

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Always Best Connected

Υλοποίηση μηχανισμών επιλογής δικτύου πρόσβασης σε  
περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> Γενιάς

Καλτσάς Ιωάννης

AEM: 129

Επιβλέποντες Καθηγητές: δρ. Μαλαματή Λούτα, δρ.  
Σαρηγιαννίδης Παναγιώτης

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές, δρ. Μαλαματή Λούτα και δρ. Σαρηγιαννίδη Παναγιώτη για την καθοδήγησή τους κατά την διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής και για την βοήθειά τους πάνω σε καίρια ζητήματα της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ζουρνατζή Φίλιππο που μέσω της διπλωματικής του εργασίας, κατανόησα πλήρως το θεωρητικό υπόβαθρο του θέματος που ανέλαβα. Τέλος, θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ σε όλους όσους με στήριξαν όλη αυτή την χρονική περίοδο και με βοήθησαν με τον δικό τους ξεχωριστό τρόπο, έτσι ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω την εν λόγω διπλωματική.

## Abstract

New requirements emerge for mobile terminal management in the context of heterogeneous, fourth generation communication systems: terminals should incorporate mechanisms for managing the access network selection process, and for detecting and exploiting contextual information, for the purpose of choosing the best available network in every situation. The fulfillment of these requirements introduces the need for defining a new Mobile Terminal Management System, capable of detecting the availability of access points in the terminal's neighborhood, of making the optimal decision regarding the allocation of both running and requested services to network interfaces and quality levels, according to the user's profile. In this context, the contribution of this project lies in the implementation of a mechanism that is capable of finding the best connection (ABC – Always Best Connected) within the range of user's terminal. For the deployment of this abc mechanism we used policies and the methods of multicriteria decision making (MCDM) AHP and TOPSIS. To test this implementation, it has been used an environment which consists of different types of wireless technologies belonging in different service providers.

## Περίληψη

Στο περιβάλλον των ετερογενών συστημάτων επικοινωνιών τέταρτης γενιάς προκύπτουν νέες απαιτήσεις για τη διαχείριση των κινητών τερματικών: αυτά θα πρέπει να ενσωματώνουν μηχανισμούς για τη διαχείριση της διαδικασίας επιλογής δικτύου πρόσβασης, καθώς και για την ανίχνευση και την αξιοποίηση πληροφορίας που σχετίζεται με το εκάστοτε πλαίσιο χρήσης, με τελικό στόχο την καταλληλότερη επιλογή δικτύου σε κάθε περίπτωση. Η εκπλήρωση αυτών των απαιτήσεων εισάγει την ανάγκη περιγραφής ενός μηχανισμού, ικανού να ανιχνεύει τη διαθεσιμότητα σημείων πρόσβασης στην περιοχή του τερματικού, να λαμβάνει τη βέλτιστη απόφαση σχετικά με την ανάθεση των τρεχουσών και των ζητούμενων υπηρεσιών σε δικτυακές διεπαφές και σε επίπεδα ποιότητας σύμφωνα πάντα με το προφίλ, τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς που θέτει κάθε φορά ο χρήστης. Σε αυτό το πλαίσιο, η συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής έγκειται στην υλοποίηση ενός μηχανισμού εύρεσης καταλληλότερου δικτύου εντός ενός περιβάλλοντος στο οποίο υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματων δικτύων διαφορετικών παρόχων με την βοήθεια των πολιτικών και των μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDM) AHP και TOPSIS.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	6
Εισαγωγή.....	6
1.1 Δίκτυα 4 <sup>ης</sup> γενιάς (4G) .....	6
1.2 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G Τεχνολογίας .....	8
1.3 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G υπηρεσιών .....	10
1.4 Ενδεικτικές υπηρεσίες 4G .....	10
1.5 Σύνοψη.....	12
1.6 Always Best Connected (ABC) .....	12
1.7 Επιλογή δικτύου πρόσβασης (ANS – Access Network Selection).....	15
1.8 Θέμα διπλωματικής.....	16
1.9 Διάρθρωση διπλωματικής.....	16
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> .....	18
Πρόβλημα επιλογής δικτύου πρόσβασης (ANS).....	18
2.1 Θέματα σχεδιασμού ANS .....	18
2.2 Έναρξη μηχανισμού ANS.....	19
2.3 Κριτήρια απόφασης επιλογής δικτύου.....	20
2.4 Περιγραφή προβλήματος ANS στα πλαίσια της διπλωματικής .....	21
Κεφάλαιο 3ο .....	22
Μεθοδολογίες λήψης απόφασης για την επίλυση του προβλήματος ANS .....	22
3.1 Επιλογή δικτύου πρόσβασης με χρήση κατωφλίου .....	22
3.1.2 Αλγόριθμος RSS με υστέρηση (Hysteresis).....	23
3.2 Συναρτήσεις απόφασης (Decision functions) .....	23
3.3 Multiple Criteria Decision Making (MCDM).....	24
3.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων	26
3.3.2 Τα πλεονεκτήματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης συγκριτικά με την ανεπίσημη κρίση .....	27
3.3.3 Τεχνικές MCDM:.....	27
Μέθοδος TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).....	28
Μέθοδος AHP (Analytical Hierarchy Process) .....	29
3.4 Πολιτικές (policies).....	31
3.5 Ασαφής λογική (Fuzzy logic) .....	32
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....	34
Υλοποίηση .....	34
4.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης .....	34
4.2 Στοιχεία χρήστη .....	37

4.3 Υποστηριζόμενες υπηρεσίες ανά τερματικό.....	39
4.4 Πολιτικές.....	39
4.5 Η μέθοδος AHP .....	40
4.5.1 Η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου. ....	43
4.5.2 Η μέθοδος του ιδιοδιανύσματος .....	44
4.5.3 Συνέπεια:.....	46
4.6 Η μέθοδος TOPSIS:.....	53
4.6.1 Παράδειγμα υλοποίησης της εφαρμογής TOPSIS.....	55
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> :.....	59
Σενάρια – Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	60
Σενάριο 1: .....	60
Σενάριο 2: .....	62
Σενάριο 3: .....	64
Σενάριο 4: .....	69
Σενάριο 5: .....	74
Σενάριο 6: .....	80
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> .....	84
Συμπεράσματα / Επίλογος .....	84
Βιβλιογραφία .....	86

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα αναλυθούν εν συντομία το περιβάλλον επικοινωνίας 4<sup>ης</sup> γενιάς, η έννοια της επιλογής δικτύου πρόσβασης (ANS - Access Network Selection) και η έννοια του "συνεχώς συνδεδεμένος στο κατάλληλο δίκτυο" (ABC – Always Best Connected). Τέλος, αναφέρονται το θέμα και η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής.

### 1.1 Δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G)

Το σημερινό τοπίο των δικτύων παρουσιάζεται ιδιαίτερα ανομοιογενές. Η κατηγοριοποίηση των δικτύων, κυρίως βάσει των υπηρεσιών που προσφέρουν, δηλαδή φωνή και δεδομένα, πλέον εκφυλίζεται: απομακρυνόμαστε από τα μονολιθικά μοντέλα δικτύων και βαδίζουμε προς οριζόντια μοντέλα που δεν διατηρούν το αποκλειστικό προνόμιο των υπηρεσιών που προσφέρουν. Παρ' όλα αυτά, οι ιδιαίτερες δυνατότητες τους τα καθιστούν ιδανικά για συγκεκριμένες εφαρμογές, περιβάλλοντα και μοντέλα χρήσης. Έτσι, στο σημερινό τοπίο δικτύων κάνουν την παρουσία τους δίκτυα ευρείας και περιορισμένης κάλυψης, ασύρματα και ενσύρματα, ευρυζωνικά και μη, μικρής και μεγάλης κινητικότητας. Κοινός παρονομαστής αλλά και κινητήριος δύναμη για την εξέλιξή τους αποτελεί από την μια πλευρά η ευρεία εξάπλωση του Διαδικτύου (Internet) και από την άλλη πλευρά η σημαντική πρόοδος που έχει επιτευχθεί στα ασύρματα κινητά δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Ειδικά όσον αφορά τα τελευταία, ενώ στο παρελθόν είχαν ταυτιστεί με υπηρεσίες φωνής (GSM, 2<sup>η</sup> γενιά δικτύων), οι αυξημένες πλέον δυνατότητές τους κυρίως όσον αφορά τις ταχύτητες πρόσβασης και τη μεταφορά δεδομένων IP πάνω από αυτά (GPRS, UMTS) τα καθιστούν εναλλακτικά μέσα πρόσβασης σε υπηρεσίες IP. Παράλληλα, κατεξοχήν ενσύρματα δίκτυα IP προσπαθούν να καλύψουν την ανάγκη του τελικού χρήστη για ασύρματη πρόσβαση και υποστήριξη κινητικότητας. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα έρχονται προς αντικατάσταση της τεχνολογίας Ethernet και δίνουν αυτήν την ευελιξία στον τελικό χρήστη. Η πρόσβαση από το σπίτι, μέσω της γνωστής αναλογικής γραμμής τηλεφώνου, αντικαθίσταται από τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης όπως αυτή του DSL. Προσωπικά ασύρματα δίκτυα περιορισμένης εμβέλειας (Personal Area Networks, όπως το Bluetooth) δίνουν έναν ακόμη βαθμό ελευθερίας στην επικοινωνία μεταξύ τερματικών χρήστη για τυπικές εφαρμογές όπως η φωνή και τα δεδομένα. Το ανομοιογενές δικτυακό τοπίο έρχεται να συμπληρώσει μία εξίσου σημαντική ετερογένεια σε τερματικά χρήστη όσον αφορά 1) τις δυνατότητές τους (μέγεθος, ισχύς, μπαταρία) και 2) την τεχνολογία πρόσβασης που υποστηρίζουν (Ethernet, WLAN, GSM, UMTS, WIMAX).

Το δικτυακό τοπίο που περιγράφηκε παραπάνω έχει προκύψει, με το πέρασμα των χρόνων, από ανάγκες χρηστών για νέες υπηρεσίες και διαφορετικά περιβάλλοντα χρήσης τους. Είναι σημαντικό να δεχθούμε ότι μία εκ θεμελίων σχεδίαση των δικτύων για να καλυφθούν εξ' αρχής όλες οι ανάγκες είναι κάτι αδιανόητο. Οι

επενδύσεις που έχουν γίνει στα δίκτυα αυτά είναι σημαντικές και κατά συνέπεια τα εν λόγω δίκτυα θα συνεχίσουν να λειτουργούν και να παρέχουν τις υπηρεσίες τους στους χρήστες. Αυτό που λείπει από το όλο τοπίο και που αποτελεί και ένα βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η ενοποίηση και η διαλειτουργικότητα αυτών των δικτύων. Επομένως τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς έρχονται στο προσκήνιο κατά πρώτο λόγο για να ενοποιήσουν τα υπάρχοντα δίκτυα και να καταστήσουν όσο το δυνατόν απρόσκοπτη την παροχή υπηρεσίας στον τελικό χρήστη απαιτώντας την ελάχιστη δυνατή συμμετοχή και παρέμβασή του, και κατά δεύτερο λόγο για να εισάγουν νέες δυνατότητες για μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης. Η ενοποίηση αυτή των δικτύων με σκοπό την παροχή απρόσκοπτης υπηρεσίας στους χρήστες οπουδήποτε, οποτεδήποτε, ανεξαρτήτως τεχνολογίας πρόσβασης και τερματικού χρήστη, μπορεί να συντελεστεί σε πολλαπλά επίπεδα. Ξεκινώντας από το επίπεδο ενοποίησης που αντιλαμβάνεται ο χρήστης, το επίπεδο δηλαδή των υπηρεσιών, είναι επιθυμητή η υποστήριξη:

α) *κινητικότητας προσώπου* – να μπορεί δηλαδή ο χρήστης, ανεξάρτητα από το τερματικό και το δίκτυο πρόσβασης που χρησιμοποιεί, να απολαμβάνει το “προσωπικό” του περιβάλλον βάσει για παράδειγμα εγγεγραμμένων προφίλ χρήστη στον πάροχο υπηρεσιών.

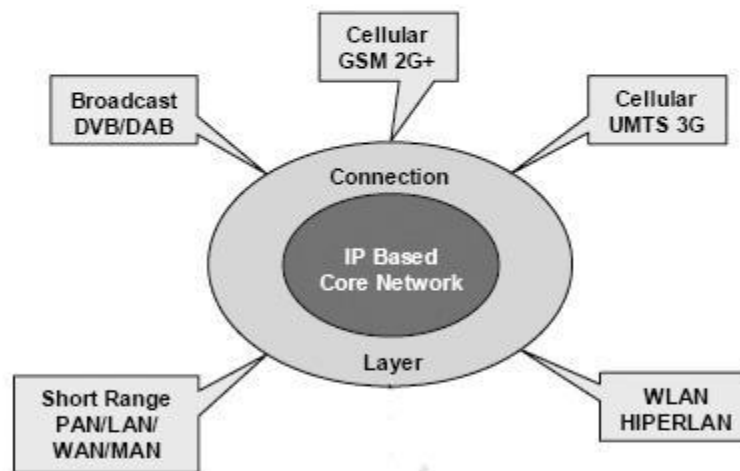
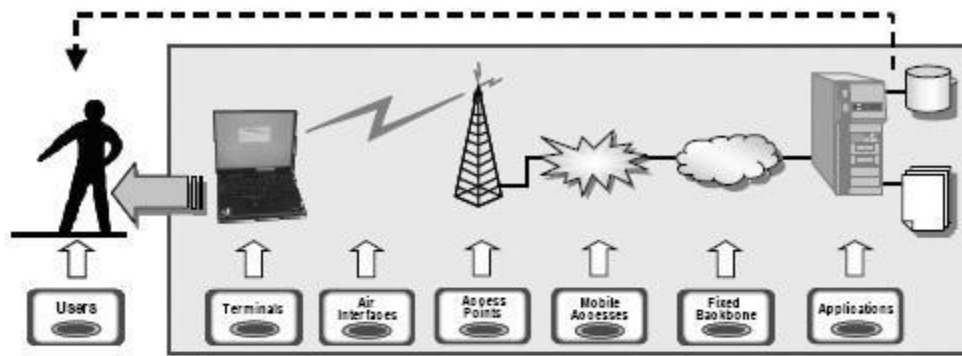
β) *κινητικότητας υπηρεσιών* – η παροχή της υπηρεσίας στο χρήστη να είναι ανεξάρτητη του δικτύου πρόσβασης και του τερματικού που χρησιμοποιεί.

γ) *κινητικότητας συνόδων* – να μπορεί δηλαδή ο χρήστης να μεταφέρει μία ενεργή σύνοδο από ένα τερματικό σε ένα άλλο κατόπιν δικής του παρέμβασης [1]. Κάτι τέτοιο είναι χρήσιμο για παράδειγμα όταν επιθυμεί να μεταφέρει στο κινητό του τηλέφωνο μία σύνοδο φωνής (VoIP) που τρέχει στον φορητό του υπολογιστή καθότι πρέπει να αποχωρήσει από τον χώρο εργασίας του.

δ) *κινητικότητας τερματικού* – να είναι δηλαδή εφικτή η διατήρηση των ενεργών συνόδων του τερματικού χρήστη ανεξάρτητα από την κινητικότητα του τελευταίου η οποία μπορεί να περιλαμβάνει την πιθανή εναλλαγή δικτύων πρόσβασης ίδιας ή διαφορετικής τεχνολογίας. Αν και η κινητικότητα τερματικού μπορεί να είναι διαχειρίσιμη τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε ανώτερα επίπεδα, την τοποθετούμε εδώ με κριτήριο το ότι γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη.

Άλλες λειτουργίες που καθιστούν σημαντική την ενοποίηση και διαλειτουργικότητα των δικτύων όπως αυτές της ταυτοποίησης, εξουσιοδότησης, χρέωσης, και παροχής ποιότητας υπηρεσίας από άκρο ως άκρο απλώς αναφέρονται για λόγους πληρότητας καθότι ξεφεύγουν από το αντικείμενο της διπλωματικής.





**Legend:**

PAN = Personal Access Network	DAB = Digital Analog Broadcast
LAN = Local Area Network	MAN = Metropolitan Area Network
WAN = Wide Area Network	UMTS = Universal Mobile Telecommunications System
DVB = Digital Video Broadcast	WLAN = Wireless Local Area Network

Εικόνα 1: Επικοινωνία σε περιβάλλον 4G και ενοποίηση των κυτταρικών δικτύων των ασύρματων δικτύων και των ευρυζωνικών υπηρεσιών.

## 1.2 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G Τεχνολογίας

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά από τεχνολογικής απόψεως, των δικτύων 4G.

- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από τα δίκτυα 3G, με εύρος τα 20 – 200 Mbps. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα 4G συστήματα θα είναι 10 – 20 Mbps για ακίνητα περιβάλλοντα και 2 Mbps για κινούμενα οχήματα.

- Μεγαλύτερη χωρητικότητα, καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος και μικρότερο κόστος ανά bit. Η χωρητικότητα των συστημάτων 3G δεν είναι πλέον αρκετή για να εξυπηρετήσει την εκρηκτικά αυξανόμενη κίνηση των πολυμέσων. Η χωρητικότητα για τα 4G συστήματα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G, ενώ το κόστος ανά bit πρέπει να μειωθεί δραματικά ώστε η χρέωση να μην είναι απαγορευτική.
- Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών QoS (Quality of Service). Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και μεταδιδόμενης ισχύος με αποτέλεσμα να δημιουργείται συμφόρηση. Επομένως, είναι απαραίτητο να παρέχεται ένα ικανοποιητικό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ιδιαίτερα αυτών που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- Προσαρμογή της φυσικής και της λογικής πρόσβασης (physical and Mac interface) αναλόγως του δικτύου που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Μέχρι τώρα το λογισμικό που ήταν υπεύθυνο για κάτι τέτοιο (software controlled radios), βρισκόταν αποκλειστικά σε μεγάλους σταθμούς βάσης, αλλά πλέον θα πρέπει να υπάρχει κάτι παρόμοιο και εντός των φορητών συσκευών. Επίσης, βασική παράμετρος είναι και η δημιουργία αλγορίθμων για εξοικονόμηση ενέργειας από την μπαταρία της συσκευής.
- Υποστήριξη Internet νέας γενιάς. Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολύ-μετάδοσης (multicasting) είναι σημαντική ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.
- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά δίκτυα. Με τη χρήση της τεχνολογίας βασισμένης σε πρωτόκολλα Internet (IP) θα είναι δυνατή η ομαλή διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών μέσω της διαδικασίας της κάθετης μεταπομπής (vertical handover) [3]. Ως αποτέλεσμα ο κάθε χρήστης θα μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο σύμφωνα με τις προτιμήσεις του.
- Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης. Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανομένου σήματος θα αυξηθεί ανάλογα. Εξ αιτίας του γεγονότος ότι η επιδιωκόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, η ακτίνα της κυψέλης θα μειωθεί, και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων θα υποβιβαστεί, αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Συνεπώς απαιτούνται μικρότερες κυψέλες (cells), για την επίτευξη των ζητούμενων μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης, για τον ίδιο πληθυσμό. Η χρήση συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας (wide range / variable speed) είναι αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων (3G, 4G).
- Υψηλότερες χρησιμοποιούμενες συχνότητες (μέχρι 5 GHz), με εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (RF) ανά κανάλι, 20 ~ 100 MHz.

- Χρησιμοποίηση πολλαπλών κεραιών, τόσο στους σταθμούς βάσης όσο και στις κινητές συσκευές, με χρήση του πρωτοκόλλου ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), αλλά και άλλων μεθόδων.

### 1.3 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G υπηρεσιών

Εδώ παρουσιάζονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των 4G υπηρεσιών.

- Υποστήριξη ευρυζωνικότητας και multimedia υπηρεσιών.
- Υψηλή ασφάλεια και ανοχή σφαλμάτων (fault-tolerance) στις επικοινωνίες, προσαρμοζόμενη δυναμικά στις απαιτήσεις του κάθε δικτύου και του εκάστοτε χρήστη και σε συνδυασμό με τη βέλτιστη χρήση των πόρων (φάσμα, μπαταρία, QoS) της κινητής συσκευής.
- Συγκεκριμένα, εξατομικευμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας και πιστοποιητικά ασφάλειας για κάθε παρεχόμενη υπηρεσία 4G και για κάθε κινητή συσκευή. Οποιαδήποτε πρόσβαση θα γίνεται μόνον εφόσον τα πιστοποιητικά πρόσβασης και των δύο πλευρών είναι αμοιβαία αποδεκτά (από τον πάροχο υπηρεσίας και από τον χρήστη).
- Συνδεσιμότητα παντού, με πλήθος δικτύων (σταθερά, κινητά, ad-hoc) και διάφορων παρόχων, με τρόπο διαφανή για το χρήστη. Για παράδειγμα, καθώς ο χρήστης κινείται και είναι συνδεδεμένος στο Internet ή συμμετέχει σε video-conference, θα μπορεί να αλλάζει δίκτυα (UMTS, WiFi, WiMax κλπ) και παρόχους, με τρόπο αυτόματο, χωρίς να διακόπτεται η σύνδεση του (seamless handoffs) και ισορροπώντας βέλτιστα μεταξύ ασφάλειας, ποιότητας σύνδεσης (QoS), κόστους παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και άλλων παραγόντων.
- Αυτόματη, έξυπνη και δυναμική διαπραγμάτευση όρων, κριτηρίων και συνθηκών πρόσβασης σε διάφορες υπηρεσίες και δίκτυα (Service level agreements, SLA), μέσω "λογισμικών πρακτόρων" (software agents)

### 1.4 Ενδεικτικές υπηρεσίες 4G

Παρακάτω παραθέτονται κάποιες από τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα 4G.

- Τηλεϊατρική, εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών και ηλικιωμένων (με έμφαση στην εμπιστευτικότητα και αξιόπιστη μετάδοση των προσωπικών δεδομένων). Τα πληρώματα των ασθενοφόρων σε απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και να τηλεδιασκεύονται (video-conference) με γιατρούς όπως και να μεταδίδουν κρίσιμες πληροφορίες του ασθενούς σε κεντρικά νοσοκομεία.

- Ανοικτή και εξ' αποστάσεως εκπαίδευση (e-learning), με χρήση πολυμεσικού υλικού από κινούμενους χρήστες. Η παροχή ενσύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης στο Internet είναι οικονομικά ασύμφορη για κατοίκους αραιοκατοικημένων ή απομακρυσμένων περιοχών. Οι ασύρματες επικοινωνίες ευρείας ζώνης μπορούν να λύσουν αυτό το πρόβλημα.
- Διαδραστική, κινητή τηλεόραση και video, όπου, το καθημερινό πρόγραμμα που παρακολουθεί ο χρήστης, διαμορφώνεται ανάλογα με το προφίλ του και τις επιθυμίες του, σε πραγματικό χρόνο.
- Δικτυακά, πολυμεσικά, παιχνίδια με παγκόσμια διασυνδεδεμένους κινούμενους χρήστες.
- Εξ' αποστάσεως εργασία (tele-working) και online βοήθεια στην εργασία με χρήση φορητών πολυμεσικών συσκευών.
- Εικονική πλοήγηση (virtual navigation). Μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων περιέχει γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτηρίων και τοπογραφικών γνωρισμάτων. Κομμάτια αυτής της βάσης δεδομένων μεταδίδονται γρήγορα σε ένα όχημα όπου ένα υπολογιστικό πρόγραμμα επιτρέπει στους επιβάτες να προβλέπουν την μελλοντική διαδρομή, να επιλέγουν δρόμους με την μικρότερη κίνηση, να εντοπίζουν αξιοθέατα ή μουσεία ή να επιλέγουν εναλλακτικούς δρόμους σε περιπτώσεις ατυχημάτων.
- Σταθμός πληροφορίας (info station). Ένας οδηγός αυτοκινήτου μπορεί να λαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε ένα αυτοκινητόδρομο από και προς το χώρο εργασίας.
- Εφαρμογές τηλε-γεωδαισίας (tele-geoprocessing). Ο συνδυασμός συστημάτων γεωγραφικής πληροφόρησης (GIS) και συστημάτων προσδιορισμού θέσης (GPS) και ασύρματων κινητών συστημάτων υψηλής χωρητικότητας κάνει εφικτό το tele-geoprocessing.
- Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων [4]. Αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες σε περιόδους φυσικών καταστροφών όταν ολόκληρος ο τηλεπικοινωνιακός ιστός έχει παραλύσει. Η γρήγορη επαναλειτουργία των τηλεπικοινωνιών είναι αναγκαία. Η αυξημένη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης 4G τα οποία θα περιλαμβάνουν υπηρεσίες Internet και video conference επιτρέπουν την αποκατάσταση σε διάστημα ωρών σε αντιδιαστολή με τα ενσύρματα συστήματα που θα απαιτούσαν ημέρες ή ακόμα και εβδομάδες.
- Κινητά δίκτυα υπολογιστών. Κατά ανάλογο τρόπο με τα σταθερά δίκτυα υπολογιστών τα κινητά δίκτυα υπολογιστών διευκολύνουν οικονομικές συναλλαγές, επιχειρηματικές πράξεις και επιστημονική συνεργασία από απόσταση.

## 1.5 Σύνοψη

Είναι προφανές ότι προκειμένου τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς να είναι σε θέση να μπορέσουν να προσφέρουν όλες τις προαναφερθείσες υπηρεσίες θα πρέπει να οδηγηθούμε σε διασύνδεση διαφορετικών ασύρματων τεχνικών πρόσβασης, δηλαδή ετερογενών δικτύων και λειτουργία πάνω από IP δίκτυα (All-IP Convergence). Για παράδειγμα, τόσο τα WPANs και τα WLANs όσο και τα WMANs, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μία προέκταση των 3G κυτταρικών δικτύων UMTS, ώστε συσκευές συνδεδεμένες σε ένα WPAN να μπορούν να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν έναν συνδυασμό 3G και WLAN πρόσβασης επιλέγοντας αυτήν που είναι πλεονεκτικότερη την δεδομένη στιγμή.

## 1.6 Always Best Connected (ABC)

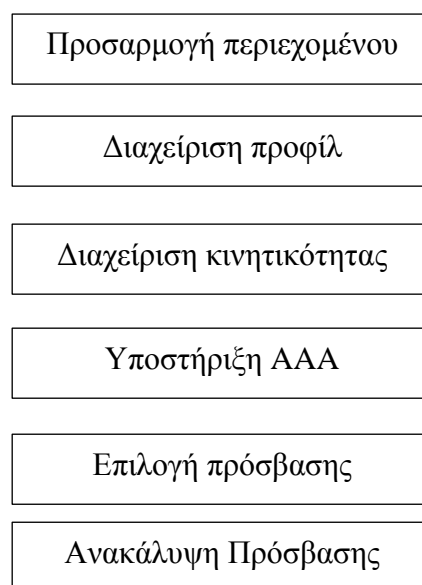
Με την ευρεία διάδοση των δεύτερης γενιάς κυψελωτών δικτύων (2G), όπως το Global System for Mobile Communications (GSM) κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 80, προέκυψε η επιτακτική ανάγκη του χρήστη να είναι συνεχώς συνδεδεμένος. Χάρης τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και την διαδικασία roaming, ένα κινητό τερματικό μπορεί να βρίσκεται συνεχώς συνδεδεμένο σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη στο οποίο υπάρχει τηλεπικοινωνιακή κάλυψη. Με την έλευση του GPRS (General Packet Radio Service) δόθηκε η δυνατότητα σύνδεσης μέσω IP σε χρήστες που χρησιμοποιούσαν το GSM. Έπειτα τα 3<sup>ης</sup> γενιάς κυψελωτά δίκτυα, όπως το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ήρθαν για να ενισχύσουν την συνδεσιμότητα στο Internet στα κινητά τερματικά. Παράλληλα με την εξέλιξη των κυψελωτών δικτύων, προέκυψαν και άλλες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και πλέον αποτελούν ένα κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Τα WLAN (Wireless Area Networks) την τελευταία δεκαετία μας παρέχουν ασύρματη πρόσβαση σε χώρους όπως είναι για παράδειγμα το γραφείο και το σπίτι μας.

Έτσι, σε ένα περιβάλλον με πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης, η έννοια του να είναι κάποιος συνεχώς συνδεδεμένος σε κάποιο δίκτυο (Always Connected) μετατρέπεται στο συνεχόμενα συνδεδεμένος στο καλύτερο δυνατό, δίκτυο (ABC – Always Best Connected). Αυτό, για έναν χρήστη σημαίνει ότι κάθε στιγμή θα είναι συνδεδεμένος στο καλύτερο δυνατό δίκτυο σύμφωνα πάντα με: τις προσωπικές προτιμήσεις του, το μέγεθος, και γενικότερα τις δυνατότητες που έχει η συσκευή που χρησιμοποιεί, τις απαιτήσεις που έχουν οι εφαρμογές που εκτελούνται στο κινητό τερματικό, το επίπεδο ασφάλειας που προσφέρουν τα δίκτυα πρόσβασης και γενικότερα οι διαθέσιμοι δικτυακοί πόροι.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η έννοια του ABC αναφέρουμε ένα σενάριο, στο οποίο ένας χρήστης βρίσκεται στην κατοικία του και πραγματοποιεί μία συνομιλία μέσω VoIP, ενώ βρίσκεται συνδεδεμένος στο WLAN προσωπικό δίκτυο του σπιτιού του. Εάν για κάποιο λόγο ο χρήστης αποφασίσει να φύγει από το σπίτι του και βρεθεί εκτός εμβέλειας του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένος, η σύνδεση του θα χαθεί. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, θα πρέπει να γίνει μεταφορά της σύνδεσης του, ή αλλιώς μεταπομπή (handover) σε ένα άλλο δίκτυο, το οποίο δεν χρειάζεται να είναι απαραίτητα της ίδιας τεχνολογίας με αυτό στο οποίο είναι ήδη συνδεδεμένος

(κατακόρυφη μεταπομπή – vertical handover). Έτσι, με την έλευση των 4G, επιτυγχάνεται η κατακόρυφη μεταπομπή από μία ασύρματη τεχνολογία σε μία άλλη όταν αυτό κριθεί απαραίτητο λόγω απώλειας σήματος ή και άλλων κριτηρίων που θα μπορούσαν να ενεργοποιήσουν την διαδικασία μεταπομπής. Εφόσον υπάρχει ανάγκη για εύρεση και σύνδεση σε ένα άλλο ασύρματο δίκτυο χωρίς να γίνει διακοπή της σύνδεσης, θα πρέπει να υπάρχει μία διαδικασία εύρεσης του καλύτερου δυνατού δικτύου για εκείνη την χρονική στιγμή. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η εύρεση του καταλληλότερου δικτύου γίνεται σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε χρήστη, τις δυνατότητες του κινητού τερματικού που διαθέτει, καθώς και τις απαιτήσεις των υπηρεσιών που εκτελούνται κάθε φορά. Επίσης, η επιλογή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη κάποια χαρακτηριστικά των δικτύων που εν δυνάμει μπορούν να παρέχουν κάλυψη στον χρήστη.

Σε ένα περιβάλλον όπου συνυπάρχουν πολλαπλές τεχνολογίες στις οποίες ο χρήστης είναι συνδεδεμένος μέσω της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας πρόσβασης και έχει τη δυνατότητα να μετακινείται αραγάς μεταξύ αυτών των τεχνολογιών, διατηρώντας παράλληλα συνδέσεις με εξυπηρετητές εφαρμογών, οι διάφορες λειτουργίες συχνά διαχωρίζονται σε διακριτές μονάδες. Αυτές περιλαμβάνουν την ανακάλυψη πρόσβασης (access discovery), την επιλογή πρόσβασης (access selection), την υποστήριξη λειτουργιών πιστοποίησης, εξουσιοδότησης και λογιστικής (authentication, authorization and accounting support), τη διαχείριση κινητικότητας (mobility management), τη διαχείριση προφίλ χρήστη (profile handling) και την προσαρμογή περιεχομένου (content adaptation), όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα: Λειτουργικές συνιστώσες σε ένα περιβάλλον πολλαπλών τεχνολογιών πρόσβασης.

Η ανακάλυψη πρόσβασης αφορά την εύρεση των διαθέσιμων δικτύων πρόσβασης και την περιοδική επανάληψη της διαδικασίας ανακάλυψης πρόσβασης προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποια καλύτερη εναλλακτική διαθέσιμη. Ένα σημαντικό ζήτημα που αφορά αυτές τις διεργασίες είναι η συλλογή στατιστικών στοιχείων των διάφορων δικτύων πρόσβασης.

Η επιλογή πρόσβασης όπως υπονοεί και η ονομασία, είναι η διαδικασία καθορισμού της ασύρματης τεχνολογίας στην οποία θα πρέπει να συνδεθεί το τερματικό. Στην περίπτωση όπου το τερματικό είναι εκείνο που επιλέγει την τεχνολογία πρόσβασης (MCHO/NAHO – Mobile Controlled HandOver / Network Assisted HandOver ), θα πρέπει να ενημερωθεί για τις δυνατότητες των δικτύων πρόσβασης. Στην περίπτωση που η λειτουργία επιλογής πρόσβασης στηρίζεται στο δίκτυο (NCHO – Network Controlled HandOver), απαιτείται ένα σύστημα διαχείρισης δικτύων για την παροχή πληροφοριών δικτύου, την εξισορρόπηση του φορτίου καθώς και τη μεγιστοποίηση του συνολικού ρυθμού απόδοσης του συστήματος. Η διαδικασία αυτή θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω.

