παραδοχές, τις οποίες πρέπει κανείς να γνωρίζει πριν το χρησιμοποιήσει. Αυτές θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο, όπου θα χρησιμοποιηθεί στην πράξη το μοντέλο αυτό.

Από τη στιγμή που δημοσιεύθηκε, μέχρι και σήμερα, το μοντέλο των Black-Scholes αποτελεί τον πλέον δίκαιο και διαδεδομένο τρόπο αξιολόγησης των ευρωπαϊκών δικαιωμάτων αγοράς. Με αυτή την εξίσωση ένας επενδυτής μπορεί να εξετάσει αν ένα δικαίωμα προαίρεσης είναι υποτιμημένο, οπότε η αγορά του παρουσιάζει ενδιαφέρον, η

υπερτιμημένο, οπότε του είναι αδιάφορο. Ωστόσο, κάθε επενδυτής ανάλογα με τις πληροφορίες που έχει για την αγορά, δεν χρησιμοποιεί τις ίδιες παραμέτρους στην εξίσωση. Αυτό αφορά κυρίως την εκτίμηση της διασποράς της μετοχής, ενός μεγέθους που υπολογίζεται δύσκολα και όχι πάντα με μεγάλη ακρίβεια. Τα προηγούμενα, σε συνδυασμό με την προοπτική του γρήγορου κέρδους, κάνουν ιδιαίτερα ελκυστική την αγορά των δικαιωμάτων προαίρεσης. Έχοντας αντιληφθεί την ουσία του προβλήματος, οι Fischer Black και Myron Scholes, προχώρησαν στη διαπίστωση πως η αξιολόγηση δικαιωμάτων προαίρεσης (option pricing) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιπτώσεις οικονομικών ευκαιριών. Συγκεκριμένα, παρατήρησαν ότι οι επιλογές που έχουν οι διάφορες εταιρείες, κατά τη διάρκεια επενδυτικών έργων, παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με τα χρηματιστηριακά δικαιώματα αγοράς. Οι επιλογές αυτές αποτελούν τα πραγματικά δικαιώματα προαίρεσης (real options).

## Κεφάλαιο 3 Προτεινόμενο μοντέλο

### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το προτεινόμενο μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα θα προτείνουμε έναν τρόπο με τον οποίο το δίκτυο θα κοστολογεί τους διαθέσιμους πόρους (στην περίπτωση μας το εύρος ζώνης) και θα δίνει την δυνατότητα στους κινητούς σταθμούς που το επιθυμούν να μπορούν να προδεσμεύσουν τους πόρους, πληρώνοντας ένα αντίτιμο, το οποίο καθορίζεται με τη βοήθεια του μοντέλου Black-Scholes. Κάθε κινητός σταθμός έχει μία συνάρτηση χρησιμότητας, η σύγκριση της οποίας με την τιμή που προσφέρει το δίκτυο για την προδέσμευση πόρων καθορίζει αν τελικά ο κινητός σταθμός θα προχωρήσει σε προδέσμευση ή όχι.

Όπως δηλαδή τα δικαιώματα προαίρεσης προσφέρουν ένα είδος ασφαλιστικής δικλείδας στις επενδύσεις, έτσι και στην περίπτωση μας η προδέσμευση των πόρων μέσω του προτεινόμενου μοντέλου παρέχει σιγουριά στον χρήστη ότι η κλήση θα μείνει ενεργή κατά τη διάρκεια μιας μεταπομπής.

Προτού όμως αναφερθούμε διεξοδικά στο προτεινόμενο μοντέλο θα αναφερθούν ορισμένα πράγματα γενικά για την ποιότητα υπηρεσίας σε ασύρματα δίκτυα.

### 3.2 Η ποιότητα υπηρεσίας και οι δικτυακοί πόροι στα ασύρματα δίκτυα

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες ασυρμάτων δικτύων: Τα ασύρματα δίκτυα τα οποία έχουν μία καλά καθορισμένη υποδομή, όπως είναι τα κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών και τα δίκτυα ad-hoc[8]. Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει διαρκώς αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον για τα δίκτυα ad-hoc, στην παρούσα εργασία εστιάζουμε στα παραδοσιακά κυψελωτά δίκτυα.

Η μεγάλη ανάπτυξη νέων ασύρματων τεχνολογιών και προτύπων, προήλθε από την ακόρεστη δίψα των χρηστών για προηγμένες υπηρεσίες δεδομένων. Στα δίκτυα νέας γενιάς (NGN<sup>3</sup>) η φωνή δεν αποτελεί πλέον την βασική υπηρεσία όπως στα δίκτυα πρώτης και δεύτερης γενιάς, ενώ ο μικρός ρυθμός δεδομένων που προσφέρεται από το GSM, δεν είναι αρκετός για υπηρεσίες όπως η περιήγηση στο διαδίκτυο (web browsing), ή την

---

<sup>3</sup> Next Generation Networks

τηλεδιάσκεψη (video conferencing). Για τους πάροχους υπηρεσιών η βέλτιστη παροχή υπηρεσιών είναι πρωταρχικής σημασίας καταρχήν για την βιωσιμότητά τους και στη συνέχεια για την ανάπτυξή τους. Ο όρος ο οποίος χρησιμοποιείται πιο συχνά για την επιτυχημένη παροχή υπηρεσιών είναι η ποιότητα υπηρεσίας (QoS<sup>4</sup>). Ο όρος ποιότητα υπηρεσίας είναι πολύπλευρος και εξαρτάται από την υπηρεσία και το υποκείμενο σύστημα. Για παράδειγμα στα κυψελωτά δίκτυα, το QoS σχετίζεται με την πιθανότητα φραγής μιας μεταπομπής, την πιθανότητα απόρριψης μιας κλήσης και την ασφάλεια, ενώ στα δίκτυα IP, το QoS αντιστοιχεί στην αξιόπιστη παράδοση πακέτων ή στην εξασφάλιση της μέγιστης χρονικής καθυστέρησης των πακέτων από ένα σημείο του δικτύου στο άλλο.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους το δίκτυο μπορεί να παρέχει εγγυήσεις όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες, όπως η ανάπτυξη νέων διακομιστών εφαρμογών (application servers), μηχανισμοί προγραμματισμού (scheduling mechanism) και πρωτοκόλλων σηματοδότησης, αλλά ο πλέον σημαντικός είναι η αποτελεσματική διαχείριση πόρων.

Ο προσδιορισμός των δικτυακών πόρων του υπό εξέταση συστήματος είναι πρωταρχικής σημασίας, προτού ξεκινήσει η συζήτηση για την αποτελεσματική διαχείρισή τους. Οι δικτυακοί πόροι στα ασύρματα δίκτυα είναι μέχρι ενός βαθμού ίδιοι με αυτούς των σταθερών υποδομών. Στα ασύρματα δίκτυα υπάρχει όμως ένας αριθμός επιπλέον πόρων οι οποίοι αναφέρονται στη συνέχεια. Η απόδοση του δικτύου μπορεί να βελτιωθεί με προσεκτικό χειρισμό αυτών των πόρων. Οι πόροι κατηγοριοποιούνται σε αυτούς που αναφέρονται σε φυσικές οντότητες μέσα στο δίκτυο, οι οποίοι αναφέρονται και ως βασικοί πόροι και σε άλλους πιο αφηρημένους οι οποίοι επηρεάζουν έμμεσα την απόδοση του δικτύου, τους οποίους ονομάζουμε έμμεσους [8].

Οι βασικοί πόροι αντιστοιχούν στις οντότητες οι οποίες είναι μετρήσιμες σε ένα ασύρματο δίκτυο. Η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων αυτών έχει σημαντική επίδραση στη συμπεριφορά του δικτύου και στην ποιότητα υπηρεσίας των χρηστών. Στους βασικούς πόρους συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων το εύρος ζώνης, η ισχύς εκπομπής των τερματικών συσκευών (σταθμοί βάσης και κινητοί σταθμοί), η αποθηκευτική ικανότητα και η επεξεργαστική ισχύς των στοιχείων του δικτύου (π.χ. δρομολογητών) κ.α.

Οι έμμεσοι πόροι είναι εκείνοι οι οποίοι με μία πρώτη ματιά δεν φαίνεται να επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου. Παρόλα αυτά στην πράξη προκύπτει ότι η διαχείρισή τους μπορεί να

---

<sup>4</sup> Quality of Service

αποδειχθεί ευεργετική. Σε αυτούς λοιπόν συγκαταλέγονται η τεχνική caching, τα πρωτόκολλα και η σηματοδότηση.

### 3.3 Σκοπός διαχείρισης πόρων σε ένα ασύρματο δίκτυο

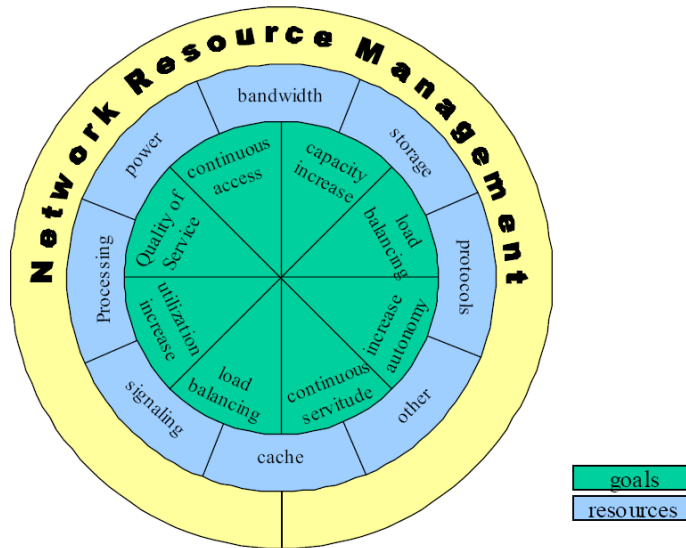
Έχοντας αναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο στους διαθέσιμους πόρους σε ένα ασύρματο δίκτυο, μπορούμε να προχωρήσουμε και συζητήσουμε για τον σκοπό της διαχείρισης πόρων και το πώς αυτή επηρεάζει τη λειτουργία του δικτύου. Όπως προαναφέρθηκε, ο κύριος σκοπός της διαχείρισης πόρων είναι η βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Υπάρχουν όμως και άλλοι στόχοι, πίσω από τον πρωτογενή. Οι στόχοι αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες. Για να καταστεί αυτό πιο σαφές, πρέπει να λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι υπάρχουν δύο μέρη τα οποία εμπλέκονται στη λειτουργία ενός δικτύου: ο χρήστης των υπηρεσιών και ο πάροχος των υπηρεσιών, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία του δικτύου. Το τι περιμένει ο καθένας από τη λειτουργία του δικτύου είναι συνήθως διαφορετικό και συχνό αντικρουόμενο. Π.χ. ο χρήστης μπορεί να περιμένει καλή ποιότητα υπηρεσίας, μικρές καθυστερήσεις και υψηλή διαθεσιμότητα. Αντίθετα τον πάροχο τον απασχολούν περισσότερο άλλα ζητήματα όπως η χωρητικότητα του δικτύου ή η δίκαιη κατανομή των πόρων του δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα οι παρακάτω παράγοντες σχετίζονται άμεσα με τους στόχους ενός χρήστη ενός δικτύου ασύρματων επικοινωνιών:

1. Η δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο όποτε το επιθυμεί. Δηλαδή όσον το δυνατόν μικρότερη πιθανότητα απόρριψης μιας κλήσης (blocking probability).
2. Η πιθανότητα απόρριψης μιας ενεργής κλήσης (dropping probability) να είναι πολύ μικρή και ταυτόχρονα το χρονικό διάστημα των διακοπών στην σύνοδο να ελαχιστοποιηθεί.
3. Η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας να είναι σταθερή, δηλαδή να μην μεταβάλλεται με την κίνηση του χρήστη στο δίκτυο.
4. Υψηλή αυτονομία των τερματικών και λόγοι υγείας, συνεπάγονται ότι θα πρέπει να αποφεύγεται η εκπομπή με μέγιστη ισχύ από τους κινητούς σταθμούς για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Αντίθετα από τη μεριά του ο πάροχος του δικτύου εκτός από την εκπλήρωση των παραπάνω ώστε να είναι ευχαριστημένοι οι πελάτες του επιζητεί:

1. Την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου
2. Υψηλή αξιοποίηση των πόρων του δικτύου, ώστε να αποσβέσει πιο γρήγορα την αρχική του επένδυση.



Σχήμα 6: Διαχείριση δικτυακών πόρων: σκοποί και πόροι



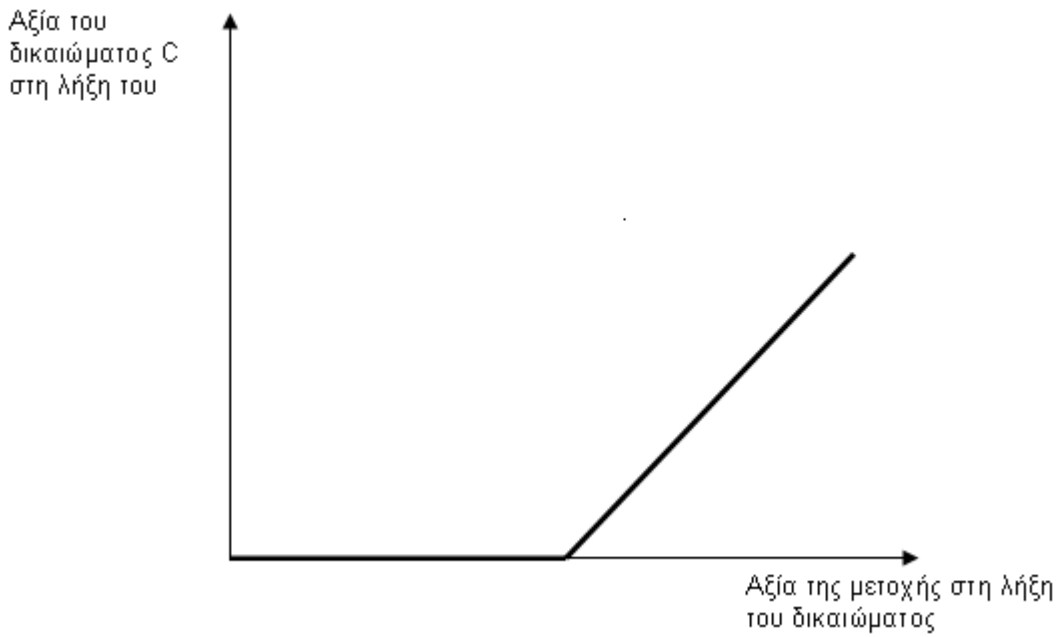
### 3.4 Περιγραφή μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή το μοντέλο βασίζεται άμεσα στα Αμερικανικά δικαιώματα προαίρεσης (American options). Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο τη διαφορά των Ευρωπαϊκών δικαιωμάτων προαίρεσης με τα Αμερικάνικα. Στα Ευρωπαϊκά λοιπόν ο αγοραστής μπορεί να ασκήσει το δικαίωμά του μόνο μία συγκεκριμένη ημερομηνία και πιο συγκεκριμένα την χρονική στιγμή της λήξεως του δικαιώματος. Αντίθετα στα Αμερικάνικα μπορεί να ασκήσει το δικαίωμά του οποιαδήποτε στιγμή, μέχρι την λήξη του δικαιώματος. Το γεγονός αυτό βολεύει στην περίπτωση της προδέσμευσης πόρων σε ένα δίκτυο, διότι δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή η χρονική στιγμή που θα γίνει η μεταπομπή. Συνεπώς, ανά πάσα χρονική στιγμή πρέπει να είμαστε σε θέση να εξασκήσουμε το δικαίωμά μας.

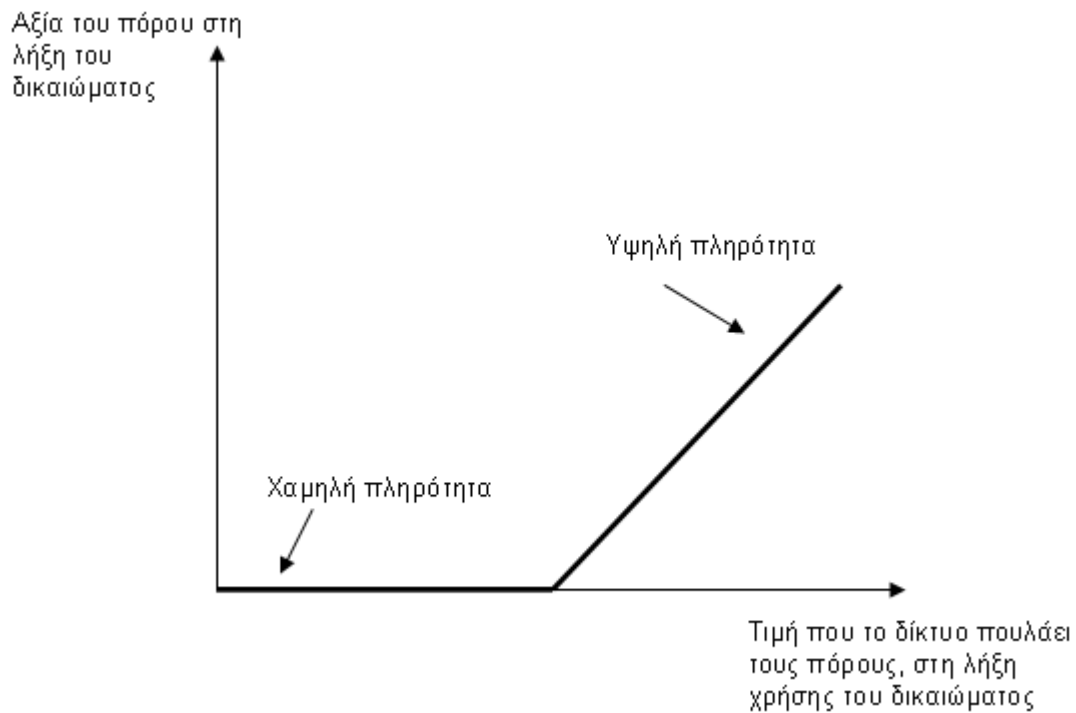
Στο σχήμα 7 που ακολουθεί φαίνεται η αναλογία του προτεινόμενου μοντέλου με την περίπτωση του δικαιώματος αγοράς (call option). Πιο συγκεκριμένα στο σχήμα 7a παρουσιάζεται η μεταβολή της αξίας του option συναρτήσει της αξίας της μετοχής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, πάνω από μία ορισμένη τιμή της μετοχής, η αξία του option αυξάνει γραμμικά με την αξία της μετοχής.

