



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

**Γνωσιακή διαχείριση ετερογενών ασύρματων δικτύων και
ευφρών τερματικών που υποστηρίζουν πολλαπλές
τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Νικόλαος Α. Κουτσούρης

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013



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


**Γνωσιακή διαχείριση ετερογενών ασύρματων δικτύων και
ευφών τερματικών που υποστηρίζουν πολλαπλές
τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης**


ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

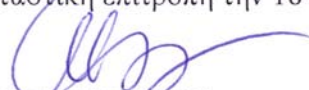
Νικόλαος Α. Κουτσούρης


Συμβουλευτική Επιτροπή : Ευστάθιος Δ. Συκάς
Μιχαήλ Ε. Θεολόγου
Μιλτιάδης Ε. Αναγνώστου

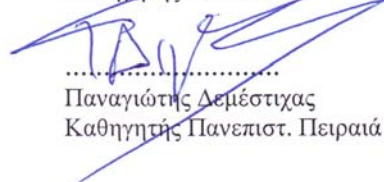
Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Δεκεμβρίου 2013.



.....
Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Νικόλαος Μητρο
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Γεώργιος Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.


.....
Παναγιώτης Δεμέστιχας
Καθηγητής Πανεπιστ. Πειραιά


.....
Μιλτιάδης Αναγνώστου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013



Νικόλαος Α. Κουτσούρης

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Α. Κουτσούρης, 2013.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών για εξελιγμένες υπηρεσίες οδηγεί συχνά όλο και περισσότερο σε πολύπλοκες ενσύρματες και ασύρματες δικτυακές υποδομές, οι οποίες μετά βίας καταφέρνουν να διαθέσουν τις υπηρεσίες με την απαιτούμενη ποιότητα. Αυτό το γεγονός έχει παρακινήσει τους παρόχους να υιοθετήσουν τη χρήση αυτόνομων λειτουργιών στα συστήματα διαχείρισης των δικτύων τους. Η αυτονομία μπορεί να προσφέρει έναν βιώσιμο τρόπο ενσωμάτωσης ευφυΐας στο σύστημα, ώστε να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που τίθενται. Παρ' όλα αυτά, ενώ αυτή η προσέγγιση έχει αποδειχθεί ότι διακρίνεται από ευελιξία, αποδοτικότητα και οικονομία, αποκαλύπτει παράλληλα την ανάγκη για λειτουργικότητα η οποία θα διασφαλίζει την εύρυθμη και συντονισμένη λειτουργία όλων αυτών των αυτόνομων οντοτήτων. Σε αυτό το πλαίσιο, η διδακτορική αυτή διατριβή πραγματεύεται την μελέτη και ανάπτυξη ενός αρχιτεκτονικού πλαισίου διαχείρισης ετερογενών δικτύων και υπηρεσιών, το οποίο μπορεί να ενσωματώνει και να υποστηρίζει γνωσιακές (cognitive) λειτουργίες διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Μια λειτουργία διαχείρισης μπορεί να χαρακτηριστεί ως γνωσιακή όταν είναι σε θέση, όχι μόνο να αντιλαμβάνεται το περιεχόμενο του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί ώστε να προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες, αλλά και να μαθαίνει από τα αποτελέσματα των ενεργειών της. Πέραν δηλαδή από τη δυνατότητα να παρατηρεί, να αναλύει και να δρα με βάση τα ερεθίσματα που υπάρχουν γύρω της, μπορεί και να κατανοεί τί έχει κάνει και πόσο επιθυμητό ήταν το αποτέλεσμα, αποκομίζοντας γνώση για το πώς μπορεί να διαχειριστεί παρόμοιες καταστάσεις στο μέλλον.

Πιο συγκεκριμένα, κατ' αρχήν προτείνεται ένα κατάλληλο αρχιτεκτονικό πλαίσιο για το σύστημα διαχείρισης και περιγράφονται αναλυτικά οι διάφορες οντότητες που περιλαμβάνει, οι οποίες είναι σε θέση να ενσωματώσουν τόσο τις ήδη υπάρχουσες λειτουργίες, όσο και μελλοντικές. Στη συνέχεια ορίζεται η οντολογία πάνω στην οποία μπορεί να βασιστεί η ανταλλαγή πληροφορίας με δομημένο τρόπο και η σημασιολογική ανάλυση των δεδομένων που μεταφέρονται. Αυτό επιτρέπει την βέλτιστη επίλυση των δικτυακών προβλημάτων που ανακύπτουν, όπως για παράδειγμα η αύξηση του φορτίου σε κάποια περιοχή ή η εμφάνιση βλάβης σε κάποιο τμήμα της υποδομής, με τη βοήθεια και του αλγορίθμου που προτείνεται, ο οποίος φροντίζει κάθε φορά να αναθέτει στην κατάλληλη αυτόνομη οντότητα, το κομμάτι του προβλήματος που θα αυτή θα διαχειριστεί με μεγαλύτερη επιτυχία, διασφαλίζοντας παράλληλα και την ομαλή αντιμετώπιση του συνολικού προβλήματος. Όλες αυτές οι ιδέες δοκιμάζονται για την αποτελεσματικότητά τους με μια πρωτότυπη υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης.

Επιπλέον η μελέτη και ανάπτυξη γνωσιακών λειτουργιών διαχείρισης επεκτείνεται και στην πλευρά των τερματικών, για τα οποία παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος επιλογής τόσο της τεχνολογίας πρόσβασης και της αντίστοιχης διεπαφής, όσο και της ροής της υπηρεσίας του χρήστη που θα εξυπηρετηθεί από κάθε διεπαφή, με απώτερο στόχο την εξασφάλιση αλλά και την αναβάθμιση εάν είναι δυνατό της ποιότητας υπηρεσίας που λαμβάνεται. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια πρωτότυπη υλοποίηση μέσω της οποίας επαληθεύονται πειραματικά η δυνατότητα αξιοποίησης και τα οφέλη της προτεινόμενης λύσης.

Λέξεις κλειδιά: ετερογενή ασύρματα δικτυακά περιβάλλοντα, συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών, γνωσιακά συστήματα, αυτόνομες λειτουργίες, οντολογία, πρωτότυπη υλοποίηση, διαχείριση τερματικού, τερματικό πολλαπλών μεθόδων ασύρματης πρόσβασης, επιλογή διεπαφής από το τερματικό.

ABSTRACT

The continuous growth of the user demand for sophisticated services is more and more often leading to complex wireless and wired network infrastructures, that struggle for delivering services with the required quality. This has motivated operators to adopt the use of autonomic functions in their network management systems. Autonomics can offer a viable way to incorporate intelligence and to tackle the challenges posed. However, although the approach has proven to offer flexibility, performance and cost-effectiveness, it also unveils the need for functionality to ensure the smooth and coordinated operation of all these autonomic entities. In this context, this PhD dissertation addresses the study and development of an architectural framework for the management of heterogeneous networks and services that can embody and support cognitive management and cognitive decision making functionalities. A management functionality can be called cognitive when it is in position, not only to be aware of the context of the environment in which it operates so as to adapt to the current needs, but also to learn by the results of its actions. Namely, further than the ability to observe, analyze and act based on the triggers received, a cognitive functionality is able to perceive what it has done and how desired was the result, acquiring knowledge on how it can handle similar situations in the future.

More specifically, initially a suitable architectural framework is proposed for the management system and the various entities that it comprises are described in detail. These entities are able to encapsulate any existing or future functionality. In the sequel it is defined the ontology on which it can be based the exchange of information in a structured way and the semantic analysis of the conveyed data. This allows the finding of the optimal solution for the problems that arise, as for example the increase of the traffic load in an area or the malfunction of an infrastructure segment, by running the proposed algorithm, which ensures in any case to allocate to the suitable autonomic entity, the part of the problem that it can handle successfully, while it guarantees that the whole problem will be also smoothly resolved. The effectiveness of all these concepts is proved through a prototype implementation of such a management system.

Furthermore, the study and development of the cognitive management functionalities is extended to the terminal side as well, for which it is presented an algorithm for the selection of the access technology and the corresponding interface, as well as of the user service flow that will be served through each interface, having as an ultimate goal to ensure and if possible upgrade the quality of the received service. Like in the case of the management system in the network side, there is also a prototype implementation that enables the experimental proof of the exploitation potentials and of the merits of the proposed solution.

Keywords: heterogeneous wireless network environments, network and service management systems, cognitive systems, autonomic functionalities, ontology, prototype implementation, terminal management, multi-mode wireless access terminal, terminal interface selection.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διατριβή αυτή είναι προϊόν μιας μακράς ερευνητικής προσπάθειας που ουσιαστικά ξεκίνησε το 2003, πριν την αποδοχή μου ως υποψήφιο διδάκτορα, και εξελίχθηκε μέσα από τα χρόνια παράλληλα με την απασχόλησή μου σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα. Σημαντικότατο ρόλο στην ολοκλήρωσή της είχε η εποικοδομητική στάση του επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Ευστάθιο Συκά, ο οποίος κατ' αρχάς με εμπιστεύθηκε και μου δίδαξε στην πράξη τί θα πει κατανόηση, κριτική σκέψη και ανωτερότητα. Βέβαια είναι δύσκολο να εκφράσω γραπτώς τις ευχαριστίες μου προς αυτόν, δεσμεύομαι όμως να τηρώ ανάλογη στάση προς άλλους εφόσον μου δοθεί η ευκαιρία. Επιπλέον, θα πρέπει να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς μου επιτροπής, τον κ. Μιχαήλ Θεολόγου και τον κ. Μιλτιάδη Αναγνώστου, για την βοήθεια που μου παρείχαν για τη συνέχιση και πραγματοποίηση της διατριβής.

Καθοριστική ήταν και η συμβολή του καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιά κ. Παναγιώτη Δεμέστιχα, η συνεργασία με τον οποίο ξεκίνησε από την αρχή της ερευνητικής μου πορείας, συνεχίζεται μέχρι και σήμερα και εύχομαι να υπάρχει πάντα γόνιμο έδαφος για την περαιτέρω ανάπτυξή της.

Τέλος, θεωρώ εξίσου σημαντικό να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Νικόλα Μήτρου για την έμπρακτη υποστήριξή του κάθε φορά που χρειαζόταν ή τύχαινε να μιλήσουμε, αλλά και τους καθηγητές κ. Γεώργιο Στασινόπουλο και κ. Φίλιππο Κωνσταντίνου για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	9
Πίνακας Περιεχομένων	11
Πίνακας Εικόνων.....	17
Πίνακας Πινάκων	19
Εισαγωγή.....	21
1.1 Τα ασύρματα δίκτυα και οι υπηρεσίες τους σήμερα.....	23
1.2 Τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς.....	23
1.3 Συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών.....	24
1.3.1 Σχετικές εργασίες	26
1.4 Συστήματα διάχυτου υπολογισμού	28
1.4.1 Σχετικές εργασίες	29
1.5 Γνωσιακά συστήματα.....	33
1.5.1 Σχετικές εργασίες	33
1.6 Αντικείμενο της διατριβής.....	35
1.7 Διάρθρωση της διατριβής.....	35
Παραπομπές.....	37
Αρχιτεκτονικό πλαίσιο γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών.....	39
2.1 Εισαγωγή	41
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά	41
2.3 Βασικές λειτουργικές οντότητες	42
2.3.1 Ευρετήριο υπηρεσιών.....	42
2.3.2 Επικοινωνία ανθρώπου – δικτύου	43
2.3.3 Ανάλυση και εκτίμηση κατάστασης.....	44
2.3.4 Εύρεση υποψήφιων λύσεων	45
2.3.5 Επιλογή και εξειδίκευση λύσης.....	46
2.3.6 Εφαρμογή αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων	47
2.3.7 Παρακολούθηση κατάστασης	48
2.3.8 Οικοδόμηση γνώσης και πληροφορίας	49
2.3.9 Εξομοιωτής δικτύου	50
2.3.10 Διαχείριση και παραγωγή πολιτικών.....	50
2.3.11 Διαχείριση προφίλ και προτύπων	51
2.4 Επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων.....	51
2.5 Ενσωμάτωση λειτουργιών και τεχνολογιών	52
2.6 Ενοποίηση με άλλα συστήματα διαχείρισης	53
2.7 Αντιστοίχιση λειτουργικών οντοτήτων στο δίκτυο.....	54
Οντολογία για τη γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών	55
3.1 Εισαγωγή.....	57
3.2 Μεθοδολογία ανάπτυξης και παρουσίασης της οντολογίας	58
3.2.1 Βασικές αρχές ανάπτυξης μιας οντολογίας.....	58
3.2.2 Επιδιωκόμενος βαθμός λεπτομέρειας της προτεινόμενης οντολογίας.....	58
3.2.3 Διαίρεση της παρουσίασης της προτεινόμενης οντολογίας σε τμήματα	59
3.3 Μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων.....	59
3.3.1 Ένα πρώτο ενδεικτικό σενάριο χρήσης.....	59
3.3.2 Ένα δεύτερο ενδεικτικό σενάριο χρήσης	61
3.3.3 Μηνύματα του τμήματος υπηρεσιών	62

3.3.3.1 BusinessLevelEntryNotification	62
3.3.3.2 BusinessLevelEntryNotificationAck.....	62
3.3.3.3 AssociationNotification.....	62
3.3.3.4 AssociationNotificationAck	62
3.3.3.5 GovPolicyNotification	62
3.3.3.6 GovPolicyNotificationAck.....	63
3.3.3.7 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα υπηρεσιών	63
3.3.4 Μηνύματα του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας.....	63
3.3.4.1 NewContextNotification	63
3.3.4.2 NewContextNotificationAck.....	64
3.3.4.3 ContextNotification.....	64
3.3.4.4 ContextNotificationAck	64
3.3.4.5 ContextRequest	64
3.3.4.6 ContextResponse.....	64
3.3.4.7 UserProfileRequest.....	64
3.3.4.8 UserProfileResponse	65
3.3.4.9 ElementProfileRequest.....	65
3.3.4.10 ElementProfileResponse	65
3.3.4.11 ElementAvailabilityRequest.....	65
3.3.4.12 ElementAvailabilityResponse	65
3.3.4.13 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας.....	65
3.3.5 Μηνύματα του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης.....	67
3.3.5.1 SolutionElaborationRequest.....	67
3.3.5.2 SolutionElaborationResponse	67
3.3.5.3 ReconfigurationRequest	67
3.3.5.4 ReconfigurationResponse.....	67
3.3.5.5 ReconfigurationExecutionNotification	67
3.3.5.6 ReconfigurationExecutionNotificationAck.....	68
3.3.5.7 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα ασύρματου δικτύου πρόσβασης.....	68
3.3.6 Μηνύματα σχετικά με πολιτικές γενικά.....	68
3.3.6.1 PolicyRequest.....	68
3.3.6.2 PolicyResponse	69
3.3.6.3 PolicyNotification	69
3.3.6.4 PolicyNotificationAck.....	69
3.3.7 Μηνύματα σχετικά με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά	70
3.3.7.1 StartKnowledgeBuildingRequest.....	70
3.3.7.2 StartKnowledgeBuildingResponse.....	70
3.3.7.3 KnowledgeAcquisitionRequest.....	70
3.3.7.4 KnowledgeAcquisitionResponse	70
3.4 Περιεχόμενο των μηνυμάτων – έννοιες της οντολογίας.....	71
3.4.1 Έννοιες του τμήματος υπηρεσιών.....	71
3.4.1.1 BusinessLevelEntry.....	71
3.4.1.2 GovApplication	72
3.4.1.3 GovUserClass.....	72
3.4.2 Έννοιες του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας	72
3.4.2.1 AdditionalLoadEntry.....	72
3.4.2.2 ElementContext.....	72
3.4.2.3 ApplicationLoad.....	72

3.4.2.4 UserClassLoad.....	72
3.4.2.5 QualityLevelLoad.....	73
3.4.2.6 UserProfile.....	73
3.4.2.7 ElementProfile.....	74
3.4.3 Έννοιες του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης.....	74
3.4.3.1 SolutionContext.....	74
3.4.3.2 ElementConfiguration.....	74
3.4.4 Έννοιες σχετικές με πολιτικές γενικά.....	74
3.4.4.1 Policy.....	74
3.4.4.2 PolicyCondition.....	74
3.4.4.3 PolicyArgument.....	75
3.4.4.4 PolicyConfiguration.....	76
3.4.4.5 ParameterConfiguration.....	76
3.4.5 Έννοιες σχετικές με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά.....	76
3.4.5.1 KnowledgeBaseTemplate.....	76
3.4.5.2 InputDataClass.....	76
3.4.5.3 InputDataParameter.....	77
3.5 Γραφική αναπαράσταση της προτεινόμενης οντολογίας.....	77
3.6 Παραδείγματα εφαρμογής της οντολογίας.....	81
3.6.1 Αίτημα εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου.....	81
3.6.2 Πολιτική δικτύου.....	84
3.6.3 Προφίλ και φορτίο κίνησης ενός στοιχείου δικτύου.....	86
3.6.3.1 Προφίλ ενός σταθμού βάσης.....	86
3.6.3.2 Φορτίο κίνησης ενός σταθμού βάσης.....	88
Παραπομπές.....	97
Βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς.....	99
4.1 Εισαγωγή.....	101
4.2 Γενική περιγραφή του προβλήματος.....	101
4.3 Προϋποθέσεις και απαιτούμενες προσαρμογές.....	102
4.4 Δεδομένα εισόδου.....	103
4.4.1 Δεδομένα από την οντότητα ανάλυσης και εκτίμησης κατάστασης.....	103
4.4.1.1 Το φορτίο προς εξυπηρέτηση.....	103
4.4.1.2 Πολιτικές που πρέπει να ληφθούν υπόψη.....	104
4.4.2 Δεδομένα από κάθε οντότητα επιλογής και εξειδίκευσης λύσης.....	104
4.4.2.1 Υποστηριζόμενες τεχνολογίες, υπηρεσίες και επίπεδα ποιότητας.....	104
4.4.2.2 Μέθοδοι επίλυσης, κατηγορίες προβλημάτων και τοπικές πολιτικές.....	105
4.4.2.3 Χρόνος απόκρισης.....	105
4.4.2.4 Βαθμός προσέγγισης της βέλτιστης λύσης.....	105
4.4.2.5 Κατανάλωση ενέργειας.....	105
4.4.3 Βαθμός εμπιστοσύνης.....	106
4.4.4 Δυναμική διαμόρφωση τιμών και ενσωμάτωση γνώσης.....	106
4.5 Ο αλγόριθμος επιλογής.....	106
4.5.1 Γενική περιγραφή.....	106
4.5.2 Μαθηματική διατύπωση προβλήματος και λύσης.....	107
4.5.2.1 Ορισμός παραμέτρων.....	107
4.5.2.2 Φάσεις 1 και 2: επιλογή και ταξινόμηση οντοτήτων SES.....	108
4.5.2.3 Φάση 3: ανάθεση του φορτίου σε οντότητες SES.....	109
4.5.3 Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου επιλογής.....	110
4.6 Εφαρμογή της απόφασης του αλγορίθμου και επικύρωση της ορθής λειτουργίας του.....	113

Παραπομπές	115
Υλοποίηση πρωτότυπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών	117
5.1 Εισαγωγή.....	119
5.2 Επιλογή τεχνολογιών και εφαρμογών	119
5.2.1 Τεχνολογία πρακτόρων	119
5.2.2 Πλατφόρμα μεσισμικού JADE.....	121
5.2.3 Εφαρμογή Protégé.....	122
5.2.4 Γλώσσες προγραμματισμού JAVA και C++.....	124
5.2.5 Βάση δεδομένων MySQL	124
5.3 Θέματα σχετικά με τον σχεδιασμό του πρωτότυπου συστήματος.....	124
5.3.1 Οντότητες και πράκτορες.....	124
5.3.2 Δομή ενός πράκτορα λογισμικού	125
5.3.3 Ενσωμάτωση λειτουργικότητας στον πράκτορα.....	126
5.3.4 Αντιστοίχιση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής στο σύστημα πρακτόρων	127
5.4 Η υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος.....	128
5.4.1 Γενική παρουσίαση	128
5.4.2 Το ευρετήριο υπηρεσιών.....	129
5.4.3 Η διεπαφή H2N	129
5.4.4 Ο πράκτορας ανάλυσης κατάστασης και εύρεσης λύσεων.....	132
5.4.5 Ο πράκτορας επιλογής και εξειδίκευσης λύσης.....	132
5.4.6 Ο πράκτορας ενός στοιχείου δικτύου.....	133
5.4.7 Ο πράκτορας οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας	133
5.4.8 Ο πράκτορας διαχείρισης και παραγωγής πολιτικών.....	133
5.4.9 Ο εξομοιωτής δικτύου.....	134
5.5 Επαλήθευση της ωφέλειας από τη χρήση του συστήματος διαχείρισης.....	135
5.6 Πειραματική μέτρηση των απαιτήσεων σε υλικό για την εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος διαχείρισης	139
5.6.1 Η εγκατάσταση του πειραματικού περιβάλλοντος	140
5.6.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα.....	140
5.6.3 Γενική περιγραφή των σεναρίων χρήσης.....	141
5.6.4 Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τις μετρήσεις.....	142
5.6.4.1 Μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης	142
5.6.4.2 Μέτρηση της απαιτούμενης μνήμης	142
5.6.4.3 Εστίαση των μετρήσεων στο υπό εξέταση κομμάτι	144
5.6.5 Αποτελέσματα των μετρήσεων	145
5.6.5.1 Χρήση μνήμης όταν υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES	145
5.6.5.2 Χρήση μνήμης ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES	148
5.6.5.3 Χρόνος εκτέλεσης	149
5.6.6 Συμπεράσματα από τις πειραματικές μετρήσεις.....	150
Παραπομπές	151
Επιλογή διεπαφής από το τερματικό για τη βέλτιστη λήψη μιας υπηρεσίας σε ετερογενή δικτυακά περιβάλλοντα.....	153
6.1 Εισαγωγή.....	155
6.2 Η έννοια των πολλαπλών οικείων διευθύνσεων	155
6.3 Τα ευκαιριακά δίκτυα.....	156
6.4 Ζητούμενο από το χρήστη – πρόβλημα προς επίλυση.....	156
6.5 Δεδομένα εισόδου στον αλγόριθμο επιλογής διεπαφής.....	157
6.5.1 Δεδομένα από τα προφίλ.....	157
6.5.1.1 Προφίλ χρήστη	157
6.5.1.2 Προφίλ συσκευής.....	158

6.5.1.3 Προφίλ υπηρεσιών	158
6.5.2 Δεδομένα από το πλαίσιο λειτουργίας του τερματικού.....	158
6.5.3 Δεδομένα από τις ισχύουσες πολιτικές	158
6.5.4 Δεδομένα από την σχετική πρότερη γνώση	158
6.6 Ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής.....	159
6.6.1 Γενική περιγραφή	159
6.6.2 Μαθηματική διατύπωση προβλήματος και λύσης	159
6.6.2.1 Ορισμός βασικών παραμέτρων	159
6.6.2.2 Ορισμός επιπλέον παραμέτρων	160
6.6.2.3 Υπολογισμός αντικειμενικής συνάρτησης	161
6.7 Λογισμικό για την πειραματική επαλήθευση του αλγορίθμου	162
6.7.1 Τεχνολογίες και προδιαγραφές που αξιοποιήθηκαν.....	162
6.7.1.1 Microsoft Windows Native WiFi API.....	162
6.7.1.2 Πρωτογενής βιβλιοθήκη σειριακής επικοινωνίας για JAVA	164
6.7.1.3 Προδιαγραφές εντολών AT για την πλατφόρμα Intel XMM σειράς 6	164
6.7.1.4 Java Media Framework	165
6.7.2 Αρχιτεκτονική δομή του λογισμικού.....	166
6.7.3 Δυνατότητες ρυθμίσεων και παραμετροποίησης	167
6.8 Σενάριο χρήσης του αλγορίθμου και αποτελέσματα.....	167
6.8.1 Περιγραφή σεναρίου χρήσης.....	168
6.8.1.1 Φάση 1: αρχική κατάσταση.....	168
6.8.1.2 Φάση 2: δημιουργία ευκαιριακού δικτύου ON_A	168
6.8.1.3 Φάση 3: εγκατάσταση WLAN AP στο διαμέρισμα A	169
6.8.1.4 Φάση 4: σωστή επαναδιαμόρφωση των παραμέτρων του νέου WLAN AP... 169	
6.8.1.5 Φάση 5: ταυτόχρονη σύνδεση σε πολλαπλά δίκτυα και λήψη υπηρεσιών	170
6.8.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα	170
6.8.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	171
6.9 Πειραματική μέτρηση της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί	171
6.9.1 Περιγραφή σεναρίων χρήσης	171
6.9.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα	172
6.9.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων	173
6.9.3.1 Περίπτωση αναπαραγωγής τοπικά χωρίς χρήση δικτύου	174
6.9.3.2 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο Ethernet.....	174
6.9.3.3 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο WLAN	175
6.9.3.4 Περίπτωση χρήσης δύο διεπαφών ταυτόχρονα, Ethernet και WLAN	175
6.9.3.5 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο 3G	176
6.9.3.6 Συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των περιπτώσεων και μέσοι όροι	177
6.9.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων	178
Παραπομπές.....	180
Συμπεράσματα και ανακεφαλαίωση	181
7.1 Συνεισφορά της διατριβής.....	183
7.2 Κατευθύνσεις για μελλοντικές επεκτάσεις της διατριβής.....	184
Πίνακας οντοτήτων της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής	187
Πίνακας ακρωνυμίων	187

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος με 3 διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης, WLAN, DVB, UMTS	24
Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας SD	42
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας AES	45
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας SES	46
Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας EDC	47
Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας NEM	48
Εικόνα 7: Μετασχηματισμός δεδομένων σε γνώση	49
Εικόνα 8: Τυποποιημένος κύκλος ενσωμάτωσης και χρήσης νέων λειτουργιών	53
Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση της ενοποίησης δύο συστημάτων διαχείρισης	54
Εικόνα 10: Παράδειγμα αντιστοίχισης των οντοτήτων του αρχιτεκτονικού πλαισίου στα υπάρχοντα τμήματα δικτύου	54
Εικόνα 11: Εξέλιξη πρώτου ενδεικτικού σεναρίου χρήσης	60
Εικόνα 12: Εξέλιξη δεύτερου ενδεικτικού σεναρίου χρήσης	61
Εικόνα 14: Παρουσίαση της έννοιας Policy με γραφικό τρόπο	75
Εικόνα 15: Οι έννοιες της οντολογίας που αποτελούν μηνύματα αίτησης	77
Εικόνα 16: Οι έννοιες της οντολογίας που αποτελούν μηνύματα απόκρισης ή επιβεβαίωσης	78
Εικόνα 17: Έννοιες του τμήματος υπηρεσιών	78
Εικόνα 18: Έννοιες του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας	79
Εικόνα 19: Έννοιες του τμήματος ασύρματης πρόσβασης	79
Εικόνα 20: Έννοιες σχετικές με πολιτικές γενικά	80
Εικόνα 21: Έννοιες σχετικές με την οικοδόμηση και ανάκτηση γνώσης	80
Εικόνα 22: Διάγραμμα ροής των φάσεων 1 και 2 του αλγορίθμου επιλογής	111
Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής της φάσης 3 του αλγορίθμου επιλογής (μέρος Α)	112
Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής της φάσης 3 του αλγορίθμου επιλογής (μέρος Β)	113
Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική αναφοράς μιας πλατφόρμας πρακτόρων κατά FIPA	121
Εικόνα 26: Ορισμός οντολογίας με το Protégé	123
Εικόνα 27: Η δομή ενός πράκτορα	126
Εικόνα 28: Αντιστοίχιση προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σε πράκτορες	128
Εικόνα 29: Στιγμιότυπο της οθόνης για την μοντελοποίηση του συστήματος διαχείρισης	130
Εικόνα 30: Στιγμιότυπο της οθόνης για τον ορισμό συσχετίσεων υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας	130
Εικόνα 31: Στιγμιότυπο της οθόνης για την διαχείριση κανόνων και πολιτικών	131
Εικόνα 32: Στιγμιότυπο της οθόνης για την καταχώρηση αιτημάτων εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου κίνησης	132
Εικόνα 33: Στιγμιότυπο οθόνης του εξομοιωτή δικτύου	134
Εικόνα 34: Τα στάδια εξέλιξης ενός ενδεικτικού σεναρίου χρήσης του συστήματος	136
Εικόνα 35: Γραφική απεικόνιση του φορτίου (ως ποσοστό της μέγιστης χωρητικότητας) για τους σταθμούς βάσης της περιοχής	137
Εικόνα 36: Ποσοστιαίο φορτίο στους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης ενεργοποιημένο	138
Εικόνα 37: Αριθμός χρηστών που δεν εξυπηρετήθηκαν από τους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης ενεργοποιημένο	138
Εικόνα 38: Ποσοστιαίο φορτίο στους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης απενεργοποιημένο	139

Εικόνα 39: Αριθμός χρηστών που δεν εξυπηρετήθηκαν από τους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης απενεργοποιημένο.....	139
Εικόνα 40: Εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης ως MAS.....	140
Εικόνα 41: Στιγμιότυπο οθόνης της εφαρμογής JConsole – επισκόπηση	143
Εικόνα 42: Στιγμιότυπο οθόνης της εφαρμογής JConsole - χρήση μνήμης	143
Εικόνα 43: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης μνήμης στοίβας ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES.....	146
Εικόνα 44: Γραφική απεικόνιση της χρήσης μνήμης στοίβας για διαδοχικές εκτελέσεις του ίδιου σεναρίου χρήσης	146
Εικόνα 45: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης μνήμης εκτός στοίβας ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES.....	147
Εικόνα 46: Γραφική αναπαράσταση της συνολικής χρήσης μνήμης ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES.....	147
Εικόνα 47: Απαιτούμενη μνήμη στοίβας ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES	148
Εικόνα 48: Απαιτούμενη μνήμη εκτός στοίβας ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES .	148
Εικόνα 49: Συνολική απαιτούμενη μνήμη ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES	149
Εικόνα 50: Απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES	149
Εικόνα 51: Σχηματική απεικόνιση των δεδομένων εισόδου.....	157
Εικόνα 52: Intel XMM 6160 3G μόντεμ.....	165
Εικόνα 53: Στιγμιότυπα της οθόνης διαχείρισης τερματικού	167
Εικόνα 54: Σχηματική απεικόνιση της αρχικής φάσης του σεναρίου.....	168
Εικόνα 56: Εγκατάσταση νέου WLAN AP στο διαμέρισμα	169
Εικόνα 57: Σωστή επαναδιαμόρφωση των παραμέτρων του WLAN AP.....	170
Εικόνα 58: Σχηματική απεικόνιση της διασύνδεσης των συσκευών για τη διεξαγωγή των μετρήσεων	173
Εικόνα 59: Κατανάλωση στην περίπτωση i) τοπική αναπαραγωγή	174
Εικόνα 60: Κατανάλωση στην περίπτωση ii) χρήση δικτύου Ethernet	174
Εικόνα 61: Κατανάλωση στην περίπτωση iii) χρήση δικτύου WLAN.....	175
Εικόνα 62: Κατανάλωση στην περίπτωση iv) ταυτόχρονη χρήση δικτύων WLAN και Ethernet	175
Εικόνα 63: Κατανάλωση στην περίπτωση v) χρήση δικτύου 3G και μόντεμ της Intel.....	176
Εικόνα 64: Κατανάλωση στην περίπτωση v) χρήση δικτύου 3G και μόντεμ της Huawei. .	176
Εικόνα 65: Συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των περιπτώσεων.....	177
Εικόνα 66: Μέσος όρος κατανάλωσης ανά περίπτωση χρήσης δικτυακής διεπαφής.....	178

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Λειτουργίες οντότητας H2N	43
Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος υπηρεσιών	63
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας	65
Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης	68
Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων σχετικών με πολιτικές γενικά	69
Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων σχετικών με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά	70
Πίνακας 7: Συνοπτική παράθεση των δεδομένων του σεναρίου χρήσης που εξετάστηκε .	136

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

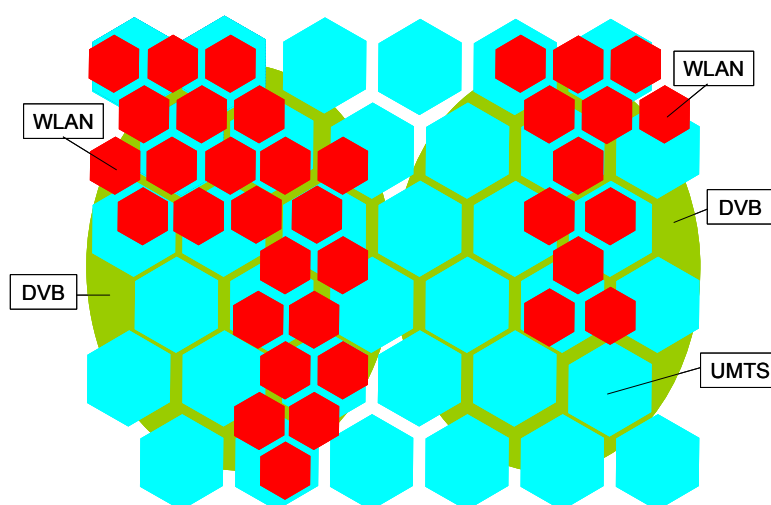
1.1 Τα ασύρματα δίκτυα και οι υπηρεσίες τους σήμερα

Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν προσελκύσει την προσοχή όλων μας τα τελευταία χρόνια, χωρίς απαραίτητα αυτό να γίνεται αμέσως αντιληπτό. Οι περισσότερες όμως νέες συσκευές, υπηρεσίες και ευκολίες που χρησιμοποιούμε όλοι μας καθημερινά, βασίζονται σε ασύρματες τεχνολογίες. Πέρα από το ασύρματο τηλέφωνο στο σπίτι (DECT) και το κινητό δεύτερης γενιάς (GSM), έχουμε πια κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς (UMTS), ψηφιακή τηλεόραση δορυφορική (DVB-S) ή επίγεια (DVB-T), ασύρματη μόνιμη σύνδεση στο διαδίκτυο (ADSL & WLAN, WiMAX, HSDPA) και υπολογιστές χειρός (PDAs) με δυνατότητες προσδιορισμού της θέσης τους (GPS) και ταυτόχρονης σύνδεσης σε διάφορα ασύρματα δίκτυα (π.χ. WLAN, Bluetooth, GSM, UMTS) και πολλά άλλα. Οι περισσότεροι δεν γνωρίζουν τα ακρωνύμια (σε παρένθεση) των τεχνολογιών που υποστηρίζουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες, αλλά φυσικά κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο, ούτε και επιθυμητό. Ο σκοπός της τεχνολογίας πλέον είναι να υπάρχει παντού και πάντα αλλά σε αρμονία με το περιβάλλον, χωρίς να φαίνεται, να ξεχωρίζει και να γίνεται αποκρουστική. Κάθε αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα υπολογιστικό σύστημα, θα πρέπει να πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν πιο φυσικό, απλό και εύχρηστο τρόπο, αφήνοντάς τον ικανοποιημένο και ελεύθερο να κάνει ό,τι άλλο θέλει. Γι' αυτό και οι υπηρεσίες που παρέχονται θα πρέπει να γίνονται όλο και πιο έξυπνες, ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν και να λαμβάνουν υπόψη τους την τρέχουσα κατάσταση του χρήστη, όπως και τις προτιμήσεις του, και να προσαρμόζουν τις λειτουργίες τους ανάλογα. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού εργάζονται συνεχώς πολλές εταιρείες, πανεπιστήμια, προγραμματιστές, ερευνητές, κ.α. Η προσπάθεια εστιάζεται σε διάφορα επίπεδα και σε πολλούς τομείς, όπως τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς, στα οποία αναφέρεται η επόμενη ενότητα, ή τα γνωσιακά (cognitive) συστήματα στα οποία αναφέρεται η ενότητα 1.3.

1.2 Τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς

Τα δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3rd Generation, B3G) υπόσχονται παροχή υπηρεσιών με βελτιωμένη ποιότητα, που μπορεί να διασφαλίζεται κάτω και από τις πιο δύσκολες συνθήκες φορτίου τηλεπικοινωνιακής κίνησης, χωρίς να υπάρχουν διακοπές στην παροχή της υπηρεσίας ή σημεία όπου δεν καλύπτονται. Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζονται τα δίκτυα B3G είναι η συνεργασία μεταξύ διαφόρων δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς για την παροχή των διαθέσιμων υπηρεσιών. Δημιουργείται έτσι ένα ενιαίο αλλά ετερογενές δικτυακό περιβάλλον, μέσα στο οποίο οι χρήστες κινούνται ελεύθερα και καταναλώνουν τις υπηρεσίες που θέλουν με την ποιότητα που ζητούν. Η ετερογένεια αυτή εισάγει εν μέρει μεγάλη πολυπλοκότητα στο δίκτυο, όμως γι' αυτό ακριβώς τον λόγο τα δίκτυα B3G ενσωματώνουν συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών, που έχουν σαν στόχο να απλοποιήσουν τις διαδικασίες και να αξιοποιήσουν τα θετικά στοιχεία κάθε τεχνολογίας, μέσα από την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων επιλογής τεχνολογίας και σημείου πρόσβασης ή ανακατανομής του φορτίου σε δίκτυα σε περίπτωση συμφόρησης κ.α.

Ένα παράδειγμα δικτύου B3G φαίνεται στην Εικόνα 1. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς υπάρχουν τρεις διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης: μέσω ασύρματου τοπικού δικτύου WLAN (βάσει της οικογένειας πρωτοκόλλων 802.11 της IEEE [1]), μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς UMTS [2] και μέσω επίγειου ψηφιακού δικτύου εκπομπής εικόνας DVB-T [3]. Πολλές περιοχές στην εικόνα, καλύπτονται ακόμα και από τις τρεις τεχνολογίες. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης εξοπλισμένος με τερματικό που μπορεί να λειτουργήσει και στα τρία δίκτυα, έχει τη δυνατότητα να λάβει την υπηρεσία που επιθυμεί μέσω πολλών διαφορετικών οδών, συνεπώς είναι πιο πιθανό με την επιλογή κατάλληλου σημείου πρόσβασης, να είναι ικανοποιημένος με την υπηρεσία και την ποιότητα στην οποία αυτή προσφέρεται. Η επιλογή αυτή βέβαια γίνεται χωρίς την άμεση εμπλοκή του χρήστη, αλλά σύμφωνα με τις γενικότερες προτιμήσεις του, το συμβόλαιό του και διάφορα άλλα στοιχεία που θα αναλυθούν στην συνέχεια.



Εικόνα 1: Παράδειγμα ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος με 3 διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης, WLAN, DVB, UMTS

Την απόφαση για το σημείο πρόσβασης μπορεί να την πάρει το λογισμικό διαχείρισης που υπάρχει στο τερματικό του χρήστη ή το αντίστοιχο λογισμικό στην πλευρά του δικτύου. Γενικά, όπως ήδη αναφέρθηκε, κάθε δίκτυο B3G καθώς και κάθε τερματικό που θέλει να λειτουργεί στο ετερογενές δικτυακό περιβάλλον, πρέπει να ενσωματώνει επιπλέον λογισμικό διαχείρισης, κυρίως διότι η επιλογή σημείου πρόσβασης δεν βασίζεται πια σε κάποιο απλό χαρακτηριστικό όπως η ισχύς του σήματος, αλλά σε πολλά άλλα σύνθετα, όπως οι ιδιαίτερες απαιτήσεις της υπηρεσίας που ζητείται, το φορτίο σε κάθε κυψέλη κ.α.

1.3 Συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών

Ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης πολλών δικτύων που συνδυάζουν υλικό ενός ή περισσότερων κατασκευαστών αποτελείται κυρίως από τέσσερα μέρη: τον κεντρικό σταθμό διαχείρισης, τους περιφερειακούς πράκτορες διαχείρισης, βάσεις δεδομένων και ένα πρωτόκολλο για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικών με τη διαχείριση.

Ο κεντρικός σταθμός διαχείρισης περιλαμβάνει κατά κανόνα ένα σύνολο λειτουργιών που επιτρέπουν την ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης σε κάθε κομμάτι κάθε δικτύου,

την ανάκαμψη από βλάβες, τον προγραμματισμό απαραίτητων ενεργειών συντήρησης κ.α. Όλα γίνονται μέσω μιας διεπαφής η οποία αφενός μεν δίνει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των δικτύων σε πραγματικό χρόνο, αφετέρου δε επιτρέπει τον έλεγχο των διαφόρων στοιχείων του δικτύου, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της επικοινωνίας με τους αντίστοιχους πράκτορες διαχείρισης. Εδώ υπεισέρχεται η ανάγκη χρήσης ενός απλού πρωτοκόλλου, το οποίο θα ορίζει έναν αριθμό παραμέτρων και αντικειμένων γενικού σκοπού, ώστε να μπορεί να καλύψει κάθε περίπτωση. Ένα παράδειγμα τέτοιου πρωτοκόλλου είναι το γνωστό SNMP (Simple Network Management Protocol) [4]. Τέλος, απαιτείται και η ύπαρξη μιας βάσης δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται πληροφορίες για τα διαχειριζόμενα στοιχεία δικτύου, τόσο στατικές, όσο και δυναμικές, πιθανόν βέβαια με τρόπο περιληπτικό ή αθροιστικό.

Η θέση ενός περιφερειακού πράκτορα διαχείρισης είναι συνήθως σε κομβικά σημεία ενός δικτύου, όπως εξυπηρετητές, δρομολογητές, σταθμούς βάσης κτλ. Η ευθύνη του είναι να ανταποκρίνεται στα αιτήματα του κεντρικού σταθμού διαχείρισης, αλλά γενικά είναι σε θέση να στέλνει πληροφορίες και αυτόκλητα, εφόσον υπάρξει διαφοροποίηση που ξεπερνάει κάποια προκαθορισμένα κατώφλια. Η αλληλεπίδραση γίνεται με την ανταλλαγή συγκεκριμένων αντικειμένων που περιέχουν τις ζητούμενες πληροφορίες με δομημένο τρόπο.

Η διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών με βάση ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο ακολουθώντας μια κεντροποιημένη αρχιτεκτονική με έναν σταθμό διαχείρισης και πιθανώς μερικούς ακόμα εφεδρικούς σε ετοιμότητα, όσο και υλοποιώντας μια πιο κατακεκολλημένη αρχιτεκτονική όπου υπάρχουν περισσότεροι σταθμοί διαχείρισης του υψηλότερου διαχειριστικού επιπέδου. Σε αυτή την περίπτωση ο σταθμός διαχείρισης ελέγχει μόνο ένα σύνολο από περιφερειακούς πράκτορες, συχνά δε εισάγεται και ένας ενδιάμεσος διαχειριστής με τον οποίο επικοινωνεί ο σταθμός αντί με τους πράκτορες απευθείας. Αυτό είναι κάτι απαραίτητο πλέον, καθώς το πλήθος των διαχειριζόμενων στοιχείων δικτύου αυξάνεται, όπως και το εξυπηρετούμενο φορτίο κίνησης, και έτσι είναι ουσιαστικά αδύνατη η τροφοδότηση ενός κεντρικού σημείου με όλες τις αναφορές που απαιτούνται για τη λήψη αποφάσεων ή αντίστροφα η αποδοτική και άμεση αποστολή των απαραίτητων νέων ρυθμίσεων.

Σε κάθε περίπτωση, κοινό βασικό χαρακτηριστικό, είναι ότι οι αποφάσεις παίρνονται στην πλευρά του δικτύου, ενώ οι τελικοί χρήστες και τα τερματικά τους, είτε κινητά, είτε φορητά, είτε ενσύρματα, δεν έχουν καμία ανάμειξη.

Στην σύγχρονη αγορά των τηλεπικοινωνιών εμπλέκεται ένας μεγάλος αριθμός παρόχων και κατασκευαστών, με σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τις τεχνολογίες που αξιοποιούν, τις δυνατότητες που προσφέρουν ή τις τιμολογιακές πολιτικές που ακολουθούν. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες των παρεχόμενων υπηρεσιών έχουν να επιλέξουν από ένα ευρύ φάσμα συνδυασμών ποιότητας, τιμής, συσκευής πρόσβασης κτλ. Η διαμόρφωση των επιλογών αυτών πρέπει να γίνεται με βάση τις προτιμήσεις και τις ανάγκες του κάθε χρήστη, γι' αυτό και υπάρχει μια τάση μεταφοράς μέρους της διαχείρισης στην πλευρά του χρήστη. Σε αυτή την περίπτωση παράγονται δυναμικά από την πλευρά του δικτύου οι

κατάλληλες πολιτικές, τις οποίες καλούνται να σεβαστούν οι χρήστες, ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία όλης της δικτυακής υποδομής και κατ' επέκταση η απρόσκοπτη παροχή των ζητούμενων υπηρεσιών. Κατά τα άλλα κάθε χρήστης είναι ελεύθερος να ανακαλύψει και να χρησιμοποιήσει διαθέσιμους δικτυακούς πόρους σύμφωνα με την δική του προσαρμοσμένη λογική, υποβοηθούμενος βέβαια από το ανάλογο σύστημα διαχείρισης του τερματικού του. Ένα τέτοιο σύστημα διαχείρισης είναι εμφανώς πιο κατανεμημένο και ευνοεί την αυτονομία των λειτουργικών οντοτήτων που συνεργάζονται, καθιστώντας το όλο περιβάλλον περισσότερο εξελίξιμο, ευέλικτο αλλά και σταθερό, αφού μειώνει τα κομβικά σημεία που σε περίπτωση βλάβης οδηγούν στη δημιουργία γενικευμένου προβλήματος. Στην υποενότητα που ακολουθεί περιγράφονται μερικά από τα συστήματα διαχείρισης που έχουν προταθεί ή και αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια.

1.3.1 Σχετικές εργασίες

Η αρχιτεκτονική διαχείρισης που προτείνεται στα [5] και [6] προσφέρει δύο επιπλέον βασικά στοιχεία που την ξεχωρίζουν από άλλες αντίστοιχες. Πρώτον δίνει τη δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τομέων διαχείρισης ετερογενών δικτύων. Και δεύτερον, εστιάζει στην αυτόνομη διαχείριση εικονικών πόρων και υπηρεσιών και έτσι διευκολύνει την μετακίνηση των χρηστών, επιτρέπει την αρραγή (seamless) εναλλαγή υπηρεσιών ή οντοτήτων, αλλά και υποστηρίζει την επεκτασιμότητα του όλου συστήματος. Υπάρχουν πέντε κύρια επίπεδα, τα οποία χρησιμοποιούν μηχανισμούς που βασίζονται στην παραγωγή και αποστολή πολιτικών για να αντιμετωπίσουν τις αλλαγές στο δικτυακό περιβάλλον και να διασφαλίσουν την ομαλή λειτουργία του. Το επίπεδο εικονικής αναπαράστασης, όπου αντιπροσωπεύεται κάθε φυσικός πόρος με έναν γενικό τρόπο, επιτρέποντας τον ενιαίο χειρισμό του από τις υπόλοιπες οντότητες της αρχιτεκτονικής. Το επίπεδο διαχείρισης, το οποίο περιέχει τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων με βάση ένα κοινό σύνολο πολιτικών για τα στοιχεία δικτύου που ελέγχει. Το επίπεδο υπηρεσιών, που είναι υπεύθυνο για την σύνθεση και παροχή των υπηρεσιών χρησιμοποιώντας το επίπεδο εικονικής αναπαράστασης. Το επίπεδο γνώσης, το οποίο είναι σε θέση να παρέχει σε όλα τα άλλα επίπεδα την πληροφόρηση που χρειάζονται, μέσω της αντίστοιχης οντολογίας. Και τέλος το επίπεδο συντονισμού, το οποίο ενορχηστρώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων συνεργαζόμενων οντοτήτων, ανιχνεύοντας και εξαλείφοντας αλληλοσυγκρουόμενες ενέργειες, δρώντας ως ενδιάμεσος κατά τη διαπραγμάτευση απαιτήσεων κ.α. Η εν λόγω αρχιτεκτονική παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, ειδικά ως προς την ιδέα διαχείρισης εικονικών πόρων και υπηρεσιών και όχι απευθείας των πραγματικών, όμως έχει και μειονεκτήματα, κυρίως ως προς τους μηχανισμούς παρακολούθησης και ενημέρωσης για την κατάσταση στο δίκτυο.

Η αρχιτεκτονική Unity η οποία περιγράφεται στα [7] και [8] προσπαθεί να καλύψει τις ανάγκες αυτοδιαχείρισης κατανεμημένων υπολογιστικών συστημάτων, μπορεί όμως να αποτελέσει παράδειγμα και για την περίπτωση ενός ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος. Είναι μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στην παροχή υπηρεσιών (service oriented) και βασισμένη στην τεχνολογία πρακτόρων (agent based), η οποία χαρακτηρίζεται από τρεις βασικά λειτουργίες: την αυτορύθμιση (self-configuration), την αυτοϊαση (self-healing) και

την αυτοβελτιστοποίηση (self-optimization). Κάθε οντότητα που λειτουργεί στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής Unity, αποφασίζει αυτόνομα και συνεργάζεται με άλλες οντότητες με σκοπό την συνολική βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, διασφαλίζοντας παράλληλα τις ποιοτικές απαιτήσεις των χρηστών. Η συνεργασία επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση κάθε οντότητας, ενώ η βάση της συνεργασίας είναι οι υπηρεσίες που προσφέρει εξωτερικά κάθε μία από αυτές. Εσωτερικά η κάθε οντότητα είναι απόλυτα υπεύθυνη για τη λειτουργία της. Οι βασικές συνιστώσες της αρχιτεκτονικής αυτής είναι έξι. Ο διαχειριστής εφαρμογής (application manager), ο οποίος ευθύνεται για τη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων, ενώ παράλληλα διευθετεί τις αλληλεπιδράσεις της εφαρμογής με το περιβάλλον της. Ο ρυθμιστής πόρων (resource arbiter), ο οποίος φροντίζει για την ανάθεση των πόρων σε κάθε εφαρμογή. Ο εξυπηρετητής (server), ο οποίος ανακοινώνει τους διαθέσιμους πόρους του όπως και τις διάφορες άλλες δυνατότητες που παρέχει, αποτελεί λοιπόν ουσιαστικά τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος. Ο καταχωρητής (registry), ο οποίος μπορεί και ανιχνεύει όλες τις άλλες συνιστώσες με τις οποίες θα χρειαστεί να επικοινωνήσει ο διαχειριστής εφαρμογής. Η βάση πολιτικών (policy repository) όπου αποθηκεύονται χρηστικές συναρτήσεις και πολιτικές εκφρασμένες με τρόπο κατανοητό από τον άνθρωπο. Ο ονομαζόμενος "φρουρός" (sentinel), ο οποίος παρακολουθεί την κατάσταση μιας οντότητας και παρέχει αυτή την πληροφόρηση ως υπηρεσία προς άλλες συνιστώσες. Η αρχιτεκτονική Unity αξιοποιεί τον ρυθμιστή για να μεταφέρει πόρους από έναν διαχειριστή εφαρμογής σε άλλο, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα όταν κάποια πολιτική δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω έλλειψης πόρων. Όμως η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος και γενικότερα η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του δεν βασίζεται σε πολιτικές, αλλά μόνο σε χρηστικές συναρτήσεις (utility functions), οι οποίες μάλιστα αφορούν το τοπικό επίπεδο.

Η αρχιτεκτονική ANA (Autonomic Network Architecture) [9][10] σχεδιάστηκε από την αρχή με εγγενείς δυνατότητες υποστήριξης αυτόνομων συμπεριφορών, με σκοπό την ευέλικτη φιλοξενία, διασύνδεση και συνένωση πολλαπλών ετερογενών δικτύων. Βασική έννοια της αρχιτεκτονικής αυτής είναι τα λεγόμενα "διαμερίσματα" (compartments), η εσωτερική λειτουργία των οποίων είναι ελεύθερη από οποιουσδήποτε περιορισμούς, ενώ αυτό που καθορίζεται είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ διαμερισμάτων. Κάθε ένα από αυτά πρέπει να υλοποιεί ένα πλαίσιο επικοινωνίας βασισμένο σε συγκεκριμένους κανόνες και πολιτικές. Πρέπει να δίνει τη δυνατότητα σε οντότητες να συνδέονται και να αποσυνδέονται από το διαμέρισμα, να παρέχει πληροφορίες για τον εσωτερικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων του διαμερίσματος και να διαχειρίζεται τις πολιτικές από άκρη σε άκρη του διαμερίσματος, να είναι δηλαδή σε θέση να λάβει πολιτικές από "έξω", να τις περάσει εσωτερικά και αντίστροφα να μπορεί να εξάγει πολιτικές προς ένα άλλο διαμέρισμα. Οι περιεχόμενες οντότητες ονομάζονται επιγραμματικά NCs (Node Compartments) και ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν τους δικτυακούς πόρους. Σημαντικό πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής ANA είναι ότι αν και κάθε διαμέρισμα μπορεί να ενσωματώνει τους δικούς του μηχανισμούς βελτιστοποίησης, η ANA ορίζει έναν γενικό μηχανισμό βελτιστοποίησης βασισμένο στην χρήση πολιτικών, έτσι ώστε να ενημερώνονται και να συγχρονίζονται οι εσωτερικές διαδικασίες βελτιστοποίησης σε δια-

διαμερισματικό επίπεδο. Ένα μειονέκτημα είναι βέβαια ότι έτσι η συνολική αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται από τις εσωτερικές διαδικασίες των διαμερισμάτων, χωρίς να μπορεί να υπάρξει μια γενικότερη και πιθανότατα αποτελεσματικότερη λύση.

1.4 Συστήματα διάχυτου υπολογισμού

Ένας πολλά υποσχόμενος και συνεχώς αναπτυσσόμενος χώρος τα τελευταία χρόνια είναι αυτός του διάχυτου ή αλλιώς πανταχού παρών υπολογισμού (pervasive or ubiquitous computing) που έρχεται να αλλάξει την καθημερινή μας ζωή, αξιοποιώντας το σύνολο σχεδόν των τελευταίων επιτευγμάτων της τεχνολογίας στις επικοινωνίες και τους υπολογιστές. Κύριο χαρακτηριστικό κάθε περιβάλλοντος στο οποίο υπάρχει διάχυτος υπολογισμός, είναι η δυνατότητα που έχει να αντιλαμβάνεται το περιεχόμενο που υπάρχει μέσα σ' αυτό, επιτρέποντας στις κατάλληλες συσκευές ή συστήματα διάχυτου υπολογισμού να αλληλεπιδρούν μαζί του και να προσαρμόζουν την συμπεριφορά τους κατάλληλα. Οι υπηρεσίες δηλαδή που προσφέρονται ανακτούν και επεξεργάζονται πληροφορία σχετική με το περιβάλλον τους, η οποία όμως προκύπτει έμμεσα, χωρίς να είναι απαραίτητη η εμπλοκή του τελικού χρήστη. Ο στόχος είναι σε κάθε περίπτωση η φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρώπων και του περιβάλλοντος και για την επίτευξή του μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες, όπως αισθητήρες στα ρούχα ή στο χώρο, ειδικές συσκευές εισόδου – εξόδου δεδομένων, κάμερες, μικρόφωνα και πολλά άλλα.

Μια τεχνολογία που δείχνει ότι θα κυριαρχήσει σε τέτοιου είδους συστήματα και εφαρμογές, είναι αυτή της ασύρματης μετάδοσης ταυτότητας (RFID), με την οποία η ταυτότητα μιας έξυπνης ετικέτας (smart tag ή smart label) στέλνεται με ραδιοκύματα σε έναν αναγνώστη και στη συνέχεια σε κάποιον υπολογιστή. Τα RFIDs έχουν πολλά πλεονεκτήματα, απ' τα οποία το πιο ενδιαφέρον είναι η δυνατότητά τους να αποθηκεύουν μέχρι και αρκετά KB δεδομένων ακόμα και κατά την χρήση τους.

Από την άποψη του λογισμικού υπάρχουν ήδη πολλές τεχνικές και αλγόριθμοι για τα περισσότερα από τα ζητούμενα ενός συστήματος διάχυτου υπολογισμού, όπως η αναγνώριση προσώπων μέσα σε ακίνητες ή κινούμενες εικόνες, η αναγνώριση ομιλίας ή η επεξεργασία φωνητικών εντολών. Επίσης υπάρχουν λύσεις για την δυναμική ανακάλυψη συσκευών και υπηρεσιών, καθώς και τον συνδυασμό απλών υπηρεσιών σε νέες πιο σύνθετες. Όλα αυτά υποστηριζόμενα από διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως τα Bluetooth, ZigBee, UWB, IEEE 802.xx και διάφορες τεχνικές διασύνδεσης και δρομολόγησης όπως οι mesh, gossiping, MAOD [11] ή directed flooding [12].

Είναι φανερό από τα παραπάνω, ότι ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού αποτελείται από μια πληθώρα συστημάτων και τεχνολογιών η οποία κάθε άλλο παρά στατική είναι στο χρόνο. Αυτή η πολυπλοκότητα υπαγορεύει την ανάγκη στήριξης ενός τέτοιου περιβάλλοντος σε κάποια κατάλληλη πλατφόρμα μεσισμικού (middleware platform), ώστε να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και ο συγχρονισμός των επιμέρους προσφερόμενων υπηρεσιών. Επίσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιων λογικών οντοτήτων λογισμικού, οι οποίες θα διαχειρίζονται αυτή την πλατφόρμα.

Βασικό χαρακτηριστικό κάθε τέτοιας πλατφόρμας είναι η δυνατότητά της να κρύβει την ετερογένεια των δικτύων και των συσκευών που μπορεί να υποστηρίξει. Αυτό σημαίνει ότι ενώ οι διάφορες συσκευές που υπάρχουν στο σύστημα έχουν διαφορετικές δυνατότητες σε πόρους, συνδεσιμότητα και κινητικότητα, αντιμετωπίζονται με έναν ομοιόμορφο, γενικό τρόπο που απλοποιεί την δημιουργία, σύνθεση και παροχή υπηρεσιών προς αυτές. Το ίδιο ισχύει και για την αντιμετώπιση των ποικίλων τεχνολογιών δικτύου που μπορεί να συνυπάρχουν σε ένα περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού. Είτε είναι ενσύρματες ή ασύρματες, είτε μεγάλης ή μικρής ακτίνας επικοινωνίας, η πλατφόρμα πρέπει να τις παρουσιάζει με ενιαίο τρόπο στην υπηρεσία που τις χρειάζεται.

Επιπλέον το μεσισμικό θα πρέπει να συντελεί στην άρση των περιορισμών που προκύπτουν κυρίως από τις περιορισμένες δυνατότητες των συσκευών που συνήθως λειτουργούν σε περιβάλλοντα διάχυτου υπολογισμού. Για παράδειγμα θα πρέπει να εξασφαλίζει όσο γίνεται την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, δεδομένου ότι πολλές από αυτές στηρίζονται ή προέρχονται από συσκευές που μπορεί να λειτουργούν περιοδικά για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, να επικοινωνούν μόνο μέσω άλλων συσκευών που βρίσκονται κοντά τους ή να υπερφορτώνονται εύκολα απορρίπτοντας στη συνέχεια όλες τις νέες αιτήσεις για υπηρεσίες.

Πέρα από τα παραπάνω, πρέπει πάντα να υπάρχει πρόβλεψη για την μικρή ή μεγάλη κινητικότητα των συσκευών στο χώρο, που σημαίνει ότι η παροχή ή η λήψη μιας υπηρεσίας μπορεί να διακοπεί οποιαδήποτε στιγμή και χωρίς προειδοποίηση. Επειδή φυσικά κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό, θα πρέπει να υπάρχουν μηχανισμοί για την ομαλή μετάβαση μιας υπηρεσίας από ένα σημείο πρόσβασης σε κάποιο άλλο, την επανέναρξή της όταν είναι εφικτό ή την αναπροσαρμογή των παραμέτρων της εφόσον είναι αναγκαίο για την συνέχιση της παροχής της.

Τα τελευταία χρόνια έχουν ενταθεί οι προσπάθειες για την ικανοποίηση του συνόλου αυτών των απαιτήσεων και έχουν αναπτυχθεί διάφορες πλατφόρμες και λύσεις. Βέβαια οι απαντήσεις σε τέτοια σύνθετα και πολύπλευρα ερωτήματα δεν είναι μονοσήμαντες, ούτε μπορούν να καταταχθούν σε σωστές και λάθος. Στη συνέχεια παραθέτονται συνοπτικά τα δυνατά και αδύναμα σημεία μερικών αρχιτεκτονικών, καθώς και τα προβλήματα στα οποία εστιάζουν.

1.4.1 Σχετικές εργασίες

Η αρχιτεκτονική AWARE που παρουσιάζεται στο [13] αναπτύχθηκε κυρίως για να υποστηρίξει την “κοινωνική επίγνωση” (social awareness) σε χώρους εργασίας, όπως π.χ. ένα νοσοκομείο. Ο όρος αυτός προσπαθεί να περιγράψει την κατάσταση όπου ο εργαζόμενος σε ένα χώρο γνωρίζει την τρέχουσα κατάσταση των άλλων ατόμων με τα οποία συνεργάζεται ή θέλει να συνεργαστεί. Αυτό είναι κάτι εύκολο στην περίπτωση που τα εμπλεκόμενα πρόσωπα συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο, αλλά είναι πρόβλημα στην αντίθετη περίπτωση. Για παράδειγμα, μια νοσοκόμα που βλέπει τον γιατρό να εξετάζει την πορεία του τραύματος ενός ασθενή στο θάλαμο, τον περιμένει να τελειώσει πριν του μιλήσει. Αν όμως η νοσοκόμα είναι σε άλλο θάλαμο και χρειάζεται τον γιατρό για κάποιον

ασθενή, μπορεί να τον ενοχλήσει σε λάθος στιγμή, να τον αναζητήσει με λάθος τρόπο και τελικά να μην καταφέρει να επικοινωνήσει μαζί του. Η όσο το δυνατόν καλύτερη υποστήριξη της έννοιας της κοινωνικής επίγνωσης που ενυπάρχει σε κάθε συνεργασία, βελτιώνει την ανθρώπινη επικοινωνία και αλληλεπίδραση, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται ο συντονισμός των ενεργειών των μελών μιας ομάδας και αυξάνεται η αποτελεσματικότητά τους.

Η οργάνωση της αρχιτεκτονικής AWARE περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα: Το επίπεδο πελάτη (client layer), το οποίο περιέχει τις εφαρμογές που υποστηρίζονται, το επίπεδο επίγνωσης (awareness layer), που περιέχει τις υπηρεσίες επίγνωσης και μηνυμάτων, το επίπεδο περιεχομένου (context layer) και τέλος το επίπεδο παρακολούθησης και ενεργοποίησης (monitoring and actuating layer). Οι βασικές λειτουργίες στηρίζονται στο προγραμματιστικό πλαίσιο JCAF (Java Context-Awareness Framework) [14][15], το οποίο επιτρέπει την μοντελοποίηση και διαχείριση του περιεχομένου που λαμβάνεται ανεξάρτητα από διάφορους αισθητήρες και τεχνολογίες αλληλεπίδρασης.

Στα πλαίσια της εν λόγω αρχιτεκτονικής αναπτύχθηκε η εφαρμογή AwarePhone, η οποία παρέχει στα κινητά τηλέφωνα των χρηστών πληροφορίες για την θέση, την εργασία και γενικότερα την κατάσταση των ατόμων που την χρησιμοποιούν. Παράλληλα δίνει την δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας μεταξύ τους, με την εκκίνηση φωνητικής κλήσης, ή έμμεσης, με την αποστολή γραπτών μηνυμάτων με προτεραιότητα. Εγκαταστάθηκε πιλοτικά σε ένα νοσοκομείο με σκοπό να βοηθήσει στην συνεργασία των γιατρών, νοσοκόμων, θεραπευτών κτλ. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά και μεγάλο μέρος του προσωπικού άρχισε αμέσως να αξιοποιεί τις δυνατότητες του συστήματος.

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα όμως, δεν περιλαμβάνει κανένα αυτοματοποιημένο σημείο διαχείρισης υπηρεσιών και λήψης αποφάσεων. Έτσι, εκτός από την θέση του κάθε χρήστη, η οποία ανανεώνεται συνέχεια χωρίς καμία παρέμβαση, η κατάσταση του χρήστη καθώς και η εργασία που εκτελεί πρέπει να δηλώνονται από τον ίδιο μέσω της εφαρμογής, ώστε να γίνονται γνωστές και στους υπόλοιπους συνεργαζόμενους χρήστες. Αυτό καθιστά το όλο σύστημα λιγότερο έξυπνο, “αόρατο” και “πανταχού παρόν”.

Από την άλλη, στις εργασίες [16] και [17] παρουσιάζεται ένα Σύστημα Διαχείρισης Πλαισίου (Context Management System) που ονομάζεται COWSPOTS και είναι ειδικά ανεπτυγμένο για τον ιατροφαρμακευτικό τομέα. Ο κύριος σκοπός του είναι να καταφέρει να νικήσει τις (δικαιολογημένες πολλές φορές) αντιδράσεις των εργαζομένων σε νοσοκομεία για την εισαγωγή αντίστοιχων πληροφοριακών συστημάτων και να τους πείσει ότι μπορεί να διευκολύνει την εργασία τους και να την επιταχύνει. Γι’ αυτό και έγινε προσπάθεια να προσαρμοστεί το σύστημα στις συνήθειες των χρηστών του και όχι το αντίθετο. Επιπλέον όμως, βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η δυνατότητα που έχει να αναγνωρίζει και να διαχειρίζεται τις έννοιες που περικλείει κάθε κατάσταση στην οποία βρίσκεται ένας χρήστης. Έτσι μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικό στην παροχή και παρουσίαση πληροφοριών στον χρήστη ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες και επιθυμίες του, χωρίς αυτός να χρειάζεται να τις δηλώσει ρητά.

Η υλοποίηση του συστήματος στηρίζεται στην πλατφόρμα SharePoint Portal Server της Microsoft, η οποία παρέχει την έννοια των κομματιών ιστού (web parts), δηλαδή μικρών κομματιών ιστοσελίδων που μπορεί να δει κανείς μέσω οποιουδήποτε φυλλομετρητή (browser). Τέτοια κομμάτια είναι οι πρωταρχικές υπηρεσίες του COWSPOTS προς τους χρήστες, οι οποίες στη συνέχεια συνδυάζονται με βάση την κατάσταση του χρήστη ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή αλληλεπίδραση, π.χ. να παρουσιαστούν στο κέντρο της οθόνης τα αποτελέσματα των εξετάσεων που κυρίως ενδιαφέρουν τον γιατρό και κάπου στην άκρη οι διάφορες άλλες διαθέσιμες πληροφορίες για τον ασθενή.

Για την μοντελοποίηση και συστηματική απεικόνιση των εννοιών που σχετίζονται με τον τομέα ιατρικής φροντίδας, το σύστημα έχει υιοθετήσει δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες οντολογίες: την HL7 RIM (Reference Information Model) και την HL7 CDA (Clinical Document Architecture). Και οι δύο έχουν καθοριστεί από τον HL7, έναν αμερικανικό οργανισμό ανάπτυξης ιατρικών προτύπων. Η πρώτη περιγράφει κυρίως έννοιες όπως ιατρικούς οργανισμούς, ιδιώτες, συσκευές, χώρους, πράξεις ή και έγγραφα. Η δεύτερη εστιάζει στην δομημένη αναπαράσταση ιατρικών δεδομένων μέσα σε έγγραφα. Το COWSPOTS αξιοποιεί και τις δύο για να λύσει το πρόβλημα που κυρίως διαπραγματεύεται: την ανάκτηση και την κατάλληλη παρουσίαση του σωστού CDA εγγράφου σύμφωνα με το τρέχων πλαίσιο κατάστασης του χρήστη.

Αυτό που δεν καλύπτει το συγκεκριμένο σύστημα, είναι ο συντονισμός γενικότερων υπηρεσιών και ενεργειών με έξυπνο τρόπο π.χ. το να γίνει αυτόματη αναζήτηση μιας συσκευής, απαραίτητης για μια προγραμματισμένη εξέταση στο νοσοκομείο.