Η υποστήριξη λειτουργιών πιστοποίησης εξουσιοδότησης και λογιστικής περιλαμβάνει την επαλήθευση της ταυτότητας του χρήστη, την εξακρίβωση των υπηρεσιών που δικαιούται ο χρήστης να χρησιμοποιήσει, καθώς και την συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών για τη χρέωση του για τις υπηρεσίες αυτές.

Η διαχείριση κινητικότητας αναφέρεται στην ικανότητα διατήρησης μίας συνόδου όταν το τερματικό κινείται μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης, καθώς και στη διατήρηση της επικοινωνίας με το χρήστη στο τρέχον δίκτυο οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η διαχείριση κινητικότητας μπορεί επίσης να επαυξηθεί ώστε να περιλαμβάνει και την ικανότητα διατήρησης μίας συνόδου όταν ο χρήστης εναλλάσσει διαφορετικές συσκευές. Σε αυτήν την περίπτωση ένα βασικό ζήτημα που προκύπτει είναι η κατάλληλη προσαρμογή του περιεχομένου των εφαρμογών.

Η διαχείριση του προφίλ περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες προσπέλασης, ανανέωσης και αποθήκευσης του προφίλ του χρήστη, το οποίο διαμορφώνεται όπως είναι οι προσωπικές του προτιμήσεις, τα διαπιστευτήριά του για την επικύρωση και λογιστικά δεδομένα.

Η προσαρμογή περιεχομένου αναφέρεται στην υποστήριξη δυναμικής διαμόρφωσης και επαναδιαμόρφωσης κάθε συνόδου, και με γνώμονα μια σειρά από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι τα διάφορα “media formats”, η κινητικότητα, και η αντιστοίχιση των επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας στα χαρακτηριστικά του δικτύου πρόσβασης [5].

Οι λειτουργικές συνιστώσες που περιγράφηκαν παραπάνω, καθώς και οι τεχνικές λύσεις που σχετίζονται με αυτές, θα πρέπει να κατανεμηθούν μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων της αρχιτεκτονικής αναφοράς που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα: Μοντέλο αναφοράς Always Best Connected

Οι συνιστώσες αυτής της αρχιτεκτονικής είναι:

- Το κινητό τερματικό (user terminal) (φορητός υπολογιστής, smartphone) το οποίο εκτελεί εφαρμογές για να συνδέεται στις διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης.
- Το δίκτυο πρόσβασης (access network) (3G, WLAN) το οποίο παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, στο δίκτυο ενός παρόχου.
- Το δίκτυο του παρόχου υπηρεσιών (service provider network).
- Ο εξυπηρετητής εφαρμογών (application server).

Η ανάπτυξη λύσης πρωτοκόλλου για την ανακάλυψη πρόσβασης και την επιλογή πρόσβασης αποτελεί το θέμα της τρέχουσας διπλωματικής. Το σύστημα διαχείρισης τερματικού που αναλύεται στην παρούσα εργασία, προτείνει τη μεταφορά της λειτουργικότητας ανακάλυψης και επιλογής πρόσβασης στο ίδιο το κινητό τερματικό απαλλάσσοντας έτσι το δίκτυο από σημαντικό υπολογιστικό φορτίο που σχετίζεται με την παρακολούθηση και την διαπομπή καθενός τερματικού ξεχωριστά, και ταυτόχρονα εισάγει τοπικά βελτιωμένη αυτονομία και ανεξαρτησία.

Όσον αφορά τις λύσεις για την υποστήριξη λειτουργιών πιστοποίησης, εξουσιοδότησης, λογιστικής, η ομάδα εργασίας εφαρμοσμένης μηχανικής διαδικτύου (Internet Engineering Task Force - IETF) αναπτύσσει το πρότυπο για το πρωτόκολλο γενιάς AAA, που ονομάζεται Diameter. Αυτό το πρωτόκολλο παρέχει σημαντικό αριθμό αναβαθμίσεων σε σχέση με το υπάρχον πρωτόκολλο (RADIUS).

Σε ότι αφορά τη διαχείριση της κινητικότητας, η συνέχεια της συνόδου (η ικανότητα δηλαδή διατήρησης μίας συνόδου όταν το τερματικό κινείται μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών) μπορεί να παρασχεθεί με τη χρήση του Mobile IP, μια λύση επιπέδου IP που στοχεύει στο να κάνει τις κινήσεις στο IP επίπεδο διαφανείς στα υψηλότερα επίπεδα πρωτοκόλλου. Η δυνατότητα επαφής οποιαδήποτε χρονική στιγμή με το χρήστη στο τρέχον δίκτυο και τερματικό του, μπορεί να παρασχεθεί με τη χρήση του πρωτοκόλλου έναρξης συνόδου (Session Initiation Protocol - SIP). Πιο συγκεκριμένα, το SIP είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου του επιπέδου εφαρμογών, οι κύριες λειτουργίες του οποίου είναι θέση / εντοπισμός χρήστη (user location), διαθεσιμότητα χρήστη (user availability), ικανότητες χρήστη (user capabilities), σύσταση συνόδου επιπέδου εφαρμογών (application level session set up) και διαχείριση συνόδου επιπέδου εφαρμογών (application level session management).

### **1.7 Επιλογή δικτύου πρόσβασης (ANS – Access Network Selection)**

Μία βασική συνιστώσα της λειτουργικότητας των συστημάτων πέραν της τρίτης γενιάς αφορά τη διαχείριση των επιλογών πρόσβασης των χρηστών της σύνθετης αρχιτεκτονικής. Η λειτουργικότητα αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι εντάσσεται στο γενικότερο πρόβλημα της διαχείρισης της κινητικότητας, η οποία περιλαμβάνει θέματα όπως η ικανότητα διατήρησης μίας συνόδου όταν το τερματικό κινείται μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης, η διατήρηση της επικοινωνίας με το



χρήστη στο τρέχον δίκτυο οποιαδήποτε χρονική στιγμή, καθώς και η ικανότητα διατήρησης μιας συνόδου όταν ο χρήστης εναλλάσσει συσκευές.

Από την ίδια ομάδα προβλημάτων, ένα από τα σημαντικότερα, τόσο από ερευνητική / θεωρητική όσο και από πρακτική σκοπιά, εμφανίζεται το πρόβλημα ανίχνευσης των εναλλακτικών επιλογών πρόσβασης του τερματικού καθώς και της πραγματοποίησης της σύνδεσης του στην επιλογή εκείνη που εγγυάται τη βέλτιστη παροχή υπηρεσίας. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι υλοποιήσεις συστημάτων πολλαπλών τεχνολογιών πρόσβασης περιλαμβάνουν κάποια λειτουργικότητα υπεύθυνη για την οδήγηση των τερματικών των χρηστών στο κατάλληλο επίπεδο ποιότητας καθώς και στο κατάλληλο δίκτυο για κάθε υπηρεσία, κατά τρόπο διαφανή.

Αυτό συνιστά ένα βραχυπρόθεσμο / μεσοπρόθεσμο πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο στο εξής ονομάζουμε πρόβλημα Ευφυούς Επιλογής Πρόσβασης (Intelligent Access Selection - IAS) [6],[7], που στοχεύει στην ανάθεση του τερματικού σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο, και η λύση του οποίου επιτρέπει την επιλογή της κατάλληλης ασύρματης τεχνολογίας μέσω της οποίας το τερματικό θα λαμβάνει τις υπηρεσίες αποτελεσματικά από άποψη κόστους και ποιότητας υπηρεσίας, με προσέγγιση πραγματικού χρόνου. Η λύση δηλαδή του προβλήματος συνιστάται σε μία βέλτιστη ανάθεση υπηρεσιών σε δίκτυα πρόσβασης και σε επίπεδα ποιότητας.

## 1.8 Θέμα διπλωματικής

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής ασχολείται κυρίως με την υλοποίηση μηχανισμών επιλογής δικτύου πρόσβασης σε περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών 4<sup>th</sup> Γενιάς. Όπως έγινε φανερό από το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο, η βέλτιστη επιλογή δικτύου πρόσβασης (ABC) δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία. Για τον λόγο αυτό υλοποιήθηκε ένας μηχανισμός εύρεσης βέλτιστου δικτύου χρησιμοποιώντας τις τεχνικές της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Πιο αναλυτικά, υλοποιούμε τις τεχνικές πολιτικών, την μέθοδο AHP και TOPSIS σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης στο οποίο υπάρχουν σταθμοί βάσης διαφορετικών τεχνολογιών (UMTS, WiFi, WiMax) και διαφορετικών παρόχων. Στο περιβάλλον αυτό υπάρχει ένας χρήστης και κατά συνέπεια ένα κινητό τερματικό που κινείται ελεύθερα στο χώρο. Όταν ο χρήστης επιθυμεί να κάνει χρήση μίας υπηρεσίας τότε ενεργοποιείται για πρώτη φορά ο αλγόριθμος εύρεσης βέλτιστου δικτύου πρόσβασης και σύμφωνα με τα κριτήρια τα οποία έχουμε ορίσει στην υλοποίηση τα οποία τα εξετάζουμε και τα συγκρίνουμε μεταξύ τους μέσω της τεχνικής MCDM (Multi Criteria Decision Making) και συγκεκριμένα με την χρήση των μεθόδων AHP και TOPSIS, έχουμε σαν αποτέλεσμα την επιλογή του βέλτιστου δικτύου πρόσβασης για κάθε σενάριο που θα εξεταστεί. Τέλος Ο μηχανισμός ενεργοποιείται όταν ο χρήστης εξέρχεται από το ήδη επιλεγμένο δίκτυο ή/και εισέρχεται σε ένα ή περισσότερα νέα δίκτυα

## 1.9 Διάρθρωση διπλωματικής

Η συνέχεια της εν λόγω εργασίας διαρθρώνεται στα επόμενα τέσσερα κεφάλαια όπου γίνεται περαιτέρω ανάλυση αναφορικά με το θέμα της επιλογής καταλληλότερου δικτύου και παρουσιάζεται η υλοποίηση του μηχανισμού και δίνονται τα αποτελέσματα αυτής προς ανάλυση για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αναλυτικότερα, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόβλημα επιλογής δικτύου και αναφέρονται τα σημαντικότερα θέματα του σχεδιασμού επιλογής δικτύου πρόσβασης (Access Network Selection - ANS), γίνεται η ανάλυση της διαδικασίας έναρξης ενός μηχανισμού ANS, δίνονται τα συνηθέστερα κριτήρια που υπάρχουν στην πλειονότητα της βιβλιογραφίας και σύμφωνα με τα οποία γίνεται η απόφαση επιλογής καταλληλότερου δικτύου και στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται μία περιγραφή προβλήματος ANS στα πλαίσια της διπλωματικής.

Συνεχίζοντας, στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται και επεξηγούνται κάποιες από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες λήψης απόφασης για την επίλυση του προβλήματος ANS. Μέσα σε αυτές αναφέρονται αναλυτικά και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν (πολιτικές - AHP - TOPSIS) για την υλοποίηση του μηχανισμού εύρεσης καταλληλότερου δικτύου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής ανάλυση της υλοποίησης του μηχανισμού. Συγκεκριμένα, περιγράφεται με διεξοδικό τρόπο το περιβάλλον προσομοίωσης και ποια είναι τα δομικά στοιχεία που το αποτελούν. Αναφέρονται οι πολιτικές – περιορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και παραδείγματα χρήσης και υπολογισμού της πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDM) και συγκεκριμένα των μεθόδων AHP και TOPSIS.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σενάρια προσομοίωσης που εξετάστηκαν μέσω του μηχανισμού επιλογής δικτύου πρόσβασης, παραθέτονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα τα οποία αναλύονται όσο το δυνατόν καλύτερα έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία της υλοποίησης του μηχανισμού.

Τέλος, υπάρχει ένας σύντομος επίλογος μαζί με κάποια συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την συνολική εικόνα της διπλωματικής και από τα αποτελέσματα των σεναρίων.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### Πρόβλημα επιλογής δικτύου πρόσβασης (ANS)

#### 2.1 Θέματα σχεδιασμού ANS

Το πρώτο ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό ενός μηχανισμού επιλογής απόφασης είναι ο προσδιορισμός του προβλήματος σε συνδυασμό με την οντότητα που θα αναλάβει την ευθύνη και τον έλεγχο της όλης διαδικασίας. Από την πλευρά των πάροχων υπηρεσιών, τα άκρως ανταγωνιστικά και ανοιχτά περιβάλλοντα θα πρέπει να περιλαμβάνουν μηχανισμούς που θα τους βοηθήσουν στην κατάσχεση τιμολογιακών πολιτικών, όπως για παράδειγμα η προσφορά παροχής υπηρεσίας υψηλής ποιότητας σε μία δεδομένη χρονική περίοδο με έναν αποδοτικό από πλευράς κόστους τρόπο. Τέτοιοι δικτυοκεντρικοί μηχανισμοί είναι συχνά συνδεδεμένοι με την αποδοτική διαχείριση των δικτυακών πόρων στην προσπάθεια εκπλήρωσης των αιτημάτων των χρηστών. Αντίθετα, οι μηχανισμοί που έχουν ως επίκεντρο τον χρήστη μεταφέρουν το πρόβλημα επιλογής δικτύου πρόσβασης στην μεριά των χρηστών, στοχεύοντας έτσι στο να εξυπηρετήσουν τους χρήστες εστιάζοντας στην ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών και λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που θέτουν.

Οι προσεγγίσεις των δικτυοκεντρικών δικτύων μπορούν να εφαρμοστούν με τρεις συμπληρωματικούς τρόπους [8] :

- Υιοθετώντας κατάλληλες τεχνικές βελτιστοποίησης.
- Χρησιμοποιώντας την υποβοήθηση του δικτύου.
- Αξιοποιώντας τις επαναδιαμορφώσεις του δικτύου έτσι ώστε να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες

Η όλη διαδικασία ελέγχεται από μία οντότητα διαχείρισης δικτύου που κατέχει την νοημοσύνη για την εκπλήρωση της διεργασίας. Μέσω της συνεργασίας δικτύων είναι δυνατόν να διαχειριστεί με επιτυχία την υπερβολική ζήτηση κυκλοφορίας, κατευθύνοντας τους χρήστες σε εναλλακτικά δίκτυα ή σε δίκτυα διαφορετικής τεχνολογίας που μπορούν να προσφέρουν τις ζητούμενες υπηρεσίες, σύμφωνα με τις τρέχουσες απαιτήσεις και τις προτιμήσεις της εφαρμογής και κατ'επέκταση του χρήστη. Σύμφωνα με αυτή την προοπτική, οι τεχνικές ANS πρέπει να συνυπολογίσουν και τις πιθανές συμφωνίες που πρέπει να γίνουν μεταξύ των φορέων υπηρεσιών. Τέλος, για την υποστήριξη ενός μηχανισμού επίλυσης προβλήματος ANS με επίκεντρο το κάθε αυτό δίκτυο, απαιτείται μία μαζική αναβάθμιση των στοιχείων του δικτύου, γεγονός που απαιτεί μεγάλη οικονομική δαπάνη για κάθε πάροχο.

Αν μεταφέρουμε το πρόβλημα της επιλογής δικτύου στην μεριά των χρηστών, τότε απαιτείται και εδώ μία αντίστοιχη οντότητα εγκατεστημένη στο τερματικό του χρήστη η οποία οφείλει να συλλέξει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις και πληροφορίες αφουγκραζόμενο το δικτυακό περιβάλλον και προβαίνοντας μόνο του στην λήψη απόφασης μεταπομπής.

Μέσω των μηχανισμών που αναφέρθηκαν προκύπτουν και άλλοι δύο οι οποίοι κάνουν χρήση και των δύο οντοτήτων (οντότητα δικτύου, οντότητα τερματικού). Στην πρώτη οι πληροφορίες και οι μετρήσεις από το τερματικό του χρήστη χρησιμοποιούνται από το δίκτυο, ώστε το τελευταίο να λάβει απόφαση, ονομάζεται network-controlled mobile - assisted (NCMA), ενώ η δεύτερη, όπου το δίκτυο παρέχει στον χρήστη απαραίτητες πληροφορίες, έτσι ώστε να παρθεί η απόφαση από την μεριά του χρήστη καλείται mobile - controlled network – assisted MCNA [9].

Όσον αφορά την υλοποίηση του μηχανισμού ANS στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχει επιλεγεί η προσέγγιση του MCNA καθώς αποτελεί μία αρκετά κατάλληλη επιλογή στα πλαίσια των ασύρματων δικτύων νέας γενιάς εφόσον το τερματικό θα είναι εκείνο που τελικά θα επιλέγει κάθε φορά το δίκτυο που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του χρήστη εκμεταλλεύοντας τις πληροφορίες που απορρέουν από τις οντότητες των δικτύων (π.χ. φόρτος δικτύου, ρυθμοαπόδοση). Με τον τρόπο αυτό οι χρήστες ικανοποιούνται άμεσα, κάτι που αποτελεί πρωταρχικό στόχο του κάθε παρόχου υπηρεσιών.

## 2.2 Έναρξη μηχανισμού ANS

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για την εκκίνηση του μηχανισμού επίλυσης του προβλήματος ANS, καθώς για την λύση του απαιτείται υπολογιστική ισχύς και κόστος από πλευράς δικτύου. Μία αναποτελεσματική λύση μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες μεταπομπές, με πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), στην χωρητικότητα του συστήματος και στον φόρτο σηματοδότησης. Επομένως θεωρούμε ότι ο μηχανισμός ANS πρέπει να ενεργοποιείται στις περιπτώσεις όταν:

- Υπάρχει ένα νέο αίτημα έναρξης υπηρεσίας
- Σε περίπτωση μίας ενεργής συνεδρίας
  - το κινητό τερματικό βρεθεί εντός εμβέλειας ενός νέου δικτύου ασύρματης πρόσβασης και κάτω από ορισμένες συνθήκες θα μπορούσε να αποτελέσει μία καλύτερη εναλλακτική λύση σε σχέση με την ήδη υπάρχουσα.
  - το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας είναι μικρότερο από ένα συγκεκριμένο κατώφλι.
- Υπάρχει αποτυχία της τρέχουσας σύνδεσης στην ασύρματη τεχνολογία ενός δικτύου πρόσβασης (RAT – Radio Access Technology), αποτυχία δικτύου ή αποτυχία της εκτέλεσης της μεταπομπής.
- Έπειτα από παρέμβαση του χρήστη.

## 2.3 Κριτήρια απόφασης επιλογής δικτύου

Ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού ενός μηχανισμού επιλογής πρόσβασης δικτύου είναι η αξιολόγηση των παραμέτρων απόφασης. Γενικά, οι λύσεις ενός ANS προβλήματος πρέπει να ικανοποιούν τις προτιμήσεις του χρήστη, τις απαιτήσεις του καθώς και τους περιορισμούς που επιβάλλει όσον αφορά το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας και την σχετική τιμή κόστους κάθε υπηρεσίας. Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών και των αντίστοιχων εφαρμογών, οι ικανότητες κάθε τερματικού και κάθε δικτύου και το οικονομικό κόστος. Μερικά από τα κριτήρια θεωρούνται στατικά λόγω του ότι οι τιμές τους δεν αλλάζουν τόσο συχνά, όπως για παράδειγμα το προφίλ χρήστη και τα χαρακτηριστικά του τερματικού ενώ άλλα κριτήρια είναι περισσότερο δυναμικά (κατάσταση δικτύου.).

Τα διάφορα συστήματα ANS στην βιβλιογραφία έχουν εντοπίσει διάφορα χαρακτηριστικά δικτύων ως πιθανά κριτήρια, ενώ υποσύνολα αυτών έχουν χρησιμοποιηθεί στις διάφορες στρατηγικές απόφασης. Μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Η Ποιότητα σύνδεσης, αξιολογείται σύμφωνα με δείκτες όπως η ισχύς λαμβανόμενου σήματος (RSS – Received signal strength), ο λόγος του φέρον σήματος με το σήμα παρεμβολής (CIR – Carrier to interference ratio), ο λόγος του σήματος με την παρεμβολή (SIR - signal to interference ratio) και ο λόγος του σήματος προς τον θόρυβο και την παρεμβολή (SNIR – Signal to noise and interference ratio)
- Διαθεσιμότητα δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη την γεωγραφική κάλυψη, την διαθεσιμότητα εύρους ζώνης και την πιθανότητα απόρριψης κλήσης.
- Θέματα επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας (QoS), λαμβάνοντας υπόψη την ρυθμοαπόδοση (throughput), την καθυστέρηση (latency), το jitter, τον λόγο των σφαλμάτων προς το συνολικό αριθμό των bit (BER – Bit error rate), τον λόγο απορριφθέντων πακέτων προς τα επιτυχώς σταλμένα πακέτα (packet loss ratio) και την μέση τιμή του αριθμού των αναμεταδόσεων ανά πακέτο.
- Αξιοπιστία δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα άρνησης παροχής υπηρεσίας και την αποτυχία μεταπομπής.

Τα προφίλ χρηστών μπορούν να ορίσουν για κάθε υπηρεσία τα χαρακτηριστικά των πρωταρχικών προτιμήσεων του χρήστη τα οποία συνδέονται άμεσα και με τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας της κάθε υπηρεσίας. Το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας μπορεί να θεωρηθεί ως ο προσδιορισμός των παραμέτρων ποιότητας που είναι σχετικές με τα χαρακτηριστικά κάθε υπηρεσίας. Οι χρήστες θα πρέπει να ορίσουν την μέγιστη τιμή κόστους που επιθυμούν να διαθέσουν για να έχουν πρόσβαση σε κάποια υπηρεσία (willingness to pay), μία ελάχιστη τιμή σχετικά με την ποιότητα σύνδεσης δικτύου που επιθυμούν να έχουν, την προτιμώμενη τεχνολογία δικτύου, τον προτιμώμενο πάροχο δικτύου και την ελάχιστη τιμή φήμης του δικτύου με το οποίο επιθυμούν να συνδεθούν.

Τέλος, πληροφορίες σχετικές με τον φόρτο δικτύου, την ταχύτητα του τερματικού, την τοποθεσία του και τα ενεργειακά αποθέματά του μπορούν να συνεισφέρουν αρκετά στην απόδοση της διαδικασίας επιλογής δικτύου [10].

## 2.4 Περιγραφή προβλήματος ANS στα πλαίσια της διπλωματικής

Τα δεδομένα του προβλήματος εμπίπτουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ένα σύνολο μετρήσεων που αντανακλούν τις δυνατότητες των διαθέσιμων σημείων πρόσβασης, όπως τα αντιλαμβάνεται το κινητό τερματικό. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις αυτές περιλαμβάνουν, για κάθε σημείο πρόσβασης στην περιοχή του τερματικού: (i) τη διαθεσιμότητα του σε εύρος ζώνης, (ii) την απόσταση του τερματικού από κάθε σταθμό βάσης (iii) τον τύπο της υποστηριζόμενης τεχνολογίας πρόσβασης, (iv) τον πάροχο δικτύου στον οποίο ανήκει, (v) το αναγνωριστικό του.
- Το σύνολο των υπηρεσιών που ήδη λαμβάνονται στο τερματικό και το σύνολο των υπηρεσιών τις οποίες ζητά ο χρήστης να λάβει, καθώς και τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας και για τα δύο αυτά σύνολα.
- Το σύνολο των προτιμήσεων του χρήστη, δηλαδή τη σειρά προτεραιότητας των παραμέτρων: κόστος, ποσότητα καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτείται για την σύνδεση σε ένα δίκτυο, την φήμη που έχει το κάθε δίκτυο και το μέγιστο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που υποστηρίζει. Όλα αυτά, βοηθούν στην δημιουργία ενός προφίλ χρήστη που σύμφωνα με αυτό θα γίνει και η κατάλληλη επιλογή δικτύου.

Ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος ANS θα πρέπει να ενεργοποιείται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν ο χρήστης εκδίδει ένα αίτημα εξυπηρέτησης, που αποσκοπεί στην έναρξη χρήσης μίας υπηρεσίας.
- Όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται στα όρια εμβέλειας του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένο.
- Όταν το κινητό τερματικό βρεθεί εντός εμβέλειας ενός νέου σημείου πρόσβασης.

Η λύση του προβλήματος προκύπτει από την χρήση των πολιτικών σε συνεργασία με τις πολυκριτηριακές τεχνικές απόφασης (MCDM – Multicriteria Decision Making)

Από όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι είναι πολλά τα κριτήρια τα οποία πρέπει να συνυπολογιστούν για να βρεθεί το κατάλληλο δίκτυο κάθε φορά. Επομένως, είναι κατανοητό ότι πρέπει να δημιουργηθεί μία μέθοδος στην οποία συνυπολογίζοντας όλα τα κριτήρια θα μπορούσαμε να βρούμε την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα αυτό. Ειδάλλως, η απόφαση για το καλύτερο δίκτυο χωρίς την χρήση κάποιας μεθόδου θα ήταν ως επί το πλείστον αμφισβητήσιμη, καθώς δεν είναι πάντα εύκολο να συγκρίνουμε ορθολογικά και αντικειμενικά όλα τα κριτήρια έτσι ώστε να καταλήξουμε στην βέλτιστη λύση. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα διπλωματική εργασία κάνουμε χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την λήψη απόφασης όσον αφορά την εύρεση του καταλληλότερου δικτύου.

## Κεφάλαιο 3ο

### **Μεθοδολογίες λήψης απόφασης για την επίλυση του προβλήματος ANS**

Στο σημείο αυτό γίνεται μία αναφορά στις πιο γνωστές στρατηγικές λήψης απόφασης που υπάρχουν στην βιβλιογραφία. Διακρίνουμε τέσσερις κατηγορίες: συναρτήσεις απόφασης, λήψη απόφασης με επίκεντρο τον χρήστη (user-centric), ασαφής λογική (Fuzzy logic), πολυκριτηριακή ανάλυση (multi-criteria)

#### **3.1 Επιλογή δικτύου πρόσβασης με χρήση κατωφλίου.**

Σε αυτή τη μεθοδολογία προκαθορίζεται ένα κατώφλι (threshold), το οποίο αποτελεί το βασικό και μοναδικό κριτήριο για την λήψη απόφασης επιλογής δικτύου. Για όσο χρονικό διάστημα η στάθμη της λαμβανόμενης ισχύος από το σταθμό βάσης το οποίο βρίσκεται σε ζεύξη με το κινητό τερματικό δεν πέφτει κάτω από το κατώφλι, δεν επιχειρείται handover. Σε μορφή μαθηματικής σχέσης θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής [11]:

$$(RSS_{curr} < Threshold) \text{ and } (RSS_{next} > RSS_{curr})$$

$RSS_{curr}$ : η στάθμη της λαμβανόμενης ισχύος από τον τρέχοντα σταθμό βάσης

$RSS_{next}$ : η στάθμη της λαμβανόμενης ισχύος από το επόμενο, υποψήφιο για handover σταθμό βάσης.

Threshold: Το κατώτατο όριο ή διαφορετικά το κατώφλι που ενεργοποιεί τον αλγόριθμο απόφασης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη βιβλιογραφία συναντάμε πολλές παραλλαγές αλγορίθμων πολλαπλών κατωφλίων.

### 3.1.2 Αλγόριθμος RSS με υστέρηση (Hysterisis)

Στη συγκεκριμένη κατηγορία αλγορίθμων εφαρμόζεται η τεχνική της υστέρησης. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή για να γίνει η επιλογή του κατάλληλου δικτύου θα πρέπει η στάθμη της λαμβανόμενης ισχύος από τα υποψηφία δίκτυα προς επιλογή να είναι μεγαλύτερη από τη στάθμη λαμβανόμενης ισχύος του τρέχοντος σταθμού βάσης προσαυξημένη κατά μία προκαθορισμένη τιμή ισχύος, η οποία καλείται υστέρηση. Σε μαθηματική μορφή αυτό θα μπορούσε να εκφραστεί ως εξής:

$$RSS_{curr} < RSS_{next} - hysteresis$$

Hysteresis: Η τιμή προσαύξησης της στάθμης της λαμβανόμενης ισχύος του τρέχοντος σταθμού βάσης ώστε να εκτελεστεί το handover.

### 3.2 Συναρτήσεις απόφασης (Decision functions)

Οι συναρτήσεις αυτές κάνουν χρήση πολλών κριτηρίων που αφορούν χαρακτηριστικά δικτύων είτε προτιμήσεις χρήστη. Σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια δημιουργούνται παραμετρικές σχέσεις, όπως κόστους, επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS) χρησιμότητας κτλ [12]. Σαν βέλτιστη λύση ορίζουμε αυτή που μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί την συνάρτηση. Για παράδειγμα δεχόμαστε την ελάχιστη τιμή σαν βέλτιστη λύση όταν αναφερόμαστε στη συνάρτηση κόστους και την μέγιστη τιμή όταν αναφερόμαστε στη συνάρτηση απόφασης QoS.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συναρτήσεων αυτών είναι το γεγονός ότι τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία των συναρτήσεων έχουν και ένα συγκεκριμένο βάρος ή διαφορετικά έναν βαθμό σημαντικότητας που καθορίζει την υπεροχή ενός κριτηρίου από ένα άλλο. Κάτι τέτοιο είναι πολύ σημαντικό για την τελική επιλογή του δικτύου πρόσβασης.

Η συνάρτηση απόφασης κόστους σε μία κάθετη μεταπομπή είναι μία μέτρηση της ωφελιμότητας που θα προκύψει εάν γίνει μετάβαση του τερματικού από ένα δίκτυο σε ένα άλλο. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζεται για κάθε δίκτυο  $n$  για το οποίο ο χρήστης βρίσκεται εντός εμβέλειας. Πρόκειται για το άθροισμα των συναρτήσεων βάρους συγκεκριμένων παραμέτρων. Η γενική μορφή της συνάρτησης κόστους  $f_n$  ενός ασύρματου δικτύου  $n$  δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_n = \sum_s \sum_i w_{s,i} \cdot p^{n_{s,i}}$$

Όπου  $s$  είναι η κάθε παραμετροποιημένη υπηρεσία.,  $p^{n_{s,i}}$  η παραμετροποιημένη σχέση για το  $i$  κριτήριο σε σχέση με την κάθε  $s$  υπηρεσία στο  $n$  δίκτυο. Η ποσότητα  $w_{s,i}$  είναι το βάρος (η σημαντικότητα) υποθέτοντας ότι χρησιμοποιούμε το  $i$  κριτήριο για την  $s$  υπηρεσία. Θα πρέπει φυσικά  $\sum_i w_{s,i} = 1$



Η πρώτη πολιτική ενεργοποίησης μίας μεταπομπής προτάθηκε το 1999 η οποία σύστησε την συνάρτηση κόστους για την επιλογή του καλύτερου διαθέσιμου δικτύου. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το εύρος ζώνης (bandwidth)  $B_n$  και το χρηματικό κόστος  $C_n$  του δικτύου  $n$ . Το κόστος χρησιμοποίησης του δικτύου  $n$  για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με το  $N(i)$  να είναι η συνάρτηση κανονικοποίησης της παραμέτρου  $i$  ορίζεται ως

$$f_n = w_b \cdot N(B_n) + w_c \cdot N(C_n)$$

Το δίκτυο που εμφανίζεται να έχει το χαμηλότερο κόστος επιλέγεται ως το καταλληλότερο. Έτσι, η συνάρτηση κόστους εκτιμά τις δυναμικές συνθήκες δικτύου και περιλαμβάνει μία περίοδο αναμονής πριν την μεταπομπή για να σιγουρέψει ότι η μεταπομπή συμφέρει για το κινητό τερματικό. Άλλες υλοποιήσεις που έχουν σχεδιαστεί στα πλαίσια των συναρτήσεων απόφασης είναι οι συναρτήσεις χρησιμότητας (utility functions) που έχουν ως σκοπό την μεγιστοποίηση της υπεραξίας του καταναλωτή, οι συναρτήσεις ποιότητας υπηρεσίας και βαθμού ωφέλειας (awareness functions). Η μέθοδος αυτή δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και ταξινομεί σωστά τα κριτήρια σε σχέση με την σημαντικότητά τους, υστερεί όμως σε περιβάλλοντα που είναι δυναμικά καθώς εκεί πρέπει να γίνεται αναπροσαρμογή των βαρών σε κάθε περίπτωση κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο με την χρήση αυτής της μεθόδου.

### 3.3 Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε για να περιορίσει την σύγχυση που προκαλείται σε περιπτώσεις που εμπλέκονται μεταξύ τους πολλά και διαφορετικής φύσεως κριτήρια που αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Ουσιαστικά με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης. Τελικά, αυτό που επιδιώκουμε χρησιμοποιώντας πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων είναι ο πολιτικός συμβιβασμός ανάμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, ρυθμίζοντας κατά περίπτωση και ανάλογα με τους στόχους που έχουμε θέσει, το βάρος που φέρει ο καθένας στην τελική λήψη της απόφασης.

Όλες οι προσεγγίσεις πολυκριτηριακής ανάλυσης κάνουν τις επιλογές και την συνεισφορά τους στα διάφορα κριτήρια συγκεκριμένα, και όλες απαιτούν την άσκηση κρίσης [12]. Διαφέρουν, όμως, στον τρόπο που συνδυάζουν τα στοιχεία. Επίσημες τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης συνήθως παρέχουν ένα συγκεκριμένο σύστημα σχετικής βαρύτητας για τα διαφορετικά κριτήρια.