Κάτι αντίστοιχο παρουσιάζεται και στο σχήμα 7b. Αυτή τη φορά αντί για μετοχές έχουμε μονάδες εύρους ζώνης, που είναι το προς διαπραγμάτευση αγαθό. Υπάρχει επίσης το δικαίωμα για την αγορά μονάδων εύρους ζώνης προς μία συγκεκριμένη τιμή που προφανώς αντιστοιχεί στο δικαίωμα αγοράς μετοχών στο σχήμα 7a. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η αξία του πόρου τη στιγμή που λήγει το δικαίωμα, σε συνάρτηση με την τιμή που το δίκτυο πουλάει τον πόρο εκείνη τη στιγμή. Οι δύο παράμετροι είναι ανάλογες. Π.χ. αν το δικαίωμα σου δίνει τη δυνατότητα να αγοράσεις τον πόρο με τιμή 10 €, ενώ το δίκτυο εκείνη τη στιγμή τον πουλάει 12 €, το δικαίωμα θα αξίζει 2 €. Όμοια αν το δίκτυο πουλάει τον πόρο 14 €, το δικαίωμα θα αξίζει 4 € κοκ. Δηλαδή οι δύο παράμετροι συνδέονται με μία απλή σχέση αναλογίας.

Τώρα, στην περίπτωση που το δίκτυο πουλάει τον πόρο 10 € (ή λιγότερο) τότε η αξία του δικαιώματος είναι 0.



Σχήμα 7a: Αξία ενός δικαιώματος αγοράς (call option) τη στιγμή της λήξης



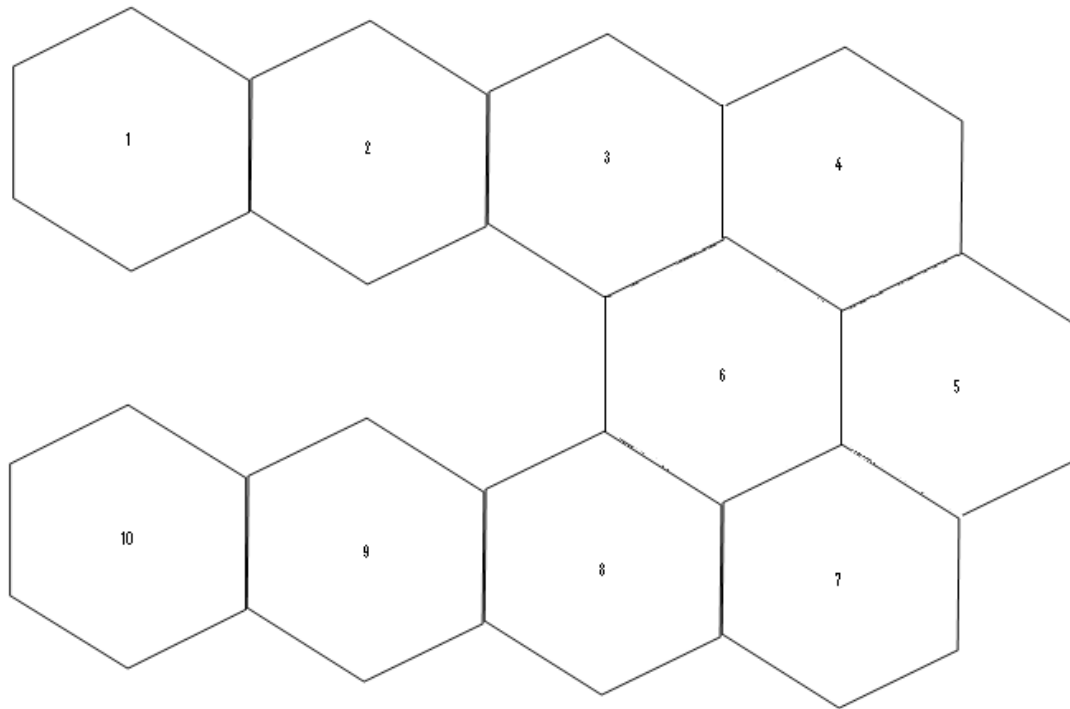
Σχήμα 7b: Αξία πόρου δικτύου<sup>5</sup> κατά τη λήξη χρήσης του δικαιώματος

<sup>5</sup> Αντιστοιχεί σε μία μονάδα εύρους ζώνης

Η πληρότητα δεν εμφανίζεται άμεσα στο διάγραμμα αυτό, αλλά έμμεσα. Δηλαδή σχετίζεται μόνο με την τιμή που το δίκτυο πουλάει τον πόρο την στιγμή εκείνη. Προφανώς όταν η πληρότητα θα είναι χαμηλή, τότε και η τιμή του πόρου θα είναι χαμηλή, άρα μάλλον το δικαίωμα θα είναι άχρηστο (έχοντας κάνει την υπόθεση ότι η κυψέλη άδειασε με το πέρασμα του χρόνου, δηλαδή από τη στιγμή που εκδόθηκε το δικαίωμα). Αντίστροφα όταν η πληρότητα είναι υψηλή τότε, η τιμή του πόρου θα είναι υψηλή, οπότε και η τιμή του δικαιώματος θα είναι υψηλή (έχοντας υποθέσει ότι η πληρότητα αυξήθηκε από τη στιγμή που εκδόθηκε το δικαίωμα). Συγκρίνοντας το σχήμα 7b με το σχήμα 7a παρατηρούμε ότι όταν η τιμή που το δίκτυο διαπραγματεύεται τους πόρους του είναι υψηλή, τότε και η αξία του αντίστοιχου δικαιώματος είναι υψηλή. Υψηλή τιμή των πόρων σημαίνει έλλειψη διαθέσιμου εύρους ζώνης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου (π.χ. στις ώρες αιχμής), ενώ χαμηλή τιμή σημαίνει ότι το δίκτυο δεν έχει ιδιαίτερη κίνηση. Επίσης αν μέχρι τη στιγμή της λήξης του δικαιώματος δεν έχει γίνει η μεταπομπή, η αξία του δικαιώματος θα είναι μηδενική, δεδομένου ότι είναι άχρηστη στον ιδιοκτήτη η προδέσμευση πόρων σε μία γειτονική κυψέλη αν δεν γίνει μεταπομπή σε αυτήν.

Συνοψίζοντας η γενική ιδέα είναι ότι υπάρχει η αντιστοιχία της μετοχής με έναν πόρο του δικτύου ο οποίος με τη σειρά του αντιστοιχεί σε μία μονάδα εύρους ζώνης. Σαν επακόλουθο, ο αριθμός  $n$  μετοχών θα αντιστοιχεί σε αριθμό  $n$  μονάδων εύρους ζώνης

Προτού προχωρήσουμε στην αναλυτική περιγραφή του μοντέλου, πρέπει να αναφέρουμε το περιβάλλον στο οποίο θέλουμε να μελετήσουμε το μοντέλο μας. Το περιβάλλον δεν επηρεάζει το προτεινόμενο μοντέλο, αλλά μόνο τα αποτελέσματα της εξομοίωσης. Θεωρούμε καταρχήν λοιπόν την δομή κυψελών που φαίνονται στο σχήμα 8 η οποία χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει το προτεινόμενο μοντέλο. Είναι αναμενόμενο ότι η κίνηση θα συγκεντρώνεται στις κυψέλες 5 και 6, γεγονός το οποίο θα επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα.



Σχήμα 8: Α' Περιβάλλον εξομοίωσης

Για την μεταφορά της παραπάνω δομής στο προγραμματιστικό περιβάλλον<sup>6</sup> θα χρησιμοποιηθεί ένας πίνακας μετάβασης. Κάθε στοιχείο  $p_{ij}$  του πίνακα μετάβασης αντιπροσωπεύει την πιθανότητα μετάβασης από την κυψέλη  $i$  στην κυψέλη  $j$ . Ένας ενδεικτικός πίνακας μετάβασης φαίνεται στη συνέχεια. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιήθηκε κατά την εξομοίωση.

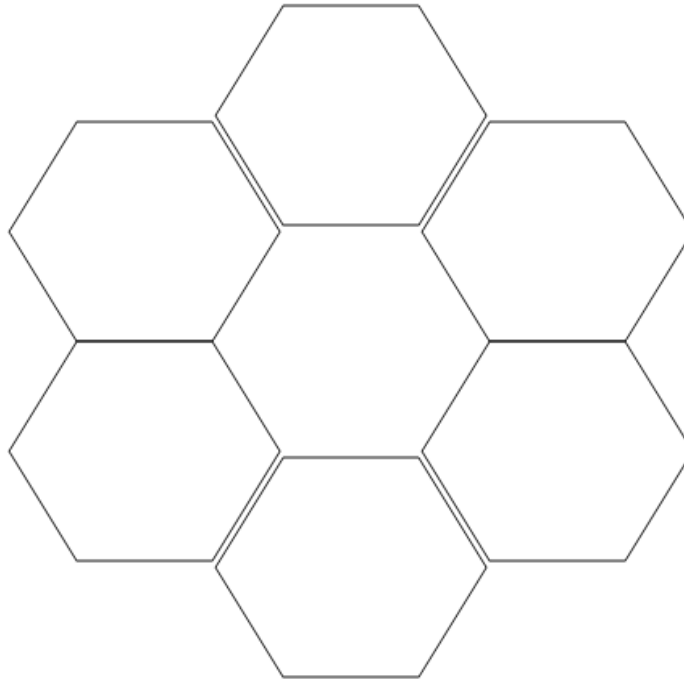
$$Transition\_table = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2/3 & 0.8 & 0.2/3 & 0 & 0.2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2/3 & 0.8 & 0.2/3 & 0.2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2/3 & 0.8 & 0.2/3 & 0.2/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2/5 & 0.2/5 & 0.2/5 & 0.8 & 0.2/5 & 0.2/5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2/3 & 0.2/3 & 0.8 & 0.2/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2/3 & 0.2/3 & 0.8 & 0.2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.8 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}$$

Μελετήθηκε επίσης και το περιβάλλον που φαίνεται στο σχήμα 9<sup>7</sup>. Σε αυτή την περίπτωση, υποθέτουμε ένα «κυψελοειδές» σύστημα το οποίο αποτελείται από πολλά τμήματα του

<sup>6</sup> Το οποίο θα περιγραφεί σε μεταγενέστερο κεφάλαιο

<sup>7</sup> Στην πράξη όπως θα δούμε από τον πίνακα μετάβασης έχουμε 9 γειτονικές κυψέλες αντί για 6 που φαίνονται στο σχήμα

σχήματος 9. Ο σκοπός είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά του μοντέλου στην περίπτωση που η κίνηση είναι ισοκατανεμημένη σε όλες τις κυψέλες, δεν παρατηρείται δηλαδή συνωστισμός του σχήματος 8.



Σχήμα 9: Β' Περιβάλλον εξομοίωσης

Ο αντίστοιχος πίνακας μετάβασης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο εξής:

$$Transition \quad _{table} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.2/3 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.2/3 & 0.9 & 0.1/9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 & 0.1/9 \\ 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.1/9 & 0.9 \end{bmatrix}$$

Έχοντας ορίσει τον πίνακα μετάβασης, έχει λυθεί το θέμα της κινητικότητας των κινητών σταθμών. Κάθε κίνησή τους στο χρόνο ακολουθεί την στατιστική κατανομή που ορίζει ο πίνακας μετάβασης.

Επίσης στο σενάριο θεωρούμε ότι ο χρόνος είναι διακριτός (slotted) και όχι συνεχής.

Πριν συνεχίσουμε θα ήταν χρήσιμο στο σημείο αυτό να προβούμε στους ακόλουθους ορισμούς, οι οποίοι θα μας διευκολύνουν στη συνέχεια.

### Ορισμοί

**K** Κάθε σταθμός βάσης διαθέτει  $K$  μονάδες εύρους ζώνης. Αυτό είναι το συνολικό εύρος ζώνης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πραγματικές κλήσεις όσο και για την προδέσμευση πόρων.

Πιο συγκεκριμένα  $K = \text{κατειλημμένο BW} + \text{ελεύθερο BW}$ ,

όπου  $\text{κατειλημμένο BW} = \text{BW ενεργών κλήσεων} + \text{προδεδεσμευμένο BW}$

**x** ο αριθμός μονάδων εύρους ζώνης που είναι κατειλημμένες ανά πάσα στιγμή, είτε πρόκειται για μονάδες εύρους ζώνης που εξυπηρετούν ενεργές κλήσεις, είτε πρόκειται για μονάδες προδεδεσμευμένου εύρους ζώνης.

**t** η χρονική στιγμή λήξης ενός δικαιώματος προαίρεσης, αν υποθέσουμε ότι αυτό εκδίδεται τη χρονική στιγμή 0.

**S** η αξία μίας μονάδας εύρους ζώνης, όπως την κοστολογεί το δίκτυο. Η τιμή αυτή όπως θα δούμε συνήθως διαφέρει από σταθμό βάσης σε σταθμό βάσης.

**b** η μονάδα εύρους ζώνης, η οποία στην περίπτωση μας είναι 64 kbps

**B** το συνολικό εύρος ζώνης που θέλει να προδεδεσμεύσει ο χρήστης

**v** ο αριθμός μονάδων εύρους ζώνης που ζητάει ο χρήστης ( $B = vb$ ).<sup>8</sup>

**T** χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο σταθμός βάσης δεσμεύει τους πόρους του. Ουσιαστικά είναι το χρονικό διάστημα από την έναρξη μέχρι τη λήξη του δικαιώματος.

**E** η τιμή με την οποία μπορεί ο χρήστης να αγοράσει τον πόρο, εξασκώντας το δικαίωμα

**C** κόστος απόκτησης του δικαιώματος από τον χρήστη

Το προτεινόμενο μοντέλο αποτελείται από τα εξής βήματα:

---

<sup>8</sup> Η εξομοίωση όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο έχει στηθεί για την περίπτωση που  $v=1$ . Δηλαδή εξετάζουμε ένα σενάριο δικτύου κινητής τηλεφωνίας χωρίς υπηρεσίες δεδομένων. Άλλωστε είναι αναμενόμενο οι φωνητικές κλήσεις στην πλειοψηφία τους να είναι πιο σημαντικές από τις κλήσεις δεδομένων, όσον αφορά τις μεταπομπές.

- 1) Το πρώτο βήμα είναι η παραγωγή των κλήσεων. Θεωρούμε μία διαδικασία Poisson η οποία αναπαριστά τις αφίξεις των κλήσεων. Υπενθυμίζουμε ότι:

$$P[N(t + \tau) - N(t) = k] = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}, k = 0, 1, \dots, \quad (3-1)$$

όπου  $\lambda$  ο ρυθμός άφιξης κλήσεων σε όλο το σύστημα που μελετάμε, δηλαδή διαμοιράζεται στις  $N$  κυψέλες. Συγκεκριμένα:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N \quad (3-2)$$

- 2) Ο χρήστης υπολογίζει ποια είναι η επόμενη κυψέλη που θα επισκεφθεί, την οποία την γνωρίζει τη χρονική στιγμή  $t_0$ . Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων πρόβλεψης διαδρομής (Path Prediction Algorithms<sup>9</sup>). Οι αλγόριθμοι αυτοί ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Εδώ μας ενδιαφέρει το αποτέλεσμα του αλγορίθμου, ποια δηλαδή θα είναι η επόμενη κυψέλη με μία δεδομένη πιθανότητα και όχι πώς φτάσαμε σε αυτό το αποτέλεσμα. Να σημειωθεί ότι η πιθανότητα επιτυχούς πρόβλεψης της επόμενης κυψέλης  $p_{PPA}$  επηρεάζει δραστικά τα αποτελέσματα.