Μια ακόμα σχετική ερευνητική προσπάθεια είναι αυτή που περιγράφεται στο [18] και έχει σαν κύριο σκοπό την δημιουργία μιας ισχυρής σύνδεσης μεταξύ σύγχρονων τεχνολογιών και εφαρμογών. Τέτοιες τεχνολογίες είναι για παράδειγμα ασύρματοι αισθητήρες με ενσωματωμένες λειτουργίες RFID, ολοκληρωμένοι αναγνώστες / εγγραφείς για ετικέτες RFID ή αισθητήρες, συσκευές ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, καθώς και διάφορες MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) νάνο-συσκευές. Οι δε εφαρμογές που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα αφορούν καθημερινές δραστηριότητες όπως τα σπορ, η υγεία, οι δουλειές σπιτιού ή η διατήρηση καλής φυσικής κατάστασης.

Η προτεινόμενη πλατφόρμα ονομάζεται MIMOSA και αποτελείται από τρεις φυσικές οντότητες: το κινητό τερματικό, τον κόμβο ασύρματου αισθητήρα και τον κόμβο ενεργής ή παθητικής RFID ετικέτας. Το τερματικό, εκτός από την απαραίτητη γραφική διεπαφή με τον χρήστη, μπορεί να έχει ενσωματωμένους διάφορους αισθητήρες (π.χ. αναγνώστη RFID) ή και δομικά στοιχεία για τοπική συνδεσιμότητα με άλλες συσκευές της πλατφόρμας (π.χ. μέσω του πρωτοκόλλου Bluetooth Low End Extension). Ο κόμβος αισθητήρα περιλαμβάνει έναν μικροελεγκτή για την επεξεργασία των δεδομένων αλλά και την εκτέλεση συγκεκριμένων εφαρμογών, το κομμάτι επικοινωνίας με την πλατφόρμα, που είναι αυτόνομο και μεγαλύτερης εμβέλειας από ένα RFID, και φυσικά τον αισθητήρα. Από την άλλη, ο κόμβος RFID είναι πλήρως ολοκληρωμένος, όχι μόνο σε ηλεκτρονικές συσκευές αλλά και σε κάθε είδους φυσικά αντικείμενα, όπως για παράδειγμα μια αφίσα που

διαφημίζει μια νέα ταινία. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης της πλατφόρμας μπορεί να πλησιάσει το τερματικό του στο RFID της αφίσας (που είναι σημειωμένο εμφανώς) και πατώντας ένα πλήκτρο να διαβάσει την διεύθυνση που κρύβει μέσα του και να κατεβάσει αυτόματα να δει το διαφημιστικό απόσπασμα της ταινίας.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον του MIMOSA έχει στραφεί κυρίως στην αξιοποίηση και ολοκλήρωση των νέων τεχνολογιών από τον χώρο των τηλεπικοινωνιών και της μικροηλεκτρονικής. Οι ενδεικτικές εφαρμογές που αναπτύσσονται έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος και χρησιμοποιούν το περιεχόμενο που λαμβάνουν από τα RFIDs και τους αισθητήρες ή το περιεχόμενο των διαφόρων άλλων μετρήσεων (π.χ. το καθημερινό βάρος του χρήστη), αλλά μεμονωμένα. Κάθε εφαρμογή ξεκινάει και εκτελείται αυτόνομα, χωρίς να υπάρχει κάποιο δομικό στοιχείο στην αρχιτεκτονική που να μπορεί να συνδυάσει δυναμικά το περιεχόμενο με τις διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα. Έτσι, όπως και στην περίπτωση του συστήματος COWSPOTS, δεν διευκολύνεται η εισαγωγή πιο ολοκληρωμένων, “αόρατων” και έξυπνων υπηρεσιών, οι οποίες να ελαχιστοποιούν την άμεση εμπλοκή του τελικού χρήστη.

Η εργασία [19] εισάγει μια ακόμα αρχιτεκτονική, η οποία βασίζεται στη τεχνολογία των πολλαπλών πρακτόρων και υποστηρίζει την συνεργασία μεταξύ του πράκτορα που ελέγχει το κινητό τερματικό του χρήστη και των πρακτόρων που παρέχουν τις διάφορες υπηρεσίες από την πλευρά του δικτυακού περιβάλλοντος, με σκοπό ακριβώς την παροχή προηγμένων υπηρεσιών με επίγνωση του πλαισίου χρήσης τους. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα στοχεύει στην ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος διάχυτου υπολογισμού που θα μπορεί να βοηθήσει τα άτομα με κινητικές αναπηρίες στην καθημερινή τους ζωή και κυρίως στις μετακινήσεις τους. Έτσι για παράδειγμα όταν ο χρήστης ξεκινήσει να επιστρέφει σπίτι από την δουλειά του, το έξυπνο τερματικό που έχει συνέχεια μαζί του ενημερώνει σχετικά τον ενδιάμεσο πράκτορα στο σπίτι του, ο οποίος φροντίζει να ανάψει το σύστημα θέρμανσης ώστε ο χρήστης να το βρει ζεστό όταν φτάσει εκεί. Αντίστοιχα, όταν ο χρήστης είναι σπίτι και ζητήσει από το τερματικό του πληροφορίες για το πώς θα φτάσει σε κάποιο μέρος χρησιμοποιώντας τα μέσα μαζικής μεταφοράς, ο πράκτορας στο οικιακό περιβάλλον φροντίζει να ενημερώσει τον χρήστη ότι έξω βρέχει και ότι είναι καλύτερα να ξεκινήσει αργότερα, όταν προβλέπεται ότι θα έχει σταματήσει η βροχή.

Στην περίπτωση αυτή λοιπόν υπάρχει ένα κεντρικό σημείο ευφυΐας στο περιβάλλον το οποίο αναλαμβάνει την συνολική οργάνωση, πρόβλεψη και ικανοποίηση των αναγκών του χρήστη, ενώ οι υπηρεσίες που χρειάζεται ο χρήστης μπορεί να ξεκινούν ακόμα και χωρίς καμία άμεση παρέμβαση από μέρους του, καθιστώντας το σύστημα ένα πλήρες περιβάλλον διάχυτου υπολογισμού. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στα πλαίσια της εν λόγω αρχιτεκτονικής συνδυάζονται δύο κυρίαρχες τεχνολογίες ανάπτυξης και υλοποίησης συστημάτων διάχυτου υπολογισμού, αυτή των ευφυών πρακτόρων [20] και αυτή της συμμαχίας OSGi [21]. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η δυναμική ενσωμάτωση νέων υπηρεσιών και δυνατοτήτων στο σύστημα, χωρίς να απαιτείται όλες οι οντότητες λογισμικού να είναι πράκτορες, κάτι που σίγουρα διευκολύνει και την περαιτέρω εξέλιξη και λειτουργία του συστήματος.

1.5 Γνωσιακά συστήματα

Μια ακόμα πιο πρόσφατη τάση στη διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών, είναι η ανάπτυξη γνωσιακών συστημάτων διαχείρισης, τα οποία είναι σε θέση, όχι μόνο να αντιλαμβάνονται το περιεχόμενο του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργούν ώστε να προσαρμόζονται στις εκάστοτε ανάγκες, αλλά και να μαθαίνουν από τα αποτελέσματα των ενεργειών τους. Πέραν δηλαδή από τη δυνατότητα να παρατηρούν, να αναλύουν και να δρουν με βάση τα ερεθίσματα που υπάρχουν γύρω τους, μπορούν και να κατανοούν τί έχουν κάνει και πόσο επιθυμητό ήταν το αποτέλεσμα, αποκομίζοντας γνώση για το πώς μπορούν να διαχειριστούν παρόμοιες καταστάσεις στο μέλλον. Οι μηχανισμοί μάθησης που ενσωματώνουν τα γνωσιακά συστήματα, τους επιτρέπουν να αντιδρούν ταχύτερα όταν εμφανιστούν προβλήματα που έχουν αντιμετωπιστεί και στο παρελθόν, αλλά και να αναγνωρίζουν προβληματικές συνθήκες και να λαμβάνουν μέτρα αντιμετώπισης ακόμα και πολύ πριν αυτές αρχίσουν να εμποδίζουν την απρόσκοπτη παροχή των ζητούμενων υπηρεσιών.

1.5.1 Σχετικές εργασίες

Η αρχιτεκτονική που προτείνεται στα [22][23][24] αξιοποιεί κατά κόρον γνωσιακές λειτουργίες για να διαχειριστεί ετερογενή ασύρματα δικτυακά περιβάλλοντα. Η υλοποίησή της βασίζεται στην τεχνολογία των ευφυών πρακτόρων και στο μοντέλο BDI (Belief - Desire - Intention) το οποίο υποστηρίζει εγγενώς την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη γνωσιακών αποφάσεων. Οι βασικές λειτουργικές οντότητες που περιλαμβάνει είναι πέντε: η οντότητα DSONPM (Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management), η οποία αποφασίζει μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα για τις απαραίτητες ενέργειες αναδιάρθρωσης των σταθμών βάσης σε ένα κομμάτι του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη και δεδομένα από το πρόσφατο ιστορικό στην περιοχή σχετικά με το φορτίο κίνησης και τη γενικότερη δικτυακή κατάσταση. Η οντότητα DSM (Dynamic Spectrum Management), η οποία διαχειρίζεται δυναμικά το φάσμα κάθε σταθμού βάσης σύμφωνα με τους κανόνες και τους περιορισμούς που τίθενται από τις επίσημες αρχές. Η οντότητα JRRM (Joint Radio Resource Management), η οποία βρίσκεται κατανεμημένη τόσο στην πλευρά του δικτύου όσο και των τερματικών και φροντίζει για την συνολική και ενοποιημένη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων σε όλο το ετερογενές δικτυακό περιβάλλον. Και τέλος η οντότητα RCM (Reconfiguration Control Module), η οποία είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή των εντολών για αναδιάρθρωση προς τη δικτυακή υποδομή ή τα τερματικά και η οποία γι' αυτό το λόγο είναι επίσης κατανεμημένη και στις δύο πλευρές αντίστοιχα. Η εν λόγω αρχιτεκτονική έχει το πλεονέκτημα ότι διευκολύνει την ενσωμάτωση γνωσιακών λειτουργιών στο σύστημα διαχείρισης, όμως η γνώση αξιοποιείται κυρίως στα πλαίσια της κάθε οντότητας και δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να τη διαμοιράζει μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων, επιτυγχάνοντας καλύτερα αποτελέσματα.

Η αρχιτεκτονική CASCADAS (Componentware for Autonomic Situation-Aware Communications And Dynamically Adaptable Services) [25][26] δημιουργήθηκε από μηδενική βάση εισάγωντας ένα γενικό παράδειγμα ανάπτυξης συστημάτων διαχείρισης με

αυτόνομες και γνωσιακές λειτουργίες. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε βασίζεται σε τρεις κύριους πυλώνες: την αντίληψη της κατάστασης (situation-awareness), την σημασιολογική αυτοοργάνωση (semantic self-organization) και την δυνατότητα αυτο-αναπαραγωγής παρόμοιων δομών σε διαφορετικές κλίμακες (self-similarity). Στα πλαίσια αυτής της αρχιτεκτονικής, εισάγεται η έννοια των στοιχείων αυτόνομης επικοινωνίας ACE (Autonomic Communication Element) τα οποία έχουν τη δική τους αυτόνομη συμπεριφορά σύμφωνα όμως με κάποιους προκαθορισμένους κανόνες και διαδικασίες. Αποτελούνται από πολλά μικρότερα μέρη τα οποία ονομάζονται όργανα, σε αντιστοιχία με τα όργανα του ανθρώπινου σώματος. Ορίζονται έξι βασικά είδη οργάνων: ο Facilitator, υπεύθυνος για την αντίληψη του περιεχομένου του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί το ACE, όπως επίσης και για την προσαρμογή στις εκάστοτε συνθήκες. Ο Executor, ο οποίος επιτρέπει την εξέλιξη του ACE εφαρμόζοντας τις αποφάσεις του Facilitator. Το Functionality Repository, το οποίο συγκεντρώνει τόσο τις κοινές σε όλα τα ACEs, όσο και τις ειδικές λειτουργίες ενός ACE που χρησιμοποιεί ο Executor. Ο Gateway, ο οποίος φροντίζει για την επικοινωνία του ACE με τον έξω κόσμο. Ο Manager, ο οποίος οργανώνει την εσωτερική επικοινωνία μεταξύ των οργάνων. Και τέλος το Supervision, το οποίο ευθύνεται για τη γενική εποπτεία του ACE και είναι σε θέση να ξεκινάει ενέργειες παρακολούθησης της κατάστασης σε διάφορα σημεία του ACE, δυναμικά οριζόμενα, ώστε να υποστηρίζει τις ενσωματωμένες λειτουργίες αυτοϊασης (self-healing). Η αρχιτεκτονική CASCADAS εκμεταλλεύεται σε πολύ μεγάλο βαθμό τις τεχνολογίες που σχετίζονται με τον διάχυτο υπολογισμό, αλλά και τα γνωσιακά συστήματα. Όμως εστιάζει κυρίως σε θέματα υποστήριξης γνώσης ακόμα και σε συσκευές περιορισμένων δυνατοτήτων, όπως αισθητήρες, ετικέτες RFID κτλ και έτσι υστερεί στην περίπτωση εφαρμογής της σε μεγάλα ετερογενή δικτυακά περιβάλλοντα.

Στην αρχιτεκτονική FOCAL (Foundation Observation Comparison Action Learn Reason) [27] μπορούν να ενταχθούν τόσο νέα συστήματα διαχείρισης, όσο και υπάρχοντα. Η βασική ιδέα είναι ότι συνυπάρχουν διάφορες δικτυακές οντότητες οι οποίες καθορίζουν μεν αυτόνομα τη συμπεριφορά τους, αλλά έχουν ως κοινό στόχο να ικανοποιήσουν κάποιους επιχειρηματικούς στόχους (business goals) που έχουν τεθεί, λαμβάνοντας υπόψη και τις ισχύουσες πολιτικές διαχείρισης. Για να καταστεί κάτι τέτοιο εφικτό, ορίζονται στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής FOCAL δύο βρόγχοι ελέγχου (control loops), ένας για την συντήρηση και ένας για την προσαρμογή του όλου συστήματος. Ο πρώτος χρησιμοποιείται όταν η γενική κατάσταση είναι ομαλή, ενώ ο δεύτερος όταν υπάρξει κάποιο πρόβλημα και χρειαστούν μια ή περισσότερες ενέργειες αναδιάρθρωσης για κάποια στοιχεία δικτύου. Οι κύριες λειτουργικές οντότητες είναι δύο: ο διαχειριστής AM (Autonomic Manager) και το στρώμα MBTL (Model Based Translation Layer). Κάθε δικτυακός πόρος συνδέεται μέσω του MBTL με έναν AM και έτσι προκύπτει μια οντότητα AME (Autonomic Management Element). Εσωτερικά ο AM αποτελείται από τον διαχειριστή γεγονότων, τον διαχειριστή κατάσταση, τον διαχειριστή ενεργειών, τη συνιστώσα μάθησης και τη συνιστώσα εξαγωγής συμπερασμάτων, καθώς και έναν διαχειριστή πολιτικών, ο οποίος κάνει την ανάλυση και φροντίζει για την εφαρμογή των πολιτικών. Ο συντονισμός όλων των λειτουργιών γίνεται με βάση κοινές πολιτικές και με τη χρήση ενός κοινού πληροφοριακού μοντέλου, του DEN-ng, και της αντίστοιχης οντολογίας. Το στρώμα MBTL λειτουργεί ως

ενδιάμεσο μεταξύ του συστήματος και του διαχειριζόμενου εξοπλισμού, μεταφράζοντας πληροφορίες και εντολές, από εξειδικευμένες ενός κατασκευαστή σε γενικές, εκπεφρασμένες σε όρους DEN-ng. Επιπλέον οι AMs μπορούν και επικοινωνούν ώστε να συντονίζουν τις ενέργειές τους με βάση τη γενικότερη κατάσταση στο δίκτυο και να διατηρούν εναρμονισμένες τις εκάστοτε ισχύουσες πολιτικές. Η αρχιτεκτονική FOCAL είναι μια κατ' εξοχήν περίπτωση γνωσιακού συστήματος διαχείρισης, αν και το κομμάτι που συνεχίζει να παραμένει στην ερευνητική επικαιρότητα είναι αυτό που σχετίζεται με το μοντέλο DEN-ng και την σχετική οντολογία.

1.6 Αντικείμενο της διατριβής

Η διδακτορική αυτή διατριβή πραγματεύεται τη μελέτη και ανάπτυξη ενός αρχιτεκτονικού πλαισίου διαχείρισης ετερογενών δικτύων και υπηρεσιών, το οποίο μπορεί να ενσωματώνει και να υποστηρίζει γνωσιακές (cognitive) λειτουργίες διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Ένα από τα βασικά ζητούμενα είναι η δυνατότητα δυναμικής ενσωμάτωσης νέων λειτουργιών διαχείρισης, παρέχοντάς τους διαδικασίες ανακάλυψης και αλληλεπίδρασης με άλλες υπάρχουσες λειτουργίες. Η αλληλεπίδραση, η οποία αφορά κυρίως στην αναζήτηση και λήψη δεδομένων εισόδου, όπως και στην αποστολή και μεταβίβαση των διαχειριστικών αποφάσεων, επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας κατάλληλης οντολογίας, η ανάπτυξη της οποίας είναι ένα ακόμα αντικείμενο της διατριβής. Επιπλέον στα πλαίσια της διατριβής επεκτείνεται η μελέτη και ανάπτυξη γνωσιακών λειτουργιών διαχείρισης και στην πλευρά των τερματικών, με την ενσωμάτωση κατάλληλων αλγόριθμων επιλογής τόσο της τεχνολογίας πρόσβασης και της αντίστοιχης διεπαφής, όσο και της ροής της υπηρεσίας του χρήστη που θα εξυπηρετηθεί από κάθε διεπαφή, με απώτερο στόχο τη διασφάλιση αλλά και την αναβάθμιση εάν είναι δυνατό της ποιότητας υπηρεσίας που λαμβάνεται.

1.7 Διάρθρωση της διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή ακολουθεί την δομή που αναφέρεται παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών που έχουν προταθεί από άλλους ερευνητές, εντοπίζονται τα πλεονεκτήματα αλλά και οι περιορισμοί που το καθένα επιβάλλει, ενώ δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εξέταση συστημάτων που επίσης ενσωματώνουν γνωσιακές λειτουργίες διαχείρισης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο προτείνεται ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τη γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών. Περιγράφονται οι βασικές οντότητες που το αποτελούν και προδιαγράφεται ο τρόπος επικοινωνίας τους και τα μηνύματα που ανταλλάσσουν με στόχο τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων βασισμένων και σε πρότερη γνώση. Το περιεχόμενο αυτών των μηνυμάτων αλλά και οι διαδικασίες μάθησης συνδέονται άμεσα με την οντολογία που προτείνεται στην διατριβή.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει την οντολογία που σχεδιάστηκε ώστε να καλύπτει τις ανάγκες κάθε συστήματος διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών, παρέχοντας γενικές κλάσεις μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί μια πιο αφηρημένη απεικόνιση της πληροφορίας,

κάτι που επιτρέπει τον ενοποιημένο χειρισμό της και την απόκρυψη ουσιαστικά της ετερογένειας που υπάρχει στα σημερινά δικτυακά περιβάλλοντα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η θεωρητική περιγραφή ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο οποίος είναι σε θέση να ανακατανέμει το φορτίο και τους διαθέσιμους πόρους ενός ασύρματου ετερογενούς δικτύου πέραν της τρίτης γενιάς, έτσι ώστε να ομαλοποιείται η κατάσταση στις περιοχές που ελέγχει και η παροχή των ζητούμενων υπηρεσιών να γίνεται με την επιθυμητή ποιότητα, ενώ παράλληλα να διασφαλίζεται ότι γίνονται σεβαστές οι διάφορες πολιτικές του πάροχου και οι συμφωνίες αυτού με τους χρήστες.

Αντικείμενο του πέμπτου κεφαλαίου είναι η ανάδειξη της καταλληλότητας αλλά και της αξίας, τόσο του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου, όσο και του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, μέσω του σχεδιασμού και της υλοποίησης μιας πλατφόρμας προσομοίωσης βασισμένης στην τεχνολογία των ευφύων κινητών πρακτόρων και πιο συγκεκριμένα στο μεσοσμικό (middleware) JADE και τις γλώσσες προγραμματισμού Java και C++, ενώ ορίστηκε και η οντολογία με τη βοήθεια του λογισμικού Protégé. Αναπτύχθηκε λογισμικό για όλες τις οντότητες και τις αντίστοιχες γνωσιακές λειτουργίες που εμπλέκονται σε ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων, ώστε να γίνει σωστή αξιολόγηση του αρχιτεκτονικού πλαισίου και του αλγορίθμου και να μπορούν να εξαχθούν μετρήσιμα και ασφαλή συμπεράσματα.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη και υλοποίηση ενός πρωτότυπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης σε τερματικό με δυνατότητες σύνδεσης σε πολλά διαφορετικά ασύρματα δίκτυα μέσω αντίστοιχου αριθμού διεπαφών. Ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής και δικτύου πρόσβασης λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του χρήστη, τις απαιτήσεις της υπηρεσίας αλλά και την τρέχουσα κατάσταση των διαθέσιμων δικτύων και βρίσκει τη βέλτιστη λύση με βάση και την πρότερη γνώση. Σχετικά πειραματικά αποτελέσματα είναι έτοιμα να αποσταλούν προς δημοσίευση σε έγκριτο επιστημονικό περιοδικό.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής και προτείνονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

Παραπομπές

- [1] IEEE 802.11 website, <http://www.ieee802.org/11/>
- [2] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) website, <http://www.3gpp.org/specs/specs.htm>
- [3] Digital Video Broadcasting website, <http://www.dvb.org>
- [4] Internet Engineering Task Force (IETF) website, <http://datatracker.ietf.org/wg/snmpv3/>
- [5] A. Galis et al, “Management architecture and systems for future internet networks”, in FIA Book “Towards the Future Internet - A European Research Perspective”, pages 112-122, Prague, May 2009. IOS Press. ISBN 978-1-60750-007-0
- [6] J. Rubio-Loyola et al, “A viewpoint of the network management paradigm for future internet networks” in Proc. 1st IFIP/IEEE International Workshop on Management of the Future Internet (ManFI 2009), June 2009
- [7] D. M. Chess, A. Segal, and I. Whalley, “Unity: Experiences with a prototype autonomic computing system,” in proc. of ICAC '04, First International Conference on Autonomic Computing, pp. 140–147, Washington, DC, USA, 2004
- [8] G. Tesauro, D. M. Chess, W. E. Walsh, R. Das, A. Segal, I. Whalley, J. O. Kephart, and S. R. White, “A multi-agent systems approach to autonomic computing,” in proc. of AAMAS '04, Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 464–471, Washington, DC, USA, 2004
- [9] EU IST FP6 Integrated Prokect ANA website, <http://www.ana-project.org>
- [10] M. Sifalakis, A. Louca, L. Peluso, A. Mauthe, and T. Zseby, “A functional composition framework for autonomic network architectures,” in proc. of 2nd IEEE International Workshop on Autonomic Communications and Network Management (IEEE NOMS/ACNM '08), April 2008
- [11] Ruay-Shiung Chang and Wei-Wen Chen, "Mobility assessment on-demand (MAOD) routing protocol for mobile ad hoc networks", IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM '02, November 2002
- [12] R. Farivar, M. Fazeli, S.G. Miremadi, "Directed Flooding: A Fault-Tolerant Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", Advanced Industrial Conference on Sensor Networks, Montreal, Canada, August 2005
- [13] J. Bardram, T. Hansen, “The AWARE Architecture: Supporting Context – Mediated Social Awareness in Mobile Cooperation”, proc. of 2004 ACM conf. on Computer Supported Cooperative Work, p. 199-201, ACM press, 2004
- [14] Jakob E. Bardram, “The Java Context Awareness Framework (JCAF) - A Service Infrastructure and Programming Framework for Context-Aware Applications”, proc. of the 3rd int. conf. on Pervasive Computing (Pervasive 2005), Lecture Notes in Computer Science, Munich, Germany, Springer Verlag, May 2005
- [15] Java Context-Awareness Framework website <http://www.daimi.au.dk/~bardram/jcaf/>
- [16] David Dahlem, Yury Bychkov, Luay Kawasme, Jens H. Jahnke, “Towards Context Oriented Web Services for Smart Personal Object Technologies (COWSPOTS)”,

-
- Workshop on Reference Architectures and Patterns for Pervasive Computing at OOPSLA 2003, Montreal, Canada, October 2003
- [17] J. Jahnke, Y. Bychkov, D. Dahlem and L. Kawasme, “Implicit, Context-Aware Computing for Health Care”, Workshop on Building Software for Pervasive Computing at OOPSLA 2004, Montreal, Canada, October 2004
 - [18] E. Kaasinen, T. Tuomisto, P. Valkkynen, “Ambient functionality – Use cases”, in proc. of joint sOc-EUSAI Smart Objects and Ambient Intelligence conference, Grenoble, France, 2005
 - [19] Spanoudakis N., Moraitis, P., “Agent Based Architecture in an Ambient Intelligence Context”, proc. of the 4th European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS'06), Lisbon, Portugal, 2006
 - [20] Foundation for Intelligent Physical Agents website, <http://www.fipa.org>
 - [21] OSGi alliance website, <http://www.osgi.org>
 - [22] N. Koutsouris, P. Demestichas, “An agent-based prototype environment for the efficient QoS management of cognitive heterogeneous wireless networks”, In Proc. 17th IST Mobile and Wireless Communications Summit 2008, Stockholm, Sweden, June 2008
 - [23] V. Stavroulaki, N. Koutsouris, K. Tsagkaris, P. Demestichas, “Virtualisation platform for the introduction of cognitive systems in the Future Internet”, In Proc. Future Networks and Mobile Summit 2010, Florence, Italy, June 2010
 - [24] A. Galani, K. Tsagkaris, N. Koutsouris, P. Demestichas, “Design and assessment of functional architecture for optimized spectrum and radio resource management in heterogeneous wireless networks”, International Journal of Network Management, vol. 20 issue 4, pp. 219-242, July 2010
 - [25] CASCADAS project website, <http://acetoolkit.sourceforge.net/cascadas/>
 - [26] Matthias Baumgarten, Nicola Biccocchi, Rico Kusber, Maurice Mulvenna, Franco Zambonelli "Self-organizing Knowledge Networks for Pervasive Situation-Aware Services" EEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Montreal, Canada, October 2007
 - [27] Nazim Agoulmine, “Autonomic Network Management Principles: From Concepts to Applications”, Academic Press, Elsevier, ISBN 978-0123821904, November 2010

Κεφάλαιο 2

Αρχιτεκτονικό πλαίσιο γνωσιακής
διαχείρισης δικτύων και
υπηρεσιών

2.1 Εισαγωγή

Η έννοια του παρόχου δικτυακών υπηρεσιών είναι σήμερα κοινή με αυτή του διαχειριστή του δικτύου σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Έτσι, η διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών είναι ουσιαστικά εσωτερική υπόθεση κάθε οργανισμού, κάτι που δρα ως τροχοπέδη για την αυτοματοποίηση και την προτυποποίηση των διαφόρων διαχειριστικών λειτουργιών που είναι απαραίτητες σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από το είδος των υπηρεσιών που παρέχονται ή των δικτύων μέσω των οποίων διανέμονται. Αυτό μεταφράζεται σε αυξημένο λειτουργικό και επενδυτικό κόστος για τους παρόχους, καθώς είτε αναγκάζονται να προτιμούν τον ίδιο προμηθευτή εξοπλισμού κάθε φορά, είτε να έχουν διαθέσιμο επιπλέον ανθρώπινο δυναμικό με εξειδίκευση στη διαχείριση κάποιου μέρους της υποδομής τους. Επίσης συνεπάγεται και μεγαλύτερο χρόνο μέχρι την υλοποίηση κάποιας απαιτούμενης αλλαγής ή την διάθεση μιας νέας υπηρεσίας ή την ενσωμάτωση μιας νέας τεχνολογίας κτλ. καθώς μεγάλο μέρος των ρυθμίσεων γίνεται χειροκίνητα, εμπλέκονται πολλοί άνθρωποι που πρέπει να συντονιστούν και υπάρχει και αυξημένη πιθανότητα να γίνει κάποιο λάθος. Η βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τον σχεδιασμό και την υιοθέτηση ενός ανοικτού αρχιτεκτονικού πλαισίου με σκοπό την ενοποιημένη, αυτοματοποιημένη και γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών, τα βασικά στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.2 Βασικά χαρακτηριστικά

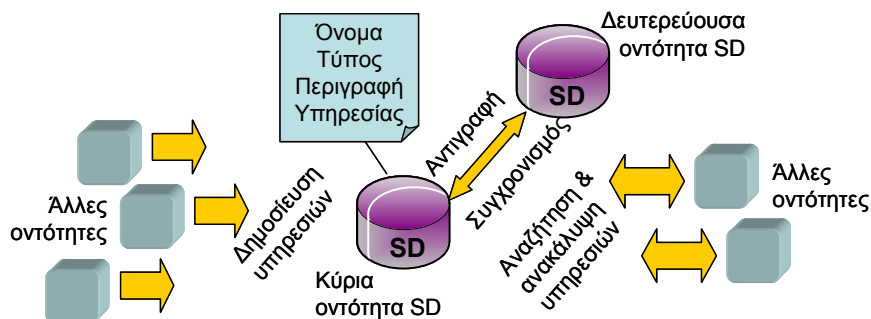
Σε κάθε αρχιτεκτονικό πλαίσιο υπάρχουν κάποιες δομικές λειτουργικές οντότητες με βάση τις οποίες μπορούν να υλοποιηθούν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες. Κατά την υλοποίηση μιας νέας λειτουργίας επαναχρησιμοποιούνται, επεκτείνονται ή και προσαρμόζονται οι δομικές οντότητες που χρειάζονται για την σύνθεση της νέας. Για να γίνει αυτό με επιτυχία, το αρχιτεκτονικό πλαίσιο ορίζει τις διεπαφές που παρέχει κάθε οντότητα προς τις υπόλοιπες καθώς και την πληροφορία που είναι διαθέσιμη μέσω αυτών των διεπαφών. Αυτή η προτυποποίηση διεπαφών και αλληλεπιδράσεων επιτρέπει την ανάμιξη και την επιλογή υπάρχουσων λειτουργιών για τη δημιουργία ενός μεγάλου εύρους νέων διαδικασιών και συστημάτων, διευκολύνοντας τον έλεγχο των λειτουργιών, τη σύνθεσή τους και την ολοκλήρωσή τους σε ένα σύστημα. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι οι λειτουργικές οντότητες που υπάρχουν σε ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο μπορούν να αποκρύβουν την πολυπλοκότητα που πιθανόν βρίσκεται πίσω από την διεπαφή που παρέχουν. Μπορούν έτσι να θεωρηθούν ως υπηρεσίες που προσφέρονται και οι οποίες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με ευελιξία σχηματίζοντας νέες υπηρεσίες, υπερνικώντας τα όποια προβλήματα ανακύπτουν λόγω της ετερογένειας των πολλών διαφορετικών τεχνολογιών που συνυπάρχουν σε ένα σύστημα. Η δε αντικατάσταση μιας υπηρεσίας με κάποια άλλη αντίστοιχη είναι διάφανη διαδικασία για τις υπηρεσίες που βασίζονται σε αυτή. Έτσι είναι εύκολη η ενσωμάτωση και αξιοποίηση νέων τεχνολογιών, αφού το ζητούμενο είναι να αναπτυχθεί η κατάλληλη οντότητα που να παρέχει την αντίστοιχη υπηρεσία σύμφωνα με τις επιταγές του αρχιτεκτονικού πλαισίου.

2.3 Βασικές λειτουργικές οντότητες

Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές λειτουργικές οντότητες ενός αρχιτεκτονικού πλαισίου που προτείνεται να υιοθετηθεί για την διαχείριση σύγχρονων αλλά και μελλοντικών δικτύων και υπηρεσιών. Αναφέρονται οι επί μέρους λειτουργίες τους και γίνεται επεξήγηση του ρόλου και της χρήσης τους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι καμία από τις οντότητες αυτές δεν είναι αποκλειστικά μοναδική σε ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο, και αυτό τόσο για λόγους αποκέντρωσης και κατανομής της διαχείρισης όσο και για την καλύτερη αξιοποίηση της πολυμορφίας τεχνολογιών και λύσεων.

2.3.1 Ευρετήριο υπηρεσιών

Μια από τις κομβικές οντότητες του πλαισίου είναι η οντότητα SD (Service Directory) στην οποία καταχωρούνται οι ποικίλες υπηρεσίες που παρέχονται από τις υπόλοιπες οντότητες. Η μορφή των καταχωρήσεων αυτών συνδέεται άμεσα με τον τρόπο αναζήτησης υπηρεσιών. Η οντότητα SD μπορεί να υποστηρίζει ακόμα και πολύ λεπτομερείς περιγραφές υπηρεσιών, ενώ επίσης αποθηκεύονται ξεχωριστά το όνομα και ο βασικός τύπος της υπηρεσίας, για γρήγορο φιλτράρισμα. Πολλές διαφορετικές καταχωρήσεις μπορούν να οδηγούν στην ίδια οντότητα, εφόσον προσφέρει πολλές υπηρεσίες. Ακόμα επιτρέπεται για λόγους ευελιξίας κατά την υλοποίηση να καταχωρείται η ίδια υπηρεσία με περισσότερους από έναν τρόπους, εφόσον μπορεί να αξιοποιηθεί σε τελείως διαφορετικές περιπτώσεις, οπότε και η αναζήτησή της γίνεται με τελείως διαφορετικούς όρους.



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας SD

Μια άλλη λειτουργία της οντότητας SD είναι ο συνεχής έλεγχος της κατάστασης των οντοτήτων που έχουν καταχωρήσει υπηρεσίες, έτσι ώστε να αποφεύγεται η επιστροφή λανθασμένων και ανακριβών αποτελεσμάτων. Εμπλουτίζοντας αυτή τη λειτουργία με ευφυΐα γίνεται δυνατή η ανακατεύθυνση σε περίπτωση προσωρινής ή οριστικής αδυναμίας παροχής κάποιας υπηρεσίας σε άλλη αντίστοιχη. Για παράδειγμα, αν η οντότητα που είναι υπεύθυνη για την βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων σε μια συγκεκριμένη περιοχή υποστεί βλάβη, οι οντότητες της περιοχής της που την χρειάζονται για την επίλυση ενός προβλήματος συμφόρησης, μπορούν να παραπεμφθούν από την οντότητα SD στην αντίστοιχη οντότητα βελτιστοποίησης που μπορεί να δώσει λύση αλλά με άλλη μέθοδο από αυτή που ζητήθηκε ή ανήκει σε κάποια άλλη περιοχή κ.α.

Η διασφάλιση της διαθεσιμότητας της ίδιας της υπηρεσίας ευρετηρίου μπορεί να επιτευχθεί με την δημιουργία δευτερευόντων ευρετηρίων που περιέχουν αντίγραφα των πληροφοριών της κύριας οντότητας SD. Αυτό προϋποθέτει εκτός από την ύπαρξη ενός μηχανισμού για τον συγχρονισμό των σχετιζόμενων οντοτήτων SD, και έναν μηχανισμό μέσω του οποίου οι υπόλοιπες οντότητες θα μπορούν να ενημερώνονται για αυτά τα δευτερεύοντα ευρετήρια. Την κύρια οντότητα SD την γνωρίζουν εκ των προτέρων, με βάση κανόνες που εξαρτώνται από την υλοποίηση, γεγονός που φανερώνει το ότι η οντότητα SD είναι το σημείο αναφοράς του συστήματος, μέσω του οποίου ξεκινάει η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων. Ο ρόλος της οντότητας SD απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 2.

2.3.2 Επικοινωνία ανθρώπου – δικτύου

Καθώς το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο απευθύνεται πρωτίστως σε παρόχους και διαχειριστές δικτύου, μια πρωταρχική οντότητα που πρέπει να οριστεί είναι αυτή που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του ανθρώπινου δυναμικού και των διαχειριζόμενων υποδομών και υπηρεσιών. Ουσιαστικά πρόκειται για μια πολύ ισχυρή γραφική διεπαφή H2N (Human-to-Network) μέσω της οποίας μπορεί να γίνει ο πλήρης και λεπτομερής καθορισμός των γεωγραφικών περιοχών που καλύπτονται, των διαφόρων χρονικών διαστημάτων αναφοράς, των υπηρεσιών που παρέχονται και των αντίστοιχων επιπέδων ποιότητας στα οποία προσφέρονται, των κλάσεων στις οποίες ανήκουν οι χρήστες ανάλογα με το συμβόλαιό τους, των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε κλάσης όπως η κινητικότητα, των περιορισμών και των σχέσεων μεταξύ κλάσεων χρηστών και υπηρεσιών. Επίσης μέσω της οντότητας H2N καταχωρούνται οι γενικές πολιτικές του δικτύου και οι επιθυμητοί στόχοι όσον αφορά στον εξυπηρετούμενο όγκο κίνησης, την κατανομή του φορτίου στις διαθέσιμες υποδομές, την κατανάλωση ενέργειας ανά περίπτωση ή συνολικά κ.α. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όλες οι ενέργειες και οι πληροφορίες που σχετίζονται με την διεπαφή H2N είναι απαλλαγμένες από τεχνικές λεπτομέρειες, αφού η υλοποίηση των πάσης φύσεως διαχειριστικών εντολών και ενημερώσεων είναι δουλειά του συστήματος και όχι κάποιου ανθρώπου. Έτσι ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να εστιάσει στα θέματα που είναι αποκλειστικά δική του ευθύνη όπως η δημιουργία της ευέλικτης και έξυπνης επιχειρηματικής λογικής που θα ωθήσει την αξιοποίηση του δικτύου και των προσφερόμενων υπηρεσιών. Για να καταστεί εφικτή αυτή η απεμπλοκή του ανθρώπου από τις χρονοβόρες και αντιπαραγωγικές διαδικασίες χειροκίνητης ρύθμισης του υλικού της δικτυακής υποδομής σύμφωνα με τις επιθυμίες και τις αποφάσεις του διαχειριστή, απαιτείται συνεργασία με μια σειρά από άλλες οντότητες, με δυνατότητες αντίληψης του περιεχομένου ενός αιτήματος, αυτόνομης λήψης αποφάσεων και αυτόματης μάθησης, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τις λειτουργίες της οντότητας H2N που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Πίνακας 1: Λειτουργίες οντότητας H2N

Λειτουργίες οντότητας H2N		
Ορισμός:	Συσχέτιση:	Καταχώρηση:

<ul style="list-style-type: none"> • Γεωγραφικών περιοχών που καλύπτονται • Παρεχόμενων υπηρεσιών • Διαθέσιμων επιπέδων ποιότητας κάθε υπηρεσίας • Κλάσεων χρηστών • Ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε κλάσης • Χρονικών διαστημάτων αναφοράς 	<ul style="list-style-type: none"> • Κλάσεων χρηστών, υπηρεσιών, επιπέδων ποιότητας, γεωγραφικών περιοχών, χρονικών διαστημάτων. Επιτρεπόμενοι και μη συνδυασμοί. 	<ul style="list-style-type: none"> • Γενικών πολιτικών δικτύου • Επιθυμητών στόχων <ul style="list-style-type: none"> ○ Όγκος κίνησης προς εξυπηρέτηση ○ Κατανομή φορτίου στις διαθέσιμες υποδομές ○ Κατανάλωση ενέργειας ○ ...
---	--	--

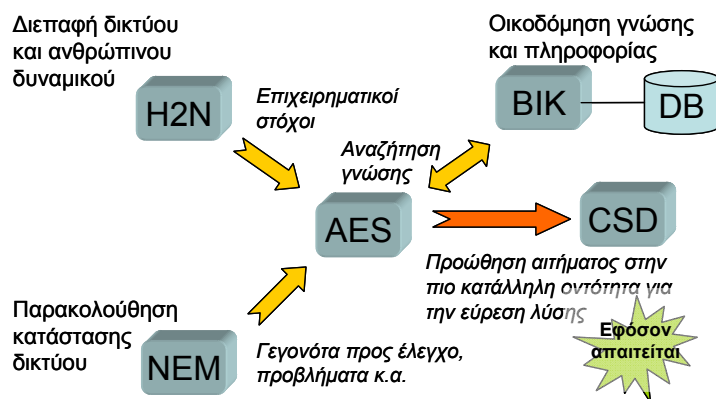
2.3.3 Ανάλυση και εκτίμηση κατάστασης

Η οντότητα AES (Analysis and Estimation of Situation) αναλαμβάνει να αναλύσει ένα αίτημα ή μια ειδοποίηση που φθάνει σχετικά με τα διαχειριζόμενα δίκτυα και τις υπηρεσίες και να φροντίσει για το ποιο θα είναι το επόμενο βήμα, εφόσον χρειάζεται να κινηθεί κάποια διαδικασία. Η απόφαση αυτή βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στις λειτουργίες μάθησης και αναζήτησης γνώσης στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων, κάτι που μπορεί να γίνει και σε συνεργασία με την οντότητα που είναι υπεύθυνη για την οικοδόμηση γνώσης και πληροφορίας και η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 2.3.8.

Οι ειδοποιήσεις έρχονται κατά κανόνα από το σύστημα και αφορούν διάφορα γεγονότα που μπορεί να χρήζουν προσοχής, όπως η αύξηση του φορτίου σε κάποιο κομμάτι του δικτύου πάνω από κάποιο κατώφλι που έχει οριστεί, η υποβάθμιση της ποιότητας κάποιας υπηρεσίας πέρα από τα καθορισμένα όρια που έχουν τεθεί κ.α. Καθώς ο αριθμός τέτοιων ειδοποιήσεων είναι τεράστιος, ο ρόλος αυτής της οντότητας είναι καίριος. Πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσει σωστά την κατάσταση και να αποφασίσει αν για παράδειγμα μια σημαντική αύξηση του φορτίου θα είναι παροδική οπότε δεν χρειάζεται αντίδραση ή αν αντίθετα μια φαινομενικά μικρή αύξηση σύντομα θα καταστεί εντονότερη και θα οδηγήσει σε συμφόρηση οπότε πρέπει εκ των προτέρων να ληφθούν μέτρα. Στην απάντηση αυτών και άλλων αντίστοιχων ερωτημάτων είναι φανερό ότι μπορεί να συνεισφέρει τα μέγιστα η αξιοποίηση της πρότερης γνώσης και εμπειρίας του συστήματος διαχείρισης.

Από την άλλη τα αιτήματα συνήθως δημιουργούνται με ανθρώπινη παρέμβαση και προέρχονται από την οντότητα επικοινωνίας ανθρώπου – δικτύου που περιγράφηκε παραπάνω. Κάθε νέα πολιτική ή στόχος που καταχωρείται μέσω της διεπαφής H2N παραλαμβάνεται από την οντότητα AES και αναλύεται, δηλαδή κατ' ουσία μεταφράζεται σε όρους πιο κατανοητούς από το σύστημα, ώστε και πάλι να εκτιμηθεί κατά πόσο είναι απαραίτητο να ξεκινήσει κάποια διαδικασία προσαρμογής που θα διασφαλίσει την ομαλή λειτουργία των δικτύων και την απρόσκοπτη παροχή των υπηρεσιών. Για παράδειγμα ο στόχος να εξυπηρετηθούν χωρίς πρόβλημα σε μια περιοχή τριάντα επιπλέον χρήστες υπηρεσιών βίντεο και δεδομένων της πιο απαιτητικής κλάσης χρηστών λόγω της διοργάνωσης μιας ημερίδας σε ένα ξενοδοχείο, μετασχηματίζεται σε ένα αίτημα προς

προώθηση στο σύστημα, που περιέχει μια εκτίμηση για το επιπλέον εύρος ζώνης που θα απαιτηθεί καθώς και απαιτήσεις σχετικές με διάφορες άλλες τεχνικές παραμέτρους όπως η καθυστέρηση ή η διέλευση και όχι απλά τον αριθμό των χρηστών. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη γνώση που έχει αποκομίσει το σύστημα από αντίστοιχες περιπτώσεις.



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας AES

Για κάθε αίτημα ή ειδοποίηση για το οποίο χρειάζονται περαιτέρω ενέργειες, η οντότητα AES αναζητά και επιλέγει την οντότητα εύρεσης υποψήφιων λύσεων που μπορεί να διευθετήσει το θέμα με τον πιο κατάλληλο τρόπο. Οι αλληλεπιδράσεις της οντότητας AES με την οντότητα H2N, αλλά και με άλλες που περιγράφονται στις επόμενες υποενότητες, φαίνεται και στην Εικόνα 3. Ο ρόλος της οντότητας εύρεσης υποψήφιων λύσεων, αλλά και η βάση στην οποία γίνεται η επιλογή της, περιγράφονται στη συνέχεια.

2.3.4 Εύρεση υποψήφιων λύσεων

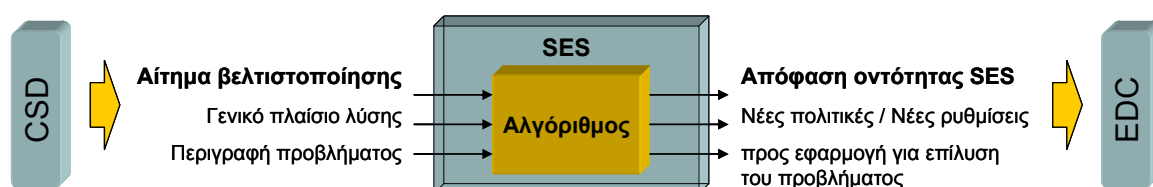
Η λύση στο ίδιο πρόβλημα μπορεί να προκύψει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ιδιαίτερα στον χώρο των δικτύων και των υπηρεσιών, όπου γίνεται εντατική έρευνα και συνεπώς υπάρχουν πολλές καλές προτάσεις και ιδέες. Για παράδειγμα όταν βρεθούν στην ίδια περιοχή πολλοί χρήστες βίντεο αυξημένων απαιτήσεων με αποτέλεσμα να δημιουργούν ένα πρόβλημα συμφόρησης, η λύση μπορεί να προέλθει τόσο από την αλλαγή της κωδικοποίησης του βίντεο χωρίς την ουσιαστική υποβάθμιση της ποιότητάς του, όσο και από την ανακατανομή των χρηστών αυτών στους διαθέσιμους σταθμούς βάσης όλων των τεχνολογιών που υπάρχουν στην περιοχή. Οι δύο αυτές λύσεις του παραδείγματος παρέχονται ως υπηρεσίες πιθανόν από διαφορετικές οντότητες CSD (Candidate Solution Discovery) και η επιλογή μιας γίνεται από την οντότητα AES ανάλογα με την περίπτωση του προβλήματος και τις τρέχουσες συνθήκες στο δίκτυο. Π.χ. αν γενικά υπάρχει αυξημένο φορτίο στην περιοχή λόγω κάποιου μεγάλου γεγονότος όπως ένας ποδοσφαιρικός αγώνας, θα προτιμηθεί η λύση αλλαγής κωδικοποίησης. Κάθε οντότητα CSD λοιπόν δημοσιεύει στο ευρετήριο υπηρεσιών το είδος των προβλημάτων στα οποία μπορεί να βρει λύσεις αλλά και τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά και εφόσον κληθεί να αντιμετωπίσει κάποια κατάσταση, υπολογίζει συγκεκριμένα και με βάση τις μεθοδολογίες που διαθέτει τις υποψήφιες λύσεις.

Και σε αυτή τη φάση η ενσωμάτωση από την οντότητα CSD γνωσιακών λειτουργιών παίζει πρωτεύοντα ρόλο, καθώς είναι δυνατόν κάποιες λύσεις που προκρίνονται ως βέλτιστες από την μεθοδολογία υπολογισμού, να αποκλείονται εκ των υστέρων εφόσον στην πράξη έχουν αποδειχθεί αναποτελεσματικές. Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός αλγόριθμου ανακατανομής της κίνησης μιας περιοχής υπό συμφόρηση στους διαθέσιμους σταθμούς βάσης, κάποιιοι από τους σταθμούς που έχουν χαμηλό φορτίο και άρα θα μπορούσαν να υποδεχθούν επιπλέον χρήστες μπορεί να μην ληφθούν υπόψη, εφόσον είναι γνωστό ότι σύντομα ξεκινάει μια περίοδος αιχμής για αυτούς, ενώ αντίθετα κάποιιοι φορτωμένοι μπορεί να συμπεριληφθούν επειδή τα στοιχεία δείχνουν ότι μέχρι να εφαρμοστεί η όποια λύση, το φορτίο τους θα είναι χαμηλό.

Μετά την εύρεση των υποψήφιων λύσεων, η οντότητα CSD προκρίνει την καταλληλότερη από αυτές και επικοινωνεί με μια συνεργαζόμενη οντότητα που θα αναλάβει την εξειδίκευσή της, όπως περιγράφεται ακολούθως.

2.3.5 Επιλογή και εξειδίκευση λύσης

Ο πυρήνας της οντότητας SES (Selection and Elaboration of Solution) είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος συγκεκριμενοποιεί και καθορίζει λεπτομερώς όλες τις πτυχές της λύσης. Από την ευρεία γκάμα μαθηματικών προσεγγίσεων και μεθόδων προκύπτουν πολλαπλάσιοι αλγόριθμοι (π.χ. εξαντλητικοί, άπληστοι, γενετικοί, ευριστικοί) και συνεπώς είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν περισσότερες από μία οντότητες SES σε ένα σύστημα και να επιλέγονται από την οντότητα CSD ανάλογα με την φύση του προβλήματος αλλά και την εμπειρία από τα αποτελέσματά τους.

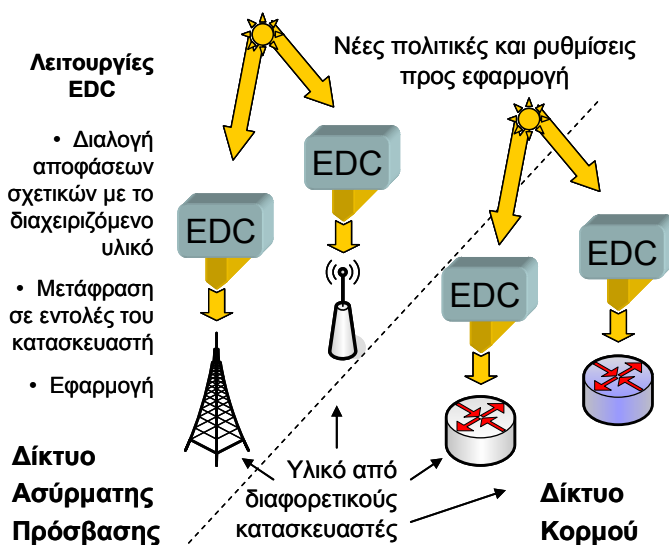


Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας SES

Όπως απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 4, ο αλγόριθμος παίρνει ως είσοδο το γενικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η λύση καθώς και την περιγραφή του προβλήματος προς επίλυση όπως αυτή έχει διαμορφωθεί από όλες τις οντότητες που έχουν επεξεργαστεί το αντίστοιχο αίτημα μέχρι αυτή τη φάση και παρέχει ως έξοδο ένα σύνολο πολιτικών και ρυθμίσεων που θα πρέπει να εφαρμόσουν τα εμπλεκόμενα στοιχεία δικτύου κατά την παροχή των υπηρεσιών. Στην απόφαση υπάρχουν ενσωματωμένες συνθήκες που καθορίζουν το πεδίο εφαρμογής για κάθε κομμάτι της, δίνοντας την ευχέρεια να υπάρχει διαφοροποίηση ανάλογα με τις ανάγκες και τις δυνατότητες αλλά και ακρίβεια στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Η υλοποίηση της απόφασης είναι ευθύνη των οντοτήτων εφαρμογής αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων, ο ρόλος των οποίων περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα.

2.3.6 Εφαρμογή αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων

Η ανάπτυξη της υποδομής ενός παρόχου και διαχειριστή δικτύου γίνεται σε στάδια και σε σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, συνεχίζει δε να εξελίσσεται συνεχώς καθώς εισάγονται νέες τεχνολογίες, χρειάζονται αναβαθμίσεις ή και αντικαταστάσεις εξοπλισμού, γίνονται αλλαγές στην τοπολογία και τη χωρητικότητα του δικτύου ακόμα και αναγκαστικά (π.χ. μετακίνηση κάποιου σταθμού βάσης λόγω νομοθεσίας ή αντιδράσεων). Αυτή η μεταβλητότητα και ποικιλομορφία καθιστά την διαχείριση χειροκίνητα από ανθρώπους εξαιρετικά δυσχερή. Σε μια τέτοια περίπτωση η οντότητα SES θα έπρεπε να παράγει μόνο απλές αποφάσεις που να οδηγούν σε περιορισμένες αλλαγές, αλλιώς ο χρόνος για την πληκτρολόγηση και μόνο των απαραίτητων εντολών για κάθε διαφορετικό στοιχείο δικτύου θα ήταν απαγορευτικός ή χωρίς ιδιαίτερο νόημα για έκτακτες και παροδικές καταστάσεις. Η ύπαρξη της οντότητας EDC (Enforcement of Decisions and Configurations) επιτρέπει την αυτοματοποιημένη διαχείριση του δικτυακού εξοπλισμού.

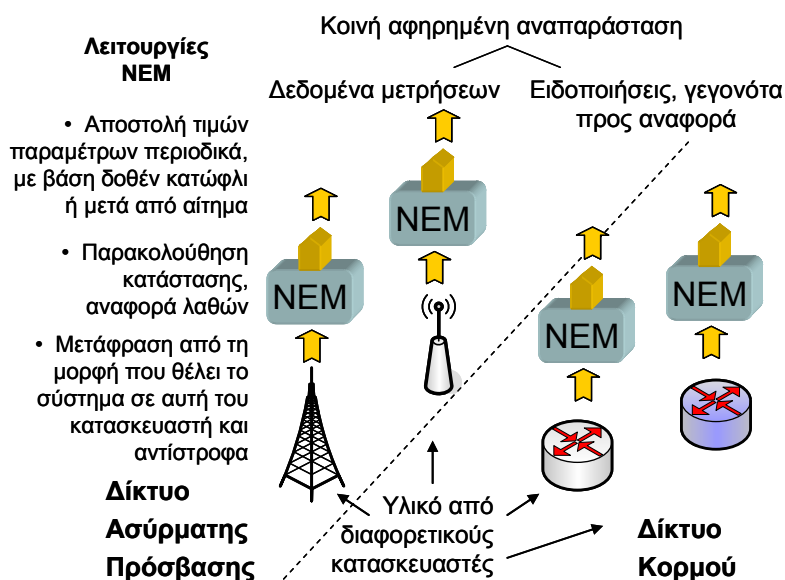


Εικόνα 5: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας EDC

Κάθε οντότητα EDC σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο τύπο στοιχείου δικτύου, τόσο από άποψη υλικού, όσο και λογισμικού. Πιθανόν δε να διαχειρίζεται μόνο ένα τέτοιο στοιχείο, ειδικά εάν βρίσκεται ενσωματωμένη σε αυτό. Ένας τέτοιος βαθμός ολοκλήρωσης πάντως δεν είναι απαραίτητος, όπως θα αναλυθεί και σε επόμενη ενότητα, σχετική με τον τρόπο σύνδεσης υπάρχοντων και ενσωμάτωσης νέων λειτουργιών και στοιχείων σε ένα σύστημα που υλοποιεί το προτεινόμενο πλαίσιο. Ο ρόλος της οντότητας EDC, ο οποίος απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 5, είναι να παραλαμβάνει την απόφαση μιας οντότητας SES, να διακρίνει ποιες από τις πολιτικές και ρυθμίσεις που περιλαμβάνονται αφορούν στο στοιχείο που διαχειρίζεται και να τις μεταφράζει στη γλώσσα με την οποία γίνεται η αλληλεπίδραση με το στοιχείο αυτό. Ενεργεί δηλαδή σαν οδηγός μεταξύ του συστήματος και του εκάστοτε στοιχείου. Έτσι το σύστημα μπορεί να διαχειρίζεται με ομοιόμορφο τρόπο όλη τη δικτυακή υποδομή και είναι θέμα του κάθε κατασκευαστή υλικού να φροντίσει για την ανάπτυξη της αντίστοιχης οντότητας EDC, είτε απευθείας, είτε παρέχοντας την απαραίτητη τεχνογνωσία, δηλαδή τις κατάλληλες προγραμματιστικές διεπαφές, σε ενδιαφερόμενους τρίτους.

2.3.7 Παρακολούθηση κατάστασης

Η αντίστροφη μετάφραση από αυτή που εκτελεί η οντότητα EDC που περιγράφηκε παραπάνω, είναι επίσης αναγκαία. Το σύστημα πρέπει να μπορεί να ενημερώνεται από τα στοιχεία για την κατάσταση στο δίκτυο, αλλά και αυτό πρέπει να γίνεται με ομοιόμορφο τρόπο, ώστε να διευκολύνεται τόσο η ενσωμάτωση τους στο σύστημα, όσο και η διαχείρισή τους μέσω αυτού. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, αυτή είναι και η κύρια λειτουργία της οντότητας NEM (Network Element Monitoring) η οποία είναι επίσης σε θέση να δέχεται εντολές από οντότητες όπως η AES σχετικά με τις περιπτώσεις όπου χρήζουν ανάλυσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαμόρφωσης κατωφλιών για τις διάφορες παραμέτρους που υποστηρίζονται από το στοιχείο και που περιγράφονται στο προφίλ του, κάτι που βέβαια γίνεται από την οντότητα NEM, και όχι απευθείας από το σύστημα, το οποίο δεν χρειάζεται και δεν είναι θεμιτό να γνωρίζει κατασκευαστικές ουσιαστικά λεπτομέρειες του εκάστοτε στοιχείου.



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση του ρόλου της οντότητας NEM

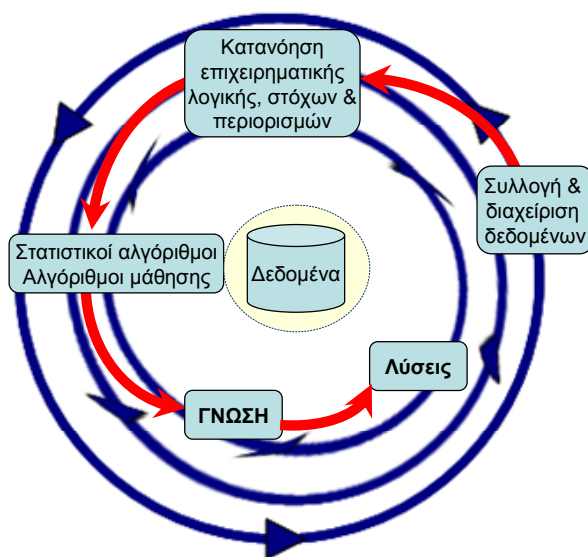
Σημαντική είναι επίσης η αλληλεπίδραση της οντότητας NEM με τις οντότητες οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας, ο ρόλος των οποίων περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα. Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανό να ζητηθεί από την οντότητα NEM η περιοδική αποστολή δεδομένων για την κατάσταση στο δίκτυο, πάντα στην αφηρημένη (abstracted) μορφή που απαιτεί το σύστημα και της οποίας οι βασικές έννοιες παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι η οντότητα NEM ενημερώνει τις ενδιαφερόμενες οντότητες και γενικότερα για την κατάσταση του στοιχείου, όπως για την ομαλή λειτουργία του ή την εμφάνιση κάποιας βλάβης, επιτρέποντας την άμεση, αυτόματη και κατά κύριο λόγο αυτόνομη προσαρμογή των υποδομών στη νέα κατάσταση και κατ' επέκταση την διασφάλιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσα από την βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

2.3.8 Οικοδόμηση γνώσης και πληροφορίας

Μια πρόκληση που οι διαχειριστές δικτύου έχουν πλέον συνειδητοποιήσει ότι χρειάζεται επειγόντως αντιμετώπιση, είναι η αξιοποίηση των τεράστιων όγκων δεδομένων που συγκεντρώνουν καθημερινά από το δίκτυό τους. Έχουν αντιληφθεί την επιτακτική ανάγκη να έχουν τη δυνατότητα να κατανοούν την εικόνα που παρουσιάζει κάθε φορά το δίκτυό τους και να μπορούν να προβλέψουν με βάση αυτή το πώς θα συμπεριφερθεί το δίκτυο στη συνέχεια. Μόνο έτσι θα καταφέρουν στόχους όπως η λειτουργία και η διαχείριση του δικτύου με ελάχιστες παρεμβάσεις από το ανθρώπινο δυναμικό, αλλά και η παροχή των υπηρεσιών με την ποιότητα που απαιτούν οι χρήστες και οι εφαρμογές.

Η οντότητα BIK (Building of Information and Knowledge) φροντίζει για την συλλογή, διαλογή και οργάνωση των δεδομένων που έρχονται μαζικά από το δίκτυο έτσι ώστε να τα μετασχηματίσει σε πληροφορία και να τα μετουσιώσει σε γνώση, απολύτως απαραίτητη για την ενεργοποίηση των διαδικασιών ελέγχου και την λήψη διαχειριστικών αποφάσεων. Είναι συνεπώς σε θέση να χειριστεί ερωτήματα άλλων οντοτήτων, τα οποία έχουν απλά ίσως ζητούμενα, απαιτούν όμως σημαντική προεργασία για να απαντηθούν. Για παράδειγμα το ερώτημα αν ένας σταθμός βάσης θα έχει διαθέσιμη χωρητικότητα για το αμέσως επόμενο διάστημα είναι απλό στη διατύπωση, αλλά για να απαντηθεί με ικανοποιητική βεβαιότητα χρειάζεται η ανάλυση και συσχέτιση των τιμών πολλών διαφορετικών παραμέτρων.



Εικόνα 7: Μετασχηματισμός δεδομένων σε γνώση

Επίσης η οντότητα BIK μπορεί να αναλάβει και την αποθήκευση και μετέπειτα αξιοποίηση έτοιμης πληροφορίας όπως για παράδειγμα την απόφαση ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης. Συσχετίζοντας μια τέτοια απόφαση με τον αντίκτυπο που είχε στην κατάσταση του δικτύου, μπορεί να κάνει μια αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου υπό συγκεκριμένες συνθήκες, κάτι για το οποίο κάλλιστα μπορεί να ερωτηθεί από άλλη ενδιαφερόμενη οντότητα. Γι' αυτό και είναι θεμιτό οι διαχειριστικές αποφάσεις οντοτήτων όπως οι AES, CSD, SES κ.α. να μην αποθηκεύονται τοπικά σε αυτές, αλλά να

προωθούνται σε κάποια οντότητα BIK ώστε να είναι γενικότερα διαθέσιμες και προσβάσιμες.

2.3.9 Εξομοιωτής δικτύου

Μια άλλη τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο εναλλακτικά όσο και συμπληρωματικά με τις λειτουργίες της οντότητας οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας είναι η εξομοίωση του δικτύου με σκοπό την μελέτη της συμπεριφοράς του και την δοκιμή των διαχειριστικών αποφάσεων πριν αυτές διανεμηθούν στο πραγματικό δίκτυο. Αυτός είναι ο ρόλος της οντότητας SIM (network SIMulator) η οποία πρέπει να περιέχει ένα απλοποιημένο μεν, προσαρμοσμένο κατάλληλα δε, μοντέλο του δικτύου, το οποίο ιδεατά να είναι τόσο πιστό σε σχέση με το πραγματικό ώστε να παρουσιάζει τις ίδιες ακριβώς αντιδράσεις κατά την εφαρμογή νέων πολιτικών και ρυθμίσεων. Έτσι μπορεί να ελεγχθεί και να βελτιωθεί περαιτέρω μια απόφαση εφόσον απαιτείται, προκειμένου οι επιδράσεις της στην παροχή των υπηρεσιών και την χρήση των δικτυακών πόρων να είναι πραγματικά θετικές.

Ο εξομοιωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή γνώσης εκ των προτέρων σχετικά με καταστάσεις που δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα στο δίκτυο. Έτσι το σύστημα μπορεί να εκπαιδευτεί και να είναι σε θέση να αντιδράσει γρηγορότερα ή ακόμα και να προβλέψει προβληματικές καταστάσεις χωρίς να έχει στην πραγματικότητα αντιμετωπίσει ξανά κάτι αντίστοιχο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση χρήσης του εξομοιωτή, πρέπει να φορτωθεί σε αυτόν μια αρχική κατάσταση, η οποία μπορεί να είναι είτε η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου (ή κάποιου μέρους αυτού), είτε μια υποθετική άλλη που θεωρείται πιθανό να εμφανιστεί και έχει ενδιαφέρον να μελετηθεί.

Η υλοποίηση της οντότητας SIM θα μπορούσε να γίνει και καταναμημένα σε ένα σύνολο μηχανημάτων με τη μορφή ενός λεγόμενου υπολογιστικού νέφους. Κάτι τέτοιο είναι πιθανόν αφενός μεν να επιτρέψει την επίτευξη πιστότερης εξομοίωσης του δικτύου, αφετέρου δε να μειώσει το απαιτούμενο κόστος, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί υλικό χαμηλού κόστους. Λειτουργικά βέβαια το σύστημα διαχείρισης, θα συνέχιζε να βλέπει μια οντότητα, την SIM, και τις υπηρεσίες εξομοίωσης που παρέχει.

2.3.10 Διαχείριση και παραγωγή πολιτικών

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, υπάρχουν αρκετές φάσεις στη διαχείριση των δικτύων και των υπηρεσιών κατά τις οποίες παράγονται διάφορες πολιτικές που πρέπει να εφαρμοστούν. Το επίπεδο εφαρμογής τους, δηλαδή οι οντότητες ή τα στοιχεία δικτύου στα οποία απευθύνονται, μπορεί να διαφέρει, είναι όμως απόλυτα σημαντικό για την εύρυθμη λειτουργία των υποδομών και των προσφερόμενων υπηρεσιών να υπάρχει συνοχή και συνέπεια μεταξύ όλων των πολιτικών που πρέπει να συνυπάρξουν. Αλληλοαναιρούμενες ή ελλιπώς ορισμένες πολιτικές μπορεί να οδηγήσουν το σύστημα σε αστάθεια και σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Για αυτό το λόγο υπάρχει η οντότητα PDM (Policy Derivation and Management) η οποία ελέγχει και φροντίζει την εναρμόνιση των πολιτικών του συστήματος. Αυτό το πετυχαίνει ακολουθώντας συγκεκριμένους κανόνες και περιορισμούς

και έχοντας αντίληψη των αντικειμενικών στόχων κάθε πολιτικής. Φυσικά το έργο της οντότητας αυτής χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα και υψηλές απαιτήσεις σε ευφυΐα.

2.3.11 Διαχείριση προφίλ και προτύπων

Η ετερογένεια των τεχνολογιών και η ποικιλομορφία που παρουσιάζει τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό που καλείται να διαχειριστεί το σύστημα, επιβάλλουν την ύπαρξη κάποιων προτύπων με βάση τα οποία να μπορεί να γίνει οργάνωση και ταξινόμηση όλων των σχετικών συνιστωσών, από τους χρήστες και τα τερματικά τους, μέχρι τους σταθμούς βάσης και τα υπόλοιπα στοιχεία της δικτυακής υποδομής και από τις προσφερόμενες υπηρεσίες και εφαρμογές, μέχρι τα χρονικά διαστήματα και τις γεωγραφικές περιοχές παροχής υπηρεσιών. Τα πρότυπα χρειάζονται για να διασφαλίζεται η κοινή αντίληψη όλων των οντοτήτων για αυτά που διαχειρίζονται, έτσι ώστε να μην προκύπτουν σφάλματα από αναντιστοιχίες. Στην ουσία βέβαια οι οντότητες χρειάζονται και επεξεργάζονται προφίλ, που είναι η επέκταση, εξειδίκευση και συγκεκριμενοποίηση προτύπων.