Ο βασικός ρόλος αυτών των τεχνικών είναι να αντιμετωπίσουν τις δυσκολίες που φαίνεται να έχουν οι λήπτες αποφάσεων να χειριστούν με συνέπεια και λογική μεγάλο αριθμό περίπλοκων πληροφοριών.

Οι τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της προτιμότερης επιλογής, για την κατάταξη επιλογών, για

απαρίθμηση ενός περιορισμένου αριθμού επιλογών, για επακόλουθη λεπτομερή αξιολόγηση, ή απλά για διαχωρισμό αποδεκτών και μη αποδεκτών δυνατοτήτων.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης και ο αριθμός τους ακόμα αυξάνεται. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους γίνεται αυτό:

- υπάρχουν πολλοί τύποι αποφάσεων που ταιριάζουν τις ευρείες περιστάσεις των τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης,
- ο διαθέσιμος χρόνος για την ανάληψη της ανάλυσης μπορεί να διαφέρει,
- ο αριθμός ή η φύση των διαθέσιμων στοιχείων που στηρίζουν την ανάλυση ποικίλει,
- οι αναλυτικές ικανότητες αυτών που υποστηρίζουν την απόφαση μπορεί να ποικίλουν και,
- η διοικητική κουλτούρα και οι απαιτήσεις των οργανισμών διαφέρουν.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής αποτελεί ένα παράδειγμα απόφασης που θα μπορούσε να ληφθεί με τη βοήθεια των τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια και η απόδοση κάθε τεχνικής θα μπορούσε να μετρηθεί για κάθε κριτήριο, και ύστερα από τη μέτρηση του βάρους κάθε κριτηρίου θα είχαμε μία κατάταξη συνολικής απόδοσης μεταξύ των διαφόρων τεχνικών. Βέβαια, για να γίνει αυτό θα έπρεπε πρώτα να αποφασιστεί ποια τεχνική θα χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι τεχνικές.

Μερικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής είναι:

- Εσωτερική συνέπεια και λογική ορθότητα
- Διαφάνεια
- Ευκολία χρήσης
- Απαιτήσεις στοιχείων που δεν είναι ασυνεπή με τη σημασία του θέματος που εξετάζεται
- Ρεαλιστικές απαιτήσεις χρόνου και εργατικής δύναμης για τη διαδικασία ανάλυσης
- Διαθεσιμότητα software .

Τα περισσότερα από τα οικονομικά, βιομηχανικά, οικονομικά ή πολιτικά προβλήματα είναι πολυκριτηριακά. Κάνεις δεν πρόκειται να αγοράσει αυτοκίνητο βασιζόμενος μόνο στο οικονομικό κριτήριο, η άνεση, η ποιότητα, οι επιδόσεις, το γόητρο κ.λ.π. λαμβάνονται πάντοτε υπόψη . Από την άλλη μεριά κανείς δεν αντιδρά στα κριτήρια αυτά με τον ίδιο τρόπο. Για τον λόγο αυτό βλέπουμε διαφορετικά αυτοκίνητα στους δρόμους. Η επιλογή καθορίζεται από το προσωπικό γούστο του λήπτη αποφάσεων, αφού το βάρος που ο ίδιος θα δώσει στα κριτήριά του είναι καθαρά θέμα επιλογής.

Το πρόβλημα της επιλογής ή της κατάταξης των εναλλακτικών που υποβάλλονται σε μια πολυκριτηριακή αξιολόγηση δεν είναι απλό θέμα. Συνήθως δεν υπάρχει καταλληλότερη λύση, αλλά ούτε κάποια εναλλακτική η οποία να υπερέχει περισσότερο από όλες τις άλλες. Τα κριτήρια αλληλοσυγκρούονται, επομένως συμβιβαστικές λύσεις πρέπει να εξετάζονται πριν την τελική λήψη της απόφασης.

Η διαπίστωση ότι η επίλυση πολύπλοκων και σημαντικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν μπορεί να πραγματοποιείται μέσω μίας μονόπλευρης και μονοδιάστατης ανάλυσης, οδήγησε στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων (multicriteria decision aid, MCDA, ή multicriteria decision making, MCDM). Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων έχει ως βασικό αντικείμενο την αντιμετώπιση ενός προβλήματος που παρουσιάζεται κατά την προσπάθεια εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης. Το πρόβλημα αυτό αφορά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Βασικό χαρακτηριστικό και σημαντική διαφορά της πολυκριτήριας ανάλυσης από άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις είναι ότι η αναγκαία σύνθεση πραγματοποιείται υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης των αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών, το οποίο χρησιμοποιείται συνειδητά ή ασυνειδήτα από αυτόν που αποφασίζει. Έτσι, η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων ενσωματώνει τον αποφασίζοντα και τις προτιμήσεις του στη διαδικασία ανάπτυξης των υποδειγμάτων, χωρίς να προσδίδει απλά στον αποφασίζοντα έναν παθητικό ρόλο, που τον περιορίζει στην παρακολούθηση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων μαθηματικών υποδειγμάτων. Όπως φαίνεται, λοιπόν, η πολυκριτήρια ανάλυση ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την εξέταση θεμάτων που αφορούν την ανάλυση, μαθηματική μοντελοποίηση και αναπαράσταση των προτιμήσεων που διέπουν την πολιτική λήψη αποφάσεων από την πλευρά αυτού που αποφασίζει. Βασικός στόχος της ανάλυσης είναι η παροχή των αναγκαίων πληροφοριών για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης των αποφάσεων, συμβάλλοντας στον εντοπισμό των βασικών χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου προβλήματος και των ιδιαιτεροτήτων των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων.

### **3.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά των πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων**

Η πολυκριτηριακή ανάλυση δημιουργεί σχέσεις προτίμησης μεταξύ των επιλογών μέσω αναφοράς σε ένα εκτεταμένο σύνολο στόχων τους οποίους έχει εντοπίσει ο λήπτης αποφάσεων και για τους οποίους έχει ορίσει μετρήσιμα κριτήρια για να αξιολογήσει το βαθμό στον οποίο οι στόχοι αυτοί έχουν επιτευχθεί [14]. Σε απλές συνθήκες, η διαδικασία εντοπισμού των στόχων και των κριτηρίων μπορεί να παρέχει από μόνη της αρκετές πληροφορίες για τους λήπτες αποφάσεων. Ωστόσο, όταν απαιτείται ένα επίπεδο λεπτομέρειας αρκετά συναφές με την ανάλυση κόστους-κέρδους, η πολυκριτηριακή ανάλυση προσφέρει μία πληθώρα τρόπων συγκέντρωσης των στοιχείων για κάθε κριτήριο ξεχωριστά ώστε να παρέχει δείκτες για τη συνολική απόδοση των επιλογών.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η έμφαση που δίνεται στην κρίση της ομάδας των ληπτών απόφασης για τον καθορισμό των στόχων και των κριτηρίων, εκτιμώντας παράλληλα και τη σχετική σημαντικότητα των βαρών καθώς και για την κριτική της συνεισφοράς κάθε επιλογής σε κάθε κριτήριο απόδοσης. Η υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζει τη διαδικασία αυτή μπορεί να προκαλέσει κάποια ανησυχία. Η βάση της κατά κύριο λόγο αποτελείται από τις προσωπικές επιλογές στόχων, κριτηρίων, βαρών και αξιολογήσεων εκπλήρωσης των στόχων των ληπτών αποφάσεων, παρόλο που «αντικειμενικά» στοιχεία, όπως οι τιμές που έχουν παρατηρηθεί, μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν. Η πολυκριτηριακή

ανάλυση, ωστόσο, προσφέρει ένα βαθμό δομής, ανάλυσης και ανοίγματος σε κατηγορίες αποφάσεων οι οποίες εμπίπτουν πέραν της πρακτικής εφαρμογής της.

### 3.3.2 Τα πλεονεκτήματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης συγκριτικά με την ανεπίσημη κρίση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την ανεπίσημη κρίση, η οποία δε στηρίζεται από κάποια ανάλυση:

- Είναι ανοιχτή και εκτεταμένη
- Η επιλογή των στόχων και των κριτηρίων που μπορεί να πάρει η οποιαδήποτε ομάδα ληπτών αποφάσεων είναι ανοιχτή στην ανάλυση και την αλλαγή εάν κριθούν ακατάλληλοι
- Τα σκορ και τα βάρη, όταν χρησιμοποιούνται είναι επίσης αναλυτικά και διαμορφώνονται με βάση καθορισμένες τεχνικές. Μπορούν επίσης να διασταυρωθούν με άλλες πηγές πληροφορίας για τις σχετικές τιμές και να αλλαχθούν εάν κριθεί απαραίτητο.
- Η μέτρηση της αποδοτικότητας μπορεί να γίνει και από ειδικούς ώστε να μην αφήνεται απαραίτητα στους λήπτες αποφάσεων
- Μπορεί να παρέχει ένα σημαντικό μέσο επικοινωνίας μεταξύ των ληπτών αποφάσεων και ορισμένες φορές μεταξύ των ληπτών και της κοινότητας.

### 3.3.3 Τεχνικές MCDM:

#### Μέθοδος SAW (Simple Additive Weighting )

Η μέθοδος SAW, όπως τονίζεται από τον Hwang και Yoon, 1981, είναι μία από τις πιο απλές αλλά ωστόσο καλή μέθοδος λήψης αποφάσεων, καθώς τα αποτελέσματά της πλησιάζουν τα αποτελέσματα πιο αναλυτικών μεθόδων. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από τρία βασικά στάδια: Δημιουργία κλίμακας για τα σκορ, ώστε να είναι συγκρίσιμα, εφαρμογή βαρών και πρόσθεση των τιμών τους για κάθε πηγή κριτηρίων.

Εφόσον επιτρέπονται μηδενικές τιμές για τα σκορ εφαρμόζονται οι ακόλουθοι παράγοντες κλίμακας, όπου  $d$  είναι οι αποφάσεις:

$$v_{ij} = \frac{d_{ij} - d_j^{\min}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}, \text{ για ποιοτικά κριτήρια}$$

$$v_{ij} = \frac{d_j^{\max} - d_{ij}}{d_j^{\max} - d_j^{\min}}, \text{ για κριτήρια κόστους}$$

Με βάση αυτή την κλίμακα, όλα τα σκορ βρίσκονται στο διάστημα  $[0,1]$ , ενώ το καλύτερο σκορ παίρνει την τιμή 1 και το χειρότερο σκορ παίρνει την τιμή 0. Αυτή η ιδιότητα βεβαιώνει τη συγκρισιμότητα των σκορ. Το τελικό προτιμητέο σκορ για κάθε πηγή δίνεται από τη σχέση  $S_i = \sum_j w_j v_{ij}$ , όπου  $w_j = (w_1, \dots, w_j)$ .

## Μέθοδος TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon (1981). Όπως στη μέθοδο SAW, ο πίνακας των αποφάσεων είναι κλιμακωτός και σταθμισμένος. Για τη συνάρτηση κλίμακας, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τη σχέση [17]:

$$v_{ij} = \frac{d_{ij} \times w_j}{\sqrt{\sum_i d_{ij}}}$$

ώστε κάθε συντελεστής κριτηρίου να είναι κανονικός. Αντίθετα με τη μέθοδο SAW, οι συγγραφείς δεν αθροίζουν στο σημείο αυτό τις τιμές, αλλά υπολογίζουν τη σχετική Ευκλείδεια απόσταση των λύσεων από μία φανταστική ιδανική λύση. Η λύση που πλησιάζει περισσότερο την ιδανική λύση και απομακρύνεται περισσότερο από την αρνητική-ιδανική λύση, επιλέγεται ως η βέλτιστη. Οι ιδανικές και οι αρνητικές-ιδανικές λύσεις είναι:

$$A^* = (v_1^*, \dots, v_j^*) := \{(\max_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_j^-) := \{(\min_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε λύσης και της ιδανικής και αρνητικής-ιδανικής λύσης ορίζεται ως:

$$S^{(*|-)}(S_i) := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^{(*|-)})^2}$$

και το μέγεθος που δείχνει πόσο πλησιάζει η λύση την ιδανική λύση δίνεται από τη σχέση:

$$C^*(S_i) := \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-}$$

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει περαιτέρω ανάλυση και επεξήγηση βήμα προς βήμα των μεθόδων AHP και TOPSIS, έτσι ώστε ο αναγνώστης να είναι σε θέση να κατανοήσει επακριβώς τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης πάνω στο θέμα που διαπραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική.

## Μέθοδος AHP (Analytical Hierarchy Process)

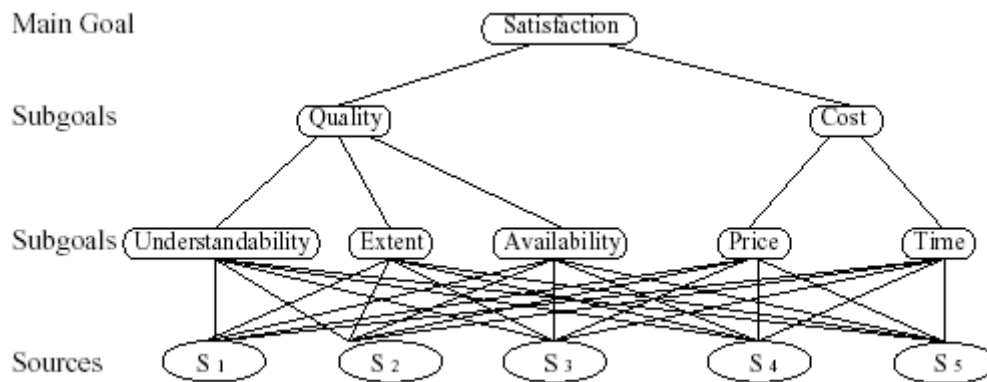
Η μέθοδος AHP αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty (1980) [18] ως απάντηση στην έλλειψη κοινών και εύκολα κατανοητών καθώς και εφαρμόσιμων μεθόδων στη διαδικασία λήψης σύνθετων αποφάσεων. Από τότε, η μέθοδος αυτή έχει βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς ανά τον κόσμο, όπως στις επιχειρήσεις, την κυβέρνηση, τις κοινωνικές μελέτες, την έρευνα και ανάπτυξη, την άμυνα, στις τηλεπικοινωνίες και άλλους τομείς όπου απαιτείται η λήψη αποφάσεων, στις οποίες βασικό ρόλο παίζει η επιλογή, η προτεραιότητα και η πρόβλεψη. Η μέθοδος αυτή προτιμάται από πολυάσχολους μάνατζερ και λήπτες αποφάσεων λόγω της απλότητας και ευκολίας στη χρήση της. Συμβάλλει στην οργάνωση του προβλήματος και στη δόμηση της πολυπλοκότητας, μέτρησης και σύνθεσης των κατατάξεων, γεγονός που την κάνει κατάλληλη για μια πληθώρα εφαρμογών.

Η Analytic Hierarchy Process (AHP) αναπτύσσει ένα γραμμικό προσθετικό μοντέλο, αλλά, στη βασική μορφή της, χρησιμοποιεί διαδικασίες για να παράγει τα βάρη και τα σκορ που επιτυγχάνονται από τις εναλλακτικές που βασίζονται, αντίστοιχα, σε κατά ζεύγη συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων και μεταξύ των επιλογών. Έτσι λοιπόν, για παράδειγμα, στον υπολογισμό των βαρών, θέτονται στο λήπτη αποφάσεων μία σειρά ερωτήσεων, καθεμία από τις οποίες ρωτά πόσο σημαντικό είναι ένα συγκεκριμένο κριτήριο σε σχέση με ένα άλλο για την απόφαση που πρέπει να πάρει.

Η AHP είναι μία μέθοδος αποσύνθεσης του προβλήματος σε μία ιεραρχία υπό-προβλημάτων, τα οποία μπορούν να κατανοηθούν και να αξιολογηθούν καλύτερα. Οι ακόλουθες εκτιμήσεις μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές και επεξεργάζονται έτσι ώστε να γίνει κατάταξη κάθε εναλλακτικής σε μία αριθμητική κλίμακα. Όπως αναφέρει και ο Nauman (1998) η μέθοδος αυτή αποτελείται από τέσσερα κύρια βήματα:

- 1) Αποσύνθεση του προβλήματος και Ιεράρχηση των στόχων, των κριτηρίων και υπο-κριτηρίων και των εναλλακτικών
- 2) Σύγκριση των στόχων ανά ζεύγη
- 3) Έλεγχος συνέπειας των συγκρίσεων και
- 4) Συγκέντρωση των συγκρίσεων

Η *ιεράρχηση των στόχων* της επιλογής των πηγών απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Nauman,1998). Ο κύριος στόχος της επιλογής πηγής είναι η ικανοποίηση του χρήστη, τόσο σε ποιότητα όσο και σε κόστος. Κάθε υπο-στόχος διαμορφώνεται με βάση διάφορα κριτήρια. Το κάτω επίπεδο αποτελείται από τις πηγές πληροφόρησης.



Για την αναπαράσταση των συγκρίσεων των στόχων ανά ζεύγη, πίνακες συγκρίσεων ορίζονται για τον κύριο στόχο και για κάθε υπο-στόχο της ιεραρχίας. Τα δεδομένα του πίνακα για την ικανοποίηση, ποιότητα και το κόστος αντικατοπτρίζουν τη στάθμιση, ενώ τα δεδομένα του πίνακα για τα κριτήρια αντικατοπτρίζουν τα υπολογιζόμενα κόστη. Οι τιμές είναι ανάμεσα στο 1 (ίσης σημασίας) και το 9 (πολύ περισσότερο σημαντικό) ή είναι συμπληρωματικές. Τα στοιχεία που αφορούν την ιεράρχηση των στόχων συλλέγονται από ειδικούς ή από τους λήπτες αποφάσεων για την ανά ζεύγη σύγκριση των στόχων στη βάση μίας ποιοτικής κλίμακας. Οι ειδικοί μπορούν να χαρακτηρίσουν τη σύγκριση ως «ίση», «οριακά ισχυρή», «πολύ ισχυρή» και «υπερβολικά ισχυρή».

Στο στάδιο του έλεγχου συνέπειας δίνονται στοιχεία για τη μεταβατική ασυνέπεια των συγκρίσεων. Οι ανά ζεύγη συγκρίσεις των κριτηρίων που προέκυψαν στο προηγούμενο βήμα οργανώνονται σε έναν τετράγωνο πίνακα. Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα είναι 1. Το κριτήριο που βρίσκεται στην  $i$  σειρά είναι καλύτερο από το κριτήριο που βρίσκεται στη σειρά  $j$  εάν η τιμή του στοιχείου  $(i,j)$  είναι μεγαλύτερη του 1. Διαφορετικά, το κριτήριο στη  $j$  σειρά είναι καλύτερο από το κριτήριο στην  $i$  σειρά. Το στοιχείο  $(j,i)$  είναι το αντίστροφο του στοιχείου  $(i,j)$

Για το στάδιο της συγκέντρωσης, υπολογίζεται ένας συντελεστής βάρους για κάθε στόχο και υπό-στόχο. Το τελικό σκορ προτίμησης κάθε πηγής υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των τιμών κάθε πιθανούς πορείας ανάμεσα στην πηγή και τον κύριο στόχο.

Η μέθοδος AHP, σύμφωνα με τον Saaty (1980), βασίζεται θεωρητικά σε τέσσερα αξιώματα:

- 1) Ο λήπτης αποφάσεων μπορεί να παρέχει συγκρίσεις ανα ζεύγη  $a_{ij}$  δύο εναλλακτικών  $i$  και  $j$  αναφορικά με ένα κριτήριο/ υπο-κριτήριο στη βάση μίας αντίστροφης κλίμακας  $a_{ij}=1/ a_{ji}$ .
- 2) Ο λήπτης αποφάσεων ποτέ δεν κρίνει μία εναλλακτική ως απόλυτα καλύτερη από μία άλλη αναφορικά με ένα κριτήριο, για παράδειγμα,  $a_{ij} \neq \infty$ .
- 3) Το πρόβλημα απόφασης μπορεί να διαμορφωθεί σε μία ιεραρχία.

- 4) Όλα τα κριτήρια/ υπο-κριτήρια, τα οποία έχουν κάποια επιρροή στο δοσμένο πρόβλημα, καθώς και όλες οι σχετικές εναλλακτικές, απεικονίζονται σε μία ιεραρχία.

Η AHP έχει βρει εφαρμογή σε πολλά σενάρια λήψης αποφάσεων:

- Επιλογή μίας εναλλακτικής από ένα σύνολο εναλλακτικών
- Αξιολόγηση/ προτεραιότητα ορισμένων εναλλακτικών έναντι άλλων
- Κατανομή πόρων-εύρεση του καλύτερου συνδυασμού εναλλακτικών κάτω από ορισμένους περιορισμούς
- Οριοθέτηση- ορισμένων διαδικασιών ή συστημάτων με βάση κάποιες άλλες διαδικασίες ή συστήματα
- Ποιοτικό μανάτζμεντ

Διάφοροι τομείς όπου έχει εφαρμοστεί η μέθοδος AHP είναι ο τομέας της υγείας, της άμυνας, του σχεδιασμού προγραμμάτων, των τεχνολογικών προβλέψεων, του μάρκετινγκ, της τιμολόγησης νέων προϊόντων, των οικονομικών προβλέψεων, την αξιολόγηση πολιτικής, των κοινωνικών επιστημών κ.α. Επίσης, οι εφαρμογές της μεθόδου αυτής στην ανάλυση συγκρούσεων, την έρευνα στρατιωτικών επιχειρήσεων, τον τοπικό και αστικό σχεδιασμό και το ερευνητικό και αναπτυξιακό μανάτζμεντ, την έχουν καταστήσει μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους στο χώρο της λήψης αποφάσεων. Η μέθοδος AHP έχει εξελιχθεί με το πέρασμα των χρόνων και εφαρμόζεται ευρέως σε συνδυασμό με μαθηματικό προγραμματισμό και διάφορες τεχνικές ανάλυσης.

Τα ισχυρά σημεία και οι αδυναμίες της AHP αποτελούν θέμα σημαντικής συζήτησης ανάμεσα σε ειδικούς της πολυκριτήριας ανάλυσης. Είναι εμφανές ότι οι χρήστες γενικά βρίσκουν την κατά ζεύγη σύγκριση των στοιχείων ευθεία και βολική. Από την άλλη, σοβαρές αμφιβολίες έχουν εμφανιστεί σε σχέση με τα θεωρητικά θεμέλια της AHP και με μερικές ιδιότητές της. Συγκεκριμένα, ανησυχία έχει προκαλέσει το φαινόμενο της αντιστροφής της κατάταξης. Αυτή είναι η πιθανότητα όπου, απλά προσθέτοντας μία άλλη επιλογή στη λίστα των επιλογών που εκτιμούνται, η κατάταξη δύο άλλων επιλογών, που δεν σχετίζονται με την καινούργια, μπορεί να αντιστραφεί. Αυτό αντιμετωπίζεται από πολλούς ως ασυνεπές σε σχέση με τη λογική αξιολόγηση των επιλογών και έτσι αμφισβητείται η θεωρητική βάση της AHP.

### 3.4 Πολιτικές (policies)

Με τον όρο "πολιτικές" αναφερόμαστε σε εκείνες τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν σε ένα πρόβλημα απόφασης επιλογής δικτύου οι οποίες θα λειτουργήσουν ως φίλτρο απόρριψης δικτύων που δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που έχουν οριστεί σε κάθε σενάριο. Συνήθως οι πολιτικές χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά μέρη μίας πιο εμπειριστατωμένης μεθοδολογίας επιλογής και απόφασης. Σε ένα σύστημα διαχείρισης που βασίζεται σε πολιτικές είναι αυτό στο οποίο η λειτουργία του καθορίζεται από ένα σύνολο κανόνων και οδηγιών. Αυτές ενεργοποιούνται από οποιοδήποτε συμβάν σχετικό με το πρόβλημα που τίθεται προς λύση κάθε φορά [19].



Για την καλύτερη κατανόηση των πολιτικών αναφέρουμε μία κατάσταση ή διαφορετικά ένα συμβάν στο οποίο μπορεί να βρεθούμε αντιμέτωποι κατά την προσπάθεια επίλυσης ενός προβλήματος απόφασης. Υποθέτουμε λοιπόν, ότι υπάρχει ένα κινητό τερματικό το οποίο κινείται ελεύθερα σε ένα περιβάλλον δικτυακής κάλυψης πολλών διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών. Ο χρήστης κάποια δεδομένη χρονική στιγμή αποφασίζει να κάνει χρήση μίας υπηρεσίας μέσω της φορητής συσκευής του. Εκείνη την στιγμή ενεργοποιείται η διαδικασία επιλογής πρόσβασης δικτύου η οποία πρώτα ελέγχει αν τα δίκτυα που βρίσκονται σε εμβέλεια με το τερματικό πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές για την εξυπηρέτηση του χρήστη. Ένα κριτήριο απόφασης σύνδεσης του τερματικού κινητού σε ένα δίκτυο είναι η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την σύνδεση σταθμού βάσης με το κινητό τερματικό. Έτσι, θέτουμε μία πολιτική απόφασης σύμφωνα με την οποία ορίζουμε ότι αν η στάθμη ενέργειας της φορητής συσκευής φτάσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο – κατώφλι που έχουμε θέσει, τότε ο αλγόριθμος επιλογής του καταλληλότερου δικτύου θα απορρίψει εκείνα τα δίκτυα για τα οποία απαιτείται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μεριμνούμε για την εξοικονόμηση ενέργειας της συσκευής κάθε φορά που εμφανίζει χαμηλά αποθέματα ενέργειας.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι με την χρήση των πολιτικών απόφασης, το σύστημα υλοποιεί ευκολότερα διάφορα σενάρια καταστάσεων στα οποία μπορεί να βρεθεί, δηλαδή διάφορα προφίλ χρήστη/δικτύων. Η προσεκτική αξιοποίηση των μηχανισμών πολιτικών οδηγεί σε πιο αυτοματοποιημένα αλλά συγχρόνως προσαρμοσμένα στις ανάγκες του χρήστη.

### 3.5 Ασαφής λογική (*Fuzzy logic*)

Πρόκειται για μία σημαντική κατηγορία μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για να ληφθεί απόφαση για την επιλογή δικτύου. Ορισμένοι από τους λόγους για τους οποίους προτιμούνται αυτού του τύπου αλγόριθμοι είναι η ευκολία εννοιολογικής κατανόησης, η ευρύτητα του πεδίου εφαρμογών engineering όπου τέτοιου τύπου τεχνικές εφαρμόζονται με σημαντική επιτυχία και είναι αρκετά απλές στην υλοποίηση. Τα συστήματα fuzzy logic καθώς επίσης και τα νευρωνικά δίκτυα στηρίζουν τη λειτουργία τους στον εντοπισμό και την ταξινόμηση μοτίβων (patterns) και είναι κατάλληλα για την υλοποίηση αλγορίθμων υψηλής πολυπλοκότητας, συχνά λόγω μη γραμμικότητας. Σημαντικό μειονέκτημα αυτής της κατηγορίας αλγορίθμων είναι η επιβάρυνση που προκύπτει λόγω της ανάγκης για απόκτηση και χρησιμοποίηση των δεδομένων που απαιτούνται για την "εκπαίδευση" του συστήματος. Από την άλλη, αυτό αντισταθμίζεται, με τις δυνατότητες που παρέχονται μετά τη φάση της εν λόγω εκπαίδευσης, αφού μπορούν να αξιοποιήσουν αλγόριθμους πολλαπλών κριτηρίων που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της απόφασης επιλογής δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη και αντικρουόμενα κριτήρια. Ένα σύστημα fuzzy logic αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

Το πρώτο μέρος ονομάζεται fuzzifier [20], μετατρέπει τις τιμές εισόδου του συστήματος σε ασαφής μεταβλητές, στις οποίες οι φυσικές ποσότητες των τιμών εισόδου αναπαριστώνται από γλωσσικές μεταβλητές. Οι τελευταίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται ως είσοδοι στο δεύτερο μέρος του συστήματος, την μηχανή συμπερασμάτων που ονομάζεται fuzzy inference engine, από την οποία προκύπτουν κανόνες και επίπεδα συμπερασμάτων και νέα ασφαλή γλωσσικά σύνολα. Το τελευταίο μέρος του συστήματος που ονομάζεται defuzzifier είναι υπεύθυνο να μετατρέψει τα ασαφή γλωσσικά σύνολα σε σταθερές σαφής μαθηματικές τιμές αποδίδοντας στο καθένα και έναν αριθμό. Έτσι, επιτυγχάνεται η μετατροπή ασαφών όρων και κρίσεων σε μαθηματικές τιμές που μπορούν εύκολα να επεξεργαστούν.

Τέλος, αναφέρουμε ότι η ασαφής λογική δεν ενδείκνυται για αποκλειστική χρήση μεθοδολογίας απόφασης επιλογής δικτύου, αλλά μπορεί να συνεισφέρει στην ενίσχυση της αν χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλες μεθοδολογίες.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Υλοποίηση

#### 4.1 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Η προσομοίωση υλοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος matlab. Το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε προσομοιώνει ένα τετραγωνικό γεωγραφικό περιβάλλον έκτασης 100 Km<sup>2</sup> το οποίο χωρίζεται σε τετραγωνικά κελιά των 10 m<sup>2</sup>. Στο περιβάλλον αυτό τοποθετούνται τυχαία σταθμοί βάσης κεραιών για κάθε ασύρματη τεχνολογία που υλοποιείται (WiMax,WiFi,UMTS) από τρεις διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Μέσα στο περιβάλλον υπάρχει ένα κινητό τερματικό που κινείται τυχαία στον χώρο με διαφορετικές ταχύτητες κάθε φορά, καθώς και διαφορετικές απαιτήσεις και συνδέεται στους σταθμούς βάσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του. Η εύρεση του καταλληλότερου σταθμού βάσης για την καλύτερη εξυπηρέτηση του κινητού τερματικού γίνεται με διάφορες πολιτικές επιλογής και με τους αλγόριθμους AHP και TOPSIS.

Πιο αναλυτικά, το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η υλοποίηση αποτελείται από έναν πίνακα 10000 X 10000 με όνομα grid. Αρχικά, όλα τα κελιά του πίνακα έχουν την τιμή μηδέν. Στον πίνακα αυτόν, τοποθετούνται με τυχαίο τρόπο οι σταθμοί βάσης των δικτύων. Για παράδειγμα, αν δημιουργηθεί το σύνολο τιμών (7,8) σημαίνει ότι υπάρχει ένας σταθμός βάσης στην έβδομη γραμμή της όγδοης στήλης και παίρνει την τιμή 1. στήλης. Σε κάθε γραμμή του πίνακα base\_stations υπάρχουν όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε δικτύου πρόσβασης.

Χαρακτηριστικά Σταθμού Βάσης.

Συγκεκριμένα, για ένα δίκτυο, στις πρώτες δύο στήλες του πίνακα υπάρχουν οι συντεταγμένες του σταθμού βάσης του δικτύου που βρίσκεται στον πίνακα grid που όπως είπαμε αποτελεί και το περιβάλλον υλοποίησης.

Στήλη 3: Αποθηκεύεται η εμβέλεια του δικτύου. Στο παρόν δίκτυο έχουμε τρεις διαφορετικές τεχνολογίες δικτύου και επομένως θα έχουμε και τρεις διαφορετικές εμβέλειες. Εφόσον λοιπόν υλοποιούμε τις ασύρματες τεχνολογίες WiFi UMTS και Wimax η περιοχή κάλυψης θα είναι 140m, 15Km και 50Km αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές προέκυψαν έπειτα από μελέτη των προτύπων κάθε τεχνολογίας και δεν αποτελούν απλά προσεγγιστικές τιμές [23].

Στήλη 4: Η στήλη αυτή περιέχει τον πάροχο του δικτύου στο οποίο ανήκει ο σταθμός βάσης. Στην προσομοίωση υπάρχουν τρεις πάροχοι υπηρεσιών (isp1-3) που υλοποιούν και τις τρεις τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης (wifi, umts, wimax).

Στήλη 5: Εδώ αποθηκεύεται το είδος της ασύρματης τεχνολογίας που έχει κάθε δίκτυο και παίρνει τιμές από [1-3].

Στήλη 6: Η έκτη στήλη φέρει την τιμή για το κόστος της υπηρεσίας που καλείται να εξυπηρετήσει το δίκτυο. Το κόστος διαφέρει κάθε φορά για κάθε δίκτυο καθώς και για κάθε υπηρεσία. Δηλαδή το κόστος που απαιτείται για την κάλυψη μίας υπηρεσίας μέσω ενός δικτύου WiFi θεωρείται πολύ μικρότερο έως και αμελητέο σε σχέση με αυτές των δικτύων UMTS και WiMax, σύμφωνα πάντα με τις συνήθειες τιμολογιακές πολιτικές που έχουν οι πάροχοι. Επίσης κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τις διαφορετικές τιμές κόστους ανά υπηρεσία. Η τιμή του κόστους έχει κανονικοποιηθεί στην κλίμακα [1-10] διότι λόγω διαφορετικών τρόπων χρέωσης κάθε παρόχου όπως ογκοχρέωση, χρονοχρέωση και διάφορα ολοκληρωμένα προγράμματα υπηρεσιών θα ήταν δυσκολότερη η σύγκριση τιμών.