Περιληπτικά να πούμε ότι η πρόβλεψη διαδρομής χρησιμοποιείται στα κινητά και στα ασύρματα δίκτυα για την υλοποίηση σχημάτων αποτελεσματικότερης διαχείρισης δικτυακών πόρων. Επίσης βοηθάει στην παροχή υψηλότερης ποιότητας υπηρεσιών προς τους κινητούς χρήστες. Τέτοιοι μηχανισμοί έχουν νόημα σε υποδομές ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Στην [6] παρουσιάζεται ένας τέτοιος αλγόριθμος. Σε αυτόν χρησιμοποιούνται προηγούμενες κινήσεις του κινητού σταθμού, ώστε να μελετηθεί αν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ τους, αλλά και κινήσεις όλων των κινητών σταθμών. Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης επιβεβαιώνουν μια αυξημένη ακρίβεια πρόβλεψης.

- 3) Ο σταθμός βάσης υπολογίζει την χαμηλότερη αποδεκτή τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης,  $Cost_{BS}$  που ένας κινητός σταθμός πρέπει να πληρώσει, για την προδέσμευση των πόρων. Το κόστος είναι ανάλογο με το φορτίο της κυψέλης και του ρυθμού ζήτησης εύρους ζώνης και υπολογίζεται με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

---

<sup>9</sup> Συντ. PPA

$$S = Cost_{BS} = \left(1 - \frac{C_{Free}}{C_{Total}}\right) e^{\left(1 - \frac{C_{Free}}{C_{Total}}\right) \frac{\lambda}{10}} \quad (3-3)$$

όπου:

$C_{Free}$  οι ελεύθεροι πόροι

$C_{Total}$  οι συνολικοί πόροι

$$\lambda = \frac{dC_{Total}}{dt} \quad (3-4) \quad \text{ο ρυθμός μεταβολής της πληρότητας της κυψέλης.}$$

Στην πράξη χρησιμοποιείται μία μέση τιμή του  $\lambda$ , και όχι η στιγμιαία τιμή που δίνεται στην σχέση (3-4), για καλύτερα αποτελέσματα.

- 4) Το δίκτυο έχοντας υπολογίσει την τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης, υπολογίζει την τιμή του δικαιώματος αγοράς της μονάδας εύρους ζώνης σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή<sup>10</sup>  $t+\tau$ , με τη βοήθεια του τύπου Black-Scholes:

$$C = SN(d_1) - Ee^{-r\tau} N(d_2) \quad (3-5)$$

όπου

$$d_1 = \frac{\left[ \ln\left(\frac{S}{E}\right) \right] + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) \tau}{\sqrt{\sigma^2 \tau}} \quad (3-6)$$

$$d_2 = d_1 - \sqrt{\sigma^2 \tau} \quad (3.7)$$

Η αξία λοιπόν του δικαιώματος προαίρεσης τη χρονική στιγμή  $\tau$  είναι  $C$ <sup>11</sup> και εξαρτάται μόνο από τις ακόλουθες παραμέτρους:

$S$  η αξία μίας μονάδας εύρους ζώνης τη στιγμή  $t$

$E$  η τιμή εξάσκησης του δικαιώματος, είναι ουσιαστικά η τιμή που το δίκτυο θα διαπραγματεύεται τους πόρους του τη στιγμή της λήξης του δικαιώματος.

$r$  το [επιτόκιο χωρίς κίνδυνο](#) (risk free rate of return) ανά μονάδα χρόνου

$\sigma^2$  διακύμανση (ανά μονάδα χρόνου<sup>12</sup>) της τιμής μονάδας εύρους ζώνης

<sup>10</sup> Υποθέτουμε ότι βρισκόμαστε στη χρονική στιγμή  $t$

<sup>11</sup> Σημειωτέον η τιμή αυτή είναι στιγμιαία και μεταβάλλεται κάθε χρονική στιγμή.

<sup>12</sup> Στο πραγματικό μοντέλο είναι η διακύμανση ανά έτος



T χρονική περίοδος μέχρι τη λήξη του δικαιώματος προαίρεσης

N(d) η πιθανότητα μια κανονική τυχαία μεταβλητή να είναι μικρότερη ή ίση με d

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε το εξής σημαντικό γεγονός. Το μοντέλο Black-Scholes ισχύει για τα Ευρωπαϊκά Options. Στην εργασία αυτή όμως γίνεται λόγος για τα Αμερικανικά δικαιώματα προαίρεσης η αποτίμηση των οποίων είναι αδύνατη με κλειστή επίλυση των σχετικών εξισώσεων. Μόνο προσεγγιστικά αποτελέσματα είναι εφικτά και αυτά με αριθμητικές μεθόδους.

Υπάρχει όμως η εξειδικευμένη περίπτωση των Αμερικανικών δικαιωμάτων προαίρεσης των οποίων οι αντίστοιχες μετοχές (underlying stock) δεν δίνουν μέρισμα για τα οποία ισχύει η σχέση Black-Scholes [2],[4],[5]. Στην περίπτωση μας το μέρισμα (dividend) δεν έχει νόημα, οπότε θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο Black-Scholes.

Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να κοστολογήσουμε Αμερικανικά δικαιώματα που έχουν εκδοθεί για μετοχές που δεν δίνουν μέρισμα λόγω μίας πολύ σημαντικής ιδιότητας: Δεν είναι ποτέ χρήσιμο να εξασκείται ένα δικαίωμα πριν την λήξη του. Υπάρχουν δύο λόγοι για το γεγονός αυτό:

- a) Καταρχήν η κατοχή του δικαιώματος, αντί αυτό να εξασκηθεί αποτελεί ασφαλιστική δικλείδα. Για παράδειγμα μία δυσμενής μεταβολή της τιμής της μετοχής (πτώση) θα είχε ως αποτέλεσμα απώλειες για τον ιδιοκτήτη, αλλά η κατοχή του δικαιώματος εξασφαλίζει τον ιδιοκτήτη από αυτές τις μεταβολές.
- b) Δεύτερον υπάρχει η έννοια της χρονικής αξίας του χρήματος. Πληρώνοντας το τίμημα E συντομότερα αντί για αργότερα, σημαίνει ότι ο κάτοχος του δικαιώματος χάνει στην χρονική αξία των χρημάτων που μπορεί να επιτευχθεί στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα του δικαιώματος μέχρι τη λήξη του.

Η ιδιότητα λοιπόν της «μη-εξάσκησης» (non-exercise) και η μη καταβολή μερισμάτων σημαίνει ότι το Αμερικανικό δικαίωμα μπορεί να αποτιμηθεί από τον κλασικό τύπο του Black-Scholes.

Η μόνη παραφωνία είναι ότι στην περίπτωση των Αμερικανικών δικαιωμάτων, για τους λόγους (a), (b) που προαναφέρθηκαν δεν συμφέρει η εξάσκηση του δικαιώματος πριν την ημερομηνία λήξης κάτι που δεν ισχύει στο σενάριο μας αλλά για διαφορετικό λόγο. Να

υπενθυμίσουμε ότι στην περίπτωση μας είναι δυνατόν να συμφέρει η εξάσκηση του δικαιώματος πριν τη λήξη, για τον απλούστατο λόγο ότι η μεταπομπή μπορεί να συμβεί πριν τη λήξη.

Επίσης ίσως προκύπτει το ερώτημα με ποιο τρόπο το δίκτυο θα καθορίζει την τιμή εξάσκησης του δικαιώματος; Θα μπορούσε κάλλιστα να δίνεται από μία σχέση όπως η ακόλουθη:

$$E = E(\text{πιρ όπια, ρφι ός νέων κλήσων, ισρικ ά σαρξ ία}) + \text{σθ. κό σαρξ} \quad (3-8)$$

Για παράδειγμα ως ιστορικά στοιχεία μπορεί να θεωρηθούν η γνώση του δικτύου για τις ώρες αιχμής.

Στην εργασία αυτή θα θεωρήσουμε ότι  $E = S$ , για τον απλούστατο λόγο ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένος λόγος για τον οποίο πρέπει αναγκαστικά να θεωρήσουμε ότι  $E \neq S$ , καθώς και για το λόγο ότι απλοποιούνται οι υπολογισμοί. Η γενική ιδέα όμως παραμένει η ίδια και τα ποιοτικά συμπεράσματα δεν διαφέρουν.

Ταυτόχρονα με τον υπολογισμό της τιμής του δικαιώματος αγοράς της μονάδας εύρους ζώνης C, πρέπει να υπολογιστεί και η διάρκεια του δικαιώματος, δηλαδή το χρονικό διάστημα  $\tau$ , που μεσολαβεί μέχρι τη λήξη του δικαιώματος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αρχικά θα θεωρήσουμε σταθερούς χρόνους  $\tau$ . Μία εναλλακτική μέθοδος για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος λήξης δίνεται σε επόμενη παράγραφο.

5) Στη συνέχεια ο κινητός σταθμός κάνει αποτίμηση του πόρου. Υπολογίζει δηλαδή το όφελος που έχει από την συγκεκριμένη σύνοδο ή κλήση. Πιο συγκεκριμένα:

$$Benefit_{MT,i} = f \frac{d_i}{d_{max}} \quad (3-10)$$

όπου:

$f$  είναι μία τιμή που καθορίζεται από τις προτιμήσεις του χρήστη και αντιστοιχεί στην κρισιμότητα της εφαρμογής. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να προκύπτει από ένα προφίλ χρήστη (user profile)

$d_i$  η διάρκεια της συνόδου ή της κλήσης

$d_{max}$  η μεγαλύτερη διάρκεια συνόδου που έχει καταγράψει ο κινητός σταθμός

### Συναρτήσεις χρησιμότητας

$$U_{MR} = Benefit_{MR,i} - p_i \quad (3-11)$$

$$U_{MR} = p_i - Cost_{BS} \quad (3-12)$$

όπου  $p_i$  είναι η τιμή του πόρου που διαπραγματεύεται, στην προκειμένη περίπτωση η μονάδα εύρους ζώνης και

$$p_i = C + E \quad (3-13)$$

6) Την παρούσα χρονική στιγμή<sup>13</sup> ο κινητός χρήστης έχει τις εξής δυνατότητες:

**A)** Να προχωρήσει σε προδέσμευση των απαιτούμενων πόρων, με την αγορά του αντίστοιχου option αξίας C, το οποίο λήγει τη στιγμή t+t. Αν ο χρήστης θελήσει να προχωρήσει στην εξάσκηση του δικαιώματος, πρέπει οποιαδήποτε στιγμή<sup>14</sup> να καταβάλλει στο δίκτυο την τιμή E (τιμή εξάσκησης του δικαιώματος), για την οποία στην περίπτωση μας όπως αναφέραμε και προηγουμένως είναι  $E = S$ .

Εάν ο χρήστης κρίνει ότι είναι προς το συμφέρον του να προδεσμεύσει τους πόρους, τότε οι πόροι του πιο πιθανού επόμενου σταθμού βάσης (που υπολογίζεται όπως ήδη έχει αναφερθεί με τον αλγόριθμο PPA), σημαίνονται ως «χρησιμοποιημένοι», σαν δηλαδή να χρησιμοποιούνται ήδη από άλλες συνόδους.

Φυσικά ο χρήστης ανάλογα με το εύρος ζώνης B που καταλαμβάνουν οι υπηρεσίες που εκείνη τη στιγμή χρησιμοποιεί, ζητάει από την υποψήφια κυψέλη την τιμή που απαιτείται ώστε να δεσμεύσει συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Λόγου χάριν μπορεί εκείνη τη στιγμή να έχει μία ενεργή φωνητική κλήση και μία κλήση δεδομένων.

**B)** Να μην προχωρήσει σε προδέσμευση, εφόσον κρίνει ότι δεν είναι συμφέρουσα.

Ο κινητός σταθμός (MS) συγκρίνει την αποτίμηση που έχει για τον πόρο με την προσφορά που έχει από το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα θα προχωρήσει στην προδέσμευση μόνο εφόσον:

<sup>13</sup> Να σημειωθεί ότι δεν έχουμε προχωρήσει ακόμη στην επόμενη χρονική στιγμή, δηλ. τα βήματα 1-7 θεωρούμε ότι συμβαίνουν «ακαριαία»

<sup>14</sup> Αναφερόμαστε φυσικά στη στιγμή που θα γίνει η μεταπομπή

$$Benefit_{MT,i} = f \frac{d_i}{d_{\max}} \hbar \frac{C + E}{p_{PPA}} \quad (3-14)$$

7) Η μεταπομπή συμβαίνει τη χρονική στιγμή  $t_h$ , η οποία μπορεί να είναι πριν ή μετά τη λήξη του δικαιώματος.

Επομένως διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

**A)** Αν  $t_h \leq \tau + t$ , τότε ο χρήστης θα προχωρήσει στην εξάσκηση του δικαιώματος και θα καταβάλλει το επιπλέον ποσό  $E = S(t_1)$ , στο δίκτυο.

**B)** Ενώ αν  $t_h > \tau + t$ , τότε ο χρήστης δεν θα προχωρήσει στην εξάσκηση του δικαιώματος και θα έχει χάσει το αρχικό ποσό  $C$ , που είχε ήδη καταβάλλει στο δίκτυο.

## Κεφάλαιο 4 Το πρόγραμμα

### 4.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση αποτελείται από μία κύρια συνάρτηση η οποία αποτελεί τον βασικό κορμό:

- `init.m`

και από τις ακόλουθες συναρτήσεις (functions):

- `Estimate_next_cell.m`
- `find_next_cell.m`
- `CalcActiveSessions.m`
- `NewVoiceCalls.m`
- `next_cell.m`

Σκοπός του κεφαλαίου είναι μία σύντομη περιγραφή του κώδικα της εξομοίωσης, καθώς και των παραμέτρων/μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν. Όλο το πρόγραμμα είναι διαθέσιμο στο παράρτημα.

### 4.2 Χρήσιμες παράμετροι

Όλες οι παράμετροι της εξομοίωσης ορίζονται στο αρχείο `init.m`. Στη συνέχεια παραθέτουμε ορισμένες από τις πιο σημαντικές παραμέτρους μαζί με μία σύντομη περιγραφή για την κάθε μία:

- *numberMS*      Αριθμός των κινητών σταθμών
- *numberBS*      Αριθμός των σταθμών βάσης
- *τ*      Ο αριθμός των επαναλήψεων που το «πείραμα» επαναλαμβάνεται. Κάθε επανάληψη αντιστοιχεί σε μία χρονική μονάδα, η οποία με τη σειρά της μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα δευτερόλεπτο.
- *lambda*      Η παράμετρος  $\lambda$ , που αντιστοιχεί στο ρυθμό άφιξης νέων κλήσεων που χρησιμοποιείται στην κατανομή Poisson

- $u$  Η αναμενόμενη διάρκεια κλήσεων  $\mu$ , που χρησιμοποιείται στην εκθετική κατανομή
- *ActiveVoiceCalls* Αρχικός αριθμός φωνητικών κλήσεων
- *totalBW\_BS* Συνολικό εύρος ζώνης που μπορεί να υποστηρίξει ένας σταθμός βάσης σε Kb/s.
- *voiceBW* Το εύρος ζώνης για μια φωνητική κλήση
- *pPPA* Η πιθανότητα σωστής πρόβλεψης της επόμενης κυψέλης σε μία μεταπομπή από τον αλγόριθμο PPA
- *texpire* Η χρονική διάρκεια μέχρι τη λήξη του δικαιώματος
- $r$  Το επιτόκιο που χρησιμοποιείται στον τύπο Black Scholes
- *Transition\_table* Ο πίνακας μετάβασης. Κάθε στοιχείο  $p_{ij}$  αντιπροσωπεύει την πιθανότητα μετάβασης από την κυψέλη  $i$  στην κυψέλη  $j$ .
- $f$  Η παράμετρος αυτή επηρεάζει άμεσα την χρησιμότητα που προκύπτει από την προδέσμευση για ένα συγκεκριμένο κινητό σταθμό. Ουσιαστικά ορίζουμε μια κατανομή για όλους τους χρήστες

#### 4.3 Η κύρια συνάρτηση *init.m*

Η συνάρτηση αυτή όπως προαναφέρθηκε αποτελεί τον κορμό της εξομοίωσης. Από την συνάρτηση αυτή καλούνται οι υπόλοιπες βοηθητικές συναρτήσεις.