Η διαχείριση των προτύπων, αλλά και των αντίστοιχων προφίλ, είναι ευθύνη της οντότητας PMM (Profiles and Models Management), η οποία είναι σε θέση να καταχωρεί, να ενημερώνει και να διαγράφει πρότυπα και προφίλ σύμφωνα με τα αιτήματα των σχετικών οντοτήτων, όπως και να ελέγχει την ορθότητα και την συνάφειά τους. Τα προφίλ και τα πρότυπα περιλαμβάνουν πληροφορία κατά κύριο λόγο στατική, όπως η θέση και η τεχνολογία εκπομπής ενός σταθμού βάσης ή σχεδόν στατική, όπως τα επίπεδα ποιότητας στα οποία μπορεί να προσφέρεται μια υπηρεσία. Το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο ορίζει κάποια βασικά πρότυπα, τα οποία παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο που σχετίζεται με την πληροφορία που ανταλλάσσεται μεταξύ των οντοτήτων που περιγράφηκαν στην ενότητα αυτή.

2.4 Επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, οι λειτουργίες κάθε οντότητας είναι διαθέσιμες στις υπόλοιπες, ως υπηρεσίες, τις οποίες μπορούν να ανακαλύψουν με τη βοήθεια του ευρετηρίου υπηρεσιών που διαθέτει η οντότητα SD. Αφού μια οντότητα εντοπίσει την υπηρεσία που χρειάζεται και αποκτήσει ένα σημείο αναφοράς της οντότητας που την προσφέρει, πρέπει να επικοινωνήσει με αυτή την οντότητα για να χρησιμοποιήσει την εν λόγω υπηρεσία. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω μιας αντίστοιχης διεπαφής, η οποία έχει γενική μορφή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε οντότητα και για κάθε υπηρεσία. Μια τέτοια γενική διεπαφή μπορεί να υλοποιηθεί με πολλούς τρόπους, όμως σε κάθε περίπτωση για να επιτευχθεί ο στόχος της επικοινωνίας, το αρχιτεκτονικό πλαίσιο πρέπει να καθορίζει τουλάχιστον κάποιους κανόνες ανταλλαγής μηνυμάτων, καθώς και κάποια πρότυπα για τη δομή τους και το περιεχόμενό τους. Ουσιαστικά απαιτείται ένα κοινό πληροφοριακό μοντέλο (common information model) με βάση το οποίο οι διάφορες οντότητες θα μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικές με τη διαχείριση των δικτύων και των υπηρεσιών.

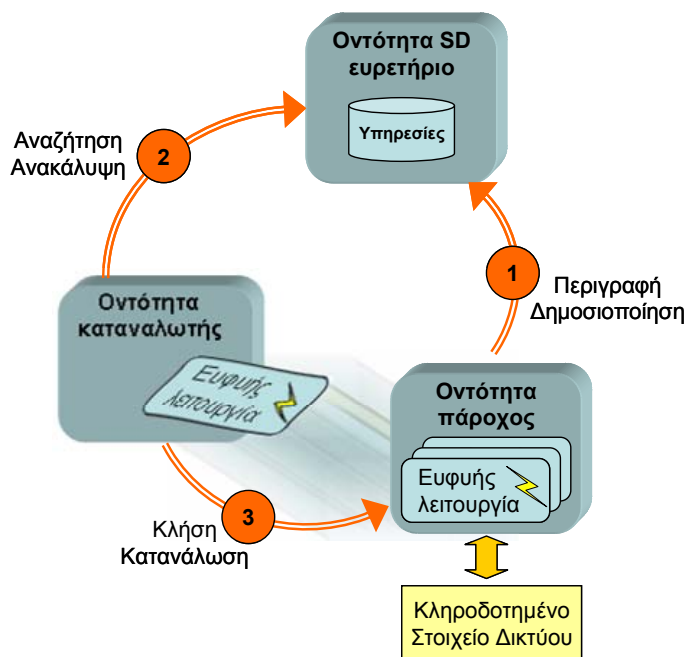
Το κοινό αυτό πληροφοριακό μοντέλο αποτελείται από ένα σύνολο εννοιών ή κλάσεων καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους, καλύπτοντας όλες σχεδόν τις συνιστώσες ενός σύγχρονου τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος. Έτσι για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά στοιχείων δικτύου που διαφέρουν στον τύπο ή τον κατασκευαστή, μπορούν να εκφραστούν σε κοινούς όρους, αντιληπτούς από όλες τις οντότητες του συστήματος. Ακόμα παρέχονται οι μηχανισμοί και η δυνατότητα επέκτασης των κλάσεων και των σχέσεών τους, όπως και η προσθήκη νέων. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής αναφορά στις θεμελιώδεις έννοιες, κλάσεις και σχέσεις του εν λόγω μοντέλου.

Ο συνδυασμός του κοινού πληροφοριακού μοντέλου με τις γνωσιακές λειτουργίες των οντοτήτων του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου το καθιστά κατάλληλη βάση ανάπτυξης συστημάτων για τη διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών με αυτοματοποιημένο και αυτόνομο τρόπο. Επιτρέπει την επικοινωνία κάθε οντότητας με οποιαδήποτε άλλη όπως και την ελεύθερη ανταλλαγή της απαιτούμενης πληροφορίας, ενώ παράλληλα υποστηρίζει την εξαγωγή συμπερασμάτων και την διάδοση της γνώσης που αποκομίζεται κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας του συστήματος.

2.5 Ενσωμάτωση λειτουργιών και τεχνολογιών

Η χρησιμότητα και βιωσιμότητα του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου ενισχύεται σημαντικά από την εγγενή του δυνατότητα να υποστηρίζει την δυναμική ενσωμάτωση νέων λειτουργιών και τεχνολογιών. Ο προσανατολισμός του στην προσφορά, ανακάλυψη και χρήση υπηρεσιών επιτρέπει αφενός μεν την ανάπτυξη και περιγραφή νέων λειτουργιών ως υπηρεσίες που μπορούν να ανακαλυφθούν και να αξιοποιηθούν, αφετέρου δε την σύνθεση με βάση τις υπάρχουσες, νέων πιο περίπλοκων υπηρεσιών που υλοποιούν νέες λειτουργίες. Επιπλέον, νέες τεχνολογίες που πιθανόν υλοποιούν υπάρχουσες υπηρεσίες πιο αποτελεσματικά, μπορούν να ενσωματωθούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς να θίξουν άλλες υπηρεσίες που βασίζονται σε αυτές.

Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό είναι ότι δεν απαιτείται η φυσική ολοκλήρωση της ευφυΐας μιας οντότητας με το υλικό που διαχειρίζεται. Έτσι για παράδειγμα στην περίπτωση ενός κληροδοτημένου (legacy) στοιχείου δικτύου, η αντίστοιχη οντότητα NEM ή EDC που σχετίζεται με αυτό αναπτύσσεται χωριστά, δημοσιοποιεί τις παρεχόμενες υπηρεσίες παρακολούθησης ή εφαρμογής αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων μέσω της οντότητας SD, αλληλεπιδρά με άλλες οντότητες σύμφωνα με το κοινό πληροφοριακό μοντέλο και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η πλήρης ενσωμάτωση. Στην Εικόνα 8 φαίνεται ο τυποποιημένος αυτός κύκλος ενσωμάτωσης και τελικά χρήσης νέων (ευφυών) λειτουργιών.

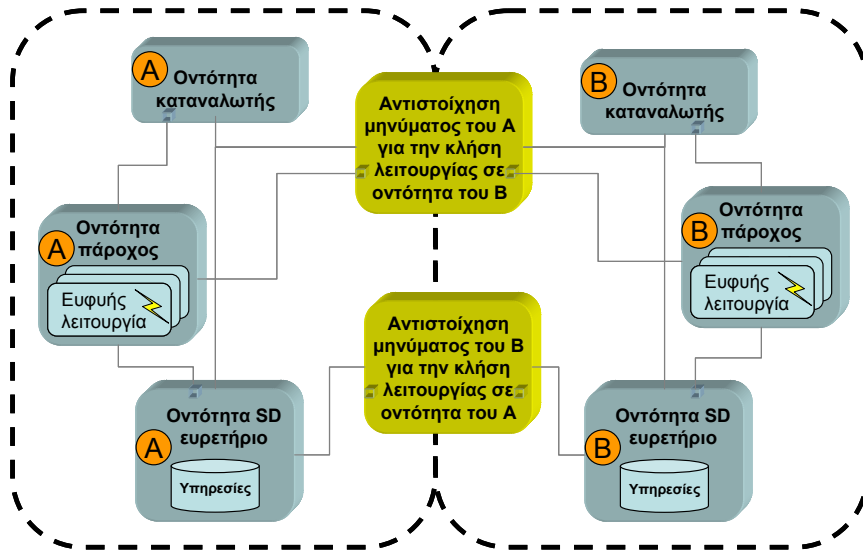


Εικόνα 8: Τυποποιημένος κύκλος ενσωμάτωσης και χρήσης νέων λειτουργιών

2.6 Ενοποίηση με άλλα συστήματα διαχείρισης

Εκτός από την ενσωμάτωση νέων λειτουργιών και τεχνολογιών, εξίσου σημαντικό είναι το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο να δίνει τη δυνατότητα ενοποίησης με άλλα υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης, καθώς όπως είναι φυσικό και αυτά αποτελούν υπολογίσιμες επενδύσεις που δεν είναι δυνατό, ούτε θεμιτό, να καταργηθούν και να απαξιωθούν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια ενοποίηση προϋποθέτει την ύπαρξη μιας τουλάχιστον κατάλληλης διεπαφής, ρόλο τον οποίο μπορεί να αναλάβει μια νέα οντότητα που θα αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό. Μια από τις βασικές λειτουργίες της οντότητας αυτής θα είναι η μετάφραση των εννοιών και των κλάσεων του όποιου πληροφοριακού μοντέλου χρησιμοποιείται στο άλλο σύστημα διαχείρισης, στις αντίστοιχες του κοινού πληροφοριακού μοντέλου του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου.

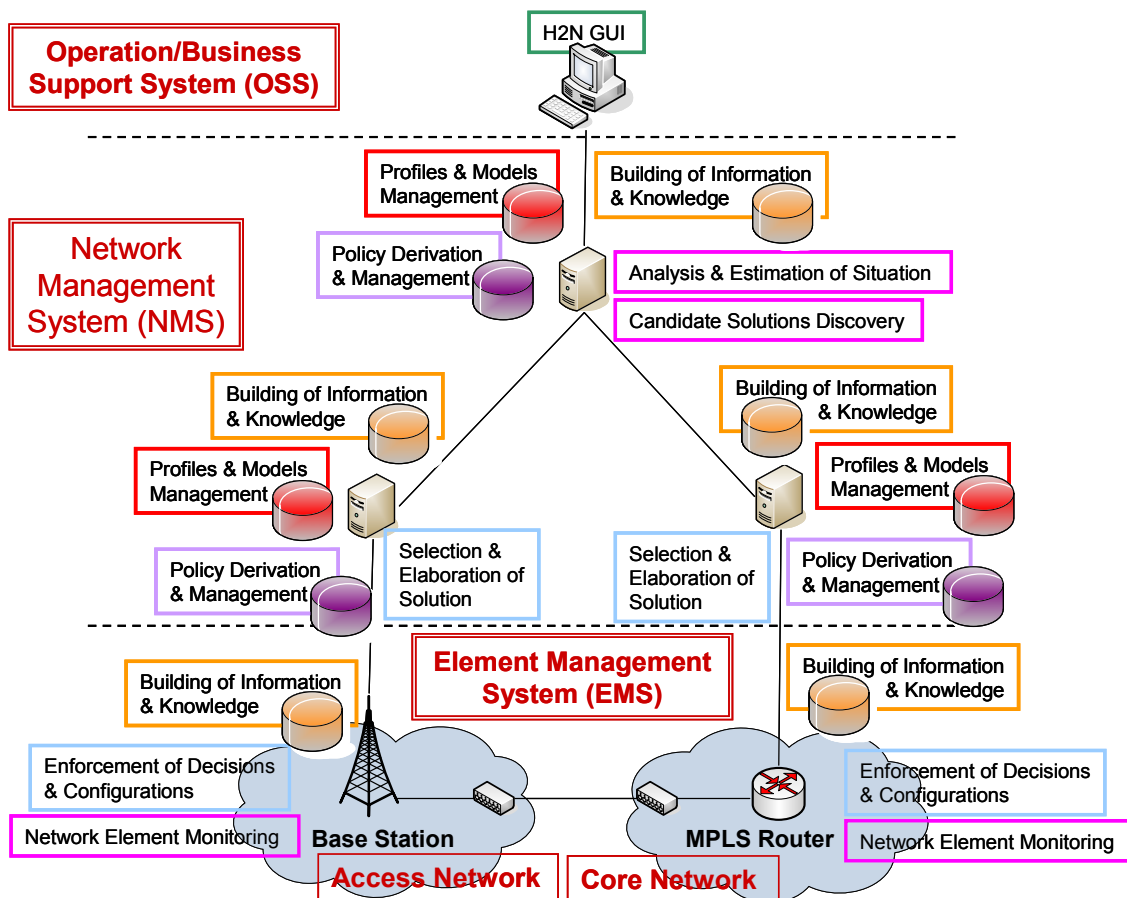
Η απαιτούμενη αυτή λειτουργία μετάφρασης μπορεί είτε να βασίζεται σε έναν προκαθορισμένο πίνακα αντιστοίχισης ανά περίπτωση, είτε σε κάποιον δυναμικό μηχανισμό με ενσωματωμένες διαδικασίες μάθησης, έτσι ώστε η αναγνώριση ομοιοτήτων μεταξύ των εννοιών των δύο συστημάτων και η επέκταση της δυνατότητας σωστής αντιστοίχισης να γίνονται αυτοματοποιημένα, σύμφωνα μόνο με κάποιους βασικούς κανόνες. Στην Εικόνα 9 αποδίδεται σχηματικά η ενοποίηση δύο συστημάτων Α και Β, μέσω οντοτήτων που μεταφράζουν τα μηνύματα που στέλνονται από το ένα σύστημα στο άλλο και επιτρέπουν την κλήση των αντίστοιχων λειτουργιών. Οι λειτουργίες αναφέρονται και ως υπηρεσίες, καθώς όπως έχει αναλυθεί και στην ενότητα 2.2, το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο είναι προσανατολισμένο στις υπηρεσίες, και οι λειτουργίες κάθε οντότητας που περιλαμβάνει, αποτελούν ουσιαστικά υπηρεσίες που προσφέρονται στις υπόλοιπες οντότητες.



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση της ενοποίησης δύο συστημάτων διαχείρισης

2.7 Αντιστοίχιση λειτουργικών οντοτήτων στο δίκτυο

Στην Εικόνα 10 φαίνεται μια πιθανή τοποθέτηση των διαφόρων οντοτήτων του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου στα τμήματα δικτύου.



Εικόνα 10: Παράδειγμα αντιστοίχισης των οντοτήτων του αρχιτεκτονικού πλαισίου στα υπάρχοντα τμήματα δικτύου

Κεφάλαιο 3

Οντολογία για τη γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών

3.1 Εισαγωγή

Για τη γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών είναι απαραίτητη η συνεργασία μεταξύ πολλών διαφορετικών οντοτήτων, η οποία βασίζεται κατά κύριο λόγο στη δυνατότητά τους να επικοινωνούν, δηλαδή να στέλνουν και να λαμβάνουν πληροφορίες και να ανταλλάσσουν γνώση. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να καταστεί εφικτή μόνο με τον σαφή ορισμό του περιεχομένου και της μορφής των δεδομένων που διακινούνται, έτσι ώστε όλες οι οντότητες να μπορούν να έχουν κοινή εικόνα και αντίληψη της εκάστοτε κατάστασης των δικτύων και των υπηρεσιών που διαχειρίζονται. Κάθε συνιστώσα του δικτυακού περιβάλλοντος, είτε πρόκειται για υλικό, όπως ένας σταθμός βάσης, είτε για λογισμικό, όπως μια υπηρεσία τηλεδιάσκεψης, πρέπει να μπορεί να έχει μια αφηρημένη και επίσημη αναπαράσταση ανάλογα με το είδος της. Πρέπει να υπάρχει ένα μοντέλο που να περιγράφει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της, τις σχέσεις της με άλλες συνιστώσες, όπως και τις λειτουργίες που σχετίζονται με αυτή. Χρειάζεται δηλαδή ένα κατάλληλο πληροφοριακό μοντέλο, το ρόλο του οποίου στην περίπτωση του αρχιτεκτονικού πλαισίου που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2 αναλαμβάνει η οντολογία που ορίζεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Με τον όρο οντολογία εννοούμε το σύνολο των εννοιών που περιγράφουν μια περιοχή ενδιαφέροντος, που στην περίπτωσή μας είναι ένα ετερογενές ασύρματο δικτυακό περιβάλλον πέραν της τρίτης γενιάς, καθώς και των σχέσεων μεταξύ αυτών των εννοιών. Η οντολογία είναι ουσιαστικά ένα επίσημο λεξιλόγιο, το οποίο έχουν συμφωνήσει να χρησιμοποιούν οι οντότητες μεταξύ τους για να μοιράζονται τη γνώση τους, είτε θέτοντας ερωτήματα και παίρνοντας απαντήσεις, είτε γνωστοποιώντας ισχυρισμούς. Οι οντότητες δεσμεύονται στο ότι κάθε αλληλεπίδρασή τους είναι συμβατή και συνεπής ως προς την οντολογία, αλλά είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν τίθεται κανένας περιορισμός για την εσωτερική λειτουργία κάθε οντότητας ή τον εσωτερικό τρόπο αναπαράστασης της γνώσης. Επίσης βασικό είναι να επισημανθεί ότι η χρήση της οντολογίας δεν σημαίνει ότι όλες οι οντότητες μοιράζονται μια βάση γνώσης. Κάθε οντότητα γνωρίζει διαφορετικά πράγματα από τις υπόλοιπες και μπορεί να απαντήσει σε διαφορετικό κομμάτι ερωτήσεων από αυτές που θα μπορούσαν να σχηματιστούν με βάση το κοινό λεξιλόγιο, σίγουρα δε όχι σε όλες. Η χρήση της οντολογίας εγγυάται την συνοχή της γνώσης που ανταλλάσσεται.

Η οντολογία, ανάλογα και με την γλώσσα στην οποία θα οριστεί, μπορεί να προχωρήσει αρκετά βήματα παραπέρα από ένα πληροφοριακό μοντέλο και να καταφέρει να εκφράσει, με συστηματικό πάντα τρόπο ώστε να είναι αξιοποιήσιμη χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης, περισσότερες έννοιες και σχέσεις που σχετίζονται με την περιοχή της διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης σημαντικά αυξημένων λειτουργιών αυτοματοποιημένου συλλογισμού και εξαγωγής συμπερασμάτων, πλεονέκτημα πρωταρχικής σημασίας για την υποστήριξη των γνωσιακών λειτουργιών που ενσωματώνει το προτεινόμενο από τη διατριβή αυτή αρχιτεκτονικό πλαίσιο. Γι' αυτό και επιλέχθηκε η ανάπτυξη μιας κατάλληλης οντολογίας.

3.2 Μεθοδολογία ανάπτυξης και παρουσίασης της οντολογίας

Παρακάτω αναφέρονται κάποια θέματα σχετικά με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη της προτεινόμενης οντολογίας και την παρουσίασή της.

3.2.1 Βασικές αρχές ανάπτυξης μιας οντολογίας

Κατ' αρχήν πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει κάποιος μοναδικός τρόπος να οριστεί σωστά μια οντολογία. Η ανάπτυξη γίνεται ανά περίπτωση και αναπόφευκτα με βάση τις ιδέες και τις εμπειρίες των δημιουργών. Το ζητούμενο όμως πάντα είναι τελικά να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των οντοτήτων που θα την χρησιμοποιήσουν, είτε για επικοινωνία, είτε για την εξαγωγή γνώσης και την επαναχρησιμοποίησή της. Παράλληλα, μια σωστή οντολογία διαχωρίζει την γνώση που σχετίζεται με την περιοχή ενδιαφέροντος, από την γνώση που έχει να κάνει με την λειτουργία του συστήματος και επιπλέον την καθιστά ανεξάρτητη, έτσι ώστε αν διαφοροποιηθεί κάποια έννοια ή σχέση, να χρειαστεί αλλαγή μόνο στην οντολογία και όχι και στις λειτουργίες του συστήματος που συνήθως κωδικοποιούνται προγραμματιστικά.

Η διαδικασία σχεδιασμού μιας οντολογίας διαφέρει από αυτή μιας ιεραρχίας κλάσεων καθώς η δεύτερη περιστρέφεται κυρίως γύρω από τις μεθόδους των κλάσεων, ενώ η πρώτη εστιάζει στη δομή και τις ιδιότητες των κλάσεων. Γι' αυτό και σαν τελικό αποτέλεσμα, οι κλάσεις και οι σχέσεις σε μια οντολογία είναι διαφορετικές από αυτές των αντικειμένων ενός αντίστοιχου προγράμματος.

3.2.2 Επιδιωκόμενος βαθμός λεπτομέρειας της προτεινόμενης οντολογίας

Δεν είναι σκοπός καμίας οντολογίας να συμπεριλάβει όλη την πιθανή πληροφορία που σχετίζεται με έναν τομέα μόνο και μόνο για να θεωρηθεί ολοκληρωμένη. Η οντολογία πρέπει να αναπτύσσεται παράλληλα με κάποιο σύστημα, από το οποίο να χρησιμοποιείται. Οι ανάγκες του συστήματος καθορίζουν και το ποιες και πόσες έννοιες χρειάζονται και συνεπώς πρέπει να οριστούν στην οντολογία. Για παράδειγμα, καθώς η παρούσα διδακτορική διατριβή εστιάζει στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, δεν υπάρχουν σε αυτή τη φάση στην προτεινόμενη οντολογία οι έννοιες των δρομολογητών πρόσβασης ή κορμού, τεχνολογιών όπως το MPLS κ.α. Φυσικά, μια τέτοια επέκταση και προς το σταθερό κομμάτι του δικτύου είναι απόλυτα εφικτή.

Επιπλέον, λόγω του ότι η προτεινόμενη οντολογία πρόκειται να αξιοποιηθεί σε κάποιο σύστημα που έχει υλοποιηθεί σύμφωνα με το αρχιτεκτονικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2, και συνεπώς είναι ένα σύστημα που περιλαμβάνει γνωσιακές και γενικά ευφυείς λειτουργίες, ο βαθμός λεπτομέρειας στον οποίο αναλύονται οι έννοιες και οι ιδιότητές τους μπορεί να περιοριστεί και να αναπληρωθεί από τις σχετικές λειτουργίες. Μπορούν δηλαδή να οριστούν κάποιες γενικές έννοιες με αντίστοιχα γενικές ιδιότητες, των οποίων τα στιγμιότυπα θα περιέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες που θα τις συγκεκριμενοποιούν στις έννοιες που χρειάζονται. Για παράδειγμα δεν χρειάζεται να οριστούν ρητά έννοιες σχετικές με την ποιότητα των υπηρεσιών όπως η καθυστέρηση ή η απόδοση, αλλά αρκεί να υπάρχει μια γενική έννοια «παράμετρος ποιότητας», η οποία να

περιέχει το όνομα της παραμέτρου, την τιμή και την μονάδα μέτρησης, όπως περιγράφεται και στη συνέχεια του κεφαλαίου. Αυτός ο τρόπος ανάπτυξης παρέχει και μεγαλύτερη ευελιξία κατά την υλοποίηση και ενσωμάτωση νέων λειτουργιών, αλγορίθμων κτλ.

3.2.3 Διαίρεση της παρουσίασης της προτεινόμενης οντολογίας σε τμήματα

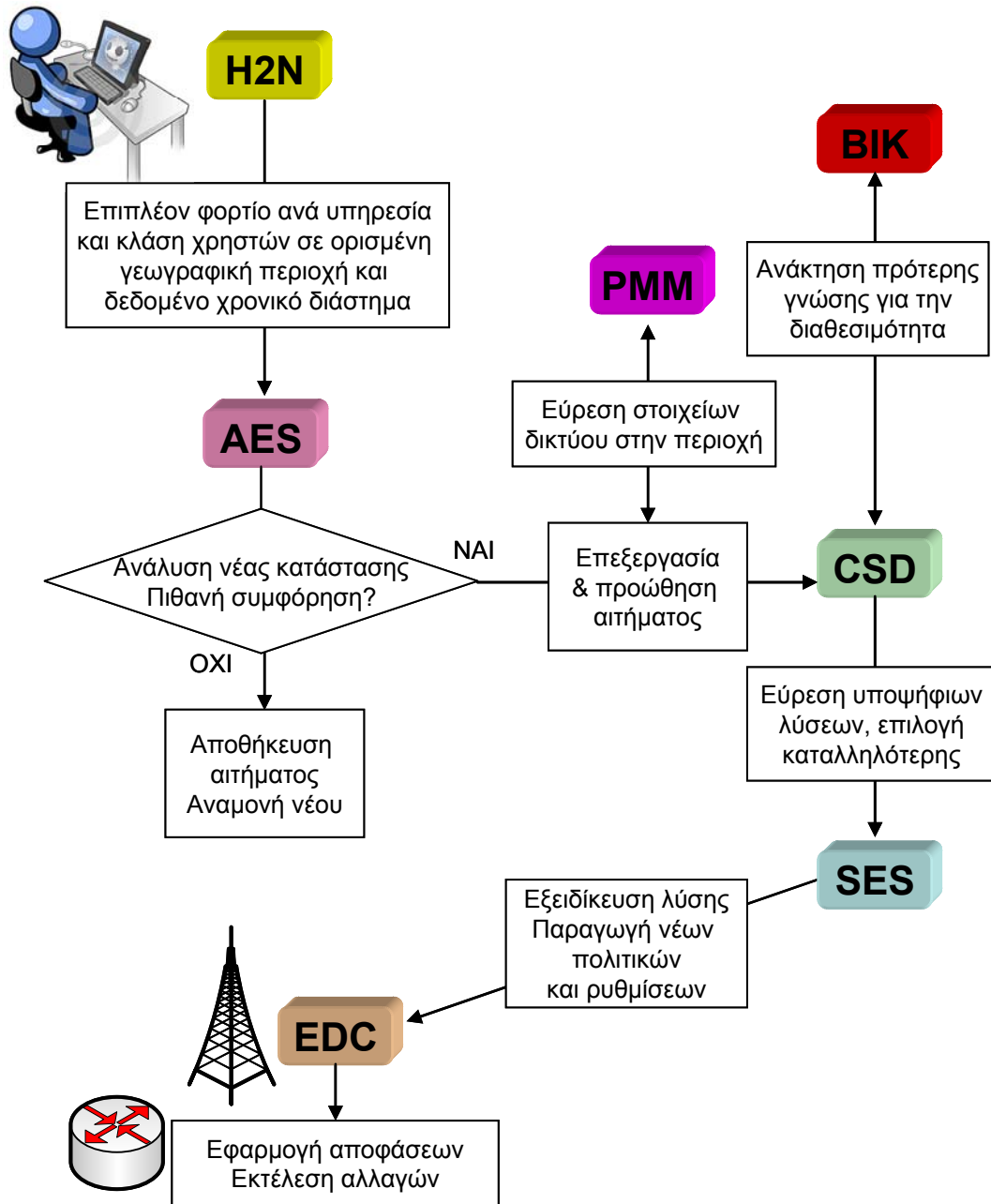
Για λόγους καλύτερης οργάνωσης και παρουσίασης, οι έννοιες της προτεινόμενης οντολογίας έχουν ομαδοποιηθεί σε πέντε μεγάλες κατηγορίες. Κατ' αρχήν σε αυτές που σχετίζονται με τις υπηρεσίες, σε αυτές που σχετίζονται με τη διαχείριση και υποστήριξη της λειτουργίας των υποδομών και σε αυτές που σχετίζονται με το κάθε ασύρματο δίκτυο πρόσβασης. Και εκτός αυτών γίνεται ένας ακόμα διαχωρισμός στις γενικότερες έννοιες που σχετίζονται με τις διάφορες πολιτικές καθώς και σε αυτές που σχετίζονται με την δημιουργία και ανάκτηση γνώσης. Επιπλέον περιγράφονται χωριστά οι έννοιες που ουσιαστικά αποτελούν μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος, από τις έννοιες που είναι το περιεχόμενο αυτών των μηνυμάτων. Στην δε ενότητα 3.5 γίνεται μια γραφική αναπαράσταση των εννοιών της προτεινόμενης οντολογίας και των σχέσεων μεταξύ τους. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι όροι έννοια και κλάση που αναφέρονται στην οντολογία χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως ταυτόσημοι.

3.3 Μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των οντοτήτων

Όπως αναφέρθηκε στα παραπάνω, η οντολογία αναπτύσσεται με βάση τις ανάγκες του συστήματος. Έτσι, για την καλύτερη κατανόηση των επιλογών που έγιναν σχετικά με τον ορισμό των εννοιών, των σχέσεων ή των ονομάτων τους, δίνονται και κάποια παραδείγματα περιπτώσεων όπου συγκεκριμένες οντότητες του αρχιτεκτονικού πλαισίου χρησιμοποιούν το αντίστοιχο μήνυμα για να ζητήσουν ή να δώσουν πληροφορίες ή να ενημερώσουν για κάποια κατάσταση. Με βάση δε τις αλληλεπιδράσεις αυτές, τα μηνύματα είναι κατά κανόνα σε ζεύγη αίτησης – απόκρισης (request – response) ή ενημέρωσης – επιβεβαίωσης (notification – acknowledgement).

3.3.1 Ένα πρώτο ενδεικτικό σενάριο χρήσης

Ένας πάροχος τηλεπικοινωνιών προσφέρει στους πελάτες του υπηρεσίες τριών βασικών κατηγοριών και συγκεκριμένα φωνής, βίντεο και δεδομένων, πάνω από ιδιόκτητο ετερογενές δίκτυο που περιλαμβάνει διάφορα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, κυρίως τεχνολογίας LTE ή WLAN. Κάθε πελάτης ανήκει σε μια κλάση χρήστη, η οποία βασικά εξαρτάται από το είδος και το ύψος της συνδρομής του και η οποία ουσιαστικά καθορίζει και το επίπεδο ποιότητας με το οποίο ο χρήστης θα λάβει μια υπηρεσία. Ο πάροχος διαχειρίζεται την δικτυακή υποδομή του ακολουθώντας το αρχιτεκτονικό πλαίσιο του κεφαλαίου 2 και ενημερώνεται από το εμπορικό τμήμα ότι δύο μέρες αργότερα θα πραγματοποιηθεί σε ξενοδοχείο του κέντρου της πόλης μια ημερίδα σχετική με την έρευνα στην πληροφορική και τις επικοινωνίες, στην οποία θα συμμετέχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ενδιαφερομένων. Αυτό φυσικά σημαίνει ότι το δίκτυο στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, σύντομα θα κληθεί να εξυπηρετήσει ένα σημαντικό αυξημένο φορτίο κίνησης.



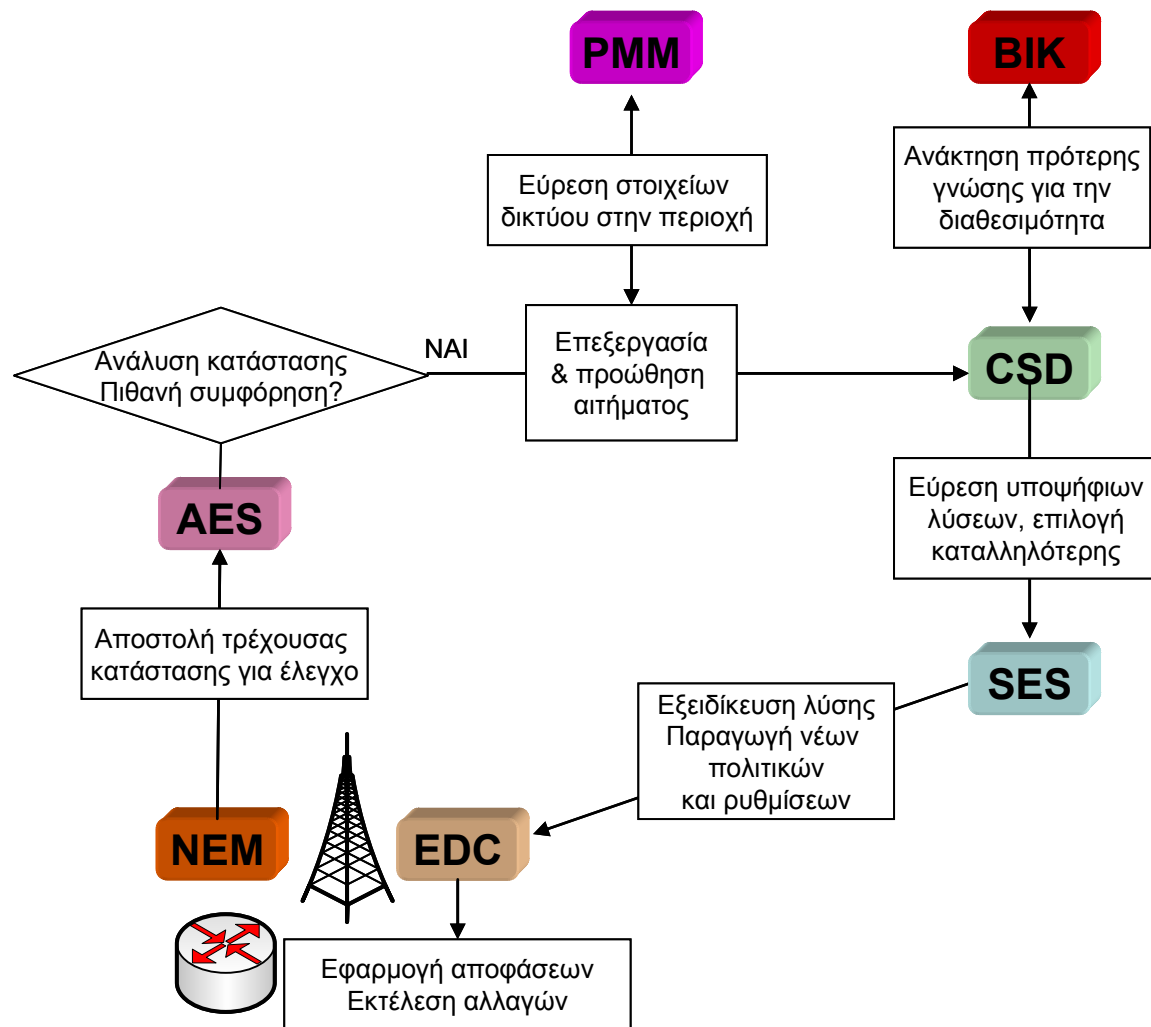
Εικόνα 11: Εξέλιξη πρώτου ενδεικτικού σεναρίου χρήσης

Στην περίπτωση λοιπόν αυτή, ο πάροχος μπορεί να περιγράψει το εκτιμώμενο επιπλέον φορτίο ανά υπηρεσία και ανά κλάση χρηστών μέσω της διεπαφής H2N (Human to Network), έτσι ώστε στη συνέχεια να γίνει η ανάλυση της κατάστασης που θα προκύψει από την οντότητα AES (Analysis and Estimation of Situation) και εφόσον απαιτείται να δοθεί το έναυσμα στην οντότητα CSD (Candidate Solution Discovery) να διερευνήσει τις υποψήφιες λύσεις. Ως λύση νοείται κάθε συνδυασμός πολιτικών και διαμόρφωσης των παραμέτρων λειτουργίας της δικτυακής υποδομής που επιτρέπει την απρόσκοπτη παροχή των ζητούμενων υπηρεσιών στους χρήστες σε αποδεκτό και όσο το δυνατόν καλύτερο επίπεδο ποιότητας. Η οντότητα CSD επιλέγει τελικά μια λύση, η οποία εξειδικεύεται στη συνέχεια από την οντότητα SES (Selection and Elaboration of Solution) πριν αποσταλεί για

εφαρμογή στο χρόνο που πρέπει και στο αντίστοιχο κομμάτι του δικτύου από τις υπεύθυνες οντότητες EDC (Enforcement of Decisions and Configurations).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις παραπάνω φάσεις του σεναρίου, οι διάφορες εμπλεκόμενες οντότητες αλληλεπιδρούν όπου απαιτείται και με τις οντότητες PMM (Profiles and Models Management), PDM (Policy Derivation and Management) και BIK (Building of Information and Knowledge), ώστε να ανακτήσουν τα δεδομένα εισόδου που χρειάζονται για να λάβουν αποφάσεις ή να αποκτήσουν πρόσβαση σε γνώση που θα επιταχύνει και θα βελτιστοποιήσει τις αποφάσεις αυτές. Υπάρχει δε και η δυνατότητα να ελεγχθεί η λύση και να δοκιμαστούν οι επιδράσεις της μέσω του εξομοιωτή δικτύου, δηλαδή της οντότητας SIM. Στην Εικόνα 11 φαίνεται η εξέλιξη του σεναρίου που περιγράφεται παραπάνω.

3.3.2 Ένα δεύτερο ενδεικτικό σενάριο χρήσης



Εικόνα 12: Εξέλιξη δεύτερου ενδεικτικού σεναρίου χρήσης

Μια άλλη περίπτωση χρήσης του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου είναι αυτή κατά την οποία εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή παροχής υπηρεσιών του παρόχου σημαντική αύξηση του φορτίου κίνησης, λόγω συνθηκών που δεν είχαν

προβλεφθεί. Η ανίχνευση αυτής της κατάστασης γίνεται με τη συνεργασία των οντοτήτων NEM (Network Element Monitoring) με την οντότητα AES, ενώ σημαντικό ρόλο στην έγκαιρη αντιμετώπιση μιας πιθανής συμφόρησης στο δίκτυο παίζει και η οντότητα BIK, ειδικά αν αυτή δεν είναι η πρώτη φορά που παρουσιάζεται μια τέτοια αλλαγή του φορτίου. Και σε αυτή την περίπτωση πιθανόν να κληθεί η οντότητα CSD να αποφασίσει, όπως και η οντότητα SES να εξειδικεύσει τις ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν στο δικτυακό εξοπλισμό ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα. Οι διαφορές με το προηγούμενο σενάριο χρήσης είναι ότι η εφαρμογή των νέων ρυθμίσεων και αποφάσεων είναι άμεση, απαιτώντας και ταχύτερη αντιμετώπιση, όπως και το ότι το έναυσμα της όλης διαδικασίας προέρχεται από το δίκτυο, οπότε είναι ήδη ορισμένο σε όρους δικτύου. Η λογική όμως των αποφάσεων είναι κατά βάση όμοια, είτε αυτές αφορούν κυρίως υπάρχουσες συνδέσεις όπως στην προκειμένη περίπτωση, είτε συνδέσεις που εκτιμάται ότι θα ζητηθούν όπως στο πρώτο σενάριο. Στην εικόνα φαίνεται η εξέλιξη αυτού του σεναρίου.

3.3.3 Μηνύματα του τμήματος υπηρεσιών

3.3.3.1 BusinessLevelEntryNotification

Το μήνυμα αυτό είναι μια ειδοποίηση για κάποιο νέο στόχο που τίθεται από τον πάροχο σχετικά με την εξυπηρέτηση νέου φορτίου κίνησης, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, σε ορισμένη περιοχή και για περιορισμένο ίσως χρονικό διάστημα. Συνδέεται με την σχέση hasBusinessLevelEntry με μια κλάση BusinessLevelEntry, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.1.1. Το στέλνει μια οντότητα H2N (Human to Network) σε μια οντότητα AES (Analysis and Estimation of Situation).

3.3.3.2 BusinessLevelEntryNotificationAck

Μήνυμα που επιβεβαιώνει την λήψη ενός μηνύματος BusinessLevelEntryNotification.

3.3.3.3 AssociationNotification

Με αυτό το μήνυμα μια οντότητα H2N ενημερώνει την οντότητα PDM (Policy Derivation and Management) για τις νέες πολιτικές συσχέτισης υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας. Η περιγραφή των πολιτικών αυτών γίνεται με όρους υψηλής στάθμης (high level), δηλαδή κοντά στη φυσική γλώσσα που χρησιμοποιείται από το ανθρώπινο δυναμικό του παρόχου. Μέσω της σχέσης hasGovApplication η κλάση AssociationNotification συνδέεται με ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα της κλάσης GovApplication, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.1.2.

3.3.3.4 AssociationNotificationAck

Μήνυμα που επιβεβαιώνει την λήψη ενός μηνύματος AssociationNotification.

3.3.3.5 GovPolicyNotification

Μεταφέρει τις νέες πολιτικές συσχέτισης υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας εκφρασμένες σε πιο συγκεκριμένη τεχνική μορφή, από μια οντότητα PDM προς μια οντότητα CSD. Όπως και το μήνυμα AssociationNotification, σχετίζεται

μέσω του `hasGovApplication` με ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα της κλάσης `GovApplication`, τα οποία τώρα περιλαμβάνουν και τις επιπλέον τεχνικές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα το εύρος ζώνης που χρειάζεται για την παροχή συγκεκριμένης υπηρεσίας σε συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας κ.α.

3.3.3.6 GovPolicyNotificationAck

Μήνυμα που επιβεβαιώνει την λήψη ενός μηνύματος `GovPolicyNotification`.

3.3.3.7 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα υπηρεσιών

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος υπηρεσιών

Μήνυμα	Από	Προς	Παρατηρήσεις
BusinessLevelEntry Notification	H2N	AES	Νέος στόχος του παρόχου για εξυπηρέτηση νέου φορτίου κίνησης, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, σε ορισμένη περιοχή και για περιορισμένο ίσως χρονικό διάστημα Περιεχόμενη κλάση: BusinessLevelEntry
BusinessLevelEntry NotificationAck	AES	H2N	Επιβεβαίωση.
Association Notification	H2N	PDM	Περιγραφή με όρους υψηλής στάθμης των νέων πολιτικών συσχέτισης υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας Περιεχόμενη κλάση: GovApplication
Association NotificationAck	PDM	H2N	Επιβεβαίωση.
GovPolicy Notification	PDM	CSD	Περιγραφή με πιο συγκεκριμένη τεχνική μορφή των νέων πολιτικών συσχέτισης υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας Περιεχόμενη κλάση: GovApplication
GovPolicy NotificationAck	CSD	PDM	Επιβεβαίωση.

3.3.4 Μηνύματα του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας

3.3.4.1 NewContextNotification

Μήνυμα που στέλνει μια οντότητα AES στην αντίστοιχη οντότητα CSD για να της ζητήσει τη διερεύνηση των υποψήφιων λύσεων με τις οποίες θα μπορεί να εξυπηρετηθεί χωρίς πρόβλημα και το επιπλέον φορτίο κίνησης που προσδιορίζεται στο μήνυμα αυτό. Μέσω της σχέσης `hasAdditionalLoadEntry` η κλάση `NewContextNotification` συνδέεται με

ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα της κλάσης `AdditionalLoadEntry`, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.2.1. Στο μήνυμα περιλαμβάνονται και πληροφορίες σχετικές τόσο με την περιοχή του δικτύου, όσο και με το χρονικό διάστημα όπου θα υπάρχουν οι αυξημένες αυτές απαιτήσεις.

3.3.4.2 NewContextNotificationAck

Μήνυμα που επιβεβαιώνει την λήψη ενός μηνύματος `NewContextNotification`.

3.3.4.3 ContextNotification

Όταν υπάρξει κάποια αξιοσημείωτη αλλαγή στις συνθήκες του δικτύου, η οντότητα `NEM` ενεργεί σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν δοθεί και τα κατώφλια που πιθανότατα έχουν ορισθεί από μια οντότητα `AES` και έτσι στέλνει ένα μήνυμα `ContextNotification`, το οποίο περιγράφει μια κατάσταση που πρέπει να αναλυθεί από την οντότητα `AES`. Σε αυτή την περίπτωση το μήνυμα περιέχει ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα της κλάσης `ElementContext`.

3.3.4.4 ContextNotificationAck

Μήνυμα που επιβεβαιώνει την λήψη ενός μηνύματος `ContextNotification`.

3.3.4.5 ContextRequest

Συχνά υπάρχουν λειτουργίες οι οποίες για να μπορέσουν να λάβουν κάποια απόφαση χρειάζονται απόλυτα επικαιροποιημένα δεδομένα για την κατάσταση στο δίκτυο. Μπορούν λοιπόν να τα ζητήσουν στέλνοντας ένα μήνυμα `ContextRequest` σε κάθε στοιχείο δικτύου για το οποίο ενδιαφέρονται και για την ακρίβεια, στην αντίστοιχη οντότητα `NEM`.

3.3.4.6 ContextResponse

Η απάντηση σε ένα αίτημα της παραπάνω παραγράφου είναι το μήνυμα `ContextResponse`. Σε αυτό περιγράφεται η τρέχουσα κατάσταση από άποψη φορτίου κίνησης που εξυπηρετείται από το στοιχείο δικτύου που δημιουργεί το μήνυμα με τη βοήθεια της κλάσης `ElementContext`.

3.3.4.7 UserProfileRequest

Μια ακόμα βασική πληροφορία που απαιτείται για την λήψη αποφάσεων είναι το προφίλ κάποιου μεμονωμένου χρήστη ή μιας ομάδας χρηστών. Για το σκοπό αυτό υπάρχει το μήνυμα `UserProfileRequest` με το οποίο η ενδιαφερόμενη οντότητα μπορεί να ζητήσει από την οντότητα `PMM` (`Profiles and Models Management`) τα αντίστοιχα δεδομένα. Τα κριτήρια της αναζήτησης μπορούν να αφορούν σε μια περιοχή με όλα τα στοιχεία δικτύου που περιλαμβάνει, σε κάποιες κλάσεις χρηστών ή και σε συγκεκριμένους χρήστες με βάση την ταυτότητά τους.

3.3.4.8 UserProfileResponse

Το μήνυμα UserProfileResponse περιέχει τις πληροφορίες για τους χρήστες που ζητήθηκαν. Τα περιεχόμενα στιγμιότυπα είναι της κλάσης UserProfile, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.2.6.

3.3.4.9 ElementProfileRequest

Όπως στην περίπτωση των χρηστών, έτσι και στην περίπτωση των στοιχείων δικτύου, κάθε διαδικασία που παίρνει αποφάσεις σχετικές με τη ρύθμιση της λειτουργίας της δικτυακής υποδομής πρέπει να λάβει υπόψη της και τα αντίστοιχα προφίλ του εν λόγω εξοπλισμού. Με το μήνυμα ElementProfileRequest μπορούν να ζητηθούν από την οντότητα PMM τα σχετικά δεδομένα.

3.3.4.10 ElementProfileResponse

Με το μήνυμα αυτό στέλνονται στην ενδιαφερόμενη οντότητα τα προφίλ των στοιχείων δικτύου που ζητήθηκαν, ως στιγμιότυπα της κλάσης ElementProfile που περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.2.7.

3.3.4.11 ElementAvailabilityRequest

Το μήνυμα αυτό απευθύνεται στην οντότητα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας BIK, η οποία όταν το λάβει, καλείται να εκτιμήσει, βασιζόμενη στην πρότερη γνώση, την πιθανότητα να έχει ένα συγκεκριμένο στοιχείο δικτύου το αναφερόμενο επίπεδο διαθεσιμότητας. Αυτό για κάθε επίπεδο διαθεσιμότητας από αυτά που έχουν προκαθοριστεί και για κάθε στοιχείο δικτύου από αυτά που αναφέρονται στο μήνυμα ElementAvailabilityRequest. Η εκτίμηση ζητείται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, κατά κανόνα από την οντότητα CSD, προκειμένου να υπολογίσει με μεγαλύτερη επιτυχία τις υποψήφιες λύσεις σε ένα πρόβλημα.

3.3.4.12 ElementAvailabilityResponse

Η απάντηση στο μήνυμα της προηγούμενης υποενότητας, η οποία περιέχει τα δεδομένα που περιγράφονται εκεί, είναι το μήνυμα ElementAvailabilityResponse, το οποίο περιέχει μια λίστα από στιγμιότυπα της κλάσης ElementContext. Όπως αναφέρεται και στην υποενότητα 3.4.2.1 η κλάση ElementContext περιλαμβάνει και πεδία σχετικά με την εκτίμηση της διαθεσιμότητας.

3.3.4.13 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας

Μήνυμα	Από	Προς	Παρατηρήσεις
NewContextNotification	AES	CSD	Έναυσμα για τη διερεύνηση υποψήφιων λύσεων με τις οποίες θα μπορεί να εξυπηρετηθεί χωρίς πρόβλημα και το επιπλέον φορτίο κίνησης που

			προσδιορίζεται, σε ορισμένη περιοχή και για περιορισμένο ίσως χρονικό διάστημα Περιεχόμενη κλάση: AdditionalLoadEntry
NewContextNotificationAck	CSD	AES	Επιβεβαίωση.
ContextNotification	NEM	AES	Αποστολή της τρέχουσας κατάστασης φορτίου για ανάλυση, λόγω σημαντικής διαφοροποίησης ή σύμφωνα με τις συνθήκες που έχουν ορισθεί από την οντότητα AES. Περιεχόμενη κλάση: ElementContext
ContextNotificationAck	AES	NEM	Επιβεβαίωση.
ContextRequest	*	NEM	Αίτημα αποστολής δεδομένων σχετικών με την τρέχουσα κατάσταση φορτίου κίνησης στο στοιχείο δικτύου υπό παρακολούθηση.
ContextResponse	NEM	*	Αποστολή της τρέχουσας κατάστασης φορτίου κίνησης μετά από αίτημα. Περιεχόμενη κλάση: ElementContext
UserProfileRequest	*	PMM	Αίτημα αποστολής δεδομένων σχετικών με το προφίλ συγκεκριμένων χρηστών ή ομάδας χρηστών με κοινά χαρακτηριστικά (περιοχή, κλάση κτλ).
UserProfileResponse	PMM	*	Αποστολή των προφίλ χρήστη στην οντότητα που τα ζήτησε. Περιεχόμενη κλάση: UserProfile
ElementProfileRequest	*	PMM	Αίτημα αποστολής δεδομένων σχετικών με το προφίλ των στοιχείων δικτύου μιας περιοχής ή με βάση την ταυτότητά τους.
ElementProfileResponse	PMM	*	Αποστολή των προφίλ στοιχείου δικτύου στην οντότητα που τα ζήτησε. Περιεχόμενη κλάση: ElementProfile
ElementAvailabilityRequest	CSD	BIK	Αίτημα αποστολής δεδομένων σχετικών με την διαθεσιμότητα ενός στοιχείου δικτύου για την εξυπηρέτηση φορτίου κίνησης.
ElementAvailabilityResponse	BIK	CSD	Αποστολή δεδομένων σχετικών με την πιθανότητα να έχει ένα στοιχείο δικτύου το αναφερόμενο επίπεδο διαθεσιμότητας, για κάθε

			<p>επίπεδο διαθεσιμότητας από αυτά που έχουν προκαθοριστεί και για κάθε στοιχείο δικτύου για το οποίο ζητήθηκαν δεδομένα.</p> <p>Περιεχόμενη κλάση: ElementContext</p>
--	--	--	--

3.3.5 Μηνύματα του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης

3.3.5.1 SolutionElaborationRequest

Το μήνυμα αυτό περιέχει το γενικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η λύση καθώς και την περιγραφή του προβλήματος προς επίλυση όπως αυτή έχει διαμορφωθεί από όλες τις οντότητες που έχουν επεξεργαστεί το αντίστοιχο αίτημα μέχρι αυτή τη φάση. Είναι το έναυσμα για την εκτέλεση του αλγορίθμου της οντότητας SES (Selection and Elaboration of Solution), ώστε να παραχθούν συγκεκριμένες ρυθμίσεις και πολιτικές που θα πρέπει να εφαρμοστούν στο δίκτυο για την αντιμετώπιση της προβληματικής κατάστασης. Το βασικό στιγμιότυπο που περιέχεται είναι της κλάσης SolutionContext, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.3.1.

3.3.5.2 SolutionElaborationResponse

Η επιβεβαίωση της λήψης ενός μηνύματος SolutionElaborationRequest και της εκκίνησης της φάσης επεξεργασίας της περιεχόμενης λύσης γίνεται με ένα μήνυμα SolutionElaborationResponse.

3.3.5.3 ReconfigurationRequest

Όταν η οντότητα CSD προκρίνει μια λύση προς εφαρμογή στο δίκτυο και η αντίστοιχη οντότητα SES την εξειδικεύει για τις υποκείμενες τεχνολογίες πρόσβασης, στέλνεται προς την οντότητα EDC (Enforcement of Decisions and Configurations) ένα μήνυμα ReconfigurationRequest με όλες τις νέες ρυθμίσεις και πολιτικές που πρέπει να εφαρμοστούν στο διαχειριζόμενο στοιχείο δικτύου. Η σχέση hasElementConfiguration συνδέει το μήνυμα αυτό με ένα στιγμιότυπο της κλάσης ElementConfiguration το οποίο περιέχει τα σχετικά δεδομένα.

3.3.5.4 ReconfigurationResponse

Με το μήνυμα αυτό η οντότητα EDC επιβεβαιώνει ότι είναι σε θέση να προχωρήσει στην εκτέλεση των απαιτούμενων ενεργειών για την εφαρμογή των νέων ρυθμίσεων και πολιτικών. Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο αυτό δεν είναι απόλυτα εφικτό, ενημερώνει την οντότητα SES για τις αλλαγές που, πιθανώς προσωρινά, δεν μπορούν να γίνουν. Το περιεχόμενο στιγμιότυπο είναι πάλι της κλάσης ElementConfiguration με τις κατάλληλες διαφοροποιήσεις στα δεδομένα του.

3.3.5.5 ReconfigurationExecutionNotification

Όταν τελικά εκτελεστούν οι αλλαγές που προγραμματίστηκαν, καθώς μπορεί να χρειαστεί αρκετός χρόνος, ειδικά αν για κάποιες ρυθμίσεις απαιτείται π.χ. η επανεκκίνηση

μερικών διαδικασιών του στοιχείου δικτύου, η οντότητα EDC ενημερώνει την οντότητα SES για την επιτυχή ή όχι εφαρμογή των νέων ρυθμίσεων και πολιτικών που ζητήθηκαν. Η επικοινωνία βασίζεται στην κλάση ElementConfiguration.

3.3.5.6 ReconfigurationExecutionNotificationAck

Μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης ενός μηνύματος ReconfigurationExecutionNotification.

3.3.5.7 Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων στο τμήμα ασύρματου δικτύου πρόσβασης

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης

Μήνυμα	Από	Προς	Παρατηρήσεις
SolutionElaboration Request	CSD	SES	Αίτημα για εξειδίκευση λύσης στο πρόβλημα που περιγράφεται και παραγωγή συγκεκριμένων πολιτικών και ρυθμίσεων προς εφαρμογή στο δίκτυο. Περιεχόμενη κλάση: SolutionContext
SolutionElaboration Response	SES	CSD	Επιβεβαίωση.
ReconfigurationRequest	SES	EDC	Μήνυμα που περιέχει τις νέες ρυθμίσεις και πολιτικές που πρέπει να εφαρμοστούν στο διαχειριζόμενο στοιχείο δικτύου. Περιεχόμενη κλάση: ElementConfiguration
ReconfigurationResponse	EDC	SES	Επιβεβαίωση.
ReconfigurationExecutionNotification	EDC	SES	Ενημέρωση για την επιτυχή ή όχι εφαρμογή των νέων ρυθμίσεων και πολιτικών που ζητήθηκαν. Περιεχόμενη κλάση: ElementConfiguration
ReconfigurationExecutionNotificationAck	SES	EDC	Επιβεβαίωση.

3.3.6 Μηνύματα σχετικά με πολιτικές γενικά

3.3.6.1 PolicyRequest

Με το μήνυμα αυτό μια οντότητα ζητάει από την οντότητα PDM τις πολιτικές που ισχύουν και πρέπει να λαμβάνει υπόψη της κατά τη λειτουργία της. Στα περιεχόμενα του μηνύματος μπορεί να περιλαμβάνονται και συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, μέσα σε κάποια κλάση PolicyCondition, έτσι ώστε η απάντηση να περιέχει μόνο τις σχετικές με αυτές πολιτικές. Η αποστολή του μηνύματος γίνεται κατά κανόνα όταν υπάρχει μεταβολή

του πλαισίου στο οποίο λειτουργεί μια οντότητα, κατά την είσοδο και ενεργοποίηση μιας οντότητας στο σύστημα ή και περιοδικά.

3.3.6.2 PolicyResponse

Στο μήνυμα αυτό περιέχονται όλες οι πολιτικές που αφορούν αφενός μεν στην οντότητα που έστειλε το αντίστοιχο αίτημα, αφετέρου δε στις συνθήκες λειτουργίας, τόσο του συστήματος γενικότερα, όσο και αυτές που περιλαμβάνονται στο αίτημα και σχετίζονται με την εν λόγω οντότητα. Στο μήνυμα λοιπόν υπάρχουν τα ανάλογα στιγμιότυπα της κλάσης Policy, η οποία περιγράφεται στην υποενότητα 3.4.4.1.

3.3.6.3 PolicyNotification

Όταν υπάρξει μια νέα πολιτική ή γίνει κάποια αλλαγή σε μια ενεργή πολιτική, όπως η απενεργοποίησή της, η διαφοροποίηση των παραμέτρων της κ.α., η οντότητα PDM στέλνει ένα μήνυμα PolicyNotification στις ενδιαφερόμενες οντότητες ώστε να συνεχίσουν να είναι ενήμερες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι συχνά η ενεργοποίηση μιας νέας πολιτικής μπορεί να επηρεάσει πολλές άλλες, κάτι το οποίο ελέγχει και φροντίζει η οντότητα PDM, όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το μήνυμα είναι παρόμοιο με αυτό της προηγούμενης υποενότητας και μεταφέρει μια λίστα από στιγμιότυπα της κλάσης Policy.

3.3.6.4 PolicyNotificationAck

Μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης ενός μηνύματος PolicyNotification.

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων σχετικών με πολιτικές γενικά

Μήνυμα	Από	Προς	Παρατηρήσεις
PolicyRequest	*	PDM	Αίτημα αποστολής των πολιτικών που ισχύουν και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη υπό τις συνθήκες που περιγράφονται στο μήνυμα. Περιεχόμενη κλάση: PolicyCondition
PolicyResponse	PDM	*	Μήνυμα με τις ισχύουσες πολιτικές που είναι σχετικές με την οντότητα που τις ζήτησε και τις γενικές και ειδικές συνθήκες λειτουργίας. Περιεχόμενη κλάση: Policy
PolicyNotification	PDM	*	Ενημέρωση για νέες πολιτικές ή διαφοροποίηση αυτών που ισχύουν. Περιεχόμενη κλάση: Policy
PolicyNotificationAck	*	PDM	Επιβεβαίωση.

3.3.7 Μηνύματα σχετικά με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά

3.3.7.1 StartKnowledgeBuildingRequest

Το μήνυμα αυτό στέλνεται προς μια οντότητα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας (BIK) και περιέχει μια πρότυπη δομή (template) με βάση την οποία ζητείται να γίνει η αποθήκευση των δεδομένων και η μετέπειτα εξαγωγή των συμπερασμάτων. Η σχετική κλάση είναι η KnowledgeBaseTemplate η οποία συνήθως εξειδικεύεται σε άλλες κλάσεις που την κληρονομούν, ανάλογα με την μέθοδο που θα ακολουθηθεί για την δημιουργία της γνώσης.

3.3.7.2 StartKnowledgeBuildingResponse

Η οντότητα BIK απαντάει στο προηγούμενο μήνυμα παρέχοντας πληροφορίες κατ' αρχήν για την ταυτότητα του υπόβαθρου γνώσης η οποία θα πρέπει να αναφέρεται στη συνέχεια όταν κάτι είναι σχετικό με το συγκεκριμένο αίτημα οικοδόμησης γνώσης, και επίσης για το σημείο σύνδεσης (διεύθυνση IP και πόρτα) που θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση με δεδομένα εισόδου. Καθώς η αναμενόμενη ροή των δεδομένων είναι κατά κανόνα συνεχής και κατά συνέπεια ο όγκος τους μεγάλος, δεν χρησιμοποιείται η οντολογία και κάποιο αντίστοιχο μήνυμα, αλλά μια απευθείας δικτυακή σύνδεση, σύμφωνα με τη δομή που προτάθηκε με το αίτημα.

3.3.7.3 KnowledgeAcquisitionRequest

Με το μήνυμα αυτό μια οντότητα που έχει ξεκινήσει τη διαδικασία οικοδόμησης γνώσης με μια οντότητα BIK, ζητάει τις πληροφορίες που είναι σχετικές με κάποιες συγκεκριμένα από τις παραμέτρους που παρακολουθούνται και παίζουν ρόλο στην εξαγωγή της γνώσης. Γι' αυτό περιέχει στιγμιότυπα της κλάσης InputDataParameter καθώς και την ταυτότητα του αντίστοιχου υπόβαθρου γνώσης.

3.3.7.4 KnowledgeAcquisitionResponse

Στην απάντησή της η οντότητα BIK περιλαμβάνει τις εκτιμήσεις της για κάθε μια από τις πιθανές τιμές που σχετίζονται με τις παραμέτρους του αντίστοιχου αιτήματος, χρησιμοποιώντας στιγμιότυπα της κλάσης InputDataClass η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην υποενότητα 3.4.5.2.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας μηνυμάτων σχετικών με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά

Μήνυμα	Από	Προς	Παρατηρήσεις
StartKnowledgeBuildingRequest	*	BIK	Αίτημα δημιουργίας μιας βάσης γνώσης με συγκεκριμένες παραμέτρους προς παρακολούθηση και συνυπολογισμό για λογαριασμό κάποιας οντότητας. Περιεχόμενη κλάση: KnowledgeBaseTemplate

StartKnowledgeBuilding Response	BIK	*	Απόκριση σε ένα αίτημα δημιουργίας μιας βάσης γνώσης που περιέχει και απαραίτητες πληροφορίες για την συνέχεια της διαδικασίας. Περιεχόμενα πεδία: KnowledgeBaseID, host, port
KnowledgeAcquisition Request	*	BIK	Αίτημα ανάκτησης γνώσης από την βάση της οποίας αναφέρεται η ταυτότητα και με δεδομένες τις τιμές των παραμέτρων που περιέχονται. Περιεχόμενη κλάση: InputDataParameter
KnowledgeAcquisition Response	BIK	*	Απόκριση σε ένα αίτημα ανάκτησης γνώσης που περιέχει τις πιθανές τιμές της παραμέτρου με βάση τη μέχρι τώρα εμπειρία και τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισής τους σύμφωνα με τα δεδομένα του αντίστοιχου αιτήματος. Περιεχόμενη κλάση: InputDataClass

3.4 Περιεχόμενο των μηνυμάτων – έννοιες της οντολογίας

Παρακάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των βασικών εννοιών που απαιτείται να περιλαμβάνει η οντολογία, έτσι ώστε να είναι δυνατή η υποστήριξη της επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι έννοιες αυτές αποτελούν τα περιεχόμενα των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται κατά τη συνεργασία των οντοτήτων με στόχο την αποτελεσματική διαχείριση της δικτυακής υποδομής του παρόχου.

3.4.1 Έννοιες του τμήματος υπηρεσιών

3.4.1.1 BusinessLevelEntry

Η έννοια αυτή αποτελεί την περιγραφή εκ μέρους του παρόχου ενός νέου φορτίου κίνησης το οποίο θα κληθεί να εξυπηρετήσει. Τα βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται αφορούν στο συνολικό αριθμό των χρηστών, σε τυχόν γενικότερους στόχους σχετικούς με τον τρόπο εξυπηρέτησης, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας ή η μεγιστοποίηση του ρυθμού διεκπεραίωσης δεδομένων, στη γεωγραφική περιοχή όπου θα δημιουργηθεί η επιπλέον αυτή ζήτηση υπηρεσιών, αλλά και στο χρονικό διάστημα για το οποίο θα υπάρχει. Επίσης περιλαμβάνει μια λίστα από στιγμιότυπα της έννοιας GovApplication που περιγράφεται παρακάτω, μέσω των οποίων καθορίζεται λεπτομερώς η σύνθεση του εν λόγω φορτίου κίνησης.

3.4.1.2 GovApplication

Είναι μια δομημένη έννοια που περιλαμβάνει τον αναμενόμενο αριθμό χρηστών μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας ανά κλάση χρηστών στην οποία ανήκουν. Το βασικό περιεχόμενο της δηλαδή, εκτός από το αναγνωριστικό της υπηρεσίας, είναι μια λίστα από στιγμιότυπα της έννοιας GovUserClass, ένα για κάθε κλάση χρηστών της υπηρεσίας που αποτελεί μέρος του φορτίου κίνησης.

3.4.1.3 GovUserClass

Τα κύρια χαρακτηριστικά της έννοιας αυτής είναι ο αριθμός χρηστών μιας συγκεκριμένης κλάσης καθώς και τα επιτρεπόμενα επίπεδα ποιότητας στα οποία μπορεί να προσφερθεί η υπηρεσία με την οποία συνδέεται. Επίσης περιλαμβάνεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό της κλάσης χρηστών, αλλά και επιπλέον σχετικές πληροφορίες όπως π.χ. η κινητικότητα που εμφανίζουν οι χρήστες αυτής της κλάσης.

3.4.2 Έννοιες του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας

3.4.2.1 AdditionalLoadEntry

Με την έννοια AdditionalLoadEntry προσδιορίζεται το φορτίο κίνησης που χρειάζεται να εξυπηρετηθεί από τα στοιχεία δικτύου που βρίσκονται σε μια γεωγραφική περιοχή. Αποτελεί ουσιαστικά μια επεξεργασμένη μορφή της έννοιας BusinessLevelEntry μεταφρασμένης σε περισσότερο τεχνολογικούς όρους και λιγότερο επιχειρηματικούς. Έτσι σχετίζεται με την έννοια ApplicationLoad αντί με την έννοια GovApplication.

3.4.2.2 ElementContext

Τα δεδομένα της έννοιας αυτής περιγράφουν το φορτίο κίνησης που εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο στοιχείο δικτύου που καθορίζεται από ένα μοναδικό αναγνωριστικό. Περιλαμβάνει κυρίως μια λίστα από στιγμιότυπα της έννοιας ApplicationLoad. Σχετίζεται όμως και με την έννοια LoadLevelEstimation, η οποία συνδέει τα ορισμένα επίπεδα φορτίου με την πιθανότητα εμφάνισής τους σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα.

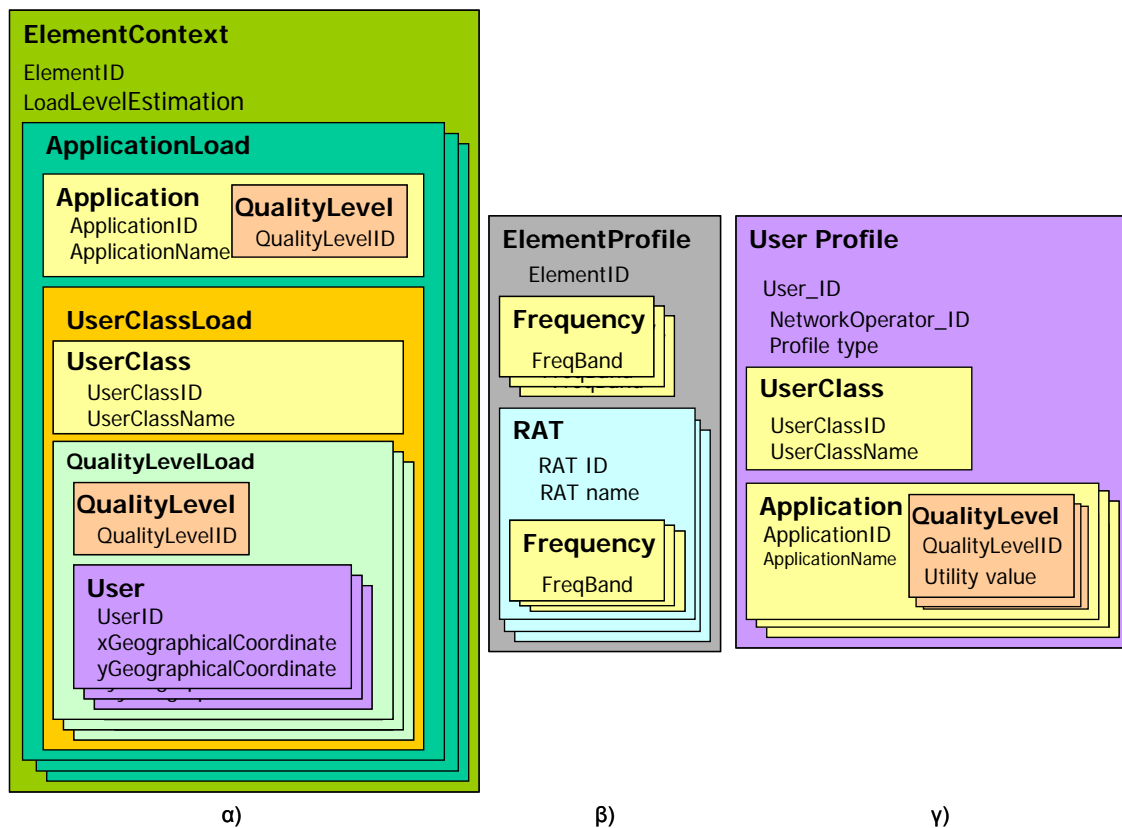
3.4.2.3 ApplicationLoad

Η δομή της έννοιας αυτής είναι αντίστοιχη της GovApplication. Αντί να σχετίζεται όμως με κάποια γεωγραφική περιοχή, σχετίζεται με συγκεκριμένο στοιχείο δικτύου, τα δε επίπεδα ποιότητας της υπηρεσίας που αφορά, ορίζονται με λειτουργικές παραμέτρους δικτύου και όχι απλά με κάποια φιλική προς τον άνθρωπο ονομασία και ένα αντίστοιχο αναγνωριστικό. Περιλαμβάνει μια λίστα από στιγμιότυπα της έννοιας UserClassLoad.