Στήλη 7: Υπάρχει αποθηκευμένη η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται κατά μέσο όρο σε ένα κινητό τερματικό για να παραμείνει συνδεδεμένο στο εκάστοτε δίκτυο που είναι συνδεδεμένο. Οι τιμές που υπάρχουν εδώ είναι επίσης τρεις και αντιστοιχούν σε ένα από τα ασύρματα δίκτυα που προσομοιώνουμε. Για το wimax έχουμε ορίσει την τιμή 3.5 W και για το WiFi και το UMTS 4.5 W και 1.2 W αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αναφέρονται όταν το κινητό θα είναι σε ενεργή κατάσταση (active state) και είναι απόρροια μετρήσεων άλλων εργασιών πάνω στην κατανάλωση ενέργειας των ασύρματων τεχνολογιών που εξετάζουμε [24][25][26].

Στήλη 8: Στην όγδοη στήλη υπάρχει η τιμή του φόρτου του δικτύου. Η τιμή αυτή προκύπτει τυχαία παίρνοντας μία ποσοστιαία τιμή από [0-1]. Η τιμή είναι τυχαία διότι ο φόρτος του δικτύου προκύπτει από την συνάρτηση πολλών συντελεστών όπως είναι ο αριθμός εξυπηρέτησης χρηστών κάθε χρονική στιγμή καθώς και η γνώση του throughput που χρειάζεται κάθε χρήστης για κάθε υπηρεσία που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής δεν είναι τόσο επιτακτική η ανάγκη της προσομοίωσης της επακριβούς μέτρησης του φόρτου κάθε δικτύου.

Στήλη 9: Υπάρχει μία τιμή φήμης του δικτύου. Για κάθε πάροχο υπάρχουν 3 τιμές οι οποίες αποδίδονται σε κάθε διαφορετική τεχνολογία που υλοποιεί. Οι τιμές φήμης μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών που υλοποιούνται από τον ίδιο πάροχο δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Ο κώδικας που το επιτυγχάνει αυτό δίνεται παρακάτω:

```
mean1(1:3) = 1;
while mean1(1) > 0.7 || mean1(2) > 0.7 || mean1(3) > 0.7
    mean1 = single(rand(3,1));
end

random1(1:3) = 1;
while random1(1) > 0.75 || random1(2) > 0.75 || random1(3) > 0.75
    random1 = rand(3,1);
end

random2(1:3) = 1;
while random2(1) > 0.75 || random2(2) > 0.75 || random2(3) > 0.75
    random2 = rand(3,1);
end

random3(1:3) = 1;
while random3(1) > 0.75 || random3(2) > 0.75 || random3(3) > 0.75
    random3 = rand(3,1);
end
```

```
reputation_1 = single(mean1(1) + 0.4.*random1);  
reputation_2 = single(mean1(2) + 0.4.*random2);  
reputation_3 = single(mean1(3) + 0.4.*random3);
```

Στήλη 10: Στην ενδιάμεση στήλη του πίνακα base\_stations υπάρχει η τιμή του επιπέδου ασφαλείας που προσφέρει το κάθε δίκτυο και η τιμή αυτή είναι αποτέλεσμα της μετατροπής των προτύπων ασφαλείας που υποστηρίζουν τα δίκτυα που εξετάζουμε σε μία κλίμακα τιμών. Για παράδειγμα το επίπεδο ασφάλειας του WiFi μπορεί κυμένεται από 1-3 λόγω του ότι υπάρχουν 3 πρότυπα ασφάλειας (wep, wpa και wpa2) [37].

Στήλη 11 – 15: Σε κάθε μία από τις στήλες αυτές υπάρχει μία τιμή που δείχνει ποιες από τις υπηρεσίες που εξετάζουμε, υποστηρίζει το κάθε δίκτυο. Οι υπηρεσίες που έχουμε θεωρήσει είναι :

- Streaming video
- Streaming voice
- Web browsing
- Voice
- Video

Η τιμή έχει όρια από 0-1. Εάν η στήλη έχει τιμή πάνω από 0.8 τότε σημαίνει ότι υπάρχει υποστήριξη της υπηρεσίας που αντιστοιχεί στο κελί αυτό.

Στήλη 16-20: Στις τελευταίες στήλες του πίνακα υπάρχουν οι τιμές που υποδεικνύουν το επίπεδο ποιότητας κάθε υπηρεσίας που υποστηρίζει το δίκτυο. Η τιμή αυτή προκύπτει σύμφωνα με τον φόρτο που έχει το κάθε δίκτυο. Για παράδειγμα εάν ο φόρτος είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης του 90% αυτό σημαίνει ότι θα παρέχει αρκετά χαμηλό throughput με αποτέλεσμα το δίκτυο να είναι σε θέση να παρέχει χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας στο χρήστη που θα μεταφράζεται στην τιμή 1 της κλίμακας που θα έχει η συγκεκριμένη υπηρεσία. Αναλυτικότερα, υπολογίζουμε το διαθέσιμο εύρος ζώνης κάθε δικτύου πολλαπλασιάζοντας την τιμή φόρτου [0-1] με τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης του δικτύου. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα που θα προκύψει, ελέγχουμε σε κάθε περίπτωση, ποια επίπεδα ποιότητας υποστηρίζει το κάθε δίκτυο για κάθε υπηρεσία. Οι απαιτήσεις του κάθε επιπέδου ποιότητας της κάθε υπηρεσίας δίνονται παρακάτω [27] [28]:

- Streaming voice: 32, 64, 96, 128, 256 Kbps
- Streaming video: 120, 240, 480, 960, 1920 Kbps
- Web browsing: 30.5, 24 Kbps
- Voice: 64, 40-16, 16
- Video: 64-1920K (H.320), 64K (H.323), <64K (H.324)

Έχοντας ολοκληρώσει την απόδοση των χαρακτηριστικών του κάθε δικτύου, τα οποία θα συνυπολογιστούν στον καθορισμό της επιλογής του καταλληλότερου, συνεχίζουμε με την δημιουργία της περιοχής κάλυψης που θα πρέπει να έχει το κάθε δίκτυο. Για να υλοποιηθεί κάτι τέτοιο σε ένα περιβάλλον το οποίο αποτελείται από έναν πίνακα, θα πρέπει να γνωρίζουμε εξ αρχής τα κελιά, ή αλλιώς τις συντεταγμένες που βρίσκονται οι σταθμοί βάσης κάθε δικτύου πάνω στο δυσδιάστατο περιβάλλον.

Εφόσον γνωρίζουμε τις συντεταγμένες κάθε σταθμού από τις πρώτες δύο στήλες του πίνακα `base_stations` καθώς επίσης και την εμβέλεια που έχει το κάθε δίκτυο ανάλογα με την τεχνολογία που υλοποιεί (στήλες 3 και 5 αντίστοιχα) θα πρέπει να δημιουργηθεί μία όσο το δυνατόν κυκλική περιοχή για κάθε δίκτυο που βρίσκεται εντός του `grid`. Αυτό επιτυγχάνεται με τον παρακάτω κώδικα:

```
theta = 0 : 0.01 : 2*pi;  
  
xcir = uint16(round(radius * cos(theta) + xloc(i)));  
ycir = uint16(round(radius * sin(theta) + yloc(i)));
```

Όπου:

- $\Theta$  = η γωνία  $\theta$  που παίρνει τιμές από  $[0-2\pi]$  με βήμα 0.01
- $R$  = η εμβέλεια του σταθμού βάσης με τιμές 140m, 15Km και 50Km
- Το  $\cos(\theta)$  και το  $\sin(\theta)$  είναι το συνημίτονο και το ημίτονο της γωνίας  $\theta$ .
- Και τέλος το `xloc` και `yloc` είναι οι συντεταγμένες που βρίσκεται ο κάθε σταθμός βάσης.

Επειδή προφανώς δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν τέλειο κύκλο σε ένα τετραγωνικό πλέγμα, καθώς οι μεταβλητές `xcir` και `ycir` όπως είναι λογικό θα παίρνουν δεκαδικές τιμές, γίνεται χρήση της συνάρτησης `round`, η οποία κάνει στρογγυλοποίηση των τιμών αυτών και έτσι έχουμε διακριτές τιμές. Οι Τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες των κελιών του πλέγματος που αποτελούν την περίμετρο του κύκλου και κατά συνέπεια το εύρος της εμβέλειας του τερματικού σταθμού. Σε κάθε κελί του πίνακα `grid` που ανήκει στην περίμετρο ενός κύκλου καταχωρούνται οι τιμές 2, 3 και 4 για τις εμβέλειες των τεχνολογιών WiFi, UMTS και WiMax αντίστοιχα.

## 4.2 Στοιχεία χρήστη

Εκτός από τα στοιχεία κάθε δικτύου, θα πρέπει να γνωρίζουμε και τα στοιχεία του χρήστη που βρίσκεται στο περιβάλλον προσομοίωσης. Καταρχήν, πρέπει να οριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα κινείται ο χρήστης. Έτσι, ορίζουμε το μοντέλο κινητικότητας να είναι το `probabilistic random walk` [29] [30] και σύμφωνα με αυτό προσομοιώνουμε την κίνηση ενός χρήστη στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, όσον αφορά

την κίνηση, ορίζουμε και την ταχύτητα με την οποία θα κινείται το τερματικό στα διάφορα σενάρια προσομοίωσης:

Σε περίπτωση που υποθέτουμε ότι ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι η ταχύτητα του θα είναι αμελητέα ως και μηδενική. Στο σενάριο όπου ο χρήστης θα βρίσκεται εκτός σπιτιού θα κινείται στο περιβάλλον με χαμηλή ταχύτητα της τάξης των 2.8 m/s. Τέλος, όταν ο χρήστης θα είναι επιβιβασμένος σε κάποιο όχημα, θεωρούμε την ταχύτητα της τάξης των 19.6 m/s. Οι τιμές αυτές προήλθαν έπειτα από μελέτη σχετικής βιβλιογραφίας στην οποία υπήρχε ανάγκη μέτρησης της ταχύτητας του χρήστη.

Έπειτα, ορίζουμε τις υπηρεσίες τις οποίες μπορεί να θελήσει να κάνει χρήση:

- Streaming voice
- Streaming video
- Web browsing
- Voice
- Video

Καθώς και το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που επιθυμεί να έχει. Τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας μετατρέπονται σε μία κλίμακα ανάλογα με το εύρος του επιπέδου ποιότητας που προσφέρει κάθε υπηρεσία. Αναλυτικότερα, για κάθε υπηρεσία υπάρχουν οι παρακάτω απαιτήσεις εκφρασμένες σε throughput που αντιστοιχούν και σε κάθε επίπεδο ποιότητας. Έτσι για παράδειγμα, εάν ο χρήστης επιλέξει να κάνει χρήση της υπηρεσίας video streaming και ζητήσει ποιότητα υπηρεσίας 3 αυτό σημαίνει ότι απαιτείται από το δίκτυο που τελικά θα εξυπηρετηθεί να του παρέχει ένα throughput όχι μικρότερο των 480Kbps.

Streaming voice: 32, 64, 96, 128, 256 Kbps

Streaming video: 120, 240, 480, 960, 1920 Kbps

Web browsing: 30.5, 24 Kbps

Voice: 64, 40-16, 16

Video: 64-1920K (H.320), 64K (H.323), <64K (H.324)

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που απασχολούν τον χρήστη όπως επίσης και τους πάροχους, είναι το χρηματικό ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο χρήστης για την υπηρεσία που έχει ζητήσει να χρησιμοποιήσει. Επομένως, δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε κάτι τέτοιο στην υλοποίηση αυτή. Θέσαμε λοιπόν, μία μεταβλητή στην οποία εκχωρείται το ποσό που επιθυμεί να διαθέσει ο χρήστης. Αυτό, θα βοηθήσει στο να βρεθεί το καταλληλότερο δίκτυο από άποψη οικονομικού κόστους.

Τέλος, με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ασύρματων δικτύων πρόσβασης αυξάνεται και η επικινδυνότητα της διάρρευσης προσωπικών δεδομένων του χρήστη. Επομένως, συνυπολογίζουμε στις επιθυμίες του χρήστη και το επίπεδο ασφάλειας

που επιθυμεί να έχει κατά την σύνδεσή του με ένα δίκτυο. Η τιμή που δίνεται σαν επίπεδο ασφαλείας στο πρόγραμμα βρίσκεται στο ίδιο εύρος με αυτές που υπάρχουν στο υποστηριζόμενο επίπεδο ασφαλείας κάθε δικτύου.

Εφόσον λοιπόν γνωρίζουμε όλο το προφίλ του χρήστη σε κάθε σενάριο προσομοίωσης, ορίζουμε στη συνέχεια ένα τυχαίο σημείο στο περιβάλλον στο οποίο θα εμφανιστεί ο χρήστης και θα ξεκινήσει να κινείται ελεύθερα στον χώρο. Με την πρώτη εμφάνιση του χρήστη στο περιβάλλον, ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί για να βρεθεί το καλύτερο δίκτυο από τα δίκτυα στα οποία βρίσκεται εντός εμβέλειας. Για να βρούμε σε πόσα δίκτυα βρίσκεται ο χρήστης εντός εμβέλειας, υπολογίζουμε την απόσταση κάθε σταθμού βάσης με το κινητό τερματικό σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{Απόσταση} = \sqrt{(x_b - x_u)^2 + (y_b - y_u)^2}$$

Όπου:  $x_b$   $y_b$  και  $x_u$   $y_u$  οι συντεταγμένες κάθε σταθμού βάσης και οι συντεταγμένες του χρήστη αντίστοιχα.

Για κάθε ένα συγκεκριμένο μήκος απόστασης που καλύπτει ο χρήστης γίνεται έλεγχος για το αν βρίσκεται εντός εμβέλειας του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένος. Εάν κάποια στιγμή ο χρήστης βρεθεί εκτός εμβέλειας, ενεργοποιείται η διαδικασία της ματαπομπής και υπολογίζουμε ξανά πόσα δίκτυα παρέχουν κάλυψη στον χρήστη και έπειτα εφαρμόζουμε τις μεθόδους πολιτικών, της AHP και του TOPSIS που θα αναλυθούν διεξοδικά παρακάτω.

#### **4.3 Υποστηριζόμενες υπηρεσίες ανά τερματικό.**

Στα πλαίσια της προσομοίωσης θεωρούμε ένα τερματικό που υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες, και η υλοποίηση μπορεί να επεκταθεί και για περισσότερα είδη τερματικών. Επομένως θα πρέπει να ορίσουμε και εδώ τις υπηρεσίες που θα είναι σε θέση να λειτουργήσει το τερματικό καθώς και το αντίστοιχο επίπεδο αυτών. Ένα από τα χαρακτηριστικά του τερματικού σταθμού που μας απασχολεί ιδιαίτερα είναι τα ενεργειακά αποθέματα του. Για τον λόγο αυτό έχει οριστεί μία μεταβλητή στην οποία καταχωρείται το ενεργειακό απόθεμα της συσκευής και έχει εύρος από 0-1. Γνωρίζοντας λοιπόν την στάθμη ενέργειας του τερματικού, θα είναι εφικτή η εξαίρεση των δικτύων εκείνων που θεωρούνται ως τα περισσότερο ενεργοβόρα, έτσι ώστε, να μπορέσει να μείνει σε λειτουργία η συσκευή όσο το δυνατόν περισσότερο.

#### **4.4 Πολιτικές**

Εφόσον έχουμε ορίσει το περιβάλλον προσομοίωσης, γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά κάθε δικτύου, καθώς και τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του χρήστη και του κινητού τερματικού που χρησιμοποιεί, είμαστε σε θέση να εκκινήσουμε την διαδικασία επιλογής δικτύου πρόσβασης. Πρωτίστως, εξετάζουμε αν το σύνολο των διαθέσιμων δικτύων, ικανοποιούν τις συγκεκριμένες πολιτικές που έχουμε θέσει.

Οι πολιτικές αυτές αναφέρονται παρακάτω:



**Πολιτική 1:** Γίνεται εξαίρεση των δικτύων Wlan όταν ο χρήστης κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Ο λόγος ύπαρξης αυτού του περιορισμού είναι λόγω του ότι θέλουμε να αποφύγουμε τον μεγάλο αριθμό μεταπομπών που θα προκύψουν σε περίπτωση που ο χρήστης κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Λόγω της μικρής εμβέλειας που έχει το Wlan ο χρήστης θα εισέρχεται και θα εξέρχεται από αυτό σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα προκαλώντας έτσι συνεχώς επαναλαμβανόμενες μεταπομπές, κάτι που δεν είναι καθόλου επιθυμητό.

**Πολιτική 2:** Εξαιρούμε τα ενεργοβόρα δίκτυα που στην παρούσα εργασία είναι όλα τα δίκτυα Wlan και WiMax όταν τα ενεργειακά αποθέματα του τερματικού είναι κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι και ο χρήστης βρίσκεται εκτός της οικίας του ή του χώρου εργασίας του .

**Πολιτική 3:** Γίνεται εξαίρεση των δικτύων στα οποία η φήμη τους είναι κάτω από ένα καθορισμένο επίπεδο.

**Πολιτική 4:** Γίνεται εξαίρεση των δικτύων που δεν προσφέρουν την υπηρεσία που ζητάει ο χρήστης ή που η προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας είναι μικρότερη από τις απαιτήσεις του χρήστη.

**Πολιτική 5:** Γίνεται εξαίρεση των δικτύων που το κόστος υπηρεσίας υπερβαίνει το όριο που ο χρήστης είναι διατεθειμένος να πληρώσει.

**Πολιτική 6:** Γίνεται εξαίρεση των δικτύων που δεν προσφέρουν το απαιτούμενο επίπεδο ασφαλείας.

Έπειτα από την ολοκλήρωση του έλεγχου όλων των δικτύων σύμφωνα με τις παραπάνω πολιτικές, για το αν πληρούν τις προϋποθέσεις για την εξυπηρέτηση του χρήστη, πρέπει να γίνει η τελική επιλογή του καλύτερου δικτύου από τα εναπομείναντα. Επειδή υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν πολλά δίκτυα που μπορούν τελικά να εξυπηρετήσουν τον χρήστη, και επιπρόσθετα υπάρχουν πολλά κριτήρια (τα οποία έχουν διαφορετικά βάρη σε κάθε περίπτωση) σύμφωνα με τα οποία θα γίνει τελικά η επιλογή, χρησιμοποιούμε τις μεθόδους της πολυκριτηριακής ανάλυσης και συγκεκριμένα τις μεθόδους AHP και TOPSIS.

#### **4.5 Η μέθοδος AHP**

Πριν ξεκινήσουμε την ανάλυση της μεθόδου AHP, πρέπει πρώτα να αναφέρουμε ποια θα είναι εκείνα τα κριτήρια που στο τέλος θα υποδείξουν το καταλληλότερο δίκτυο. Τα κριτήρια αυτά, αποτελούνται από:

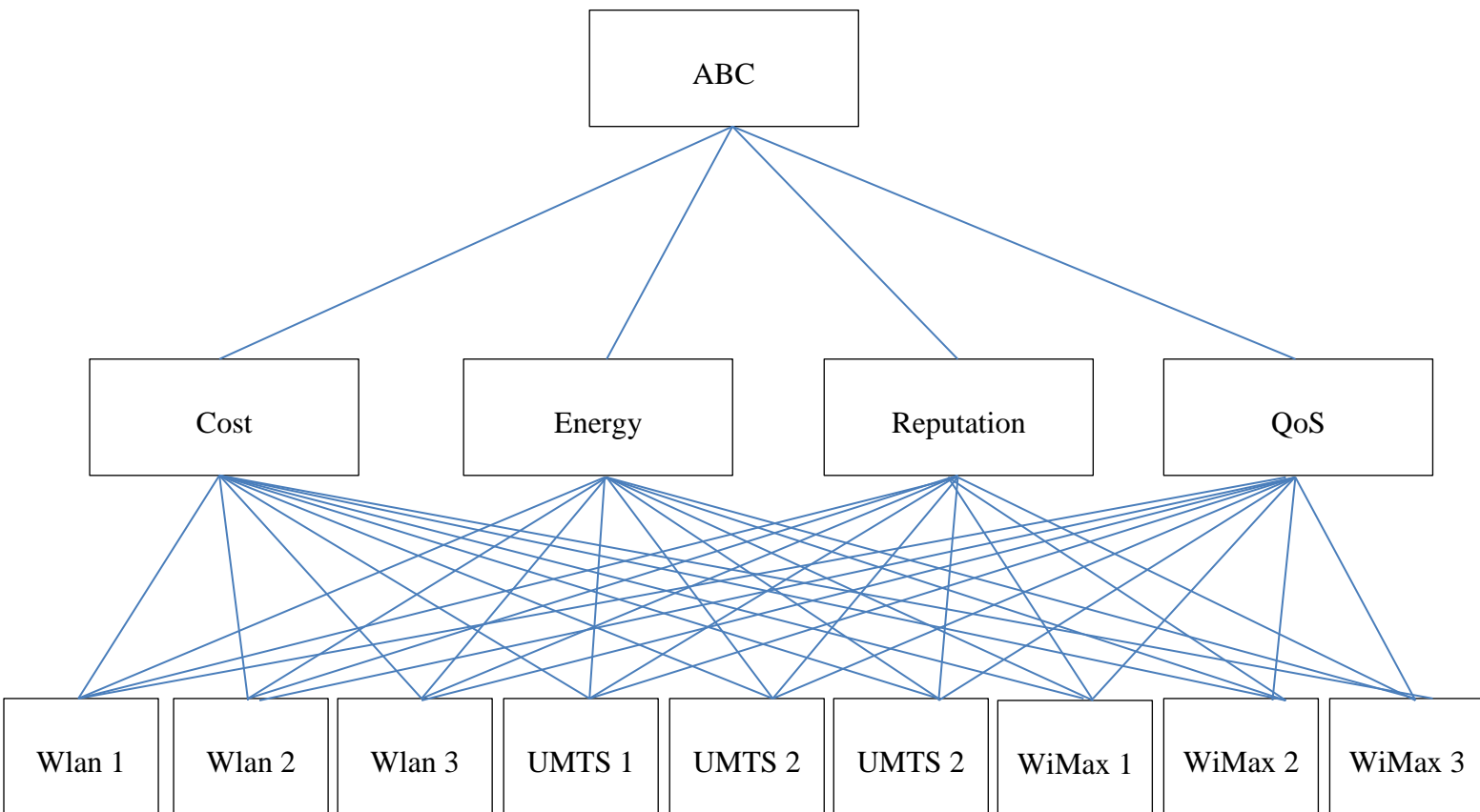
- Το κόστος υπηρεσίας που θα πρέπει να διαθέσει ο χρήστης
- Την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για να βρίσκεται το κινητό τερματικό συνδεδεμένο στο δίκτυο σε ενεργή κατάσταση
- Την φήμη που έχει το κάθε δίκτυο
- Και τέλος, το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει το δίκτυο

Είναι εύκολο να συνειδητοποιήσει κανείς ότι, τα παραπάνω κριτήρια δεν έχουν πάντα το ίδιο βάρος σε κάθε κατάσταση του χρήστη. Επομένως, το βάρος του κάθε

κριτηρίου διαφέρει όταν ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του, κινείται με χαμηλή ταχύτητα ή είναι επιβιβασμένος σε κάποιο όχημα. Όπως επίσης διαφέρει και με κάθε υπηρεσία που θέλει να χρησιμοποιήσει. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του, δεν έχει ιδιαίτερη σημασία η κατανάλωση ενέργειας.

Επομένως, για να γίνει ο σωστός ορισμός των βαρών κάθε κριτηρίου σε κάθε περίπτωση, ακολουθούμε τα βήματα της μεθόδου AHP.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Δομούμε ιεραρχικά το πρόβλημα απόφασης σε τρία επίπεδα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στο πρώτο επίπεδο υπάρχει ο τελικός στόχος του προβλήματος, που στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής είναι η εύρεση του καταλληλότερου δικτύου. Στο δεύτερο επίπεδο υπάρχουν τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία θα γίνει η τελική απόφαση. Και τέλος στο τρίτο και τελευταίο επίπεδο υπάρχουν όλες οι εναλλακτικές αποφάσεις.



**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Σε αυτό το στάδιο γίνονται οι εναλλάξ συγκρίσεις των κριτηρίων μεταξύ τους. Η σύγκριση στην AHP βασίζεται σε μία προκαθορισμένη τυποποιημένη κλίμακα εννέα σταδίων που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [32].

Αριθμητική τιμή	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίση σημασία	Τα συγκρινόμενα στοιχεία είναι ίσης σημασίας
3	Μέτρια σημασία	Το ένα στοιχείο είναι ελαφρά πιο σημαντικό από το άλλο.
5	Δυνατή σημασία	Το ένα στοιχείο είναι πολύ πιο σημαντικό από το άλλο.
7	Πολύ δυνατή σημασία	Το ένα στοιχείο είναι πάρα πολύ πιο σημαντικό από το άλλο.
9	Απόλυτη σημασία	Το ένα στοιχείο είναι απόλυτα πιο σημαντικό από το άλλο.
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές	Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν ενδιάμεσες τιμές κατάστασης προτίμησης

Στο θέμα που εξετάζουμε έχουμε θέσει τέσσερα κριτήρια  $C = \{C1, C2, C3, C4\}$ . Το αποτέλεσμα των 4 κριτηρίων μπορεί να συνοψιστεί σε έναν  $4 \times 4$  πίνακα στον οποίο κάθε στοιχείο  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, 4$ ) είναι το πηλίκο των βαρών των κριτηρίων, όπως φαίνεται παρακάτω:

	Cost	Energy	Reputation	Qos
Cost	1	8	3	4
Energy	1/8	1	1/5	1/4
Reputation	1/3	5	1	3
Qos	1/4	4	1/3	1

Οι τιμές του πίνακα προκύπτουν ως εξής:

- Η κύρια διαγώνιος του παραπάνω πίνακα αποτελείται πάντα από άσσους, κάτι το οποίο είναι λογικό διότι ουσιαστικά συγκρίνουμε το κάθε κριτήριο με τον εαυτό του.
- Για τα κελιά του πίνακα που βρίσκονται πάνω από την κύρια διαγώνιο κάνουμε εναλλάξ σύγκριση των κριτηρίων.
- Για τα κελιά του πίνακα που βρίσκονται κάτω από την κύρια διαγώνιο βάζουμε την αντίθετη τιμή του κελιού  $a_{ji}$  στο κελί  $a_{ij}$ . Για παράδειγμα, η τιμή που έχει το κελί  $a_{2,1} = 1/8$  είναι ο αντίθετος αριθμός του κελιού  $a_{1,2} = 8$ .

Ο παραπάνω πίνακας είναι αποτέλεσμα σύγκρισης κριτηρίων για την περίπτωση όπου ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του και επιθυμεί να κάνει χρήση της υπηρεσίας Voice. Έτσι για παράδειγμα, όταν συγκρίνουμε τα κριτήρια κόστος και ενέργεια, σκεφτόμαστε ότι ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την κατανάλωση ενέργειας της συσκευής του όσο για το πόσο θα του κοστίσει η υπηρεσία φωνής. Επομένως, για να θέσουμε την προτεραιότητα αυτή με μία αριθμητική τιμή, λέμε ότι η τιμή κόστους είναι σημαντικότερη κατά 8 φορές από αυτή της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης το ίδιο γίνεται στην σύγκριση του κόστους και του επιπέδου της ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει το κάθε δίκτυο. Εφόσον πρόκειται για φωνή δεν είναι τόσο μεγάλη η επιτακτική ανάγκη για την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσίας. Έτσι το κόστος είναι 4 φορές σημαντικότερο από αυτό του QoS. Επιπλέον, η τιμή  $1/4$  που έχουμε στην σύγκριση των κριτηρίων ενέργειας και QoS σημαίνει ότι το QoS είναι 4 φορές σημαντικότερο από την ενέργεια.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Σε αυτή τη φάση της μεθόδου, υπολογίζεται ο λόγος συνέπειας (Consistency Ratio - CR) με στόχο να εξετάσουμε κατά πόσο οι συγκρίσεις που έγιναν μέχρι τώρα και οι προτιμήσεις που εμφανιστήκαν είναι συνεπείς. Εάν ο δείκτης αυτός είναι μεγαλύτερος από 0.1, τότε οι συγκρίσεις θα πρέπει να ξαναγίνουν διότι δεν συνάδουν μεταξύ τους. Υπάρχει μάλιστα η δυνατότητα, σύμφωνα με την θεωρία να γίνει ένας ελάχιστος αριθμός συγκρίσεων και οι υπόλοιπες να υπολογιστούν έτσι ώστε να καταλήξουμε σε μία μη ρεαλιστική, τέλεια συνέπεια.

Για τον υπολογισμό των βαρών έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν η μέθοδος του ιδιοδιανύσματος (eigen vector) αλλά και η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου (geometric mean). Παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο αυτές μέθοδοι.

#### 4.5.1 Η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου.

Η μέθοδος του γεωμετρικού μέσου γραμμής ενδείκνυται για υπολογισμούς με το χέρι, ενώ δίνει κατά προσέγγιση στις περισσότερες περιπτώσεις σωστά αποτελέσματα. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο πρέπει πρώτα να πολλαπλασιαστούν τα n στοιχεία κάθε γραμμής του πίνακα συγκρίσεων, στη συνέχεια υπολογίζεται η n-οστή ρίζα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών εισάγονται σε μία νέα στήλη η οποία στη συνέχεια κανονικοποιείται διαιρώντας κάθε ένα στοιχείο με το άθροισμα των στοιχείων της στήλης. Τα βάρη των τεσσάρων κριτηρίων του παραπάνω πίνακα της ενότητας δείχνονται παρακάτω:

$$(1 * 8 * 3 * 4)^{1/4} = 3.13$$

$$\left(\frac{1}{8} * 1 * \frac{1}{5} * \frac{1}{4}\right)^{1/4} = 0.28$$

$$\left(\frac{1}{3} * 5 * 1 * 3\right)^{1/4} = 1.49$$

$$\left(\frac{1}{4} * 4 * \frac{1}{3} * 1\right)^{1/4} = 0.75$$

$$\text{Άθροισμα} = 3.13 + 0.28 + 1.49 + 0.75 = 5.65$$

Και για την κανονικοποίηση έχουμε:

$$3.13 / 5.65 = 0.555$$

$$0.28 / 5.65 = 0.049$$

$$1.49 / 5.65 = 0.263$$

$$0.75 / 5.65 = 0.132$$

$$\text{Άθροισμα} = 1$$

## 4.5.2 Η μέθοδος του ιδιοδιανύσματος

Πρόκειται για την κλασική μέθοδο εύρεσης των ιδιοτιμών και του ιδιοδιανύσματος με την βοήθεια οριζουσών. Παρακάτω θα αναλυθεί πλήρως η μέθοδος αυτή με ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εύρεσης βαρών του παραπάνω πίνακα. Έστω ο πίνακας A:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 3 & 4 \\ 1/8 & 1 & 1/5 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1 & 3 \\ 1/4 & 4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

Από τον ορισμό του ιδιοδιανύσματος και της ιδιοτιμής έχουμε ότι, αν το  $b = \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ v_b \end{bmatrix}$  είναι ιδιοδιάνυσμα του πίνακα A, τότε υπάρχει πραγματικός αριθμός  $\lambda$  τέτοιος ώστε

$$Ab = \lambda b \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 8 & 3 & 4 \\ 1/8 & 1 & 1/5 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1 & 3 \\ 1/4 & 4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ v_b \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \\ v_b \end{bmatrix}$$

Η παραπάνω εξίσωση, αναλύεται στο σύστημα εξισώσεων 4x4 ως προς τις άγνωστες συνιστώσες του διανύσματος b.

$$\begin{aligned} x_b + 8y_b + 3z_b + 4v_b &= \lambda x_b \\ \frac{1}{8}x_b + y_b + \frac{1}{5}z_b + \frac{1}{4}v_b &= \lambda y_b \\ \frac{1}{3}x_b + 5y_b + z_b + 3v_b &= \lambda z_b \\ \frac{1}{4}x_b + 4y_b + \frac{1}{3}z_b + v_b &= \lambda v_b \end{aligned}$$

Το οποίο γράφεται στη μορφή του ομογενούς συστήματος

$$\begin{aligned} (1 - \lambda)x_b + 8y_b + 3z_b + 4v_b &= 0 \\ \frac{1}{8}x_b + (1 - \lambda)y_b + \frac{1}{5}z_b + \frac{1}{4}v_b &= 0 \\ \frac{1}{3}x_b + 5y_b + (1 - \lambda)z_b + 3v_b &= 0 \\ \frac{1}{4}x_b + 4y_b + \frac{1}{3}z_b + (1 - \lambda)v_b &= 0 \end{aligned}$$

Ένα ομογενές σύστημα, (σταθεροί όροι ίσοι με μηδέν) έχει πάντα ως λύση τη μηδενική λύση. Αυτή η λύση είναι τετριμμένη και δεν μας ενδιαφέρει, διότι επιδιώκουμε το ιδιοδιάνυσμα να έχει μη μηδενικό μέτρο, γεγονός που επιβάλλει μία τουλάχιστον συνιστώσα του b να είναι διάφορη του μηδενός. Ένα ομογενές γραμμικό σύστημα έχει μη μηδενικές λύσεις αν και μόνο αν η ορίζουσα των συντελεστών των

αγνώστων είναι ίση με μηδέν. Επομένως, στο προηγούμενο σύστημα θα έχουμε μη μηδενικές λύσεις αν και μόνο αν:

$$\det(A - \lambda I_4) = \begin{vmatrix} 1 - \lambda & 8 & 3 & 4 \\ 1/8 & 1 - \lambda & 1/5 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1 - \lambda & 3 \\ 1/4 & 4 & 1/3 & 1 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

Αναλύοντας την παραπάνω ορίζουσα, βλέπουμε ότι είναι ένα πολυώνυμο ως προς τον άγνωστο πραγματικό  $\lambda$ . Έχουμε

$$\begin{vmatrix} 1 - \lambda & 8 & 3 & 4 \\ 1/8 & 1 - \lambda & 1/5 & 1/4 \\ 1/3 & 5 & 1 - \lambda & 3 \\ 1/4 & 4 & 1/3 & 1 - \lambda \end{vmatrix} = P(\lambda) = \frac{1}{720} (720\lambda^4 - 2880\lambda^3 - 1742\lambda - 245)$$

Το παραπάνω πολυώνυμο ονομάζεται χαρακτηριστικό πολυώνυμο. Η εξίσωση  $P(\lambda)=0$  μας δίνει τις τιμές του  $\lambda$  (ιδιοτιμές) για τις οποίες το ομογενές σύστημα έχει μη μηδενικές λύσεις (ιδιοδιανύσματα). Η εξίσωση αυτή ονομάζεται χαρακτηριστική εξίσωση ιδιοτιμών του πίνακα  $A$ .