Έχοντας λοιπόν ορίσει τις παραμέτρους της εξομοίωσης γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών, μερικές από τις οποίες παραθέτονται στη συνέχεια:

```
MSposition=zeros(numberMS,numberBS);
```

```
voice_calls=zeros(numberMS,1);
```

```
dur_calls=zeros(numberMS,1);
```

```
di=zeros(numberMS,1);
```

```
dmax=ones(numberMS,1);
```

```
BenefitMS=zeros(numberMS,1);
```

```
f=ones(numberMS,1)
```

```
reservMS=zeros(numberMS,1); % In this table each MS that has reserved bandwidth is declared
```

```
reservMSforBS=zeros(numberMS,1); % In this table the BS for which the MS that has reserved bandwidth is shown
```

Στη συνέχεια δημιουργείται ο πίνακας με τις θέσεις κάθε κινητού σταθμού (MSPosition), δηλαδή σε ποιον σταθμό βάσης ανήκει κάθε κινητός σταθμός.

```
position = randint(numberMS,1,[1,numberBS]);
```

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των πρώτων κλήσεων με την αντίστοιχη διάρκεια και η ανάθεση σε συγκεκριμένους κινητούς σταθμούς με τυχαίο τρόπο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της συνάρτησης *NewVoiceCalls()*, για την οποία θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο.

```
% Generate the first calls and assign the duration for each call
```

```
[voice_calls,dur_calls,di,dmax,availableBW_BS,block_vcalls_new,New_arrivals]=...
```

```
NewVoiceCalls(lambda,u,voice_calls,dur_calls,di,dmax,MSposition,availableBW_BS,voice BW,block_vcalls_new);
```

```
Total_vcalls=Total_vcalls+New_arrivals;
```

Στη συνέχεια ξεκινάει ο κύριος βρόχος (loop) του προγράμματος. Ο βρόχος λοιπόν αποτελείται από 11 βήματα, τα οποία επαναλαμβάνονται T φορές, τα οποία παραθέτονται παρακάτω:

- Βήμα 1 – Εύρεση της επόμενης θέσης κάθε κινητού σταθμού, είτε έχει ενεργή κλήση είτε όχι, με τη βοήθεια της συνάρτησης *find\_next\_cell()*

```
MSposition_old=MSposition;
```

```
[MSposition]=find_next_cell(Transition_table,MSposition);
```

- Βήμα 2 – Εκτίμηση της επόμενης κυψέλης με τη βοήθεια της συνάρτησης *Estimate\_next\_cell()* από τους κινητούς σταθμούς. Η λειτουργία αυτή γίνεται από τον αλγόριθμο PPA. Ουσιαστικά λοιπόν εξομοιώνουμε την λειτουργία του αλγορίθμου PPA ορίζοντας την πιθανότητα για τον αλγόριθμο να προβλέψει σωστά την επόμενη κυψέλη. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ο πίνακας *MSPosition* που προέκυψε από το βήμα 1, αλλά για το ποσοστό  $(1 - p_{PPA})$  των κινητών που θα κάνουν μεταπομπή στην επόμενη χρονική στιγμή, αλλάζει η προβλεπόμενη θέση.

*[Estimated\_MSposition]=Estimate\_next\_cell(MSposition,pPPA);*

- Βήμα 3 – Υπολογισμός των μέσων αφίξεων σε κάθε κυψέλη, για τις 4 τελευταίες χρονικές περιόδους. Οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του κόστους εύρους ζώνης S.

*tempCellarrivals=(totalBW\_BS-availableBW\_BS)/voiceBW;*

*g=mod(t,4)+1; % we use 4, because we want to average the call rate during the last 4 periods*

*table1(g,:)=tempCellarrivals;*

*average\_arrivals\_per\_cell=mean(table1);*

- Βήμα 4 – Υπολογισμός του κόστους εύρους ζώνης (S) για όλες τις κυψέλες

*y=1-availableBW\_BS./totalBW\_BS;*

*S=y.\*exp(y).\*exp(average\_arrivals\_per\_cell/10);*

*% Store the value of unit bandwidth in the S\_all table. This will be used for the calculation of the variance of S*

*S\_all(t-1,:)=S;*

- Βήμα 5 – Αποτίμηση οφέλους από τους κινητούς σταθμούς



$$\text{BenefitMS} = f \cdot (d_i / d_{\max});$$

- Βήμα 6 – Υπολογισμός της αξίας C του δικαιώματος, για κάθε σταθμό βάσης. E είναι η τιμή εξάσκησης του δικαιώματος και S είναι η παρούσα τιμή της μονάδας εύρους ζώνης. Στην περίπτωση μας θεωρούμε ότι  $E=S$ .

$$\text{varianceS} = \text{var}(S_{\text{all}});$$

$$d1 = ((r + \text{varianceS}/2) \cdot \text{texpire}) / (\text{sqrt}(\text{varianceS}) \cdot \text{texpire});$$

$$d2 = d1 - \text{sqrt}(\text{varianceS} \cdot \text{texpire});$$

$$C = S \cdot \text{normcdf}(d2, 0, 1) - S \cdot \exp(-r \cdot \text{texpire}) \cdot \text{normcdf}(d2, 0, 1);$$

- Βήμα 7 – Εξετάζονται ποιοι κινητοί σταθμοί έχουν τις προϋποθέσεις να προχωρήσουν σε προδέσμευση (δηλαδή οι κινητοί σταθμοί που έχουν ενεργή κλήση και δεν έχουν προχωρήσει σε προδέσμευση). Για τους συγκεκριμένους MS εξετάζεται επίσης αν υπάρχει διαθέσιμο bandwidth στον επόμενη σταθμό βάσης (Estimated\_BS) και αν προκύπτει όφελος από για τον κινητό σταθμό από την προδέσμευση. Αν τηρούνται όλα τα παραπάνω προχωράμε σε προδέσμευση εύρους ζώνης.

*% Check if there is available bandwidth in the specific BS*

*if(availableBW\_BS(tempnextBS) >= voiceBW)*

*% Check if is beneficial for the corresponding MS to make the reservation*

*if(BenefitMS(i) >= (S(tempnextBS) + C(tempnextBS)) / pPPA)*

*% Make the reservation for the next BS for duration "texpire"*

- Βήμα 8 – Γίνεται η μετάβαση σε επόμενη κυψέλη με τη βοήθεια της συνάρτησης *next\_cell()*. Η συνάρτηση επιστρέφει μεταξύ άλλων και τις νέες τιμές για το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά σταθμό βάσης και τον αριθμό των φωνητικών κλήσεων που χάθηκαν (blocked) κατά τη διάρκεια των μεταπομπών.

```
[voice_calls,dur_calls,reservMS,reservMSforBS,availableBW_BS,block_vcalls_handoverW  
ITHres,block_vcalls_handoverNOres,Nhandovers,Hvcalls_est_withreserv,Hvcalls_fail_est_  
reserv,Hvcalls_noreserv]=...
```

```
next_cell(MSposition,MSposition_old,Estimated_MSposition,voice_calls,dur_calls,available  
BW_BS,voiceBW,reservMS,reservMSforBS,block_vcalls_handoverWITHres,block_vcalls_  
handoverNOres);
```

- Βήματα 9 και 10 – Μειώνεται η διάρκεια των ενεργών κλήσεων κατά μία μονάδα, αφαιρούνται τα στοιχεία των κλήσεων που τερματίζονται από τους πίνακες *voice\_calls*, *dur\_calls*, *reservMS*, *reservMSforBS* και τέλος ενημερώνεται ο πίνακας *availableBW*.
- Βήμα 11 – Παραγωγή νέων κλήσεων και ανάθεση της διάρκειας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η συνάρτηση *NewVoiceCalls()*.

```
[voice_calls,dur_calls,di,dmax,availableBW_BS,block_vcalls_new,New_arrivals]=NewVoic  
eCalls(lambda,u,voice_calls,dur_calls,di,dmax,MSposition,availableBW_BS,voiceBW,block  
_vcalls_new);
```

```
Total_vcalls=Total_vcalls+New_arrivals
```

#### 4.4 Η συνάρτηση *NewVoiceCalls()*

Στη συνάρτηση αυτή παράγονται νέες κλήσεις και γίνεται ανάθεση στους κινητούς σταθμούς. Για κάθε νέα κλήση υπολογίζεται η διάρκειά της, μέσω της εκθετικής κατανομής.

Αρχικά υπολογίζουμε τον αριθμό των νέων αφίξεων τη δεδομένη χρονική στιγμή. Υπενθυμίζουμε ότι χρησιμοποιούμε την κατανομή Poisson για τον σκοπό αυτό.

```
% Calculation of new arrivals (new calls) on the given timestamp (Poisson distribution)
```

```
New_arrivals=poissrnd(lambda);
```

```
% check if no new call was generated
```

```
if New_arrivals==0
```

```
return
```

*end*

Εν συνεχεία υπολογίζουμε με τη βοήθεια της εκθετικής κατανομής τη διάρκεια των κλήσεων και αναθέτουμε τις νέες κλήσεις με τυχαίο τρόπο στους κινητούς σταθμούς.

```
% Generate the duration for the new calls and store in the matrix temp_duration
```

```
% The exponential distributon is used for this
```

```
temp_duration=round(exprnd(u,1,New_arrivals));
```

```
for i=1:New_arrivals
```

```
    if(temp_duration(i)==0)
```

```
        % Ayto ginetai gia na apofeyxdei h dhmiourgia klhswn diarkeias
```

```
        % mhden (epeita apo th stroggylopoihs)
```

```
        temp_duration(i)=1;
```

```
    end
```

```
end
```

```
% Here we randomly allocate the new calls, to the MS that are in idle state
```

```
New_positions=randint(1,New_arrivals,[1,numberMS]);
```

Τέλος οι νέοι πίνακες *voice\_calls* και *dur\_calls* δημιουργούνται βασισμένοι στα *New\_positions* που υπολογίστηκαν προηγουμένως.

#### **4.5 Η συνάρτηση CalcActiveSessions()**

Η συνάρτηση αυτή απλά υπολογίζει τον αριθμό των ενεργών συνόδων

*% count the number of active sessions*

*function [ActiveSessions]=CalcActiveSessions(sessions)*

*ActiveSessions=0;*

*for i=1:length(sessions)*

*if(sessions(i)==1)*

*ActiveSessions=ActiveSessions+1;*

*end*

*end*

#### **4.6 Η συνάρτηση find\_next\_cell()**

Η συνάρτηση αυτή παίρνει ως ορίσματα τον πίνακα μετάβασης και τις υπάρχουσες θέσεις των κινητών σταθμών και υπολογίζει τις νέες θέσεις των κινητών.

*function [new\_position]=next\_cell(Transition\_table,MSposition)*

#### **4.7 Η συνάρτηση Estimate\_next\_cell()**

Όπως προαναφέρθηκε η συνάρτηση αυτή παίζει τον ρόλο του αλγορίθμου PPA.

*% This function replaces the PPA algorithm*

*function [MSposition]=Estimate\_next\_cell(MSposition,pPPA)*

*[numberMS,numberBS]=size(MSposition);*

Υπολογίζονται όλοι οι κινητοί σταθμοί οι οποίοι αποτυγχάνουν να προβλέψουν σωστά την επόμενη κυψέλη.

*% Find all the MS that fail in the estimation (randomly), with probability pPPA*

```
MS_fail= randsrc(numberMS,1,[0 1; pPPA (1-pPPA)]);
```

Στη συνέχεια για τους MS που έχουν αποτύχει υπολογίζονται οι νέες θέσεις.

```
for i=1:numberMS
    if(MS_fail(i)==1)
        j=find(MSposition(i,:));
        if(j==1)
            l=2;
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        elseif(j==numberBS)
            l=numberBS-1;
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        else
            l=j-1+2*mod(i,2);
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        end
    end
end
```

#### 4.8 Η συνάρτηση next\_cell()

Η συνάρτηση αυτή επιτελεί μία από τις πλέον σημαντικές διαδικασίες της εξομοίωσης που είναι αυτή των μεταπομπών. Σκοπός είναι να πάρει τα ορίσματα όπως είναι η θέση του

κινητού, η διάρκεια των κλήσεων, το διαθέσιμο εύρος ζώνης των σταθμών βάσης κ.α. και να υπολογίσει τα νέα δεδομένα μετά την μετάβαση στη νέα κυψέλη<sup>15</sup>.

*function*

```
[voice_calls,dur_calls,reservMS,reservMSforBS,availableBW_BS,block_vcalls_handoverW  
ITHres,block_vcalls_handoverNOres,Nhandovers,Hvcalls_est_withreserv,Hvcalls_fail_est_  
reserv,Hvcalls_noreserv]=next_cell(MSposition,MSposition_old,Estimated_MSposition,voic  
e_calls,dur_calls,availableBW_BS,voiceBW,reservMS,reservMSforBS,block_vcalls_hando  
verWITHres,block_vcalls_handoverNOres)
```

Συνοπτικά λοιπόν εξετάζουμε αν ο κινητός σταθμός έχει αλλάξει κυψέλη και αν έχει ενεργή κλήση.

```
for i=1:numberMS
```

```
    if(MSposition(i,:)==MSposition_old(i,:)) % Check if the MS changed cell
```

```
        ; % No action
```

```
    else
```

```
        if(voice_calls(i)==1) % Check if the MS that changes cell has an active call  
(handover)
```

```
            Nhandovers=Nhandovers+1; % Increase by 1 the number of handovers
```

```
            tempPrevBS=find(MSposition_old(i,:));
```

Στην περίπτωση αυτή ελευθερώνουμε τους πόρους από τον σταθμό βάσης που ξεκίνησε την μεταπομπή.

```
            % Release the resources from the previous BS
```

```
            availableBW_BS(tempPrevBS)=availableBW_BS(tempPrevBS)+voiceBW;
```

---

<sup>15</sup> Να υπενθυμίσουμε ότι η νέα κυψέλη έχει υπολογιστεί με τη συνάρτηση *find\_next\_cell()*

```
tempNextBS=find(MSposition(i,:));
```

Στη συνέχεια εξετάζουμε αν ο κινητός σταθμός είχε προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων και ο επόμενος σταθμός βάσης είχε προβλεφθεί με επιτυχία.

```
if(reservMS(i)>0 && tempNextBS==reservMSforBS(i))    % Check if the MS has  
a reservation and the estimated position is correct
```

```
reservMS(i)=0;
```

```
reservMSforBS(i)=0;
```

```
% Increase counter vcalls_est_withreserv
```

```
Hvcalls_est_withreserv=Hvcalls_est_withreserv+1;
```

Στην περίπτωση που η πρόβλεψη ήταν αποτυχημένη, ελευθερώνονται οι πόροι από τον σταθμό βάσης που έγινε η προδέσμευση και εξετάζεται αν ο σταθμός βάσης μετά την μεταπομπή έχει διαθέσιμο εύρος ζώνης.

```
elseif(reservMS(i)>0)    % Check if the MS has a reservation and the estimated  
position is NOT correct
```

```
reservMS(i)=0;
```

```
% find the estimated BS and clear the bandwidth
```

```
tempEstBS=reservMSforBS(i);
```

```
availableBW_BS(tempEstBS)=availableBW_BS(tempEstBS)+voiceBW;
```

```
reservMSforBS(i)=0;
```

```
% Check if there is available bandwidth on MSposition(i,:)
```

```
if(availableBW_BS(tempNextBS)>=voiceBW)
```

Εάν λοιπόν υπάρχει εύρος ζώνης, αφαιρείται το ποσό που αντιστοιχεί σε μία κλήση φωνής, ειδάλλως απορρίπτεται η κλήση.

```
    % if yes proceed with the handover. Increase counter vcalls_fail_est_reserv
```

```
    Hvcalls_fail_est_reserv=Hvcalls_fail_est_reserv+1;
```

```
    availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)-voiceBW;
```

```
else
```

```
    % if no reject the call. Increase the block_vcalls_handover counter,
```

```
dur_calls(i)=0, voice_calls(i)=0
```

```
    block_vcalls_handoverWITHres=block_vcalls_handoverWITHres+1;
```

```
    dur_calls(i)=0;
```

```
    voice_calls(i)=0;
```

```
end
```

Στην περίπτωση που ο κινητός σταθμός δεν έχει προχωρήσει σε προδέσμευση εξετάζεται πάλι κατά πόσο υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης στον νέο σταθμό βάσης. Εάν ναι, η μεταπομπή θεωρείται επιτυχημένη.

```
elseif(reservMS(i)<=0)
reservation
```

```
% The MS does not have a
```

```
tempNextBS=find(MSposition(i,:));
```

```
% Check if there is available bandwidth on MSposition(i,:)
```



```
if(availableBW_BS(tempNextBS)>=voiceBW)

    % if yes proceed with the handover. Increase counter Hvcalls_noreserv

    % if yes proceed with the handover. Increase counter vcalls_fail_est_reserv

    Hvcalls_noreserv=Hvcalls_noreserv+1;

    availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)-voiceBW;

else

    % if no reject the call. Increase the block_vcalls_handover counter,
dur_calls(i)=0, voice_calls(i)=0

    block_vcalls_handoverNOres=block_vcalls_handoverNOres+1;

    dur_calls(i)=0;

    voice_calls(i)=0;

end
```

#### 4.9 Χρήσιμες στατιστικές μεταβλητές (counters)

Ορίζουμε τις ακόλουθες στατιστικές μεταβλητές (counters) οι οποίες θα βοηθήσουν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

- *HVcalls\_est\_withreserv* Αριθμός επιτυχημένων μεταπομπών για MS που είχαν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων με επιτυχημένη πρόβλεψη PPA
- *HVcalls\_fail\_est\_reserv* Αριθμός επιτυχημένων μεταπομπών για MS που είχαν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων με αποτυχημένη πρόβλεψη PPA
- *HVcalls\_noreserv* Αριθμός επιτυχημένων μεταπομπών για MS που δεν είχαν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων
- *block\_vcalls\_handoverWITHres* Αριθμός μεταπομπών που απέτυχαν, για κλήσεις με προδέσμευση
- *block\_vcalls\_handoverNOres* Αριθμός μεταπομπών που απέτυχαν, για κλήσεις χωρίς προδέσμευση

- *block\_vcalls\_new* Αριθμός νέων κλήσεων που απέτυχαν (τη στιγμή της δημιουργίας)
- *rejected\_res\_vcalls* Αριθμός αιτημάτων προδέσμευσης τα οποία απορρίφθηκαν (είτε λόγω έλλειψης διαθέσιμου εύρους ζώνης είτε διότι δεν προκύπτει όφελος για τον κινητό σταθμό)
- *Total\_vcalls* Συνολικός αριθμός φωνητικών κλήσεων
- *TotalHandovers\_vcalls* Συνολικός αριθμός μεταπομπών φωνητικών κλήσεων

## Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα εξομοίωσης

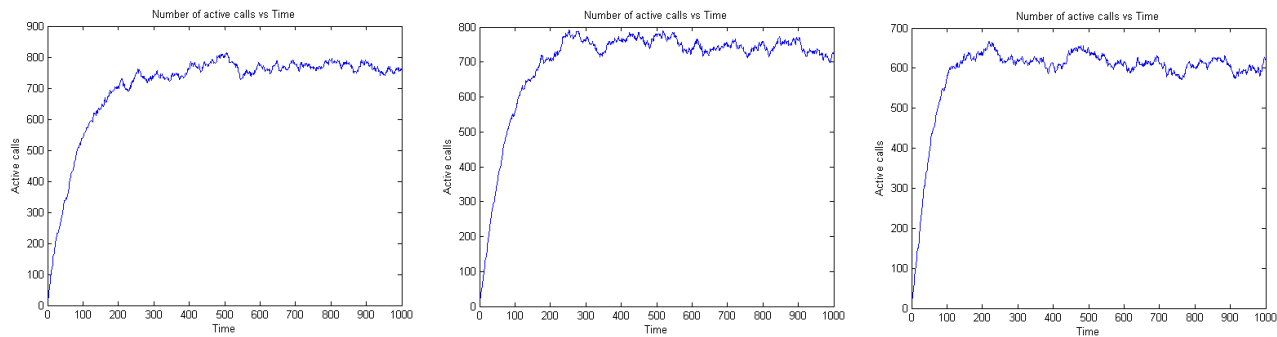
### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εξομοίωσης. Καταρχήν θα ορίσουμε 3 διαφορετικά σενάρια. Κάθε σενάριο αντιστοιχεί στο κατά πόσο οι κινητοί σταθμοί είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν προκειμένου να εξασφαλίσουν την προδέσμευση πόρων για μία μεταπομπή. Στη συνέχεια μελετάμε τη συμπεριφορά της κάθε περίπτωσης για διαφορετικό φορτίο του δικτύου.