3.4.2.4 UserClassLoad

Σχετίζεται με μια έννοια ApplicationLoad και τα βασικά χαρακτηριστικά της αφορούν στον αριθμό των χρηστών της συγκεκριμένης κλάσης και στα επίπεδα ποιότητας που μπορούν να τους ανατεθούν. Κάθε άλλο γενικό χαρακτηριστικό της συγγενούς έννοιας

GovUserClass όπως η κινητικότητα, έχει ενσωματωθεί κατάλληλα στις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας.



Εικόνα 13: Παρουσίαση με γραφικό τρόπο των εννοιών α) ElementContext β) ElementProfile και γ) UserProfile

3.4.2.5 QualityLevelLoad

Στην περίπτωση που κάποιο στοιχείο δικτύου αναφέρει σε μια συνεργαζόμενη οντότητα το τρέχον φορτίο που αυτό εξυπηρετεί, η έννοια QualityLevelLoad περιέχει, εκτός από τις τιμές των παραμέτρων που προσδιορίζουν το συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας, και τον αριθμό των χρηστών της σχετιζόμενης κλάσης και της σχετιζόμενης υπηρεσίας.

3.4.2.6 UserProfile

Το προφίλ του χρήστη περιέχει κατά βάση στατικές πληροφορίες όπως την ταυτότητά του, την κλάση στην οποία ανήκει, τα στοιχεία των συνδρομών του, πιθανόν τον τύπο της συσκευής που χρησιμοποιεί και κατ' επέκταση τις δυνατότητες που έχει ως προς το να λάβει τις προσφερόμενες υπηρεσίες σε διάφορα επίπεδα ποιότητας, καθώς και πληροφορίες σχετικές με τις προτιμήσεις του και τυχόν πολιτικές που έχει ορίσει από την πλευρά του για την λήψη των υπηρεσιών.

3.4.2.7 ElementProfile

Το προφίλ ενός στοιχείου δικτύου περιλαμβάνει βέβαια την ταυτότητά του, τα γενικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του, όπως η τεχνολογία πρόσβασης, αλλά και τις ειδικές παραμέτρους που μπορούν να ρυθμιστούν και να καθορίσουν τη συμπεριφορά του. Επίσης μέσω του προφίλ παρέχεται πληροφόρηση για τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες και τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας.

3.4.3 Έννοιες του τμήματος ασύρματου δικτύου πρόσβασης

3.4.3.1 SolutionContext

Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται για να οριστεί το κομμάτι μιας γενικής λύσης, το οποίο αφορά ένα συγκεκριμένο στοιχείο δικτύου. Περιλαμβάνει τον αριθμό των χρηστών που ζητείται να εξυπηρετηθεί ανά κλάση και ανά υπηρεσία, όπως και τα πλαίσια μέσα στα οποία πρέπει να βρίσκεται η ποιότητα της κάθε προσφερόμενης υπηρεσίας. Κατά βάση περιέχει στιγμιότυπα της έννοιας ApplicationLoad.

3.4.3.2 ElementConfiguration

Τα δεδομένα της έννοιας ElementConfiguration προσδιορίζουν τις τιμές μίας ή περισσότερων παραμέτρων του προφίλ ενός στοιχείου δικτύου από αυτές που μπορούν να ρυθμιστούν, ώστε να προσαρμοστεί η λειτουργία του στοιχείου αυτού στις πολιτικές του συστήματος διαχείρισης. Για παράδειγμα μπορεί να περιοριστεί η χρήση ορισμένων επιπέδων ποιότητας, να αποκλειστεί η πρόσβαση κάποιων κλάσεων χρηστών σε συγκεκριμένες υπηρεσίες μέσω αυτού του στοιχείου δικτύου ή να αλλάξουν μερικές παράμετροι ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Η οντότητα EDC πρέπει να είναι σε θέση να διαβάσει τα περιεχόμενα της έννοιας αυτής και να εκτελέσει τις κατάλληλες εντολές στο στοιχείο δικτύου το οποίο διαχειρίζεται.

3.4.4 Έννοιες σχετικές με πολιτικές γενικά

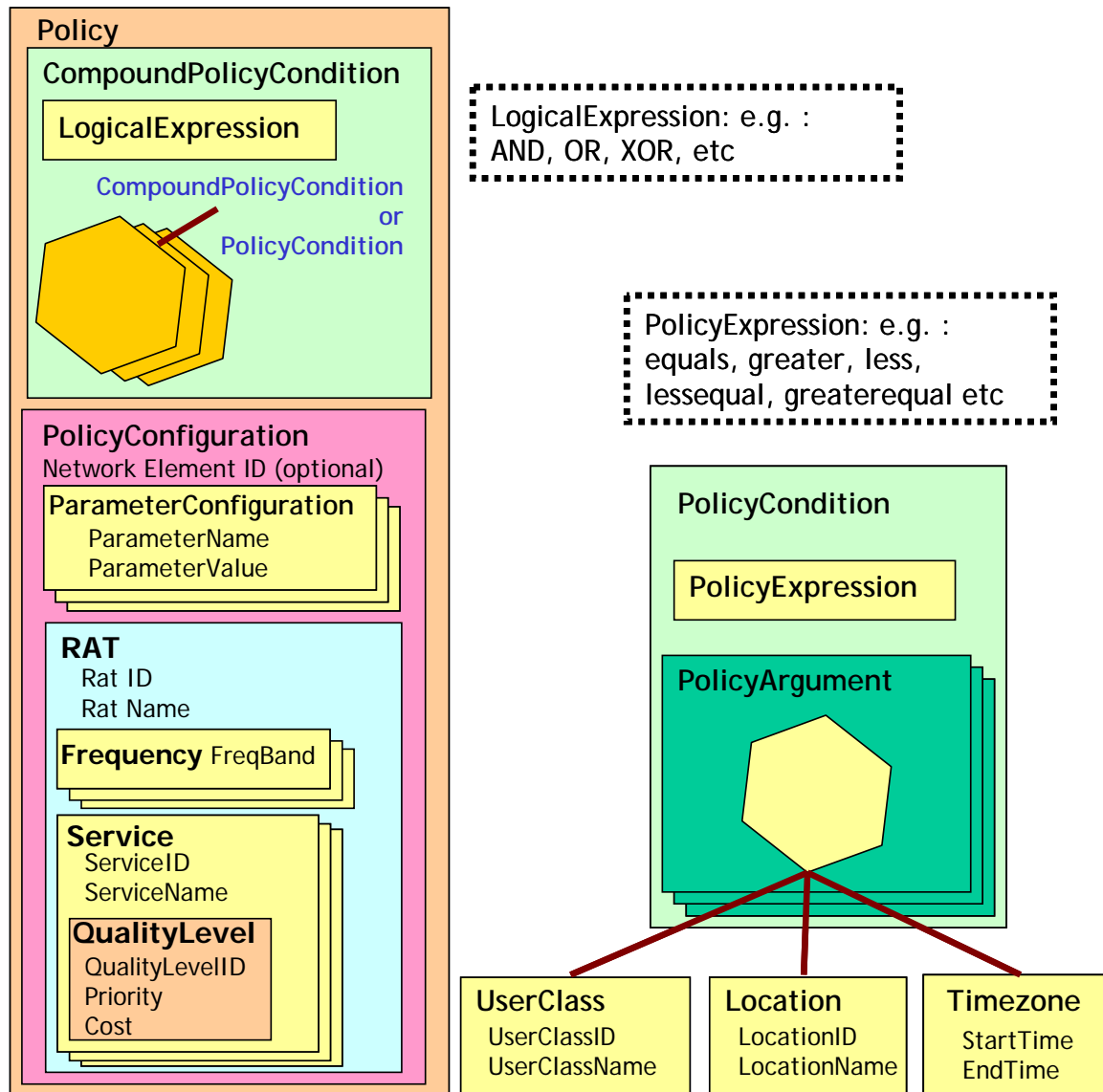
3.4.4.1 Policy

Με την έννοια Policy μπορεί να περιγραφεί μια πολιτική, είτε αυτή έχει οριστεί απευθείας από τον πάροχο μέσω της οντότητας H2N, είτε έχει παραχθεί αυτόματα από το σύστημα ως αποτέλεσμα κάποιας άλλης σχετικής πολιτικής που πιθανόν την υπερκαλύπτει, είναι γενικότερη από αυτή ή είναι υψηλότερου επιπέδου (higher level policy). Αποτελείται από δύο μέρη, ένα σύνολο από στιγμιότυπα της έννοιας PolicyCondition και ένα άλλο από στιγμιότυπα της έννοιας PolicyConfiguration, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

3.4.4.2 PolicyCondition

Η έννοια PolicyCondition χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάποια κατάσταση στο δικτυακό περιβάλλον, της οποίας η εμφάνιση ενεργοποιεί την αντίστοιχη πολιτική ή το αντίθετο. Υπάρχουν δύο άλλες έννοιες που την υλοποιούν, η SimplePolicyCondition και η CompoundPolicyCondition. Η δεύτερη έχει την διαφορά ότι μπορεί να περιέχει και πολλαπλά στιγμιότυπα της πρώτης, συνδυάζοντάς τα με τον λογικό τρόπο που υπαγορεύει

το σχετικό πεδίο της LogicalExpression, έτσι ώστε να είναι δυνατή η έκφραση οποιασδήποτε κατάστασης, όσο πολύπλοκη και αν είναι. Η δε έννοια SimplePolicyCondition περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στιγμιότυπα της έννοιας PolicyArgument το καθένα από τα οποία συσχετίζεται με τα υπόλοιπα σύμφωνα με την τιμή του πεδίου PolicyExpression.



Εικόνα 14: Παρουσίαση της έννοιας Policy με γραφικό τρόπο

3.4.4.3 PolicyArgument

Η έννοια αυτή είναι το δομικό στοιχείο από το οποίο συντίθεται μια έννοια PolicyCondition και εξειδικεύεται ανάλογα με την περίπτωση. Για παράδειγμα αναφέρονται η έννοια Location που περιγράφει μια γεωγραφική περιοχή, η έννοια Timezone που δηλώνει ένα χρονικό διάστημα, ή η έννοια UC που αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη κλάση χρηστών στην οποία θα αφορά η πολιτική.

3.4.4.4 PolicyConfiguration

Κάθε πολιτική περιέχει και κάποιες ρυθμίσεις οι οποίες θα πρέπει να εφαρμοστούν, είτε επακριβώς, είτε μέσα σε κάποια αποδεκτά πλαίσια. Η PolicyConfiguration αποτελεί μια σύνθετη έννοια τα δεδομένα της οποίας συγκεκριμενοποιούν τους περιορισμούς που τίθενται σε ισχύ με την ενεργοποίηση της αντίστοιχης πολιτικής. Η δομή της έννοιας αυτής περιέχει πληροφορίες για την προτεραιότητα και το κόστος κάθε επιτρεπτού επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας, ανά διαθέσιμη υπηρεσία και ανά τεχνολογία πρόσβασης. Παράλληλα όμως μπορεί να προσδιορίζει και άλλες παραμέτρους, όπως οι συχνότητες λειτουργίας.

3.4.4.5 ParameterConfiguration

Η έννοια αυτή περιγράφει με γενικό τρόπο μια οποιαδήποτε παράμετρο η οποία σχετίζεται με ένα χαρακτηριστικό μιας οντότητας ή ενός στοιχείου δικτύου και προσδιορίζει και την τιμή που πρέπει να έχει σύμφωνα με την πολιτική στην οποία περιλαμβάνεται. Κατά βάση περιέχει πεδία για το όνομα και την τιμή της παραμέτρου.

Η σχέση μεταξύ των εννοιών των πέντε προηγούμενων υποενοτήτων οι οποίες σχετίζονται με τις πολιτικές γενικά, φαίνεται και γραφικά στην Εικόνα 14.

3.4.5 Έννοιες σχετικές με την οικοδόμηση και την ανάκτηση γνώσης γενικά

3.4.5.1 KnowledgeBaseTemplate

Η γνώση σε κάθε περίπτωση αφορά στην τιμή μιας ή περισσότερων παραμέτρων και περιστρέφεται γύρω από τις τιμές κάποιων άλλων παραμέτρων, οι οποίες θεωρούνται γνωστές. Για την ανάπτυξη λοιπόν μιας βάσης γνώσης χρειάζεται να προσδιοριστεί αφενός μεν η ομάδα των παραμέτρων που μας ενδιαφέρει να μάθουμε τις τιμές τους, και αφετέρου η ομάδα των παραμέτρων των οποίων οι τιμές είναι γνωστές και από τις οποίες πιθανόν εξαρτώνται οι τιμές των παραμέτρων της πρώτης ομάδας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα στιγμιότυπο της έννοιας KnowledgeBaseTemplate, το οποίο περιέχει ένα σύνολο από στιγμιότυπα της έννοιας InputDataClass, τα οποία αντιπροσωπεύουν την πρώτη ομάδα που αναφέρθηκε παραπάνω, και ένα σύνολο από στιγμιότυπα της έννοιας InputDataParameter, τα οποία σχηματίζουν τη δεύτερη ομάδα παραμέτρων. Να σημειωθεί ότι όταν δημιουργηθεί μια βάση γνώσης, τις αποδίδεται από την οντότητα BIK μια μοναδική ταυτότητα μέσω της οποίας γίνονται κατόπιν τόσο τα αιτήματα για ανάκτηση γνώσης από αυτή, όσο και η αποστολή και καταχώρηση των σχετικών δεδομένων, δηλαδή των τιμών των παραμέτρων των δύο ομάδων.

3.4.5.2 InputDataClass

Η έννοια αυτή σχετίζεται με μια παράμετρο για την οποία ζητείται η οικοδόμηση γνώσης και συχνά εξειδικεύεται με κάποια άλλη που την κληρονομεί και περιέχει εκτός από το όνομα και την ταυτότητά της και άλλες επιπλέον σχετικές πληροφορίες όπως την πιθανότητα εμφάνισής της. Για παράδειγμα ένα στιγμιότυπο της έννοιας αυτής μπορεί να φανερώνει την πιθανότητα το φορτίο σε ένα στοιχείο δικτύου και υπό συγκεκριμένες συνθήκες, στοιχεία που έχουν προσδιοριστεί προηγουμένως με το αντίστοιχο αίτημα

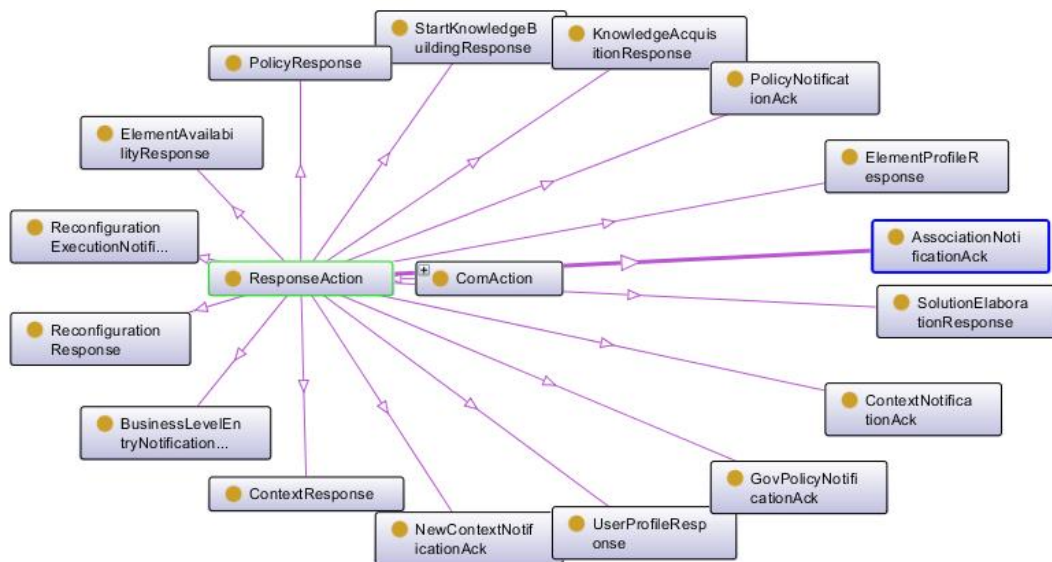
ανάκτησης γνώσης προς την οντότητα BIK, να είναι ένα συγκεκριμένο ποσοστό της μέγιστης χωρητικότητάς του.

3.4.5.3 InputDataParameter

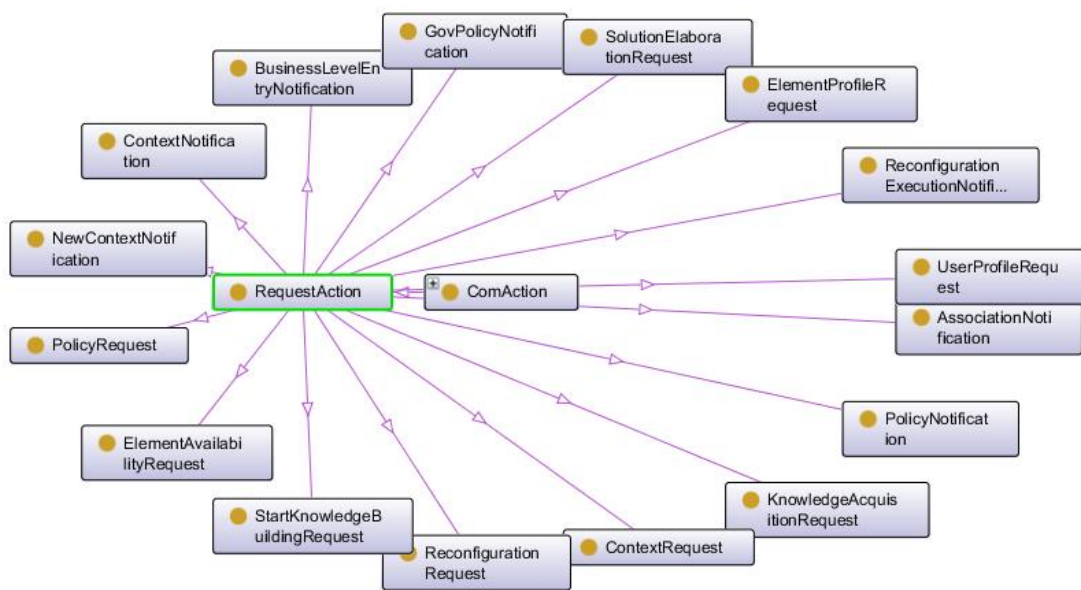
Με την έννοια αυτή περιγράφεται με γενικό τρόπο μια παράμετρος του περιβάλλοντος η οποία είναι γνωστή κάθε φορά και η οποία πιθανόν επηρεάζει την τιμή μιας από τις παραμέτρους των οποίων τις τιμές θέλει να μάθει το σύστημα.

3.5 Γραφική αναπαράσταση της προτεινόμενης οντολογίας

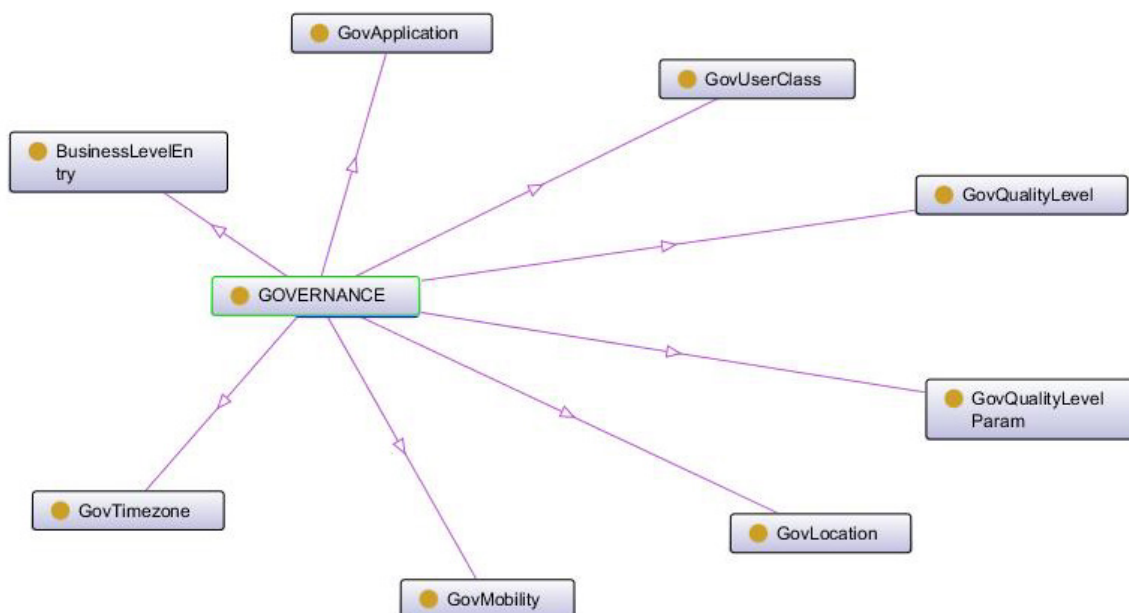
Στις παρακάτω εικόνες αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο οι έννοιες της προτεινόμενης οντολογίας που περιγράφονται στις προηγούμενες υποενότητες καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους.



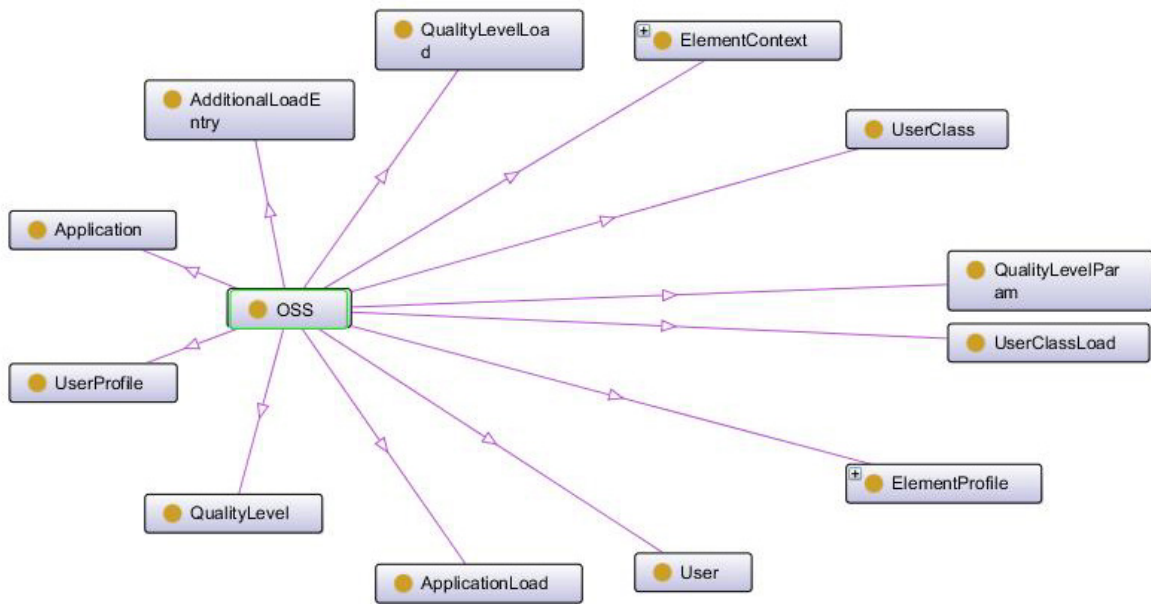
Εικόνα 15: Οι έννοιες της οντολογίας που αποτελούν μηνύματα αίτησης



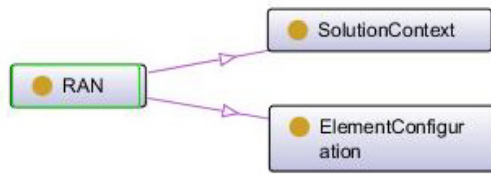
Εικόνα 16: Οι έννοιες της οντολογίας που αποτελούν μηνύματα απόκρισης ή επιβεβαίωσης



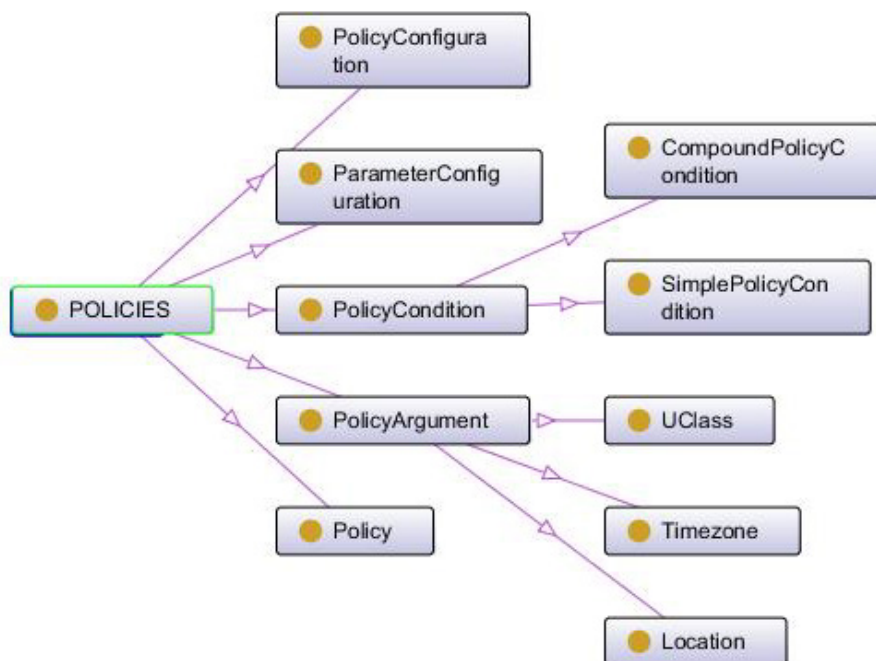
Εικόνα 17: Έννοιες του τμήματος υπηρεσιών



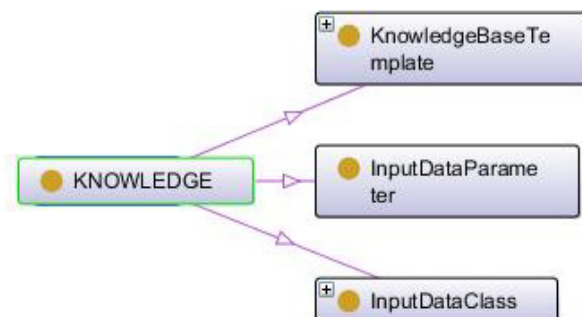
Εικόνα 18: Έννοιες του τμήματος διαχείρισης και υποστήριξης λειτουργίας



Εικόνα 19: Έννοιες του τμήματος ασύρματης πρόσβασης



Εικόνα 20: Έννοιες σχετικές με πολιτικές γενικά



Εικόνα 21: Έννοιες σχετικές με την οικοδόμηση και ανάκτηση γνώσης

3.6 Παραδείγματα εφαρμογής της οντολογίας

3.6.1 Αίτημα εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου

Παρακάτω παρατίθεται ένα κομμάτι κώδικα της οντολογίας, όπως περιλαμβάνεται στο αντίστοιχο μοντέλο σε μορφή OWL [30], το οποίο προέκυψε με τη βοήθεια του εργαλείου λογισμικού Protégé [41] που χρησιμοποιήθηκε για τον ορισμό της οντολογίας. Περισσότερα στοιχεία για την μέθοδο εργασίας με το Protégé παρέχονται στο 5^ο κεφάλαιο, το οποίο σχετίζεται με την υλοποίηση ενός πρωτότυπου συστήματος. Συγκεκριμένα, το εν λόγω κομμάτι κώδικα αφορά σε ένα αίτημα εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου, όπως αυτό που αναφέρεται στο παράδειγμα της παραγράφου 3.3.1.

```
<BusinessLevelEntry rdf:about="BLEinstance">
  <hasNumberOfUsers rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >50</hasNumberOfUsers>
  <hasGovApplication>
    <GovApplication rdf:about="VidStrInstance">
      <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
      >Video Streaming</hasFriendlyName>
      <hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >50</hasNumberOfUsers>
      <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >2</hasID>
      <hasGovUserClass>
        <GovUserClass rdf:about="UCGinstance">
          <hasGovQualityLevel>
            <GovQualityLevel rdf:about="QLGinstance">
              <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
              >Gold</hasFriendlyName>
              <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
              >1</hasID>
            </GovQualityLevel>
          </hasGovQualityLevel>
          <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
          >1</hasID>
          <hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
          >20</hasNumberOfUsers>
          <hasGovMobility>
```

```

    <GovMobility rdf:about="MobStatInstance">
      <hasType
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</hasType>
      <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</hasID>
      <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
      >Static</hasFriendlyName>
    </GovMobility>
  </hasGovMobility>
  <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >Gold</hasFriendlyName>
</GovUserClass>
</hasGovUserClass>
<hasGovUserClass>
  <GovUserClass rdf:about="UCNinstance">
    <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >4</hasID>
    <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Normal</hasFriendlyName>
    <hasGovMobility rdf:resource="MobStatInstance"/>
    <hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >30</hasNumberOfUsers>
    <hasGovQualityLevel>
      <GovQualityLevel rdf:about="QLSinstance">
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >2</hasID>
        <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
        >Silver</hasFriendlyName>
      </GovQualityLevel>
    </hasGovQualityLevel>
    <hasGovQualityLevel>
      <GovQualityLevel rdf:about="QLNinstance">
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >3</hasID>

```

```

    <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Normal</hasFriendlyName>
  </GovQualityLevel>
</hasGovQualityLevel>
</GovUserClass>
</hasGovUserClass>
</GovApplication>
</hasGovApplication>
<hasTrafficPercentage
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
  >50.0</hasTrafficPercentage>
<hasGovTimezone>
  <GovTimezone rdf:about="TZNinstance">
    <hasEndTime rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >600</hasEndTime>
    <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Noon</hasFriendlyName>
    <hasStartTime
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >300</hasStartTime>
  </GovTimezone>
</hasGovTimezone>
<hasGovLocation>
  <GovLocation rdf:about="LocCCinstance">
    <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >1</hasID>
    <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >100</hasYGeographicalCoordinate>
    <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >City_Center</hasFriendlyName>
    <hasRange rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >150</hasRange>
    <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >120</hasXGeographicalCoordinate>
  </GovLocation>
</hasGovLocation>
```

</BusinessLevelEntry>

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα φαίνεται η δομή της κλάσης *BusinessLevelEntry*, η οποία περιγράφηκε στην υποενότητα 3.4.1.1. και περιλαμβάνει τα δεδομένα που σχετίζονται με το νέο φορτίο κίνησης που θα κληθεί να εξυπηρετήσει ο πάροχος. Έτσι, κατ' αρχήν με την παράμετρο *hasNumberOfUsers* προσδιορίζεται ο συνολικός αριθμός χρηστών που περιέχεται στο αίτημα και ο οποίος είναι στην περίπτωση του παραδείγματος 50. Στη συνέχεια οι χρήστες αυτοί αναλύονται ανά εφαρμογή, κλάση χρηστών και αποδεκτά επίπεδα ποιότητας, όπως φαίνεται στα περιεχόμενα της παραμέτρου *hasGovApplication* και των σχετικών στιγμιότυπων, *VidStrInstance* της κλάσης *GovApplication*, *UCGInstance* και *UCNInstance* της κλάσης *GovUserClass*, όπως και των *QLGInstance*, *QLSInstance*, *QLNInstance* της κλάσης *GovQualityLevel*. Με την δε παράμετρο *hasGovMobility* που υπάρχει στην κλάση *GovUserClass*, δίνεται μια εκτίμηση της κινητικότητας των χρηστών της κλάσης, η οποία εκφράζεται με το στιγμιότυπο *MobStatInstance* στην περίπτωση που εξετάζεται. Επίσης, η παράμετρος *hasGovTimezone* δηλώνει το χρονικό διάστημα της μέρας για το οποίο ισχύει το αίτημα, μέσω του στιγμιότυπου *TZNInstance* με φιλική ονομασία *Noon* (παράμετρος *hasFriendlyName*). Τέλος, με την παράμετρο *hasGovLocation* προσδιορίζεται η γεωγραφική περιοχή που αναμένεται να εμφανιστεί το φορτίο και η οποία στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η *LocCCInstance*. Η περιοχή αυτή έχει φιλική ονομασία *City_Center*, συντεταγμένες κέντρου *120* και *100* (παράμετροι *hasXGeographicalCoordinate* και *hasYGeographicalCoordinate*) και ακτίνα *150* (παράμετρος *hasRange*).

3.6.2 Πολιτική δικτύου

Ένα άλλο ενδιαφέρον κομμάτι είναι και αυτό της κλάσης *Policy* η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.4.4. Ένα αντίστοιχο παράδειγμα κώδικα είναι το ακόλουθο:

```
<Policy rdf:about="POLICYinstance">
  <PolicyConfigInfo>
    <PolicyConfiguration rdf:about="Policy_config">
      <PolicyRATInfo>
        <PolicyRAT rdf:about="Policy_RAT">
          <RAT_ID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">
            >4</RAT_ID>
          <RATName rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
            >LTE</RATName>
        </PolicyRAT>
      </PolicyRATInfo>
    <ParamConfigInfo>
      <ParamConfig rdf:about="High_level_goal">
        <ParamValue rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
```

```
>MAX_THROUGHPUT</ParamValue>
<ParamName rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>GOAL</ParamName>
</ParamConfig>
</ParamConfigInfo>
</PolicyConfiguration>
</PolicyConfigInfo>
<PolicyConditionInfo>
<CompoundPolicyCondition rdf:about="Policy_Condition">
<LogicalExpression
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>AND</LogicalExpression>
<PolicyConditions>
<SimplePolicyCondition rdf:about="Policy_TZ">
<PolicyExpression
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>EQUALS</PolicyExpression>
<PolicyArgumentInfo>
<Timezone rdf:about="Noon">
<EndTime rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>600</EndTime>
<StartTime rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
>300</StartTime>
</Timezone>
</PolicyArgumentInfo>
</SimplePolicyCondition>
</PolicyConditions>
<PolicyConditions>
<SimplePolicyCondition rdf:about="Policy_LOC">
<PolicyArgumentInfo>
<Location rdf:about="CityCenter">
<Location_ID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>1</Location_ID>
<xGeographicalCoordinate
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>120</xGeographicalCoordinate>
<yGeographicalCoordinate
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>100</yGeographicalCoordinate>
<LocationName
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
```

```

    >City_Center</LocationName>
    <Range rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >150</Range>
  </Location>
</PolicyArgumentInfo>
<PolicyExpression
  rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
  >EQUALS</PolicyExpression>
</SimplePolicyCondition>
</PolicyConditions>
</CompoundPolicyCondition>
</PolicyConditionInfo>
</Policy>

```

Σε αυτό φαίνεται η δομή μιας πολιτικής σε υψηλό επίπεδο, όπως μπορεί να καταλάβει κανείς από το περιεχόμενο των κλάσεων *PolicyConditionInfo* και *PolicyConfigInfo* που περιλαμβάνει. Συγκεκριμένα, η παράμετρος *PolicyRATInfo* στο παράδειγμα αυτό έχει ένα στιγμιότυπο κλάσης που αντιστοιχεί στην τεχνολογία *LTE* με *RAT_ID* ίσο με 4, ενώ η παράμετρος *ParamConfigInfo* σχετίζεται με μια μόνο παράμετρο διαμόρφωσης, την *GOAL*, με τιμή *MAX_THROUGHPUT*, η οποία δηλώνει ότι όταν εφαρμόζεται αυτή η πολιτική, ο στόχος του συστήματος είναι η μεγιστοποίηση της διέλευσης στο δίκτυο *LTE*. Η ενεργοποίηση της εν λόγω πολιτικής γίνεται όταν ισχύουν όσα ορίζονται στο δεύτερο κομμάτι της, στην κλάση *PolicyCondition*. Δηλαδή, σύμφωνα με το παράδειγμα, όταν πρόκειται για το χρονικό διάστημα που αναφέρεται ως *Noon* (στιγμιότυπο της κλάσης *Timezone*) και για την γεωγραφική περιοχή που ορίζεται ως *City_Center* με το αντίστοιχο στιγμιότυπο της κλάσης *Location*. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση και των δύο αυτών προϋποθέσεων με τις δικτυακές συνθήκες που ενεργοποιούν την πολιτική, καθορίζεται μέσω της παραμέτρου *PolicyExpression* που και στις δύο περιπτώσεις του παραδείγματος είναι η ισότητα (λεκτικό *EQUALS*). Η δε σύνδεση των διαφόρων προϋποθέσεων μεταξύ τους δηλώνεται από το λεκτικό *AND*.

3.6.3 Προφίλ και φορτίο κίνησης ενός στοιχείου δικτύου

Στις παρακάτω υποενότητες παρατίθεται ο κώδικας που σχετίζεται με την περιγραφή των κλάσεων *ElementProfile* και *ElementContext* οι οποίες παρουσιάστηκαν στις υποενότητες 3.4.2.7 και 3.4.2.2 αντίστοιχα. Με τις κλάσεις αυτές δίνονται πληροφορίες για ένα στοιχείο δικτύου, όπως ένας σταθμός βάσης, τόσο για το προφίλ του, όσο και για το τρέχον φορτίο κίνησης που εξυπηρετεί.

3.6.3.1 Προφίλ ενός σταθμού βάσης

```

<RANElement rdf:ID="BS_16_PROFILE">
  <hasPossibleOperatingRAT>
    <RAT rdf:ID="RAT_LTE">
      <hasName rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"

```

```

>LTE</hasName>
<hasPossibleOperatingFrequency>
  <Frequency rdf:ID="LTE_800">
    <band rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >20</band>
    <freq rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >800</freq>
  </Frequency>
</hasPossibleOperatingFrequency>
<hasPossibleOperatingFrequency>
  <Frequency rdf:ID="LTE_1800">
    <freq rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1800</freq>
    <band rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >3</band>
  </Frequency>
</hasPossibleOperatingFrequency>
<hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>4</hasID>
<hasPossibleOperatingFrequency>
  <Frequency rdf:ID="LTE_2600">
    <freq rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >2600</freq>
    <band rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >7</band>
  </Frequency>
</hasPossibleOperatingFrequency>
</RAT>
</hasPossibleOperatingRAT>
<hasPossibleOperatingFrequency rdf:resource="#LTE_800"/>
<hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
>16</hasID>
</RANElement>

```

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς διαβάζοντας το παραπάνω κομμάτι κώδικα, αυτό αναφέρεται σε ένα ασύρματο στοιχείο δικτύου, καθώς περιγράφεται από ένα στιγμιότυπο της κλάσης *RANElement*, το οποίο συγκεκριμένα μπορεί να λειτουργήσει σε μία τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης, την LTE, όπως δηλώνει το περιεχόμενο της παραμέτρου *hasPossibleOperatingRAT*. Μάλιστα, η παράμετρος *hasPossibleOperatingFrequency* καθορίζει ότι από τις τρεις περιοχές συχνοτήτων στις οποίες αναφέρεται η τεχνολογία LTE,

αυτός ο σταθμός βάσης, με αναγνωριστικό τον αριθμό 16, μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο την μια, αυτή που ορίζεται στον κώδικα OWL ως *LTE_800*.

3.6.3.2 Φορτίο κίνησης ενός σταθμού βάσης

```

<RANElementContext rdf:ID="BS_16_CONTEXT">
  <hasApplicationLoad>
    <ApplicationLoad rdf:ID="VideoConf_BS_16">
      <isOfApplication>
        <Application rdf:ID="VideoStreamingInstance">
          <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
          >VideoStreaming</hasFriendlyName>
          <isOfferedAtQualityLevels>
            <QualityLevel rdf:ID="VeryHighQLinstance">
              <hasQualityLevelParam>
                <QualityLevelParam rdf:ID="RequiredBandwidth256instance">
                  <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                    >3</hasID>
                  <hasValue
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
                    >256.0</hasValue>
                  <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                    >RequiredBandwidth256</hasFriendlyName>
                  <hasUnit
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                    >Kbps</hasUnit>
                </QualityLevelParam>
              </hasQualityLevelParam>
              <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                >BW_256</hasFriendlyName>
              <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >1</hasID>
            </QualityLevel>
          </isOfferedAtQualityLevels>
          <isOfferedAtQualityLevels>
            <QualityLevel rdf:ID="BasicQLinstance">
              <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                >BW_64</hasFriendlyName>

```



```

    <hasQualityLevelParam>
      <QualityLevelParam rdf:ID="RequiredBandwidth64instance">
        <hasValue
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
          >64.0</hasValue>
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
          >1</hasID>
        <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
          >RequiredBandwidth64</hasFriendlyName>
        <hasUnit
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
          >Kbps</hasUnit>
        </QualityLevelParam>
      </hasQualityLevelParam>
      <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >3</hasID>
    </QualityLevel>
  </isOfferedAtQualityLevels>
  <isOfferedAtQualityLevels rdf:resource="#HighQLinstance"/>
  <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >2</hasID>
</Application>
</isOfApplication>
<hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >9</hasNumberOfUsers>
<hasUserClassLoad>
  <UserClassLoad rdf:ID="NormalUCLinstance">
    <hasQualityLevelLoad>
      <QualityLevelLoad rdf:ID="NormalUCQLinstance">
        <isOfQualityLevel rdf:resource="#BasicQLinstance"/>
        <hasSession>
          <Session rdf:ID="Session8instance">
            <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
              >8</hasID>
            <isOfUser>
              <User rdf:ID="User8instance">
                <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"

```

```

        >80</hasYGeographicalCoordinate>
        <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >80</hasXGeographicalCoordinate>
        <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >8</hasID>
    </User>
    </isOfUser>
</Session>
</hasSession>
<hasSession>
    <Session rdf:ID="Session7instance">
    <isOfUser>
        <User rdf:ID="User7instance">
            <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >70</hasXGeographicalCoordinate>
            <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >70</hasYGeographicalCoordinate>
            <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >7</hasID>
        </User>
    </isOfUser>
    <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >7</hasID>
</Session>
</hasSession>
<hasSession>
    <Session rdf:ID="Session9instance">
    <isOfUser>
        <User rdf:ID="User9instance">
            <hasXGeographicalCoordinate rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">90</hasXGeographicalCoordinate>
            <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >9</hasID>
            <hasYGeographicalCoordinate rdf:datatype=

```

```

"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">90</hasYGeographicalCoordinate>
    </User>
  </isOfUser>
  <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >9</hasID>
  </Session>
</hasSession>
</QualityLevelLoad>
</hasQualityLevelLoad>
<hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >3</hasNumberOfUsers>
  <isOfUserClass>
    <UserClass rdf:ID="NormalUCinstance">
      <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >3</hasID>
      <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
        >Normal</hasFriendlyName>
    </UserClass>
  </isOfUserClass>
</UserClassLoad>
</hasUserClassLoad>
<hasUserClassLoad>
  <UserClassLoad rdf:ID="SilverUCLinstance">
    <isOfUserClass>
      <UserClass rdf:ID="SilverUCinstance">
        <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
          >Silver</hasFriendlyName>
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
          >2</hasID>
      </UserClass>
    </isOfUserClass>
  <hasQualityLevelLoad>
    <QualityLevelLoad rdf:ID="SilverUCQLLinstance">
      <hasSession>
        <Session rdf:ID="Session5instance">
          <isOfUser>

```

```

        <User rdf:ID="User5instance">
            <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >5</hasID>
            <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >50</hasXGeographicalCoordinate>
            <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >50</hasYGeographicalCoordinate>
        </User>
    </isOfUser>
    <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >5</hasID>
    </Session>
</hasSession>
<hasSession>
    <Session rdf:ID="Session6instance">
        <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >6</hasID>
        <isOfUser>
            <User rdf:ID="User6instance">
                <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                    >60</hasYGeographicalCoordinate>
                <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                    >6</hasID>
                <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                    >60</hasXGeographicalCoordinate>
            </User>
        </isOfUser>
    </Session>
</hasSession>
<isOfQualityLevel>
    <QualityLevel rdf:ID="HighQLinstance">
        <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
            >BW_128</hasFriendlyName>

```

```

        <hasQualityLevelParam>
            <QualityLevelParam
rdf:ID="RequiredBandwidth128instance">
                <hasValue
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float"
                >128.0</hasValue>
                <hasUnit
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                >Kbps</hasUnit>
                <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >2</hasID>
                <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
                >RequiredBandwidth128</hasFriendlyName>
            </QualityLevelParam>
        </hasQualityLevelParam>
        <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >2</hasID>
    </QualityLevel>
</isOfQualityLevel>
</QualityLevelLoad>
</hasQualityLevelLoad>
    <hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >2</hasNumberOfUsers>
</UserClassLoad>
</hasUserClassLoad>
    <hasUserClassLoad>
        <UserClassLoad rdf:ID="GoldUCLinstance">
            <hasNumberOfUsers
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >4</hasNumberOfUsers>
            <hasQualityLevelLoad>
                <QualityLevelLoad rdf:ID="GoldUCQLInstance">
                    <hasSession>
                        <Session rdf:ID="Session4instance">
                            <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                            >4</hasID>
                            <isOfUser>

```

```

        <User rdf:ID="User4instance">
            <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >4</hasID>
            <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >40</hasYGeographicalCoordinate>
            <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
            >40</hasXGeographicalCoordinate>
        </User>
    </isOfUser>
</Session>
</hasSession>
<hasSession>
    <Session rdf:ID="Session3instance">
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >3</hasID>
        <isOfUser>
            <User rdf:ID="User3instance">
                <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >3</hasID>
                <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >30</hasXGeographicalCoordinate>
                <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >30</hasYGeographicalCoordinate>
            </User>
        </isOfUser>
    </Session>
</hasSession>
<isOfQualityLevel rdf:resource="#VeryHighQLinstance"/>
<hasSession>
    <Session rdf:ID="Session1instance">
        <isOfUser>
            <User rdf:ID="User1instance">
                <hasYGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
                >10</hasYGeographicalCoordinate>

```

```

    <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1</hasID>
    <hasXGeographicalCoordinate
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >10</hasXGeographicalCoordinate>
  </User>
</isOfUser>
  <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
  >1</hasID>
</Session>
</hasSession>
<hasSession>
  <Session rdf:ID="Session2instance">
    <isOfUser>
      <User rdf:ID="User2instance">
        <hasYGeographicalCoordinate rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">20</hasYGeographicalCoordinate>
        <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >2</hasID>
        <hasXGeographicalCoordinate rdf:datatype=
"http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">20</hasXGeographicalCoordinate>
      </User>
    </isOfUser>
    <hasID
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >2</hasID>
    </Session>
  </hasSession>
</QualityLevelLoad>
</hasQualityLevelLoad>
<isOfUserClass>
  <UserClass rdf:ID="GoldUCinstance">
    <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
    >1</hasID>
    <hasFriendlyName
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >Gold</hasFriendlyName>
  </UserClass>
</isOfUserClass>

```

```

        </UserClass>
        </isOfUserClass>
        </UserClassLoad>
        </hasUserClassLoad>
        </ApplicationLoad>
        </hasApplicationLoad>
        <hasID rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
        >16</hasID>
    </RANElementContext>

```

Στο κομμάτι κώδικα αυτής της υποενότητας φαίνεται κυρίως η περιγραφή του φορτίου κίνησης ενός σταθμού βάσης, αυτού με αναγνωριστικό τον αριθμό 16, η οποία βασίζεται σε ένα στιγμιότυπο της κλάσης *RANElementContext*. Με λίγη επιμονή, μπορεί κανείς να ξεχωρίσει ένα στιγμιότυπο της κλάσης *ApplicationLoad*, η οποία περιγράφει το φορτίο που παράγεται από την χρήση μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, *VideoStreaming* στην παραπάνω περίπτωση, καθώς και στιγμιότυπα των κλάσεων *UserClassLoad*, που σχετίζονται με το φορτίο ανά κλάση χρηστών, και *QualityLevelLoad*, που περιγράφουν το φορτίο ανά επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που έχει ανατεθεί σε κάθε χρήστη. Επίσης, υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για τους χρήστες, μέσω στιγμιότυπων της κλάσης *User*, και των αντίστοιχων συνόδων που αυτοί έχουν ξεκινήσει και περιγράφονται από στιγμιότυπα της κλάσης *Session*. Στο παραπάνω κομμάτι κώδικα διακρίνονται τρεις κλάσεις χρηστών με ονόματα *Gold*, *Silver* και *Normal*, όπως δηλώνεται στη σχετική παράμετρο *hasFriendlyName* της κλάσης *UserClass*.

Το τελευταίο αυτό παράδειγμα είναι ήδη αρκετά εκτεταμένο αν και για λόγους παρουσίασης περιλαμβάνει ελάχιστους χρήστες από μία και μόνο υπηρεσία. Από αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό, ότι η περιγραφή του φορτίου κίνησης, όπως και άλλων χαρακτηριστικών και καταστάσεων του ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος, μέσω της προτεινόμενης οντολογίας, δεν απευθύνεται ουσιαστικά στον ανθρώπινο παρατηρητή, αλλά σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα. Οι σχετιζόμενες γραφικές διεπαφές είναι αυτές που θα αναλάβουν την εύχρηστη και αποδοτική παρουσίαση των πληροφοριών από το σύστημα διαχείρισης με φιλικό τρόπο προς τον χρήστη.

Παραπομπές

- [28] T.R.Gruber, "Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing", International Journal of Human-Computer Studies, vol. 43, issues 4-5, pp. 907-928, November 1995
- [29] Ορισμός λήμματος Ontology, "Encyclopedia of Database Systems", Liu, Ling; Özsu, M. Tamer (eds.), ISBN 978-0-387-35544-3, Springer-Verlag, 2009
- [30] John F. Sowa, "Knowledge Representation: Logical, Philosophical and Computational Foundations", ISBN 0-534-94965-7, Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA, 2000
- [31] Mike Uschold and Martin King, "Towards a Methodology for Building Ontologies", in proc. of Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montreal, Quebec, Canada August 20-25, 1995
- [32] V. Stavroulaki, N. Koutsouris, K. Tsagkaris, P. Demestichas, "A platform for the integration and management of cognitive systems in future networks", In Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2010), Miami, USA, December 2010

Κεφάλαιο 4

Βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων δικτύων πέραν της τρίτης γενιάς

4.1 Εισαγωγή

Ένα από τα τακτικά και ταυτόχρονα πολύ σημαντικά προβλήματα που καλείται να λύσει ένα σύστημα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών, είναι αυτό της βελτιστοποίησης της χρήσης των πόρων που διαθέτουν οι υποδομές που διαχειρίζεται. Το πρόβλημα τίθεται συχνά λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας που εμφανίζει ένα ασύρματο ετερογενές περιβάλλον που περιλαμβάνει δίκτυα πέραν της τρίτης γενιάς και έχει αναπτυχθεί με σκοπό να εξυπηρετεί μεγάλο αριθμό χρηστών. Η βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων από την άποψη της διαχείρισης δικτύων αυξάνει την απόδοση της επένδυσης, ενώ από την άποψη της παροχής υπηρεσιών αυξάνει την ικανοποίηση των χρηστών και καθιστά πιο θετική την εμπειρία τους. Γενικότερα, από κάθε άποψη βοηθά στην άνοδο των εσόδων και τη μεγιστοποίηση του κέρδους, κάτι που είναι και ο τελικός στόχος κάθε επιχείρησης.

Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος είναι κυρίως υπόθεση κάποιου υπολογιστικού συστήματος, καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη και να συνυπολογιστούν πάρα πολλές παράμετροι. Ακόμα και σήμερα όμως, ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην διαδικασία βελτιστοποίησης, καθώς πολλά πράγματα δεν γίνονται αυτόματα, με αποτέλεσμα να συμβαίνουν λάθη και καθυστερήσεις. Ένας από τους βασικότερους λόγους για τον οποίο δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης αυτοματοποίηση είναι ότι τα σημερινά συστήματα διαχείρισης πέρα από τους τεχνολογικούς στόχους μιας βελτιστοποίησης, δεν μπορούν να αντιληφθούν τους γενικότερους στόχους που θέτει η διοίκηση. Τέτοιοι γενικότεροι στόχοι θα μπορούσαν για παράδειγμα να είναι η εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου αριθμού χρηστών ή η ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO₂ και της κατανάλωσης ενέργειας κ.α. Ειδικά το θέμα της καλούμενης «πράσινης ενέργειας» είναι κάτι που ήδη αντιμετωπίζουν σοβαρά οι πάροχοι και διαχειριστές δικτύων.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει και να εκμεταλλευθεί στο έπακρο τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το αρχιτεκτονικό πλαίσιο που προτάθηκε στο κεφάλαιο 2 σε συνδυασμό και με την οντολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3. Έτσι είναι σε θέση να πάρει αποφάσεις βελτιστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη και στόχους της διοίκησης όπως αυτούς που προαναφέρθηκαν, εκτός από άλλα πιο τεχνολογικά κριτήρια και πολιτικές. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του όμως είναι ότι λειτουργεί συμπληρωματικά με τις διάφορες διαδικασίες διαχείρισης πόρων που κατά κανόνα διαθέτουν τα στοιχεία δικτύου από τον κατασκευαστή τους, διευκολύνοντας του παρόχους και διευρύνοντας τις επιλογές τους κατά την επένδυση σε νέες δικτυακές υποδομές, όπως αναλύεται και στη συνέχεια.

4.2 Γενική περιγραφή του προβλήματος

Πράγματι, όταν ένας πάροχος πραγματοποιεί μια αγορά δικτυακού εξοπλισμού, προμηθεύεται παράλληλα και το σχετικό λογισμικό διαχείρισής του. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει ήδη κάποιες τεχνικές για την αντιμετώπιση γνωστών θεμάτων κατά τη λειτουργία του δικτύου, όπως η υποχρησιμοποίηση πόρων, η υπερφόρτωση, οι παρεμβολές, κτλ. Εν τέλει όμως αυτό αποτελεί και ένα προβληματικό σημείο, καθώς ο μόνος τρόπος για

να διασφαλίσει ο πάροχος ότι όλα τα στοιχεία της δικτυακής υποδομής του θα μπορούν να συνεργαστούν και να λειτουργούν ομαλά, είναι να μην αλλάζει κατασκευαστή όταν επεκτείνεται και κάνει νέες επενδύσεις, ιδιαίτερα της ίδιας τεχνολογίας πρόσβασης.

Το ζητούμενο λοιπόν είναι να εξαιρεθεί αυτός ο περιορισμός ως προς τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων διαχείρισης, κυρίως αυτών που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως περιορισμένης εμβέλειας (για ένα μικρό σύνολο δικτυακού εξοπλισμού) ή εξειδικευμένα (κατάλληλα για συγκεκριμένους τύπους προϊόντων, ενός κατασκευαστή) και να υπάρχει η δυνατότητα ενός συνολικότερου συντονισμού τους. Η επίτευξη αυτού του στόχου δεν θα είναι προς όφελος μόνο των παρόχων, αλλά και των κατασκευαστών, αφού θα αποκτήσουν έρεισμα για πωλήσεις και σε πελάτες που τώρα έχουν αποκλειστεί λόγω ασυμβατότητας με τις υπάρχουσες υποδομές τους.

Το πρόβλημα είναι να βρεθεί ένας αποτελεσματικός τρόπος κατηγοριοποίησης και αξιολόγησης των διαχειριστικών λειτουργιών που παρέχονται στο δίκτυο ενός παρόχου, ώστε τελικά με βάση τον κατάλληλο αλγόριθμο να γίνεται η βέλτιστη επιλογή των στοιχείων δικτύου και των αντίστοιχων πόρων τους που θα χρησιμοποιηθούν για την ικανοποίηση των τρεχουσών αναγκών. Το δε δίκτυο του παρόχου, θεωρείται ότι περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης και δικτυακό εξοπλισμό από πολλούς διαφορετικούς κατασκευαστές.

Ο τελικός στόχος βέβαια και αυτό που κατά βάση ζητάει ο πάροχος από το σύστημα, είναι να διασφαλίζεται η ομαλή και απροβλημάτιστη παροχή υπηρεσιών προς τους χρήστες στα επίπεδα ποιότητας που έχουν συμφωνηθεί. Για να καταστεί όμως αυτό δυνατό παρ' ότι οι συνθήκες σε ένα δικτυακό περιβάλλον συνεχώς μεταβάλλονται, είναι απαραίτητο να ελέγχεται με ανάλογη συχνότητα ότι γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων δικτυακών πόρων.

4.3 Προϋποθέσεις και απαιτούμενες προσαρμογές

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση της προτεινόμενης ιδέας είναι η προσαρμογή των υπάρχοντων συστημάτων διαχείρισης ώστε να καταστούν συμβατά με την αρχιτεκτονική που περιγράφεται στο δεύτερο κεφάλαιο, αλλά και την οντολογία που παρουσιάζεται στο τρίτο κεφάλαιο της διατριβής. Οι απαιτούμενες αλλαγές θα πρέπει να γίνουν βέβαια από τον εκάστοτε κατασκευαστή ή σε στενή συνεργασία μαζί του. Δεν θα είναι όμως ιδιαίτερα επώδυνες, καθώς θα μπορούν να βασιστούν σε κάποια υλοποίηση του προτεινόμενου πλαισίου, ένα είδος μεσισμικού, το οποίο θα υλοποιεί όλες τις απαραίτητες διεπαφές και κλάσεις, ώστε να χρειάζεται μόνο η επέκταση και η χρήση τους. Αυτό θα επιτρέψει και τον ομοιογενή χειρισμό τους από το σύστημα και συγκεκριμένα από την οντότητα Εύρεσης Υποψήφιων Λύσεων CSD, η οποία παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3.4. Διευκρινίζεται επίσης ότι τα προαναφερθέντα συστήματα διαχείρισης είναι ουσιαστικά οι οντότητες Επιλογής και Εξειδίκευσης Λύσης SES, που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.3.5.

Οι διευκολύνσεις που θα πρέπει να παρέχει η βασική υλοποίηση του πλαισίου περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστο την επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων, αλλά και τη

διαχείριση του κύκλου ζωής τους. Δηλαδή την αρχική εγγραφή τους στο σύστημα, μέσω της οποίας περιγράφουν τις λειτουργίες τους και ουσιαστικά τις υπηρεσίες που παρέχουν προς άλλες ενδιαφερόμενες οντότητες, την λήψη των πολιτικών που θα πρέπει να ακολουθούν και την διαμόρφωση των παραμέτρων λειτουργίας τους σύμφωνα με τις αντίστοιχες επιλογές και τους περιορισμούς που θέτουν, όπως και την προσωρινή ή μόνιμη διακοπή της λειτουργίας τους. Όλα αυτά θα παρέχονται υπό τη μορφή μιας διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (Application Programming Interface, API) όπου για κάθε οντότητα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής θα υπάρχει και μια κατάλληλη κλάση, με βάση την οποία θα μπορεί να γίνει η ενσωμάτωση κάθε υπάρχουσας ή μελλοντικής λειτουργίας στο σύστημα διαχείρισης. Έτσι μπορεί να διασφαλιστεί και η ενοποιημένη, ομοιογενής αλληλεπίδραση μεταξύ τους, κάτι απαραίτητο και για την επιτυχή και αποδοτική διαχείριση των δικτυακών πόρων, που εξετάζεται στο παρόν κεφάλαιο.

4.4 Δεδομένα εισόδου

4.4.1 Δεδομένα από την οντότητα ανάλυσης και εκτίμησης κατάστασης

Όπως αναφέρθηκε, θεωρείται ότι το σύστημα διαθέτει ήδη κάποιους μηχανισμούς οι οποίοι μπορούν να διαχειριστούν προβλήματα σε τοπικό επίπεδο, όπως π.χ. μια αύξηση του φορτίου κίνησης στην περιοχή ενός σταθμού βάσης. Υπάρχουν όμως και καταστάσεις που υπερβαίνουν τα όρια αντίδρασης μιας τέτοιας οντότητας, όπως και περιπτώσεις όπου ο πάροχος καταχωρεί ένα νέο αίτημα για εξυπηρέτηση κάποιου φορτίου πλέον του συνήθους. Τότε, όπως περιγράφηκε και στην ενότητα 2.3.3, ενημερώνεται κατ' αρχήν η οντότητα AES, η οποία συγκεντρώνει τα σχετικά δεδομένα και εφόσον απαιτείται, προωθεί στην οντότητα CSD ένα αντίστοιχο αίτημα με τα δεδομένα που περιγράφονται στις παρακάτω υποενότητες.

4.4.1.1 Το φορτίο προς εξυπηρέτηση

Το πιο βασικό δεδομένο εισόδου είναι φυσικά το συνολικό φορτίο που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Όπως παρουσιάστηκε και στα δύο ενδεικτικά σενάρια του προηγούμενου κεφαλαίου, στις υποενότητες 3.3.1 και 3.3.2, το φορτίο αυτό μπορεί είτε να προέρχεται από κάποια σχετική πληροφόρηση του παρόχου για το άμεσο ή αργότερο μέλλον, είτε να αφορά στην απρόσμενη εμφάνιση αυξημένης κίνησης στην περιοχή. Σε κάθε περίπτωση, η οντότητα CSD χρειάζεται μια αναλυτική περιγραφή του, η οποία να περιλαμβάνει μια όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση του αριθμού των χρηστών ανά κατηγορία υπηρεσίας και ανά κλάση. Επιπλέον, η οντότητα AES από την οποία προέρχεται το αίτημα, έχει φροντίσει να συμπεριλάβει σε αυτό και απαιτήσεις σχετικές με διάφορες τεχνικές παραμέτρους όπως η καθυστέρηση ή η διέλευση, καθώς και μια εκτίμηση για το εύρος ζώνης που θα απαιτηθεί, η οποία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη γνώση που έχει αποκομίσει το σύστημα από αντίστοιχες περιπτώσεις που αντιμετωπίστηκαν στο παρελθόν. Αυτά τα δεδομένα παρέχονται ανά κατηγορία υπηρεσίας, ανά κλάση, αλλά και ανά επιτρεπτό επίπεδο ποιότητας.

4.4.1.2 Πολιτικές που πρέπει να ληφθούν υπόψη

Πέρα από το φορτίο, ένα άλλο ουσιαστικό κομμάτι των δεδομένων εισόδου του προβλήματος είναι οι περιορισμοί που έχουν τεθεί από τον πάροχο σχετικά με συγκεκριμένες τεχνολογίες ή υπηρεσίες ή συνδυασμούς αυτών, οι γενικότεροι στόχοι που επιδιώκει να πετύχει όπως π.χ. η εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και οι προτιμήσεις του για κάποιες τεχνολογίες ή δίκτυα ανά περίπτωση. Όλα αυτά αποτελούν πολιτικές τις οποίες η οντότητα CSD καλείται κατ' αρχήν να εξετάσει εάν αφορούν στο συγκεκριμένο πρόβλημα, από την άποψη της τοποθεσίας, του χρόνου, της τεχνολογίας κτλ. και εφόσον ναι, να τις λάβει υπόψη κατά την διαδικασία υπολογισμού του βέλτιστου επιμερισμού του προβλήματος σε οντότητες SES.

4.4.2 Δεδομένα από κάθε οντότητα επιλογής και εξειδίκευσης λύσης

Το σύστημα διαχείρισης και συγκεκριμένα η οντότητα CSD είναι σε θέση να αναγνωρίζει με ενιαίο τρόπο κάθε οντότητα SES που υπάρχει στο σύστημα. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα γενικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι οντότητες SES σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, ανάλογα με το ρόλο τους και τη τεχνολογία τους, και με βάση τα οποία ο αλγόριθμος της οντότητας CSD είναι σε θέση να επιλέγει τις πλέον κατάλληλες από αυτές και να τους αναθέτει το ανάλογο κομμάτι του προβλήματος που πρέπει να επιλυθεί. Σε κάθε χαρακτηριστικό αντιστοιχεί και μια τιμή, μια βαθμολογία, η οποία διαμορφώνεται εν μέρη από κάποια στατικά στοιχεία και κατά τα άλλα δυναμικά, όπως παρουσιάζεται σε επόμενη υποενότητα.

Η αρχική βαθμολόγηση στα κριτήρια απόδοσης και καταλληλότητας που αναφέρονται παρακάτω, γίνεται κατά κύριο λόγο από τον δημιουργό της οντότητας SES. Τα κριτήρια αυτά θα πρέπει βέβαια να συμφωνηθούν σε ευρύτερη βάση και να είναι αποδεκτά από την πλειονότητα των κατασκευαστών, κάτι που ισχύει και σε άλλους τομείς της τεχνολογίας. Για παράδειγμα στα αυτοκίνητα δίνονται για κάθε μοντέλο δεδομένα για τον χρόνο επιτάχυνσης από τα 0 στα 100 km/h, τα λίτρα καυσίμου που καταναλώνονται σε 100 km, το βαθμό ασφάλειας που παρέχεται σε περίπτωση σύγκρουσης και πολλά άλλα. Το δε τελευταίο στοιχείο παρέχεται συνήθως από κάποιο τρίτο φορέα πιστοποίησης (π.χ. EuroNCAP [33]), ανεξάρτητο του κατασκευαστή, κάτι που σε πολλές περιπτώσεις, όπως η βαθμολόγηση της αξιοπιστίας μιας οντότητας SES, είναι θεμιτό και ουσιαστικά απαραίτητο. Για κάθε οντότητα SES λοιπόν κρατούνται διαθέσιμα τα ακόλουθα δεδομένα.

4.4.2.1 Υποστηριζόμενες τεχνολογίες, υπηρεσίες και επίπεδα ποιότητας

Αυτό που κατ' αρχάς πρέπει να παρέχεται στο σύστημα διαχείρισης ως είσοδος, είναι το προφίλ της οντότητας SES, το οποίο περιλαμβάνει τις τεχνολογίες δικτύου που αυτή εξυπηρετεί και πιο συγκεκριμένα τις δυνατότητες που πηγάζουν από αυτές τις τεχνολογίες, όπως οι υπηρεσίες που μπορεί να εξυπηρετήσει και τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας. Έτσι για παράδειγμα, αν η οντότητα SES διαχειρίζεται σταθμούς βάσης GSM, θα αναφέρει ως μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων τα 13,4 kbps κατά κανόνα, με αποτέλεσμα να μην επιλεγεί καθόλου αν το φορτίο προς διευθέτηση αφορά σε χρήστες βίντεο υψηλής ευκρίνειας και άρα πολλαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης.