Από την εξίσωση των ιδιοτιμών βρίσκουμε τις λύσεις:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 4.14 \\ \lambda_2 &= -0.13 \end{aligned}$$

Οι οποίες και είναι οι ζητούμενες ιδιοτιμές του πίνακα  $A$ .

Σε κάθε ιδιοτιμή αντιστοιχεί ένα ιδιοδιάνυσμα. Το ιδιοδιάνυσμα μπορεί να βρεθεί από οποιαδήποτε από τις τέσσερις εξισώσεις του ομογενούς συστήματος.

$$\begin{aligned} (1 - \lambda)x_b + 8y_b + 3z_b + 4v_b &= 0 \\ \frac{1}{8}x_b + (1 - \lambda)y_b + \frac{1}{5}z_b + \frac{1}{4}v_b &= 0 \\ \frac{1}{3}x_b + 5y_b + (1 - \lambda)z_b + 3v_b &= 0 \\ \frac{1}{4}x_b + 4y_b + \frac{1}{3}z_b + (1 - \lambda)v_b &= 0 \end{aligned}$$

Θέτοντας, όπου  $\lambda$ , τη συγκεκριμένη ιδιοτιμή. Έτσι, για  $\lambda = \lambda_1 = 4.14$  λύνουμε το σύστημα τεσσάρων εξισώσεων και έχουμε τις παρακάτω τιμές που αποτελούν το ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή  $\lambda_1$  το οποίο τελικά εκφράζει τα βάρη των κριτηρίων. (Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι για την εύρεση των βαρών που εκφράζονται από το ιδιοδιάνυσμα, επιλέγουμε πάντα την ιδιοτιμή με την μεγαλύτερη τιμή.)

0.8768
0.0788
0.4229
0.2147

Και έπειτα από κανονικοποίηση έχουμε:

0.550
0.049
0.265
0.134

Παρατηρούμε ότι η προσεγγιστική μέθοδος του γεωμετρικού μέσου στο παράδειγμα αυτό, είναι αρκετά ακριβής.

### 4.5.3 ΣΥΝΕΠΕΙΑ:

Η μέθοδος AHP αφήνει περιθώρια ασυνέπειας στις προτιμήσεις του αποφασίζοντος, αλλά ταυτόχρονα παρέχει δείκτες μέτρησης της ασυνέπειας. Ο Saaty έδειξε ότι για να κρατηθεί το επίπεδο της ασυνέπειας σε χαμηλά επίπεδα, ο αριθμός των συγκρινόμενων στοιχείων πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 9. Είναι φυσιολογικό ο αποφασίζων να αποζητά την απόλυτη συνέπεια στις αποφάσεις του, στην πραγματικότητα όμως για διάφορους λόγους δεν μπορεί να επιτευχθεί. Μερικοί λόγοι οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν σε ασυνέπεια είναι : η έλλειψη πληροφοριών και η ανεπάρκεια στο σχεδιασμό της δομής του προβλήματος.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι ένας χαμηλός βαθμός του δείκτη συνέπειας δεν πρέπει να είναι ο στόχος στη διαδικασία λήψης μιας απόφασης. Ένας χαμηλός βαθμός του δείκτη συνέπειας είναι σημαντικός αλλά όχι καθοριστικός για τη λήψη μίας σωστής απόφασης. Για να ορίσουμε την συνέπεια στην διαδικασία ιεραρχικής ανάλυσης αποφάσεων πράττουμε τα ακόλουθα:

Αν για τα στοιχεία ενός πίνακα κατά ζεύγη συγκρίσεων A ισχύει ότι

$$a_{ij} \times a_{ji} = a_{ik} \forall (i, j, k)$$

τότε πίνακας ο A ονομάζεται συνεπής (consistent). Ο παραπάνω πίνακας, που στηρίζεται στην υπόθεση ότι τα σχετικά βάρη είναι γνωστά, έχει αυτή την ιδιότητα, δηλαδή είναι συνεπής. Στην πραγματικότητα όμως ο αποφασίζων δεν γνωρίζει τα πραγματικά βάρη και κατά συνέπεια δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει με ακρίβεια τα στοιχεία του πίνακα A, δηλαδή τα πηλικά των βαρών που εκφράζουν την σχετική προτίμηση του ενός στοιχείου έναντι του άλλου. Έτσι είναι φυσικό ο πίνακας συγκρίσεων, όπως δίδεται από τον αποφασίζοντα (observed matrix), να περιέχει ανακολουθίες (ασυνεπής πίνακας – inconsistent matrix). Στην περίπτωση αυτή η εκτίμηση των βαρών γίνεται από την σχέση:

$$Aw = \lambda_{max} w$$

Όπου A,  $\lambda_{max}$ , w είναι ο πίνακας των κατά ζεύγη συγκρίσεων, η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα αυτού και το αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα. Το εκτιμώμενο διάνυσμα w αποτελεί προσέγγιση του διανύσματος των πραγματικών σχετικών βαρών w. Επίσης η ιδιοτιμή  $\lambda_{max}$  μπορεί να θεωρηθεί ως μία εκτίμηση του n, δηλαδή του πλήθους των συγκρινόμενων στοιχείων (διάσταση του πίνακα A). Έχει δειχθεί ότι τα  $\lambda_{max}$  και n συνδέονται με τη σχέση:

$$\lambda_{max} \geq n$$

Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά  $\lambda_{max} - n$  τόσο περισσότερες είναι οι ασυνέπειες μεταξύ των τιμών του πίνακα A. Στην ιδιότητα αυτή στηρίζεται ο δείκτης συνέπειας (consistency index - CI) [33]

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$$

Και ο λόγος συνέπειας (consistency ratio - CR)

$$CR = \frac{CI}{ACI} * 100$$

Στον τελευταίο δείκτη ο ACI είναι μία μέση τιμή δεκτών συνέπειας που υπολογίζεται βάσει βαρών που δημιουργούνται με τυχαίο τρόπο στα πλαίσια προσομοίωσης. Οι τιμές του δείκτη ACI φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Μέγεθος πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ACI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.49

Ένας πρακτικός κανόνας είναι ότι μία τιμή του CR μικρότερη ή ίση του 10% είναι αποδεκτή. Σε αντίθετη περίπτωση ο αποφασίζων πρέπει να επανεξετάσει τον πίνακα A ώστε να αρθούν οι ακολουθίες, τουλάχιστον μέχρι ενός αποδεκτού επιπέδου. Ο Saaty υποστηρίζει ότι όταν  $CR = 0$  τότε ο πίνακας των συγκρίσεων είναι πλήρως συνεπής ενώ για  $CR > 0.1$  τότε υπάρχει ασυνέπεια στις προτιμήσεις του αποφασίζοντα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες συγκρίσεων και τα σχετικά τους βάρη για κάθε περίπτωση που θα εξετάσουμε στην υλοποίηση του προγράμματος. Τα αποτελέσματα προκύπτουν σύμφωνα με τα βήματα που ειπώθηκαν παραπάνω. Όλες οι συγκρίσεις είναι συνεπής καθώς το CR (Consistency ratio) δεν ξεπερνά την τιμή 0.1 σε κανέναν από τους παρακάτω πίνακες.

Οι περιπτώσεις που θα εξετάσουμε προκύπτουν ως εξής:

- Ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του.
- Ο χρήστης κινείται με χαμηλή ταχύτητα.
- Ο χρήστης κινείται με υψηλή ταχύτητα.

Σε κάθε μία κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται ο χρήστης θα προσομοιώσουμε την χρήση όλων των υπηρεσιών που έχουμε θέσει (Voice, Video, Web browsing και streaming)

(Οικεία / Γραφείο)

Ξεκινώντας με τους πίνακες συγκρίσεων που αφορούν την περίπτωση που ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του, θέτουμε σαν γενική άποψη ότι ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για το ποσό της ενέργειας που καταναλίσκεται όταν είναι συνδεδεμένος σε ένα δίκτυο και χρησιμοποιεί μία από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Έτσι, στους πίνακες



αυτούς θα παρατηρήσουμε ότι οι συγκρίσεις που γίνονται μεταξύ ενέργειας και υπολοίπων κριτηρίων δείχνουν χαμηλή σημαντικότητα στην ενέργεια.

### Φωνή

Όσον αφορά την υπηρεσία Voice, οι συγκρίσεις έγιναν με γνώμονα το γεγονός ότι ο χρήστης επιθυμεί όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος, χωρίς διακοπές της σύνδεσης και σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Όλα αυτά αντικατοπτρίζονται στο βάρος που έχουν οι τιμές βάρους του κόστους, της φήμης του δικτύου και τέλος της ποιότητας υπηρεσίας.

CR: 0.0539 CI: 0.0485 $\lambda_{\max}$ :4.1456	Cost	Energy	Reputation	Qos	Ιδιοτιμή	Weight
Cost	1	8	3	4	0.8768	0.5503
Energy	1/8	1	1/5	1/4	0.0788	0.0495
Reputation	1/3	5	1	3	0.4229	0.2654
Qos	1/4	4	1/3	1	0.2147	0.1348

### Video

Για την υπηρεσία Video αντιστοιχεί κάτι παρόμοιο στις απαιτήσεις ενός ορθολογικού χρήστη. Απλά στην περίπτωση του Video είναι ίσως περισσότερο επιθυμητό να απαιτείται ένα καλύτερο επίπεδο υπηρεσίας και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το βάρος του QoS στο Video είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του Voice.

CR:0.0858 CI: 0.0773 $\lambda_{\max}$ :4.2318	Cost	Energy	Reputation	Qos	Ιδιοτιμή	Weight
Cost	1	8	5	3	0.9093	0.5845
Energy	1/8	1	1/5	1/5	0.0708	0.0455
Reputation	1/5	5	1	2	0.3225	0.2073
Qos	1/3	5	1/2	1	0.2532	0.1627

### Περιήγηση στο διαδίκτυο

Στην υπηρεσία web browsing θα παρατηρήσουμε ότι η μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στο κριτήριο κόστος καθώς το QoS δεν έχει ιδιαίτερο αντίκτυπο όσον αφορά την συγκεκριμένη υπηρεσία πέρα από τον ρυθμό της γρήγορης περιήγησης. Το αμέσως επόμενο κριτήριο από αυτού του κόστους είναι η φήμη του δικτύου καθώς οι συνεχόμενες διακοπές σύνδεσης λόγω αναξιόπιστου δικτύου πρόσβασης δεν είναι επιθυμητές.

CR:0.0821 CI: 0.0739 $\lambda_{\max}$ :4.2216	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	8	4	6	0.9339	0.6249
Ενέργεια	1/8	1	1/4	2	0.1330	0.0889
Φήμη	1/4	4	1	2	0.3104	0.2044
Qos	1/6	1/2	1/2	1	0.1171	0.0783

Τέλος, για την υπηρεσία streaming, τα βασικά κριτήρια εκτός του κόστους, είναι η φήμη του δικτύου καθώς και το QoS το οποίο παρατηρούμε ότι είναι αρκετά αυξημένο με το αντίστοιχο των προηγούμενων υπηρεσιών καθότι πρόκειται για επιθυμία χρήσης οπτικοακουστικού υλικού κατά απαίτηση και εδώ ο χρήστης επιζητεί σαφώς ένα καλό επίπεδο ποιότητας.

#### Streaming video

CR:0.0254 CI: 0.0229 $\lambda_{\max}$ :4.0686	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	8	3	3	0.8707	0.5329
Ενέργεια	1/8	1	1/5	1/6	0.0764	0.0468
Φήμη	1/3	5	1	1	0.3340	0.2044
Qos	1/3	6	1	1	0.3528	0.2159

#### Streaming voice

CR:0.0340 CI: 0.0306 $\lambda_{\max}$ :4.0918	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	9	2	4	0.8421	0.5131
Ενέργεια	1/9	1	1/7	1/6	0.0662	0.0403
Φήμη	1/2	7	1	2	0.4615	0.2812
Qos	1/4	6	1/2	1	0.2712	0.1652

#### (Χαμηλή ταχύτητα)

Στην περίπτωση όπου ο χρήστης κινείται με χαμηλή ταχύτητα, παρατηρείται μία μεγάλη διαφοροποίηση στο βάρος των κριτηρίων σε σχέση με το αντίστοιχο που έχουν τα κριτήρια όταν ο χρήστης βρίσκεται σπίτι. Πιο συγκεκριμένα, τα ενεργειακά αποθέματα της συσκευής που χρησιμοποιεί ο χρήστης παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόφαση της επιλογής του καταλληλότερου δικτύου. Εφόσον δεν υπάρχει πάντα διαθέσιμη πηγή τροφοδοσίας όταν ο χρήστης βρίσκεται εκτός της οικείας του, προσπαθούμε να διατηρήσουμε την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής όσο το δυνατόν περισσότερο.

## Φωνή

Αναφορικά με την υπηρεσία Voice, τα σημαντικότερα κριτήρια που ίσως πρέπει να ληφθούν περισσότερο υπόψη είναι η ενέργεια, το κόστος αλλά και η φήμη του δικτύου. Εφόσον η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι κάτι το οποίο χρησιμοποιείται πολλές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας από έναν χρήστη, απαιτείται ένα χαμηλό κόστος, μία καλή ζεύξη χωρίς αποτυχημένες συνδέσεις, και όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

CR:0.0767 CI: 0.0691 $\lambda_{max}$ :4.2072	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1	3	4	0.6390	0.3651
Ενέργεια	1	1	4	4	0.7054	0.4030
Φήμη	1/3	1/4	1	4	0.2793	0.1596
Qos	1/4	1/4	1/4	1	0.1266	0.0723

## Video

Όταν ένας χρήστης κινείται με χαμηλή ταχύτητα και κάνει χρήση της υπηρεσίας video, εκτιμούμε ότι επιζητείται ένα αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, καθώς είναι διατεθειμένος να εναποθέσει ένα συγκριτικά μεγαλύτερο ποσό πληρωμής από αυτό της υπηρεσίας voice και επιθυμεί ένα video καλής ποιότητας χωρίς την παραμόρφωση της εικόνας. Επομένως, στην περίπτωση αυτή, εκτός από την ενέργεια και το κόστος, σημαντικό ρόλο παίζει και το QoS.

CR:0.0572 CI: 0.0515 $\lambda_{max}$ :4.1545	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1	3	2	0.6507	0.3511
Ενέργεια	1	1	3	2	0.6507	0.3511
Φήμη	1/3	1/3	1	2	0.2983	0.1610
Qos	1/2	1/2	1/2	1	0.2535	0.1368

## Περιήγηση στο διαδίκτυο

Εδώ το web browsing κινείται στα ίδια πλαίσια με το αντίστοιχο της περίπτωσης όπου ο χρήστης βρίσκεται σπίτι του εκτός από το βάρος του κριτηρίου της ενέργειας για προφανείς πλέον λόγους. Επίσης η καλή φήμη είναι επιθυμητή καθώς υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες ο χρήστης να αναζητεί διάφορες πληροφορίες αναφορικά με τον προορισμό του ή ακόμα και πληροφορίες έκτακτης ανάγκης και επομένως απαιτείται ταχεία απόκριση των αιτημάτων του χρήστη από το δίκτυο.

CR:0.0045 CI: 0.0041 $\lambda_{\max}$ :4.0122	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1	2	7	0.6482	0.3696
Ενέργεια	1	1	2	8	0.6687	0.3813
Φήμη	1/2	1/2	1	5	0.3548	0.2023
Qos	1/7	1/8	1/5	1	0.0821	0.0468

Όσον αφορά την υπηρεσία streaming, επειδή ως επί το πλείστον πρόκειται για ψυχαγωγία, δεν υπάρχει μεγάλη απαίτηση σε φήμη και σε ποιότητα υπηρεσίας, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο χρήστης είναι ανεκτικός σε συνεχόμενες διακοπές της υπηρεσίας (όπως είναι για παράδειγμα το live streaming ενός ραδιοφωνικού σταθμού.)

#### Streaming video

CR:0.0923 CI: 0.0831 $\lambda_{\max}$ :4.2492	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1	4	2	0.6626	0.3642
Ενέργεια	1	1	4	2	0.6626	0.3642
Φήμη	1/4	1/4	1	2	0.2513	0.1381
Qos	1/2	1/2	1/2	1	0.2426	0.1334

#### Streaming voice

CR:0.0767 CI: 0.0691 $\lambda_{\max}$ :4.2072	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	3	4	3	0.8753	0.5162
Ενέργεια	1/3	1	1	1	0.2643	0.1558
Φήμη	1/4	1	1	3	0.3465	0.2043
Qos	1/3	1	1/3	1	0.2094	0.1235

#### (Υψηλή ταχύτητα)

Στην περίπτωση όπου ο χρήστης κινείται με υψηλή ταχύτητα, βρίσκεται δηλαδή επιβιβασμένος σε κάποιο όχημα σε οδό ταχείας κυκλοφορίας, εκτιμούμε ότι δίνεται μεγαλύτερη σημασία στο ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται με την σύνδεση του σε κάποιο δίκτυο παρά με το κόστος της υπηρεσίας που θέλει να χρησιμοποιήσει. Η σκέψη αυτή απορρέει από το γεγονός ότι ο χρήστης κινείται με μεγάλη ταχύτητα και κατά πάσα πιθανότητα βρίσκεται μακριά από τον σταθμό βάσης από τον οποίο εξυπηρετείται και αυτό συνεπάγεται στην μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από την μεριά του τερματικού σταθμού. Επίσης στην κατανάλωση ενέργειας πρέπει να συνυπολογιστεί και το γεγονός ότι υπάρχουν πιθανότητες για περισσότερες μεταπομπές εν συγκρίσει με τις προηγούμενες καταστάσεις του χρήστη λόγω της

μεγαλύτερης διακίνησης πληροφορίας που απαιτούνται για την διαδικασία της μεταπομπής. Επιπρόσθετα, παρατηρούμε μία χαμηλή απαίτηση σε επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας σε αυτή την κατάσταση του χρήστη διότι προτιμάται περισσότερο μία σταθερή σύνδεση χαμηλότερης ποιότητας παρά μία σύνδεση φαινομενικά υψηλής ποιότητας με πολλές αποτυχίες σύνδεσης.

### Φωνή

Για την υπηρεσία Voice δίνεται επιπλέον βαρύτητα στο κριτήριο της φήμης καθώς λόγω ταχύτητας του χρήστη και λόγω απόστασης από τον σταθμό βάσης απαιτείται ένα αρκετά αξιόπιστο δίκτυο για την διατήρηση της σύνδεσης.

CR:0.0701 CI: 0.0631 $\lambda_{max}$ :4.1894	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1/5	1/3	3	0.2013	0.1327
Ενέργεια	5	1	3	5	0.8792	0.5795
Φήμη	3	1/3	1	4	0.4178	0.2754
Qos	1/3	1/5	1/4	1	0.0189	0.0125

### Video

Όσον αφορά το video, παρατηρείται μεγαλύτερη βαρύτητα στην φήμη του δικτύου καθώς απαιτείται ένα αρκετά αξιόπιστο δίκτυο έτσι ώστε να είναι σε θέση να παρέχει με αξιοπιστία την υπηρεσία αυτή καθώς απαιτείται μεγαλύτερο throughput συγκριτικά με άλλες υπηρεσίες που εξετάζουμε.

CR:0.0803 CI: 0.0723 $\lambda_{max}$ :4.2169	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1/3	1/5	5	0.2282	0.1387
Ενέργεια	3	1	1/2	7	0.5141	0.3125
Φήμη	5	2	1	6	0.8230	0.5003
Qos	1/5	1/7	1/6	1	0.0797	0.0484

Για τις εναπομείναντες υπηρεσίες να αναφέρουμε απλά ότι το μοτίβο που ακολουθούν είναι παρόμοιο με την υπηρεσία video.

### Περιήγηση διαδικτύου

CR:0.0359 CI: 0.0323 $\lambda_{max}$ :4.0968	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1/2	1/2	2	0.3246	0.1800
Ενέργεια	2	1	1/2	4	0.5587	0.3099
Φήμη	2	2	1	3	0.7423	0.4117
Qos	1/2	1/4	1/3	1	0.1774	0.0984

### Streaming video

CR:0.0379 CI: 0.0341 $\lambda_{\max}$ :4.1023	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1/2	1/3	3	0.2940	0.1694
Ενέργεια	2	1	1/2	5	0.5244	0.3021
Φήμη	3	2	1	4	0.7886	0.4543
Qos	1/3	1/5	1/4	1	0.1289	0.0743

### Streaming voice

CR:0.0175 CI: 0.0158 $\lambda_{\max}$ :4.0473	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	Qos	Ιδιοτιμή	Βάρος
Κόστος	1	1/2	1/2	4	0.3788	0.2102
Ενέργεια	2	1	1	5	0.6637	0.3684
Φήμη	2	1	1	4	0.6325	0.3511
Qos	1/4	1/5	1/4	1	0.1265	0.0412

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης AHP και πλέον γνωρίζουμε όλα τα βάρη των κριτηρίων όλων των υπηρεσιών για κάθε κατάσταση του χρήστη. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει η χρήση των βαρών στην μέθοδο TOPSIS για την εύρεση του καταλληλότερου δικτύου.

#### 4.6 Η μέθοδος TOPSIS:

Έπειτα από το "φιλτράρισμα" των δικτύων με την βοήθεια των πολιτικών, έχουν απομείνει εκείνα τα δίκτυα τα οποία εν δυνάμει μπορούν να εξυπηρετήσουν τον χρήστη. Στο σημείο αυτό, έπειτα από την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το κατάλληλο δίκτυο σύμφωνα με την κατάσταση του χρήστη και τις προτιμήσεις του, την κατάσταση της συσκευής του και τις απαιτήσεις της υπηρεσίας που χρησιμοποιεί.

#### Βήμα 1<sup>ο</sup>:

Ξεκινώντας με την μέθοδο TOPSIS, ορίζουμε τον πίνακα απόφασης ο οποίος στα πλαίσια της προσομοίωσης αποτελείται από τα χαρακτηριστικά των δικτύων που εκφράζουν τα κριτήρια απόφασης. Πρόκειται δηλαδή για έναν πίνακα  $n \times 4$  όπου  $n$  τα προτεινόμενα δίκτυα, με τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν για να καθορίσουμε το καταλληλότερο δίκτυο.

### **Βήμα 2<sup>ο</sup>:**

Στην συνέχεια κανονικοποιούμε τον πίνακα απόφασης σύμφωνα με την σχέση:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}}$$

Όπου  $r_{ij}$  κάθε στοιχείο του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης που προκύπτει από την διαίρεση του αντίστοιχου κελιού  $x_{ij}$  του πίνακα απόφασης με την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των κελιών της στήλης  $j$  υψωμένα στο τετράγωνο.

### **Βήμα 3<sup>ο</sup>:**

Έπειτα χρησιμοποιούμε εκείνα τα βάρη των κριτηρίων που προέκυψαν από την μέθοδο της AHP [35] και αντιστοιχούν στο σενάριο προσομοίωσης που θα εκτελείται κάθε φορά. Αναλυτικότερα, πολλαπλασιάζουμε το βάρος του κάθε κριτηρίου με την στήλη του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης που αντιστοιχεί στο κριτήριο αυτό.

### **Βήμα 4<sup>ο</sup>:**

Στον πίνακα που έχει πλέον προκύψει και είναι γνωστός και ως weighted matrix υπολογίζουμε την ιδανική και την χειρίστη λύση σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$A^* = (v_1^*, \dots, v_j^*) := \{(\max_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_j^-) := \{(\min_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

Βρίσκουμε δηλαδή το ιδανικό και το χειρίστο δίκτυο βρίσκοντας αντίστοιχα τις καλύτερες και τις χειρίστες τιμές από κάθε στήλη του πίνακα.

### **Βήμα 5<sup>ο</sup>:**

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις αποστάσεις των δικτύων από το ιδανικό και το χειρίστο δίκτυο σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$S^*_i := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$$S^-_i := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Όπου  $S^*_i$  και  $S^-_i$  οι ιδανική και η χειρίστη απόσταση αντίστοιχα.

### Βήμα 6<sup>ο</sup>:

Όπως αναφέραμε και στην περιγραφή της μεθόδου, στο τέλος της διαδικασίας επιλέγεται ως βέλτιστη η λύση που πλησιάζει περισσότερο την ιδανική λύση και απομακρύνεται περισσότερο από την αρνητική-ιδανική λύση. Έτσι για τον υπολογισμό του καλύτερου δικτύου υπολογίζουμε την παρακάτω σχέση:

$$C^*(S_i) := \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} .$$

### 4.6.1 Παράδειγμα υλοποίησης της εφαρμογής TOPSIS

Υποθέτουμε ότι υπάρχουν 3 υποψήφια δίκτυα που μπορούν να εξυπηρετήσουν τον χρήστη όταν κινείται με χαμηλή ταχύτητα και επιθυμεί να κάνει χρήση της υπηρεσίας streaming video. Σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής και με την βοήθεια της μεθόδου TOPSIS θα βρεθεί το καταλληλότερο.

Τα κριτήρια είναι:

- Το κόστος που απαιτείται να διαθέσει ο χρήστης για την χρήση της υπηρεσίας που επιθυμεί..
- Η ενέργεια που απαιτείται να καταναλωθεί από το κινητό τερματικό έτσι ώστε να παραμείνει συνδεδεμένο με τον κάθε σταθμό βάσης.
- Η φήμη του κάθε δικτύου
- Το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρει το κάθε δίκτυο.

### Βήμα 1<sup>ο</sup>:

Θεωρούμε τον πίνακα απόφασης D όπου η γραμμές εκφράζουν τα υποψήφια δίκτυα και οι στήλες τα χαρακτηριστικά αυτών που αναλογούν στα προαναφερθέντα κριτήρια. Τα δίκτυα 1,2 και 3 υλοποιούν τις τεχνολογίες WiFi, UMTS και WiMax αντίστοιχα.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Δίκτυο 1	1	4.5	60	3
Δίκτυο 2	3	1.2	80	4
Δίκτυο 3	5	3.5	95	5

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 4.5 & 60 & 3 \\ 3 & 1.2 & 80 & 4 \\ 5 & 3.5 & 95 & 5 \end{bmatrix}$$



### Βήμα 2<sup>ο</sup>:

Κανονικοποιούμε τον πίνακα D σύμφωνα με την σχέση:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}}$$

Επομένως για το 1<sup>ο</sup> στοιχείο του πίνακα D έχουμε:

$$r_{1,1} = \frac{x_{1,1}}{\sqrt{\sum_1^3 x_{1,j}^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 3^2 + 5^2}} = 0.169$$

$$r_{2,1} = \frac{x_{2,1}}{\sqrt{\sum_1^3 x_{2,j}^2}} = \frac{3}{\sqrt{1^2 + 3^2 + 5^2}} = 0.507$$

$$r_{3,1} = \frac{x_{3,1}}{\sqrt{\sum_1^3 x_{3,j}^2}} = \frac{5}{\sqrt{1^2 + 3^2 + 5^2}} = 0.845$$

Με τον ίδιο τρόπο συνεχίζουμε και για τις υπόλοιπες στήλες. Επομένως ο κανονικοποιημένος πλέον πίνακας είναι :

$$D = \begin{bmatrix} 0.169 & 0.772 & 0.434 & 0.424 \\ 0.507 & 0.205 & 0.579 & 0.565 \\ 0.845 & 0.600 & 0.688 & 0.707 \end{bmatrix}$$

### Βήμα 3<sup>ο</sup>:

Έπειτα χρησιμοποιούμε εκείνα τα βάρη των κριτηρίων που προέκυψαν από την μέθοδο της AHP και αντιστοιχούν στο σενάριο προσομοίωσης που εκτελούμε. Τα βάρη για κάθε κριτήριο στην περίπτωση αυτή είναι:

- Κόστος : 0.364
- Ενέργεια: 0.364
- Φήμη: 0.138
- QoS: 0.1334

Πολλαπλασιάζουμε το βάρος του κάθε κριτηρίου με την στήλη του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης που αντιστοιχεί στο κριτήριο αυτό.

$$D = \begin{bmatrix} 0.061 & 0.281 & 0.059 & 0.056 \\ 0.184 & 0.074 & 0.079 & 0.075 \\ 0.307 & 0.218 & 0.094 & 0.094 \end{bmatrix}$$

#### Βήμα 4<sup>ο</sup>:

Στον πίνακα που έχει πλέον προκύψει υπολογίζουμε την ιδανική και την χειρίστη λύση σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$A^* = (v_1^*, \dots, v_j^*) := \{(\max_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_j^-) := \{(\min_{i=1, \dots, j} v_{ij} | j \in J_C)\}$$

Βρίσκουμε δηλαδή το ιδανικό και το χειρίστο δίκτυο βρίσκοντας αντίστοιχα τις καλύτερες και τις χειρίστες τιμές από κάθε στήλη του πίνακα.

Επομένως :

$$A^* = (0.061, 0.074, 0.094, 0.094)$$

$$A^- = (0.307, 0.281, 0.059, 0.056)$$

#### Βήμα 5<sup>ο</sup>:

Στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις αποστάσεις των δικτύων από το ιδανικό και το χειρίστο δίκτυο σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$S_i^* := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$$S_i^- := \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$$\begin{aligned} S_1^* &= \sqrt{(0.061 - 0.061)^2 + (0.281 - 0.074)^2 + (0.059 - 0.094)^2 + (0.056 - 0.094)^2} \\ &= 0.212 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1^- &= \sqrt{(0.061 - 0.307)^2 + (0.281 - 0.281)^2 + (0.059 - 0.059)^2 + (0.056 - 0.056)^2} \\ &= 0.246 \end{aligned}$$

Το ίδιο πράττουμε και με τα υπόλοιπα δίκτυα και έχουμε τις τιμές:

$$S_2^* = 0.125$$

$$S_2^- = 0.242$$

$$S_3^* = 0.285$$

$$S_3^- = 0.081$$

### Βήμα 6<sup>ο</sup>:

Τέλος, για τον υπολογισμό του καλύτερου δικτύου υπολογίζουμε την παρακάτω σχέση:

$$C^*(S_i) := \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} .$$

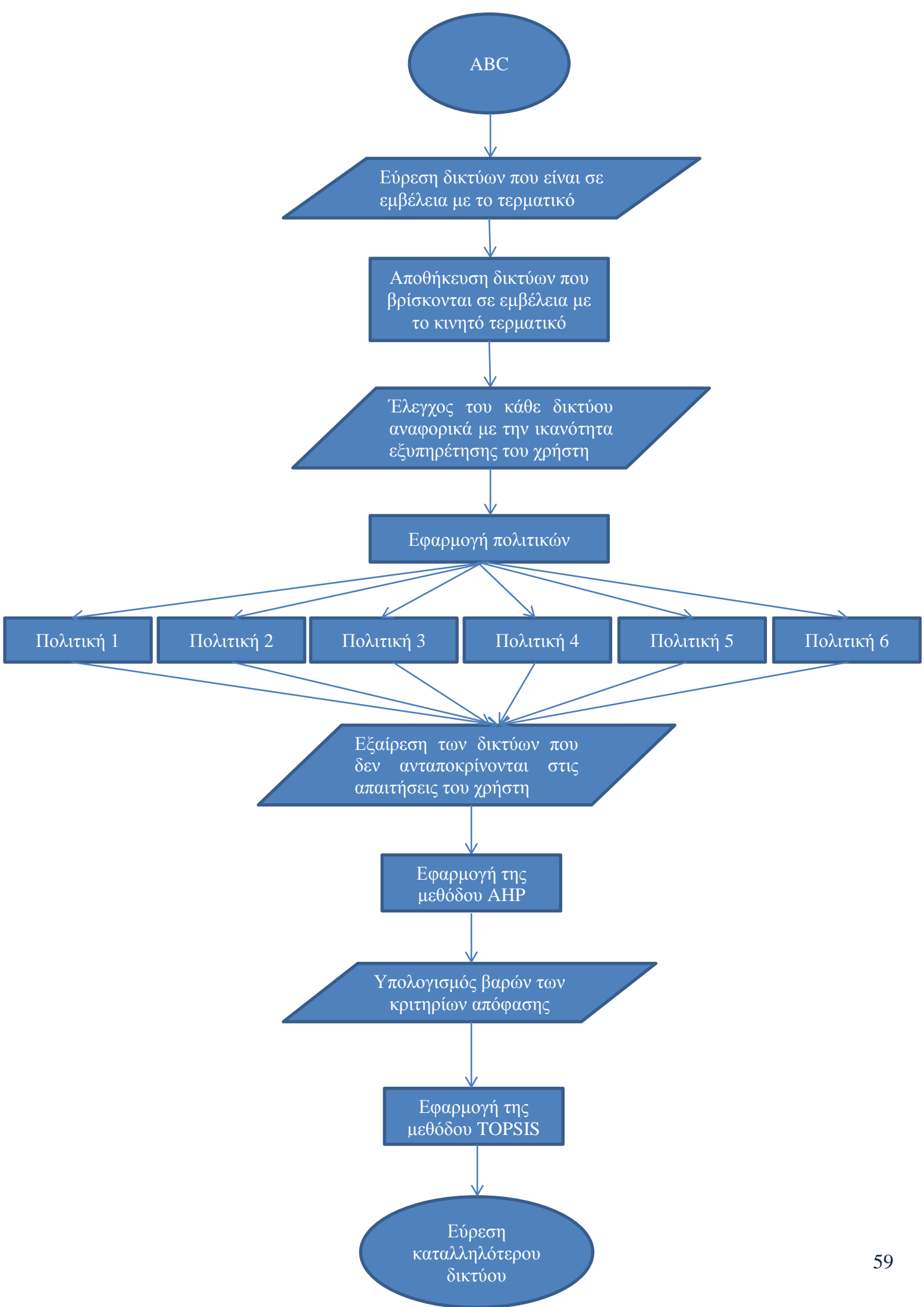
$$C^*(S_1) := \frac{0.246}{0.246 + 0.212} = 0.53$$

$$C^*(S_2) := \frac{0.242}{0.242 + 0.125} = 0.659$$

$$C^*(S_3) := \frac{0.081}{0.081 + 0.285} = 0.221$$

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το καταλληλότερο δίκτυο είναι το UMTS με τιμή 0.659 και έπειτα ακολουθούν το wifi και τέλος το wimax με τιμές 0.53 και 0.221 αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι μεγάλο ρόλο στην τελική επιλογή είχε η κατανάλωση ενέργειας που είχε ίδια βαρύτητα με το κριτήριο του κόστους και επειδή είχε την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τα υπόλοιπα, γι αυτό και προτιμήθηκε.