### 5.2 Σενάριο A

Το σενάριο δεν έχει ενσωματωμένο το μοντέλο μας. Δημιουργήθηκε για να αποτελέσει σημείο αναφοράς για τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Στην περίπτωση αυτή έχουμε το ίδιο περιβάλλον (σταθμών βάσης), τον ίδιο αριθμό χρηστών με την ίδια κινητικότητα (που αντιστοιχεί στον ίδιο πίνακα μετάβασης) με τη διαφορά (σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις) ότι οι χρήστες δεν μπορούν να προδεσμεύσουν εύρος ζώνης. Λίγο έως πολύ αντιστοιχεί στην παρούσα κατάσταση ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, εξετάστηκαν 3 διαφορετικές περιπτώσεις όσον αφορά την χωρητικότητα του δικτύου ως άμεσο αποτέλεσμα του φορτίου του δικτύου. Στην περίπτωση (i) υποθέσαμε πολύ μικρό φορτίο, στην (ii) ενδιάμεσο ενώ στην περίπτωση (iii) υψηλό. Στην εξομοίωση αυτό επιτεύχθηκε αλλάζοντας τη μέγιστη χωρητικότητα κάθε σταθμού βάσης. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση (i) θεωρήθηκε ότι κάθε σταθμός βάσης μπορεί να εξυπηρετήσει 8000 kbps που αντιστοιχούν σε  $8000/64=125$  φωνητικές κλήσεις, στην περίπτωση (ii) 7000 kbps (ή 109 κλήσεις) ενώ στην περίπτωση (iii) 5000 kbps (ή 78 κλήσεις). Στο σχήμα 10 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για τις 3 καταστάσεις του δικτύου.



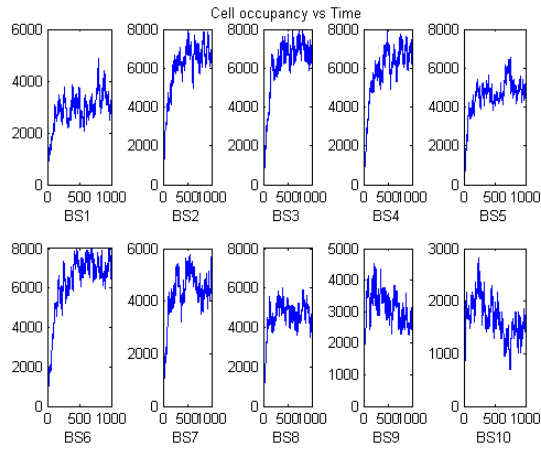
Σχήμα 10: Αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για τις 3 καταστάσεις του δικτύου (από αριστερά προς τα δεξιά μειώνεται η χωρητικότητα και συνεπώς αυξάνεται το φορτίο)

Στη συνέχεια στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η κατάληψη της κάθε κυψέλης συναρτήσει του χρόνου. Όπως βλέπουμε στις περιπτώσεις (i) και (ii) οι κυψέλες 2, 3 και 6 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κίνηση. Προφανώς για τις κυψέλες αυτές έχει νόημα η προδέσμευση πόρων και όχι για τις υπόλοιπες όπου η μεταπομπή θα είναι επιτυχημένη ούτως ή άλλως. Παρατηρούμε επίσης ότι στην περίπτωση (iii) σχεδόν όλες οι κυψέλες βρίσκονται στο όριο τους, σε ό,τι αφορά τη χωρητικότητά τους.

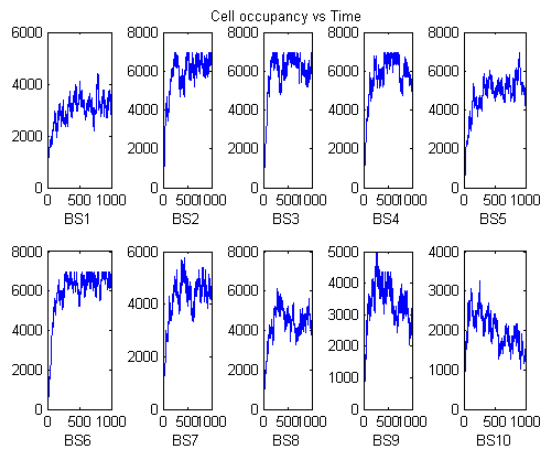
Τέλος, στον πίνακα 5 παραθέτουμε τα αποτελέσματα της εξομοίωσης. Πέρα από τα αναμενόμενα αποτελέσματα που είναι η σταδιακή αύξηση των πιθανοτήτων φραγής μεταπομπής και αποτυχίας νέας κλήσης καθώς αυξάνει το φορτίο του δικτύου, αξίζει να σημειωθεί η μείωση της μέσης κατάληψης του δικτύου, που έχει ως φυσικό επακόλουθο την μείωση των εσόδων του δικτύου. Αυτό οφείλεται κυρίως στον πίνακα μετάβασης που έχει χρησιμοποιηθεί, ο οποίος συγκεντρώνει την κίνηση σε συγκεκριμένες κυψέλες όπως είναι οι 2, 3 και 6. Έτσι, εφόσον τα κινητά έχουν την τάση να συγκεντρώνονται σε αυτά τα σημεία, όταν η κίνηση μεγαλώσει, το δίκτυο δεν θα είναι ικανό να διαχειριστεί την κίνηση απορρίπτοντας μεταπομπές και αιτήσεις για νέες κλήσεις.

### Πίνακας 5: Αποτελέσματα σεναρίου Α

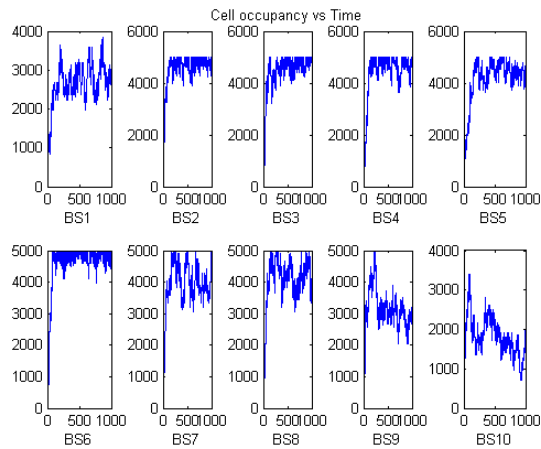
Παράμετρος	Περίπτωση		
	(i)	(ii)	(iii)
TotalAverageOccupancy	49591.8	46867.4	37773.8
NetworkEarnings	538994	550634	471736
block_vcalls_handover	1447.8	5237.2	14883.4
block_vcalls_new	636.2	2638.8	10837.8
Total_vcalls	99938	100211	100034.8
TotalHandovers_vcalls	154812.6	146708.8	118073.4
probablity_blocked_handover	0.93%	3.57%	12.61%
probablity_blocked_new_call	0.64%	2.63%	10.83%



(i) Μεγάλη χωρητικότητα κυψελών (μικρή κίνηση)



(ii) Μέση χωρητικότητα κυψελών (μέση κίνηση)



(iii) Μικρή χωρητικότητα κυψελών (μεγάλη κίνηση)

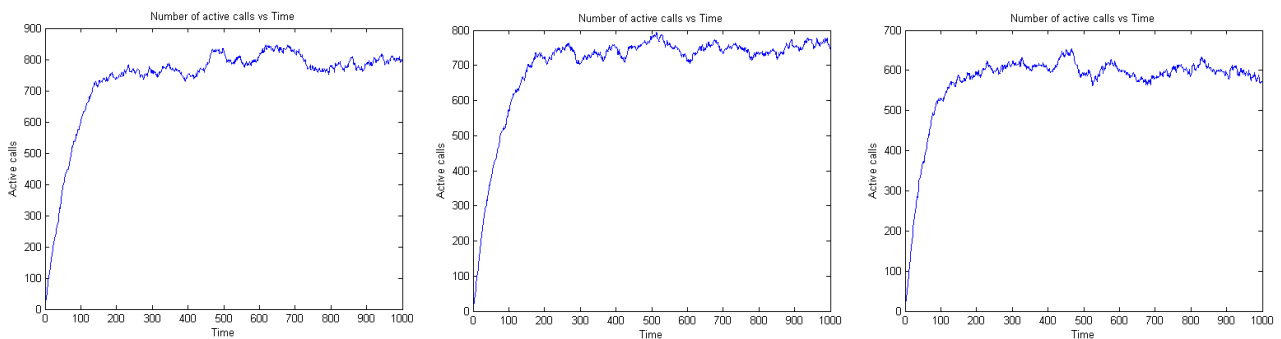
Σχήμα 11: Κατάληψη μεμονωμένων κυψελών συναρτήσει του χρόνου (σενάριο A)

### 5.3 Σενάριο B

Το σενάριο αυτό βασίζεται στο A, αλλά έχει ενσωματώσει τον μηχανισμό (Black Scholes) για προδέσμευση εύρους ζώνης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι κινητοί σταθμοί έχουν το ίδιο  $f$ , όπου  $\text{BenefitMS} = f \cdot (d_i/d_{\max})$

Η παράμετρος  $f$  υποδηλώνει τις προτιμήσεις του χρήστη. Εδώ επιλέγουμε να θέσουμε μια μεγάλη τιμή για να δούμε την οριακή συμπεριφορά του δικτύου. Συγκεκριμένα θέτουμε  $f=5$ .

Στο σχήμα 12 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για τις 3 καταστάσεις του δικτύου.



Σχήμα 12: Αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για τις 3 καταστάσεις του δικτύου (από αριστερά προς τα δεξιά μειώνεται η χωρητικότητα και συνεπώς αυξάνεται το φορτίο)

Στη συνέχεια στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η κατάληψη της κάθε κυψέλης συναρτήσει του χρόνου. Και σε αυτήν την περίπτωση οι κυψέλες 2 και 3 εμφανίζονται να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κίνηση, όπως και ότι στην περίπτωση (iii) σχεδόν όλες οι κυψέλες βρίσκονται στο όριο τους.

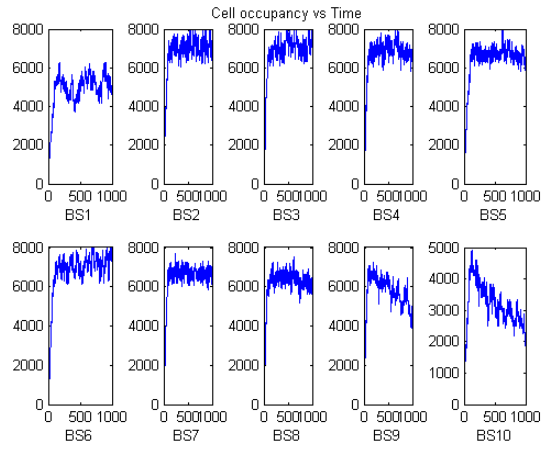
Τέλος στον πίνακα 6 παραθέτουμε τα αποτελέσματα της εξομοίωσης. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση των πιθανοτήτων φραγής μεταπομπής και αποτυχίας μιας νέας κλήσης, καθώς αυξάνει το φορτίο του δικτύου. Επίσης παρατηρούμε ότι αυξάνει δραματικά ο αριθμός των μεταπομπών για τις οποίες έγινε προσπάθεια για προδέσμευση, αλλά το δίκτυο τις απέρριψε διότι δεν υπήρχαν πόροι (rejected\_res\_vcalls), καθώς αυξάνει το φορτίο της κυψέλης. Οι μεταβλητές με το δείκτη 1 στο τέλος (π.χ.

block\_vcalls\_handover1, Total\_vcalls1, TotalHandovers\_vcalls1, probability\_blocked\_handover1, probability\_blocked\_new\_call1) αντιπροσωπεύουν ό,τι ακριβώς και οι αντίστοιχες χωρίς τον δείκτη, αλλά αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο κινητό σταθμό (τον MS 1 στην προκειμένη περίπτωση). Όπως προαναφέρθηκε, ο συγκεκριμένος κινητός σταθμός έχει υψηλό  $f$  ( $f=100$ ) για να εξασφαλίσουμε ότι θα επιτύχει στην προδέσμευση. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι οι κινητοί σταθμοί που προχωρούν σε προδέσμευση έχουν βελτιωμένες πιθανότητες φραγής.

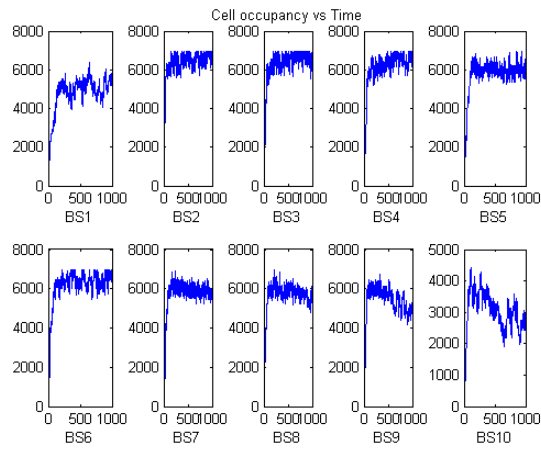


### Πίνακας 6: Αποτελέσματα σεναρίου B

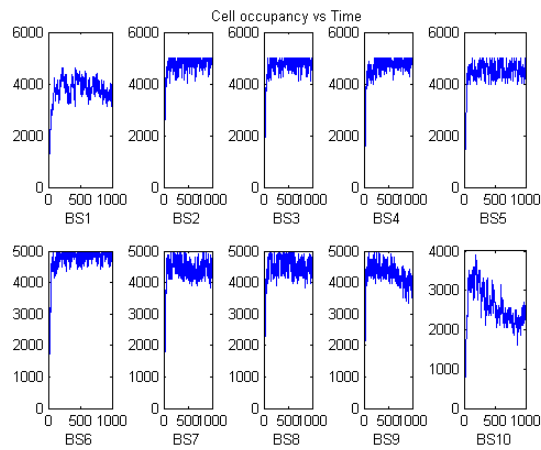
Παράμετρος	Περίπτωση		
	(i)	(ii)	(iii)
TotalAverageOccupancy	57322	52760.2	41166.4
NetworkEarnings	709452	686874	563384
TotalHandovers_vcalls	154662.2	145916.6	117827.4
HVcalls_est_withreserv	21615	17530.6	10432
HVcalls_fail_est_reserv	14393.8	11123.4	5496.8
HVcalls_noreserv	116875	111809.6	87017
rejected_res_vcalls	11253	35834.8	98957.4
block_vcalls_handover	1778.4	5453	14881.6
block_vcalls_new	761.6	2799.6	10815.4
Total_vcalls	100118.4	99935	99868.8
TotalHandovers_vcalls	154662.2	145916.6	117827.4
probability_blocked_handoverWRES	0.11%	0.28%	0.60%
probability_blocked_handoverNORES	1.04%	3.45%	12.03%
probability_blocked_handover	1.15%	3.74%	12.63%
probability_blocked_new_call	0.76%	2.80%	10.83%



(i) Μεγάλη χωρητικότητα κυψελών (μικρή κίνηση)



(ii) Μέση χωρητικότητα κυψελών (μέση κίνηση)



(iii) Μικρή χωρητικότητα κυψελών (μεγάλη κίνηση)

Σχήμα 13: Κατάληψη μεμονωμένων κυψελών συναρτήσει του χρόνου (σενάριο B)