4.4.2.2 Μέθοδοι επίλυσης, κατηγορίες προβλημάτων και τοπικές πολιτικές

Επίσης, θα πρέπει να αναφέρονται οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση ενός προβλήματος, αλλά και τις κατηγορίες των προβλημάτων που μπορούν να αντιμετωπιστούν. Απαραίτητη είναι και η αναφορά των επιλογών και παραμέτρων που πιθανώς υπάρχουν, ως ένα είδος τοπικών πολιτικών, μέσω των οποίων μπορεί να διαμορφωθεί η ακριβής συμπεριφορά της οντότητας SES. Η οντότητα CSD είναι σε θέση να απενεργοποιεί ή να ενεργοποιεί κατάλληλα τις διαθέσιμες τοπικές πολιτικές, σε συμφωνία με τις γενικές πολιτικές του συστήματος.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, δηλαδή η τεχνολογία πρόσβασης, τα δυνατά επίπεδα ποιότητας ανά υπηρεσία, οι υποστηριζόμενες κατηγορίες προβλημάτων, οι μέθοδοι επίλυσης και οι τοπικές πολιτικές μιας οντότητας SES, περιγράφονται στο προφίλ της με προκαθορισμένο τρόπο, κοινό για κάθε είδους οντότητα SES, με τη βοήθεια των εννοιών της οντολογίας που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

4.4.2.3 Χρόνος απόκρισης

Ένα άλλο δεδομένο που ζητείται, και κατά βάση παρέχεται από αυτόν που ανέπτυξε την οντότητα SES, είναι μια κατηγοριοποίηση ως προς τον χρόνο απόκρισης σε ένα αίτημα επίλυσης ενός προβλήματος. Η απάντηση μπορεί να περιέχει πολλές διαφορετικές τιμές και να διαφοροποιείται ανάλογα με τον συνδυασμό των παραμέτρων λειτουργίας που έχουν επιλεγεί. Το εύρος των τιμών είναι περιορισμένο και καθορίζεται από το σύστημα. Για παράδειγμα, μια κατάταξη σε βραχυπρόθεσμες, μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες λύσεις μπορεί να είναι αρκετή.

4.4.2.4 Βαθμός προσέγγισης της βέλτιστης λύσης

Παράλληλα με το παραπάνω, αξιολογείται συνδυαστικά από την οντότητα CSD η εκτίμηση για το πόσο κοντά στη βέλτιστη λύση θα είναι η παρεχόμενη, ανάλογα βέβαια και πάλι με τον επιλεγμένο συνδυασμό των παραμέτρων λειτουργίας. Το συγκεκριμένο δεδομένο είναι λογικά διαθέσιμο μέσα από την θεωρητική μελέτη και τεκμηρίωση της λειτουργίας της οντότητας SES. Όπως και για τον χρόνο απόκρισης, ο βαθμός προσέγγισης της βέλτιστης λύσης επιλέγεται από ένα προκαθορισμένο σύνολο τιμών.

4.4.2.5 Κατανάλωση ενέργειας

Είναι ήδη φανερό σε όλους τους τομείς της τεχνολογίας, από τα αυτοκίνητα και τις οικιακές συσκευές, μέχρι φυσικά και τον πάσης φύσης τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, ότι υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ενεργειακή συμπεριφορά κάθε συστήματος. Για το λόγο αυτό κάθε οντότητα SES θα πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει και να αναφέρει την ενέργεια που εκτιμά ότι θα καταναλώσει, ανάλογα με το φορτίο κίνησης που έχει αναλάβει να εξυπηρετήσει. Να σημειωθεί εδώ ότι η τιμή αυτή είναι συγκεντρωτική και συμπεριλαμβάνει τη λειτουργία και την κατανάλωση όλων των στοιχείων δικτύου που διαχειρίζεται η οντότητα SES και υπάρχουν «πίσω» της, καθώς βέβαια και την ίδια. Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές είναι μεν κβαντισμένες, ως πολλαπλάσια κάποιας ελάχιστης

ενεργειακής μονάδας που καθορίζει το σύστημα, αλλά μπορούν να εκτείνονται σε οποιοδήποτε εύρος τιμών.

4.4.3 Βαθμός εμπιστοσύνης

Ειδικά για τις τιμές των τριών τελευταίων χαρακτηριστικών, η οντότητα CSD παρακολουθεί και με τη βοήθεια των οντοτήτων NEM (Network Element Monitoring) τις διακυμάνσεις τους και αξιολογεί τον βαθμό στον οποίο αυτές ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Έτσι μετά από κάποιο διάστημα λειτουργίας μιας οντότητας SES, το σύστημα διαχείρισης είναι σε θέση να γνωρίζει καλύτερα τις επιδόσεις της και να παίρνει αποφάσεις με καλύτερα αποτελέσματα, ευνοώντας τις οντότητες που λειτουργούν όπως έχει προβλεφθεί και κάνοντας το αντίθετο για αυτές που παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις και αστάθεια.

4.4.4 Δυναμική διαμόρφωση τιμών και ενσωμάτωση γνώσης

Η διαδικασία που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, είναι μέρος της δυναμικής διαμόρφωσης της βαθμολογίας κάθε χαρακτηριστικού μιας οντότητας SES. Ένα άλλο σχετικό στοιχείο που κρατά εσωτερικά ως δεδομένο η οντότητα CSD, είναι η ικανότητα διαχείρισης φορτίου από μια οντότητα SES, το οποίο προκύπτει επίσης δυναμικά μετά από κάποιο ικανό χρόνο λειτουργίας της και ουσιαστικά αποτελεί δεδομένο που στέλνεται για επεξεργασία σε μια οντότητα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας BIK και στη συνέχεια ανακτάται από αυτή. Αντίστοιχα στοιχεία καταγράφονται και για τα επίπεδα ποιότητας που επιτυγχάνονται στην πραγματικότητα. Όλη αυτή η ενσωμάτωση και αξιοποίηση της πρότερης γνώσης είναι βέβαια πολύ σημαντική, αφού επιτρέπει τον προσδιορισμό ασφαλών ορίων εξυπηρέτησης φορτίου, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ομαλή λειτουργία των υποκείμενων δικτύων.

Για παράδειγμα μέσα από μια τέτοια διαδικασία μπορεί να προκύψει ότι η οντότητα SES που διαχειρίζεται έναν αριθμό από node-Bs του κατασκευαστή A, μπορεί να εξυπηρετήσει χωρίς πρόβλημα μέχρι X χρήστες βίντεο υψηλής ευκρίνειας, και έτσι όταν γίνει κάποιο αίτημα για τέτοιου είδους φορτίο ζήτησης, η οντότητα CSD θα μπορεί να αποφασίσει πώς θα γίνει η κατανομή του χωρίς να υπάρξει κίνδυνος συμφόρησης σε κάποιο κομμάτι του δικτύου.

4.5 Ο αλγόριθμος επιλογής

4.5.1 Γενική περιγραφή

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιλογής αποτελείται από τρεις φάσεις. Η πρώτη αφορά στην εύρεση του συνόλου των οντοτήτων SES που είναι υποψήφιες να συμβάλλουν στην λύση του προβλήματος. Αυτό προκύπτει κατ' αρχήν με βάση τους γεωγραφικούς περιορισμούς, δηλαδή την περιοχή που εμφανίζεται το πρόβλημα και την περιοχή κάλυψης των στοιχείων δικτύου που ελέγχει μια οντότητα SES. Λαμβάνονται όμως υπόψη και τυχόν πολιτικές του παρόχου που περιορίζουν ίσως τη χρήση κάποιων τεχνολογιών ή δικτύων, με αποτέλεσμα την απαλοιφή των αντίστοιχων οντοτήτων SES από το εν λόγω σύνολο.

Κατά τη δεύτερη φάση, υπολογίζεται ο βαθμός στον οποίο κάθε υποψήφια οντότητα SES μπορεί να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Αυτό εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της, όσο και από τις πολιτικές που πρέπει να ακολουθηθούν. Για παράδειγμα αν έχει τεθεί σαν βασικός στόχος από τον πάροχο η εξοικονόμηση ενέργειας, θα προτιμηθούν οντότητες SES που έχουν μια αντίστοιχη επιλογή οικονομικής λειτουργίας ή καταναλώνουν εξ' ορισμού λιγότερη ενέργεια. Στη φάση αυτή εξετάζονται και τελικά επιλέγονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των παραμέτρων λειτουργίας κάθε οντότητας, έτσι ώστε να βρεθεί ο καταλληλότερος.

Στην επόμενη και τελευταία φάση το πρόβλημα μοιράζεται σε μικρότερα επί μέρους προβλήματα και κάθε κομμάτι του ανατίθεται σε μια οντότητα SES. Ουσιαστικά δηλαδή κάθε οντότητα SES αναλαμβάνει να εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο μέρος του συνολικού φορτίου κίνησης που περιγράφεται στο αντίστοιχο αίτημα. Σε αυτή την απόφαση σημαντικό ρόλο παίζει η πρότερη γνώση του συστήματος για την ικανότητα κάθε οντότητας να διαχειριστεί έναν ορισμένο αριθμό χρηστών ανά υπηρεσία, κλάση και επίπεδο ποιότητας. Αν δεν υπάρχει σχετική γνώση ή αν το φορτίο υπερκαλύπτει το εκτιμώμενο συνολικό άνω όριο των υποκείμενων στοιχείων δικτύου, γίνεται αναλογική κατανομή του πλεονάσματος στις οντότητες SES.

Επισημαίνεται ότι κάτι τέτοιο δεν συνεπάγεται τη δημιουργία ενός νέου προβλήματος στη συνέχεια, καθώς οι αλγόριθμοι που εμπεριέχονται στις οντότητες SES είναι και αυτοί σε θέση να πάρουν δραστικά μέτρα εφόσον χρειαστεί, όπως για παράδειγμα να αναθέσουν σε κάποιες κλάσεις χρηστών κάποιο από τα χαμηλότερα αποδεκτά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Αυτή εξ' άλλου είναι και η έννοια της επιλογής και εξειδίκευσης λύσης που δηλώνει και η ονομασία τους.

4.5.2 Μαθηματική διατύπωση προβλήματος και λύσης

4.5.2.1 Ορισμός παραμέτρων

Θεωρούμε ότι στο σύστημα διαχείρισης και κατ' επέκταση στην οντότητα CSD έχει εγγραφεί ένα σύνολο E από οντότητες SES. Κάθε οντότητα $e \in E$ από αυτές υποστηρίζει με βάση το προφίλ της, υπηρεσίες ενός συνόλου Se το οποίο ανήκει στο σύνολο S των υπηρεσιών που προσφέρονται γενικά, δηλαδή $Se \subseteq S$. Για τις υπηρεσίες δε αυτές μπορεί να διασφαλίσει την παροχή τους, μέσω της δικτυακής υποδομής που διαχειρίζεται, με κάποιο επίπεδο ποιότητας από αυτά που περιλαμβάνονται στο σύνολο $Qse \subseteq Qs$, όπου Qs όλα τα επίπεδα ποιότητας που σχετίζονται με την υπηρεσία $s \in S$. Η δε δικτυακή υποδομή θεωρούμε ότι καλύπτει μια περιοχή $con_e, e \in E$ και έχει μια μέγιστη χωρητικότητα $cap_e, e \in E$.

Επιπλέον, θεωρούμε ότι κάθε οντότητα e διαθέτει έναν ή περισσότερους τρόπους λειτουργίας $p \in Pe$, ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει στις εσωτερικές παραμέτρους της. Παράδειγμα τέτοιας ρύθμισης είναι η χρήση ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης που συγκλίνει γρήγορα προς μια λύση αντί ενός άλλου, επίσης διαθέσιμου, που είναι πιο αργός αλλά μάλλον πιο ακριβής. Ουσιαστικά κάθε διαφορετικός τρόπος λειτουργίας μπορεί να αντιμετωπιστεί από το σύστημα και ως μια νέα

παραλλαγμένη οντότητα, με τον περιορισμό φυσικά ότι κάθε φορά μπορεί να επιλεγθεί μόνο μία από αυτές.

Για κάθε οντότητα SES υπάρχει από τον δημιουργό της μια αρχική βαθμολόγηση σε ένα σύνολο $K = \{Te_p, Ge_p, Ce_p\}$ των κριτηρίων απόδοσης και καταλληλότητας που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της διατριβής αυτής, όπου συγκεκριμένα Te_p είναι ο χρόνος απόκρισης, Ge_p ο βαθμός προσέγγισης της βέλτιστης λύσης και Ce_p η κατανάλωση ενέργειας της οντότητας e όταν αυτή λειτουργεί σύμφωνα με το προφίλ λειτουργίας p .

Ως προς το φορτίο που ζητείται να εξυπηρετηθεί, θεωρούμε ότι το σύστημα ενημερώνεται για την ύπαρξη N ενεργών χρηστών στην γεωγραφική περιοχή για την οποία γίνεται το αίτημα εξυπηρέτησης. Χωρίς βλάβη της γενικότητας δεχόμαστε ότι κάθε χρήστης $i \in \{0, 1, \dots, N\}$ ζητάει μόνο μια υπηρεσία $s_i \in S$ και ότι αν κάποιος φυσικός χρήστης χρειάζεται περισσότερες υπηρεσίες, απλά μοντελοποιείται με περισσότερους από έναν δείκτες i του συνόλου. Κάθε χρήστης ανήκει και σε μια κλάση $uc_i \in UC$, όπου UC το σύνολο των κλάσεων χρηστών που έχει ορίσει ο πάροχος. Όταν ο χρήστης λαμβάνει μια υπηρεσία $s_i \in S$ σε ένα επίπεδο ποιότητας $q_i \in Qs$ θεωρούμε ότι βαθμολογεί την εμπειρία του με μια τιμή $u_{si, qi}$. Αν η τιμή της παραμέτρου $u_{si, qi}$ είναι μηδέν, τότε ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται καθόλου για τον συγκεκριμένο συνδυασμό υπηρεσίας και επιπέδου ποιότητας.

Τέλος, υπάρχουν και οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις διάφορες πολιτικές που θέτει ο πάροχος. Με βάση τις πολιτικές αυτές διαμορφώνεται η τιμή της παραμέτρου $prol_{e, s, uc, q}$, η οποία είναι αντίστοιχη με την παράμετρο $u_{si, qi}$ και μέσω αυτής το δίκτυο μπορεί να εκφράσει την προτίμησή του για την παροχή μιας υπηρεσίας $s \in S$ σε χρήστες της κλάσης $uc \in UC$ σε επίπεδο ποιότητας $q \in Q$ πάνω από την δικτυακή υποδομή που διαχειρίζεται η οντότητα $e \in E$. Ειδικά δε η τιμή μηδέν δηλώνει ότι το δίκτυο απαγορεύει τον συγκεκριμένο συνδυασμό.

4.5.2.2 Φάσεις 1 και 2: επιλογή και ταξινόμηση οντοτήτων SES

Ξεκινώντας την διαδικασία εξεύρεσης λύσης, η οντότητα CSD εντοπίζει ποιες από τις εγγεγραμμένες οντότητες SES διαχειρίζονται δικτυακές υποδομές των οποίων η περιοχή κάλυψης $con_e, e \in E$ συμπίπτει τουλάχιστον κατά ένα ποσοστό με την γεωγραφική περιοχή loc_req για την οποία γίνεται το αίτημα εξυπηρέτησης. Το ποσοστό αυτό, sel_thres , ορίζεται από τον πάροχο και κατά κανόνα είναι μεγαλύτερο από 60%. Για λόγους διευκόλυνσης της μελέτης όλες αυτές οι περιοχές θεωρούνται κυκλικές, δηλαδή χαρακτηρίζονται πλήρως από ένα κέντρο και μια ακτίνα. Σε αυτή την περίπτωση, η κοινή επιφάνεια a δύο κυκλικών περιοχών με ακτίνες R και r για τις περιοχές loc_req και con αντίστοιχα, των οποίων τα κέντρα απέχουν απόσταση d είναι

$$a = \frac{1}{d} \sqrt{4d^2 R^2 - (d^2 - r^2 + R^2)^2}$$

και το ζητούμενο είναι να ισχύει

$$\frac{a}{\pi \cdot R^2} \geq sel_thres \quad \text{ή} \quad \frac{a}{\pi \cdot r^2} \geq sel_thres$$

Με βάση τα παραπάνω η οντότητα CSD βγάζει από το σύνολο E όσες οντότητες SES δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην εξυπηρέτηση του φορτίου για το οποίο έγινε το αίτημα που εξετάζεται.

Στη συνέχεια υπολογίζεται για κάθε μια από τις υποψήφιες οντότητες SES $e \in E$ και για κάθε ένα από τα διαθέσιμα προφίλ λειτουργίας της $p \in Pe$ η βαθμολογία της Me_p η οποία εξαρτάται από τις επιμέρους τιμές που πετυχαίνει στα κριτήρια απόδοσης του συνόλου K που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα. Συγκεκριμένα είναι

$$Me_p = w_t \cdot r_t \cdot Te_p + w_g \cdot r_g \cdot Ge_p + w_c \cdot r_c \cdot Ce_p$$

όπου w_t, w_g, w_c είναι κάποια σχετικά βάρη για κάθε παράμετρο, τα οποία ορίζονται σύμφωνα με τις προτιμήσεις του παρόχου, ανάλογα με τους γενικότερους στόχους που έχει θέσει μέσω της διεπαφής H2N. Παίρνουν τιμές στο διάστημα (0, 1) ενώ παράλληλα πρέπει να ισχύει ότι

$$w_t + w_g + w_c = 1$$

Οι δε παράμετροι r_t, r_g, r_c εκφράζουν τον βαθμό εμπιστοσύνης του συστήματος προς τις τιμές των κριτηρίων απόδοσης. Αρχικά έχουν την τιμή 1, αλλά κατά τη λειτουργία του συστήματος μπορεί να γίνονται μετρήσεις των αντίστοιχων τιμών του συνόλου K και να διαμορφώνονται χαμηλότερα ή ψηλότερα από την μονάδα, όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 4.4.3.

Τελικά η οντότητα CSD επιλέγει για κάθε οντότητα e το προφίλ με τον μεγαλύτερο βαθμό Me_p και μετά ταξινομεί την λίστα E κατά φθίνουσα σειρά ως προς την τιμή Me_p δημιουργώντας τη λίστα E_{sel} .

4.5.2.3 Φάση 3: ανάθεση του φορτίου σε οντότητες SES

Κατά τη φάση αυτή, υπολογίζονται κατ' αρχήν δύο σύνολα. Το $E_i = \{e \in E_{sel}, s_i \in S_e\}$ το οποίο περιέχει όλες τις οντότητες SES οι οποίες επιλέχθηκαν στη δεύτερη φάση και θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τον χρήστη i και να του παρέχουν τη ζητούμενη υπηρεσία s_i τουλάχιστον στο κατώτερο επίπεδο ποιότητας που προβλέπεται για την κλάση του uc_i και ενδιαφέρει τον χρήστη ($u_{si, qi} > 0$). Και το αντίστοιχο σύνολο $I_e = \{i : e \in E_{sel}\}$ το οποίο περιλαμβάνει όλους τους χρήστες i που είναι υποψήφιοι για να εξυπηρετηθούν από την οντότητα e . Και στις δύο περιπτώσεις, λαμβάνονται υπόψη και οι τυχόν περιορισμοί που έχει θέσει ο πάροχος με τη δημιουργία σχετικών πολιτικών μέσω της διεπαφής H2N και εκφράζονται μέσω της παραμέτρου $nrol_{e, s, uc, q}$. Αν για παράδειγμα η τιμή της είναι μηδέν για συγκεκριμένη οντότητα e ή για κάποιο συνδυασμό υπηρεσίας, κλάσης και επιπέδου ποιότητας, η οντότητα αυτή παραλείπεται από το σύνολο E_i του χρήστη και αντίστοιχα ο χρήστης από το σύνολο I_e .

Επίσης ορίζονται τρεις νέες μεταβλητές σχετικές με το εύρος ζώνης, η $b_{si, qi}$ που εκφράζει τις ανάγκες σε εύρος ζώνης για την παροχή στον χρήστη i της υπηρεσίας s σε επίπεδο ποιότητας q , η ϕ_e που αποτελεί το συνολικό φορτίο που δημιουργείται από την εξυπηρέτηση των χρηστών που έχουν ανατεθεί στην οντότητα e , και η y_e που δηλώνει την

χωρητικότητα που μένει διαθέσιμη στην δικτυακή υποδομή που διαχειρίζεται η οντότητα e μετά από την ανάθεση του φορτίου ϕ_e . Ισχύει δηλαδή ότι

$$\phi_e = \sum_{i \in I_e} b_{si,qi} \quad \text{και} \quad y_e = cap_e - \phi_e$$

Ακόμα υπολογίζεται το συνολικό φορτίο f_e που προκύπτει αν όλοι οι χρήστες του συνόλου I_e εξυπηρετούνταν από την οντότητα e . Το μέγεθος αυτό δείχνει κατά κάποιο τρόπο το πόσο «χρήσιμη» και «αξιοποιήσιμη» είναι μια οντότητα για την διευθέτηση του συγκεκριμένου αιτήματος. Όσο μικρότερη η τιμή του f_e για μια οντότητα, τόσο δυσκολότερα θα βρεθεί κάποιο κομμάτι του προβλήματος να της ανατεθεί.

Προχωρώντας με την επίλυση του προβλήματος, η οντότητα CSD ταξινομεί τους χρήστες κατά αύξουσα σειρά, πρώτον ανάλογα με τον αριθμό των υποψήφιων οντοτήτων του συνόλου E_i και δεύτερον σύμφωνα με την κλάση χρήστη, τοποθετώντας πρώτα αυτούς της λιγότερο σημαντικής. Αν και η κλάση είναι ίδια, η τοποθέτηση γίνεται με τυχαίο τρόπο. Στη συνέχεια, ξεκινώντας από τον πρώτο χρήστη στη λίστα, επιλέγει μια οντότητα $e \in E_i$ για να τον εξυπηρετήσει. Επιλέγεται κατ' αρχήν η οντότητα με το μικρότερο f_e και όσες ακόμα οντότητες υπάρχουν και έχουν f_e μέχρι και κατά Tb μεγαλύτερο. Η τιμή του Tb ισούται με κάποιο πολλαπλάσιο λ του εύρους ζώνης που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του χρήστη με τις μικρότερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, δηλαδή

$$Tb = \lambda \cdot (b_{si,qi})_{\min}, \quad \lambda \in R_+$$

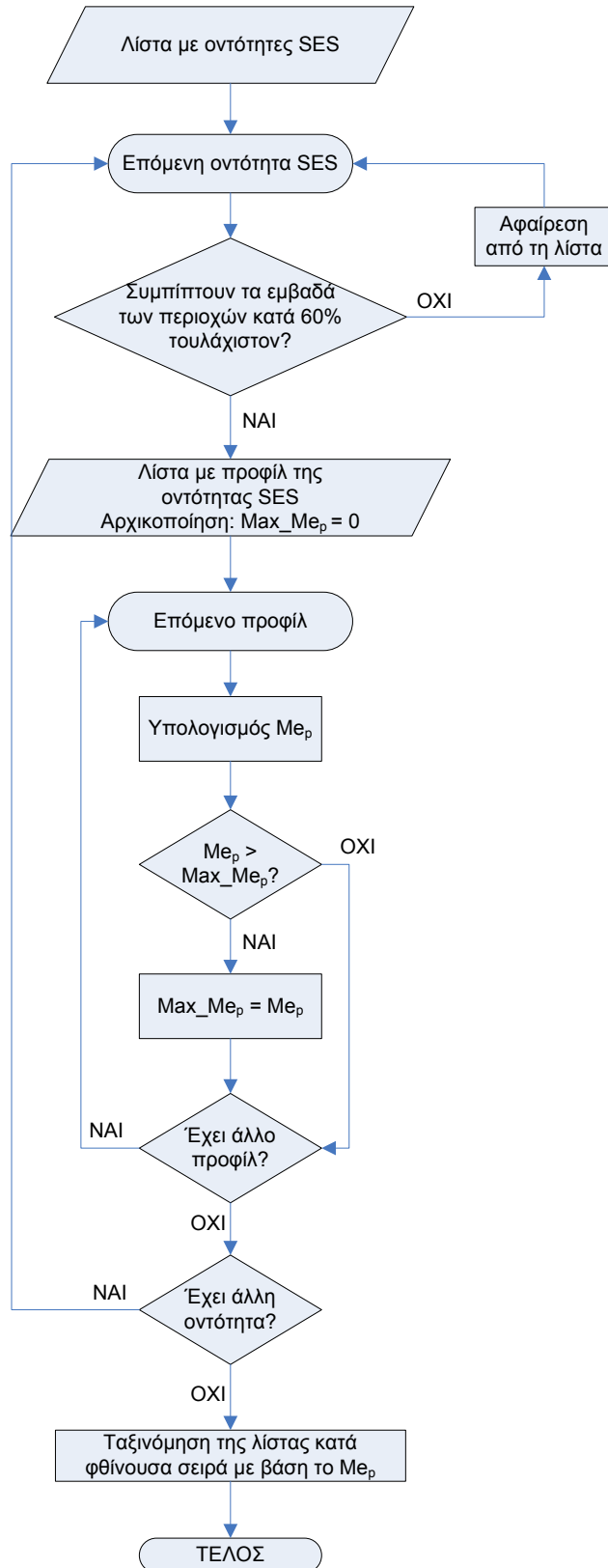
Στη συνέχεια η οντότητα CSD εξετάζει αν υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα για την εξυπηρέτηση του χρήστη. Αν έχουν προκύψει περισσότερες από μία επιλογές, ξεκινάει από αυτή με τον μεγαλύτερο λόγο y_e / ϕ_e . Αν δεν βρεθεί κάποια που να ικανοποιεί την συνθήκη

$$b_{si,qi} < y_e$$

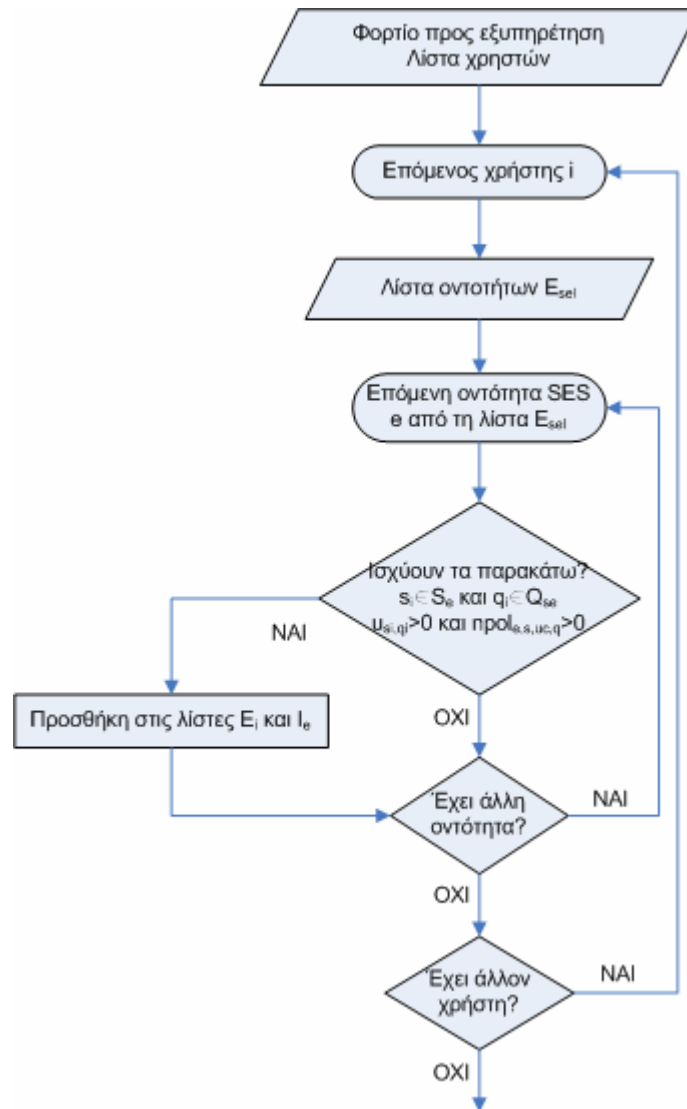
η αναζήτηση συνεχίζεται με την οντότητα με το αμέσως μεγαλύτερο f_e που δεν έχει ελεγχθεί. Όταν βρεθεί οντότητα που μπορεί να εξυπηρετήσει τον χρήστη, σημειώνεται ότι έχει γίνει η ανάθεσή του σε αυτή και εφόσον υπάρχουν και άλλοι χρήστες η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Προηγούμενος όμως ανανεώνονται οι τιμές f_e και y_e .

4.5.3 Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου επιλογής

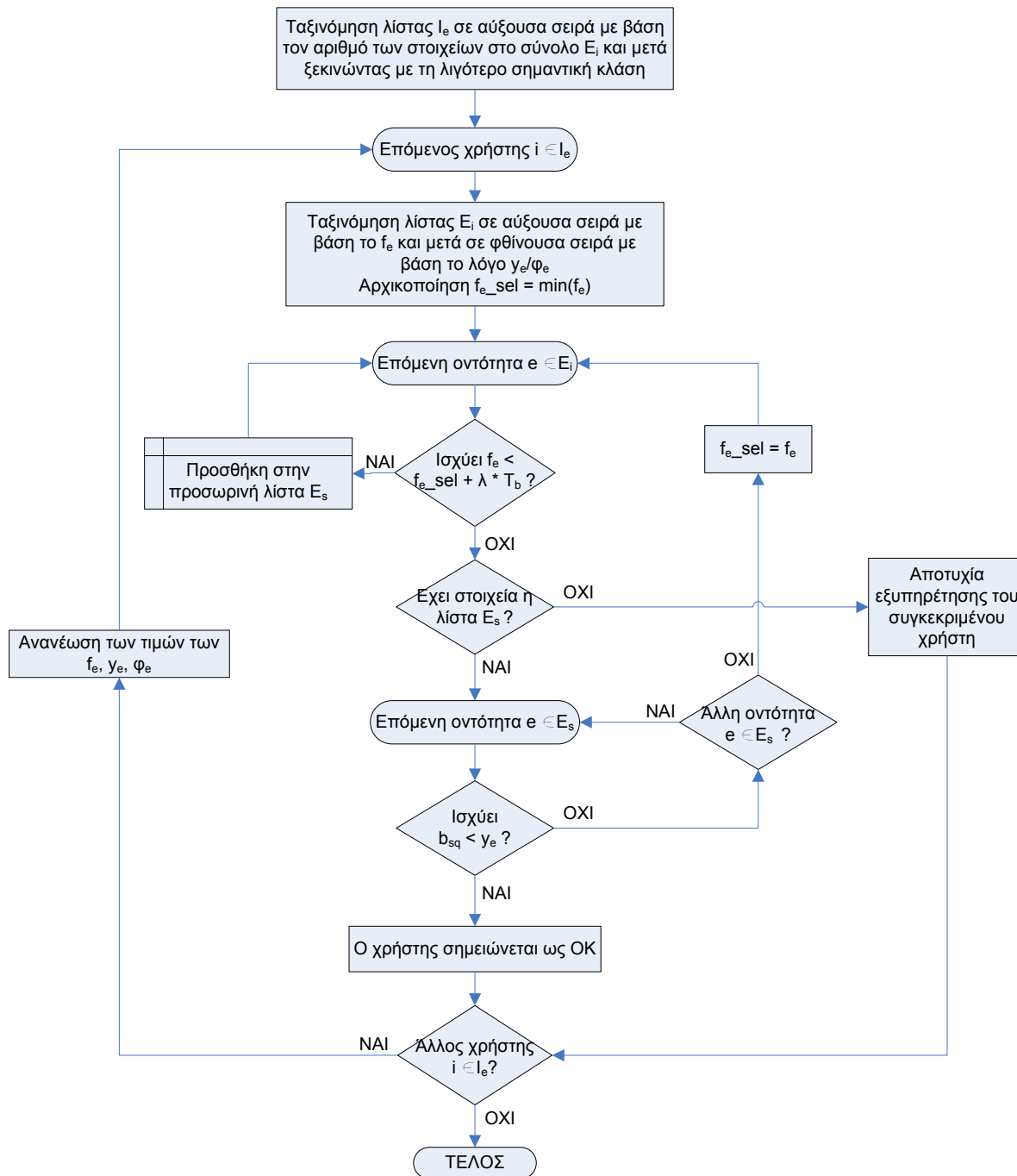
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται με γραφικό τρόπο οι φάσεις του αλγορίθμου επιλογής, μέσα από τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής.



Εικόνα 22: Διάγραμμα ροής των φάσεων 1 και 2 του αλγορίθμου επιλογής



Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής της φάσης 3 του αλγόριθμου επιλογής (μέρος Α)



Εικόνα 24: Διάγραμμα ροής της φάσης 3 του αλγόριθμου επιλογής (μέρος Β)

4.6 Εφαρμογή της απόφασης του αλγορίθμου και επικύρωση της ορθής λειτουργίας του

Η έξοδος του αλγορίθμου της οντότητας CSD αποτελείται από ένα σύνολο αιτημάτων προς τις εμπλεκόμενες οντότητες SES, τα οποία περιέχουν αφ' ενός μεν την περιγραφή του μέρους του συνολικού προβλήματος που καλούνται να αναλάβουν, αφ' ετέρου δε τις τοπικές πολιτικές που υποχρεούνται να ακολουθήσουν κατά την επιλογή και εξειδίκευση της λύσης. Παράλληλα μπορεί να μεταβιβάζονται και κάποιες από τις γενικότερες πολιτικές του συστήματος, πρώτον για να αξιολογηθούν και από τον αλγόριθμο κάθε οντότητας SES

και δεύτερον διότι ο πιθανός μετασχηματισμός και αντιστοίχησή τους σε παραμέτρους λειτουργίας ενός συγκεκριμένου στοιχείου δικτύου και κατασκευαστή, είναι δυνατός μόνο σε επόμενα στάδια επεξεργασίας του αιτήματος και συγκεκριμένα από τις οντότητες εφαρμογής αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων EDC.

Για να αποδειχθεί και να επαληθευτεί η ικανότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου να επιλέγει για κάθε πρόβλημα τις καταλληλότερες οντότητες SES που χρειάζεται να εμπλακούν για τη λύση του, να προσδιορίζει τις πλέον σωστές ρυθμίσεις των παραμέτρων λειτουργίας τους σύμφωνα με τις γενικότερες πολιτικές του παρόχου, καθώς και να αποφασίζει για τον βέλτιστο επιμερισμό του προβλήματος σε μικρότερα, κάθε ένα από τα οποία αναθέτει σε μια οντότητα SES, υλοποιήθηκε το πρωτότυπο σύστημα γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών που παρουσιάζεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο. Εκεί καταγράφονται και τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τον προτεινόμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης που παρουσιάστηκε.

Παραπομπές

[33] European New Car Assessment Program web site, <http://www.euroncap.com>

Κεφάλαιο 5

Υλοποίηση πρωτότυπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών

5.1 Εισαγωγή

Κάθε νέα ερευνητική πρόταση, για να μπορέσει να γίνει περισσότερο κατανοητή αλλά και πειστική, χρειάζεται την υποστήριξη μιας πρωτότυπης υλοποίησης των νέων ιδεών που προσπαθεί να εισαγάγει και να προωθήσει. Το πρωτότυπο δίνει τη δυνατότητα μιας πρώτης απόδειξης της ισχύος της ερευνητικής πρότασης, ενώ παράλληλα μέσω αυτού μπορεί να επιτευχθεί ο έλεγχος και η λεπτομερέστερη επεξεργασία και του θεωρητικού υπόβαθρου της αρχικής έμπνευσης. Ο βαθμός στον οποίο η πρωτότυπη υλοποίηση απαιτείται να πλησιάζει την πραγματική, ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή και χρήσιμα συμπεράσματα, εξαρτάται από τη φύση και το αντικείμενο της έρευνας, όπως και από το βάθος χρόνου στο οποίο υπάρχει ίσως ο στόχος να παρουσιαστεί ως ολοκληρωμένο προϊόν.

Στην περίπτωση της διδακτορικής αυτής διατριβής υλοποιήθηκε ένα σύστημα γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών σύμφωνα με το αρχιτεκτονικό πλαίσιο που προτάθηκε στο κεφάλαιο 2. Η επικοινωνία των οντοτήτων του συστήματος γίνεται με βάση την οντολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3, ενώ έχει ενσωματωθεί και ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4. Η πρωτότυπη αυτή υλοποίηση δηλαδή, συνδυάζει όλες τις κύριες ιδέες της διατριβής, με προφανή στόχο να τις αναδείξει και να δώσει χειροπιαστά στοιχεία για την αξία τους.

Στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου υπάρχουν περισσότερες λεπτομέρειες για το πρωτότυπο σύστημα, το οποίο είναι ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (Multi Agent System, MAS) βασισμένο στην πλατφόρμα μεσισμικού (middleware platform) JADE και στις γλώσσες προγραμματισμού JAVA και C++. Για τον ορισμό της οντολογίας χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή λογισμικού Protégé, μέσω της οποίας έγινε και η αυτοματοποιημένη παραγωγή μέρους του κώδικα σε JAVA. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό υπάρχουν και αποτελέσματα μετρήσεων από διάφορα ενδεικτικά σενάρια λειτουργίας του συστήματος που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητά του και τα οφέλη που μπορεί να προκύψουν από τη χρήση του.

5.2 Επιλογή τεχνολογιών και εφαρμογών

Παρακάτω υπάρχουν βασικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες και εφαρμογές που αξιοποιήθηκαν κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος.

5.2.1 Τεχνολογία πρακτόρων

Καθώς ήταν ουσιαστικά απαραίτητο η κάθε οντότητα της αρχιτεκτονικής να λειτουργεί αυτόνομα, αναζητήθηκε κάποια τεχνολογία μεσισμικού η οποία θα μπορούσε να αποτελέσει την βάση ανάπτυξης του πρωτότυπου περιβάλλοντος. Χωρίς το μεσισμικό, η επικοινωνία και η συντονισμένη δράση ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών οντοτήτων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολες, αφού θα έπρεπε να γίνουν σε επίπεδο δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ύπαρξη πολλαπλών υποδικτύων και διευθύνσεων, όσο και την ποικιλομορφία των λειτουργικών συστημάτων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

Οι υποψήφιες λύσεις ήταν πολλές, μεταξύ αυτών τεχνολογίες όπως οι Web Services, OSGI, CORBA ή Publish/Subscribe, οι οποίες παρουσιάζουν διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά σε κάθε περίπτωση θα ήταν τεχνικά δυνατό να καλύψουν τις ανάγκες υλοποίησης του πρωτότυπου συστήματος διαχείρισης. Η επιλογή της τεχνολογίας πρακτόρων (agent technology) έγινε κυρίως λόγω της εγγενούς σχέσης της με τις βασικές αρχές των αυτόνομων και κατανεμημένων συστημάτων, αλλά και την εύκολη πρόσβαση σε πλατφόρμες και βοηθητικά εργαλεία για την ανάπτυξη του λογισμικού χωρίς οικονομικό κόστος για άδειες χρήσης κτλ.

Ένας πράκτορας είναι ουσιαστικά μια ακόμα γενίκευση (abstraction) στο χώρο του λογισμικού. Όπως ένα αντικείμενο στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό είναι μια υψηλού επιπέδου (high-level) γενίκευση που περιγράφει μεθόδους και ιδιότητες, έτσι και ένας πράκτορας είναι μια ακόμα υψηλότερου επιπέδου γενίκευση που περιγράφει μια ολόκληρη οντότητα λογισμικού, η οποία μάλιστα μπορεί να είναι και πολύ σύνθετη. Επιπλέον, ένας πράκτορας δεν χαρακτηρίζεται τόσο από τις μεθόδους και τις ιδιότητές του, όσο από τη συμπεριφορά του. Γι' αυτό και είναι πιο εύκολη, ευέλικτη και φυσική η ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων με την τεχνολογία πρακτόρων, γιατί ο σχεδιασμός και η υλοποίησή τους γίνονται στη βάση καθορισμού των διαφόρων συμπεριφορών των πρακτόρων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, αποφεύγοντας την επαφή με έννοιες χαμηλού επιπέδου (low-level) όπως οι διεπαφές και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Κάθε πράκτορας είναι αυτόνομος και είναι εξ' αρχής σε θέση όχι μόνο να επικοινωνεί με το περιβάλλον του, αλλά και να το παρακολουθεί, να το αντιλαμβάνεται, να βγάζει συμπεράσματα και να παίρνει αποφάσεις. Διατηρεί πάντα μια εικόνα της κατάστασής του, όπως και της κατάστασης του κόσμου γύρω του και έτσι δεν χρειάζεται παρέμβαση ή αλληλεπίδραση με τον χρήστη για να επιτελέσει τη λειτουργία που του έχει ανατεθεί. Ειδικά λοιπόν σε περιπτώσεις συστημάτων με πολλές οντότητες που επικοινωνούν μεταξύ τους συνεργαζόμενες για την επίλυση απαιτητικών προβλημάτων, η χρήση πολλαπλών πρακτόρων λογισμικού είναι μια σίγουρα ενδεδειγμένη λύση.

Επιπλέον θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι πράκτορες λογισμικού σαφώς και μπορούν να συνδυαστούν με ήδη υπάρχοντα κομμάτια λογισμικού δίνοντάς τους επιπλέον αξία, καθώς είναι σε θέση να μεταφράζουν δεδομένα, αναλαμβάνοντας την προσαρμογή στις απαιτήσεις του νέου συστήματος. Από τη μια πλευρά δηλαδή φροντίζουν για την κλήση και εκτέλεση του κώδικα που ήδη υπάρχει και από την άλλη επεξεργάζονται τα μηνύματα και τα αντικείμενα που λαμβάνουν ώστε να τα αντιστοιχούν με τις υπάρχουσες λειτουργίες.

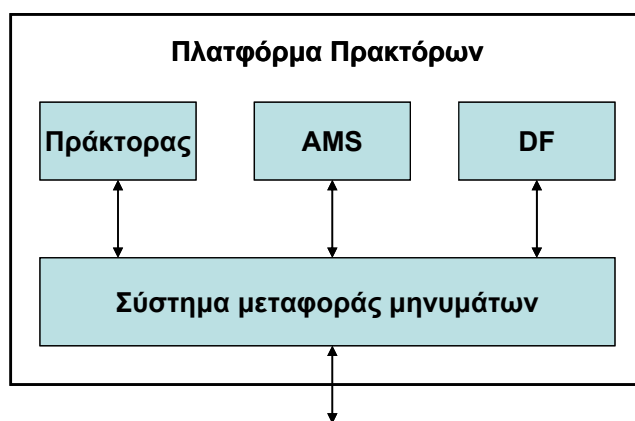
Τέλος σημειώνεται ότι οι πράκτορες που συνεργάζονται για την επίτευξη ενός στόχου, δεν είναι απαραίτητα κατανεμημένοι σε διαφορετικά μηχανήματα αλληλεπιδρώντας μέσω δικτύου, αλλά μπορούν να βρίσκονται και στο ίδιο μηχάνημα ή ακόμα και την ίδια εφαρμογή και να επικοινωνούν μέσω κάποιας εσωτερικής διεπαφής, μέσω του συστήματος αρχείων ή μέσω μιας εσωτερικής διαδικασίας (in-process communication). Και σε αυτή την περίπτωση διατηρούν τα βασικά χαρακτηριστικά αυτονομίας και ευφυΐας του πράκτορα.

5.2.2 Πλατφόρμα μεσισμικού JADE

Η υλοποίηση ενός συστήματος πολλαπλών πρακτόρων στηρίζεται κατά κανόνα σε μια αντίστοιχη πλατφόρμα η οποία και παρέχει έτοιμες τις βασικές λειτουργίες ενός πράκτορα, όπως την ασύγχρονη αποστολή και λήψη μηνυμάτων. Αυτή η επικοινωνία με άλλους πράκτορες είναι σημαντικό να γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα που έχουν οριστεί από τον οργανισμό FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents, [34]), ο οποίος είναι επίσημα, από το 2005, μια από τις επιτροπές προτυποποίησης της IEEE [35], που ασχολείται τόσο με την εξέλιξη και προώθηση της τεχνολογίας πρακτόρων γενικότερα, όσο και με τη διασύνδεσή της με άλλες τεχνολογίες επικοινωνιών.

Οι λύσεις που υπάρχουν είναι πολλές και σε αυτή την περίπτωση, όπως οι πλατφόρμες Grasshopper [36], JACK Intelligent Agents [37], SPADE [38], JIAC (Java-based Intelligent Agent Componentware [39]) και JADE (Java Agent Development Framework, [40]). Επιλέχθηκε η πλατφόρμα JADE, η οποία έχει την πιο ενεργή κοινότητα υποστήριξης και τις περισσότερες λειτουργικές επεκτάσεις, ενώ έχει αναπτυχθεί πλήρως σε Java και είναι δωρεάν λογισμικό ανοιχτού κώδικα, κάτι που διευκολύνει σημαντικά την υλοποίηση συστημάτων βασισμένων σε αυτή.

Το λογισμικό JADE αναπτύχθηκε στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος και διανέμεται από την Telecom Italia. Η τρέχουσα έκδοσή του είναι η JADE 4.2.0 η οποία περιλαμβάνει και την επέκταση LEAP και έτσι έχει συμβατότητα και με συσκευές περιορισμένων δυνατοτήτων οι οποίες εκτελούν JAVA Micro Edition (J2ME-CLDC MIDP 1.0) ή Personal JAVA (J2ME-CDC). Επίσης ενσωματώνει μια μεγάλη συλλογή από γραφικά εργαλεία τα οποία είναι χρήσιμα για την διαχείριση των πρακτόρων, τον εντοπισμό και διόρθωση λαθών στον κώδικα, την απεικόνιση των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται, αλλά και την εκκίνηση του συστήματος των πολλαπλών πρακτόρων.



Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική αναφοράς μιας πλατφόρμας πρακτόρων κατά FIPA

Το πιο σημαντικό ίσως στοιχείο κατά την χρήση της πλατφόρμας μεσισμικού JADE είναι ότι η αναφορά σε έναν πράκτορα γίνεται με βάση το όνομα με το οποίο έχει δηλωθεί, και το οποίο είναι μοναδικό στην πλατφόρμα. Από εκεί και πέρα, οι τιμές των δικτυακών παραμέτρων που χρειάζονται για την επικοινωνία, όπως η διεύθυνση IP, οι πόρτες κτλ, είναι θέμα της πλατφόρμας. Η ανάπτυξη του κώδικα γίνεται συνεπώς σαφώς ευκολότερη και γρηγορότερη, όπως και η εκκίνηση του όλου συστήματος, αφού για παράδειγμα ένας

πράκτορας μπορεί να τρέξει είτε σε ένα μηχάνημα, είτε σε άλλο, χωρίς να επηρεαστεί στο ελάχιστο η κωδικοποίηση των υπολοίπων πρακτόρων. Το μόνο που χρειάζεται να γνωρίζει ο κάθε πράκτορας είναι τα στοιχεία σύνδεσης με την πλατφόρμα και όλα γίνονται στη συνέχεια μέσω αυτής. Αυτός βέβαια είναι και ο λόγος που το JADE παρέχει σε περίπτωση σφάλματος και αυτόματη υπηρεσία υποστήριξης και αντικατάστασης της πλατφόρμας από κάποια άλλη εφεδρική που τρέχει παράλληλα σε άλλο μηχάνημα, δίνοντας μάλιστα τη δυνατότητα ορισμού πολλών εφεδρικών λύσεων.

Μια από τις υπηρεσίες που περιέχονται στο JADE και αξίζει ειδικής αναφοράς είναι η αντίστοιχη του λεγόμενου «χρυσού οδηγού» (yellow pages). Με αυτή κάθε πράκτορας μπορεί να καταχωρεί εγγραφές και να δηλώνει ένα όνομα και ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά για κάθε υπηρεσία που προσφέρει. Έτσι κάποιος άλλος πράκτορας μπορεί να έρθει σε επαφή με τον πρώτο αναζητώντας τον με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που αφορούν στα χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας. Η όλη διαδικασία επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή μηνυμάτων σύμφωνα με μια προκαθορισμένη οντολογία με έναν πράκτορα της πλατφόρμας, τον DF (Directory Facilitator).

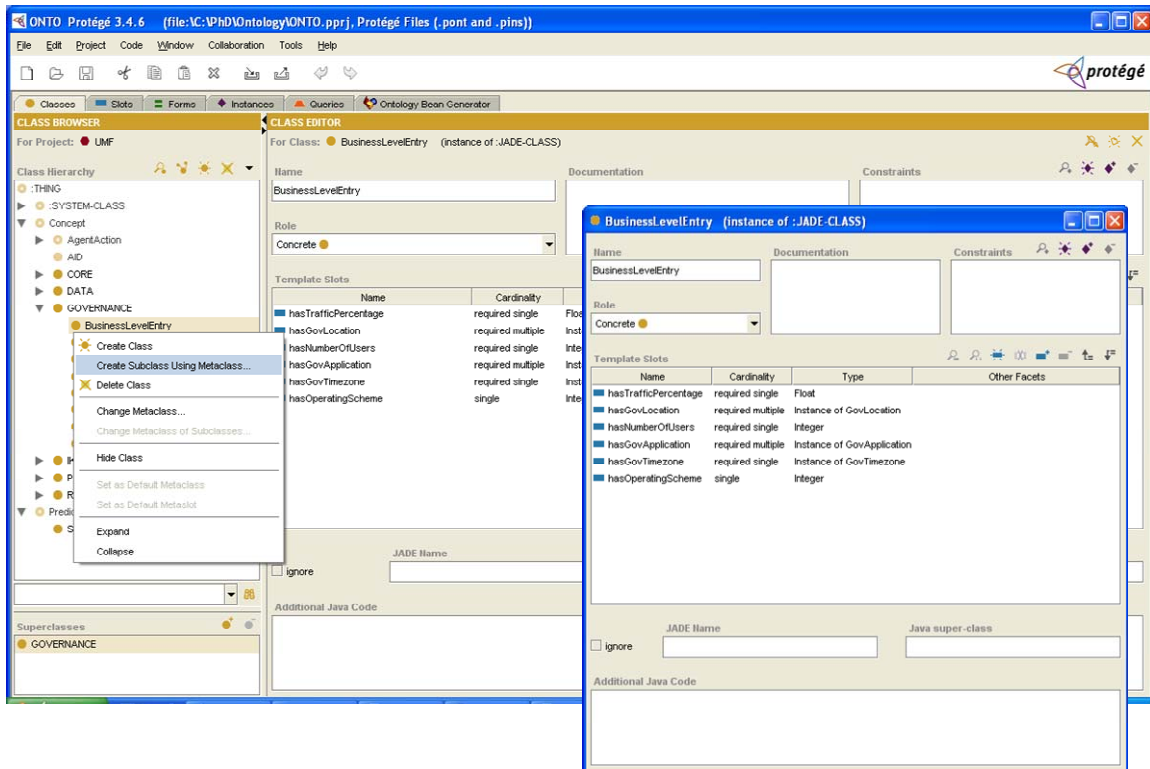
Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι μαζί με την πλατφόρμα ξεκινάει και ένας ακόμα πράκτορας, ο AMS (Agent Management System agent), ο οποίος παρέχει ουσιαστικά υπηρεσίες αντίστοιχες του τηλεφωνικού καταλόγου, γνωρίζει δηλαδή ποιοι είναι οι εγγεγραμμένοι πράκτορες στην πλατφόρμα, ποια είναι τα ονόματά τους και οι διευθύνσεις τους. Και σε αυτή την περίπτωση παρέχεται μια οντολογία για την αποστολή ερωτημάτων και την ανάκτηση σχετικών πληροφοριών.

Στην Εικόνα 25 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική αναφοράς μιας πλατφόρμας πρακτόρων σύμφωνα με τα πρότυπα του FIPA, όπου φαίνονται και οι ειδικοί πράκτορες AMS και DF.

5.2.3 Εφαρμογή Protégé

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας πρακτόρων είναι ότι για την ανταλλαγή δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηνύματα που μεταφέρουν έννοιες μιας οντολογίας. Έτσι η επικοινωνία γίνεται με απόλυτα δομημένο τρόπο, με βάση ένα κοινό λεξιλόγιο, δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων ανάλογα κατ' αρχήν με την κλάση στην οποία ανήκει ένα στιγμιότυπο που λήφθηκε. Όλοι οι πράκτορες χρησιμοποιούν σε μια συνομιλία την ίδια οντολογία και έτσι επιτυγχάνεται ο απαραίτητος συγχρονισμός σχετικά με τις μεταφερόμενες πληροφορίες.

Ένα από τα καλύτερα και πιο διαδεδομένα εργαλεία για την ανάπτυξη οντολογιών είναι το Protégé [41] το οποίο είναι επίσης δωρεάν και ανοιχτού κώδικα. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής είναι η Protégé Frames σε συνδυασμό με την ειδική επέκταση (add-on) για την αυτοματοποιημένη παραγωγή κώδικα Java που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το JADE, την επέκταση Ontology Bean Generator [42][43]. Το Protégé παρέχει μια εύχρηστη γραφική διεπαφή μέσω της οποίας ορίζονται οι έννοιες της οντολογίας και τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26: Ορισμός οντολογίας με το Protégé

Ο κώδικας που παράγεται στη συνέχεια περιλαμβάνει μια κλάση Java για κάθε έννοια και ένα ζεύγος μεθόδων για την αποθήκευση και την ανάκτηση της τιμής κάθε μεταβλητής της κλάσης αυτής, όπως οι παρακάτω:

```
public String getNetElemName(){
    return this.netelemname;
}
```

```
public void setNetElemName(String netelemname){
    this.netelemname = netelemname;
}
```

Έτσι, πριν στείλει ένα μήνυμα ο πράκτορας δημιουργεί ένα στιγμιότυπο της αντίστοιχης κλάσης και θέτει τις τιμές των μεταβλητών, οι οποίες βέβαια μπορεί να είναι και στιγμιότυπα άλλων κλάσεων. Η πρώτη δε ενέργεια που κάνει ένας πράκτορας όταν λάβει ένα μήνυμα είναι να ελέγξει την κλάση στη οποία ανήκει το εισερχόμενο στιγμιότυπο, χρησιμοποιώντας πιθανόν την λειτουργία instanceof της Java όπως παρακάτω:

```
if (msg instanceof ContextResponse){
    ContextResponse cont = (ContextResponse) msg;
    cont.get...
```

Μια άλλη χρήσιμη χρήση της εφαρμογής Protégé είναι και η μετατροπή της οντολογίας από τη μορφή στην οποία έχει αποθηκευτεί σε κάποια άλλη, ανάλογα με τις ανάγκες του λογισμικού το οποίο θα την χρησιμοποιήσει. Για παράδειγμα η ίδια ακριβώς οντολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανάπτυξη ενός συστήματος όπου η

επικοινωνία βασίζεται στην ανταλλαγή αντικειμένων σε μορφή XML, όπως τα RESTful Web Services [44] [45].

5.2.4 Γλώσσες προγραμματισμού JAVA και C++

Για την υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος χρησιμοποιήθηκε κυρίως η γλώσσα προγραμματισμού Java και συγκεκριμένα η Java 2 Standard Edition, αρχικά η έκδοση J2SE 1.5 και στη συνέχεια η J2SE 1.6. Η ανάπτυξη του κώδικα δεν βασίστηκε σε κάποιο εργαλείο IDE, χρησιμοποιήθηκε απλά μια εφαρμογή επεξεργασίας κειμένου και απευθείας ο μεταγλωττιστής της Java. Για την καλύτερη διαχείριση μνήμης σε κάποια απαιτητικά σε υπολογιστικούς πόρους κομμάτια του περιβάλλοντος, όπως ο εξομοιωτής δικτύου που περιλαμβάνεται, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα C++ και το πακέτο λογισμικού Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition [46]. Για τη σύνδεση δε του τμήματος κώδικα C++ με αυτό της Java, αξιοποιήθηκε το προγραμματιστικό πλαίσιο Java Native Interface (JNI) [47], μέσω του οποίου γίνεται η κλήση μεθόδων C++ που βρίσκονται σε κοινές βιβλιοθήκες dll.

5.2.5 Βάση δεδομένων MySQL

Οι περισσότερες λειτουργίες που περιλαμβάνονται στους διάφορους πράκτορες που αποτελούν το πρωτότυπο σύστημα διαχείρισης αποθηκεύουν για την ομαλή λειτουργία τους ένα μεγάλο όγκο πληροφοριών, σχετικών με προφίλ, πρότυπα, ρυθμίσεις, πολιτικές, αλλά και ένα ιστορικό καταστάσεων και λειτουργιών, από το οποίο μπορεί να προκύψει και η αντίστοιχη γνώση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται όπου απαιτείται το πακέτο λογισμικού MySQL Community Edition version 5 [49] το οποίο είναι δωρεάν και ανοιχτού κώδικα και έχει αποδειχτεί αξιόπιστο σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, ακόμα και εμπορικών. Η δε σύνδεσή της με εφαρμογές Java γίνεται πολύ εύκολα μέσω του API JDBC [50] και της κατάλληλης βιβλιοθήκης που παρέχεται [51]. Αντίστοιχες βιβλιοθήκες παρέχονται και για γλώσσες C/C++ αλλά δεν χρειάστηκαν στην παρούσα υλοποίηση.

5.3 Θέματα σχετικά με τον σχεδιασμό του πρωτότυπου συστήματος

5.3.1 Οντότητες και πράκτορες

Το πρώτο ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος πολλαπλών πρακτόρων, είναι η αντιστοίχιση των οντοτήτων και των λειτουργιών που προβλέπονται από την λογική αρχιτεκτονική ή τις προδιαγραφές του συστήματος, σε πράκτορες. Πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο σε αυτή την απόφαση, η οποία σαφώς και δεν έχει μια μονοσήμαντη λύση. Το σίγουρο είναι ότι δεν συμφέρει από την άποψη χρήσης πόρων, τόσο δικτυακών, όσο και υπολογιστικών, να δημιουργηθεί ένας πράκτορας για κάθε οντότητα ή λειτουργία, θεωρώντας ότι έτσι επιτυγχάνεται η μέγιστη αυτονομία και ευελιξία. Ο αριθμός των πρακτόρων μπορεί μεν να είναι μεγάλος, αλλά μέσα σε κάποια πλαίσια. Χρειάζεται κάποια ομαδοποίηση των λειτουργιών, η οποία μπορεί για παράδειγμα να γίνει με βάση τις φάσεις της εξέλιξης μιας διαδικασίας ή την ανάγκη για χρήση κοινών δεδομένων ή την απαίτηση για πολύ συχνή αλληλεπίδραση κ.α.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο πράκτορας είναι τελικά μια υψηλού επιπέδου διεπαφή με το υπόλοιπο σύστημα, ουσιαστικά αποτελεί ένα περίβλημα της αντίστοιχης οντότητας (ή οντοτήτων) το οποίο της παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας, οργάνωσης των πληροφοριών και γενικότερα συμμετοχής στο σύστημα πολλαπλών πρακτόρων. Το δε σύστημα σαν σύνολο, μπορεί να θεωρηθεί και ως ένα εικονικό περιβάλλον όπου οι λειτουργίες, οι υπηρεσίες και οι πόροι αντιπροσωπεύονται από αντίστοιχους πράκτορες. Αυτή η μεταφορά σε εικονικό επίπεδο (virtualization) μπορεί να διευκολύνει και να ωφελήσει σημαντικά τις λειτουργίες διαχείρισης, αλλά και να απλοποιήσει την ανάπτυξη και εισαγωγή νέων λειτουργιών, μέσω της ομογενοποίησης του τρόπου αλληλεπίδρασης μεταξύ των οντοτήτων.

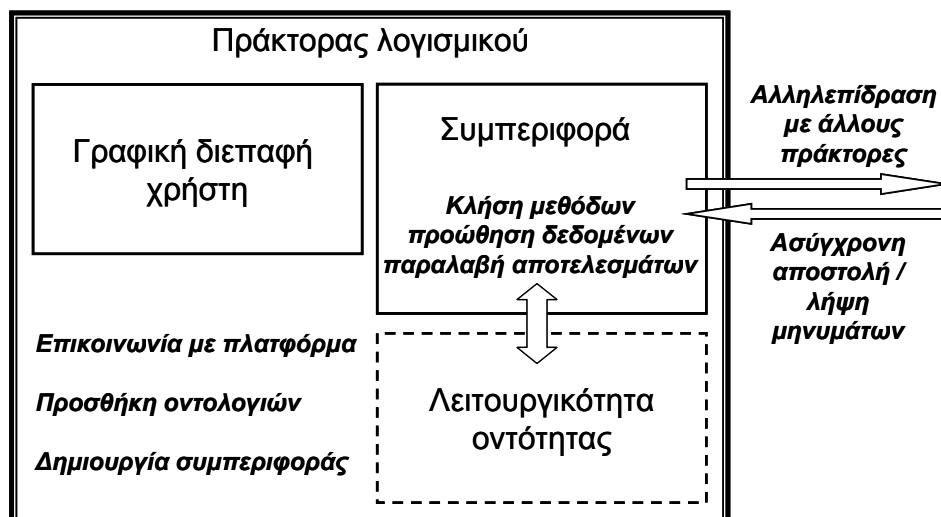
Ένα άλλο θέμα που πρέπει να διευκρινιστεί είναι ότι η σύνδεση του πράκτορα με την σχετική οντότητα (ή οντότητες) δεν χρειάζεται να είναι σε φυσικό επίπεδο, δηλαδή να μοιράζονται το ίδιο περιβάλλον εκτέλεσης ή να βρίσκονται έστω στο ίδιο μηχάνημα. Μπορεί κάλλιστα να υπάρχει μια χαλαρή ολοκλήρωση (loose integration) με οποιαδήποτε τεχνική, όπως η χρήση μιας απλής δικτυακής υποδοχής (socket). Ή και ακόμα πιο χαλαρή, μέσω εξωτερικών εντολών συστήματος ή μέσω πρωτοκόλλου http και κάποιου εξυπηρετητή ιστού. Έτσι είναι δυνατή η ενσωμάτωση (embodiment) στο πρωτότυπο σύστημα κάθε υπάρχουσας λειτουργίας ή και στοιχείου υλικού, όπως για παράδειγμα ένας σταθμός βάσης ή ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης κ.α.

5.3.2 Δομή ενός πράκτορα λογισμικού

Η ανάπτυξη του κώδικα ενός πράκτορα μπορεί προφανώς να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, στην υποενότητα όμως αυτή περιγράφεται η δομή που επιλέχθηκε να έχουν όλοι οι πράκτορες λογισμικού που αποτελούν το πρωτότυπο σύστημα διαχείρισης και οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες. Κάθε πράκτορας λοιπόν χωρίζεται σε τρία μέρη: τη γραφική διεπαφή χρήστη, τη συμπεριφορά του και τον πυρήνα του.

Καθώς οι περισσότεροι πράκτορες του συστήματος είναι αυτόνομοι, η γραφική διεπαφή δεν είναι καθόλου απαραίτητη για τη λειτουργία τους, είναι όμως πολύ χρήσιμη για την απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του πράκτορα, αλλά και σχετικών πληροφοριών για την εξέλιξη των διαφόρων διαδικασιών που επιτελεί.

Η συμπεριφορά του πράκτορα είναι ουσιαστικά το σημείο από όπου ελέγχεται η λειτουργικότητα της οντότητας που περικλείει, καθώς εδώ γίνεται κατ' αρχήν η ανάλυση των εισερχόμενων μηνυμάτων και υπάρχει το πρώτο επίπεδο ευφυΐας με βάση το οποίο γίνεται η προώθηση του περιεχομένου τους προς τις κατάλληλες μεθόδους της οντότητας. Η συμπεριφορά μπορεί να αποτελείται προγραμματιστικά και από πολλές κλάσεις, π.χ. μια για κάθε είδος αλληλεπίδρασης.



Εικόνα 27: Η δομή ενός πράκτορα

Ο πυρήνας του πράκτορα είναι το τμήμα που τα συνδέει όλα και το οποίο αναλαμβάνει την επικοινωνία με την πλατφόρμα καθώς και κάθε άλλη διαχειριστική διαδικασία που σχετίζεται με το σύστημα πολλαπλών πρακτόρων. Εδώ δηλώνονται οι οντολογίες που θα χρησιμοποιηθούν, όπως και η συμπεριφορά του πράκτορα. Μπορεί επίσης να δημιουργείται και η γραφική διεπαφή χρήστη, αν και συχνά επιλέγεται να γίνει το αντίθετο, δηλαδή πρώτα να εμφανίζεται το γραφικό περιβάλλον και μετά να ξεκινάει ο κυρίως πράκτορας, πιθανώς αυτόματα, ώστε σε περίπτωση προβλήματος να είναι πιο εύκολη η ενημέρωση του χρήστη ή να μπορεί να γίνει επανεκκίνηση του πράκτορα χωρίς να επηρεαστεί η εργασία του χρήστη στη γραφική διεπαφή κτλ.

Στην Εικόνα 27 αποτυπώνονται σχηματικά τα μέρη του πράκτορα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

5.3.3 Ενσωμάτωση λειτουργικότητας στον πράκτορα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο στόχος του συστήματος πολλαπλών πρακτόρων που περιγράφεται στο παρόν κεφάλαιο, είναι η υλοποίηση του πρωτοτύπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών που προτείνεται στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής. Καθώς όμως ο συγκεκριμένος χώρος είναι πολύ ευμετάβλητος από άποψη τεχνολογιών, τεχνικών και γενικότερα τάσεων στην επίλυση των προβλημάτων και των προκλήσεων που εμφανίζονται, είναι πολύ σημαντικό η υλοποίηση να είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη, ώστε να μπορεί να ενσωματώσει τις όποιες μελλοντικές εξελίξεις και τα αποτελέσματα της εντατικής έρευνας που γίνεται σήμερα σχετικά με τα θέματα αυτά.

Για το λόγο αυτό είναι θεμιτό να δημιουργηθεί ένας γενικός, πρότυπος πράκτορας, ένα γενικευμένο κέλυφος (skin) το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνδεση στο σύστημα μιας νέας λειτουργίας. Με την ίδια λογική θα μπορεί να γίνει και επέκταση ή ενημέρωση της λειτουργικότητας ενός πράκτορα ή αντικατάστασή της με κάποια νέα. Το εν λόγω κέλυφος μπορεί να διαφοροποιείται ανά είδος λειτουργίας, π.χ. ένα για στοιχεία δικτύου, άλλο για αλγορίθμους βελτιστοποίησης, ένα τρίτο για υπηρεσίες οικοδόμησης

γνώσης κτλ. Η δομή του πράκτορα που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη υποενότητα εμπεριέχει αυτή την ιδέα. Το σημείο ολοκλήρωσης είναι κυρίως μέσα στην συμπεριφορά του πράκτορα, όπου πρέπει να οριστεί ποια μέθοδος καλείται όταν έρχεται ένα μήνυμα και τί γίνεται στη συνέχεια με το αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου, εφόσον έχει.