Τέλος δίνεται ένα σχετικό σχεδιάγραμμα της υλοποίησης του μηχανισμού που αναλύθηκε στο εν λόγω κεφάλαιο.



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>:

### Σενάρια – Αποτελέσματα προσομοίωσης

#### Σενάριο 1:

Ο χρήστης βρίσκεται στην οικεία του και επιθυμεί να κάνει χρήση της υπηρεσίας video streaming. Το προφίλ του χρήστη δίνεται παρακάτω:

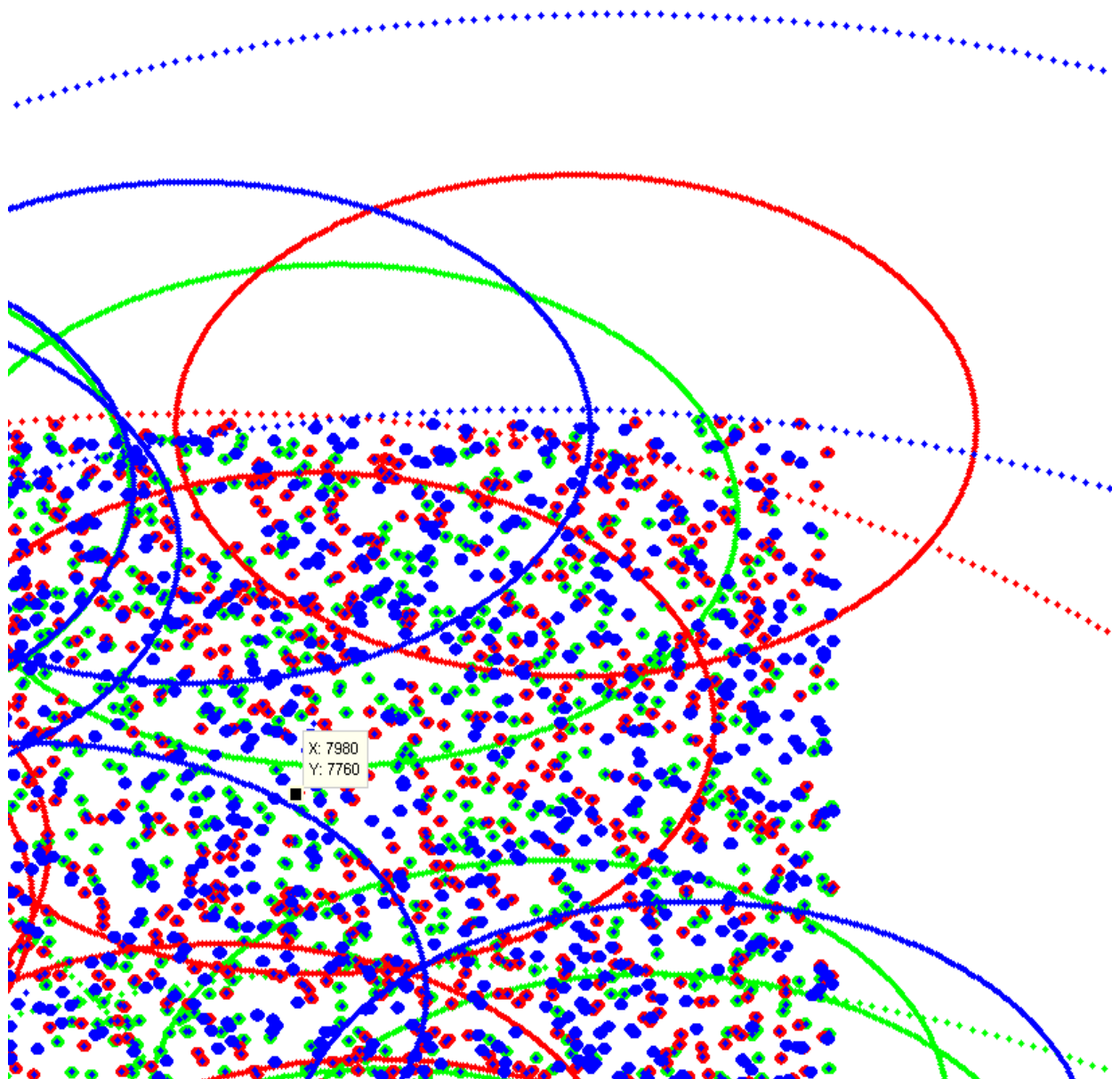
- Ταχύτητα: Αμελητέα
- Χρήση υπηρεσίας: video streaming
- Απαίτηση επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας: 3
- Τιμή μονάδας κόστους που είναι πρόθυμος να διαθέσει: 5
- Απαίτηση επιπέδου ασφαλείας: 3

Το τερματικό του χρήστη είναι ικανό να εκτελέσει όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Τα ενεργειακά αποθέματα του τερματικού δεν μας απασχολούν στο σενάριο αυτό καθώς ο χρήστης βρίσκεται στο σπίτι του.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και αναλύονται διεξοδικά:

Ο χρήστης βρίσκεται στην περιοχή με συντεταγμένες:  $(x,y) = (7986,7773)$  και από όλα τα δίκτυα πρόσβασης που βρίσκονται εντός εμβέλειας έχει επιλεγθεί σαν καταλληλότερο δίκτυο πρόσβασης το οικιακό ασύρματο δίκτυο πρόσβασης τεχνολογίας wifi. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο και επιθυμητό για την πλειοψηφία των χρηστών. Θα πρέπει όμως να εξετάσουμε βήμα προς βήμα τον αλγόριθμο εύρεσης καταλληλότερου δικτύου και να δούμε πως κατέληξε στο προφανές για εμάς αποτέλεσμα.

Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες στις οποίες βρίσκεται ο χρήστης υπολογίζεται ο αριθμός των δικτύων για τα οποία ο χρήστης βρίσκεται εντός εμβέλειας. Αναλυτικότερα, στην περιοχή του χρήστη υπάρχουν τρεις σταθμοί βάσης wimax, ένας σταθμός βάσης umts και το οικιακό wifi. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η περιοχή του περιβάλλοντος στην οποία βρίσκεται ο χρήστης. Τα διακεκομμένα ημικύκλια αποτελούν την εμβέλεια των σταθμών βάσεων wimax, οι κύκλοι αποτελούν την εμβέλεια των δικτύων umts και τέλος τα πολλαπλά στίγματα που υπάρχουν στο περιβάλλον αποτελούν σταθμούς βάσης τεχνολογίας wifi. Τα χρώματα κάθε κύκλου υποδεικνύουν σε ποιον από τους τρεις παρόχους ανήκουν τα δίκτυα (πράσινο, κόκκινο και μπλε για τους παρόχους 1,2 και 3 αντίστοιχα.). Το μαύρο τετράγωνο στην εικόνα δείχνει τις συντεταγμένες του χρήστη καθώς και του οικιακού του δικτύου.



Έπειτα, τα δίκτυα αυτά υπόκεινται σε έλεγχο μέσω των πολιτικών που έχουν αναφερθεί, και απορρίπτονται όσα δεν πληρούν τις προϋποθέσεις που έχουμε ορίσει. Για παράδειγμα έχουν απορριφτεί όλοι οι σταθμοί βάσης wimax καθώς το κόστος υπηρεσίας που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του χρήστη υπερβαίνει κατά πολύ το ποσό που είναι πρόθυμος να διαθέσει. Στην συνέχεια τα δίκτυα που έχουν απομείνει είναι εξίσου ικανά για να εξυπηρετήσουν τον χρήστη. Επειδή όμως ο αλγόριθμος επιζητεί την εύρεση του καλύτερου δικτύου, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των δικτύων σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν οριστεί (κόστος, ενέργεια, φήμη δικτύου, QoS) και με την βοήθεια των πολυκριτηριακών μεθόδων ahp και topsis. Για το συγκεκριμένο σενάριο τα βάρη των κριτηρίων είναι:

- Κόστος: 0.5329
- Ενέργεια: 0.0468
- Φήμη: 0.2044
- QoS: 0.2159

Έχουμε λοιπόν, να συγκρίνουμε δύο δίκτυα, ένα δίκτυο umts και ένα δίκτυο wifi. Τα χαρακτηριστικά των δικτύων που αντιστοιχούν στα κριτήρια παρουσιάζονται παρακάτω:

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
UMTS	5	1.2	0.95	3
WIFI	1	4.5	0.89	5

Εφαρμόζουμε την μέθοδο topsis και έχουμε την τελική βαθμολογία για τα δίκτυα wifi και umts η οποία θα αναδείξει και το καταλληλότερο δίκτυο:

- UMTS: 0.0751
- WIFI: 0.9249

Παρατηρούμε ότι το wifi δίκτυο έχει καλύτερη βαθμολογία από το δίκτυο umts και επομένως επιλέγεται αυτό ως καταλληλότερο. Οι βαθμολογίες που απέδωσε ο αλγόριθμος topsis στα δίκτυα έχουν σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Αυτό συνέβη διότι το μεγαλύτερο ρόλο στην τελική επιλογή έπαιξε το κόστος και λόγω του ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δικτύων αναφορικά με το κόστος έχουμε τις τιμές αυτές.

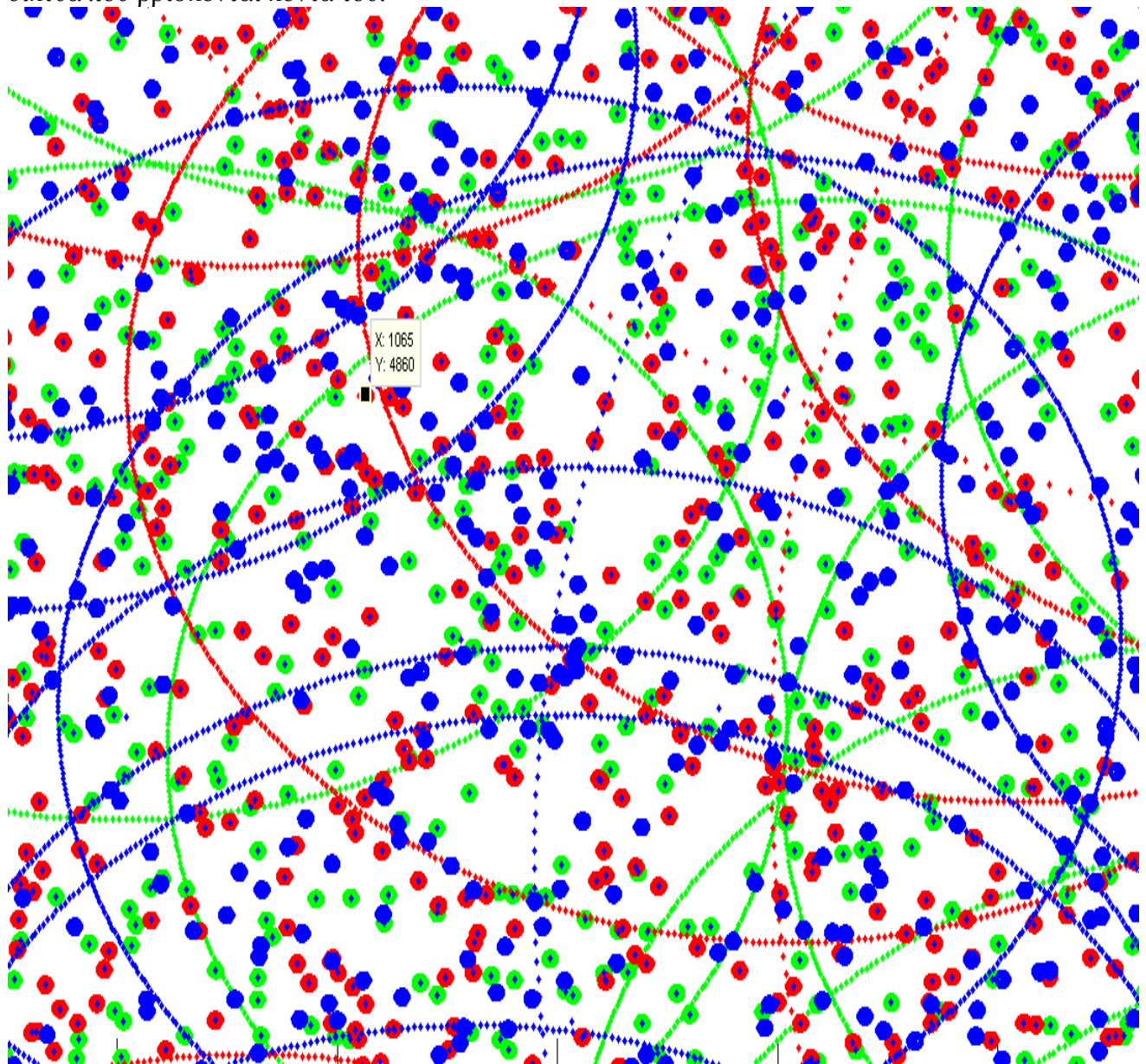
Στο σενάριο αυτό, η κίνηση του χρήστη ήταν αμελητέα και βρισκόταν πάντα εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου της οικείας του. Για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάστηκε κάποια μεταπομπή. Εφόσον δηλαδή ο χρήστης δεν εξήλθε από την εμβέλεια του αρχικού δικτύου πρόσβασης ή δεν εισήλθε σε ένα άλλο δεν απαιτήθηκε καμία μεταπομπή. Σε επόμενα σενάρια θα μελετήσουμε και την περίπτωση στην οποία απαιτείται η μεταπομπή.

## Σενάριο 2:

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η λειτουργία του αλγόριθμου, θα αναλύσουμε ακόμα ένα απλό παράδειγμα στο οποίο ισχύει το ίδιο προφίλ χρήστη με το 1<sup>ο</sup> σενάριο με την διαφορά ότι ο χρήστης αυτή τη φορά επιθυμεί να περιηγηθεί στο διαδίκτυο (web browsing) και επιθυμεί να διαθέσει μέχρι τρεις χρηματικές μονάδες. Και εδώ ακολουθείται η ίδια διαδικασία: τα δίκτυα που παρέχουν κάλυψη στο χρήστη "φιλτράρονται" μέσω των πολιτικών και απομένουν μόνο αυτά που ικανοποιούν τις συνθήκες που έχουν τεθεί. Σε αυτό το σενάριο έχουμε πέντε δίκτυα που είναι ικανά να εξυπηρετήσουν τον χρήστη. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν τέσσερα δίκτυα umts και ένα δίκτυο wifi (τρεις διαφορετικούς σταθμούς βάσης του ίδιου δικτύου που καλύπτουν την ίδια περιοχή και ανήκουν στον πάροχο 3 και ένα στον πάροχο 1, το wifi ανήκει στον πάροχο 2). Τα χαρακτηριστικά αυτών φαίνονται παρακάτω:

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Umts 1.1	3	1.2	1	2
Umts 2.3	3	1.2	0.9019	2
Umts 3.3	3	1.2	0.9019	2
Umts 4.3	3	1.2	0.9019	2
Wifi 5.2	1	4.5	0.9123	2

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χρήστης και τα δίκτυα που βρίσκονται κοντά του.



Ο βαθμός σημαντικότητας για κάθε δίκτυο στην περίπτωση αυτή είναι:

- Κόστος: 0.6249
- Ενέργεια: 0.0889
- Φήμη: 0.2044
- QoS: 0.0783
- 

Τα αποτελέσματα των βαθμολογιών έχουν ως εξής:

- UMTS 1.1 = 0.0670
- UMTS 2.3 = 0.0550
- UMTS 3.3 = 0.0550



- UMTS 4.3 = 0.0550
- WIFI 5.1 = 0.9337

Παρατηρούμε λοιπόν ότι και σε αυτή τη περίπτωση προτιμήθηκε το οικιακό δίκτυο wifi που και εδώ η επιλογή αυτή ήταν αναμενόμενη. Το κόστος είχε πάλι το μεγαλύτερο βαθμό σημαντικότητας και το αμέσως επόμενο η φήμη, γι αυτό και το umts 1 του πάροχου 1 έρχεται δεύτερο σε προτίμηση.

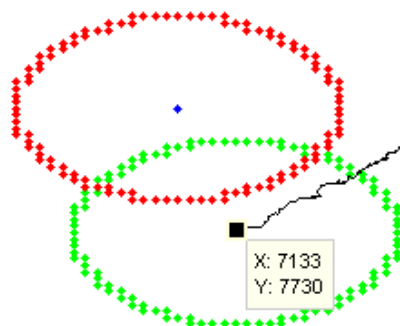
### Σενάριο 3:

Στο σημείο αυτό, θα εξετάσουμε την περίπτωση για την οποία ο χρήστης βρίσκεται αρχικά εντός της οικίας του και έπειτα εξέρχεται από αυτή και κινείται ελεύθερα στο περιβάλλον με χαμηλή ταχύτητα. Το προφίλ του χρήστη δίνεται παρακάτω:

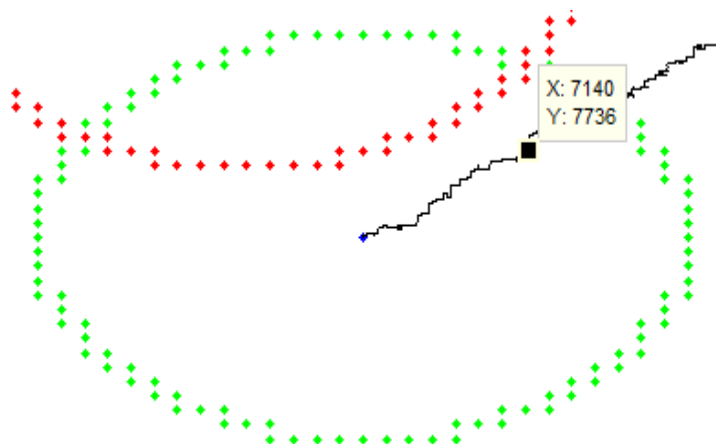
- Ταχύτητα: χαμηλή (1.5 m/s)
- Χρήση υπηρεσίας: video streaming
- Απαίτηση επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας: 2
- Τιμή μονάδας κόστους που είναι πρόθυμος να διαθέσει: 7
- Απαίτηση επιπέδου ασφαλείας: 2

Το σενάριο προσομοιώνει την κίνηση που κάνει ο χρήστης στο διάστημα μίας ώρας. Θα δούμε στα αποτελέσματα της προσομοίωσης την κίνηση του χρήστη στο περιβάλλον προσομοίωσης, τα δίκτυα που υπάρχουν στην περιοχή του χρήστη, με ποια δίκτυα συνδέθηκε και γιατί προτιμήθηκαν τα συγκεκριμένα καθώς και τις αντίστοιχες μεταπομπές που έγιναν κατά την διάρκεια της κίνησης του χρήστη.

Αρχικά, ο χρήστης βρίσκεται στην οικία του με συντεταγμένες (7133,7730) και ξεκινάει να χρησιμοποιεί την υπηρεσία video streaming. Επομένως έχει ήδη ενεργοποιηθεί ο αλγόριθμος εύρεσης καταλληλότερου δικτύου και έχει υποδείξει σαν καταλληλότερο δίκτυο πρόσβασης το οικιακό δίκτυο wifi του χρήστη ανάμεσα από δίκτυα διαφορετικών τεχνολογιών που υπάρχουν στην περιοχή. Τα υποψήφια δίκτυα για την αρχική επιλογή είναι ένα δίκτυο wimax που ανήκει στον πάροχο 3, 4 δίκτυα τεχνολογίας umts όπου τα 2 ανήκουν στον πάροχο1 και τα άλλα 2 στον πάροχο 2 και το wifi του πάροχου 1 που επιλέχτηκε. Η παρακάτω εικόνα δείχνει σε μεγέθυνση την περιοχή στην οποία ο χρήστης ξεκίνησε για πρώτη φορά την υπηρεσία video streaming. Η συνεχόμενη μαύρη γραμμή παρουσιάζει την κίνηση του χρήστη στο χώρο.



Έπειτα, όταν ο χρήστης βρίσκεται στα όρια κάλυψης του οικιακού του δικτύου ενεργοποιείται η διαδικασία της μεταπομπής και παράλληλα και ο αλγόριθμος επιλογής δικτύου. Αναλυτικότερα, όταν ο χρήστης βρίσκεται στο σημείο (7140,7736)



υπολογίζεται η απόσταση του τερματικού με τον σταθμό βάσης του δικτύου wifi και εφόσον βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το επιτρεπτό όριο των 100m που έχει τεθεί, το πρόγραμμα εκκινεί την διαδικασία εύρεσης εναλλακτικού δικτύου, έτσι ώστε να μην διακοπεί η υπηρεσία. Έτσι, γίνεται ανίχνευση νέων δικτύων για την αξιολόγηση και την σύγκριση μεταξύ τους για να βρεθεί και πάλι το καταλληλότερο δίκτυο. Τα διαθέσιμα δίκτυα για την εξυπηρέτηση του χρήστη στο σημείο αυτό παραμένουν τα ίδια με την διαφορά ότι δεν υπολογίζεται το δίκτυο wifi πλέον, καθώς ο χρήστης είναι εκτός εμβέλειας αυτού. Παρακάτω δίνονται τα χαρακτηριστικά των δικτύων προς υπολογισμό.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.3	6	3.5	0.24	5
Umts 2.1	5	1.2	0.72	2
Umts 3.1	5	1.2	0.72	3
Umts 4.2	6	1.2	0.44	3
Umts 5.2	6	1.2	0.44	3

Οι βαθμοί σημαντικότητας κάθε κριτηρίου είναι:

Κόστος	0.3642
Ενέργεια	0.3642
Φήμη	0.1381
QoS	0.1334

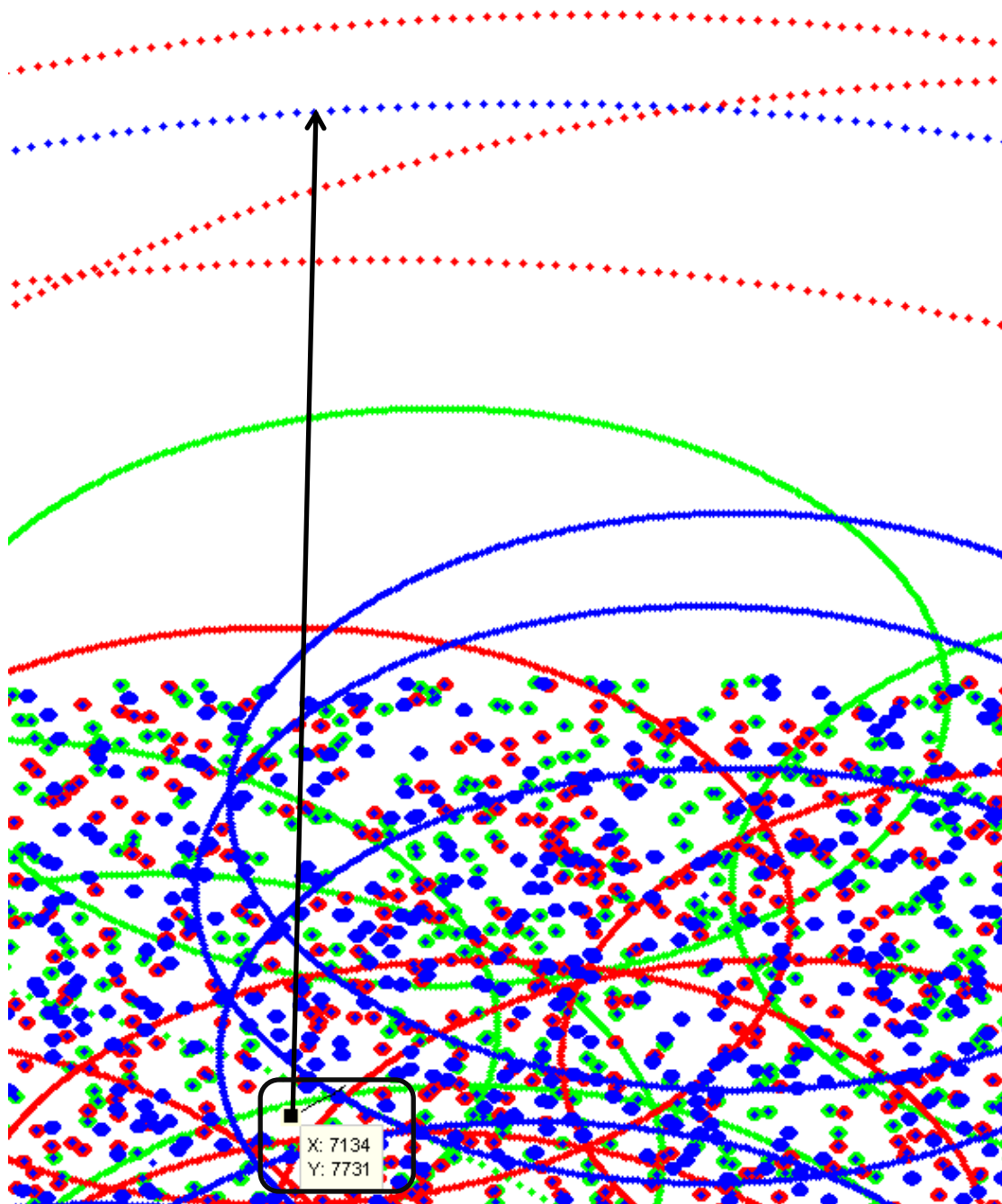
Οι τελικές βαθμολογίες που υποδεικνύουν την τιμή καταλληλότητας για κάθε δίκτυο είναι:

Wimax 1.3	0.2312
Umts 2.1	0.7688

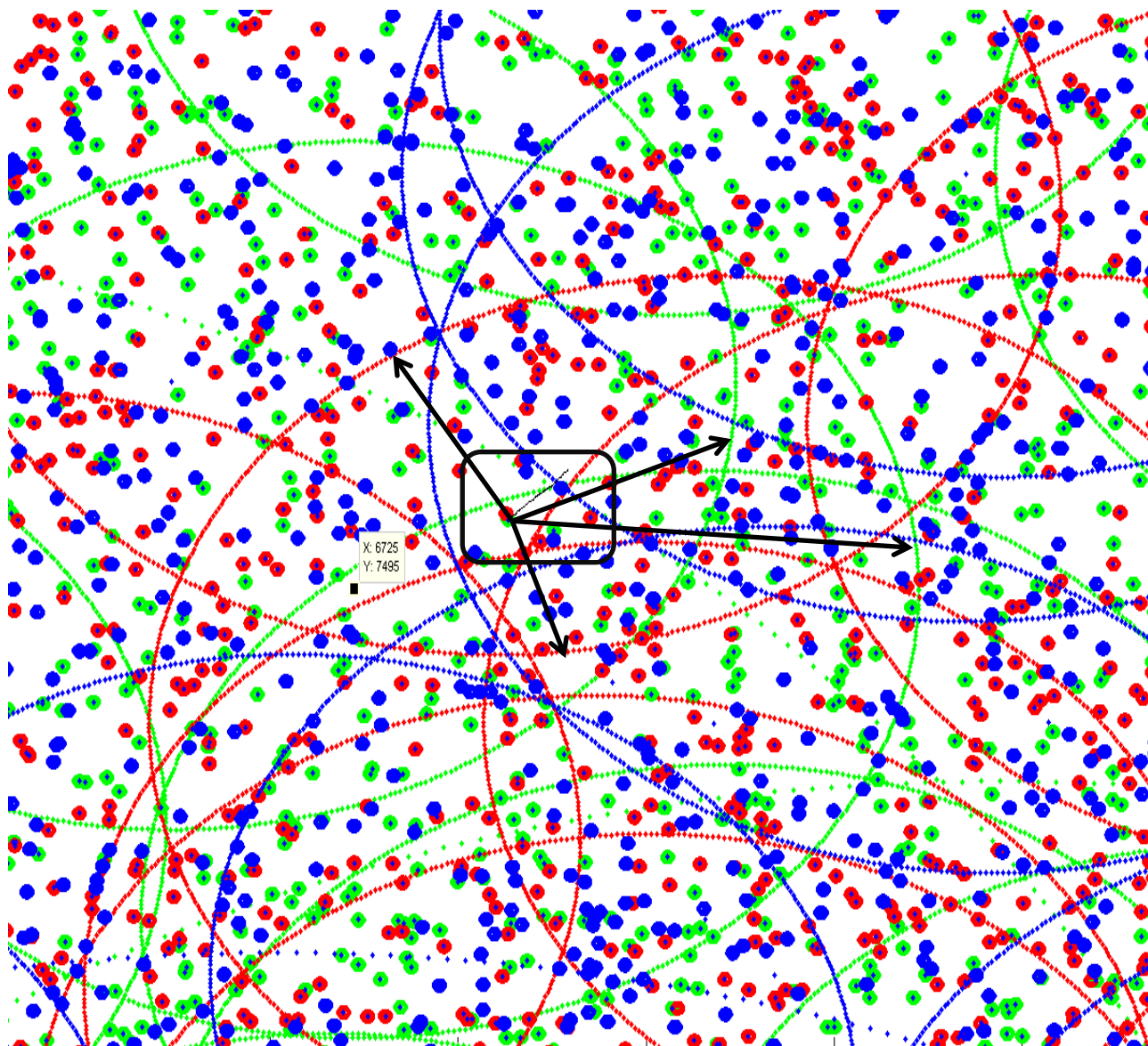
Umts 3.1	0.8337
Umts 4.2	0.7307
Umts 5.2	0.7307

Όπως είναι φανερό πλέον, το καταλληλότερο δίκτυο είναι το umts 3 του παρόχου 1. Στα αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι το δίκτυο wimax έχει την μικρότερη τιμή, αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την εξυπηρέτηση του χρήστη είναι κατά πολύ μεγαλύτερη των υπόλοιπων δικτύων. Βέβαια, σημαντικό ρόλο έχει και η τιμή φήμης του συγκεκριμένου δικτύου καθώς είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με τα υπόλοιπα δίκτυα. Όσον αφορά το τελικό αποτέλεσμα του αλγόριθμου, βλέπουμε ότι το αμέσως επόμενο κατά προτίμηση δίκτυο, είναι πάλι ένα δίκτυο umts του ίδιου παρόχου με αυτό που επιλέχτηκε, με την διαφορά ότι μπορεί να παρέχει στον χρήστη ένα επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας μικρότερο αυτής του πρώτου. Αν και θα μπορούσε κάλλιστα το δίκτυο umts 2.1 να εξυπηρετήσει τον χρήστη, εφόσον δεν απαιτούσε επίπεδο υπηρεσίας πάνω από αυτό που διέθετε, παρόλα αυτά επιλέχθηκε σαν καταλληλότερο το δίκτυο umts 3.1. Εδώ λοιπόν έγκειται η ουσία του συνεχώς συνδεδεμένου στο καλύτερο δυνατό δίκτυο.