## 5.4 Σενάριο C

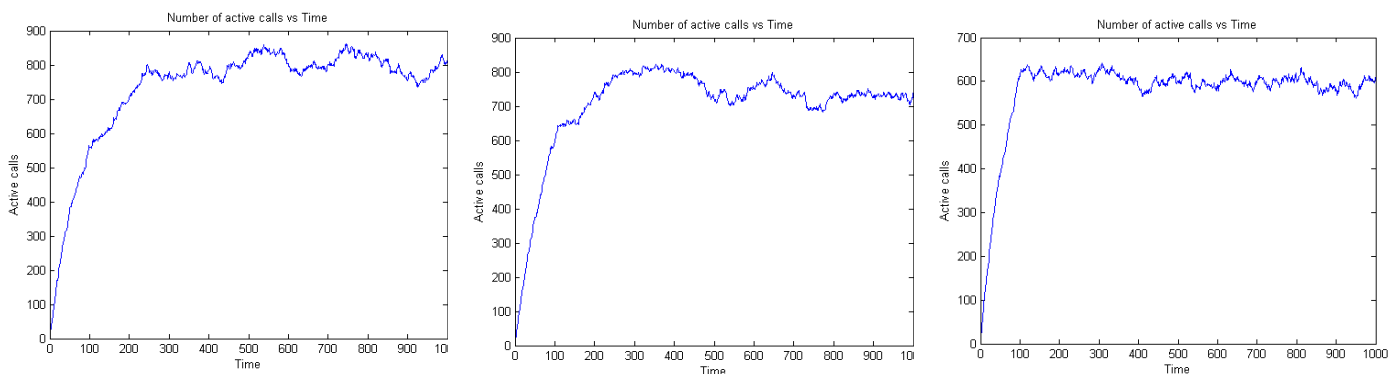
Το σενάριο αυτό είναι όπως το B, αλλά γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι κινητοί σταθμοί έχουν διαφορετικό  $f$ . Διάφορες κατανομές μπορούν να επιλεγθούν π.χ κανονική κατανομή ή κατανομή Rayleigh κτλ. Εδώ επιλέχθηκε η απόλυτη τιμή της κανονικής κατανομής με τυπική απόκλιση  $\sigma=2$ :

*% Here we define the distribution of the parameter f of all MS. This parameter directly affects the benefit of each MS*

*f=abs(normrnd(0,2,numberMS,1));*

Επίσης μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε πώς αλλάζουν τα αποτελέσματα για έναν χρήστη ο οποίος έχει μία μεγάλη τιμή της παραμέτρου  $f$ . Οι πιθανότητες υπολογίζονται για συγκεκριμένο κινητό σταθμό, στην περίπτωση μας τον πρώτο<sup>16</sup>. Αλλάζοντας το  $f$  μπορούμε να δούμε πώς επηρεάζονται τα αποτελέσματα.

Στο σχήμα 14 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για τις 3 καταστάσεις του δικτύου. Από τη σύγκριση των σχημάτων 9, 11 και 13 παρατηρούμε ότι το δίκτυο παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά σε σχέση με τον αριθμό των ενεργών κλήσεων.



Σχήμα 14: Αριθμός ενεργών κλήσεων συναρτήσει του χρόνου για 3 καταστάσεις του δικτύου (από αριστερά προς τα δεξιά μειώνεται η χωρητικότητα και συνεπώς αυξάνεται το φορτίο)

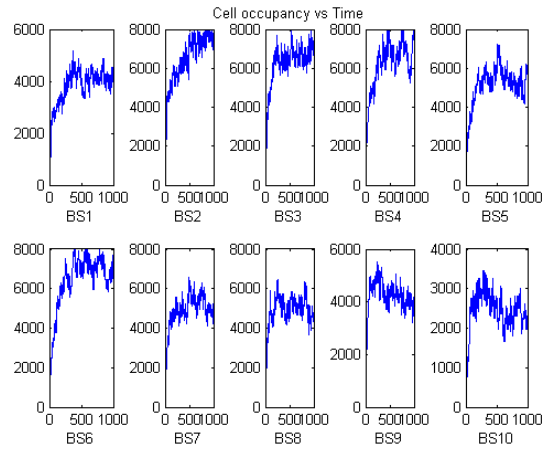
<sup>16</sup> Αυτό είναι hardcoded, δηλαδή δεν υπεισέρχεται ως παράμετρος στην εξομοίωση. Δεν υπάρχει συγκεκριμένος λόγος που επιλέχθηκε ο πρώτος κινητός σταθμός. Θα μπορούσε να επιλεγθεί οποιοσδήποτε άλλος

Στη συνέχεια στο σχήμα 15 παρουσιάζεται και πάλι η κατάληψη της κάθε κυψέλης συναρτήσει του χρόνου. Και σε αυτήν την περίπτωση οι κυψέλες 2, 3 και 6 εμφανίζονται να παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κίνηση όπως και ότι στην περίπτωση (iii) σχεδόν όλες οι κυψέλες βρίσκονται στο όριο τους.

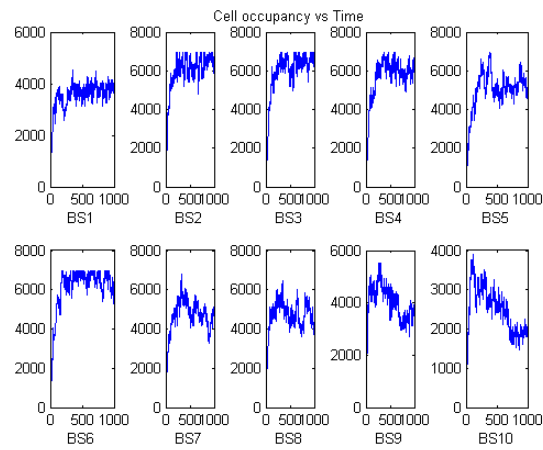
Τέλος στον πίνακα 7 παραθέτουμε τα αποτελέσματα της εξομοίωσης. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση των πιθανοτήτων φραγής μεταπομπής και αποτυχίας μιας νέας κλήσης, καθώς αυξάνει το φορτίο του δικτύου. Επίσης παρατηρούμε ότι αυξάνει δραματικά ο αριθμός των μεταπομπών για τις οποίες έγινε προσπάθεια για προδέσμευση, αλλά το δίκτυο τις απέρριψε διότι δεν υπήρχαν πόροι (rejected\_res\_vcalls), καθώς αυξάνει το φορτίο της κυψέλης. Οι μεταβλητές με το δείκτη 1 στο τέλος (π.χ. block\_vcalls\_handover1, Total\_vcalls1, TotalHandovers\_vcalls1, probability\_blocked\_handover1, probability\_blocked\_new\_call1) αντιπροσωπεύουν ό,τι ακριβώς και οι αντίστοιχες χωρίς τον δείκτη, αλλά αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο κινητό σταθμό (τον MS 1 στην προκειμένη περίπτωση). Όπως προαναφέρθηκε ο συγκεκριμένος κινητός σταθμός έχει υψηλό  $f$  ( $f=100$ ) για να εξασφαλίσουμε ότι θα επιτύχει στην προδέσμευση. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώνεται ότι οι κινητοί σταθμοί που προχωρούν σε προδέσμευση έχουν βελτιωμένες πιθανότητες φραγής.

**Πίνακας 7: Αποτελέσματα σεναρίου C**

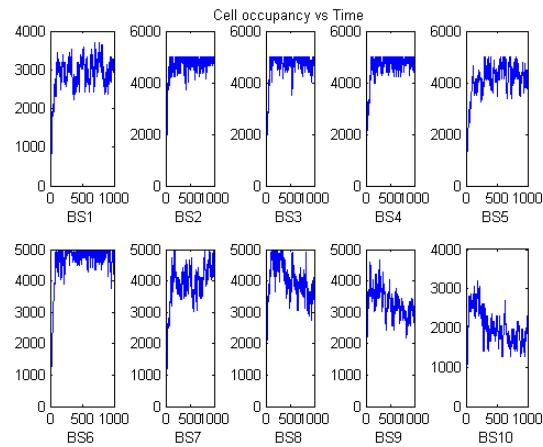
Παράμετρος	Περίπτωση		
	(i)	(ii)	(iii)
TotalAverageOccupancy	51716	48140.6	38650.8
NetworkEarnings	571177.1	571768	493202
TotalHandovers_vcalls	155107.9	145513	117683.8
HVcalls_est_withreserv	6212.143	4920.2	2676.6
HVcalls_fail_est_reserv	3588.429	2710.8	1289.2
HVcalls_noreserv	143691.7	132588.6	98917.6
rejected_res_vcalls	10474.43	34461.4	99436.6
block_vcalls_handover	1615.571	5293.4	14800.4
block_vcalls_handover1	0.571429	1.4	6
block_vcalls_new	693.4286	2671.8	10780.6
Total_vcalls	100044.4	99955.6	99941.4
Total_vcalls1	47.14286	48.6	43.6
TotalHandovers_vcalls	155107.9	145513	117683.8
TotalHandovers_vcalls1	66.42857	67	60.6
probability_blocked_handover	1.04%	3.64%	12.58%
probability_blocked_new_call	0.69%	2.67%	10.79%
probability_blocked_handover1	0.85%	2.17%	9.90%
probability_blocked_new_call1	0.63%	4.47%	13.88%



(i) Μεγάλη χωρητικότητα κυψελών (μικρή κίνηση)



(ii) Μέση χωρητικότητα κυψελών (μέση κίνηση)



(iii) Μικρή χωρητικότητα κυψελών (μεγάλη κίνηση)

Σχήμα 15: Κατάληψη μεμονωμένων κυψελών συναρτήσει του χρόνου (σενάριο C)

## 5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων

### 5.5.1 Χαμηλό φορτίο δικτύου

Στον πίνακα 8 συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των τριών προαναφερθέντων σεναρίων για την περίπτωση που η χωρητικότητα των μεμονωμένων σταθμών βάσης είναι υψηλή. Το γεγονός αυτό αντιστοιχεί σε χαμηλό φορτίο του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός προδέσμευσης λειτουργεί αρκετά καλά, αφού καταρχήν αυξάνει τα κέρδη του δικτύου και κατά δεύτερο μειώνει την πιθανότητα φραγής μεταπομπής για τα κινητά που έχουν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων. Βλέπουμε για παράδειγμα ότι στο σενάριο B, η πιθανότητα (probability\_blocked\_handoverWRES) είναι 10 φορές μικρότερη σε σχέση με ένα κινητό που δεν έχει προδεσμεύσει στο σενάριο A. Επίσης παρατηρούμε ότι η πιθανότητα αποτυχίας μίας νέας κλήσης αυξάνεται λίγο στις περιπτώσεις B και C και αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι με τη διαδικασία των προδεσμεύσεων αυξάνει το «εικονικό φορτίο»<sup>17</sup> του δικτύου.

---

<sup>17</sup> Όπως έχουμε ήδη αναφέρει μία συγκεκριμένη κυψέλη δεν κάνει διαχωρισμό σε μία ενεργή κλήση και σε μία κλήση για την οποία απλά έχει γίνει προδέσμευση πόρων. Και στις δύο περιπτώσεις δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο εύρος ζώνης.

## Πίνακας 8: Σύγκριση προτεινόμενων σεναρίων για χαμηλό φορτίο δικτύου

Παράμετρος	Προτεινόμενα σενάρια		
	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο C
TotalAverageOccupancy	49591.8	57322	51716
NetworkEarnings	538994	709452	571177.1
HVcalls_est_withreserv		21615	6212.143
HVcalls_fail_est_reserv		14393.8	3588.429
HVcalls_noreserv		116875	143691.7
rejected_res_vcalls		11253	10474.43
block_vcalls_handover	1447.8	1778.4	1615.571
block_vcalls_handover1			0.571429
block_vcalls_new	636.2	761.6	693.4286
Total_vcalls	99938	100118.4	100044.4
Total_vcalls1			47.14286
TotalHandovers_vcalls	154812.6	154662.2	155107.9
TotalHandovers_vcalls1			66.42857
probability_blocked_handoverWRES		0.11%	
probability_blocked_handoverNORES		1.04%	
probablity_blocked_handover	0.93%	1.15%	1.04%
probability_blocked_new_call	0.64%	0.76%	0.69%
probability_blocked_handover1			0.85%
probability_blocked_new_call1 =			0.63%

### 5.5.2 Ενδιάμεσο φορτίο δικτύου

Στον πίνακα 9 συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων για την περίπτωση ενδιάμεσης χωρητικότητας των σταθμών βάσης. Το γεγονός αυτό αντιστοιχεί σε ενδιάμεσο φορτίο του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός προδέσμευσης λειτουργεί και πάλι καλά, αφού καταρχήν αυξάνει και σε αυτή την περίπτωση τα κέρδη του δικτύου (σε μικρότερο βέβαια ποσοστό σε σχέση με την περίπτωση A) και κατά δεύτερο μειώνει την πιθανότητα φραγής μεταπομπής για τα κινητά που έχουν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η πιθανότητα (probability\_blocked\_handoverWRES) είναι 10 φορές μικρότερη σε σχέση με ένα κινητό που δεν έχει προδεσμεύσει. Τέλος η πιθανότητα αποτυχίας μίας νέας κλήσης αυξάνεται λίγο στις περιπτώσεις B και C λόγω της αύξησης του «εικονικού φορτίου» του δικτύου.

### Πίνακας 9: Σύγκριση προτεινόμενων σεναρίων για ενδιάμεσο φορτίο δικτύου

Παράμετρος	Προτεινόμενα σεσάρια		
	Σενάρια A	Σενάρια B	Σενάρια C
TotalAverageOccupancy	46867.4	52760.2	48140.6
NetworkEarnings	550634	686874	571768
HVcalls_est_withreserv		17530.6	4920.2
HVcalls_fail_est_reserv		11123.4	2710.8
HVcalls_noreserv		111809.6	132588.6
rejected_res_vcalls		35834.8	34461.4
block_vcalls_handover	5237.2	5453	5293.4
block_vcalls_handover1			1.4
block_vcalls_new	2638.8	2799.6	2671.8
Total_vcalls	100211	99935	99955.6
Total_vcalls1			48.6
TotalHandovers_vcalls	146708.8	145916.6	145513
TotalHandovers_vcalls1			67
probability_blocked_handoverWRES		0.28%	
probability_blocked_handoverNORES		3.45%	
probability_blocked_handover	3.57%	3.74%	3.64%
probability_blocked_new_call	2.63%	2.80%	2.67%
probability_blocked_handover1			2.17%
probability_blocked_new_call1			4.47%



### 5.5.3 Υψηλό φορτίο δικτύου

Τέλος στον πίνακα 10 συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων για την περίπτωση μικρής χωρητικότητας των σταθμών βάσης. Το γεγονός αυτό αντιστοιχεί σε υψηλό φορτίο του δικτύου. Και πάλι ο προτεινόμενος μηχανισμός προδέσμευσης λειτουργεί καλά, αφού αυξάνει και σε αυτή την περίπτωση τα κέρδη του δικτύου και κατά δεύτερο μειώνει την πιθανότητα φραγής μεταπομπής για τα κινητά που έχουν προχωρήσει σε προδέσμευση πόρων. Όπως είναι αναμενόμενο η πιθανότητα αποτυχίας μίας νέας κλήσης αυξάνεται λίγο στις περιπτώσεις B και C.

**Πίνακας 10: Σύγκριση προτεινόμενων σεναρίων για υψηλό φορτίο δικτύου**

Παράμετρος	Προτεινόμενα σεναρία		
	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο C
TotalAverageOccupancy	37773.8	41166.4	38650.8
NetworkEarnings	471736	563384	493202
HVcalls_est_withreserv		10432	2676.6
HVcalls_fail_est_reserv		5496.8	1289.2
HVcalls_noreserv		87017	98917.6
rejected_res_vcalls		98957.4	99436.6
block_vcalls_handover	14883.4	14881.6	14800.4
block_vcalls_handover1			6
block_vcalls_new	10837.8	10815.4	10780.6
Total_vcalls	100034.8	99868.8	99941.4
Total_vcalls1			43.6
TotalHandovers_vcalls	118073.4	117827.4	117683.8
TotalHandovers_vcalls1			60.6
probability_blocked_handoverWRES		0.60%	
probability_blocked_handoverNORES		12.03%	
probability_blocked_handover			12.58%
probability_blocked_new_call			10.79%
probablity_blocked_handover1	12.61%	12.63%	9.90%
probability_blocked_new_call1	10.83%	10.83%	13.88%

## 6 Συμπεράσματα και πιθανές επεκτάσεις του μοντέλου

Σε αυτήν την εργασία προτείναμε έναν μηχανισμό προδραστικής διαχείρισης πόρων που βασίζεται στις αγορές χρηματοοικονομικών συμβολαίων. Τα δικαιώματα προαίρεσης σε εύρος ζώνης για τα οποία γίνεται λόγος, εξασφαλίζουν στον κάτοχό τους την συνέχεια της συνόδου μεταξύ δύο μεταπομπών. Ουσιαστικά κάθε σταθμός βασισμένο σε ορισμένους παράγοντες θέτει μία τιμή για κάθε μονάδα εύρους ζώνης. Επίσης ορίζει μία τιμή για το μελλοντικό δικαίωμα στον πόρο αυτό. Στη συνέχεια, γίνεται ο έλεγχος του κατά πόσο το όφελος που προκύπτει για μία συγκεκριμένη σύνοδο ενός κινητού σταθμού είναι μεγαλύτερο από την τιμή που θέτει το δίκτυο.