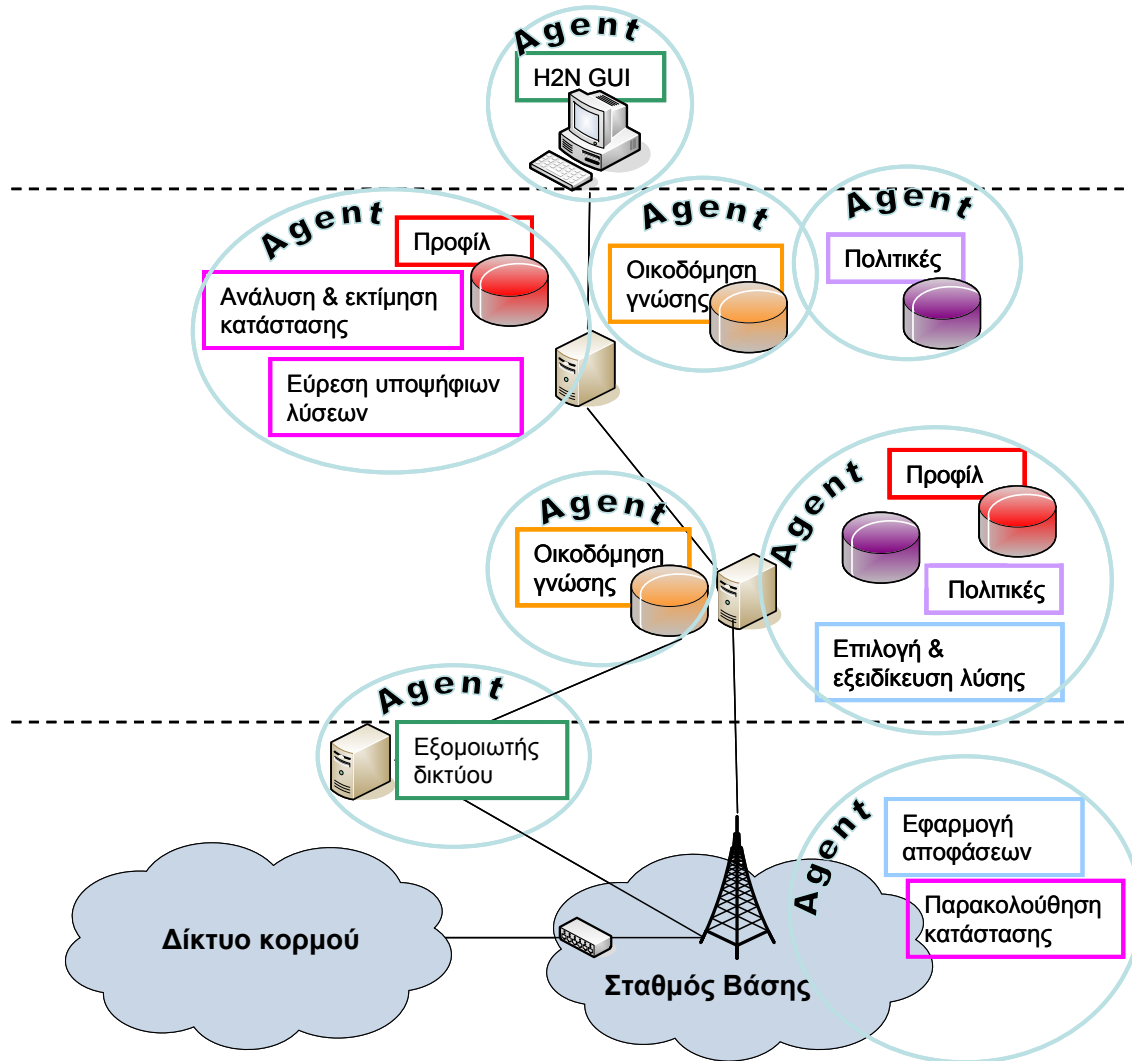
Το σημαντικό στη όλη διαδικασία είναι ότι τα μηνύματα δεν εξαρτώνται σε καμία περίπτωση από συγκεκριμένο κατασκευαστή, στην περίπτωση υλικού, ή εκδότη, στην περίπτωση λογισμικού. Είναι κοινά για όλους και ορίζονται με την οντολογία που χρησιμοποιείται. Ο πράκτορας δηλαδή παίζει και το ρόλο του ενδιάμεσου μεταφραστή, μετασχηματίζοντας τα δεδομένα από την όποια μορφή έχουν, στη γενική μορφή που θέλει το σύστημα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών και αντίστροφα. Έτσι επιτυγχάνεται παράλληλα και η ενσωμάτωση της λειτουργικότητας στο σύστημα.

5.3.4 Αντιστοίχιση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής στο σύστημα πρακτόρων

Οι βασικές οντότητες του αρχιτεκτονικού πλαισίου που προτείνεται στο 2^ο κεφάλαιο είναι οι εξής:

- το ευρετήριο υπηρεσιών SD,
- η οντότητα για την επικοινωνία ανθρώπου – δικτύου H2N,
- η οντότητα για την ανάλυση και εκτίμηση της κατάστασης AES,
- η οντότητα εύρεσης υποψήφιων λύσεων CSD,
- η οντότητα επιλογής και εξειδίκευσης λύσης SES,
- η οντότητα εφαρμογής αποφάσεων και νέων ρυθμίσεων EDC,
- η οντότητα παρακολούθησης της κατάστασης NEM,
- η οντότητα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας BIK,
- η οντότητα διαχείρισης και παραγωγής πολιτικών PDM,
- η οντότητα διαχείρισης προφίλ και προτύπων PMM και
- ο εξομοιωτής δικτύου SIM.

Σύμφωνα και με όσα αναφέρθηκαν στα παραπάνω, στην Εικόνα 28 φαίνεται με γραφικό τρόπο η αντιστοίχιση αυτών των οντοτήτων σε πράκτορες. Περισσότερα στοιχεία για την λογική αυτής της επιλογής παρέχονται στην επόμενη υποενότητα, μέσα από την παρουσίαση της υλοποίησης του πρωτότυπου συστήματος.



Εικόνα 28: Αντιστοίχιση προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σε πράκτορες

5.4 Η υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος

5.4.1 Γενική παρουσίαση

Αυτό που μπορεί κατ' αρχήν να παρατηρήσει κανείς στην Εικόνα 28 ως προς την υλοποίηση του πρωτότυπου συστήματος είναι ότι μερικές λειτουργικές οντότητες βρίσκονται είτε τελείως αυτόνομες σε έναν πράκτορα, είτε ομαδοποιημένες μαζί με άλλες. Τέτοια παραδείγματα είναι η οντότητα BIK ή η οντότητα PDM. Αυτή η διαφοροποίηση υπάρχει διότι η γνώση ή οι πολιτικές έχουν σε κάποιες περιπτώσεις περιορισμένο ενδιαφέρον, παράγονται και καταναλώνονται δηλαδή τοπικά, στα πλαίσια μιας μόνο οντότητας ή ενός μόνο πράκτορα. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ομαδοποίηση λειτουργιών σε ένα πράκτορα, δεν σημαίνει και απώλεια της δυνατότητας επικοινωνίας τους με το υπόλοιπο σύστημα. Απλά μπορεί αυτή η συγκέντρωση να έγινε ακριβώς για να μειωθεί ή και να μηδενιστεί η ανάγκη ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ οντοτήτων που μπορούν να συνυπάρχουν.

Μια αντίστοιχη παρατήρηση είναι και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιος ειδικός πράκτορας για την οντότητα διαχείρισης προφίλ και προτύπων. Όπου απαιτείται η οντότητα PMM είναι ουσιαστικά μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει τα σχετικά προφίλ και πρότυπα υπηρεσιών, στοιχείων δικτύου, χρηστών, τεχνολογιών κτλ. Τα πιο σημαντικά σημεία της υλοποίησης των υπόλοιπων οντοτήτων περιγράφονται στις αμέσως επόμενες υποενότητες.

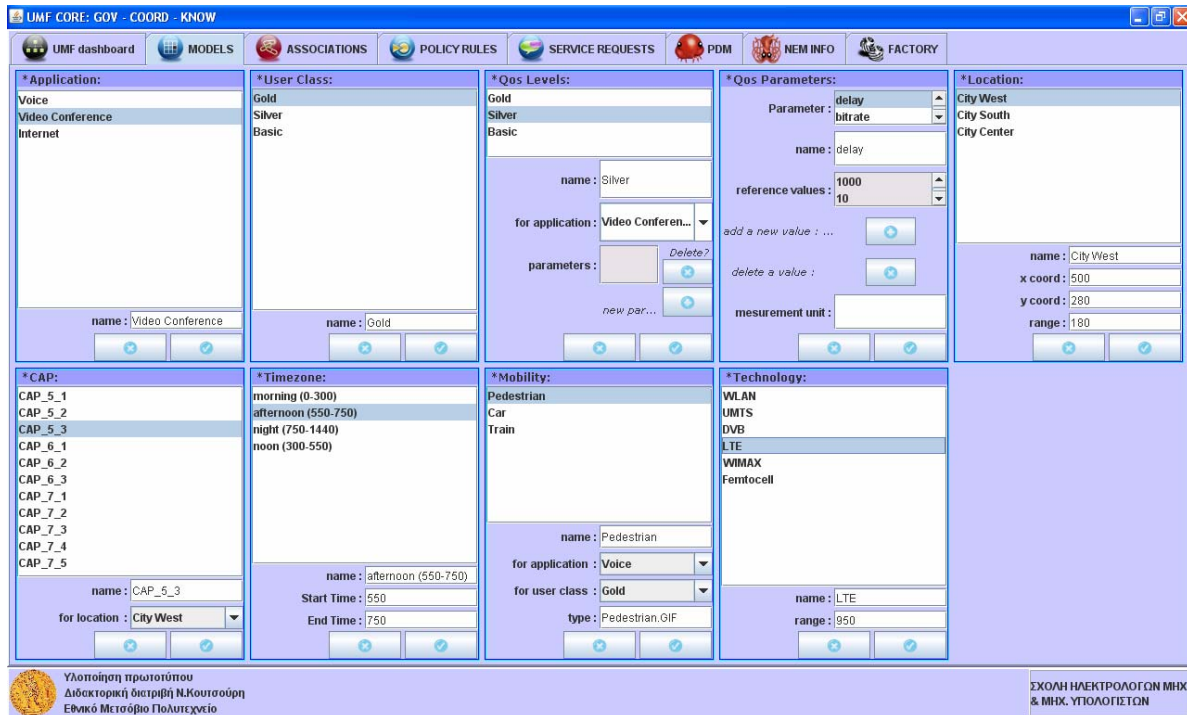
5.4.2 Το ευρετήριο υπηρεσιών

Οι λειτουργίες που προβλέπονται στα πλαίσια αυτής της οντότητας υποστηρίζονται από τον πράκτορα DF (Directory Facilitator) που υπάρχει ενσωματωμένος στο λογισμικό JADE. Καθώς μάλιστα ο πράκτορας DF είναι από αυτούς που ορίζονται με τα πρότυπα της FIPA, για τους οποίους υπάρχει επίσης προτυποποιημένος τρόπος αλληλεπίδρασης, αξιοποιείται το απλοποιημένο API (Application Programming Interface) που παρέχει το JADE και το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη κώδικα σχετικά με την εγγραφή, διαγραφή, τροποποίηση και αναζήτηση υπηρεσιών από άλλους πράκτορες. Το JADE παρέχει ακόμα τη δυνατότητα ρυθμίσεων σχετικών με τη δημιουργία και άλλων πρακτόρων DF οι οποίοι συνεργάζονται υποστηρικτικά ή ιεραρχικά, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος πολλαπλών πρακτόρων. Στην υλοποίηση πάντως του πρωτότυπου συστήματος ο default DF πράκτορας της πλατφόρμας ήταν ο μόνος που χρειάστηκε.

Κάθε πράκτορας μπορεί να εγγράψει όσες υπηρεσίες θέλει, δηλώνοντας κατ' αρχήν ένα όνομα και έναν τύπο για κάθε υπηρεσία. Στην προκειμένη περίπτωση ο τύπος είναι το όνομα της οντότητας, π.χ. AES για την οντότητα που κάνει ανάλυση και εκτίμηση της κατάστασης. Παράλληλα καταχωρείται και ένα σύνολο από επιπλέον ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την υπηρεσία, όπως για παράδειγμα η μέθοδος επίλυσης ενός προβλήματος, η περιοχή την οποία εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος πράκτορας κ.α. Με βάση αυτά τα στοιχεία γίνεται η αναζήτηση για υπηρεσίες και καθίσταται δυνατή η δυναμική είσοδος / έξοδος οντοτήτων και λειτουργιών. Πολύ χρήσιμη για την υποστήριξη αυτής της δυναμικότητας είναι και η επιλογή να αποκτήσει ένας πράκτορας «συνδρομή» σε κάποιο τύπο υπηρεσίας και να ενημερώνεται αυτόματα από τον DF όταν υπάρξει οποιαδήποτε νέα καταχώρηση, διαγραφή ή τροποποίηση μιας ανάλογης υπηρεσίας.

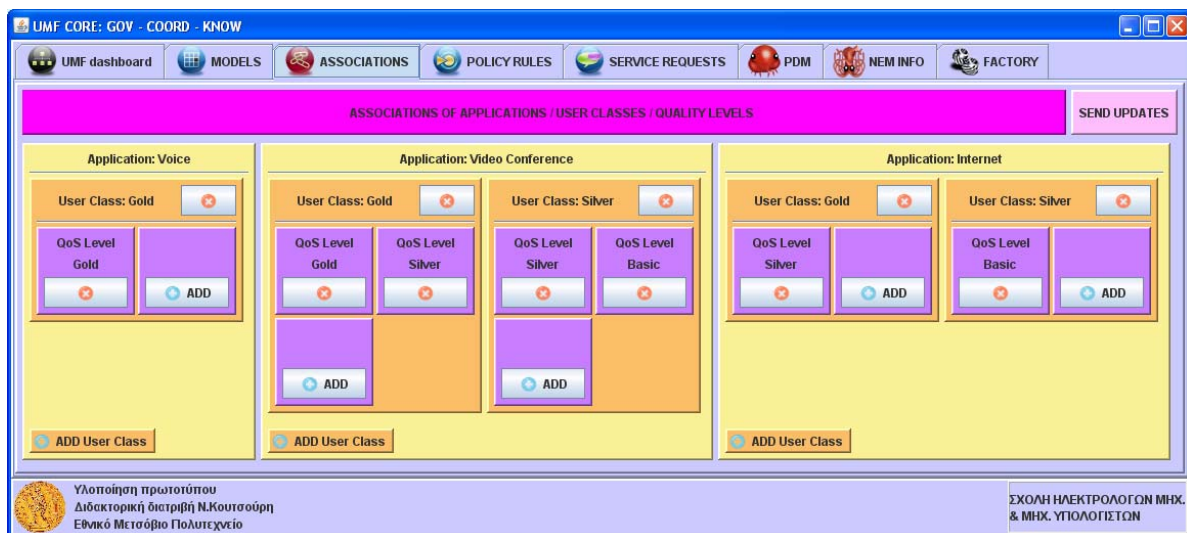
5.4.3 Η διεπαφή H2N

Σύμφωνα και με όσα περιγράφηκαν στην αντίστοιχη ενότητα του 2^{ου} κεφαλαίου για το ρόλο της διεπαφής H2N, η υλοποίησή της, η οποία βασίστηκε εξ' ολοκλήρου στο πακέτο Swing [48] της Java, αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη. Ο χρήστης μπορεί κάθε φορά να βλέπει ένα από αυτά κάνοντας την αντίστοιχη επιλογή στην οθόνη. Το πρώτο αφορά στη μοντελοποίηση του συστήματος διαχείρισης και τον ορισμό δεδομένων όπως το ποιες είναι οι παρεχόμενες υπηρεσίες, ποια τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας, ποιες οι διάφορες γεωγραφικές περιοχές που καλύπτονται κτλ. Σε αυτά τα στοιχεία βασίζονται οι υπόλοιπες λειτουργίες επικοινωνίας ανθρώπου – δικτύου. Στην Εικόνα 29 φαίνεται ένα στιγμιότυπο της οθόνης από το πρώτο αυτό κομμάτι λειτουργικότητας.



Εικόνα 29: Στιγμιότυπο της οθόνης για την μοντελοποίηση του συστήματος διαχείρισης

Το δεύτερο μέρος αφορά στους επιτρεπόμενους συνδυασμούς υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας. Εδώ μπορεί να καταχωρήσει ο πάροχος τις πολιτικές που σχετίζονται κυρίως με τα διάφορα εμπορικά προγράμματα που προσφέρει.

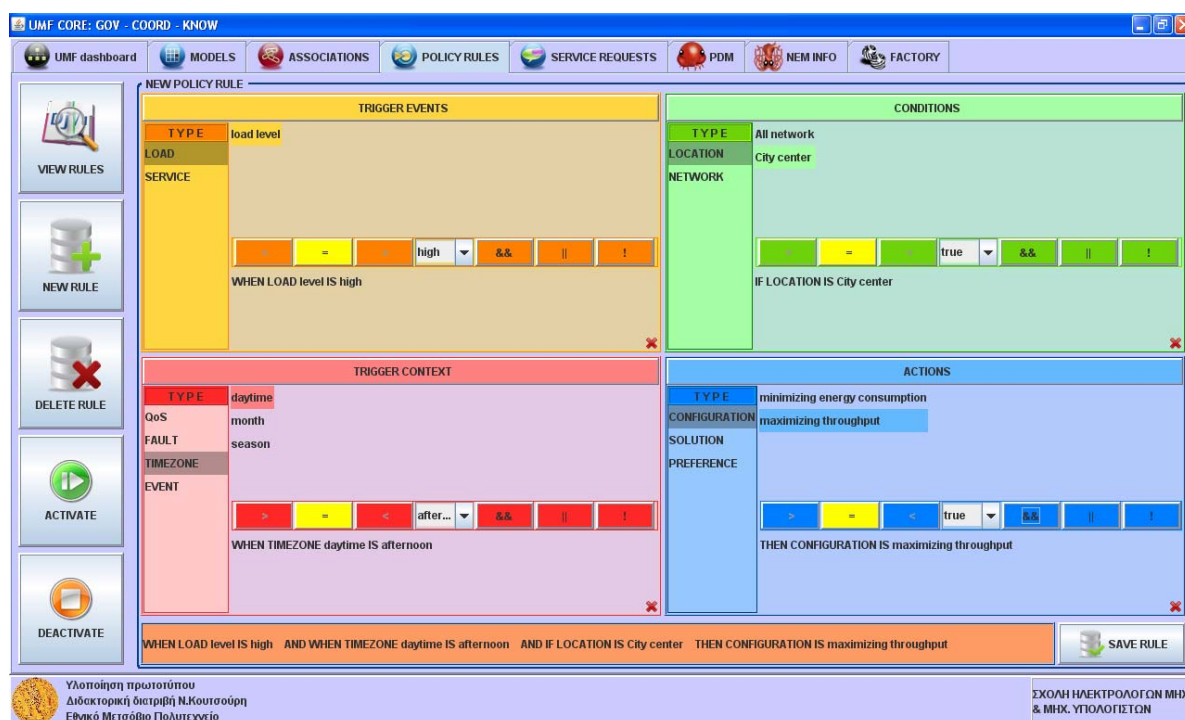


Εικόνα 30: Στιγμιότυπο της οθόνης για τον ορισμό συσχετίσεων υπηρεσιών, κλάσεων χρηστών και επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας

Η ενημέρωση του συστήματος γίνεται δυναμικά σε πραγματικό χρόνο. Οι συσχετίσεις αυτές καταχωρούνται σε βάσεις δεδομένων που περιέχουν προφίλ και πρότυπα και λαμβάνονται υπόψη από τους αλγορίθμους διαχείρισης κατά την επεξεργασία ενός αιτήματος εξυπηρέτησης από τον πάροχο ή κατά την επίλυση κάποιου δικτυακού

προβλήματος που έχει εμφανιστεί. Στην Εικόνα 30 απεικονίζεται ένα αντίστοιχο στιγμιότυπο της οθόνης.

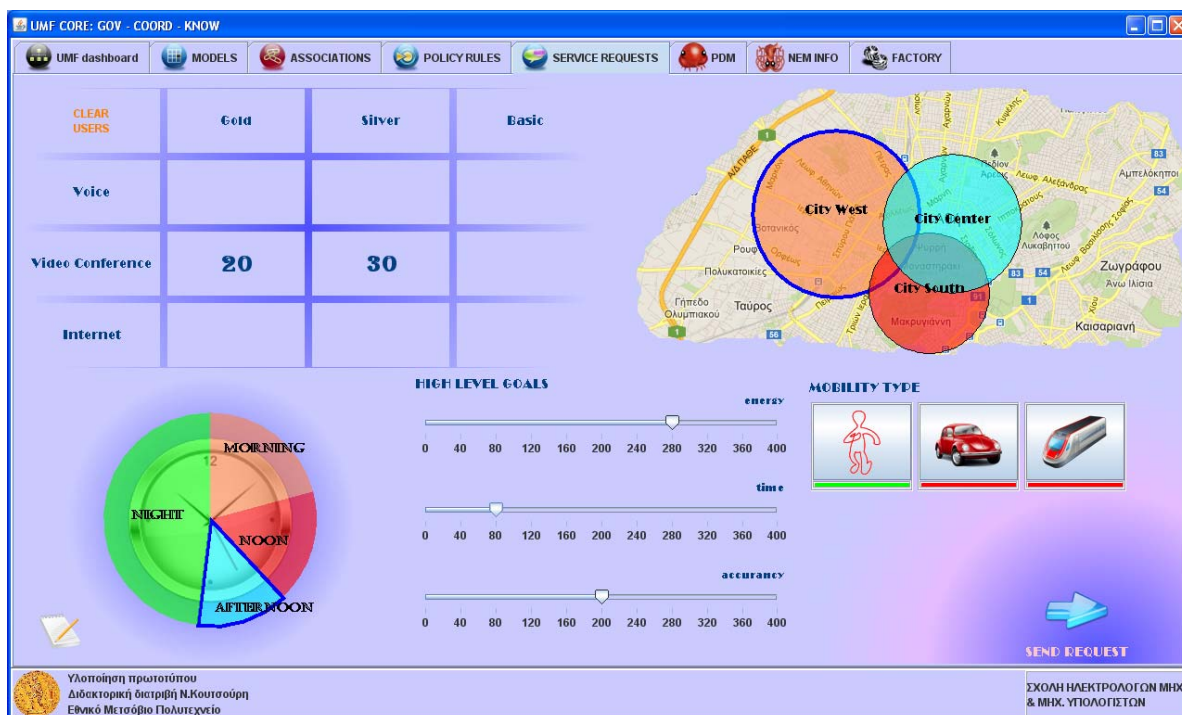
Το επόμενο κομμάτι, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 31, είναι αυτό που δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας νέων πολιτικών, όπως και τη διαχείρισή τους στη συνέχεια. Ο πάροχος μπορεί να εκφράσει σε σχεδόν φυσική γλώσσα τα γεγονότα και τις καταστάσεις που οδηγούν κατ' αρχήν στην εξέταση μιας πολιτικής, όπως και τις συνθήκες υπό τις οποίες εφαρμόζεται η ενέργεια που περιγράφει. Για παράδειγμα μια πολιτική μπορεί να ορίζει ότι σε περίπτωση που είναι απόγευμα και το φορτίο κίνησης είναι υψηλό στο κέντρο της πόλης, να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις με στόχο να μεγιστοποιηθεί η διέλευση (throughput).



Εικόνα 31: Στιγμιότυπο της οθόνης για την διαχείριση κανόνων και πολιτικών

Ακολουθως γίνεται αποστολή των αλλαγών στον πράκτορα διαχείρισης και παραγωγής πολιτικών, ο οποίος εξάγει από αυτή την υψηλού επιπέδου (high level) περιγραφή, τις αντίστοιχες πολιτικές που θα πρέπει να ισχύουν και να εφαρμοστούν από τις σχετικές οντότητες του συστήματος διαχείρισης.

Τέλος, υπάρχει και το κομμάτι της διεπαφής μέσω του οποίου γίνεται η καταχώρηση διαφόρων αιτημάτων του παρόχου προς το σύστημα διαχείρισης, σχετικών με την εξυπηρέτηση επιπλέον φορτίου κίνησης, το οποίο απεικονίζεται στην Εικόνα 32. Σε τέτοιες περιπτώσεις υποθέτουμε ότι υπάρχει κάποια σχετική ενημέρωση π.χ. από το εμπορικό τμήμα για μια συνέντευξη τύπου σε ξενοδοχείο του κέντρου η οποία θα συγκεντρώσει έναν ικανό αριθμό χρηστών της υπηρεσίας μετάδοσης βίντεο. Έτσι το σύστημα είναι σε θέση να αποφασίσει για τυχόν νέες πολιτικές και να προετοιμάσει τους πόρους της υποδομής που υπάρχει στην περιοχή, με βάση τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος του φορτίου που αναμένεται να εμφανιστεί.



Εικόνα 32: Στιγμιότυπο της οθόνης για την καταχώρηση αιτημάτων εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου κίνησης

Όπως είναι φανερό η διεπαφή H2N χρησιμοποιεί κατά τη λειτουργία της έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία αποθηκεύει σε αντίστοιχους πίνακες μιας σχεσιακής βάσης δεδομένων. Για τη δε αποστολή των διαφόρων αιτημάτων και την επικοινωνία της με το σύστημα, ενσωματώνει βέβαια έναν πράκτορα.

5.4.4 Ο πράκτορας ανάλυσης κατάστασης και εύρεσης λύσεων

Ο πράκτορας αυτός ονομάζεται PM, από τα αρχικά των λέξεων Performance και Manager, και λαμβάνει μηνύματα τόσο από την διεπαφή H2N, όσο και από τους πράκτορες που αντιπροσωπεύουν τα στοιχεία δικτύου για τα οποία είναι υπεύθυνος. Ειδικά στην περίπτωση ενός αιτήματος για την εξυπηρέτηση επιπλέον φορτίου κίνησης που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, φροντίζει να μετασχηματίσει το αίτημα αυτό και να το συγκεκριμενοποιήσει, ανακτώντας πληροφορίες σχετικές με το εύρος ζώνης που κατά κανόνα καταναλώνει κάθε χρήστης ανάλογα με την υπηρεσία που λαμβάνει και το επίπεδο ποιότητας αυτής. Στη συνέχεια αναζητά τα στοιχεία δικτύου που μπορούν να συνεισφέρουν στη λύση του προβλήματος, τα οποία δεν αρκεί να είναι απλά στην αντίστοιχη γεωγραφική περιοχή, αλλά κυρίως να είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν επιπλέον φορτίο, κάτι που εκτιμάται με τη βοήθεια του πράκτορα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας. Τελικά ο πράκτορας μοιράζει το επιπλέον φορτίο σε σταθμούς βάσης και ενημερώνει τους σχετικούς πράκτορες επιλογής και εξειδίκευσης λύσης.

5.4.5 Ο πράκτορας επιλογής και εξειδίκευσης λύσης

Κάθε πράκτορας SES διαχειρίζεται ένα ή περισσότερα στοιχεία δικτύου. Περιλαμβάνει μια ομώνυμη οντότητα η οποία περιέχει έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης ειδικά

προσαρμοσμένο στην τεχνολογία του στοιχείου δικτύου ή τις δυνατότητες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Γι' αυτό και είναι υπεύθυνη να επιλέξει πώς ακριβώς θα εφαρμοστεί η απόφαση του πράκτορα ανάλυσης κατάστασης και εύρεσης λύσεων. Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός σταθμού βάσης LTE, ο αλγόριθμος θα αντιστοίχιζε τις διαθέσιμες υποφέρουσες (subcarriers) σε χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους αλλά και με στόχο την ελαχιστοποίηση παραμέτρων όπως το επίπεδο των παρεμβολών κ.α. Η υλοποίηση ενός τέτοιου αλγορίθμου είναι εκτός των ερευνητικών πλαισίων της διδακτορικής αυτής διατριβής. Έτσι δεν γίνεται καμία εξειδίκευση της λύσης που προτείνεται από τον πράκτορα PM, κάτι που όμως δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της λύσης αυτής.

5.4.6 Ο πράκτορας ενός στοιχείου δικτύου

Στα πλαίσια της πρωτότυπης αυτής υλοποίησης δεν χρησιμοποιήθηκε πραγματικός δικτυακός εξοπλισμός αλλά εξομοιώσεις. Έτσι κάθε πράκτορας BS που αντιπροσωπεύει τα στοιχεία δικτύου, επικοινωνεί με τον πράκτορα που περιέχει ο εξομοιωτής δικτύου και λαμβάνει τα δεδομένα σχετικά με την εκάστοτε κατάσταση του αντίστοιχου στοιχείου από αυτόν. Τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του πράκτορα BS και του συστήματος διαχείρισης παραμένουν πάντως ίδια, η διαφορά είναι ότι η σύνδεση του πράκτορα BS με το στοιχείο δικτύου δεν έχει να κάνει με το API κάποιου προμηθευτή υλικού, αλλά βασίζεται απλά σε κάποια επιπλέον μηνύματα που ορίστηκαν για το σκοπό αυτό. Οι βασικές πληροφορίες που αφορούν στο στοιχείο δικτύου είναι οι παράμετροι λειτουργίας του, όπως η τεχνολογία δικτύου που χρησιμοποιεί, η ακτίνα κάλυψης κ.α. και το τρέχον φορτίο του, το οποίο περιλαμβάνει αναλυτικά τον αριθμό των χρηστών ανά υπηρεσία, κλάση χρήστη και επίπεδο ποιότητας. Ο πράκτορας BS φροντίζει επίσης για την ενημέρωση του εξομοιωτή για τις νέες πολιτικές και ρυθμίσεις που πρέπει να εφαρμοστούν στο στοιχείο σύμφωνα με τις αποφάσεις του συστήματος διαχείρισης.

5.4.7 Ο πράκτορας οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας

Όταν ένα στοιχείο δικτύου ξεκινήσει τη λειτουργία του και εισαχθεί στο σύστημα επικοινωνεί μέσω της πλατφόρμας με τον πράκτορα οικοδόμησης γνώσης και πληροφορίας BIK, προκειμένου να εγκαταστήσουν μια απευθείας σύνδεση για την συνεχή αποστολή δεδομένων, τα οποία αφορούν κυρίως στα επίπεδα του φορτίου κίνησης. Καθώς όπως αναφέρθηκε όλα τα στοιχεία δικτύου εξομοιώνονται, η σύνδεση αυτή πραγματοποιείται μεταξύ του πράκτορα BIK και του πράκτορα του εξομοιωτή δικτύου. Για την πραγματοποίηση πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ένας συμβατός πράκτορας BIK που αναπτύχθηκε έξω από τα πλαίσια της διατριβής και ο οποίος περιγράφεται στην εργασία [52].

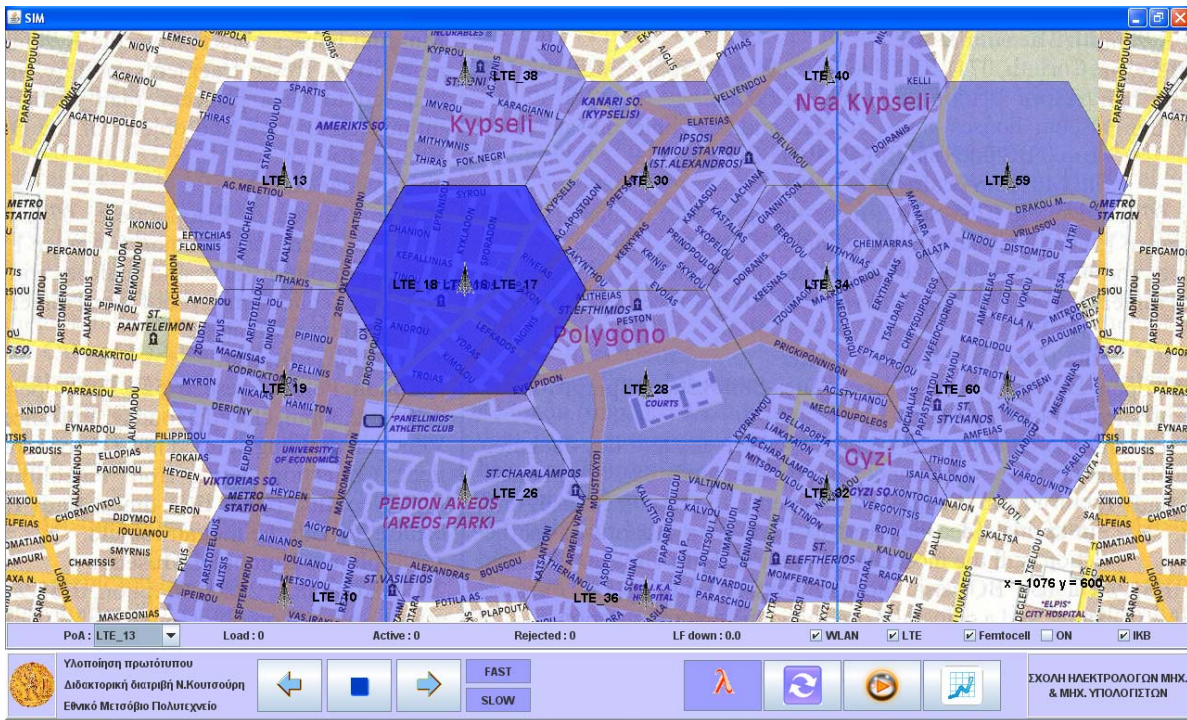
5.4.8 Ο πράκτορας διαχείρισης και παραγωγής πολιτικών

Όπως περιγράφηκε και στο 2^ο κεφάλαιο, ο πράκτορας διαχείρισης και παραγωγής πολιτικών PDM λαμβάνει τις διάφορες πολιτικές που ορίζει ο πάροχος μέσω της διεπαφής

H2N, τις ελέγχει για τυχόν ασυνέπειες, τις μετασηματίζει και τις στέλνει σε μορφή κατάλληλη για χρήση στις υπόλοιπες οντότητες του συστήματος.

5.4.9 Ο εξομοιωτής δικτύου

Εκτός από τον απαραίτητο για την επικοινωνία με το σύστημα πράκτορα SIM, ο εξομοιωτής δικτύου περιλαμβάνει ένα γραφικό περιβάλλον στο οποίο απεικονίζεται η γεωγραφική περιοχή που καλύπτει η δικτυακή υποδομή του παρόχου μαζί με τα αντίστοιχα στοιχεία του ασύρματου δικτύου, δηλαδή οι σταθμοί βάσης. Για λόγους απλότητας θεωρείται ότι κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει ομοιόμορφα το σήμα του σε μια ακτίνα R_{max} από το σημείο στο οποίο βρίσκεται, η οποία εξαρτάται από την τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα διαφοροποίησής της ανά σταθμό βάσης. Η ακριβής τοπολογία του ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος που προσομοιώνεται βρίσκεται αποθηκευμένη σε μια βάση δεδομένων και έτσι μπορεί να αλλάζει δυναμικά, ανάλογα με το σενάριο χρήσης που θα εκτελεστεί.



Εικόνα 33: Στιγμιότυπο οθόνης του εξομοιωτή δικτύου

Επίσης υπάρχει μια γεννήτρια κίνησης η οποία είναι πλήρως παραμετροποιήσιμη και μπορεί να παράγει γεγονότα έναρξης και λήξης μιας υπηρεσίας. Υποστηρίζεται οποιοσδήποτε αριθμός υπηρεσιών δύο κατηγοριών, είτε βασισμένων σε σύνδεση, όπως οι υπηρεσίες φωνής και μετάδοσης ροής δεδομένων, είτε όχι, όπως η υπηρεσία πλοήγησης στο Ίντερνετ. Στη δεύτερη περίπτωση παράγονται επίσης γεγονότα αποστολής πακέτων με τον ρυθμό που ορίζεται. Τα γεγονότα αυτά αντιστοιχούν σε χρήστες συγκεκριμένων κλάσεων, οι οποίοι λαμβάνουν τις υπηρεσίες αυτές σε συγκεκριμένα επίπεδα ποιότητας. Όλα αυτά καθορίζονται δυναμικά και σε πραγματικό χρόνο, ελεγχόμενα κατ' αρχήν από το σενάριο

χρήσης που εξετάζεται, και επίσης από το σύστημα διαχείρισης και τις αποφάσεις που παίρνει.

Η όλη προσέγγιση της παραγωγής φορτίου κίνησης είναι λοιπόν στατιστική, δηλαδή δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι χρήστες, με μοναδική ταυτότητα, οι οποίοι να κινούνται και να ζητούν υπηρεσίες κτλ. Σε μια τέτοια περίπτωση θα υπήρχε και ο αντίστοιχος πράκτορας για κάθε χρήστη, όπως στην περίπτωση των σταθμών βάσης. Κάτι τέτοιο είναι δυνατό και υποστηρίζεται από τον εξομοιωτή, αλλά σε περιορισμένο βαθμό, μέχρι λίγες δεκάδες χρήστες, με αποτέλεσμα να μην είναι αρκετό για τα περισσότερα σενάρια. Παρ' όλα αυτά μπορεί να είναι χρήσιμο για την εξέταση άλλων θεμάτων, όπως η σηματοδότηση προς τον χρήστη και η εκτίμηση του επιπλέον εύρους ζώνης που απαιτείται για διαχειριστικούς λόγους [53].

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο εξομοιωτής καταγράφει σε αρχεία ανά τακτά χρονικά διαστήματα στοιχεία για όλους τους σταθμούς βάσης, όπως τον αριθμό χρηστών, το συνολικό φορτίο κίνησης, το αντίστοιχο επίπεδο φορτίου, τον αριθμό των χρηστών που απορρίφθηκαν κ.α. με βάση τα οποία μπορεί να γίνει στατιστική επεξεργασία και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στην Εικόνα 33 φαίνεται ένα στιγμιότυπο οθόνης του εξομοιωτή, όπου διακρίνονται αρκετοί σταθμοί βάσης LTE ενός παρόχου. Όσο αυξάνεται το επίπεδο του φορτίου σε ένα σταθμό βάσης, το χρώμα της αντίστοιχης κυψέλης αλλάζει όλο και περισσότερο προς το κόκκινο, παρέχοντας μια χονδρική εκτίμηση της κατάστασης στο δίκτυο.

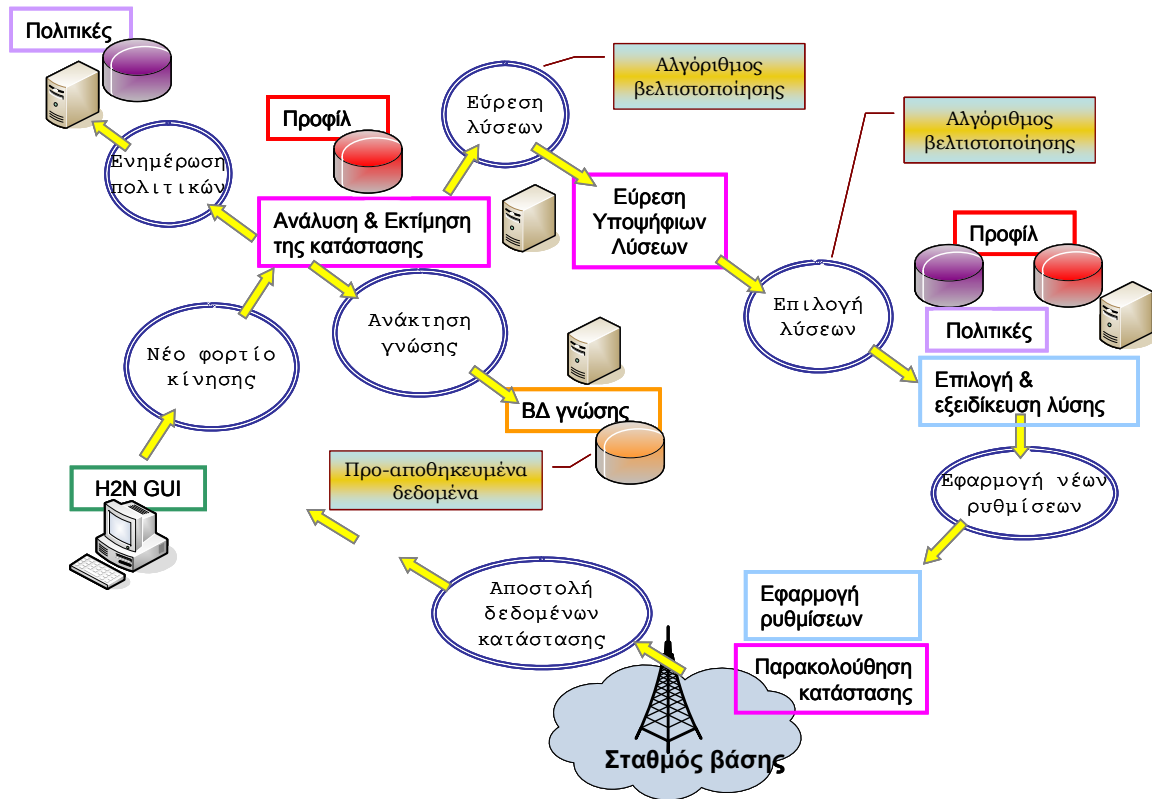
5.5 Επαλήθευση της ωφέλειας από τη χρήση του συστήματος διαχείρισης

Για την επαλήθευση της δυνατότητας του συστήματος να χειρίζεται αποτελεσματικά και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση τη δικτυακή υποδομή του παρόχου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή παροχή υπηρεσιών σε όλους τους χρήστες, πραγματοποιήθηκε το παρακάτω πείραμα, τα στάδια του οποίου φαίνονται με γραφικό τρόπο στην Εικόνα 34.

Το σενάριο είναι αυτό που περιγράφηκε στο τρίτο κεφάλαιο και ειδικότερα στην ενότητα 3.3.1. Αφορά στην καταχώρηση από τον πάροχο ενός αιτήματος εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου κίνησης σε μια περιοχή και για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Η γέννηση του φορτίου με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά γίνεται με την βοήθεια του εξομοιωτή δικτύου που περιγράφηκε παραπάνω, στην υποενότητα 5.4.9.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι το ξενοδοχείο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η ημερίδα σχετική με την έρευνα στην πληροφορική και τις επικοινωνίες βρίσκεται στην περιοχή που φαίνεται στη γραφική διεπαφή H2N του παρόχου ως περιοχή “*City West*” με πορτοκαλί χρώμα στην Εικόνα 32. Ο εκτιμώμενος αριθμός χρηστών είναι 50, ο οποίος αναλύεται σε 20 χρήστες της κλάσης “*Gold*” και 30 χρήστες της κλάσης “*Silver*”, ενώ η υπηρεσία σε κάθε περίπτωση είναι το “*Video Conference*”. Χωρίς βλάβη της γενικότητας, θεωρείται ότι όλα εξελίσσονται μέσα σε μια μέρα, δηλαδή σε 1440 λεπτά και ότι δεν υπάρχουν άλλες μέρες (ή αντίστοιχα ότι όλες οι μέρες είναι ίδιες από άποψη φορτίου

κίνησης). Έτσι, ο χρονικός προσδιορισμός της έναρξης και λήξης της ημερίδας γίνεται μόνο με τον προσδιορισμό “Afternoon”, όπως φαίνεται και κάτω αριστερά στην Εικόνα 32.



Εικόνα 34: Τα στάδια εξέλιξης ενός ενδεικτικού σεναρίου χρήσης του συστήματος

Τα επίπεδα ποιότητας που αναλογούν σε κάθε κλάση είναι “Gold” ή “Silver” για τους χρήστες της κλάσης “Gold”, ενώ για τους χρήστες της κλάσης “Silver” τα επίπεδα “Silver” και “Basic”, όπως φαίνεται και στο στιγμιότυπο οθόνης από το H2N GUI στην Εικόνα 30. Το καθένα από τα επίπεδα αυτά μεταφράζεται σε κάποιο bitrate, σύμφωνα με το οποίο θα στέλνει και θα λαμβάνει δεδομένα ένας χρήστης κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Τα δε στοιχεία δικτύου που υπάρχουν στην περιοχή σύμφωνα με την θεωρούμενη τοπολογία, είναι οι σταθμοί βάσης 16, 17 και 18, όλοι τεχνολογίας LTE όπως φαίνεται και στην Εικόνα 33. Κάθε ένας από αυτούς ελέγχεται και από μια οντότητα SES η οποία είναι σε θέση να βρίσκει την βέλτιστη κατανομή των διατιθέμενων υπο-φέροντων καναλιών (sub-carrier channels) στους χρήστες που εξυπηρετεί ο σταθμός βάσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υλοποίηση της οντότητας αυτής δεν ανήκει στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής.

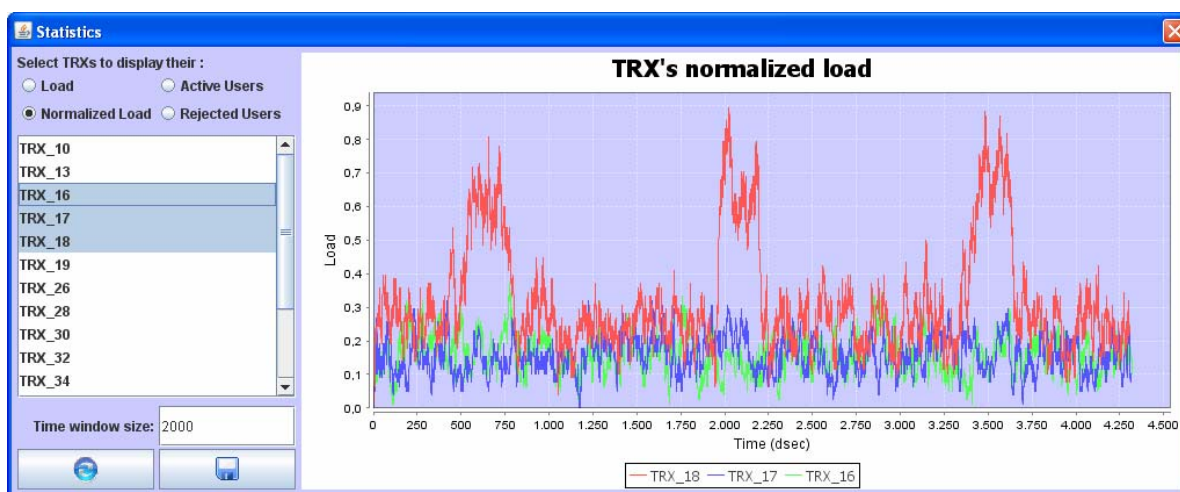
Όλα τα δεδομένα του σεναρίου χρήσης που προαναφέρθηκαν περιγράφονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 7: Συνοπτική παράθεση των δεδομένων του σεναρίου χρήσης που εξετάστηκε

Είδος αιτήματος παρόχου	Εξυπηρέτηση επιπλέον φορτίου κίνησης
Περιοχή	City West
Χρονική περίοδος	Afternoon

Εκτιμώμενα στοιχεία φορτίου		
Υπηρεσία	Video Conference	
Εκτιμώμενος αριθμός χρηστών	50	
Κλάση χρηστών	Gold	Silver
Αριθμός	20	30
Αποδεκτά επίπεδα ποιότητας	Gold, Silver	Silver, Basic
Τοπολογία δικτυακής υποδομής στην περιοχή		
Σταθμοί βάσης	16, 17, 18	
Τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης	LTE	
Οντότητες διαχείρισης	SES_16, SES_17, SES_18	
Πράκτορες του συστήματος	BS_AGENT_16, BS_AGENT_17, BS_AGENT_18	

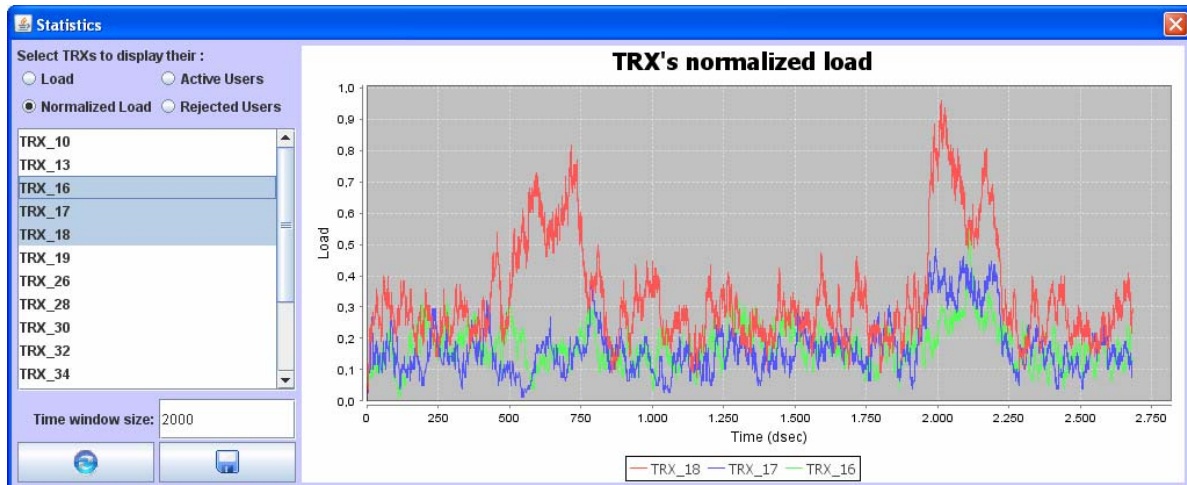
Μια ακόμα παραδοχή είναι ότι κατά το χρονικό διάστημα που μας ενδιαφέρει το φορτίο κίνησης στον σταθμό βάσης 18 είναι κατά κανόνα αυξημένο, κάτι που θεωρούμε ότι έχει ήδη αναλυθεί από τον πράκτορα οικοδόμησης γνώσης. Γενικά το σύνηθες φορτίο για τους τρεις αυτούς σταθμούς βάσης φαίνεται γραφικά στην Εικόνα 35.



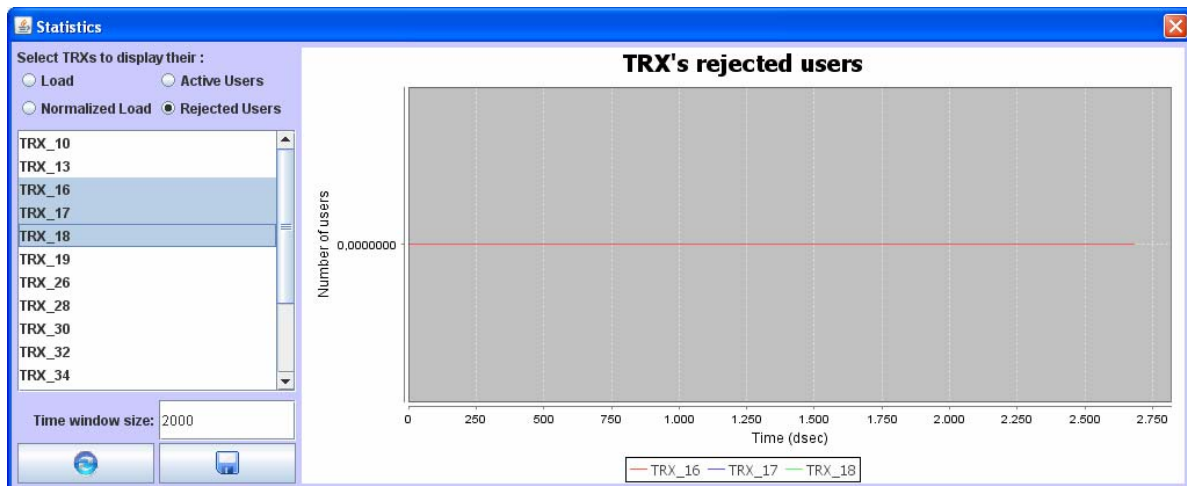
Εικόνα 35: Γραφική απεικόνιση του φορτίου (ως ποσοστό της μέγιστης χωρητικότητας) για τους σταθμούς βάσης της περιοχής

Το εξεταζόμενο σενάριο χρήσης εκτελέστηκε δύο φορές, μια με το σύστημα διαχείρισης ενεργό και άλλη μια χωρίς αυτό. Τα αποτελέσματα είναι περισσότερο ποιοτικά και προκύπτουν από τον εξομοιωτή δικτύου, μέσω των διαγραμμάτων του ποσοστιαίου φορτίου ανά σταθμό βάσης, αλλά και του αριθμού των χρηστών που δεν μπόρεσαν να εξυπηρετηθούν, εφόσον υπάρχουν τέτοιες περιπτώσεις. Όπως είναι φανερό από την σύγκριση της Εικόνα 36 με την Εικόνα 38 καθώς και της Εικόνα 37 με την Εικόνα 39, η απουσία πολιτικών διαχείρισης προς τους σταθμούς βάσης και τα τερματικά λόγω της έλλειψης του συστήματος διαχείρισης, οδήγησε τον σταθμό βάσης 18 σε υπερφόρτωση και

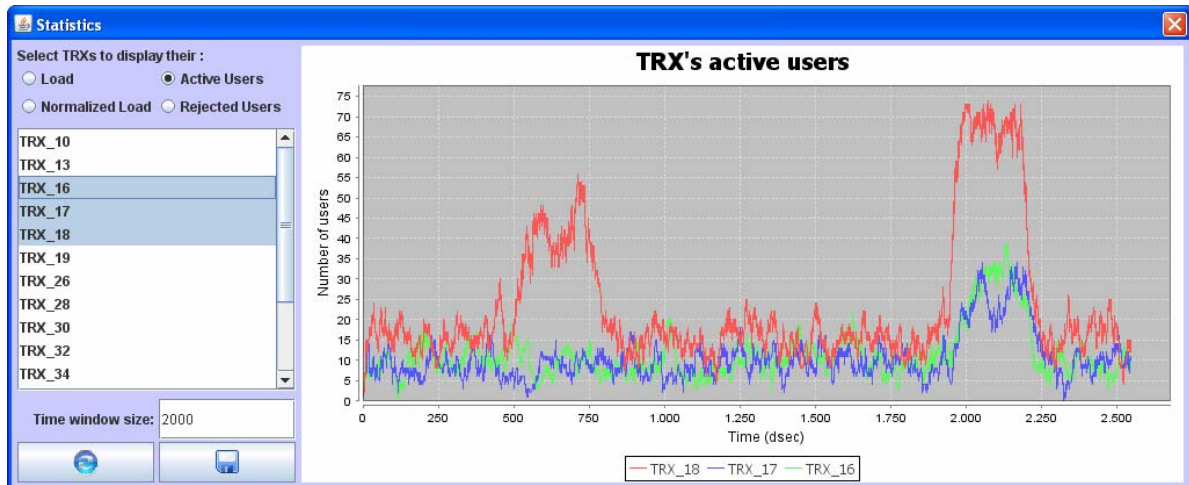
έτσι υπήρξαν προβλήματα κατά την εξυπηρέτηση των χρηστών στην εν λόγω περιοχή. Αντιθέτως, με την αξιοποίηση του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης, του αλγορίθμου της οντότητας CSD και γενικότερα την συνεργασία μεταξύ των διαφόρων πρακτόρων, η κατάσταση στο δίκτυο είναι ομαλή και δεν εμφανίζεται καμία διαταραχή, καθώς παράγονται πολιτικές που προετοιμάζουν την δικτυακή υποδομή, μέσω της εφαρμογής κατάλληλων ρυθμίσεων, για το επιπλέον αυτό φορτίο.



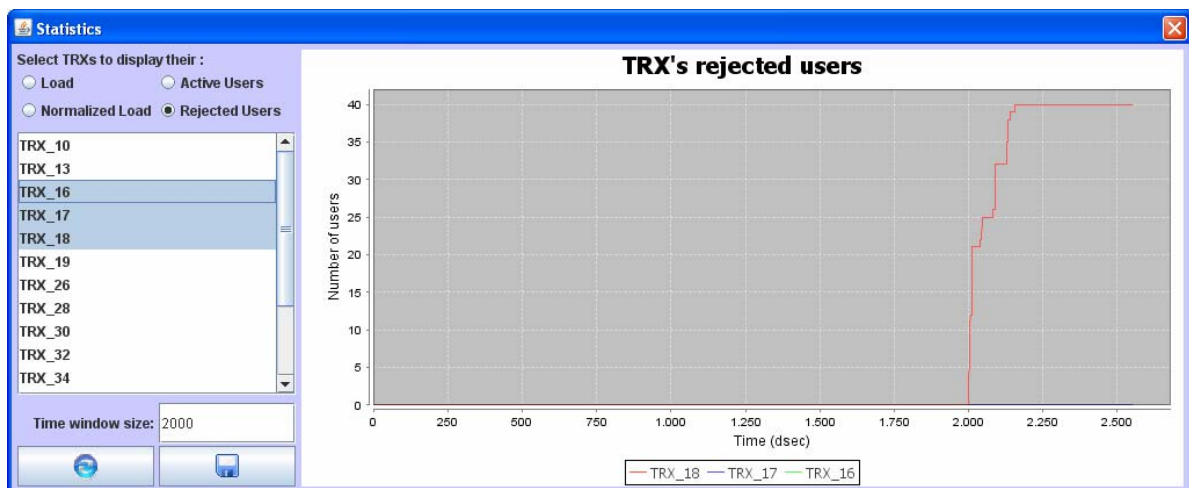
Εικόνα 36: Ποσοστιαίο φορτίο στους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης ενεργοποιημένο



Εικόνα 37: Αριθμός χρηστών που δεν εξυπηρετήθηκαν από τους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης ενεργοποιημένο



Εικόνα 38: Ποσοστιαίο φορτίο στους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης απενεργοποιημένο



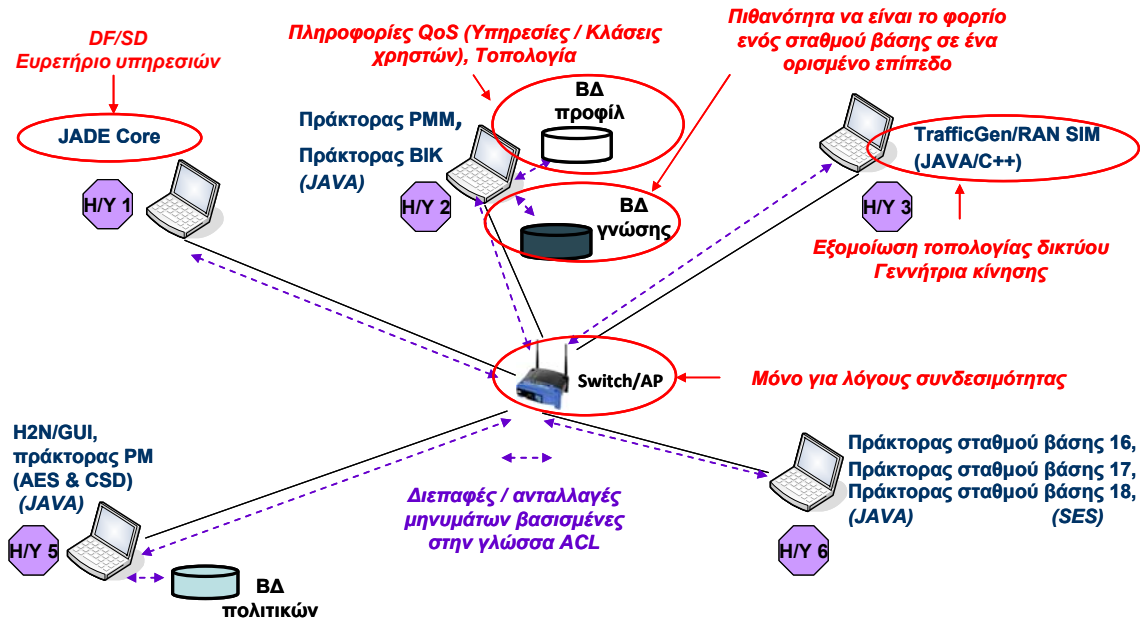
Εικόνα 39: Αριθμός χρηστών που δεν εξυπηρετήθηκαν από τους σταθμούς βάσης 16, 17 και 18 με το σύστημα διαχείρισης απενεργοποιημένο

5.6 Πειραματική μέτρηση των απαιτήσεων σε υλικό για την εγκατάσταση και λειτουργία του συστήματος διαχείρισης

Πέρα από την απόδοση του συγκεκριμένου αλγορίθμου βελτιστοποίησης ο οποίος παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως και τα οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση και λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης, μια ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που θα λάβει υπόψη του ένας πάροχος πριν υιοθετήσει μια τέτοια λύση είναι αυτή των απαιτήσεων σε υλικό. Τα διάφορα στοιχεία δικτύου έχουν σχετικά περιορισμένες δυνατότητες, τόσο σε μνήμη και μέσα αποθήκευσης δεδομένων, όσο και σε επεξεργαστική ισχύ. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε ενδιαφέρον να μετρηθούν πειραματικά οι σχετικές απαιτήσεις, όπως προκύπτουν με βάση την υλοποίηση που παρουσιάστηκε σ' αυτό το κεφάλαιο. Το γεγονός ότι η ανάπτυξη του συστήματος και κυρίως των κομματιών που προορίζονται για ενσωμάτωση σε στοιχεία δικτύου έγινε εξ' ολοκλήρου σε γλώσσα προγραμματισμού Java είναι σε αυτή την περίπτωση κάτι θετικό, καθώς όπως είναι γνωστό η Java χρησιμοποιείται και υποστηρίζεται ήδη από την πλειονότητα του δικτυακού

εξοπλισμού. Η δε υλοποίηση στο επίπεδο εφαρμογής και όχι σε χαμηλότερο επίπεδο είναι και αυτό μια λογική επιλογή για το είδος των επιτελούμενων λειτουργιών, άλλωστε υπάρχουν και εμπορικά διαθέσιμα συστήματα υλοποιημένα με αντίστοιχο τρόπο, όπως όσα βασίζονται στο OSS/J API [54], π.χ. το Open EMS Suite της Nokia – Siemens Networks [55]. Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται ο εξοπλισμός, τα σενάρια χρήσης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

5.6.1 Η εγκατάσταση του πειραματικού περιβάλλοντος



Εικόνα 40: Εγκατάσταση του συστήματος διαχείρισης ως MAS

Για την εκτέλεση διαφόρων σεναρίων έγινε εγκατάσταση των απαραίτητων πρακτόρων του συστήματος διαχείρισης σε πέντε συνολικά φορητούς υπολογιστές συνδεδεμένους σε ένα τοπικό δίκτυο Ethernet. Η κατανομή των πρακτόρων και κατ' επέκταση των αντίστοιχων λειτουργιών έγινε με τον τρόπο που απεικονίζεται στην Εικόνα 40.

5.6.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα

Το σύστημα διαχείρισης εγκαταστάθηκε κατανεμημένα σε 5 φορητούς υπολογιστές, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 5.6.1. Τα πειραματικά σενάρια που εκτελέστηκαν όμως σχετίζονται κυρίως με την οντότητα CSD, δηλαδή με τον πράκτορα PM που αναφέρεται στην υποενότητα 5.4.4 και συνεπώς με έναν μόνο υπολογιστή, αυτόν που φαίνεται στο κάτω αριστερά τμήμα της εικόνας με τον αριθμό 5. Τα βασικά χαρακτηριστικά του βρίσκονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Επεξεργαστής	Intel® Core™2 Duo processor T7500, 2.2 GHz, 4 MB L2 cache
Μνήμη RAM	2048 MB DDR2 RAM (667 MHz)
Σκληρός δίσκος	160 GB, 5400 rpm
Λειτουργικό σύστημα	Windows® XP Professional Edition

Έκδοση Java	Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.7.0_09-b05) Java HotSpot(TM) Client VM (build 23.5-b02, mixed mode, sharing)
-------------	--

5.6.3 Γενική περιγραφή των σεναρίων χρήσης

Το ζητούμενο των μετρήσεων ήταν η εξαγωγή συμπεράσματος για την επίδραση του αριθμού των οντοτήτων SES στις οποίες ανατίθεται η διαχείριση της δικτυακής υποδομής, όπως και των χαρακτηριστικών τους και ιδιαίτερα του αριθμού των προεγκατεστημένων προφίλ λειτουργίας τους, τόσο στο χρόνο επεξεργασίας που χρειάζεται για την επίλυση του προβλήματος, όσο και στην απαιτούμενη μνήμη.

Όπως παρουσιάστηκε και στις ενότητες 2.3.5 και 4.4.2 κάθε οντότητα SES είναι υπεύθυνη για ένα κομμάτι του δικτύου, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στοιχεία δικτύου, της ίδιας τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης ή και διαφορετικών. Η ανάθεση στοιχείων δικτύου σε μια κατάλληλη οντότητα SES που υποστηρίζει τη διαχείρισή τους, είναι μια δυναμική διαδικασία που εκτελείται μέσω της γραφικής διεπαφής H2N και έτσι η γνώση των απαιτήσεων σε υλικό είναι σημαντική, ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα υπέρβασης των δυνατοτήτων του εξοπλισμού και κατά συνέπεια σοβαρό πρόβλημα στη διαχείριση του δικτύου.

Ο δε αριθμός των διαθέσιμων προφίλ λειτουργίας μιας οντότητας SES είναι κάτι που ενδέχεται να εξαρτάται και από τον πάροχο, εκτός από τον αρχικό κατασκευαστή της οντότητας, εφόσον υποστηρίζεται η δημιουργία και αποθήκευση νέων συνδυασμών των ειδικών παραμέτρων που καθορίζουν την συμπεριφορά της. Καθώς η πολυπλοκότητα και οι δυνατότητες των σύγχρονων στοιχείων δικτύου είναι αυξημένες λόγω και του ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών και την προσπάθειά τους για διαφοροποίηση, είναι αναμενόμενο ο αριθμός των δυνατών προφίλ να φτάνει εύκολα τις αρκετές δεκάδες.

Όλα τα σεναρία χρήσης στηρίζονται στο σενάριο που περιγράφηκε στο τρίτο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην ενότητα 3.3.1 και το οποίο αφορά στην καταχώρηση από τον πάροχο ενός αιτήματος εξυπηρέτησης επιπλέον φορτίου κίνησης σε μια περιοχή και για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Το μέγεθος της περιοχής προσαρμόζεται ώστε να συμπεριλαμβάνει τον αριθμό οντοτήτων SES που προβλέπει το σενάριο. Επίσης ανάλογα με τη μέγιστη χωρητικότητα μιας οντότητας SES προσαρμόζεται και ο αριθμός των χρηστών που περιλαμβάνονται στο αίτημα του παρόχου. Άλλα χαρακτηριστικά των οντοτήτων SES όπως οι τιμές των παραμέτρων που αναλύθηκαν στην ενότητα 4.4.2 και παίζουν ρόλο στην επιλογή ενός προφίλ, ο βαθμός εμπιστοσύνης ή η προσαρμογή των τιμών με βάση την πρότερη γνώση, προσδιορίζονται και διαφοροποιούνται υπολογιστικά, χωρίς να βασίζονται σε κάποια πραγματική περίπτωση, κάτι που όμως δεν επηρεάζει το είδος των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται. Στις παρακάτω λοιπόν υποενότητες παρέχονται λεπτομέρειες για το εκάστοτε σενάριο χρήσης που εκτελέστηκε και αποδίδονται με γραφικό τρόπο τα αποτελέσματα των σχετικών μετρήσεων.

5.6.4 Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τις μετρήσεις

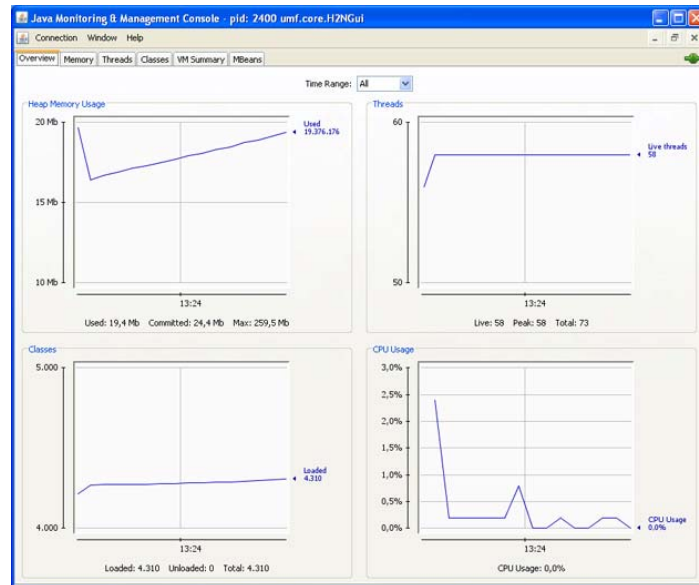
5.6.4.1 Μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης

Ο χρόνος εκτέλεσης μιας λειτουργίας, όπως του αλγόριθμου βελτιστοποίησης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να βρεθεί με σχετικά καλή ακρίβεια παίρνοντας μια χρονική σήμανση (timestamp) πριν την έναρξη των υπολογισμών και μια μετά το πέρας αυτών και αφαιρώντας στη συνέχεια την τιμή της πρώτης από τη δεύτερη. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα χιλιοστά του δευτερολέπτου που χρειάστηκαν για την εκτέλεση του αλγορίθμου.