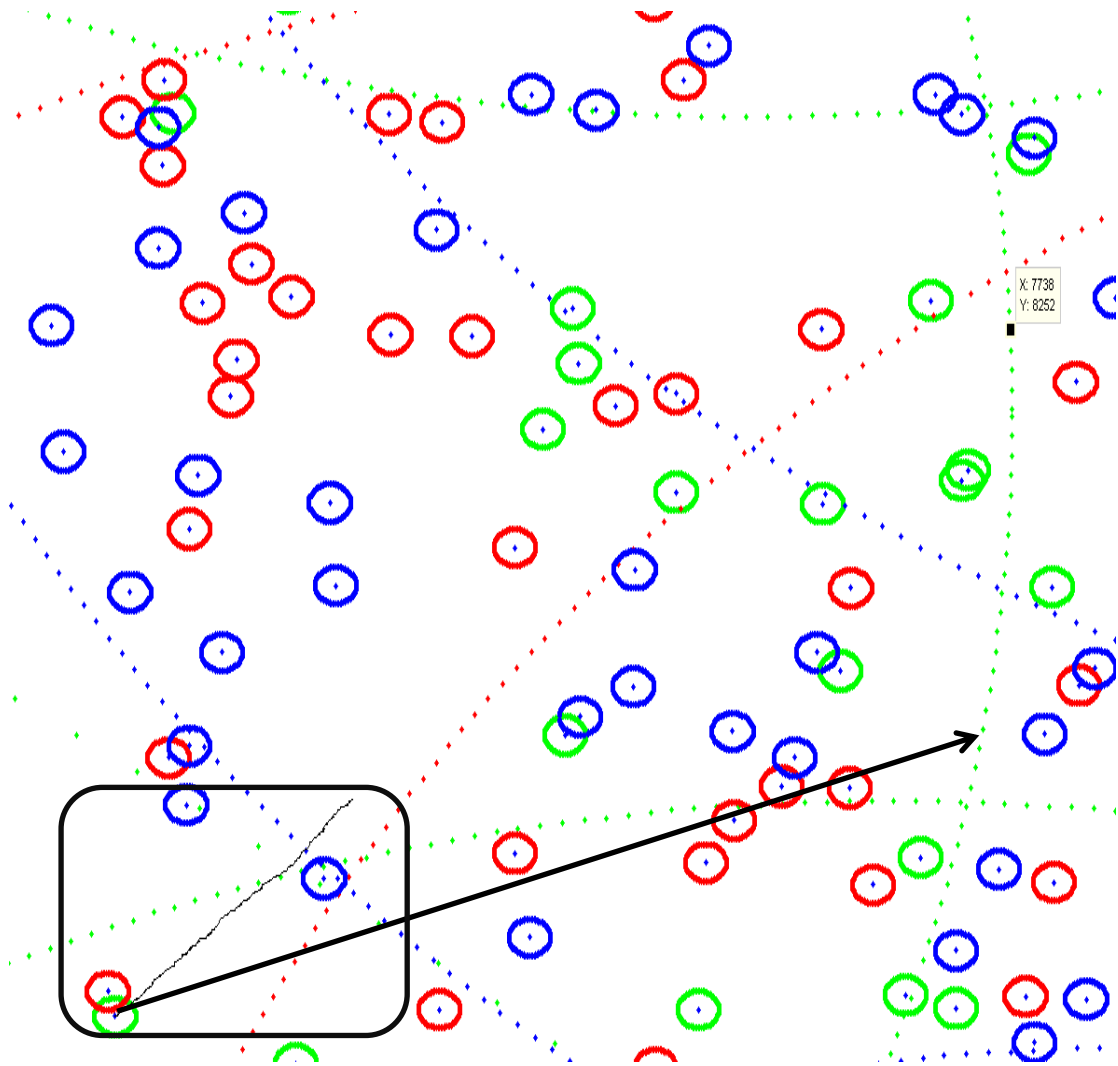
Η κίνηση του χρήστη απεικονίζεται με την μαύρη γραμμή που υπάρχει μέσα στο τετράγωνο πλαίσιο. Η ακτίνα εμβέλειας του δικτύου wimax φαίνεται με το μαύρο βέλος.



Εάν μεγεθύνουμε την εικόνα στην περιοχή που κινήθηκε ο χρήστης, (τετράγωνο πλαίσιο της παραπάνω εικόνας) εντοπίζουμε και τα όρια εμβέλειας των umts δικτύων.



Και σε μεγαλύτερη μεγέθυνση που φαίνονται πιο ευδιάκριτα οι εμβέλειες των δικτύων που εξυπηρέτησαν τελικά τον χρήστη. Επομένως συνολικά έγινε η εκκίνηση του μηχανισμού δύο φορές, εκ των οποίων η μία ήταν λόγω αναγκαστικής μεταπομπής.



#### Σενάριο 4:

Στο παρόν σενάριο, θα εξετάσουμε την περίπτωση για την οποία ο χρήστης βρίσκεται σε ένα τυχαίο σημείο στο περιβάλλον προσομοίωσης. Το προφίλ του χρήστη δίνεται παρακάτω:

- Ταχύτητα: χαμηλή (2 m/s)
- Χρήση υπηρεσίας: voice
- Απαίτηση επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας: 4
- Τιμή μονάδας κόστους που είναι πρόθυμος να διαθέσει: 3
- Απαίτηση επιπέδου ασφαλείας: 2

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης ο χρήστης βρίσκεται στο σημείο με συντεταγμένες (7816,3371). Την στιγμή εκείνη, εκκινεί την υπηρεσία φωνής και με την βοήθεια του αλγορίθμου εύρεσης καταλληλότερου δικτύου, το τερματικό εντοπίζει τα διαθέσιμα δίκτυα που βρίσκονται εντός εμβέλειας του κινητού τερματικού και επιλέγει το καλύτερο. Οι σταθμοί βάσης που είναι ικανοί να εξυπηρετήσουν τον χρήστη στο σημείο εκκίνησης είναι 2 σταθμοί τεχνολογίας wimax του παρόχου 1 και 2 σταθμοί τεχνολογίας umts του παρόχου 2.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	3	3.5	0.34	4
Wimax 2.1	3	3.5	0.34	4
Umts 3.2	3	1.2	0.66	4
Umts 4.2	3	1.2	0.66	4

Οι βαθμοί σημαντικότητας κάθε κριτηρίου είναι:

Κόστος	0.3651
Ενέργεια	0.4030
Φήμη	0.1596
QoS	0.0723

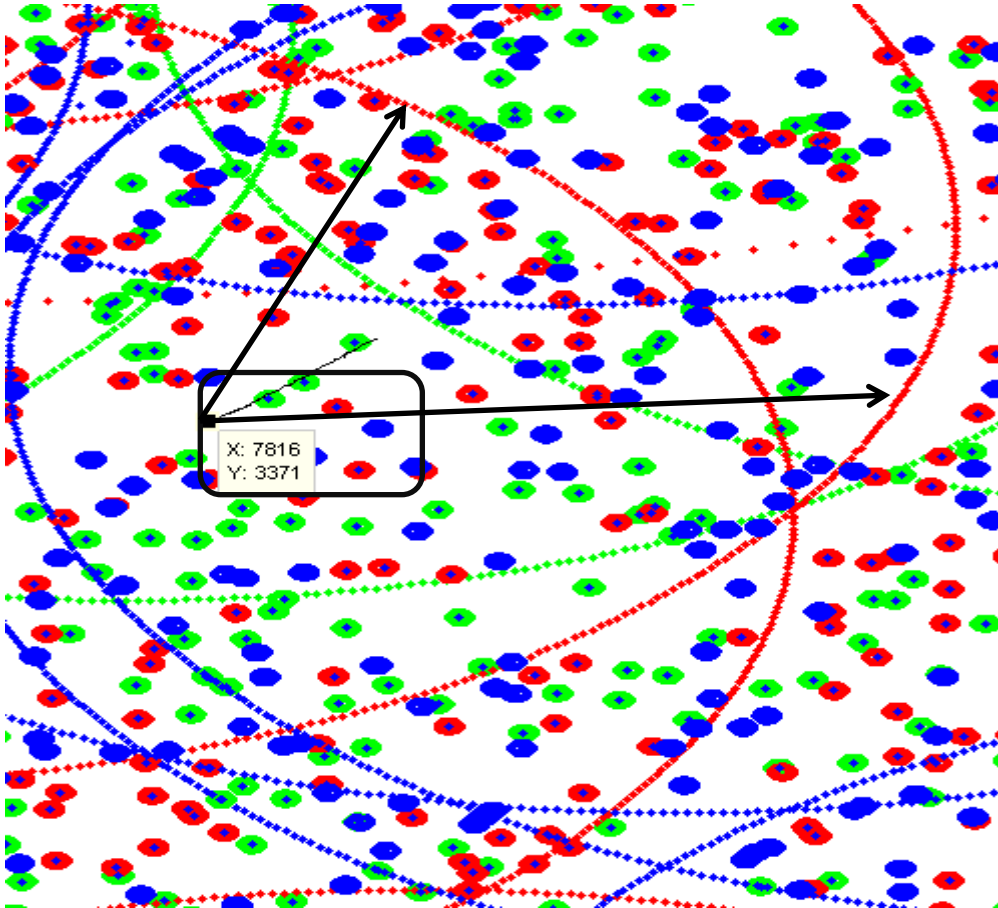
Οι τελικές βαθμολογίες που υποδεικνύουν την τιμή καταλληλότητας για κάθε σταθμό βάσης είναι:

Wimax 1.1	0
Wimax 2.1	0
Umts 3.2	1
Umts 4.2	1

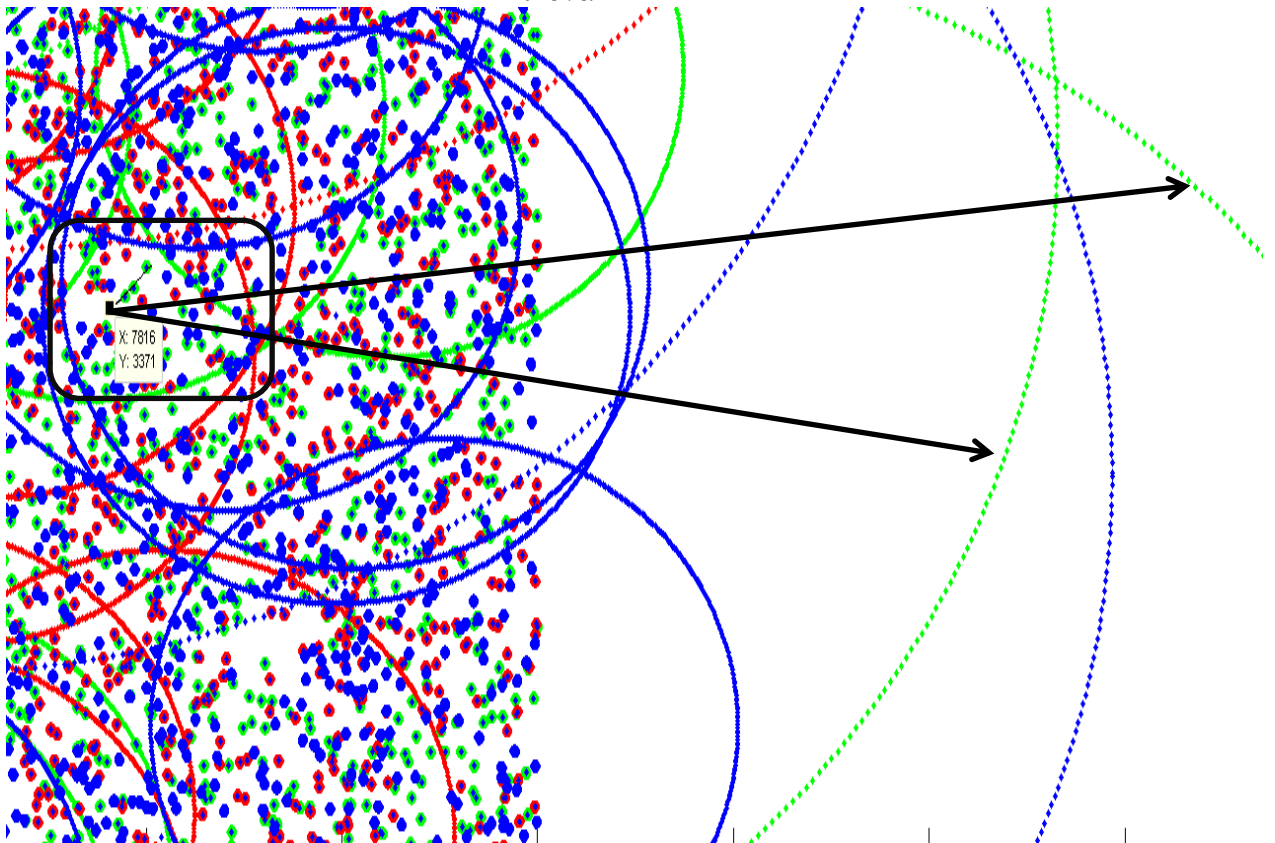
Οι τελικές βαθμολογίες των σταθμών βάσης wimax και umts έχουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές αντίστοιχα, διότι όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση της πολυκριτηριακής μεθόδου topsis η λύση που πλησιάζει περισσότερο την ιδανική λύση και απομακρύνεται περισσότερο από την αρνητική-ιδανική λύση, επιλέγεται ως η βέλτιστη. Κατανοούμε λοιπόν, ότι στη περίπτωση που η βαθμολογία ενός δικτύου ισούται με ένα, τότε το δίκτυο ταυτίζεται με το ιδανικό δίκτυο. Το αντίστοιχο ισχύει και όταν η βαθμολογία ενός δικτύου έχει την τιμή μηδέν. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν δύο δίκτυα που έχουν την ίδια βαθμολογία και ο αλγόριθμος απλώς επιλέγει το ένα από τα δύο εφόσον δεν έχουν καμία διαφορά μεταξύ τους. Ίσως, μία καλύτερη λύση θα ήταν να επιλέγει ο αλγόριθμος, εκείνο το δίκτυο στο οποίο βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από το σταθμό βάσης. Στην επιλογή του δικτύου umts 3.2 έπαιξαν σημαντικό ρόλο η μεγάλη διαφορά στην κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των τεχνολογιών umts και wimax καθώς και η τιμή φήμης των παρόχων και κατ επέκταση των δικτύων.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι εμβέλεις των σταθμών umts (εικόνα 1) και wimax (εικ.2).

Εικόνα 1



Εικόνα 2





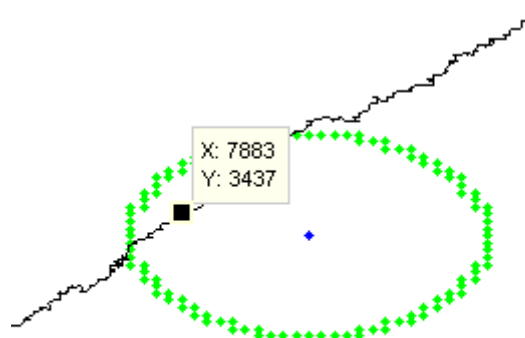
Κατά τη διάρκεια της κίνησης, ο χρήστης εισέρχεται στην εμβέλεια ενός δικτύου wifi. Επομένως, εδώ ο αλγόριθμος θα πρέπει να ελέγξει εάν το συγκεκριμένο δίκτυο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του χρήστη, και αν τελικά είναι καλύτερο από το ήδη υπάρχον δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένο το κινητό τερματικό. Έτσι στον έλεγχο προστίθεται και το δίκτυο wifi και έχουμε:

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	3	3.5	0.34	4
Wimax 2.1	3	3.5	0.34	4
Umts 3.2	3	1.2	0.66	4
Umts 4.2	3	1.2	0.66	4
Wifi 5.1	1	4.5	0.36	4

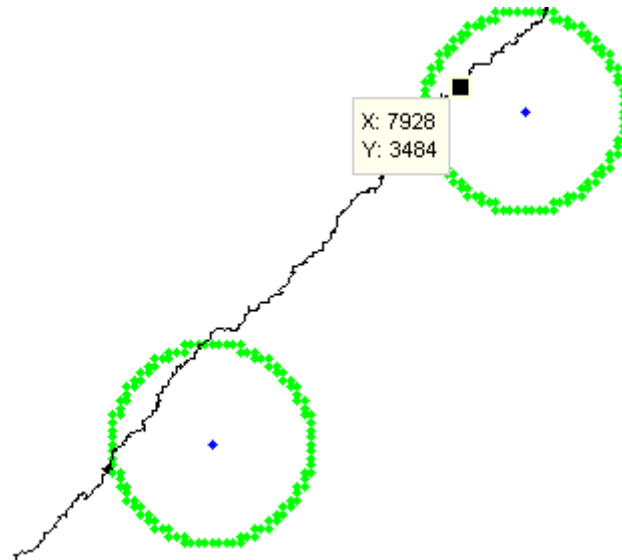
Οι τελικές βαθμολογίες που υποδεικνύουν την τιμή καταλληλότητας για κάθε δίκτυο είναι:

Wimax 1.1	0.29
Wimax 2.1	0.29
Umts 3.2	0.81
Umts 4.2	0.81
Wifi 5.1	0.18

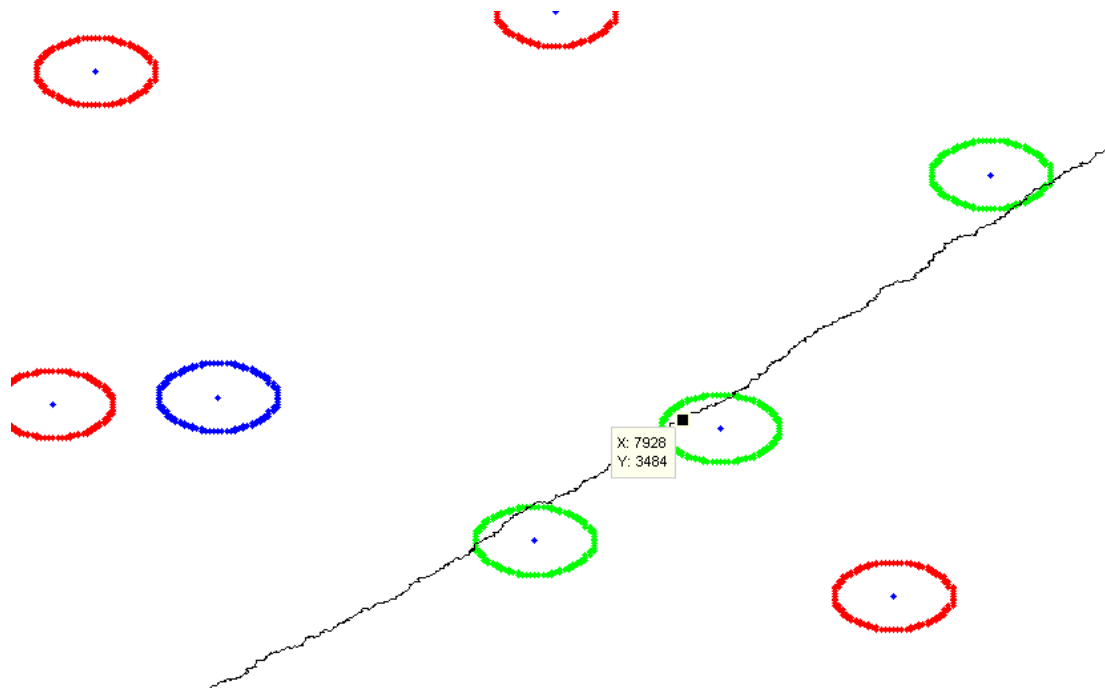
Παρατηρούμε λοιπόν ότι το δίκτυο umts 3.2 εξακολουθεί να έχει την μεγαλύτερη βαθμολογία και επομένως δεν πραγματοποιείται η διαδικασία της μεταπομπής εφόσον κανένα δίκτυο δεν είναι καλύτερο από αυτό στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Το δίκτυο wifi του παρόχου 1 παρουσιάζει μικρότερη βαθμολογία και από αυτό του wimax. Αυτό συνέβη διότι η κατανάλωση ενέργειας του wifi είναι ακόμα μεγαλύτερη του δικτύου wimax του ίδιου παρόχου και επίσης ότι η τιμή φήμης κινείται στα ίδια πλαίσια με τη τιμή των δικτύων wimax. Παρακάτω φαίνεται το σημείο ελέγχου μεταπομπής.



Η ίδια διαδικασία συμβαίνει και με το αμέσως επόμενο δίκτυο του παρόχου 1 τεχνολογίας wifi όταν ο χρήστης εισέρχεται στην εμβέλεια του.



Τέλος στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ολοκληρωμένη την κίνηση του χρήστη, και αναφέρουμε ότι κατά την είσοδο του χρήστη στο τελευταίο δίκτυο, δεν γίνεται κανένας έλεγχος μεταπομπής καθώς στον αλγόριθμο, υπάρχει ένα κατώφλι που ορίζει ότι η τιμή της απόστασης του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης του δικτύου θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερη από τα όρια εμβέλειας του κάθε δικτύου. Ο λόγος αυτού του περιορισμού γίνεται για λόγους αποφυγής άσκοπων μεταπομπών.



### Σενάριο 5:

Ίσως μία σημαντική πρόκληση για τα δίκτυα νέας γενιάς είναι η συνεχής παροχή υπηρεσιών υψηλού επιπέδου ποιότητας οπουδήποτε και οποτεδήποτε θελήσει ο χρήστης. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένας χρήστης επιθυμεί να κάνει μία τηλεδιάσκεψη (video conference) από την συσκευή του ενώ ταξιδεύει με κάποιο μέσο μαζικής μεταφοράς. Το παρόν σενάριο θα προσομοιώσει αυτή την περίπτωση και θα μας διαθέσει τα αποτελέσματα προς ανάλυση. Παρακάτω ακολουθεί το σχετικό προφίλ χρήστη:

- Ταχύτητα: υψηλή (20 m/s)
- Χρήση υπηρεσίας: video
- Απαίτηση επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας: 3
- Τιμή μονάδας κόστους που είναι πρόθυμος να διαθέσει: 8
- Απαίτηση επιπέδου ασφαλείας: 2

Πριν γίνει η ανάλυση του σεναρίου, να αναφερθεί ότι στην προκειμένη περίπτωση όπου ο χρήστης κινείται με υψηλή ταχύτητα, ενεργοποιείται η πολιτική 1 μέσω της οποίας εξαιρούνται όλοι οι σταθμοί βάσης τεχνολογίας wifi και έτσι δεν έγκειται καμία σύγκριση μεταξύ σταθμών wifi και των υπόλοιπων δικτύων.

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης ο χρήστης βρίσκεται στο σημείο με συντεταγμένες (737,2010). Με την έναρξη της υπηρεσίας, γίνεται για πρώτη φορά η εκκίνηση του αλγόριθμου εύρεσης καταλληλότερου δικτύου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δίκτυα που είναι ικανά να εξυπηρετήσουν τον χρήστη στο σημείο (737,2010) την χρονική στιγμή 0.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	8	3.5	0.48	4
Wimax 2.1	8	3.5	0.48	5
Wimax 3.2	5	3.5	0.68	5
Wimax 4.2	5	3.5	0.68	5
Wimax 5.3	6	3.5	0.62	5
Wimax 6.3	6	3.5	0.62	4
Umts 7.2	4	1.2	0.8	3

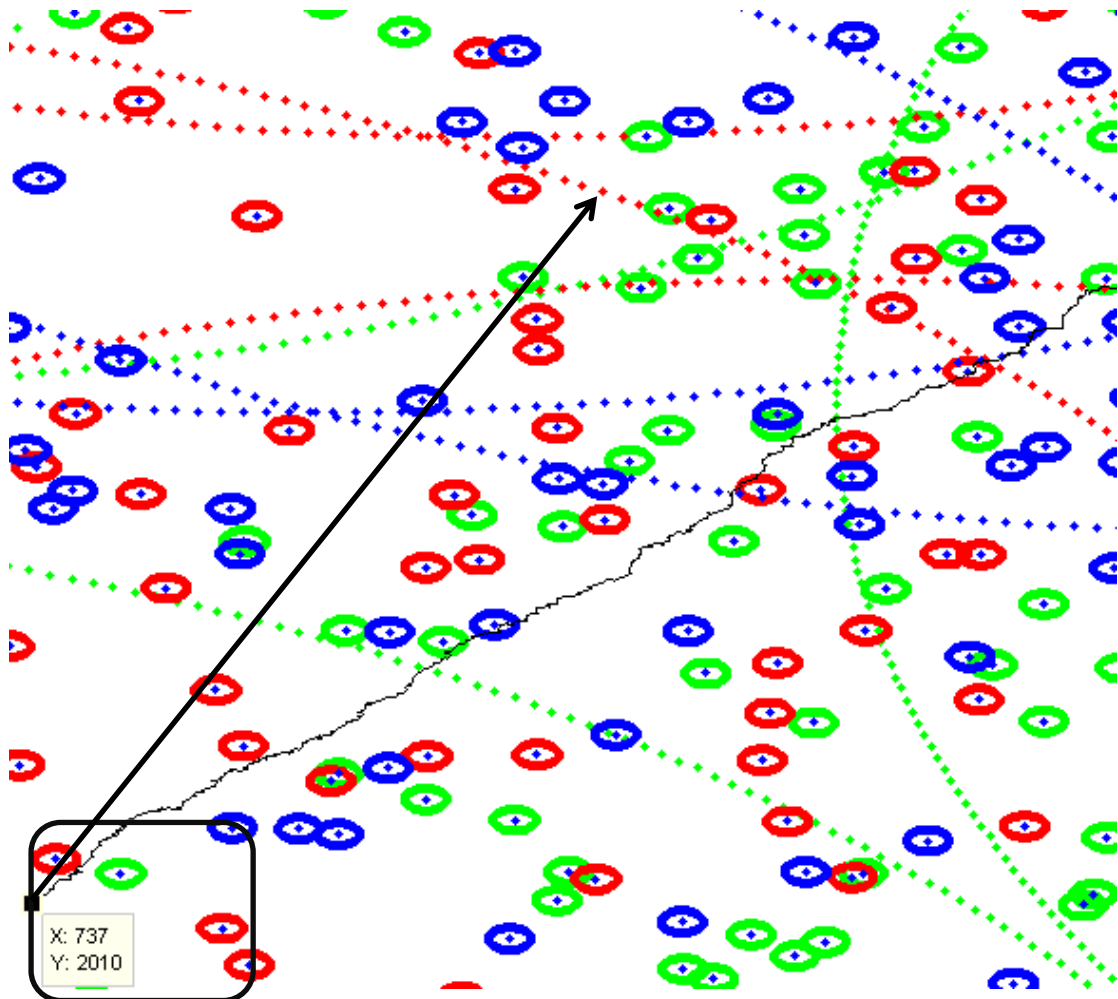
Βλέπουμε λοιπόν ότι το κινητό τερματικό βρίσκεται στην εμβέλεια πολλών δικτύων wimax και συγκεκριμένα υπάρχει τουλάχιστον ένα δίκτυο wimax από κάθε πάροχο που είναι ικανό να εξυπηρετήσει τον χρήστη. Υπάρχει όμως και ένα δίκτυο umts του παρόχου 2 εντός εμβέλειας. Τα βάρη κάθε κριτηρίου για το σενάριο αυτό είναι:

Κόστος	0.13
Ενέργεια	0.31
Φήμη	0.5
QoS	0.04

Επομένως τα στοιχεία εκείνα που δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στο παρόν σενάριο είναι η τιμή φήμης και η τιμή ενέργειας. Έτσι, οι βαθμολογίες των δικτύων έχουν ως εξής:

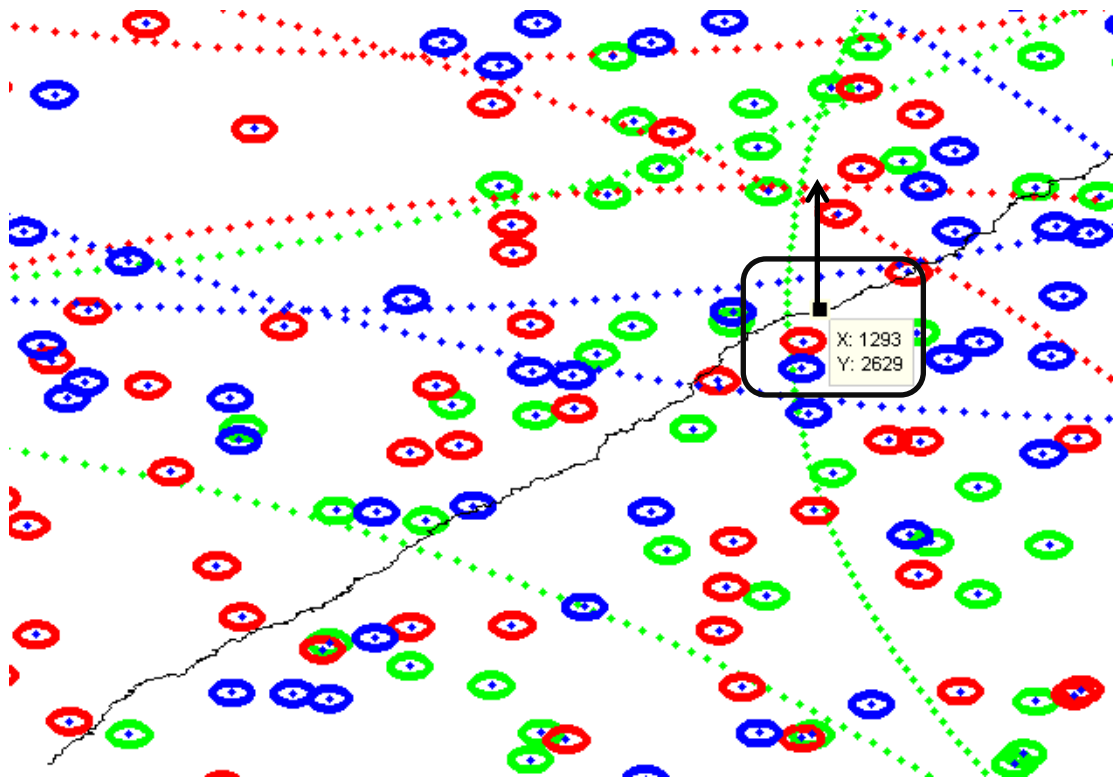
	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0
Wimax 2.1	0
Wimax 3.2	0.35
Wimax 4.2	0.35
Wimax 5.3	0.25
Wimax 6.3	0.25
Umts 7.2	1

Να αναφέρουμε πάλι, ότι οι τιμές 0 και 1 είναι λόγω ταύτισης χείριστου και καλύτερου δικτύου αντίστοιχα. Η απόφαση σύνδεσης του κινητού τερματικού με το δίκτυο umts 7.2 είναι απόλυτα φυσιολογική και επιθυμητή καθότι προσφέρει την ίδια ακριβώς υπηρεσία στο επιθυμητό επίπεδο ποιότητας σε χαμηλότερη τιμή και έχοντας καλύτερη φήμη από όλα τα δίκτυα wimax. Τέλος, λόγω διαφορετικής τεχνολογίας από τα υπόλοιπα δίκτυα, απαιτείται λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από την πλευρά του κινητού τερματικού.



Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το σημείο εκκίνησης της υπηρεσίας, ένα μέρος της διαδρομής του χρήστη (μαύρη συνεχόμενη γραμμή.) και τέλος η απόσταση του κινητού τερματικού από τα όρια εμβέλειας του δικτύου umts 7.2 του πάροχου 2.

Την χρονική στιγμή που ο χρήστης βρέθηκε στο σημείο (1293,2629), έγινε έλεγχος μεταπομπής και το κινητό τερματικό βρισκόταν στα όρια εμβέλειας του δικτύου umts 7.2. Επομένως, πριν ακόμα ο χρήστης βρεθεί εκτός εμβέλειας, γίνεται για 2<sup>η</sup> φορά η έναρξη του αλγορίθμου εύρεσης καταλληλότερου δικτύου έτσι ώστε να βρεθεί ένα εναλλακτικό δίκτυο και να εξυπηρετήσει τον χρήστη πριν διακοπεί η σύνδεσή του με το δίκτυο umts 7.2 Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το αντιπροσωπευτικό στιγμιότυπο:



Αυτή τη φορά, τα δίκτυα που είναι ικανά να εξυπηρετήσουν τον χρήστη είναι όλα τα δίκτυα wimax που υπήρχαν και στην αρχική σύγκριση, εκτός προφανώς από το δίκτυο umts 7.2. Άρα αυτή τη φορά ο αλγόριθμος θα βρει το καταλληλότερο δίκτυο συγκριτικά με τα wimax όλων των παρόχων. Οι βαθμολογίες των δικτύων είναι:

	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0
Wimax 2.1	0.04
Wimax 3.2	1
Wimax 4.2	1
Wimax 5.3	0.71
Wimax 6.3	0.71

Οι τελικές βαθμολογίες είναι εμφανώς διαφορετικές με πριν, καθότι δεν συνυπολογίστηκε το δίκτυο umts 7.2 το οποίο αποτελούσε και το ιδανικό δίκτυο και σύμφωνα με αυτό βγήκαν τα προηγούμενα αποτελέσματα. Στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή επιλέγουμε σαν καταλληλότερο δίκτυο, το wimax 3.2 εφόσον προσφέρει την ίδια υπηρεσία σε χαμηλότερη τιμή και έχοντας αρκετά καλύτερη τιμή φήμης.