Μετά από την παραπάνω διαδικασία ο κινητός σταθμός μπορεί να προδεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους από τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης (ο επόμενος που θα επισκεφθεί). Ο σταθμός βάσης με τη σειρά του συγκεντρώνει όλα τα αντίστοιχα αιτήματα των κινητών σταθμών και όταν συμβεί ένα συγκεκριμένο γεγονός, όπως μία μεταπομπή, η έναρξη μίας νέας συνόδου ή ο τερματισμός μιας συνόδου, αποφασίζει ποιο από τα αιτήματα θα αποσπάσει τους πόρους.

Τα αποτελέσματα της εξομοίωσης δείχνουν ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός έχει οφέλη σε σχέση με τον συμβατικό μηχανισμό. Καταρχήν, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να έχουν «σχεδόν» εξασφαλισμένο QoS σε μία σύνοδο, καταβάλλοντας το αντίστοιχο τίμημα. Αναφέρουμε σχεδόν εξασφαλισμένο διότι σε περίπτωση που το δίκτυο είναι ήδη φορτωμένο με άλλες κλήσεις, τότε δεν είναι δυνατόν να δώσει πόρους αλλού. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη την περίπτωση που ο αλγόριθμος πρόβλεψης διαδρομής (PPA) δεν κάνει σωστή εκτίμηση. Λόγω των δύο παραπάνω παραγόντων το όφελος δεν είναι μεγάλο στην περίπτωση που το δίκτυο είναι επιβαρημένο, αλλά αρκετά μεγάλο όταν η κίνηση είναι μικρή.

Επίσης αυτό που προκύπτει από την εξομοίωση είναι ότι σε κάθε περίπτωση αυξάνονται τα έσοδα του δικτύου. Η αύξηση των εσόδων είναι άμεσα συσχετισμένη με τον αριθμό των συνδρομητών που προχωρούν σε προδέσμευση. Προφανώς μπορεί να βρεθεί η τιμολογιακή πολιτική για τους πόρους του δικτύου για την οποία θα μεγιστοποιούνται τα έσοδα του δικτύου.

Τέλος, όπως ήταν αναμενόμενο η πιθανότητα φραγής νέων κλήσεων αυξάνεται.

## 6.2 Στοιχεία για περαιτέρω μελέτη και πιθανές επεκτάσεις του μοντέλου

### 6.2.1 Υπολογισμός αξίας μονάδας εύρους ζώνης

Είδαμε προηγουμένως ότι ο υπολογισμός της αξίας της μονάδας εύρους ζώνης δίνεται από τον τύπο (3-3). Γενικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος της μορφής:

$$S = S(\text{πληρ. όπια, βροχιακή εκμνη κίνηση, ιαρκ. άσχε. ία}) + \text{σθ. κόστος} \quad (6-1)$$

Επίσης θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη και τα παρακάτω:

- εξάρτηση της τιμής από τον αριθμό μονάδων εύρους ζώνης που αιτείται ο χρήστης
- εξάρτηση της τιμής της μονάδας από το προφίλ του χρήστη. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να διακρίνουμε κλάσεις χρηστών, π.χ. η gold κατηγορία θα έχει μεγαλύτερο πάγιο το οποίο θα συνεπάγεται μικρότερο ποσοστό αποτυχίας handover. Ένας έμμεσος τρόπος για αυτό είναι να προσφέρει μικρότερες τιμές για το δικαίωμα σε αυτούς τους χρήστες. Το ίδιο θα μπορούσε να ισχύει και για την τιμή του πόρου S.
- εξάρτηση της τιμής της μονάδας από την υπηρεσία του χρήστη. Ξέρουμε ότι κάποιες υπηρεσίες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια από άλλες. Επίσης η κρισιμότητα της μεταπομπής είναι διαφορετική από υπηρεσία σε υπηρεσία. Αυτά καθορίζονται με την παράμετρο f της σχέσης (3-10).

### 6.2.2 Υπολογισμός διάρκειας λήξης δικαιώματος τ

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε ότι το δίκτυο προσφέρει δικαιώματα με συγκεκριμένο και σταθερό διάστημα μέχρι τη λήξη. Στην πράξη όμως γνωρίζουμε ότι η διάρκεια είναι μεταβαλλόμενη. Συνεπώς πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος τ, που μεσολαβεί μέχρι τη λήξη του δικαιώματος. Ένας τρόπος υπολογισμού θα μπορούσε να βασίζεται σε αποτελέσματα του παρελθόντος, στην μέση διάρκεια μεταπομπών καθώς και σε διάφορες τρέχουσες πληροφορίες όπως είναι το «φορτίο» της κυψέλης και ο ρυθμός άφιξης νέων κλήσεων.

$$\tau = \tau(\text{πλά. όπια χρόν, μέση διάρκεια μεταπομπών, τρέχουσες πληροφ. ία}) \quad (6-2)$$

### 6.2.3 Η περίπτωση του over-subscription

Η τακτική αυτή μας είναι γνωστή από τις αεροπορικές εταιρίες<sup>18</sup>. Όπως γνωρίζουμε οι εταιρίες αυτές προκειμένου να αυξήσουν τα κέρδη τους προχωρούν σε πώληση περισσότερων εισιτηρίων από τις διαθέσιμες θέσεις, βασισμένες στο γεγονός ότι ένας αριθμός επιβατών για διάφορους λόγους δεν θα καταφέρει να ταξιδέψει. Με τον τρόπο αυτό το αεροπλάνο φεύγει πάντα γεμάτο.

Αντίστοιχα υπάρχει το game option ή αλλιώς Israeli option [5]<sup>19</sup>, στο οποίο ο πωλητής του δικαιώματος έχει τη δυνατότητα να ακυρώσει το δικαίωμα που προσέφερε, αλλά πρέπει να πληρώσει το όφελος που έχει προκύψει μέχρι την στιγμή εκείνη καθώς και μία ποινή αποζημίωσης.

Αντίστοιχα, στην περίπτωσή μας θα μπορούσε το δίκτυο να εκδίδει περισσότερα δικαιώματα από τους διαθέσιμους πόρους μεγιστοποιώντας μία συνάρτηση χρησιμότητας.

### 6.2.4 Περίπτωση πεπερασμένου budget κινητών σταθμών

Μέχρι στιγμής θεωρήθηκε ότι τα κινητά έχουν άπειρες χρηματικές μονάδες για να ξοδέψουν σε προδέσμευση πόρων. Ο μόνος περιορισμός έγκειτο στην παράμετρο  $f$  που καθόριζε τις προτιμήσεις των χρηστών. Έτσι χρήστες με υψηλό  $f$ , προχωρούσαν σε προδέσμευση πόρων συνεχώς μη έχοντας αρνητικό αντίκτυπο. Ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο θα ήταν οι κινητοί σταθμοί να έχουν καθορισμένο budget, το οποίο είτε θα ήταν κοινό για όλους είτε θα μπορούσε να διαφέρει.

### 6.2.5 Υπολογισμός βέλτιστης τιμολογιακής πολιτικής για το δίκτυο

Λέγοντας βέλτιστη τιμολογιακή πολιτική, εννοούμε την κοστολόγηση των πόρων του δικτύου με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιούνται τα κέρδη του, χωρίς να επηρεάζεται βέβαια η παρεχόμενη υπηρεσία. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι έχουν προβεί σε μεγάλες επενδύσεις που αφορούν τον εξοπλισμό, τις άδειες λειτουργίας τους κτλ, και για να εξασφαλίσουν την βιωσιμότητά τους πρέπει να χρησιμοποιούν τις δυνατότητες του δικτύου στο έπακρο.

<sup>18</sup> Ευρέως γνωστό και ως overbooking

<sup>19</sup> [http://www.global-derivatives.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=45](http://www.global-derivatives.com/index.php?option=com_content&task=view&id=45)

## **Ακρωνύμια**

BS Base Station

BW Bandwidth

GSM Global System for Mobile communication

QoS Quality of Service

MS Mobile Station

NGN Next Generation Networks

PPA Path Prediction Algorithm

## Παράρτημα

Στο παράρτημα παραθέτουμε τον κώδικα ο οποίος βρίσκεται και στο συνοδευτικό CD.

### Αρχείο initf.m

```

clear all
close all

% Definitions of parameters
numberMS=2000 % number of mobile stations
numberBS=10 % number of Base Stations
T=1000 % This is the number of repetitions that this experiment is repeated
lambda=10 % arrival rate (used for Poisson distribution)
u=80 % expected duration(MU), parameter of exponential distribution
ActiveVoiceCalls=0 % initial number of voice calls
totalBW_BS=8000 % Total bandwidthin Kb/s that a Base Station can support
voiceBW=64 % Bandwith for voice calls
pPPA=0.9 % probability that the PPA algorithm identifies correctly the next cell
texpire=50 % This the time for the option to expire
r=1 % The rate of return used in the Black Scholes formula

% Initialization of the available bandwidth per Base Station
availableBW_BS=totalBW_BS*ones(1,numberBS);

% Here we generate the position (i.e. the cell) of each mobile station
% This is represented with a column with dimensions (numberMS x 1)

position = randint(numberMS,1,[1,numberBS]);

% Here we transform the column that represent the position of each MS,
% with a matrix with dimensions numberMS x numberBS
% This form will be useful to perform operations with the Transition Table

MSposition=zeros(numberMS,numberBS);
for i=1:numberMS
    for j=1:numberBS
        if(position(i)==j)
            MSposition(i,j)=1;
        end
    end
end

% Definition of Transition Table
Transition_table=[0.98 0.04/2 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    0.02/2 0.98 0.02/2 0 0 0 0 0 0 0 0
    0 0.02/2 0.98 0.02/2 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0.02/3 0.98 0.02/3 0.02/3 0 0 0 0 0
    0 0 0 0.02/3 0.98 0.02/3 0.02/3 0 0 0 0
    0 0 0.02/5 0.02/5 0.02/5 0.98 0.02/5 0.02/5 0 0
    0 0 0 0 0.02/3 0.02/3 0.98 0.02/3 0 0
    0 0 0 0 0 0.02/3 0.02/3 0.98 0.02/3 0
    0 0 0 0 0 0 0 0.02/2 0.98 0.02/2
    0 0 0 0 0 0 0 0 0.04/2 0.98];

voice_calls=zeros(numberMS,1);
dur_calls=zeros(numberMS,1);
di=zeros(numberMS,1);
dmax=ones(numberMS,1); % This is only for initialization purposes
BenefitMS=zeros(numberMS,1);

```

Προδραστική Διαχείριση Πόρων σε ασύρματα δίκτυα με τη χρήση δικαιωμάτων προαίρεσης (stock options)

```
% f=0.001*ones(numberMS,1)
reservMS=zeros(numberMS,1); % In this table each MS that has reserved bandwidth is declared
reservMSforBS=zeros(numberMS,1); % In this table the BS for which the MS that has reserved bandwidth is shown
reservMSCost=zeros(numberMS,1); % In this table the cost of the current reservation is displayed. % New line added
in version test3b
Uhandover=[1]; % In this table we report the Utility of each handover. Formula duration_left/Cost_of_handover is
used. New line added in version test3b

% Here we define the distribution of the parameter f of all MS. This parameter directly affects the benefit of each MS
f=abs(normrnd(0,2,numberMS,1));

f(1)=100;

HVcalls_est_withreserv=0;
HVcalls_fail_est_reserv=0;
HVcalls_noreserv=0;

MSposition

% Initial number of blocked calls due to handovers is zero
block_vcalls_handover=0
block_vcalls_handover1=0

% Initial number of blocked calls when they are generated is zero
block_vcalls_new=0
block_vcalls_new1=0

% Number of reservation requests that were rejected
rejected_res_vcalls=0
rejected_res_vcalls1=0

% Total voice calls generated
Total_vcalls=0
Total_vcalls1=0

% Total handovers of voice calls
TotalHandovers_vcalls=0
TotalHandovers_vcalls1=0

%Initial Network Earnings
NetworkEarnings=0 % New line added in version test3

table1=zeros(4,numberBS) % In this table the available bandwidth is stored for each MS and for 4 time units
CellArrivals1=0 % New calls that are generated in a specific cell. Introduced in version test3
CellArrivals2=0 % Calls that handed over to a specific cell. Introduced in version test3

S=zeros(numberBS,1); % New line added in version test3

% Generate the first calls and assign the duration for each call
% Modified in version test3 (We added the NetworkEarnings and S parameters)
[voice_calls,dur_calls,di,dmax,availableBW_BS,NetworkEarnings,block_vcalls_new,block_vcalls_new1,New_arrivals,Ne
w_arrivals1,CellArrivals1]=...
NewVoiceCalls(lambda,u,voice_calls,dur_calls,di,dmax,MSposition,availableBW_BS,NetworkEarnings,S,voiceBW,bloc
k_vcalls_new,block_vcalls_new1);

Total_vcalls=Total_vcalls+New_arrivals;
Total_vcalls1=Total_vcalls1+New_arrivals1;
CalcActiveSessions(voice_calls)

for t=2:T
    % Step 1 - Find the next position of each mobile station (whether it has an active call or not)
    MSposition_old=MSposition;
```

```
[MSposition]=find_next_cell(Transition_table,MSposition);

% Step 2 - Find the estimated next cell. This function is provided by the
% Path Prediction Algorithm (PPA). Here we "simulate" this, by defining
% a probability for the PPA algorithm to correctly identify the next
% cell and by using the MSposition that was found before ([find_next_cell])
[Estimated_MSposition]=Estimate_next_cell(MSposition,pPPA);

g=mod(t,4)+1; % we use 4, because we want to average the call rate during the last 4 periods
table1(g,:)=CellArrivals1+CellArrivals2;

% Step 3 - Calculate the average arrivals in each cell, in the last 4
% time periods. This will be used in the cost of bandwidth S
average_arrivals_per_cell=mean(table1);

% Step 4 - Calculate the cost of bandwidth unit (S) for all the cells
y=1-availableBW_BS./totalBW_BS;
S=y.*exp(y).*exp(average_arrivals_per_cell/10);

% Store the value of unit bandwidth in the S_all table. This will be
% used for the calculation of the variance of S
S_all(t-1,:)=S;

% Step 5 - Resource evaluation from Mobile Stations
BenefitMS=f.*(di./dmax);

% Step 6 - Calculate the value of the option C for each BS
% E is the exercise price of the option
% S is the current price of unit bandwidth. In our scenario we make the
% assumption that E=S.

varianceS=var(S_all);
d1=((r+varianceS/2).*texpire)./(sqrt(varianceS).*texpire);
d2=d1-sqrt(varianceS.*texpire);

C=S.*normcdf(d1,0,1)-S.*exp(-r.*texpire).*normcdf(d2,0,1);

% Step 7 - Examine which of the MS are eligible for a reservation (i.e. MS that are already in a call
% and have not performed a negotiation already) and for these MS make the reservations

for i=1:numberMS
    % The specific MS has a voice call, but didn't perform a reservation yet
    if(dur_calls(i)>=1 && reservMS(i)==0)

        % Check if the MS believes that a handover will occur in the next timeslot

        if(MSposition_old(i,:)==Estimated_MSposition(i,:))
            ;
        else
            % Find in which BS the MS estimates it will go after the handover
            tempnextBS=find(Estimated_MSposition(i,:));

            % Check if there is available bandwidth in the specific BS
            if(availableBW_BS(tempnextBS)>=voiceBW)
                % Check if is beneficial for the corresponding MS to make the reservation
                if(BenefitMS(i)>=(S(tempnextBS)+C(tempnextBS))/pPPA)
```



```

        % Make the reservation for the next BS for duration "texpire"
        NetworkEarnings=NetworkEarnings+S(tempnextBS)+C(tempnextBS);    % New line added in version
test3

        reservMS(i)=texpire;
        reservMSforBS(i)=tempnextBS;
        reservMSCost(i)=S(tempnextBS)+C(tempnextBS);                    % New line added in version test3b
        availableBW_BS(tempnextBS)=availableBW_BS(tempnextBS)-voiceBW;
    else
        ;
    end
else
    % Reject the reservation and increase the counter
    rejected_res_vcalls=rejected_res_vcalls+1;
    if(i==1)
        rejected_res_vcalls1=rejected_res_vcalls1+1;
    end
end
end

else
;
end
end

```

% Step 8 - Make the transition to the next cell. The function will also return the new availableBW per BS and the number

```

% of voice calls that were blocked during the handover
% Modified in version test3 (We added the NetworkEarnings and S parameters). Modified in version test3b
[voice_calls,dur_calls,reservMS,reservMSforBS,availableBW_BS,NetworkEarnings,block_vcalls_handover,block_vcall
s_handover1,Nhandovers,Nhandovers1,Hvcalls_est_withreserv,Hvcalls_fail_est_reserv,Hvcalls_noreserv,CellArrivals2,U
handover]=...
next_cell(MSposition,MSposition_old,Estimated_MSposition,voice_calls,dur_calls,availableBW_BS,voiceBW,reserv
MS,reservMSforBS,reservMSCost,Uhandover,S,NetworkEarnings,block_vcalls_handover,block_vcalls_handover1);

```

```

TotalHandovers_vcalls=TotalHandovers_vcalls+Nhandovers;
TotalHandovers_vcalls1=TotalHandovers_vcalls1+Nhandovers1;