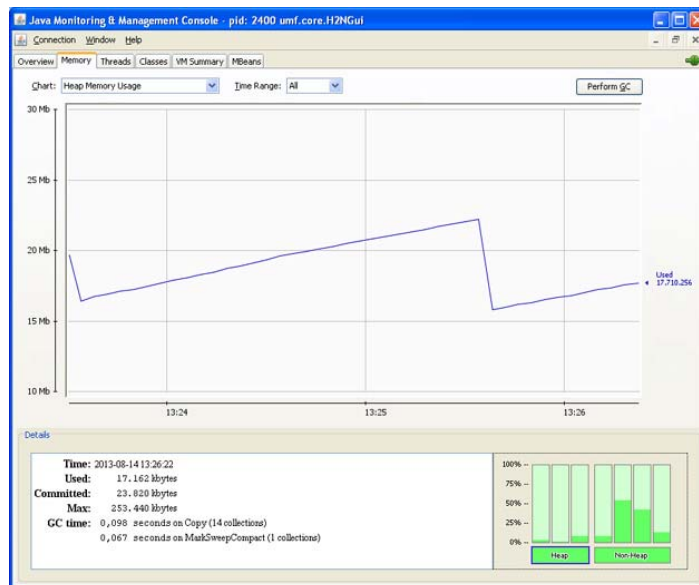
5.6.4.2 Μέτρηση της απαιτούμενης μνήμης

Όσο για τη μέτρηση της μνήμης, η Java παρέχει αρκετά χρήσιμα εργαλεία σχετικά με αυτό. Στον φάκελο εγκατάστασης που περιέχει τα διάφορα εκτελέσιμα προγράμματα όπως τον μεταγλωττιστή ή την εικονική μηχανή JVM, υπάρχει και η εφαρμογή jstat.exe η οποία με τα κατάλληλα ορίσματα μπορεί να δώσει αναλυτικές πληροφορίες για τον αριθμό των κλάσεων που έχουν φορτωθεί και τον αντίστοιχο όγκο δεδομένων, τον αριθμό των bytes που έχουν δεσμευτεί στη μνήμη του υπολογιστή, τα bytes που χρησιμοποιούνται κ.α. Βασική παράμετρος που χρειάζεται το jstat.exe είναι το αναγνωριστικό διαδικασίας (process ID, PID) της εφαρμογής Java που θέλουμε να παρακολουθήσουμε και το οποίο μπορεί να βρεθεί εύκολα με τη βοήθεια της εφαρμογής jps.exe.

Μια άλλη, πιο ολοκληρωμένη λύση που συγκεντρώνει σχεδόν όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες και μάλιστα τις παρουσιάζει και με γραφικό τρόπο, είναι η εφαρμογή JConsole.exe ένα στιγμιότυπο της οποίας φαίνεται στην Εικόνα 41. Στην ειδική καρτέλα για την μνήμη φαίνονται αναλυτικά τα διάφορα κομμάτια από τα οποία αποτελείται η μνήμη που χρησιμοποιεί μια εφαρμογή Java (στοίβα, όχι στοίβα, μόνιμη, νέα, παλιά κτλ) και μπορεί να επιλεγεί η προβολή του αντίστοιχου διαγράμματος σε πραγματικό χρόνο (Εικόνα 42). Όμως για την εκτέλεση μεγάλου αριθμού σεναρίων χρήσης αυτός ο τρόπος εργασίας δεν διευκολύνει την συγκέντρωση και επεξεργασία των μεγεθών έτσι ώστε να εξαχθούν και τα ανάλογα συμπεράσματα. Εναλλακτικά χρησιμοποιήθηκε απευθείας το αντίστοιχο API της Java, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 41: Στιγμιότυπο οθόνης της εφαρμογής JConsole – επισκόπηση



Εικόνα 42: Στιγμιότυπο οθόνης της εφαρμογής JConsole - χρήση μνήμης

Στο πακέτο *java.lang.management* της Java υπάρχουν διεπαφές και κλάσεις που παρέχουν όλες τις ζητούμενες πληροφορίες. Έτσι, ενσωματώνοντας μερικές ακόμα εντολές μέσα στον κώδικα της υλοποίησης του πρωτότυπου συστήματος διαχείρισης, έγινε δυνατή η εξαγωγή των πληροφοριών σε αρχείο, με μορφή που διευκολύνει την μελέτη, κατανόηση και αξιοποίηση των σχετικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η διεπαφή *MemoryPoolMXBean*, η οποία έχει μεθόδους που επιστρέφουν την χρήση μνήμης, το κομμάτι της μνήμης στο οποίο αντιστοιχεί, αν αυτό ανήκει στην στοίβα (heap) ή όχι (non-heap), καθώς και την μέγιστη τιμή στην οποία έφτασε η χρήση μνήμης. Ένα σχετικό απόσπασμα κώδικα φαίνεται παρακάτω:

```

long heapMem = 0, nonHeapMem = 0, mem = 0;
String nameMem, typeMem, longMem;
List<MemoryPoolMXBean> mempoolsbeans =
    ManagementFactory.getMemoryPoolMXBeans();
for(MemoryPoolMXBean mempoolsmbean:mempoolsbeans){
    nameMem = mempoolsmbean.getName();
    typeMem = mempoolsmbean.getType().toString();
    mem = mempoolsmbean.getPeakUsage().getUsed();
    if(nameMem.startsWith("Code Cache") || nameMem.startsWith("Perm Gen"))
        nonHeapMem += mem;
    else if(nameMem.startsWith("Eden") || nameMem.startsWith("Survivor") ||
        nameMem.startsWith("Tenured")) heapMem += mem;
}

```

Και επίσης χρησιμοποιήθηκε η διεπαφή *MemoryMXBean* η οποία έχει μεθόδους που δίνουν απευθείας τη συνολική χρήση της μνήμης στη στοίβα και μη και έτσι μπορεί εύκολα να προκύψει η μέγιστη τιμή καλώντας συστηματικά τις μεθόδους αυτές σε επιλεγμένα σημεία του κώδικα, καθώς εξελίσσεται η εκτέλεση των διαφόρων λειτουργιών του συστήματος διαχείρισης. Ακολουθούν οι σχετικές εντολές:

```

long curHeap = 0, curNonHeap = 0, maxHeap = 0, maxNonHeap = 0;
MemoryMXBean memorymbean = ManagementFactory.getMemoryMXBean();

```

```

curHeap = memorymbean.getHeapMemoryUsage().getUsed();
curNonHeap = memorymbean.getNonHeapMemoryUsage().getUsed();
if(curHeap>maxHeap) maxHeap = curHeap;
if(curNonHeap>maxNonHeap) maxNonHeap = curNonHeap;

```

Με τον τρόπο αυτό έγινε η συγκέντρωση των μετρήσεων, η επεξεργασία των οποίων έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.6.5.

5.6.4.3 Εστίαση των μετρήσεων στο υπό εξέταση κομμάτι

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία μέτρησης της χρησιμοποιούμενης μνήμης που αναφέρεται στην παραπάνω υποενότητα αφορά σε όλη την εικονική μηχανή της Java (JVM). Δηλαδή συμπεριλαμβάνει τόσο το γραφικό μέρος του συστήματος διαχείρισης, όσο και άλλους πράκτορες που δημιουργούνται για την εκτέλεση άλλων λειτουργιών, πλέον αυτών της οντότητας CSD και του πράκτορα PM. Γι' αυτό το λόγο και επειδή ο στόχος των μετρήσεων είναι η μελέτη των αναγκών του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, προστέθηκε η δυνατότητα κλήσης και εκτέλεσης του αλγορίθμου αυτόνομα, απλά παρέχοντας τα

απαραίτητα δεδομένα εισόδου ως παραμέτρους κατά την εκτέλεση. Και επιπλέον, αναπτύχθηκε ένα μικρό βοηθητικό πρόγραμμα που δέχεται ως παραμέτρους τα διάφορα διαστήματα τιμών προς μελέτη και μετά δίνοντας αυτόματα τις κατάλληλες εντολές συστήματος, εκτελεί σειριακά τα σενάρια χρήσης που προκύπτουν. Για παράδειγμα, ξεκινώντας το βοηθητικό πρόγραμμα με τις παραμέτρους *-ses 10:90:20 -profiles 10:20:1*, αυτό θα εκτελέσει σε ξεχωριστό παράθυρο εφαρμογής άρα και ξεχωριστή JVM τα σενάρια χρήσης του αλγορίθμου που περιλαμβάνουν από 10 έως 90 οντότητες SES με βήμα 20, δηλαδή τις περιπτώσεις 10, 30, 50, 70 και 90 οντοτήτων SES, όταν κάθε μια από αυτές έχει από 10 έως και 20 προφίλ με βήμα 1.

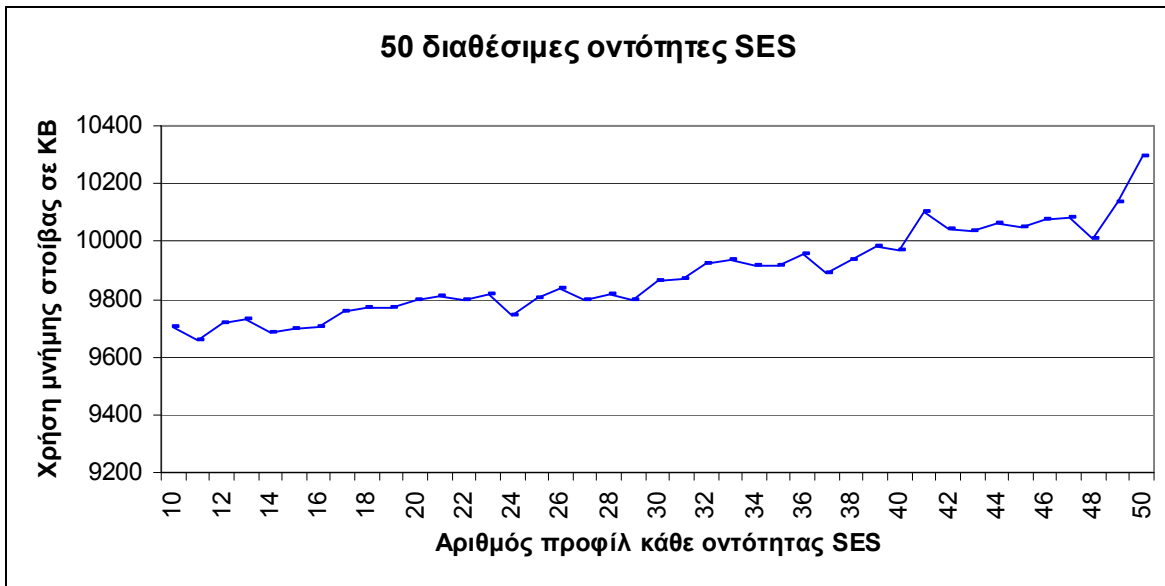
5.6.5 Αποτελέσματα των μετρήσεων

Εκτελέστηκαν διάφορα σενάρια χρήσης με επίκεντρο τόσο τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES στην περιοχή ενδιαφέροντος, όσο και τον αριθμό των ενεργών προφίλ που περιλαμβάνει η καθεμία από αυτές.

5.6.5.1 Χρήση μνήμης όταν υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES

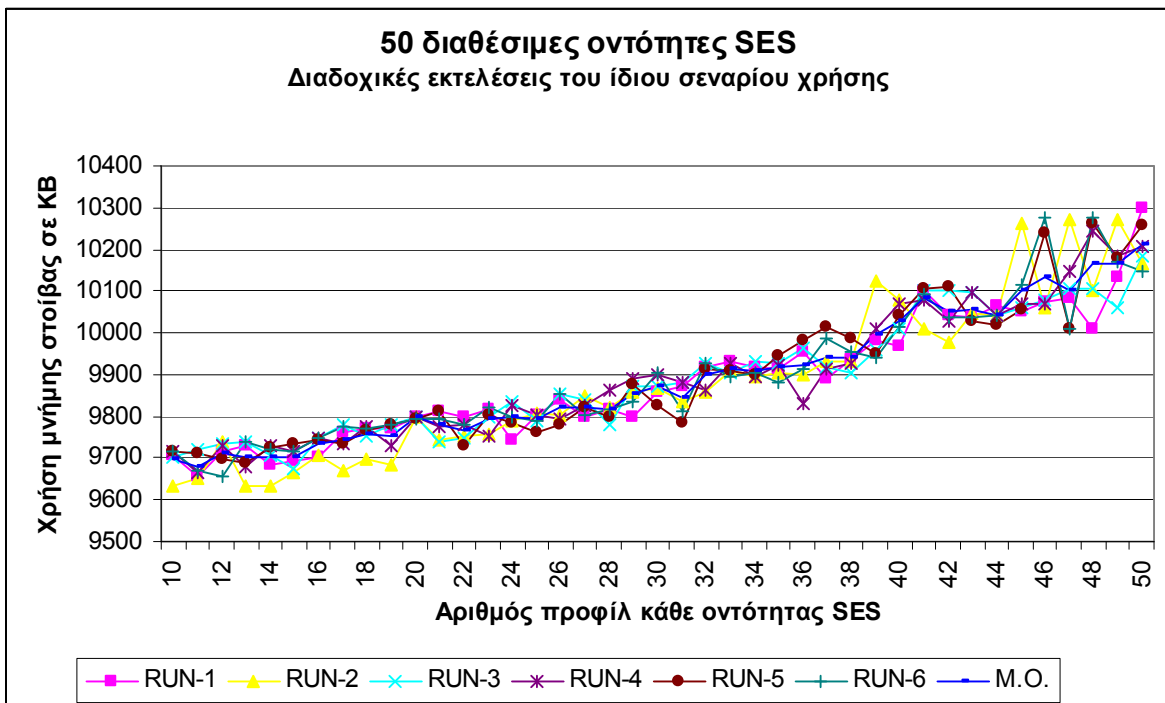
Ανάλογα με τις δυνατότητες παραμετροποίησης μιας οντότητας SES, οι οποίες πηγάζουν κατ' αρχήν από τις δυνατότητες των στοιχείων δικτύου που διαχειρίζεται, αλλά και από την ευρηματικότητα και την ποιότητα με την οποία προγραμματίστηκε η οντότητα αυτή από τον κατασκευαστή της, μπορεί να περιλαμβάνει από λίγα μέχρι και σημαντικά πολλά προφίλ λειτουργίας. Ο αριθμός λοιπόν των προφίλ και ο βαθμός διαφοροποίησής τους ώστε να ανταποκρίνονται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος δικτυακών συνθηκών, είναι ένα στοιχείο που ευνοεί τον ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών και που αποδεικνύει ότι το προτεινόμενο αρχιτεκτονικό πλαίσιο δεν κρύβει ούτε υποβαθμίζει τις καινοτομίες που μπορεί να περιέχει ο δικτυακός εξοπλισμός και που αποτελούν κατά κανόνα την αιχμή του δόρατος για την πρόωθηση και διάθεση των προϊόντων αυτών.

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής, διερευνώνται ως λύσεις μόνο τα εκάστοτε ενεργά προφίλ μιας οντότητας SES. Για την εξέταση της επίδρασης του αριθμού τους στις απαιτήσεις μνήμης του υπολογιστικού συστήματος που εκτελεί τον αλγόριθμο, θεωρήθηκε η περίπτωση όπου υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES, κάθε μια από τις οποίες έχει τον ίδιο αριθμό από ενεργά προφίλ. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των οντοτήτων βοηθάει στην ανάδειξη των όποιων διαφοροποιήσεων από την αύξηση του αριθμού των προφίλ. Στην Εικόνα 43 γίνεται η γραφική αναπαράσταση των αναγκών για χρήση μνήμης στοίβας ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ. Όπως φαίνεται, οι διαφορές που προκύπτουν είναι μικρές, λιγότερο από 0,5 MB μνήμης για αύξηση από 10 προφίλ σε 50 προφίλ και αυτό για 50 οντότητες.



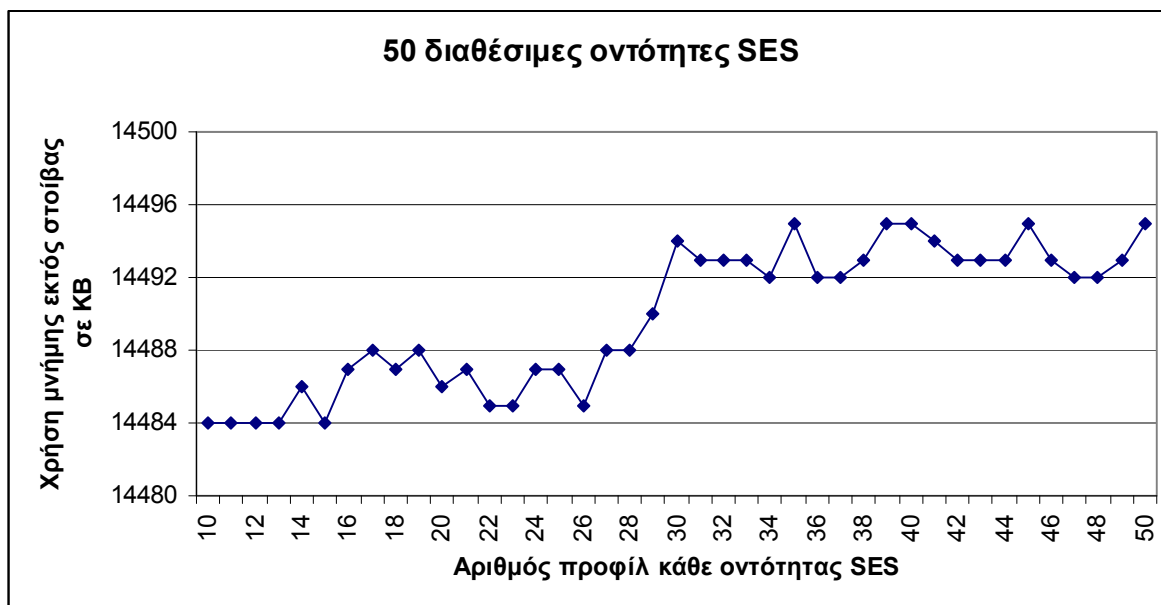
Εικόνα 43: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης μνήμης στοίβας ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES

Η μέτρηση αυτή επαναλήφθηκε μερικές φορές για να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζεται από διάφορους μη ελεγχόμενους παράγοντες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με γραφικό τρόπο στην Εικόνα 44. Όπως είναι φανερό, υπάρχουν μεν διακυμάνσεις, οι οποίες όμως δεν είναι σημαντικές και δεν μεταβάλλουν ουσιαστικά τα αποτελέσματα.

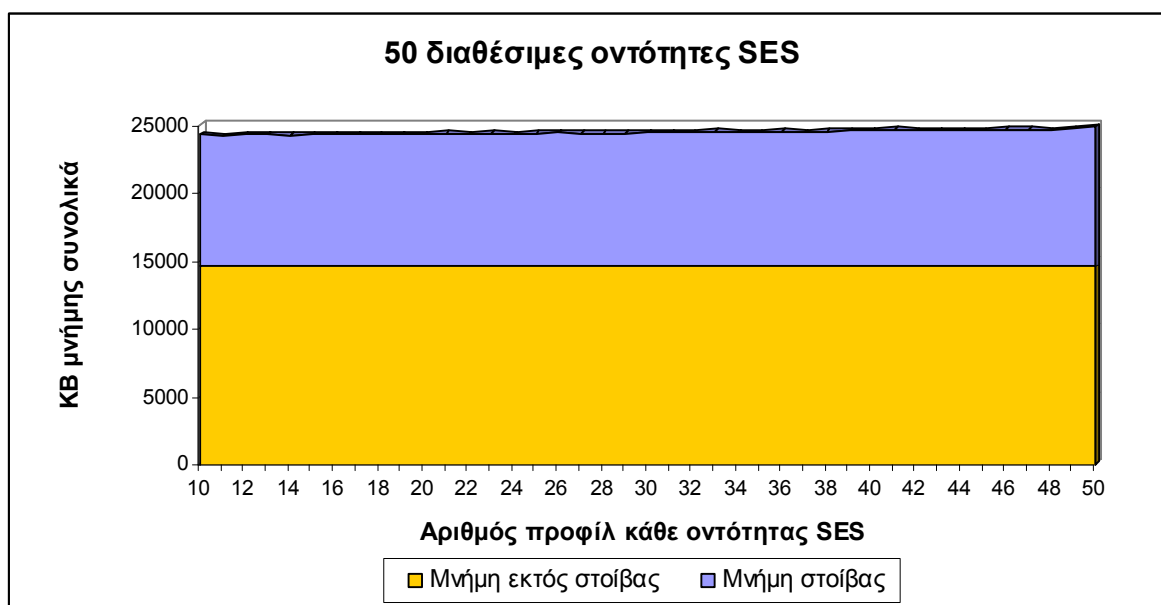


Εικόνα 44: Γραφική απεικόνιση της χρήσης μνήμης στοίβας για διαδοχικές εκτελέσεις του ίδιου σεναρίου χρήσης

Επιπλέον, στην Εικόνα 45 γίνεται η γραφική απεικόνιση και του κομματιού της μνήμης εκτός στοίβας που χρησιμοποιείται και το οποίο είναι στην ουσία σταθερό, οι τιμές διαφέρουν μόνο κατά μερικά KB. Τέλος στην Εικόνα 46 φαίνεται η συνολική χρήση μνήμης όπου σημειώνεται με διαφορετικό χρώμα το κομμάτι της στοίβας από αυτό εκτός στοίβας και γίνεται φανερό ότι οι επιμέρους διαφοροποιήσεις που προκύπτουν στις ανάγκες σε μνήμη είναι πολύ μικρές.



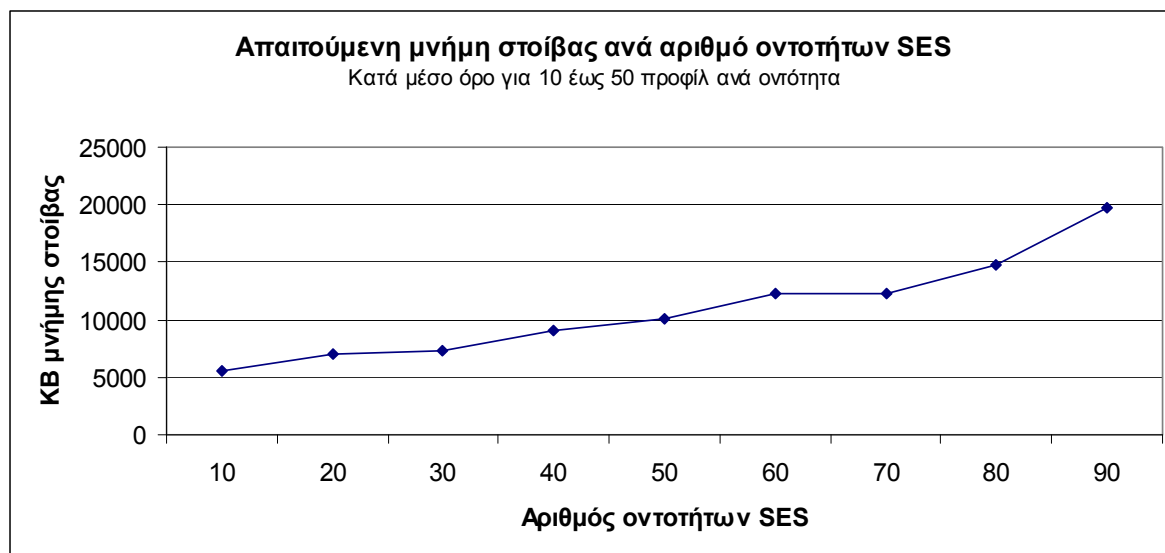
Εικόνα 45: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης μνήμης εκτός στοίβας ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES



Εικόνα 46: Γραφική αναπαράσταση της συνολικής χρήσης μνήμης ανάλογα με τον αριθμό των προφίλ για την περίπτωση που υπάρχουν 50 διαθέσιμες οντότητες SES

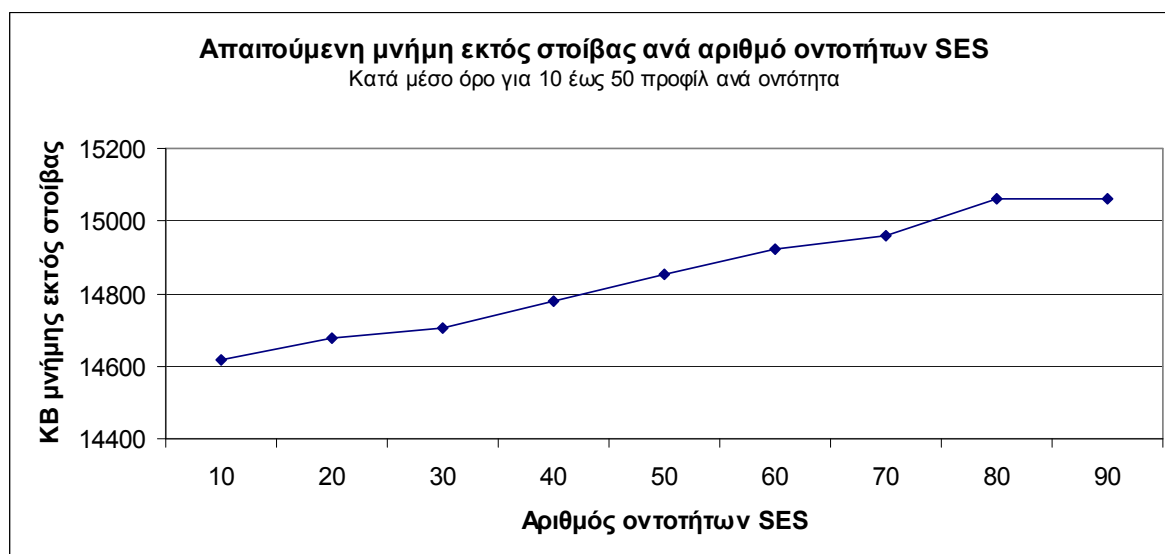
5.6.5.2 Χρήση μνήμης ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της προηγούμενης υποενότητας, ο αριθμός των ενεργών προφίλ που έχει μια οντότητα SES και τα οποία πρέπει να λάβει υπόψη του ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης, δεν έχει σημαντική επίδραση στις απαιτήσεις για μνήμη. Για το λόγο αυτό στα παρακάτω θεωρείται ότι το μέγεθος της απαιτούμενης μνήμης είναι ο μέσος όρος των μετρήσεων για τις περιπτώσεις από 10 έως και 50 προφίλ.



Εικόνα 47: Απαιτούμενη μνήμη στοίβας ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES

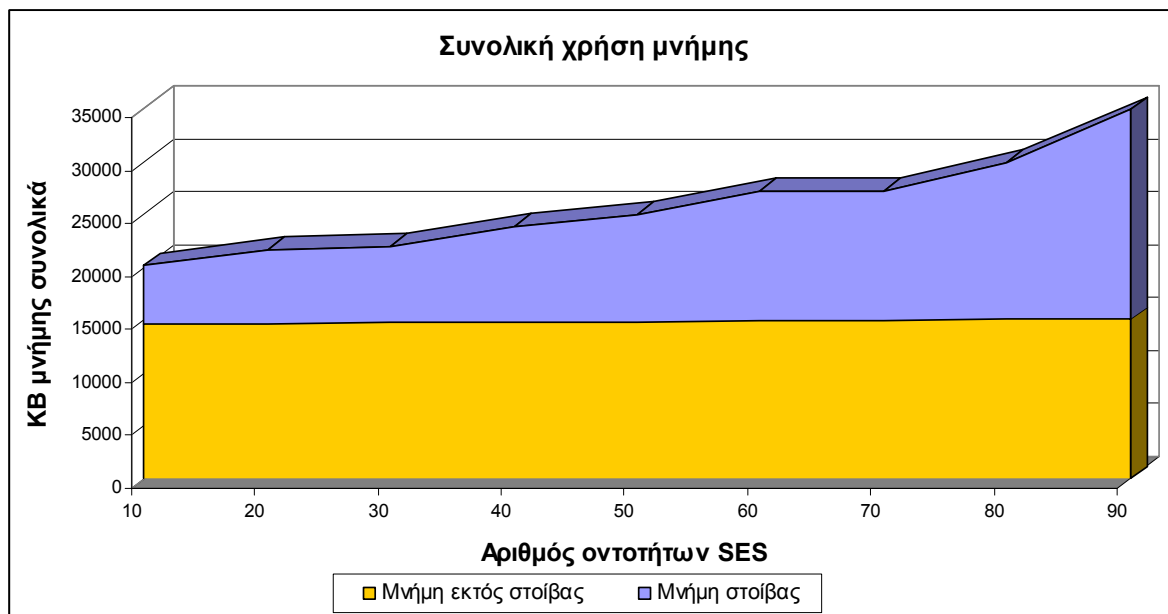
Στην Εικόνα 47 φαίνεται η απαιτούμενη μνήμη στοίβας καθώς αυξάνεται ο αριθμός των διαθέσιμων οντοτήτων SES από 10 σε 90.



Εικόνα 48: Απαιτούμενη μνήμη εκτός στοίβας ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES

Επίσης, στην Εικόνα 48 φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα για την μνήμη εκτός στοίβας. Στη δεύτερη περίπτωση, η αύξηση των αναγκών είναι μικρή, ενώ στην πρώτη είναι αρκετή και δεν μπορεί να αμεληθεί, καθώς σχεδόν τετραπλασιάζεται, για διπλάσια βέβαια αύξηση του αριθμού των οντοτήτων SES.

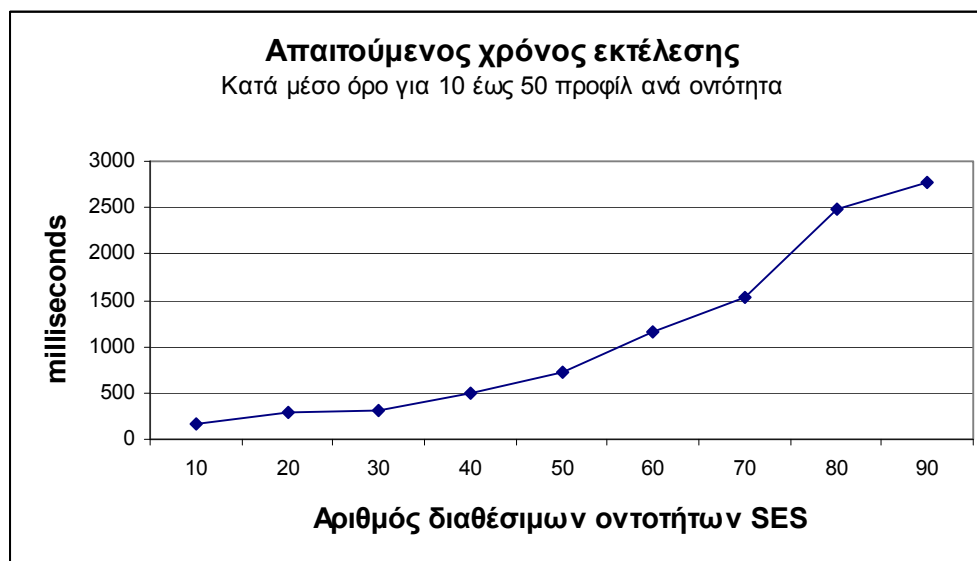
Η παρατήρηση αυτή μπορεί να γίνει απευθείας και από την Εικόνα 49 στην οποία απεικονίζεται η συνολική χρήση μνήμης ανάλογα με τον αριθμό των οντοτήτων SES, όπου είναι φανερό ότι αυτό που αυξάνεται ουσιαστικά είναι το κομμάτι της μνήμης στοίβας, ενώ αυτό εκτός στοίβας παραμένει σταθερό γύρω από μια τιμή, λίγο κάτω από τα 15 MB μνήμης.



Εικόνα 49: Συνολική απαιτούμενη μνήμη ανά αριθμό διαθέσιμων οντοτήτων SES

5.6.5.3 Χρόνος εκτέλεσης

Στην Εικόνα 50 παρουσιάζεται ο απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς.



Εικόνα 50: Απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου ανάλογα με τον αριθμό των διαθέσιμων οντοτήτων SES

Ειδικότερα, ο χρόνος αυτός είναι σε κάθε φορά ο μέσος όρος του χρόνου που προκύπτει από τις περιπτώσεις όπου η κάθε οντότητα SES έχει από 10 έως και 50 προφίλ. Όπως είναι φανερό οι τιμές κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες milliseconds έως και λίγο παραπάνω από 2,5 sec, η δε μέγιστη τιμή που προέκυψε από τις μετρήσεις ήταν 3,25 sec. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, με έμμεσο έστω τρόπο, ότι οι ανάγκες σε επεξεργαστική ισχύ δεν είναι σημαντικές, καθώς τα χρονικά περιθώρια για τη λήψη αποφάσεων από την οντότητα CSD η οποία και εκτελεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, είναι συνήθως αρκετά πιο άνετα. Συνεπώς, και σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα με λιγότερες δυνατότητες, η εγκατάσταση και λειτουργία της οντότητας αυτής, ή κατ' ακρίβεια του σχετικού πράκτορα, δεν είναι καθόλου απαγορευτική.

5.6.6 Συμπεράσματα από τις πειραματικές μετρήσεις

Το κυριότερο συμπέρασμα που προκύπτει από τις πειραματικές μετρήσεις που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες υποενότητες, είναι ότι οι συνολικές απαιτήσεις σε μνήμη και επεξεργαστική ισχύ για το υπολογιστικό σύστημα που θα χρειαστεί να εκτελέσει τον προτεινόμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης δεν είναι κάτι το ιδιαίτερο. Μπορούν σχετικά εύκολα να καλυφθούν από τα χαρακτηριστικά που ήδη διαθέτουν τα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούνται από τους παρόχους. Θα πρέπει δε να σημειωθεί ότι και η διαφοροποίηση άλλων παραμέτρων εισόδου του αλγορίθμου, όπως οι πολιτικές του παρόχου ή οι απαιτήσεις των διαθέσιμων υπηρεσιών κ.α. δεν οδηγεί σε καμία ανατροπή αυτού του συμπεράσματος, καθώς και σε αυτές τις περιπτώσεις η δημιουργία νέων αντικειμένων είναι περιορισμένη, η χρήση τους βελτιστοποιημένη και επιπλέον τα σενάρια χρήσης από τα οποία προήλθαν οι μετρήσεις, ήδη περιέχουν, όπως έχει αναφερθεί και στην τελευταία παράγραφο της υποενότητας 5.6.3, διαφοροποιήσεις οι οποίες γίνονται υπολογιστικά.

Προχωρώντας σε μια ειδικότερη προσέγγιση, αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι η σχεδόν γραμμική αύξηση της χρήσης μνήμης στοίβας, με την αύξηση του αριθμού των προφίλ ανά εμπλεκόμενη οντότητα SES, σε αντίθεση με τη χρήση μνήμης εκτός στοίβας, η οποία αυξάνεται σταδιακά, κατά βήματα των μερικών MB μνήμης, όταν οι ανάγκες ξεπεράσουν κάποια προκαθορισμένα κατώφλια της JVM. Αθροιστικά όμως, όσο το πρόβλημα περιλαμβάνει τον ίδιο αριθμό οντοτήτων SES, οι διακυμάνσεις αυτές λόγω της αύξησης του αριθμού των προφίλ είναι κατά βάση αμελητέες. Από την άλλη, η αύξηση του αριθμού των οντοτήτων SES που εξετάζονται για την εύρεση λύσης, έχει ως αποτέλεσμα την επίσης γραμμική αύξηση τόσο της απαιτούμενης μνήμης στοίβας, όσο και της απαιτούμενης μνήμης εκτός στοίβας, αν και αθροιστικά, η επίδραση της πρώτης είναι αισθητά μεγαλύτερη από της δεύτερης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 49.

Όσον αφορά δε στο χρόνο εκτέλεσης, παρατηρείται ότι η αύξησή του λόγω της αύξησης του αριθμού των οντοτήτων SES είναι μη γραμμική, αλλά δεν είναι ιδιαίτερα απότομη, κάτι που σε συνδυασμό με τις απόλυτες τιμές του, της τάξης των μερικών δευτερολέπτων, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στο χρόνο απόκρισης του συστήματος.

Παραπομπές

- [34] FIPA website, <http://www.fipa.org>
- [35] IEEE website, <http://www.ieee.org>
- [36] Grasshopper website, <http://www.grasshopper.de/>
- [37] JACK Intelligent Agents website, <http://www.agent-software.com/>
- [38] SPADE project website, <http://code.google.com/p/spade2/>
- [39] JIAC website, <http://www.jiac.de>
- [40] JADE website, <http://jade.tilab.com/>
- [41] Protégé website, <http://protege.stanford.edu/>
- [42] Website, <http://protege.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?OntologyBeanGenerator>
- [43] <http://sharon.cselt.it/projects/jade/doc/tutorials/beangenerator/beangenerator.html>
- [44] Website, <http://www.oracle.com/technetwork/articles/javase/index-137171.html>
- [45] RESTY website, <http://beders.github.com/Resty/Resty/Overview.html>
- [46] Website, <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2008-editions/express>
- [47] JNI website, <http://java.sun.com/docs/books/jni/>
- [48] Java Swing website, <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/uiswing/>
- [49] MySQL database website, <http://www.mysql.com/>
- [50] JDBC website, <http://www.oracle.com/technetwork/java/overview-141217.html>
- [51] MySQL connector J website, <http://www.mysql.com/downloads/connector/j/>
- [52] A. Bantouna, K. Tsagkaris, V. Stavroulaki, P. Demestichas, G. Poullos, “Machine Learning applied to Cognitive Communications”, Cognitive Communications: Distributed Artificial Intelligence (DAI), Regulatory Policy & Economics, Implementation. H. Zhang and D. Grace, J. Wiley and Sons, August 2012
- [53] Aristi Galani, Kostas Tsagkaris, Nikos Koutsouris, Panagiotis Demestichas, “Design and Assessment of Functional Architecture for Optimized Spectrum and Radio Resource Management in Heterogeneous Wireless Networks”, International Journal of Network Management, John Wiley & Sons, Ltd, vol. 20, issue 4, p.p. 219-241, July/August 2010
- [54] OSS/J website, <http://www.ossj.org>
- [55] NSN OES website, <http://nsn.com/ems-platform-multi-technology>

Κεφάλαιο 6

*Επιλογή διεπαφής από το
τερματικό για τη βέλτιστη
λήψη μιας υπηρεσίας σε
ετερογενή δικτυακά
περιβάλλοντα*

6.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες συσκευές που χρησιμοποιούνται ως τερματικά για την πρόσβαση σε δικτυακές υπηρεσίες, είναι πλέον σε θέση να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, τόσο ενσύρματων, όσο και κυρίως ασύρματων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί από το πρώτο κεφάλαιο, για να έχει τη δυνατότητα ένα τερματικό να αξιοποιήσει στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα οφέλη του ετερογενούς δικτυακού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, απαιτείται η ενσωμάτωση σε αυτό επιπλέον λογισμικού διαχείρισης, το οποίο θα αναλαμβάνει αφενός μεν την εναρμόνιση με τις πολιτικές του παρόχου, αφετέρου δε την επιλογή της καταλληλότερης διεπαφής του τερματικού για την λήψη μιας υπηρεσίας, λαμβάνοντας υπόψη πολλές παραμέτρους, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα μιας πιο βραχυπρόθεσμης έρευνας σχετικής με την γνωσιακή διαχείριση ευφώνων τερματικών, η οποία γι' αυτόν ακριβώς το λόγο βασίζεται σε τεχνολογίες, λογισμικό αλλά και υλικό που υπάρχουν ήδη διαθέσιμα για εμπορική χρήση ή που είναι έτοιμα να διατεθούν στο άμεσο μέλλον. Παρ' όλα αυτά, ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής που προτείνεται, ως πυρήνας μιας εφαρμογής διαχείρισης, σαφώς και μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να καλύπτει ουσιαστικά και κάθε μελλοντική τεχνολογία, με την πιθανότερη διαφορά ότι θα είναι ενσωματωμένος στο βασικό λειτουργικό σύστημα της συσκευής και δεν θα εκτελείται ως πρόσθετη εφαρμογή.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ερευνητική προσπάθεια συνεχίζεται, σε συνεργασία με την εταιρεία Intel Mobile Communications (IMC) GmbH που εδρεύει στο Μόναχο της Γερμανίας, με στόχο την ανάπτυξη ενός προϊόντος που θα απευθύνεται στο ευρύ κοινό. Καθώς λοιπόν οι ιδέες που περιγράφονται παρακάτω εισήλθαν σε φάση υλοποίησης (pre-product version), κινήθηκαν από την εταιρεία και οι απαραίτητες διαδικασίες για την προστασία των σχετικών πνευματικών δικαιωμάτων που απορρέουν από τις προτεινόμενες καινοτομίες. Γι' αυτό το λόγο και με την σύμφωνη γνώμη του ειδικού νομικού τμήματος της IMC σχετικά με την αξία κατοχύρωσης των ιδεών αυτών, προετοιμάστηκε η αίτηση διεθνούς πατέντας η οποία υποβλήθηκε τον Απρίλιο του 2013 με τίτλο “COMMUNICATION CONTROLLER AND METHOD FOR TRANSMITTING DATA” με τη βοήθεια του συνεργαζόμενου γραφείου Viering, Jentschura and Partner και έλαβε τον αριθμό αίτησης (U.S. Application Number) US 13/792.595.

6.2 Η έννοια των πολλαπλών οικείων διευθύνσεων

Η ύπαρξη πολλών δικτυακών διεπαφών, κατά κανόνα διαφορετικής τεχνολογίας, σε ένα τερματικό, οδηγεί και στη δυνατότητα συνύπαρξης πολλών οικείων διευθύνσεων, μιας για κάθε ενεργή και συνδεδεμένη διεπαφή. Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα είναι ένας φορητός υπολογιστής ο οποίος συνδέεται στο Ίντερνετ μέσω ενσύρματου τοπικού δικτύου Ethernet και ταυτόχρονα μέσω ασύρματου τοπικού δικτύου IEEE 802.11. Για περιπτώσεις όπως αυτή, όπου πρέπει να γίνει κάποια επιλογή της διεπαφής που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόσβαση στο Ίντερνετ, τα λειτουργικά συστήματα όπως τα Microsoft Windows έχουν εισαγάγει την έννοια της μετρικής απόστασης στους πίνακες δρομολόγησης που διατηρούν, η οποία είναι ένας αριθμός που εκφράζει ουσιαστικά τον βαθμό δυσκολίας για την

επικοινωνία με ένα άλλο υποδίκτυο μέσω της συγκεκριμένης διεπαφής. Έτσι η απόφαση για τη διεπαφή μέσω της οποίας θα δρομολογηθούν οι ζητούμενες υπηρεσίες, βασίζεται στο πόσο μικρή είναι η μετρική απόσταση για το υποδίκτυο προορισμού.

Ουσιαστικά όμως η επικοινωνία είναι εφικτή από κάθε οικεία διεύθυνση και καθώς, όπως αναφέρθηκε, η κάθε μία αντιστοιχεί συνήθως σε διεπαφή διαφορετικής τεχνολογίας από τις υπόλοιπες, θα ήταν πιο ωφέλιμο η δρομολόγηση μιας υπηρεσίας να γίνεται με βάση τα ειδικότερα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες κάθε δικτύου, τις προτιμήσεις του χρήστη για κάθε δίκτυο, τα αντίστοιχα συνδρομητικά προφίλ του κ.α. Η επιλογή διεπαφής γίνεται μεν πιο πολύπλοκη, αλλά και το υλικό των τερματικών είναι σε θέση να υποστηρίξει απροβλημάτιστα μια τέτοια λειτουργία και συνολικά προκύπτουν πολλαπλά οφέλη, τόσο για τον πάροχο, όσο και για τον χρήστη.

6.3 Τα ευκαιριακά δίκτυα

Η ύπαρξη πολλαπλών οικείων διευθύνσεων σε ένα τερματικό καθιστά πιο πιθανή τη συμμετοχή του σε κάποιο λεγόμενο ευκαιριακό δίκτυο (Opportunistic Network, ON). Τα ευκαιριακά δίκτυα ελέγχονται και αυτά από τον πάροχο, κυρίως ως προς το φάσμα που χρησιμοποιούν και τις πολιτικές που ισχύουν, αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν τερματικά και συσκευές συνδεδεμένα με ομότιμο (peer-to-peer) τρόπο. Μπορούν να θεωρηθούν και ως επέκταση της δικτυακής υποδομής του παρόχου, καθώς για παράδειγμα μπορούν να παρέχουν δικτυακή κάλυψη σε σημεία όπου δεν φτάνει το σήμα από κάποιον σταθμό βάσης ή επιπλέον εύρος ζώνης μέσω της δρομολόγησης προς άλλο δίκτυο ή σταθμό βάσης, όταν υπάρχει αυξημένο φορτίο στην περιοχή. Σε κάθε περίπτωση, βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δημιουργούνται δυναμικά και υπάρχουν προσωρινά, προκειμένου να υποστηρίξουν συγκεκριμένες εφαρμογές ή ανάγκες διασφάλισης της ποιότητας μιας υπηρεσίας. Όταν το τερματικό έχει συνδεθεί σε ένα ευκαιριακό δίκτυο, συχνά καλείται να δρομολογήσει την κίνηση που λαμβάνει σε μια διεπαφή του μέσω μιας άλλης διεπαφής, κάτι το οποίο θέλει μεν κατά κανόνα κάποια ειδική διαμόρφωση των παραμέτρων των διεπαφών, είναι όμως εφικτό σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις λειτουργικών συστημάτων. Το λογισμικό διαχείρισης τερματικού που αναπτύχθηκε είναι σε θέση να αξιοποιεί προς όφελος του χρήστη τη δυνατότητα συμμετοχής σε ευκαιριακά δίκτυα.

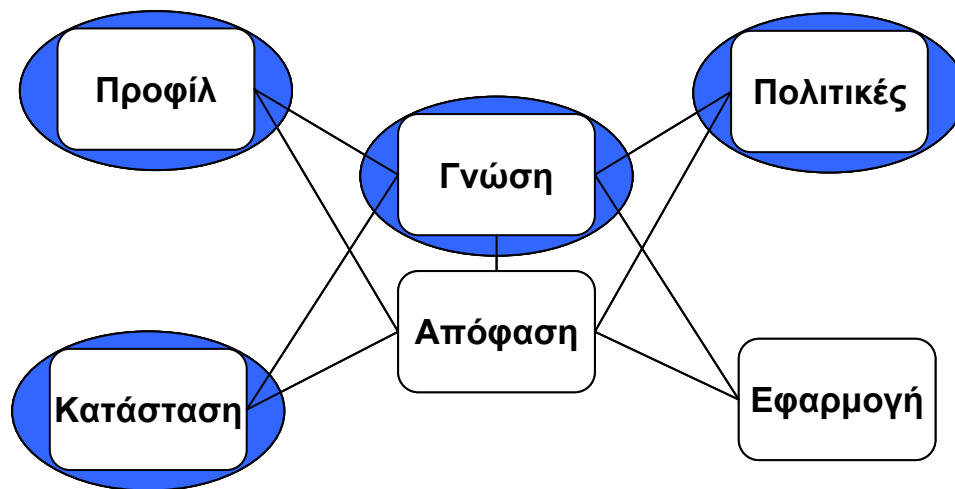
6.4 Ζητούμενο από το χρήστη – πρόβλημα προς επίλυση

Ο χρήστης ενός τερματικού επιθυμεί να λάβει τις υπηρεσίες που ζητά με ικανοποιητική ποιότητα, χωρίς όμως κατά κανόνα να είναι σε θέση να ορίσει τί σημαίνει αυτό αναλυτικά, ούτε βέβαια να διαμορφώσει κατάλληλα τις σχετικές τεχνικές παραμέτρους του τερματικού ώστε να πετύχει αυτό που θέλει. Παρ' όλα αυτά, έχει τη δυνατότητα να εκφράσει τις προτιμήσεις του γενικότερα, σε υψηλό επίπεδο (high level), ενώ πολλά χρήσιμα στοιχεία μπορούν να αντληθούν και από τις συνδρομές που έχει επιλέξει να πληρώνει. Το πρόβλημα λοιπόν που τίθεται προς επίλυση είναι ο καθορισμός μιας διαδικασίας η οποία κατ' αρχήν θα μετασχηματίζει την διαθέσιμη πληροφορία από την πλευρά του χρήστη σε μορφή που θα μπορεί να αξιοποιηθεί στη συνέχεια, ώστε σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας, τις δυνατότητες και την κατάσταση κάθε διαθέσιμου δικτύου, όπως και τις ισχύουσες

πολιτικές του παρόχου, να μπορεί τελικά να επιλέγει για λογαριασμό του χρήστη τη βέλτιστη διαμόρφωση του τερματικού και να διασφαλίζει ότι κάθε ζητούμενη υπηρεσία λαμβάνεται από το πλέον κατάλληλο δίκτυο, με την καλύτερη επιτρεπτή ποιότητα. Τα δεδομένα εισόδου, οι αποφάσεις, αλλά και τα στάδια επεξεργασίας που περιλαμβάνει η διαδικασία αυτή, περιγράφονται αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες.

6.5 Δεδομένα εισόδου στον αλγόριθμο επιλογής διεπαφής

Η διαδικασία επιλογής της πλέον κατάλληλης διεπαφής για την λήψη μιας υπηρεσίας μέσω του τερματικού λαμβάνει υπόψη της δεδομένα από πολλές διαφορετικές πηγές πληροφόρησης όπως φαίνεται σχηματικά και στην Εικόνα 51, τα οποία συγκεκριμένα είναι τα ακόλουθα.



Εικόνα 51: Σχηματική απεικόνιση των δεδομένων εισόδου

6.5.1 Δεδομένα από τα προφίλ

Τα προφίλ παρέχουν στατικά μεν αλλά απόλυτα απαραίτητα δεδομένα και μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες. Σε αυτό του χρήστη, αυτό της συσκευής και αυτό των υπηρεσιών.

6.5.1.1 Προφίλ χρήστη

Στο προφίλ του χρήστη υπάρχουν αποθηκευμένες οι προτιμήσεις του, τόσο για τον γενικότερο τρόπο λειτουργίας του τερματικού, όσο και ειδικότερα για κάθε υπηρεσία. Τις προτιμήσεις αυτές τις έχει εκφράσει ο χρήστης πιθανώς χρησιμοποιώντας κάποια γραφική διεπαφή που προσφέρει το τερματικό, μέσω της οποίας μπορεί βέβαια να κάνει και τροποποιήσεις. Μια σημαντική ρύθμιση που επηρεάζει την απόφαση του αλγορίθμου, είναι το εάν οι τυχόν πολλαπλές διεπαφές που υπάρχουν διαθέσιμες θα χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα ή όχι. Επίσης στο προφίλ χρήστη υπάρχουν και άλλες πολιτικές. όπως η απαγόρευση λήψης μια υπηρεσίας (π.χ. ροής βίντεο) μέσω κάποιου δικτύου, η απαίτηση του χρήστη για ποιότητα ή οικονομία ανάλογα με την υπηρεσία κ.α.

6.5.1.2 Προφίλ συσκευής

Οι δυνατότητες της συσκευής είναι φυσικά κάτι που πρέπει να γνωρίζει ο αλγόριθμος για να είναι σε θέση να εξάγει εφαρμόσιμα αποτελέσματα. Ο μέγιστος (ονομαστικός) ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω του υλικού, τυχόν περιορισμοί στον χειρισμό των εφαρμογών από το λειτουργικό και γενικά, τα ακριβή στοιχεία υλικού και λογισμικού που σχετίζονται με τις διαθέσιμες διεπαφές, παίζουν κρίσιμο ρόλο στην τελική επιλογή.

6.5.1.3 Προφίλ υπηρεσιών

Ανάλογα με την υπηρεσία οι απαιτήσεις σε πόρους, τόσο δικτυακούς όσο και υπολογιστικούς, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Μεγάλη διαφοροποίηση μπορεί να υπάρχει και ανάμεσα στα επίπεδα ποιότητας στα οποία είναι αποδεκτή η παροχή της υπηρεσίας σύμφωνα με τις αντίστοιχες συμφωνίες (Service Level Agreements, SLAs) όπως προκύπτουν από τις συνδρομές του χρήστη. Όλα αυτά αποτελούν πολύτιμα δεδομένα που μορφοποιούν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα του αλγορίθμου.

6.5.2 Δεδομένα από το πλαίσιο λειτουργίας του τερματικού

Σε αυτό το κομμάτι πληροφόρησης εντάσσονται κατ' αρχάς τα δεδομένα σχετικά με τα ασύρματα δίκτυα που υπάρχουν διαθέσιμα στην περιοχή που βρίσκεται το τερματικό. Εκτός από την ισχύ λήψης του σήματος, ελέγχεται όσο πιο αξιόπιστα γίνεται και η συνολική κατάσταση στο δίκτυο όσον αφορά στο φορτίο που εξυπηρετεί και τη δυνατότητα ικανοποίησης νέων αιτημάτων παροχής υπηρεσιών. Βέβαια το τελευταίο ειδικά βασίζεται περισσότερο στην σχετική πρότερη γνώση του τερματικού όπως αναφέρεται στην υποενότητα 6.5.4 παρακάτω. Άλλα εξίσου υπολογίσιμα δεδομένα είναι η κινητικότητα του τερματικού, όπως και οι συγκεκριμένες εφαρμογές που εκτελούνται ή που έχει ζητηθεί η εκκίνησή τους.

6.5.3 Δεδομένα από τις ισχύουσες πολιτικές

Καμία απόφαση του τερματικού δεν πρέπει, και πιθανώς δεν μπορεί, να παραβιάσει τις πολιτικές που ισχύουν και έχει θέσει ο πάροχος. Αυτές συνήθως αφορούν σε δίκτυα τα οποία δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει το τερματικό, αλλά υπάρχει και η περίπτωση περιορισμών για συγκεκριμένες τεχνολογίες ή υπηρεσίες ή συνδυασμό αυτών. Επίσης συχνά ο πάροχος θέτει και γενικότερους στόχους, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας, στην κατεύθυνση υλοποίησης των οποίων πρέπει να κινούνται τα τερματικά. Τέλος δεν θα πρέπει να παραβλέπονται από τον αλγόριθμο και τυχόν προτιμήσεις του παρόχου για κάποιες τεχνολογίες ή δίκτυα ανά περίπτωση.

6.5.4 Δεδομένα από την σχετική πρότερη γνώση

Κάθε φορά που λαμβάνεται μια υπηρεσία, το τερματικό συγκεντρώνει στοιχεία τα οποία τροφοδοτεί στην λειτουργία μηχανικής μάθησης που καθιστά το σύστημα διαχείρισης γνωσιακό. Συνδυάζοντας την εκάστοτε κατάσταση ενός διαθέσιμου δικτύου με την αποτελεσματικότητα με την οποία υποστηρίχθηκαν οι ζητούμενες υπηρεσίες, παράγεται

πολύτιμη γνώση για μελλοντική χρήση. Στη διαδικασία αξιολόγησης μπορεί να συμμετέχει ενεργά και ο χρήστης, εφόσον μετά το τέλος κάποιας λήψης απαντήσει σε ένα ή δύο βασικά ερωτήματα σχετικά με την εμπειρία του. Εφόσον λοιπόν υπάρχουν δεδομένα για τον τρόπο αντιμετώπισης μιας κατάστασης παρόμοιας με την τρέχουσα, ο αλγόριθμος επιλογής τα χρησιμοποιεί για να βελτιώσει και τον χρόνο απόκρισής του και την συνολική ποιότητα που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

6.6 Ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής

6.6.1 Γενική περιγραφή

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιλογής περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Η πρώτη αφορά στην εύρεση του συνόλου των υποψήφιων δικτυακών ζεύξεων. Αυτό προκύπτει από το σύνολο των διαθέσιμων ζεύξεων αφού αφαιρεθούν αυτές οι οποίες δεν πληρούν κάποιες προϋποθέσεις όπως ποιότητας σήματος, κινητικότητας του τερματικού, συμμόρφωσης με τις πολιτικές του παρόχου ή του χρήστη κ.α.

Κατά τη δεύτερη φάση υπολογίζεται ο βαθμός στον οποίο κάθε υποψήφια ζεύξη μπορεί να εξυπηρετήσει υπηρεσίες. Αυτό μπορεί να είναι κυρίως θέμα χωρητικότητας, αλλά μπορεί να εξαρτάται και από το κόστος, ειδικά αν ο χρήστης το έχει θέσει ως προτεραιότητα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η έννοια του κόστους είναι δυναμική, λαμβάνοντας υπόψη και τα στοιχεία της συνδρομής του χρήστη. Έτσι, αν για παράδειγμα έχει προπληρωθεί κάποιος όγκος κίνησης μέσω ενός δικτύου για ένα συγκεκριμένο διάστημα, το κόστος ανά μονάδα θα μειώνεται όσο πλησιάζει η λήξη του χρονικού αυτού διαστήματος και δεν έχουν διακινηθεί τα ανάλογα δεδομένα.

Στην επόμενη και τελευταία φάση γίνεται ανάθεση των εφαρμογών στις υποψήφιες δικτυακές ζεύξεις. Αρχικά διασφαλίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις κάθε εφαρμογής, ξεκινώντας βέβαια πάλι από την πιο σημαντική. Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια αναβάθμισης του επιπέδου ποιότητας κάθε εφαρμογής μέχρις ότου είτε δεν υπάρχουν άλλες εφαρμογές που ζητούν επιπλέον χωρητικότητα, είτε δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη χωρητικότητα. Γι' αυτό και σε κάθε βήμα της τρίτης φάσης γίνεται ξανά υπολογισμός της χωρητικότητας που απομένει από αυτή που υπολογίστηκε στο δεύτερο βήμα και δεν έχει ακόμα ανατεθεί.

Στην περίπτωση βέβαια που ο χρήστης δεν επιθυμεί την ταυτόχρονη χρήση περισσότερων της μίας διεπαφής, ο αλγόριθμος αναζητά κατ' αρχήν τις ζεύξεις που μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις ζητούμενες εφαρμογές και επιλέγει την καλύτερη από αυτές με αντίστοιχο τρόπο.

6.6.2 Μαθηματική διατύπωση προβλήματος και λύσης

6.6.2.1 Ορισμός βασικών παραμέτρων

Το τερματικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης για τη λήψη εφαρμογών είναι εξοπλισμένο με ένα σύνολο I από διεπαφές. Κάθε διεπαφή $i \in I$ λειτουργεί σε μια τεχνολογία δικτύου $ti \in T$, όπου T το σύνολο των διαφορετικών τεχνολογιών δικτύου που υποστηρίζονται από το λογισμικό διαχείρισης. Μπορεί δε να συνδεθεί σε κάποιο δίκτυο n το οποίο είναι και

αυτό της ίδιας τεχνολογίας $tn = ti$. Επίσης, κάθε διεπαφή i έχει ένα μέγιστο φορτίο κίνησης $load_max(i)$ που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε στιγμή.

Ο χρήστης είναι εγγεγραμμένος σε ένα σύνολο APP από εφαρμογές. Κάθε εφαρμογή $a \in APP$ χαρακτηρίζεται από έναν τύπο $s \in S$, όπου S το σύνολο των διαφορετικών τύπων υπηρεσίας που μπορεί να αναγνωρίσει το λογισμικό διαχείρισης. Για παράδειγμα ένας διαχωρισμός σε τρεις τύπους μπορεί να γίνει με βάση τις απαιτήσεις ποιότητας από το δίκτυο, σε υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης, υψηλής διέλευσης και υψηλής αξιοπιστίας. Ακόμα, κάθε εφαρμογή μπορεί να προσφερθεί σε ένα σύνολο $Q(s)$ από επίπεδα ποιότητας, όπου κάθε επίπεδο ποιότητας $q \in Q(s)$ εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του δικτύου, όπως η καθυστέρηση, η διέλευση, το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η αξιοπιστία κ.α.

Όταν ο χρήστης λαμβάνει μια εφαρμογή a σε ένα επίπεδο ποιότητας q θεωρούμε ότι βαθμολογεί την εμπειρία του με μια τιμή $util(a,q)$. Αν η τιμή της παραμέτρου $util$ είναι μηδέν, τότε ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται καθόλου για τον συγκεκριμένο συνδυασμό εφαρμογής και επιπέδου ποιότητας. Ανάλογα με τις δυνατότητες της εφαρμογής διαχείρισης, η τιμή $util$ μπορεί να διαφοροποιείται, ίσως και αυτόματα, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του χρήστη ή άλλες παραμέτρους από το πλαίσιο λειτουργίας του τερματικού.

Παράλληλα, υπάρχει μια χρέωση από το δίκτυο n μέσω του οποίου συνδέθηκε με ένα κόστος $cst(a,q,n)$ το οποίο σχετίζεται με το πραγματικό οικονομικό κόστος χρήσης, είναι δηλαδή γνωστό εκ των προτέρων, αλλά εκφράζεται σε κλίμακα αντίστοιχη της παραμέτρου $util$. Επίσης θεωρούμε ότι δημιουργείται σε αυτή την περίπτωση ένα φορτίο κίνησης $load(a,q)$.

Αντίστοιχα με την παράμετρο $util$, το δίκτυο μπορεί να εκφράσει την προτίμησή του για την παροχή μιας εφαρμογής a σε επίπεδο ποιότητας q πριμοδοτώντας την με μια τιμή $npol(a,q,n)$ σε κλίμακα ανάλογη της παραμέτρου $util$. Ειδικά όμως η τιμή μηδέν δηλώνει ότι το δίκτυο απαγορεύει τον συγκεκριμένο συνδυασμό. Να σημειωθεί ότι η τιμή αυτή μπορεί να αλλάζει δυναμικά και σε πραγματικό χρόνο, εφόσον το τερματικό συνεργάζεται με παρόχους οι οποίοι διαθέτουν ένα σύστημα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών όπως αυτό που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Η διαφοροποίηση της $npol(a,q,n)$ μπορεί να οφείλεται στην γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκεται ο χρήστης, στο συνολικό φορτίο κίνησης που εξυπηρετεί το δίκτυο εκείνη τη στιγμή κτλ.

6.6.2.2 Ορισμός επιπλέον παραμέτρων

Σε δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης βρίσκεται σε κάποια συγκεκριμένη θέση loc και εκτελεί ή θέλει να ξεκινήσει την εκτέλεση ενός συνόλου εφαρμογών $A \subseteq APP$. Το τερματικό του ανιχνεύει ένα σύνολο N από διαθέσιμα δίκτυα και κάνει για κάθε δίκτυο $n \in N$ μια εκτίμηση του επιπέδου ποιότητας υπηρεσίας $qn(s,n)$ που αυτό προσφέρει ανά τύπο υπηρεσίας s . Η εκτίμηση αυτή μπορεί να προέρχεται από το συνδυασμό κάποιων μετρήσεων βασικών δεικτών απόδοσης (Key Performance Indicators, KPIs), με την πρότερη γνώση περί της τιμής τους που έχει αποκτηθεί και αποθηκευτεί. Με βάση αυτό υπολογίζεται το σύνολο $QN(s,n) \subseteq Q(s)$ το οποίο περιέχει τα επίπεδα ποιότητας που είναι μικρότερα ή ίσα με το $qn(s,n)$.

Στα πλαίσια της λειτουργίας του τερματικού μπορούν να οριστούν και άλλες παράμετροι και να συνυπολογιστούν, όπως για παράδειγμα το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του τερματικού pl , η ενέργεια που καταναλώνει το τερματικό όσο είναι συνδεδεμένο σε κάποιο δίκτυο n , $cons(n)$, ή το προπληρωμένο υπόλοιπο μιας εφαρμογής σε σχέση με την λήξη της ισχύος της άδειας χρήσης της $spr(a)$. Όλα αυτά θα διαφοροποιούσαν το κόστος $cst(a,q,n)$ προσθέτοντας ή αφαιρώντας από αυτό ένα επιπλέον κόστος $extcst$. Στην πρώτη περίπτωση, όσο πιο χαμηλό το pl και όσο πιο υψηλό το $cons(n)$ τόσο πιο μεγάλο το $extcst = ecst(a,q,n,pl,cons)$ που προστίθεται για τη λήψη εφαρμογών από κάποιο δίκτυο n , εκτός και αν αυτό είναι δεδομένο ότι θα είναι σε χρήση, όπως το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας για ένα κινητό τηλέφωνο. Στην δεύτερη περίπτωση, όσο μεγαλύτερο το αχρησιμοποίητο υπόλοιπο που έχει προπληρωθεί και όσο συντομότερα λήγει η ισχύς της άδειας χρήσης, τόσο μεγαλύτερο το $extcst = ecst(a,q,n,spr)$ που αφαιρείται από το $cst(a,q,n)$.

Ένα ακόμα βοηθητικό σύνολο που ορίζεται είναι το $AQI(i)$ το οποίο περιέχει τις εφαρμογές και τα αντίστοιχα επίπεδα ποιότητας που έχουν ανατεθεί σε μια διεπαφή i . Από αυτό υπολογίζεται το ανάλογο φορτίο κίνησης που δημιουργείται και συμβολίζεται με $LD(AQI(i), i)$.

6.6.2.3 Υπολογισμός αντικειμενικής συνάρτησης

Το ζητούμενο του προβλήματος είναι να βρεθεί η καλύτερη δυνατή ανάθεση κάθε μιας από τις ζητούμενες εφαρμογές σε όσο γίνεται μεγαλύτερο επίπεδο ποιότητας και σε μια από τις διαθέσιμες διεπαφές μέσω της οποίας μπορεί να γίνει σύνδεση σε ένα διαθέσιμο δίκτυο n για την ομαλή εκτέλεσή της. Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, υπολογίζεται για κάθε περίπτωση η τιμή μιας κατάλληλα ορισμένης αντικειμενικής συνάρτησης $OF(a,q,i,n)$ και επιλέγεται η μέγιστη. Σε αυτή χρησιμοποιείται η μεταβλητή απόφασης, x_{anqi} , η οποία παίρνει την τιμή 1 όταν η εφαρμογή a εκτελείται σε επίπεδο ποιότητας q μέσω της διεπαφής i και του δικτύου n , διαφορετικά είναι 0.

Μεγιστοποίηση της $OF(a,q,i,n) =$

$$\begin{aligned} & \sum_{a \in A} \sum_{n \in N} \sum_{q \in QN(s,n)} utl(a,q) \sum_{i \in I} x_{anqi} + \\ & \sum_{a \in A} \sum_{n \in N} \sum_{q \in QN(s,n)} npol(a,q,n) \sum_{i \in I} x_{anqi} - \\ & \sum_{a \in A} \sum_{n \in N} \sum_{q \in QN(s,n)} (cst(a,q,n) + extcst) \sum_{i \in I} x_{anqi} \end{aligned}$$

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω περιορισμοί, ειδάλλως ο συγκεκριμένος συνδυασμός a, q, i, n απορρίπτεται.

$$utl(a,q) > 0 \quad (1)$$

$$npol(a,q,n) > 0 \quad (2)$$

$$tn = ti \quad (3)$$

Η πρώτη συνθήκη εξασφαλίζει ότι ο χρήστης ενδιαφέρεται για το εν λόγω επίπεδο ποιότητας της εφαρμογής, η δεύτερη ότι ο πάροχος που λειτουργεί το δίκτυο επιτρέπει την εκτέλεση της εφαρμογής με αυτό το επίπεδο ποιότητας και η τρίτη ότι το δίκτυο και η διεπαφή είναι της ίδιας τεχνολογίας και μπορεί να γίνει η σύνδεση.

Γενικά δε πρέπει να τηρείται ο περιορισμός από την δυνατότητα της διεπαφής να εξυπηρετεί το συνολικό φορτίο κίνησης που δημιουργούν οι εφαρμογές που τις ανατίθενται, πρέπει δηλαδή να ισχύει

$$LD(AQI(i),i) < load_max(i) \quad (4)$$

και επιπλέον πρέπει να διασφαλίζεται ότι κάθε υπηρεσία ανατίθεται σε ένα επίπεδο ποιότητας, μια διεπαφή και ένα δίκτυο

$$\sum_{a \in A} \sum_{n \in N} \sum_{q \in QN(n)} \sum_{i \in I} x_{anqi} = 1 \quad (5)$$

6.7 Λογισμικό για την πειραματική επαλήθευση του αλγορίθμου

Η απόφαση του αλγορίθμου επιλογής διεπαφής μετασχηματίζεται τελικά σε ένα σύνολο εντολών και ενεργειών που πρέπει να εκτελεστούν από το λειτουργικό σύστημα του τερματικού έτσι ώστε να επιτευχθεί η αναδιάρθρωση των παραμέτρων λειτουργίας του και η κάθε εφαρμογή να λαμβάνεται από τη καταλληλότερη για αυτήν διεπαφή.

Ο έλεγχος της εγκυρότητας και της ορθότητας της λειτουργίας της προτεινόμενης διαδικασίας επιλογής διεπαφής έγινε με την ανάπτυξη λογισμικού το οποίο μπορεί να εκτελεστεί σε συστήματα με λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows. Ο κώδικας γράφτηκε στις γλώσσες προγραμματισμού JAVA και C++ και βασίστηκε στις τεχνολογίες και προδιαγραφές που αναφέρονται ακολούθως.