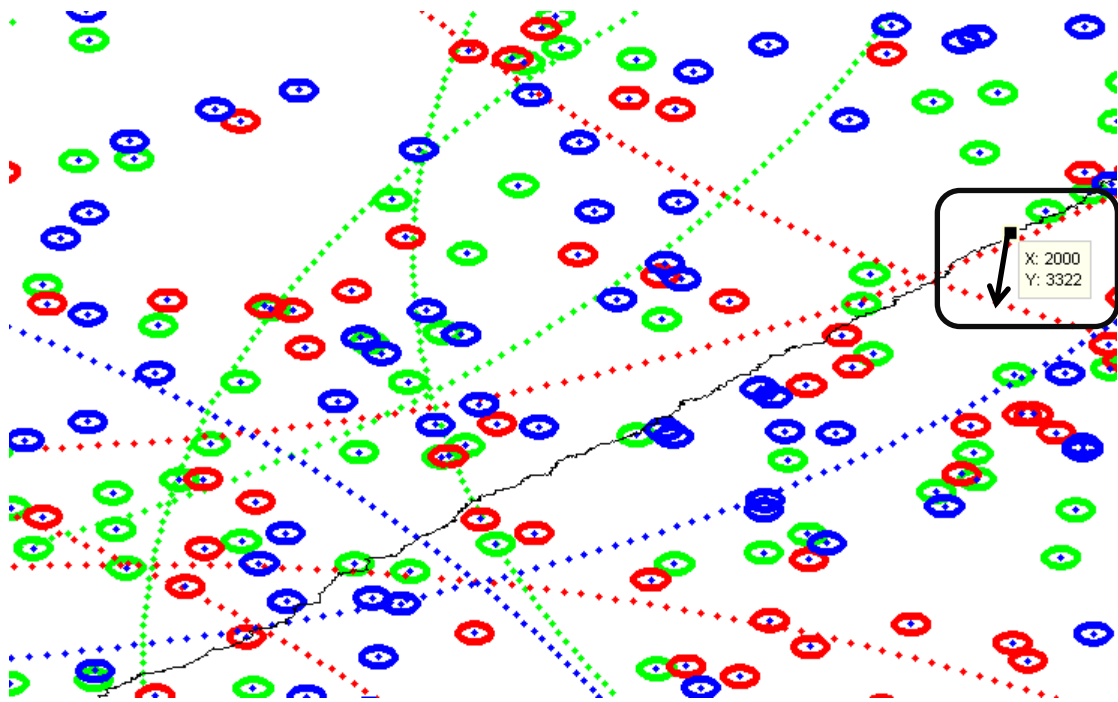
Συνεχίζοντας την διαδρομή του ο χρήστης, ενώ είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο wimax 3.2, το κινητό τερματικό βρίσκεται εντός εμβέλειας ενός νέου δικτύου umts. Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να εξεταστεί εάν το νέο αυτό δίκτυο είναι καλύτερο από το ήδη υπάρχον δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο χρήστης. Επομένως γίνεται έλεγχος μεταπομπής στο σημείο (2000,3322). Και αυτή τη φορά τα δίκτυα που θα συγκριθούν είναι τα δίκτυα wimax συμπεριλαμβανομένου του δικτύου wimax 3.2 που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης συν το νέο δίκτυο umts 8.2.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	8	3.5	0.48	4
Wimax 2.1	8	3.5	0.48	5
Wimax 3.2	5	3.5	0.68	5
Wimax 4.2	5	3.5	0.68	5
Wimax 5.3	6	3.5	0.62	5
Wimax 6.3	6	3.5	0.62	4
Umts 8.2	4	1.2	0.8	4

Η σύγκριση που γίνεται στο σημείο αυτό, είναι σχεδόν ίδια θα λέγαμε με την πρώτη σύγκριση εφόσον το νέο δίκτυο umts 8.2 ανήκει και αυτό στον πάροχο 2 και ακολουθεί την ίδια πολιτική τιμής και έχει την ίδια φήμη και είναι σε θέση να προσφέρει και ένα υψηλότερο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας από το δίκτυο umts 7.2. Οι βαθμολογίες των παραπάνω δικτύων είναι:

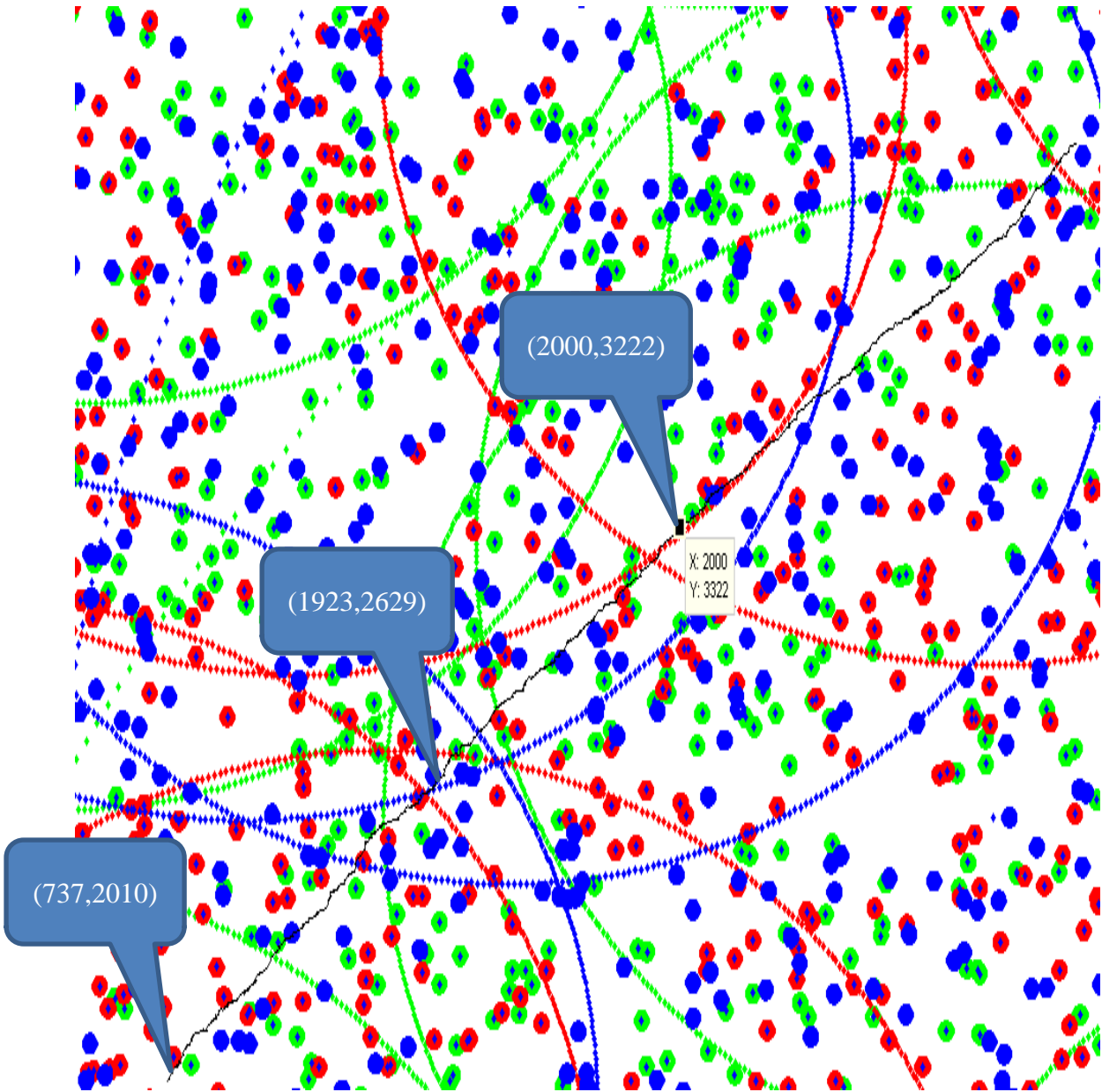
	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0
Wimax 2.1	0.026
Wimax 3.2	0.46
Wimax 4.2	0.46
Wimax 5.3	0.35
Wimax 6.3	0.35
Umts 8.2	0.9731

Επομένως όπως είναι πλέον αναμενόμενο, επιλέγεται ως καταλληλότερο το δίκτυο umts 8.2 και γίνεται μεταπομπή σε αυτό.



Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το σημείο όπου έγινε έλεγχος μεταπομπής, και το μαύρο βέλος δείχνει τα όρια εμβέλειας του νέου δικτύου umts.

Τέλος, μετά το δίκτυο umts 8.2 δεν πραγματοποιήθηκε καμία περαιτέρω μεταπομπή εφόσον το κινητό τερματικό δεν βρέθηκε εκτός εμβέλειας αυτού και δεν εισήλθε σε κάποιο άλλο ικανό δίκτυο που ενδεχομένως θα μπορούσε να εξυπηρετήσει τον χρήστη. Παρακάτω φαίνεται όλη η διαδρομή του χρήστη συνολικά. Άρα σημειώθηκαν τρεις εκκινήσεις του μηχανισμού εύρεσης καταλληλότερου δικτύου και έγιναν δύο μεταπομπές.





### Σενάριο 6:

Στο τελευταίο σενάριο προσομοίωσης εξετάζουμε την περίπτωση για την οποία ο χρήστης κινείται πάλι με υψηλή ταχύτητα, μόνο που αυτή τη φορά υποθέτουμε πως ο χρήστης επιθυμεί να κάνει χρήση της υπηρεσίας voice streaming. Παρακάτω παρατίθεται το προφίλ του χρήστη.

- Ταχύτητα: υψηλή (20 m/s)
- Χρήση υπηρεσίας: voice streaming
- Απαίτηση επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας: 5
- Τιμή μονάδας κόστους που είναι πρόθυμος να διαθέσει: 5
- Απαίτηση επιπέδου ασφαλείας: 2

Κατά την έναρξη της προσομοίωσης ο χρήστης βρίσκεται στο σημείο με συντεταγμένες (786,7119). Με την έναρξη της υπηρεσίας, γίνεται για πρώτη φορά η εκκίνηση του αλγόριθμου εύρεσης καταλληλότερου δικτύου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δίκτυα που είναι ικανά να εξυπηρετήσουν τον χρήστη στο σημείο (786,7119) την χρονική στιγμή 0.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	5	3.5	0.65	5
Wimax 2.2	4	3.5	0.27	5
Wimax 3.2	4	3.5	0.27	5
Umts 4.1	5	1.2	0.57	5

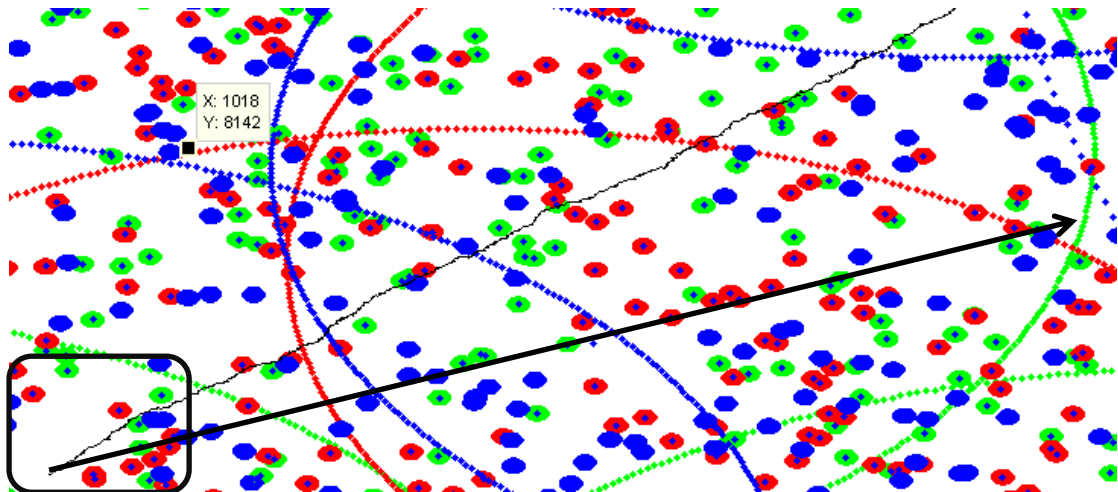
Οι δείκτες σημαντικότητας για την προκειμένη περίπτωση είναι

Κόστος	0.21
Ενέργεια	0.36
Φήμη	0.35
QoS	0.04

Η τελική βαθμολογία είναι:

	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0.51
Wimax 2.2	0.13
Wimax 3.2	0.13
Umts 4.1	0.8

Παρατηρούμε ότι και πάλι στην περίπτωση που ο χρήστης κινείται με μεγάλη ταχύτητα επιλέγεται ένα δίκτυο umts. Στο παρόν σενάριο έχει επιλεγθεί το δίκτυο umts 4.1 λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας που έχει από τα δίκτυα τεχνολογίας wimax και λόγω του ότι η τιμή φήμης του umts είναι αρκετά κοντά στο μέγιστη τιμή φήμης που εμφανίστηκε ανάμεσα σε αυτά τα δίκτυα.



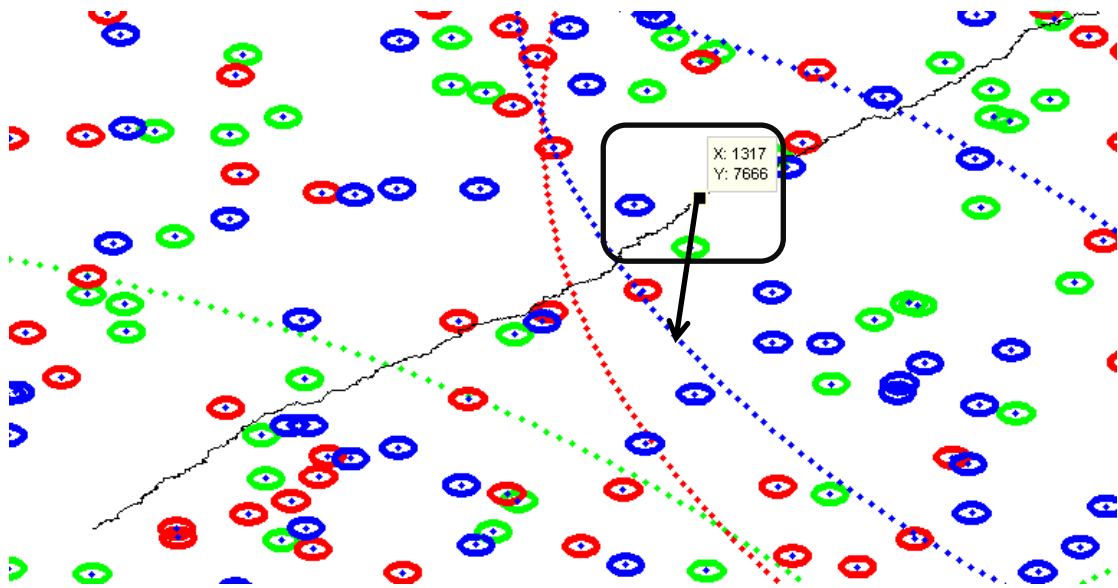
Στο σημείο (1317,7660) το κινητό τερματικό εισέρχεται εντός εμβέλειας ενός δικτύου umts του παρόχου 3. Επομένως όπως έχει οριστεί στον αλγόριθμο θα πρέπει να γίνει έλεγχος μεταπομπής στο νέο δίκτυο εάν αυτό βρεθεί καταλληλότερο από το ήδη υπάρχον.

	Κόστος	Ενέργεια	Φήμη	QoS
Wimax 1.1	5	3.5	0.65	5
Wimax 2.2	4	3.5	0.27	5
Wimax 3.2	4	3.5	0.27	5
Umts 4.1	5	1.2	0.57	5
Umts 5.3	3	1.2	0.38	5

Η τελική βαθμολογία είναι:

	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0.5
Wimax 2.2	0.13
Wimax 3.2	0.13
Umts 4.1	0.74
Umts 5.1	0.56

Σύμφωνα με την βαθμολογία βλέπουμε ότι τελικά το νέο δίκτυο umts 5.1 δεν είναι καταλληλότερο. Αν και προσέφερε καλύτερη τιμή για την ίδια ακριβώς υπηρεσία με το ίδιο επίπεδο ποιότητας δεν είχε τόσο καλή τιμή φήμης όσο το προϋπάρχον δίκτυο και για τον λόγο αυτό δεν σημειώθηκε μεταπομπή.

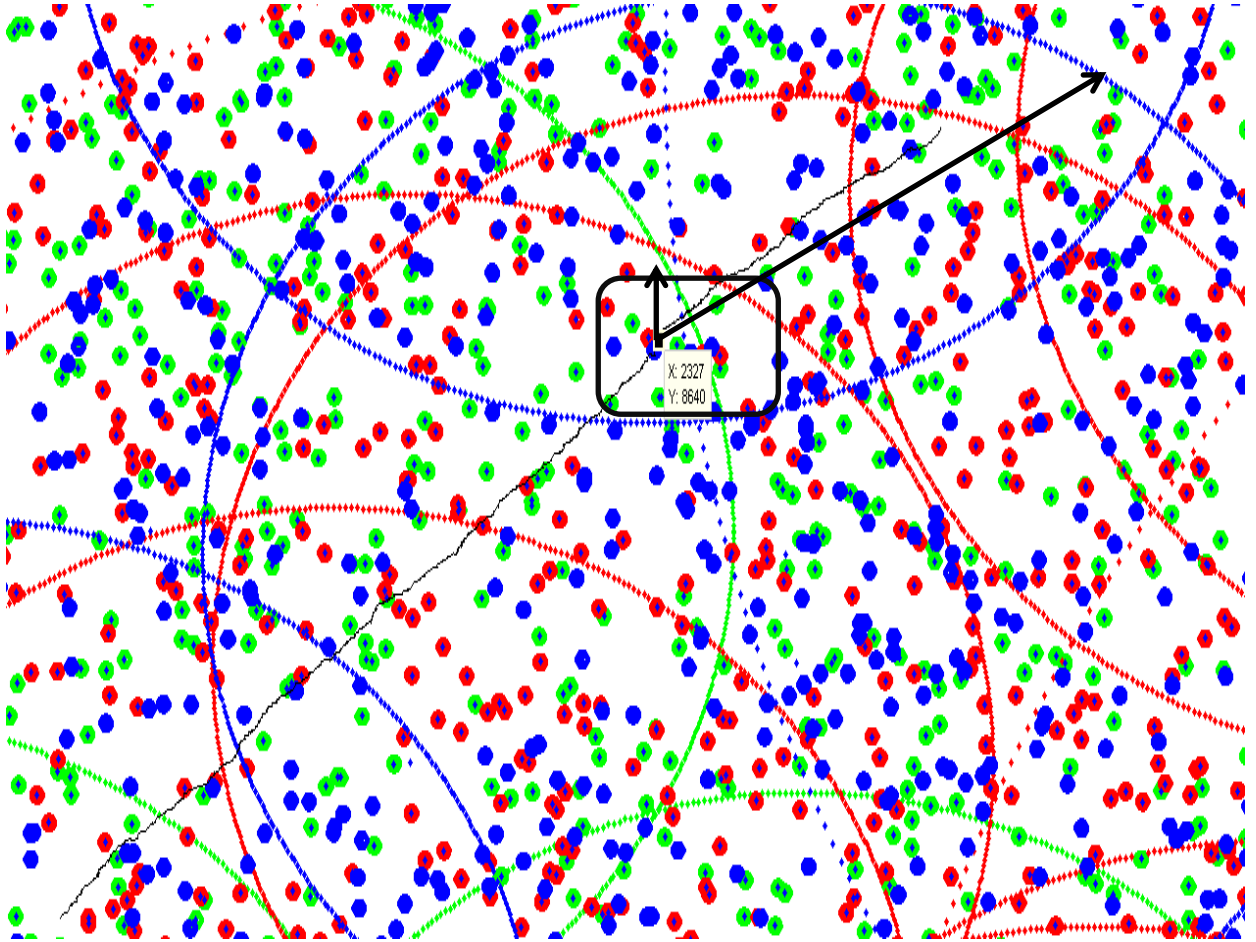


Τέλος, κάποια δεδομένη χρονική στιγμή και όταν το κινητό τερματικό βρέθηκε στα όρια εμβέλειας του δικτύου umts 4.1 και συγκεκριμένα στο σημείο (2327,8640) γίνεται έλεγχος μεταπομπής εφόσον ο χρήστης ενδέχεται πολύ σύντομα να βρεθεί εκτός εμβέλειας με αποτέλεσμα την απώλεια σήματος και την διακοπή της κλήσης. Έτσι τα ικανά δίκτυα που είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τον χρήστη είναι τα ίδια με πριν μόνο που αυτή τη φορά δεν συνυπολογίζεται το δίκτυο umts 4.1.

Η τελική βαθμολογία είναι:

	Βαθμολογία
Wimax 1.1	0.5
Wimax 2.2	0.13
Wimax 3.2	0.13
Umts 5.1	0.56

Το τελικό αποτέλεσμα στην περίπτωση αυτή θα λέγαμε ότι είναι αξιοσημείωτο, διότι επιλέχθηκε ως καταλληλότερο δίκτυο το umts 5.1 έναντι του wimax 1.1 ενώ έχει αρκετά χαμηλότερη τιμή φήμης. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από την αρκετά χαμηλότερη τιμή του umts 5.1 σε σχέση με το wimax 1.1 καθώς επίσης και από τις αντίστοιχες τιμές αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας. Επομένως το δίκτυο umts 5.1 προτιμήθηκε καθώς τα συνολικά χαρακτηριστικά του ήταν καλύτερα του wimax 1.1. Επομένως στο σενάριο αυτό παρατηρήθηκαν τρεις εκκινήσεις του μηχανισμού εκ των οποίων η μία ήταν λόγω του ότι ο χρήστης εισήλθε σε ένα νέο δίκτυο και έπρεπε να εξεταστεί αν είναι καταλληλότερο από το ήδη υπάρχον και η τελευταία εκκίνηση λόγω αναγκαστικής μεταπομπής καθώς ο χρήστης βρισκόταν στα όρια εμβέλειας του δικτύου με το οποίο ήταν συνδεδεμένος.



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### Συμπεράσματα / Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που έχει να κάνει με την έννοια του "Συνεχώς συνδεδεμένος στο καλύτερο δυνατό δίκτυο" (ABC- Always Best Connected) και έγινε μία προσπάθεια υλοποίησης ενός μηχανισμού επιλογής δικτύου πρόσβασης σε περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών 4<sup>ης</sup> Γενιάς. Αναφέρθηκαν εν συντομία τα βασικότερα χαρακτηριστικά των δικτύων νέας γενιάς (4G), τοποθετήθηκε το πρόβλημα της επιλογής δικτύου πρόσβασης (ANS) και μετέπειτα αναλύθηκαν τρόποι λύσης του προβλήματος. Στην συνέχεια έγινε μία διεξοδική ανάλυση του μηχανισμού που υλοποιήθηκε και είχε σαν στόχο την εύρεση καταλληλότερου δικτύου με την βοήθεια των πολιτικών και των μεθόδων AHP - TOPSIS. Η υλοποίηση του μηχανισμού έγινε με την βοήθεια του προγράμματος matlab, όπου δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον προσομοίωσης που περιέχει σταθμούς βάσης διαφορετικών τεχνολογιών διαφορετικών παρόχων και έναν χρήστη που κινείται ελεύθερα στο περιβάλλον αυτό. Σύμφωνα με τα διαφορετικά σενάρια και το διαφορετικό προφίλ χρήστη κάθε φορά, είχαμε σαν αποτέλεσμα την εύρεση των καταλληλότερων δικτύων για την εξυπηρέτηση του χρήστη κατά την διάρκεια της κίνησης του. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν για κάθε σενάριο ξεχωριστά με τρόπο ώστε να φανεί όσο το δυνατόν καλύτερα όλη η λειτουργία του μηχανισμού εύρεσης βέλτιστου δικτύου.

Ένα από τα συμπεράσματα που θα μπορούσαμε να αντλήσουμε από την συνολική εικόνα της εργασίας αυτής, είναι ότι πλέον οδεύουμε σε ένα νέο και ενοποιημένο ασύρματο περιβάλλον στο οποίο κάθε χρήστης αντιμετωπίζεται ξεχωριστά, με βάση το προφίλ που έχει διαμορφώσει ο ίδιος και ανάλογα με τις προτιμήσεις και τους περιορισμούς που θέτει έτσι ώστε να του παρέχεται η καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση οποτεδήποτε και οπουδήποτε βρίσκεται.

Μία τέτοια προσέγγιση προσπαθήθηκε να δοθεί στην υλοποίηση του μηχανισμού. Επομένως, σύμφωνα με τα σενάρια και το προφίλ χρήστη, τα αποτελέσματα που βγήκαν δείχνουν ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχει και διαφορετική προτίμηση δικτύου. Αναλυτικότερα, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μεγαλύτερη προτίμηση στα δίκτυα ασύρματης τεχνολογίας wifi όταν το κινητό τερματικό κινείται με χαμηλή ταχύτητα και ακολουθούν τα δίκτυα umts και wimax κατά σειρά προτίμησης. Το γεγονός αυτό προκύπτει λόγω της πολύ χαμηλής τιμής κόστους που έχουν τα δίκτυα τεχνολογίας wifi έναντι των υπολοίπων και με δεδομένο ότι είναι ικανά να προσφέρουν γενικότερα την πλειονότητα των σημερινών υπηρεσιών παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Σίγουρα όμως, υπάρχουν εξαιρέσεις αναφορικά με την προτίμηση της τεχνολογίας wifi όταν ο χρήστης κινείται με χαμηλή ταχύτητα. Για παράδειγμα όταν τα ενεργειακά αποθέματα του κινητού τερματικού είναι χαμηλά τότε με την συμβολή των πολιτικών που έχουν τεθεί στον μηχανισμό επιλέγονται μόνο δίκτυα τεχνολογίας umts λόγω χαμηλής απαίτησης κατανάλωσης ενέργειας από την φορητή συσκευή. Επιπρόσθετα, όταν ο χρήστης κινείται με υψηλή ταχύτητα τα δίκτυα τεχνολογίας wifi δεν συνυπολογίζονται καθόλου κατά την διαδικασία εύρεσης

καταλληλότερου δικτύου για τους λόγους που έχουν αναφερθεί, και έτσι υπάρχουν μόνο οι επιλογές μεταξύ των τεχνολογιών umts και wimax. Στην περίπτωση υψηλής ταχύτητας η προτίμηση της κάθε τεχνολογίας διαφέρει πάλι ανάλογα με το τι επιθυμεί κάθε φορά ο χρήστης. Εάν επιθυμεί, ένα σχετικά χαμηλό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας σε προσιτή τιμή κόστους, τότε επιλέγεται ένα δίκτυο τεχνολογίας umts, εάν όμως επιθυμεί ένα επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας το οποίο δεν είναι σε θέση να διαθέσει το umts λόγω τεχνολογίας, τότε σε αυτή τη περίπτωση, η επιλογή ενός δικτύου wimax είναι μονόδρομος. Παρατηρούμε λοιπόν την ποικιλομορφία των αποτελεσμάτων που υπάρχει κάθε φορά.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εάν στην υλοποίηση του μηχανισμού δοθούν διαφορετικά κριτήρια απόφασης ή ακόμα και ίδια κριτήρια απόφασης με διαφορετική τιμή σημαντικότητας κάθε φορά, τότε θα έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα από αυτά που παρουσιάστηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής. Επομένως η υλοποίηση έγινε με γνώμονα τον περαιτέρω πειραματισμό σε νέα προφίλ διαφορετικών σεναρίων και όχι ως κάτι στατικό που βρίσκει αντίκτυπο μόνο τα σενάρια που παρουσιάστηκαν.

# Βιβλιογραφία

- [1] B. G. Evans and K. Baughan, "Visions of 4G" *Electronics and Communication Engineering Journal*, Dec. 2002.
- [2] H. Huomo, Nokia, "Fourth Generation Mobile" ACTS Mobile Summit99, Sorrento, Italy, June 1999
- [3] J-Z. Sun, J. Sauvola, D. Howie, "Features in Future: 4G Visions from a Technical Perspective", in *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference*, 2001.
- [4] J. van Bommel, H. Teunissen, D.-J. Plas, A. Peddemors, "A Reference Architecture for 4G Services", In: 7<sup>th</sup> WWRF Meeting in Eindhoven, The Netherlands, December 2002.
- [5] E. Gustafsson, A. Jonsson, 'Always Best Connected', *IEEE Wireless Communications*, Feb. 2003.
- [6] B. Busropan, J. van Loon, F. Vervuurt, R. van Eijk, "Access Network Selection in Heterogeneous Networks and the Role of the Operator", In: 9<sup>th</sup> WWRF Meeting in Zurich, Switzerland, July 2003.
- [7] A. Koutsorodi, E. Adamopoulou, K. Demestichas, M. Theologou "Terminal Management and Intelligent Access Network Selection in Heterogenous Environments," *Mobile Networks and Applications*, special issue on Reconfigurable Radio Technologies in Support of Ubiquitous Seamless Computing, Springer
- [8] Malamati louta, Paolo Bellavista , " Bringing always best connectivity vision a step closer: challenges and perspectives " In: *IEEE Communications Magazine*, February 2013
- [9] Malamati louta, Philippos Zournatzis, Stylianos Kraounakis, Panagiotis Sarigiannidis, Ioannis Demetropoulos, "Towards realization of the ABC vision: a comparative survey of access network selection" Department of Informatics and Telecommunications Engineering University of Western Macedonia Kozani, Greece, Hellenic Telecommunications Organization
- [10] W. Zhang, J. Jaehnert, K. Dolzer "Design and Evaluation of a Handover Decision Strategy for 4th Generation Mobile Networks", in *Proc. of the 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, 2003 (VTC 2003 - Spring), vol. 3, pp. 1969 – 1973
- [11] Meriem Kassar , Brigitte Kervella, Guy Pujolle "An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks" University Pierre & Marie Curie 15 January 2008 ELSEVIER
- [12] Quoc-Thinh Nguyen-Vuong, Nazim Agoulmine, El Hadi Cherkaoui,

and Laura Toni “Multi-Criteria Optimization of Access Selection to Improve the Quality of Experience in Heterogeneous Wireless Access Networks” IEEE

[13] Evgenia Adamopoulou, Konstantinos Demestichas, Artemis Koutsorodi, Michael Theologou “Intelligent Access Network Selection in Heterogeneous Networks Simulation Results” IEEE Wireless Communication Systems, 7-7 Sept. 2005

[14] L. Xu, J.B. Yang, “Introduction to Multi-Criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach”, working paper 0106, Manchester School of Management, Univ. of Manchester, Institute of Science and Technology, 2001.

[15] C. L. Hwang, K. Yoon, “Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications”, Springer - Verlag, 1981.

[16] Ram Kumar Singh, Amit Asthana, Akanksha Balyan, Shyam Ji Gupta, Pradeep Kumar “Vertical Handoffs in Fourth Generation Wireless Networks” International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) Volume 2, Issue - 2, May 2012

[17] Zoran Markovic “Modification of topsis method for solving of multicriteria tasks” Yugoslav Journal of Operations Research Volume 20 (2010), Number 1, 117-143

[18] Thomas L. Saaty “Decision making with the analytic hierarchy process” Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008

[19] G. J. Wang, R. H. Katz, J. Giese, “Policy - Enabled Handoffs Across Heterogeneous Wireless Networks”, in WMCSA, New Orleans, LA, USA, 1999

[20] Benjapolakul, W., Homman, B. (1998). “A Handover Decision Procedure for Mobile Telephone Systems Using Fuzzy Logic”, in IEEE APCCAS, pp. 503-506

[21] Chen C. H., "Fuzzy logic and neural network handbook", McGraw-Hill, 1996

[22] G.R. Jahanshahloo a, F. Hosseinzadeh Lotfi a, M. Izadikhah b, “Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data” in: Applied Mathematics and Computation 181 (2006) 1544–155.

[23] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed “Fundamentals of wimax understanding broadband wireless networking” Practice hall communications engineering and emerging technologies series

[24] Toshihiro Suzuki, Ashiq Khan, Motonari Kobayashi, and Wataru Takita “Collaboration in Routing and Velocity Measurement Function to Reduce Battery Consumption for Mobile Ad Hoc Networks” in: International Journal of Hybrid Information Technology Vol. 1, No. 2, April, 2008

[25] Sharaddha Jadhav, “Accounting of energy consumption from wi-fi interface in portable devices” Wichita state university, December 2010

[26] Malak Zareif Habeib, Hussein Abd Elaty Elsayed, Salwa Hussein Elramly and Magdy Mahmoud Ibrahim, “Battery Based Vertical Handover between WiMAX and



WLAN Technologies” Electronics and Communication Engineering dept, Faculty of Engineering, Ain Shams University

[27] Yan Chen, Toni Farley and Nong Ye “QoS Requirements of Network Applications on the Internet” *Information Knowledge Systems Management* 4 (2004) 55.–76

[28] João Pedro Eira, António J. Rodrigues “Analysis of wimax data rate performance”  
Technical University of Lisbon

[29] Kuo-Hsing Chiang and Nirmala Shenoy, “A 2-D Random-Walk Mobility Model for Location-Management Studies in Wireless Networks” *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 53, No 2, March 2004

[30] Vladimir Vukadinović, Ólafur Ragnar Helgason, Gunnar Karlsson, “A Mobility Model for Pedestrian Content Distribution” in: Simutools ‘09 Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques

[31] Quoc-Thinh Nguyen-Vuong, Nazim Agoulmine, Yacine Ghamri-Doudane, “A user centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments” *Computer Networks* 52 (2008) 3358–3372

[32] Geoff Coyle “The Analytic Hierarchy Process (AHP) Practical Strategy”. Open Access Material. Pearson Education Limited 2004

[33] Alonso J.A, Lamta T. “Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A new approach.” *International Journal of Uncertainty*, vol 14, No. 4, 445-459

[34] Barzilai J., Golany B. “Deriving Weights from Pairwise Comparison Matrices: the Additive Case.” *Operations Research Letters* 9: 407-10

[35] Dr. B.C Roy, Jemua Road, Fuljhore, “Analytic Hierarchy Process & TOPSIS Method to Evaluate Faculty Performance in Engineering Education” Dipendra Nath Ghosh et al *UNIASCIT*, Vol 1 (2), 2011, 63-70

[36] K.S. Babu, N.V. S. Raju, M. S. Reddy, D.N. Rao “The Material Selection for typical wind turbine blades using a MADM approach & analysis of blades”, in Proc of MCDM2006, Chania, Greece, 2006.

[37] [http://www.webopedia.com/quick\\_ref/WLANStandards.asp](http://www.webopedia.com/quick_ref/WLANStandards.asp)

[38] [www.wimax.com](http://www.wimax.com)

[39] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/>