```

```

HVcalls_est_withreserv=HVcalls_est_withreserv+Hvcalls_est_withreserv;
HVcalls_fail_est_reserv=HVcalls_fail_est_reserv+Hvcalls_fail_est_reserv;
HVcalls_noreserv=HVcalls_noreserv+Hvcalls_noreserv;

```

% Step 9 - Decrease the duration of all active calls by one

```

for i=1:numberMS
    if(dur_calls(i)>1)
        dur_calls(i)=dur_calls(i)-1;
        % Check if the corresponding MS has a reservation
        if(reservMS(i)>1)
            reservMS(i)=reservMS(i)-1;
        elseif(reservMS(i)==1)
            tempNextBS=reservMSforBS(i);
            availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)+voiceBW;
            reservMS(i)=0;
            reservMSforBS(i)=0;
        end
    end
end

```

% Step 10 Remove the ending calls from the voice\_calls, dur\_calls

% tables and update the availableBW table

```

elseif(dur_calls(i)==1)
    dur_calls(i)=0;

```

```

    voice_calls(i)=0;
    di(i)=0;
    tempBS=find(MSposition(i,:));
    availableBW_BS(tempBS)=availableBW_BS(tempBS)+voiceBW;
    if(reservMS(i)>=1)
        tempNextBS=reservMSforBS(i);
        availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)+voiceBW;
    end
    reservMS(i)=0;
    reservMSforBS(i)=0;

else
end
end
end

```

```

% Step 11 Produce the new calls and assign them the corresponding durations
% Modified in version test3 (We added the NetworkEarnings and S parameters)
[voice_calls,dur_calls,di,dmax,availableBW_BS,NetworkEarnings,block_vcalls_new,block_vcalls_new1,New_arrivals,New_arrivals1,CellArrivals1]=NewVoiceCalls(lambda,u,voice_calls,dur_calls,di,dmax,MSposition,availableBW_BS,NetworkEarnings,S,voiceBW,block_vcalls_new,block_vcalls_new1);

```

```

Total_vcalls=Total_vcalls+New_arrivals
Total_vcalls1=Total_vcalls1+New_arrivals1;

```

```

calls(t)=CalcActiveSessions(voice_calls);

```

```

BS1(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(1);
BS2(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(2);
BS3(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(3);
BS4(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(4);
BS5(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(5);
BS6(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(6);
BS7(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(7);
BS8(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(8);
BS9(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(9);
BS10(t)=totalBW_BS-availableBW_BS(10);
end

```

```

% ***** RESULTS *****

```

```

averageOccup1=mean(BS1)
averageOccup2=mean(BS2)
averageOccup3=mean(BS3)
averageOccup4=mean(BS4)
averageOccup5=mean(BS5)
averageOccup6=mean(BS6)
averageOccup7=mean(BS7)
averageOccup8=mean(BS8)
averageOccup9=mean(BS9)
averageOccup10=mean(BS10)

```

```

TotalAverageOccupancy=averageOccup1+averageOccup2+averageOccup3+averageOccup4+averageOccup5+averageOccup6+averageOccup7+averageOccup8+averageOccup9+averageOccup10

```

NetworkEarnings

```

TotalHandovers_vcalls
HVcalls_est_withreserv
HVcalls_fail_est_reserv
HVcalls_noreserv

```

Προδραστική Διαχείριση Πόρων σε ασύρματα δίκτυα με τη χρήση δικαιωμάτων προαίρεσης (stock options)

```
rejected_res_vcalls
```

```
block_vcalls_handover  
block_vcalls_handover1
```

```
block_vcalls_new
```

```
Total_vcalls  
Total_vcalls1
```

```
TotalHandovers_vcalls  
TotalHandovers_vcalls1
```

```
%probability_blocked_handoverWRES=block_vcalls_handoverWITHres/TotalHandovers_vcalls  
%probability_blocked_handoverNORES=block_vcalls_handoverNOres/TotalHandovers_vcalls  
probability_blocked_handover=block_vcalls_handover/TotalHandovers_vcalls  
probability_blocked_new_call=block_vcalls_new/Total_vcalls
```

```
probability_blocked_handover1=block_vcalls_handover1/TotalHandovers_vcalls1  
probability_blocked_new_call1=block_vcalls_new1/Total_vcalls1
```

```
% Plot the Number of Active Calls vs Time
```

```
figure  
plot(calls)  
title('Number of active calls vs Time')  
xlabel('Time')  
ylabel('Active calls')
```

```
% Plot the utilization of Base Stations in Kb/s
```

```
figure  
subplot(2,5,1);plot(BS1)  
xlabel('BS1')  
subplot(2,5,2);plot(BS2)  
xlabel('BS2')  
subplot(2,5,3);plot(BS3)  
xlabel('BS3')  
title('Cell occupancy vs Time')  
subplot(2,5,4);plot(BS4)  
xlabel('BS4')  
subplot(2,5,5);plot(BS5)  
xlabel('BS5')  
subplot(2,5,6);plot(BS6)  
xlabel('BS6')  
subplot(2,5,7);plot(BS7)  
xlabel('BS7')  
subplot(2,5,8);plot(BS8)  
xlabel('BS8')  
subplot(2,5,9);plot(BS9)  
xlabel('BS9')  
subplot(2,5,10);plot(BS10)  
xlabel('BS10')
```

```
% End of initialization script
```

## Αρχείο **NewVoiceCalls.m**

```
% In this function we generate new calls and allocate them to the
% population of MS. For each new call generated we also calculate the
% Duration of the call, based on the exponential distribution

function
[voice_calls,dur_calls,di,dmax,availableBW_BS,NetworkEarnings,block_vcalls_new,block_vcalls_new1,New_arrivals,Ne
w_arrivals1,CellArrivals1]=NewVoiceCalls(lambda,u,voice_calls,dur_calls,di,dmax,MSposition,availableBW_BS,NetworkE
arnings,S,voiceBW,block_vcalls_new,block_vcalls_new1);

[numberMS,numberBS]=size(MSposition); % New line added in version test3
CellArrivals1=zeros(1,numberBS); % New line added in version test3
% numberMS=length(voice_calls); % delete this line in version test3

% Calculation of new arrivals (new calls) on the given timestamp (Poisson distribution)
New_arrivals=poissrnd(lambda);

New_arrivals1=0;

% check if no new call was generated
if New_arrivals==0
    return
end

% If the number of new calls exceeds the number of available slots for new
% calls, some calls should be rejected
active_calls=CalcActiveSessions(voice_calls);
if(New_arrivals>numberMS-active_calls)
    New_arrivals=numberMS-active_calls;
end

% Generate the duration for the new calls and store in the matrix temp_duration
% The exponential distributon is used for this
temp_duration=round(exprnd(u,1,New_arrivals));
for i=1:New_arrivals
    if(temp_duration(i)==0)
        % Ayto ginetai gia na apofeyx8ei h dhmiourgia klhswn diarkeias
        % mhden (epeita apo th stroggylopoihs)
        temp_duration(i)=1;
    end
end

% Here we randomly allocate the new calls, to the MS that are in idle state
New_positions=randint(1,New_arrivals,[1,numberMS]);

% The new voice_calls matrix is build, based on the New_positions
% calculated above. In the same time the dur_calls which contains the
% duration for all the calls is populated
for i=1:New_arrivals
    j=New_positions(i);

    for k=1:numberMS
        l=mod(j+k-1,numberMS);
        if(l==0)
            l=length(voice_calls);
        end

        % Ensure that the MS is not already handling another call. If it is
        % then assign the call the next available MS
        if(voice_calls(l)==0)
            % Find in which cell the new call is generated, i.e. in which
            % cell the corresponding MS belongs now
            tempBS=find(MSposition(l,:));
```

```
% check if there is available bandwidth in the corresponding BS
if(availableBW_BS(tempBS)>=voiceBW)
    % Increase the earnings of the network
    NetworkEarnings=NetworkEarnings+S(tempBS); % New line added in version test3

    CellArrivals1(tempBS)=CellArrivals1(tempBS)+1; % New line added in version test3
    voice_calls(l)=1;
    dur_calls(l)=temp_duration(i);
    di(l)=temp_duration(i);
    if(di(l)>dmax(l))
        dmax(l)=di(l);
    end

    if(l==1)
        New_arrivals1=1;
    end

    availableBW_BS(tempBS)=availableBW_BS(tempBS)-voiceBW;
    break
elseif(availableBW_BS(tempBS)<voiceBW)
    % increase the counter of new calls that are rejected
    block_vcalls_new=block_vcalls_new+1;

    if(l==1)
        block_vcalls_new1=block_vcalls_new1+1;
    end
    break
else
    fprintf('Problem ocured in function NewVoiceCalls\n')
end
end
end
end
end
```

Προδραστική Διαχείριση Πόρων σε ασύρματα δίκτυα με τη χρήση δικαιωμάτων προαίρεσης (stock options)

Αρχείο **CalcActiveSessions.m**

% count the number of active sessions

```
function [ActiveSessions]=CalcActiveSessions(sessions)
```

```
ActiveSessions=0;
```

```
for i=1:length(sessions)
```

```
    if(sessions(i)==1)
```

```
        ActiveSessions=ActiveSessions+1;
```

```
    end
```

```
end
```

Αρχείο **find\_next\_cell.m**

```
function [new_position]=next_cell(Transition_table,MSposition)

% oldMSposition=MSposition; % We do need to keep the old position

% Nhandovers=0;

[numberMS,numberBS]=size(MSposition);

% Calculation of the probabilities to go to the new position based on the transition matrix
probab=MSposition*Transition_table;

% Calculation of the new position

new_position=zeros(numberMS,numberBS);
for i=1:numberMS
    p=rand(1);
    tempCumulProb=0;
    for j=1:numberBS
        tempCumulProb=tempCumulProb+probab(i,j);
        if(p-tempCumulProb<0)
            new_position(i,j)=1;
            break
        else
            new_position(i,j)=0;
        end
    end
end
end
```

Αρχείο **Estimate\_next\_cell.m**

```
% This function replaces the PPA algorithm

function [MSposition]=Estimate_next_cell(MSposition,pPPA)

[numberMS,numberBS]=size(MSposition);

% Find all the MS that fail in the estimation (randomly), with probability pPPA
MS_fail= randsrc(numberMS,1,[0 1; pPPA (1-pPPA)]);

for i=1:numberMS
    if(MS_fail(i)==1)
        j=find(MSposition(i,:));
        if(j==1)
            l=2;
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        elseif(j==numberBS)
            l=numberBS-1;
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        else
            l=j-1+2*mod(i,2);
            MSposition(i,j)=0;
            MSposition(i,l)=1;
        end
    end
end
end
```



## Αρχείο `next_cell.m`

```

function
[voice_calls,dur_calls,reservMS,reservMSforBS,availableBW_BS,NetworkEarnings,block_vcalls_handover,block_vcalls_
handover1,Nhandovers,Nhandovers1,Hvcalls_est_withreserv,Hvcalls_fail_est_reserv,Hvcalls_noreserv,CellArrivals2,Uha
ndover]=next_cell(MSposition,MSposition_old,Estimated_MSposition,voice_calls,dur_calls,availableBW_BS,voiceBW,res
ervMS,reservMSforBS,reservMSCost,Uhandover,S,NetworkEarnings,block_vcalls_handover,block_vcalls_handover1)

Nhandovers=0;
Nhandovers1=0;

Hvcalls_est_withreserv=0;
Hvcalls_fail_est_reserv=0;
Hvcalls_noreserv=0;

[numberMS,numberBS]=size(MSposition);
CellArrivals2=zeros(1,numberBS); % Introduced in version test3

l=length(Uhandover); % Introduced in version test3b
if(l==1) % Introduced in version test3b
    l=0; % Introduced in version test3b
end % Introduced in version test3b

for i=1:numberMS
    if(MSposition(i,:)==MSposition_old(i,:)) % Check if the MS changed cell
        ; % No action
    else
        if(voice_calls(i)==1) % Check if the MS that changes cell has an active call (handover)
            Nhandovers=Nhandovers+1; % Increase by 1 the number of handovers

            if(i==1)
                Nhandovers1=Nhandovers1+1;
            end

            tempPrevBS=find(MSposition_old(i,:));
            % Release the resources from the previous BS
            availableBW_BS(tempPrevBS)=availableBW_BS(tempPrevBS)+voiceBW;

            tempNextBS=find(MSposition(i,:));
            CellArrivals2(tempNextBS)=CellArrivals2(tempNextBS)+1; % Introduced in version test3

            if(reservMS(i)>0 && tempNextBS==reservMSforBS(i)) % Check if the MS has a reservation and the
                % estimated position is correct
                reservMS(i)=0;
                reservMSforBS(i)=0;

                l=l+1; % Introduced in version test3b
                Uhandover(l)=dur_calls(i)/reservMSCost(i); % Introduced in version test3b

                % Increase counter vcalls_est_withreserv
                Hvcalls_est_withreserv=Hvcalls_est_withreserv+1;

            elseif(reservMS(i)>0) % Check if the MS has a reservation and the estimated position is NOT correct
                reservMS(i)=0;
                % find the estimated BS and clear the bandwidth
                tempEstBS=reservMSforBS(i);
                availableBW_BS(tempEstBS)=availableBW_BS(tempEstBS)+voiceBW;
                reservMSforBS(i)=0;

                % Check if there is available bandwidth on MSposition(i,:)

                if(availableBW_BS(tempNextBS)>=voiceBW)
                    l=l+1; % Introduced in version test3b
                end
            end
        end
    end
end
    
```

```

    Uhandover(l)=dur_calls(i)/reservMSCost(i);      % Introduced in version test3b

    % if yes proceed with the handover. Increase counter vcalls_fail_est_reserv
    Hvcalls_fail_est_reserv=Hvcalls_fail_est_reserv+1;
    availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)-voiceBW;
else
    % if no reject the call. Increase the block_vcalls_handover counter, dur_calls(i)=0, voice_calls(i)=0
    block_vcalls_handover=block_vcalls_handover+1;
    dur_calls(i)=0;
    voice_calls(i)=0;
    if(i==1)
        block_vcalls_handover1=block_vcalls_handover1+1;
    end

end

elseif(reservMS(i)<=0)                                % The MS does not have a reservation
    tempNextBS=find(MSposition(i,:));

    % Check if there is available bandwidth on MSposition(i,:)

    if(availableBW_BS(tempNextBS)>=voiceBW)
        l=l+1;                                         % Introduced in version test3b
        Uhandover(l)=dur_calls(i)/S(tempNextBS);      % Introduced in version test3b

        % Increase the earnings of the network
        NetworkEarnings=NetworkEarnings+S(tempNextBS); % New line added in version test3
        % if yes proceed with the handover. Increase counter Hvcalls_noreserv
        Hvcalls_noreserv=Hvcalls_noreserv+1;
        availableBW_BS(tempNextBS)=availableBW_BS(tempNextBS)-voiceBW;
    else
        % if no reject the call. Increase the block_vcalls_handover counter, dur_calls(i)=0, voice_calls(i)=0
        block_vcalls_handover=block_vcalls_handover+1;
        dur_calls(i)=0;
        voice_calls(i)=0;

        if(i==1)
            block_vcalls_handover1=block_vcalls_handover1+1;
        end
    end
end
else
    fprintf('Error 301\n'); % Print an error message. We should never reach this branch
end

else
    ; % no action
end
end
end
end

```

## Αναφορές

- [1] Corporate Finance by Ross, Westerfield, Jaffe, Sixth Edition, The McGraw-Hill Companies, 2002
- [2] Options, Futures, and Other Derivative Securities. John Null, University of Toronto, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- [3] George Alyfantis, Stathes Hadjiefthymiades and Lazaros Merakos, "Proactive Resource Management for the Mitigation of Service Discontinuation in Mobile Networks", in Proc. *ICCCN 2006*, Washington DC, USA, October, 2006
- [4] <http://www.hoadley.net/options/bs.htm> Στον σύνδεσμο αυτό παρέχονται λεπτομέρειες για το μοντέλο Black-Scholes, και πιο συγκεκριμένα για την περίπτωση που οι υποκείμενες μετοχές δεν δίνουν μέρισμα. Στην περίπτωση αυτή το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα ευρωπαϊκά options.
- [5] [http://www.global-derivatives.com/index.php?id=14&option=com\\_content&task=view#NoDiv](http://www.global-derivatives.com/index.php?id=14&option=com_content&task=view#NoDiv) Στον σύνδεσμο αυτό όπως και προηγουμένως περιγράφονται αναλυτικά οι προϋποθέσεις ισχύος του μοντέλου Black-Scholes και επίσης περιγράφονται τα Israeli options που αναφέρονται στα στοιχεία για περαιτέρω μελέτη.
- [6] M Kyriakakos, S. Hadjiefthymiades, N. Fragkiadakis and L. Merakos, "Enhanced Path Prediction for Network Resource Management in Wireless LANs", in *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol.10, No.6, 2003
- [7] S. Hadjiefthymiades, S. Papayiannis and L. Merakos, "Using Path Prediction to improve TCP performance in Wireless/Mobile Communications", in *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, 2002
- [8] I. Priggouris, E. Zervas and S. Hadjiefthymiades, "Location Based Network Resource Management", chapter in [Handbook of Research on Mobile Multimedia](#) (editor: Ismail Khalil Ibrahim), Idea Group Inc., May 2006 (ISBN: 1-59140-866-0)