6.7.1 Τεχνολογίες και προδιαγραφές που αξιοποιήθηκαν

6.7.1.1 Microsoft Windows Native WiFi API

Το Native WiFi API [56] περιέχει συναρτήσεις, δομές και απαριθμήσεις (enumerations) οι οποίες υποστηρίζουν τη διαχείριση της ασύρματης σύνδεσης δικτύου και των αντίστοιχων ασύρματων προφίλ. Το API αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την περίπτωση δικτύων με υποδομή ασύρματων σημείων πρόσβασης όσο και χωρίς (ad hoc δίκτυα). Σε λειτουργικό Windows XP με Service Pack 2 (SP2) ή και Service Pack 3 (SP3) υποστηρίζεται μόνο ένα μέρος της λειτουργικότητας του συγκεκριμένου API, στη δε πρώτη περίπτωση για να καταστεί ακόμα και αυτό εφικτό, απαιτείται η εγκατάσταση ενός πρόσθετου, του ονομαζόμενου Wireless LAN API. Οι βασικοί περιορισμοί όταν χρησιμοποιούνται τα Windows XP είναι ότι:

- Κάθε προφίλ μπορεί να περιλαμβάνει το πολύ ένα SSID
- Τα δίκτυα υποδομής εμφανίζονται πάντα πριν τα adhoc δίκτυα στην λίστα των προφίλ και έτσι προτιμώνται

- Τα ονόματα των προφίλ εξάγονται αυτόματα από το αντίστοιχο SSID και δεν μπορεί ο χρήστης να ορίσει κάποιο της επιλογής του
- Δεν υποστηρίζονται διαφορετικά δικαιώματα ανά προφίλ
- Δεν υποστηρίζονται διάφορες ρυθμίσεις και δυνατότητες όπως η διαμόρφωση του φυσικού στρώματος (PHY)

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι συναρτήσεις και οι δομές που χρησιμοποιήθηκαν.

Προκειμένου να είναι σε θέση να διαχειριστούν πολλαπλούς προσαρμογείς δικτύου, πολλές σχετικές ρυθμίσεις βασίζονται σε ένα μοναδικό αναγνωριστικό κάθε προσαρμογέα, το ονομαζόμενο GUID (Globally Unique Identifier). Το πρώτο πράγμα λοιπόν που χρειάζεται είναι να βρεθεί το GUID της ασύρματης διεπαφής και αυτό γίνεται με την κλήση της συνάρτησης WlanEnumInterfaces, η οποία επιστρέφει ένα αντικείμενο τύπου PWLAN_INTERFACE_INFO, ένα πεδίο του οποίου είναι το InterfaceGuid, δηλαδή η ζητούμενη πληροφορία.

Η δημιουργία, η διαγραφή ή η αναζήτηση των προφίλ που έχουν ήδη οριστεί επιτυγχάνονται με την βοήθεια των συναρτήσεων WlanSetProfile, WlanDeleteProfile, WlanGetProfileList και WlanGetProfile αντίστοιχα. Η βασική παράμετρος εισόδου και εξόδου στις περιπτώσεις αυτές είναι εκτός από το GUID, ένα κείμενο XML το οποίο περιγράφει το προφίλ και το οποίο περιέχει ετικέτες όπως <NAME> για τη φιλική ονομασία του προφίλ, <SSID> για τα στοιχεία που αφορούν στο ssid, <SECURITY> για τον καθορισμό των παραμέτρων αυθεντικοποίησης και κρυπτογράφησης κ.α.

Στη συνέχεια, όπως και σε αρκετά ακόμα σημεία, δίνεται εντολή για ανίχνευση των διαθέσιμων ασύρματων δικτύων, καλώντας τη συνάρτηση WlanScan. Κατόπιν, η κλήση της συνάρτησης WlanGetAvailableNetworkList επιστρέφει μια λίστα από αντικείμενα τύπου PWLAN_AVAILABLE_NETWORK με πολλά χρήσιμα πεδία. Μεταξύ αυτών το ssid, το όνομα του σχετιζόμενου προφίλ, το αν το τερματικό έχει συνδεθεί με το δίκτυο αυτό, η δυνατότητα να συνδεθεί ή όχι, η ποιότητα του σήματος, οι ονομαστικοί ρυθμοί μετάδοσης στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου, όπως και οι αλγόριθμοι αυθεντικοποίησης και κρυπτογράφησης.

Επιπλέον, από τη συνάρτηση WlanGetNetworkBssList λαμβάνεται μια λίστα από αντικείμενα τύπου PWLAN_BSS_ENTRY στα οποία υπάρχουν δεδομένα για την διεύθυνση MAC του σημείου πρόσβασης, το ssid που εκπέμπει και με το οποίο γίνεται ο συσχετισμός με τα δεδομένα της συνάρτησης WlanGetAvailableNetworkList, όπως και την κεντρική συχνότητα εκπομπής, η οποία είναι χρήσιμη παράμετρος εισόδου στον αλγόριθμο επιλογής δικτύου. Ακόμα μπορεί να βρεθεί και ο αριθμός του καναλιού στο οποίο αντιστοιχεί η συχνότητα λειτουργίας, περνώντας στην συνάρτηση WlanQueryInterface τη σταθερά wlan_intf_opcode_channel_number.

Τέλος, απαραίτητες συναρτήσεις είναι αυτές που επιτρέπουν την σύνδεση ή την αποσύνδεση από ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, τις WlanConnect και WlanDisconnect αντίστοιχα. Για την δεύτερη χρειάζεται μόνο το GUID της διεπαφής, ενώ για την πρώτη περνάμε ως παράμετρο ένα αντικείμενο τύπου WLAN_CONNECTION_PARAMETERS

όπου ορίζονται διάφορα στοιχεία όπως το ssid στο πεδίο pDot11Ssid ή το εάν το δίκτυο βασίζεται σε υποδομή, οπότε θέτουμε την σταθερά dot11_BSS_type_infrastructure στο πεδίο dot11BssType, ή όχι, οπότε θέτουμε τη σταθερά dot11_BSS_type_independent.

6.7.1.2 Πρωτογενής βιβλιοθήκη σειριακής επικοινωνίας για JAVA

Η πρωτογενής (native) βιβλιοθήκη RXTX [57] δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας τόσο μέσω μιας σειριακής θύρας, όσο και μέσω μιας παράλληλης, σε κάθε εφαρμογή που βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την ενσωμάτωση διαφόρων τεχνολογιών, όπως έξυπνες κάρτες, συσκευές POS (Point-Of-Sale), ταμειακές μηχανές, φορολογικούς μηχανισμούς ή, στην περίπτωση της παρούσας διατριβής, ενός εξωτερικού USB μόντεμ της Intel. Η βιβλιοθήκη RXTX παρέχει βασικά τις παρακάτω δυνατότητες:

- Απαρίθμηση των διαθέσιμων θυρών
- Ρύθμιση παραμέτρων θύρας (ρυθμό baud, ταχύτητα επικοινωνίας, bit ισοτιμίας, stop bits)
- Μετάδοση δεδομένων πάνω από θύρες RS-232 (σειριακές)
- Επιλογές για έλεγχο ροής μέσω υλικού και λογισμικού
- Έλεγχο κατωφλιού καταχωρητή λήψης
- Επιλογή για ασύγχρονη ειδοποίηση σε περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σε μια θύρα RS-232, όταν αλλάξει το επίπεδο του ηλεκτρικού σήματος της γραμμής ή όταν αλλάξει η κυριότητα της θύρας

Εξίσου καλά αποτελέσματα και μάλιστα χωρίς ουσιαστικά καμία αλλαγή στον σχετικό κώδικα μπορούν να επιτευχθούν και με το COMM API που διανέμεται επίσημα από την Oracle [58]. Σε αυτή την περίπτωση το μόνο που χρειάζεται είναι η εισαγωγή του πακέτου javax.comm αντί του gnu.io της βιβλιοθήκης RXTX.

6.7.1.3 Προδιαγραφές εντολών AT για την πλατφόρμα Intel XMM σειράς 6

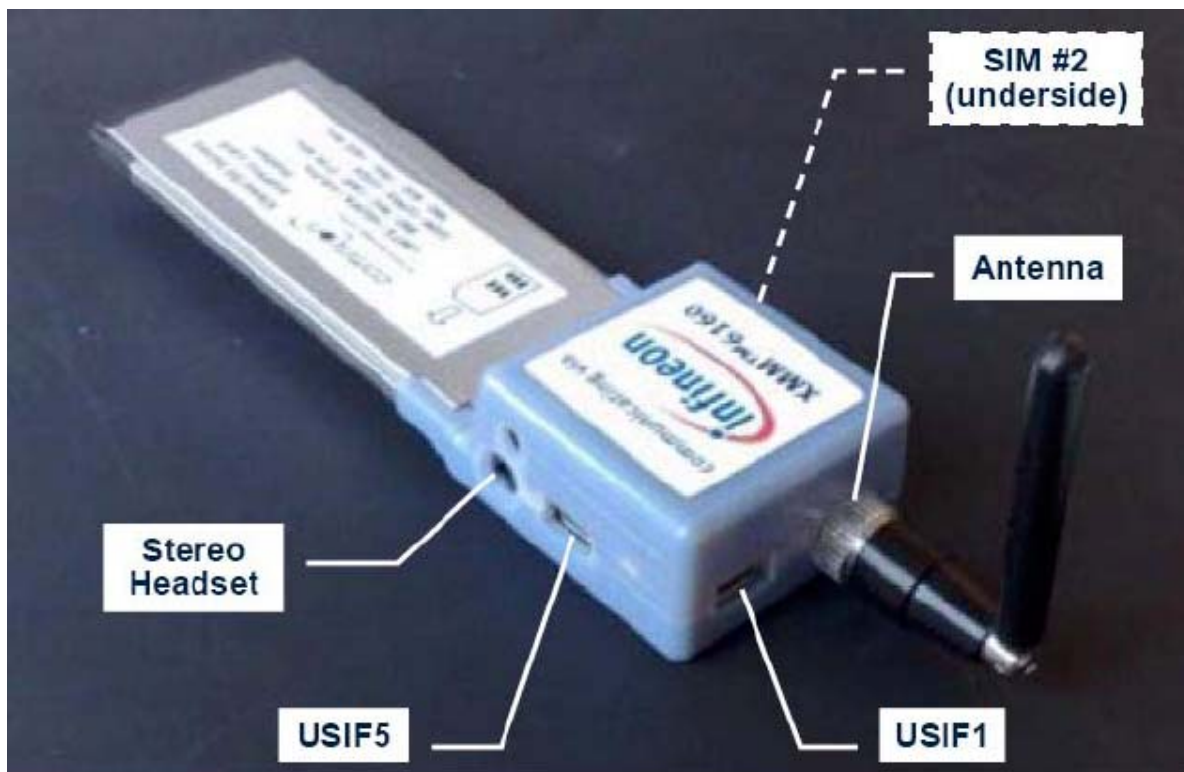
Για τη σύνδεση σε ασύρματα δίκτυα τρίτης γενιάς (UMTS, HSDPA) κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένα εξωτερικό USB μόντεμ XMM 6160, κατασκευασμένο από την Intel Mobile Communications (IMC), την πρώην Infineon Technologies AG (IFX), το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 52. Ο χειρισμός του μόντεμ βασίζεται στην αποστολή, μέσω της αντίστοιχης σειριακής θύρας, εντολών AT σύμφωνα με τις παρεχόμενες προδιαγραφές. Οι περισσότερες εντολές πάντως είναι προτυποποιημένες από τη 3GPP και ισχύουν αυτούσιες για όλα τα 3G μόντεμ, ανεξαρτήτως κατασκευαστή.

Η πρώτη εντολή που δίνεται είναι η +CPIN, αρχικά με ? (AT+CPIN?) για να ελεγχθεί αν απαιτείται ή όχι κωδικός PIN και στη συνέχεια με = εφόσον υπάρχει PIN (AT+CPIN=xxxx όπου xxxx το PIN). Η αυτόματη σύνδεση με το προτιμώμενο δίκτυο γίνεται δίνοντας την εντολή AT+COPS=0 και στη συνέχεια η εγγραφή σ' αυτό με την εντολή AT+CREG=2. Η αρχικοποίηση του μόντεμ ολοκληρώνεται με τις εντολές για την προετοιμασία μιας σύνδεσης δεδομένων και συγκεκριμένα τις AT+CGDCONT=1,"IP","APNname" και AT+CGACT=1,1 όπου APNname είναι το όνομα

του σημείου πρόσβασης όπως το καθορίζει ο πάροχος (π.χ. internet στην περίπτωση της Vodafone Ελλάδος και gint.b-online.gr για την WIND Ελλάδος).

Στη συνέχεια η αλληλεπίδραση με το μόντεμ βασίζεται στις εντολές AT+CREG?, με την οποία επιστρέφονται πληροφορίες σχετικά με την περιοχή και τον σταθμό βάσης στον οποίο έχει συνδεθεί το τερματικό, και AT+CGED=0, η οποία είναι πιθανόν κλειδωμένη στα εμπορικά διαθέσιμα μόντεμ και η οποία επιστρέφει ένα πλήθος στοιχείων για το ασύρματο περιβάλλον, όπως πληροφορίες για τους γειτονικούς σταθμούς βάσης είτε δεύτερης (GSM) είτε τρίτης (UMTS) γενιάς, που περιλαμβάνουν συχνότητες και κωδικούς, την ισχύ λήψης σήματος κ.α.

Η σύνδεση ή αποσύνδεση του μόντεμ στο δίκτυο για τη λήψη υπηρεσιών γίνεται σε συνεργασία με το λειτουργικό σύστημα, ενεργοποιώντας την κατάλληλη σύνδεση dial-up με αριθμό κλήσης *99#, η οποία χρειάζεται να έχει οριστεί εκ των προτέρων. Στην περίπτωση των Windows και εάν για παράδειγμα το όνομα της dial-up σύνδεσης είναι connection3G, η εντολή σύνδεσης είναι rasdial connection3G και η αποσύνδεσης είναι η rasdial /DISCONNECT.



Εικόνα 52: Intel XMM 6160 3G μόντεμ

6.7.1.4 Java Media Framework

Το Java Media Framework API (JMF) [59] δίνει τη δυνατότητα να ενσωματωθούν σε εφαρμογές Java ήχος, βίντεο και άλλα μέσα που βασίζονται στον χρόνο (time-based). Είναι μια προαιρετική επέκταση της πλατφόρμας Java 2 SE, μέσω της οποίας οι προγραμματιστές μπορούν να συλλαμβάνουν, να εκτελούν, να μεταδίδουν δικτυακά ως ροή και να μετασχηματίζουν πολλές μορφές μέσων. Το συγκεκριμένο API χρησιμοποιήθηκε για την

ανάπτυξη ενός εξυπηρετητή που περιέχει αποσπάσματα βίντεο (video clips) από γνωστά τραγούδια και ο οποίος είναι σε θέση να δέχεται αιτήματα και να αποστέλλει ανεξάρτητα τις ροές εικόνας και ήχου, ακόμα και σε διαφορετικές διευθύνσεις IP και πόρτες. Ο αντίστοιχος πελάτης βασίζεται βέβαια και αυτός στο JMF και είναι ενσωματωμένος στην εφαρμογή διαχείρισης του τερματικού. Η λήψη ροών πολυμέσων αποτελεί μια αντιπροσωπευτική υπηρεσία, που όπως φαίνεται και από την ενότητα 6.8, εξυπηρετεί άριστα την ανάγκη για επιβεβαίωση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου επιλογής διεπαφής που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό.

6.7.2 Αρχιτεκτονική δομή του λογισμικού

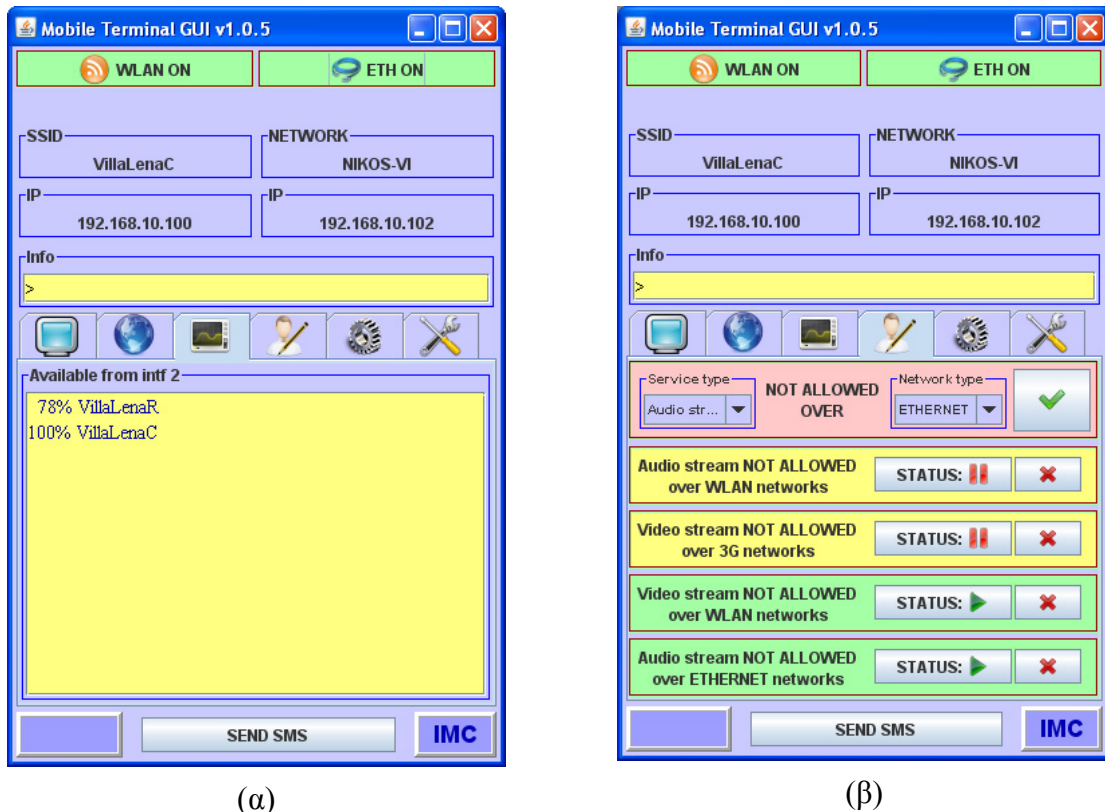
Η εφαρμογή για την επιλογή της βέλτιστης διεπαφής για την λήψη μιας υπηρεσίας αποτελείται από τρία βασικά λογικά μέρη. Τον υψηλό επιβλέποντα ελεγκτή (overarching controller), τον διαχειριστή επιλογής (selection manager) και τον πελάτη υπηρεσιών (service client). Επίσης διαθέτει και μια γραφική διεπαφή χρήστη (Graphical User Interface, GUI).

Ο υψηλός επιβλέπωντας ελεγκτής είναι ένα κεντρικό σημείο επικοινωνίας της εφαρμογής με όλες τις διεπαφές του τερματικού. Υπό τον άμεσο έλεγχο του βρίσκεται κάθε ένας από τους ειδικούς ελεγκτές διεπαφής (interface controllers), οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με την τεχνολογία της διεπαφής την οποία ελέγχουν. Για παράδειγμα ένας ελεγκτής ασύρματης κάρτας WLAN για λειτουργικό Windows, χρησιμοποιεί το Native WiFi API όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 6.7.1.1 για να διαχειρίζεται παραμέτρους όπως το SSID, τη συχνότητα λειτουργίας, το προφίλ σύνδεσης κτλ. Αντίστοιχα αναπτύχθηκαν ελεγκτές για κάρτες Ethernet αλλά και για 3G modems. Σε κάθε περίπτωση πάντως υπάρχουν βασικά στοιχεία τα οποία είναι κοινά, όπως το όνομα, η φυσική διεύθυνση, η διεύθυνση IP, η αντίστοιχη μετρική απόσταση στον πίνακα δρομολόγησης κ.α. όπως κοινές είναι και πολλές λειτουργίες όπως η αρχικοποίηση, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση, η εκτίμηση της ταχύτητας σύνδεσης με κάποιο άλλο δίκτυο κ.α. Βέβαια η εσωτερική υλοποίηση αυτών των λειτουργιών μπορεί να διαφέρει ανά τεχνολογία ή και κατασκευαστή.

Ο διαχειριστή επιλογής είναι η οντότητα στην οποία βρίσκεται ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής. Αλληλεπιδρά τόσο με τον υψηλό επιβλέποντα ελεγκτή όσο και με τη γραφική διεπαφή χρήστη. Ενημερώνεται για κάθε αλλαγή στο πλαίσιο λειτουργίας του τερματικού, είτε αυτή προέρχεται από το δικτυακό περιβάλλον, όπως π.χ. στην περίπτωση εμφάνισης ενός προτιμώμενου δικτύου, είτε από τον χρήστη, όπως π.χ. κατά την αλλαγή της προτίμησης σε μια τεχνολογία. Ανάλογα με το είδος και τον χρόνο της αλλαγής καθώς και των ρυθμίσεων του τερματικού, ο διαχειριστής επιλογής μπορεί να συγκεντρώσει τα απαραίτητα δεδομένα και να τα τροφοδοτήσει στον αλγόριθμο έτσι ώστε να επικαιροποιηθεί η ανάθεση των λαμβανόμενων υπηρεσιών στις διαθέσιμες διεπαφές.

Η γραφική διεπαφή χρήστη χρησιμεύει για την απεικόνιση της κατάστασης του ασύρματου δικτυακού περιβάλλοντος, την εύκολη αλλαγή των ρυθμίσεων, των προτιμήσεων και των πολιτικών χρήστη, αλλά και ως αναπόσπαστο κομμάτι του πελάτη

υπηρεσιών, για τον έλεγχο της προβολής μιας ροής βίντεο ή της αναπαραγωγής μιας ροής ήχου κ.α. Στην Εικόνα 53 φαίνονται δύο χαρακτηριστικά στιγμιότυπα.



Εικόνα 53: Στιγμιότυπα της οθόνης διαχείρισης τερματικού

6.7.3 Δυνατότητες ρυθμίσεων και παραμετροποίησης

Η εφαρμογή διαχείρισης που αναπτύχθηκε υποστηρίζει διάφορους βασικούς τρόπους λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, μια βασική ρύθμιση είναι το αν επιτρέπεται ή όχι η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών διεπαφών, ενώ μια δεύτερη είναι το αν επιδιώκεται ή όχι η δημιουργία ευκαιριακών δικτύων ή η συμμετοχή σε αυτά. Παράλληλα ο χρήστης μπορεί να απαγορεύσει τη χρήση κάποιων τεχνολογιών για κάποιες υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα την λήψη ροών βίντεο μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας 3G ή να δηλώσει την προτίμησή του π.χ. σε θέματα ποιότητας ή οικονομίας, ανάλογα με τον χώρο στον οποίο βρίσκεται, την χρονική περίοδο της ημέρας κ.α. Η διαχείριση όλων των παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της γραφικής διεπαφής χρήστη.

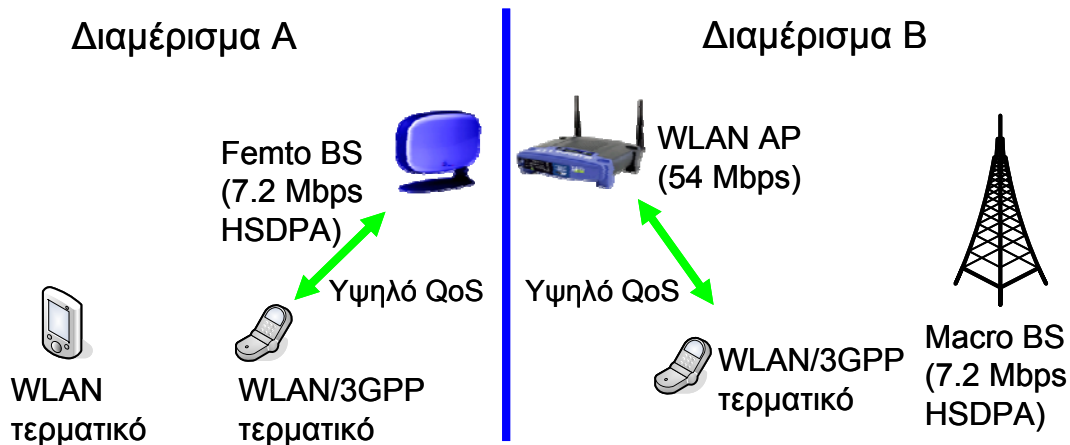
6.8 Σενάριο χρήσης του αλγορίθμου και αποτελέσματα

Η απόδειξη της ικανότητας του προτεινόμενου αλγορίθμου να επιλέγει την καταλληλότερη διεπαφή σε κάθε περίπτωση, προσαρμοζόμενος στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του ασύρματου δικτυακού περιβάλλοντος, έγινε με την επιτυχή δοκιμή του σύμφωνα με το σενάριο χρήσης που περιγράφεται ακολούθως.

6.8.1 Περιγραφή σεναρίου χρήσης

6.8.1.1 Φάση 1: αρχική κατάσταση

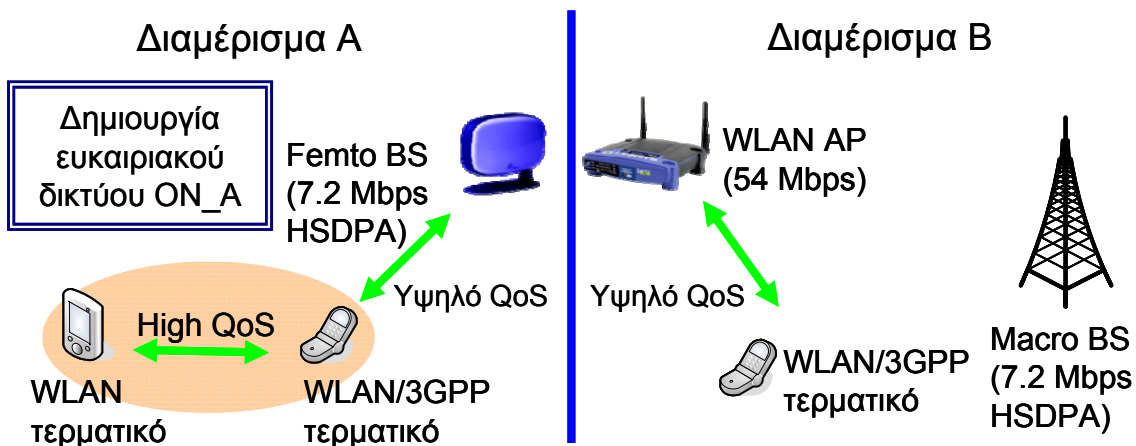
Υποθέτουμε ότι σε δύο γειτονικά διαμερίσματα Α και Β μιας πολυκατοικίας υπάρχουν 3 χρήστες. Δύο βρίσκονται στο διαμέρισμα Α, από τους οποίους ο πρώτος έχει τερματικό που μπορεί να συνδέεται σε δίκτυα WLAN και 3G, ενώ ο δεύτερος τερματικό που επικοινωνεί μόνο μέσω δικτύου WLAN. Στο διαμέρισμα Α το μόνο διαθέσιμο ασύρματο δίκτυο είναι από ένα εγκατεστημένο Femtocell (Home NodeB, HNB) [60][61], το οποίο έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση οποιουδήποτε συνδρομητή σε αυτό (Open Subscriber Group mode). Από την άλλη στο διαμέρισμα Β υπάρχει ένας χρήστης τερματικού με δυνατότητα σύνδεσης τόσο σε δίκτυα WLAN όσο και σε δίκτυα 3G. Λαμβάνει δε τις υπηρεσίες που θέλει μέσω ενός σημείου πρόσβασης στο ασύρματο τοπικό δίκτυο το οποίο έχει εγκαταστήσει (WLAN AP). Στην Εικόνα 54 φαίνεται σχηματικά η αρχική αυτή κατάσταση. Να σημειωθεί ότι σε όλα τα τερματικά εκτελείται η εφαρμογή διαχείρισης που περιγράφηκε αναλυτικά στις προηγούμενες υποενότητες.



Εικόνα 54: Σχηματική απεικόνιση της αρχικής φάσης του σεναρίου

6.8.1.2 Φάση 2: δημιουργία ευκαιριακού δικτύου ON_A

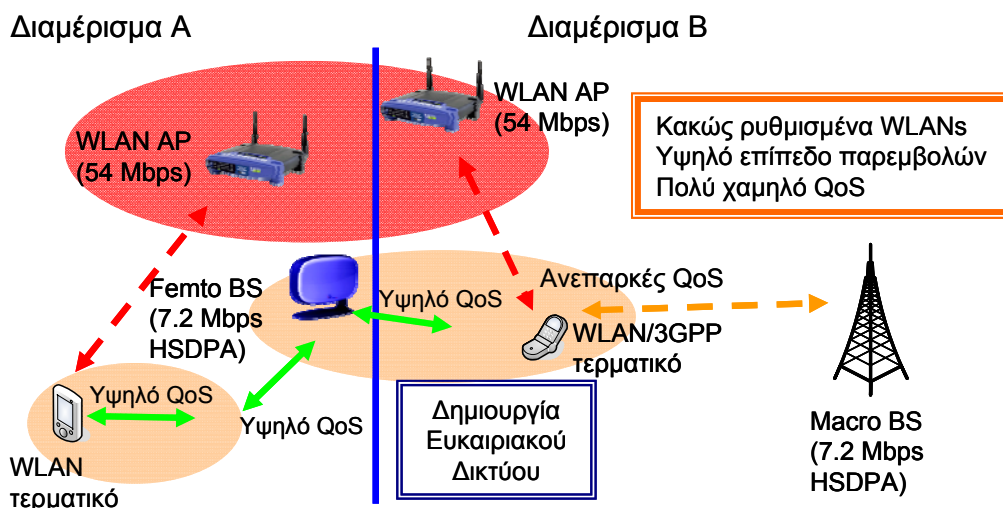
Καθώς στο διαμέρισμα Α δεν υπάρχει εγκατεστημένο WLAN AP, ο χρήστης του δεύτερου τερματικού έχει μείνει χωρίς σύνδεση στο Ίντερνετ. Τη λύση δίνει αυτόματα το τερματικό του πρώτου χρήστη, το οποίο έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να επιδιώκει τη δημιουργία ευκαιριακών δικτύων. Επειδή λοιπόν έχει συνδεθεί στο δίκτυο 3G μέσω του Femtocell ενώ διαθέτει και κάρτα WiFi την οποία δεν χρησιμοποιεί, δημιουργεί ένα ομότιμο δίκτυο WLAN και διαμορφώνει έτσι τις IP διευθύνσεις των προσαρμογέων ώστε να γίνεται η δρομολόγηση της κίνησης από την μια διεπαφή στην άλλη και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το τερματικό του δεύτερου χρήστη αναγνωρίζει ότι το σχετικό ssid είναι από κάποιο διαθέσιμο ευκαιριακό δίκτυο και συνδέεται σ' αυτό, αποκτώντας τελικά την πρόσβαση στο Ίντερνετ που χρειαζόταν. Τα παραπάνω απεικονίζονται στην Εικόνα 55.



Εικόνα 55: Δημιουργία ευκαιριακού δικτύου ON_A

6.8.1.3 Φάση 3: εγκατάσταση WLAN AP στο διαμέρισμα A

Ο ιδιοκτήτης του διαμερίσματος A αποφασίζει να αυξήσει τις δυνατότητες δικτύωσης στο διαμέρισμά του και έτσι εγκαθιστά ένα WLAN AP. Δεν γνωρίζει όμως πώς να ρυθμίσει σωστά τις παραμέτρους λειτουργίας του με συνέπεια να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα παρεμβολών στα ασύρματα τοπικά δίκτυα και των δύο διαμερισμάτων, υποβαθμίζοντας την ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνονται μέσω αυτών. Έτσι στο διαμέρισμα A ο δεύτερος χρήστης συνεχίζει να χρησιμοποιεί το ευκαιριακό ομότιμο δίκτυο με το τερματικό του πρώτου χρήστη. Στο δε διαμέρισμα B, το τερματικό προκειμένου να διατηρήσει την απαιτούμενη υψηλή ποιότητα υπηρεσίας συνδέεται στο γειτονικό Femtocell, δημιουργώντας ένα επίσης ευκαιριακό δίκτυο, με τη συμμετοχή και ενός στοιχείου υποδομής αυτή τη φορά, δηλαδή του Femtocell, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 56.

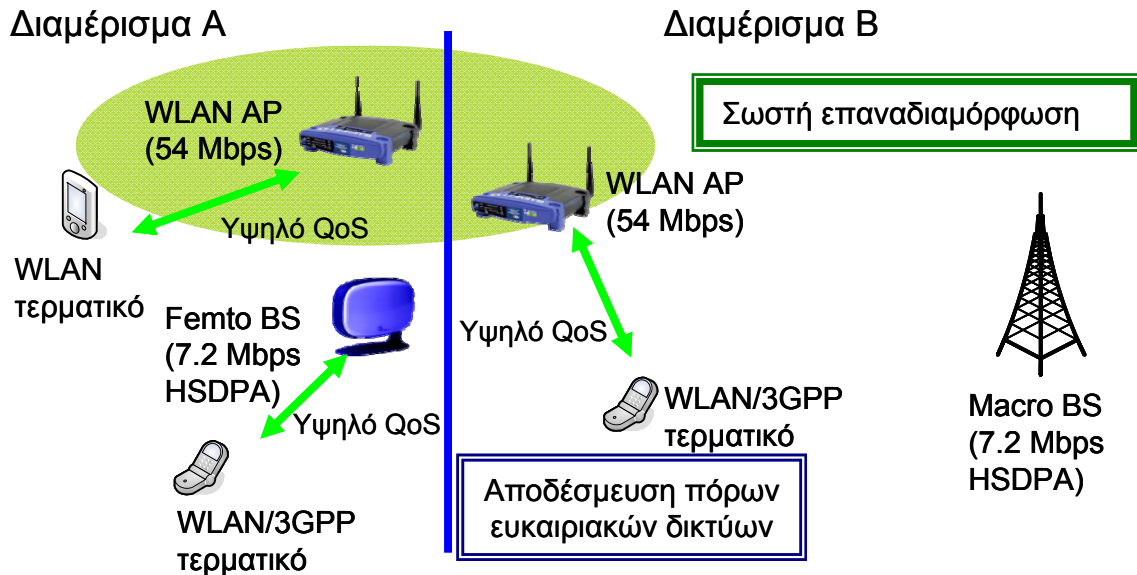


Εικόνα 56: Εγκατάσταση νέου WLAN AP στο διαμέρισμα

6.8.1.4 Φάση 4: σωστή επαναδιαμόρφωση των παραμέτρων του νέου WLAN AP

Τελικά γίνεται σωστή επαναδιαμόρφωση των ρυθμίσεων των δύο WLAN APs και έτσι λύνονται τα προβλήματα παρεμβολών και ποιότητας υπηρεσίας για όλα τα δίκτυα και τους

χρήστες. Πλέον το κάθε τερματικό συνδέεται ελεύθερα στο καταλληλότερο δίκτυο, ενώ τα ευκαιριακά δίκτυα που είχαν δημιουργηθεί καταργούνται και οι αντίστοιχοι πόροι αποδεσμεύονται. Η κατάσταση στα δύο διαμερίσματα κατά την φάση 4 αποδίδεται σχηματικά στην Εικόνα 57.



Εικόνα 57: Σωστή επαναδιαμόρφωση των παραμέτρων του WLAN AP

6.8.1.5 Φάση 5: ταυτόχρονη σύνδεση σε πολλαπλά δίκτυα και λήψη υπηρεσιών

Κατόπιν υποθέτουμε ότι ο χρήστης στο διαμέρισμα B αρχίζει να κινείται μέσα σε αυτό, ακούγοντας στο τερματικό του ένα τραγούδι και βλέποντας το αντίστοιχο βίντεο κλιπ. Υποθέτουμε επίσης ότι το διαμέρισμα εκτείνεται σε 2 ορόφους κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει καλή κάλυψη από το ένα και μόνο WLAN AP σε όλους τους χώρους του. Γι' αυτό το λόγο το τερματικό, έχοντας ενεργοποιημένη τη ρύθμιση που επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών διεπαφών, επιλέγει να λαμβάνει τη ροή του ήχου από το δίκτυο 3G και τη ροή του βίντεο από το ασύρματο τοπικό δίκτυο όποτε και όπου αυτό είναι διαθέσιμο. Χωρίς αυτή την επιλογή, το τερματικό συνδέεται κατά προτίμηση στο WLAN ώστε να λαμβάνει και τις δύο ροές πολυμέσων, ενώ διαφορετικά λαμβάνει μόνο τη ροή ήχου από το δίκτυο 3G, καθώς για τη ροή βίντεο το κόστος είναι μεγάλο, η ποιότητα δεν είναι αρκετά καλή και έτσι ο χρήστης δεν το επιθυμεί.

6.8.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα

Για την πειραματική υλοποίηση όλων των φάσεων του παραπάνω σεναρίου χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός που αναφέρεται στη συνέχεια:

- 1 Femtocell Huawei UAP2105 συνδεδεμένο σε πειραματικό δίκτυο της Huawei στην Κίνα
- 2 κάρτες SIM για σύνδεση στο πειραματικό δίκτυο της Huawei
- 1 κάρτα SIM για σύνδεση στο εμπορικό δίκτυο της T-Mobile στην Γερμανία
- 2 3G μόντεμ Intel XMM 6160 με σύνδεση USB

- 2 WLAN APs NetGear WG604 54Mbps
- 1 switch NetGear FS605
- 3 laptops με Windows XP SP3 και ενσωματωμένες κάρτες Ethernet και WiFi στα οποία εκτελείται η εφαρμογή επιλογής διεπαφής

6.8.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Οι πρώτες τέσσερις φάσεις του σεναρίου που περιγράφηκε δοκιμάζουν την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου καθώς το δικτυακό περιβάλλον εξελίσσεται. Σε όλες τις περιπτώσεις η διαδικασία επιλογής κατάφερε να ενεργοποιήσει και να χρησιμοποιήσει τις πλέον κατάλληλες διεπαφές, φροντίζοντας και για όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις των παραμέτρων λειτουργίας τους.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην φάση 2 του σεναρίου η αναγνώριση του ευκαιριακού δικτύου και η σύνδεση σε αυτό έγινε με βάση προκαθορισμένες ρυθμίσεις που υπήρχαν αποθηκευμένες στην εφαρμογή διαχείρισης, ενώ σε επόμενο στάδιο της υλοποίησης οι διαδικασίες αυτές θα βασίζονται σε ένα κατάλληλο κανάλι ελέγχου, μέσω του οποίου θα διακινούνται οι απαραίτητες πληροφορίες [62][63].

Στην πέμπτη φάση η μεταβολή στις συνθήκες έρχεται από την κινητικότητα του χρήστη, η οποία σε συνδυασμό με τις προτιμήσεις του παίζει καθοριστικό ρόλο στις αποφάσεις του αλγορίθμου. Η δε υλοποίηση αυτών των αποφάσεων ως προς το κομμάτι της λήψης της υπηρεσίας πολυμέσων (τραγούδι και βίντεο κλιπ) γίνεται στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πολλαπλές διεπαφές μέσω του πελάτη και του εξυπηρετητή που αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό, ειδάλλως με την ανάλογη διαφοροποίηση της μετρικής απόστασης στον πίνακα δρομολόγησης του τερματικού, κάτι που επηρεάζει τη δρομολόγηση όλων των υπηρεσιών του τερματικού σε πραγματικό χρόνο.

6.9 Πειραματική μέτρηση της εξοικονόμησης ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί

Μια σημαντική παράμετρος για την επιλογή της βέλτιστης διεπαφής, είναι στις περισσότερες περιπτώσεις και η κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα στις μέρες μας που οι σχετικές προσπάθειες για μείωση της κατανάλωσης έχουν ενταθεί σε κάθε τομέα της τεχνολογίας και όχι μόνο στο χώρο των τηλεπικοινωνιών. Έτσι, στα πλαίσια της διατριβής αυτής και με τη βοήθεια και του λογισμικού που περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες, πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραματικών μετρήσεων της κατανάλωσης ενέργειας ενός τερματικού σε διάφορες περιπτώσεις λειτουργίας. Ο στόχος των μετρήσεων αυτών είναι να δοθεί μια πρώτη ποσοτική ένδειξη για τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση του αλγορίθμου και την επιλογή της καταλληλότερης διεπαφής για τη λήψη μιας υπηρεσίας.

6.9.1 Περιγραφή σεναρίων χρήσης

Η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των σεναρίων χρήσης που επιλέχθηκαν για την διεξαγωγή των μετρήσεων βρίσκεται στην τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης που χρησιμοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, όπως και στο σενάριο της υποενότητας 6.8, έγινε αναπαραγωγή στο τερματικό ενός βίντεο κλιπ ως εξής:

- i. ανάγνωση τοπικά από αρχείο με όλες τις δικτυακές διεπαφές απενεργοποιημένες
- ii. λήψη από τον εξυπηρετητή μέσω τοπικού δικτύου Ethernet IEEE 802.3
- iii. λήψη από τον εξυπηρετητή μέσω τοπικού δικτύου WLAN IEEE 802.11g
- iv. λήψη από τον εξυπηρετητή με χρήση δύο δικτυακών διεπαφών ταυτόχρονα, Ethernet για το βίντεο και WLAN για τον ήχο
- v. λήψη από τον εξυπηρετητή μέσω του εμπορικού δικτύου 3G της Vodafone Ελλάδας

Στις περιπτώσεις ii έως v ήταν ενεργοποιημένες μόνο οι δικτυακές διεπαφές που ήταν απαραίτητες για τη λήψη της υπηρεσίας. Ο εξυπηρετητής πολυμέσων είχε εγκατασταθεί σε μηχανήμα με δημόσια διεύθυνση IP ώστε να είναι προσβάσιμος από οπουδήποτε στο διαδίκτυο. Περισσότερες πληροφορίες για το υλικό που χρησιμοποιήθηκε παρέχονται στη συνέχεια.

6.9.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα

Το τερματικό στο οποίο εγκαταστάθηκε και εκτελέστηκε το λογισμικό που παρουσιάστηκε στην ενότητα 6.7 ήταν ένας φορητός υπολογιστής SONY VAIO VGN-FS315B, με επεξεργαστή Intel Pentium M 740 1,73GHz, μνήμη DDR2 400 SDRAM 512 MB, ενσύρματο δίκτυο Ethernet (1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T), ενσωματωμένη ασύρματη κάρτα δικτύου IEEE 802.11 b/g και λειτουργικό Windows XP SP3. Επιπλέον, με τη χρήση ενός προσαρμογέα PCMCIA / PCI Express, συνδέθηκε στον υπολογιστή και ένα 3G μόντεμ XMM 6160 της Intel το οποίο φαίνεται και στην Εικόνα 52, ενώ εναλλακτικά χρησιμοποιήθηκε και ένα 3G μόντεμ Huawei E1550 με σύνδεση USB. Για τη σύνδεση στο δίκτυο 3G χρησιμοποιήθηκε μια κάρτα SIM της Vodafone Ελλάδας με συνδρομή για την υπηρεσία δεδομένων.

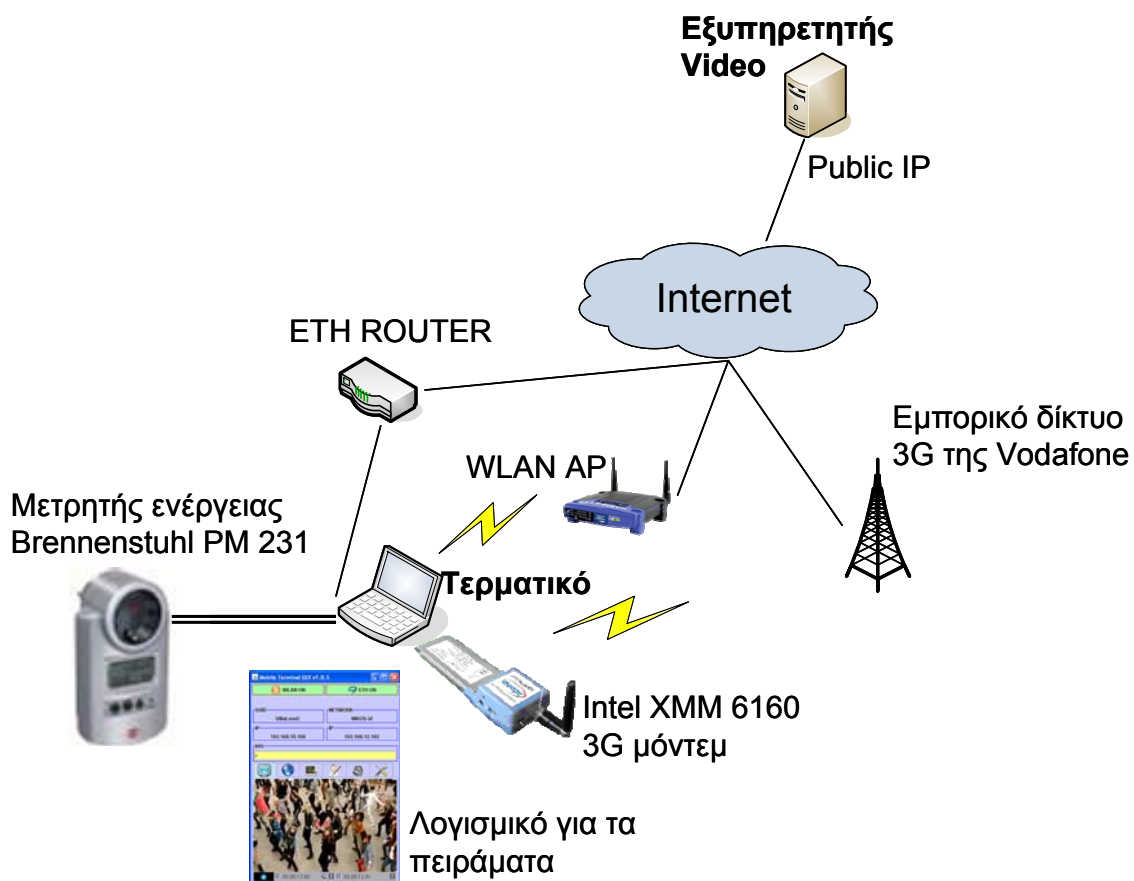
Για την μέτρηση της κατανάλωσης ενέργειας αξιοποιήθηκε ο μετρητής Brennenstuhl PM 231 του οποίου οι τεχνικές προδιαγραφές αναφέρονται ακολούθως:

Product	Power Meter PM 231
Type of protection	IP20
Nominal voltage	230 V ~ 50 Hz
Max. load	3600W (230V~16A)
Measuring range voltage	190 - 276 V AC
Measuring accuracy voltage	+/-1%
Measured range current	0.01 - 16 A
Measuring accuracy current	+/-1% or +/-0.01 A
Measuring range power	0.2 - 3600 W
Measuring accuracy power	+/-1% or +/-0.2 W
Power consumption range	0 - 9999.9 kWh

Measuring range frequency	45 - 65 Hz
Clock accuracy	+/- 1 min per month
Power consumption	< 0.5 W
Operating temperature	-10 °C to +40 °C



Η διασύνδεση των συσκευών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είχε γίνει με τον τρόπο που φαίνεται στην Εικόνα 58.

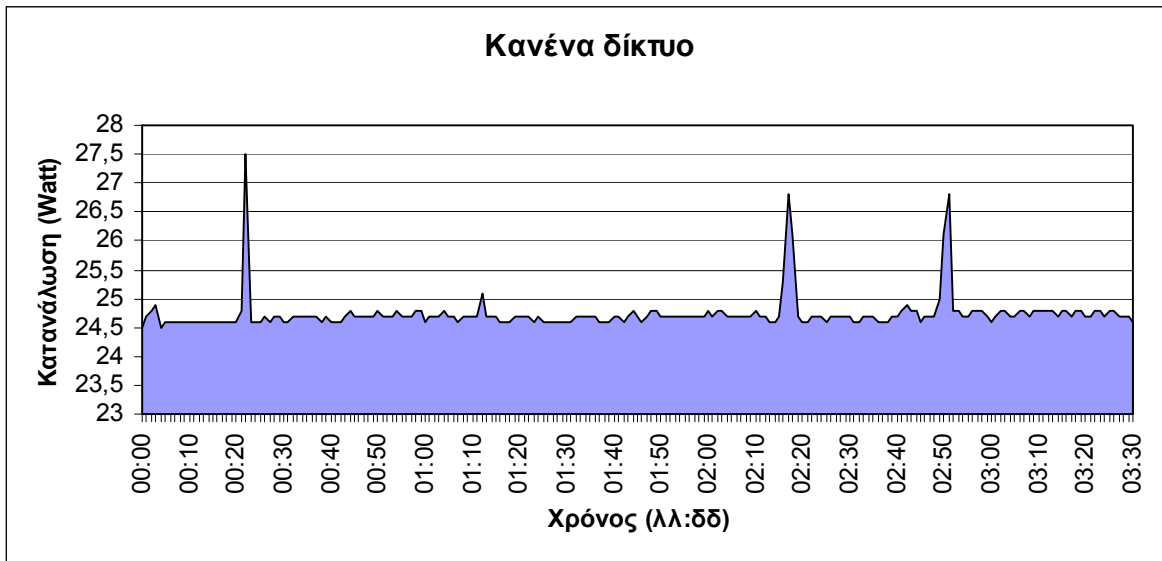


Εικόνα 58: Σχηματική απεικόνιση της διασύνδεσης των συσκευών για τη διεξαγωγή των μετρήσεων

6.9.3 Αποτελέσματα των μετρήσεων

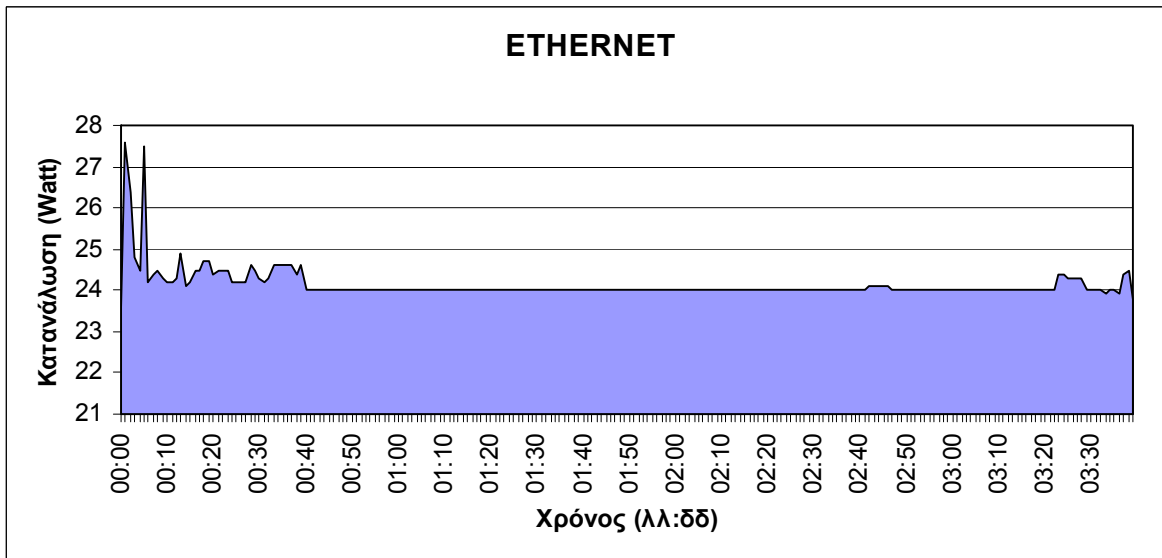
Στα παρακάτω διαγράμματα καταγράφονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας για κάθε μια από τις πέντε περιπτώσεις που αναφέρονται στην υποενότητα 6.9.1. Ως κατανάλωση αναφοράς χρησιμοποιείται η πρώτη, στην οποία δεν υπάρχει καμία δικτυακή επαφή ενεργή.

6.9.3.1 Περίπτωση αναπαραγωγής τοπικά χωρίς χρήση δικτύου



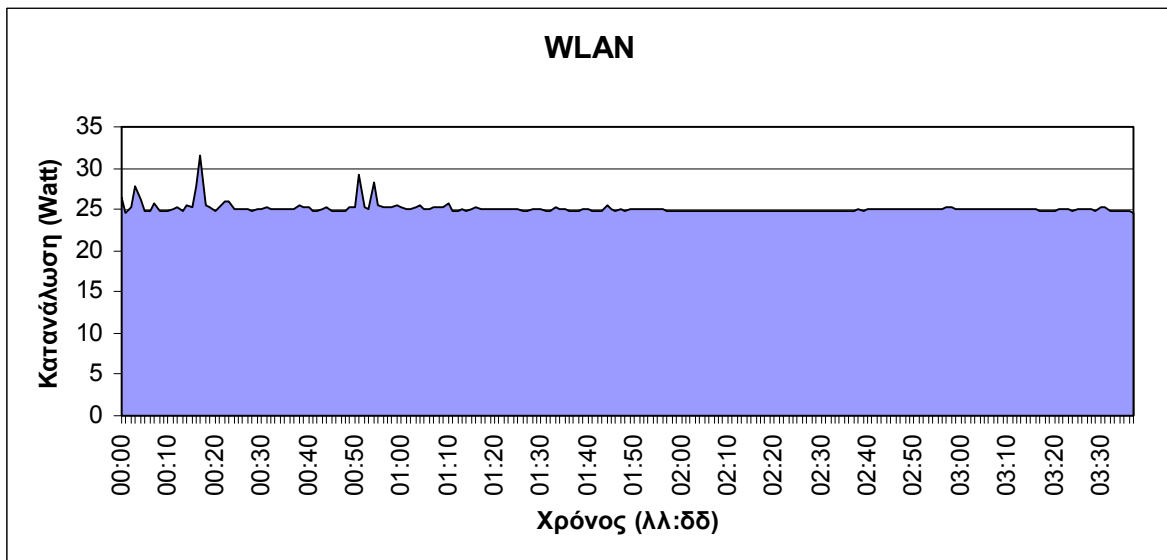
Εικόνα 59: Κατανάλωση στην περίπτωση i) τοπική αναπαραγωγή

6.9.3.2 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο Ethernet



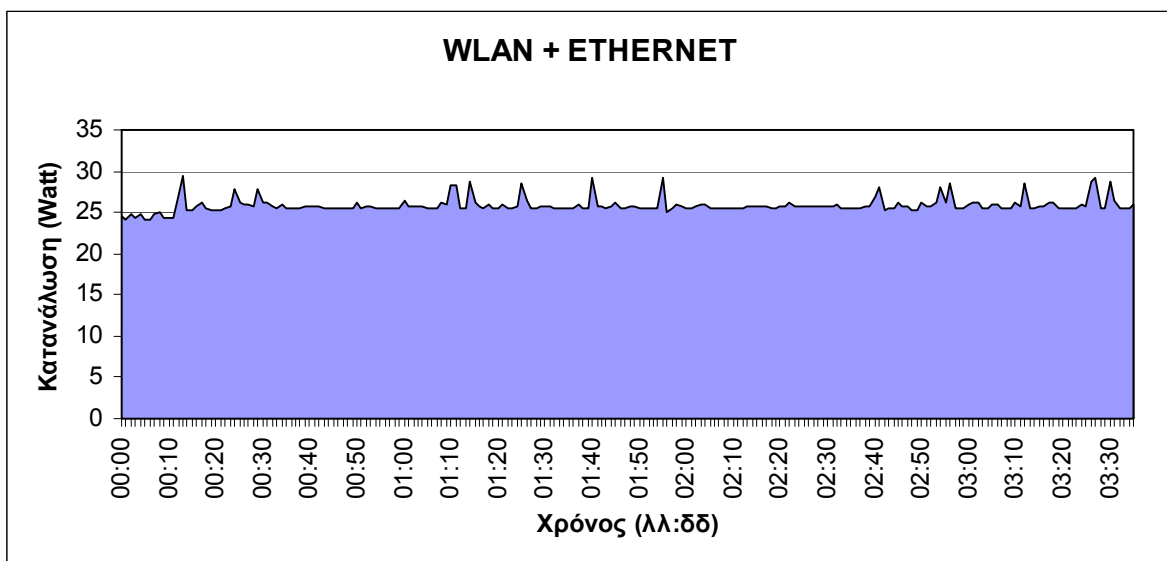
Εικόνα 60: Κατανάλωση στην περίπτωση ii) χρήση δικτύου Ethernet

6.9.3.3 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο WLAN



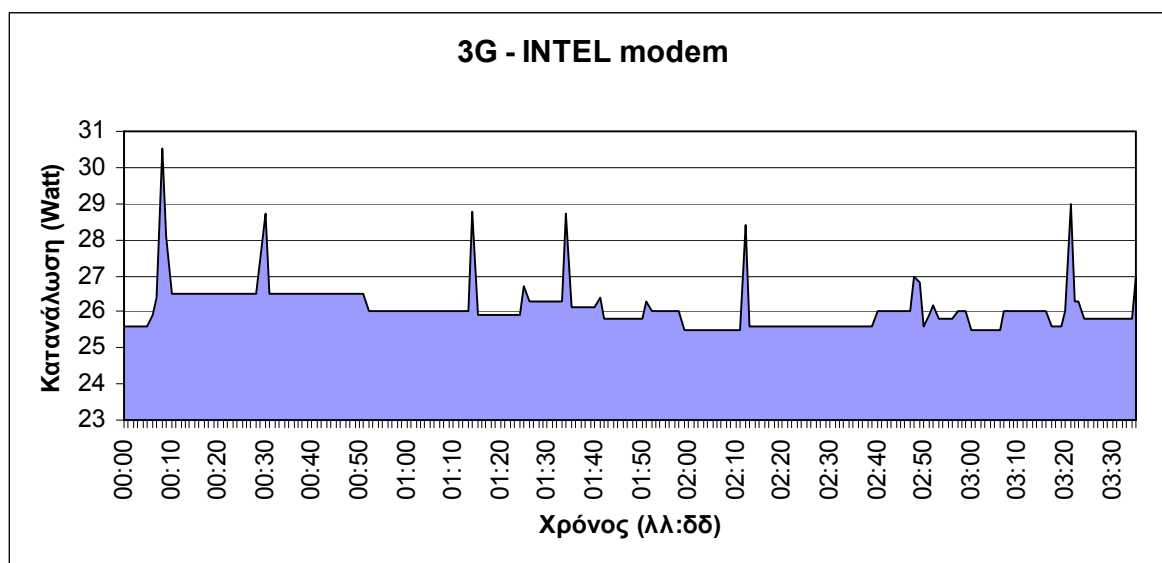
Εικόνα 61: Κατανάλωση στην περίπτωση iii) χρήση δικτύου WLAN

6.9.3.4 Περίπτωση χρήσης δύο διεπαφών ταυτόχρονα, Ethernet και WLAN

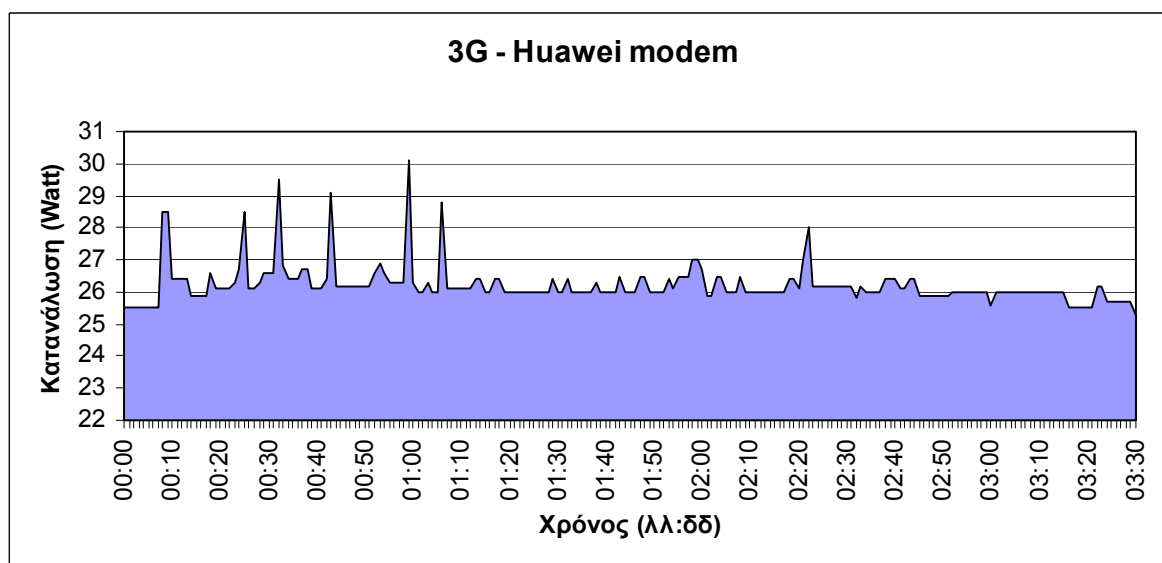


Εικόνα 62: Κατανάλωση στην περίπτωση iv) ταυτόχρονη χρήση δικτύων WLAN και Ethernet

6.9.3.5 Περίπτωση χρήσης διεπαφής για σύνδεση σε δίκτυο 3G

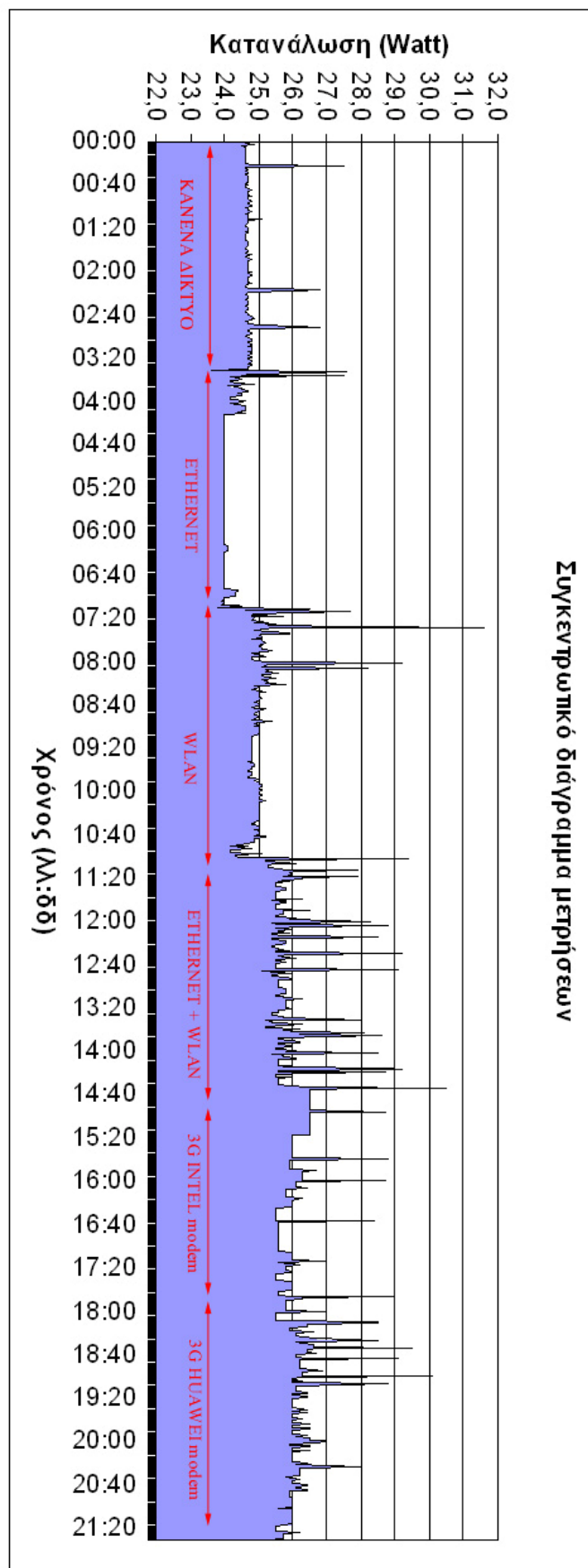


Εικόνα 63: Κατανάλωση στην περίπτωση ν) χρήση δικτύου 3G και μόντεμ της Intel

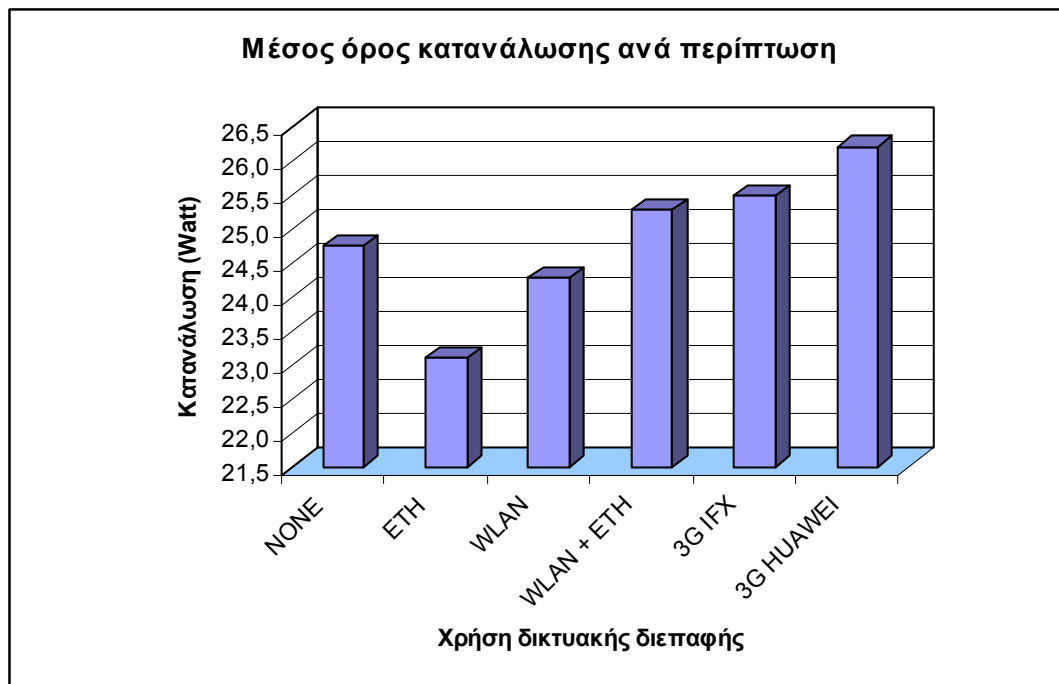


Εικόνα 64: Κατανάλωση στην περίπτωση ν) χρήση δικτύου 3G και μόντεμ της Huawei

6.9.3.6 Συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των περιπτώσεων και μέσοι όροι



Εικόνα 65: Συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των περιπτώσεων



Εικόνα 66: Μέσος όρος κατανάλωσης ανά περίπτωση χρήσης δικτυακής διεπαφής

6.9.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Αυτό που πρέπει να αναφερθεί κατ' αρχήν είναι το προφανές γεγονός ότι η χρήση οποιασδήποτε δικτυακής διεπαφής αυξάνει την συνολική κατανάλωση της συσκευής και κατά συνέπεια μια καλή λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι η απενεργοποίηση των διεπαφών που δεν είναι απαραίτητες σε κάποιο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά στις επί μέρους μετρήσεις, παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχουν ξαφνικές αυξομειώσεις της κατανάλωσης που πιθανότατα οφείλονται σε διάφορες άλλες λειτουργίες του υπολογιστή οι οποίες εκτελούνται περιοδικά. Η επίδρασή τους όμως στα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν είναι ουσιαστική. Επίσης φαίνεται ότι η τοπική αναπαραγωγή του αρχείου, για την οποία δεν χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό λογισμικό αλλά ο Windows Media Player της Microsoft, αύξησε την κατανάλωση ενέργειας περισσότερο απ' ό τι στις περιπτώσεις χρήσης δικτύου Ethernet ή WLAN, πιθανόν διότι ο συγκεκριμένος player εκτελεί και διάφορες ακόμα λειτουργίες στον υπολογιστή αλλά και διότι η ποιότητα της εικόνας ήταν πολύ καλύτερη σε σχέση με την ροή του βίντεο που ερχόταν μέσω κάποιου δικτύου, αυξάνοντας τη χρήση της κάρτας γραφικών και της οθόνης.

Συγκριτικά μεταξύ των δικτυακών τεχνολογιών που εξετάστηκαν, προκύπτει ότι οι διαφορές στην κατανάλωση ενέργειας είναι μεν μικρές αλλά υπαρκτές. Η χρήση ασύρματων δικτύων είναι πιο ενεργοβόρα, ενώ φαίνεται ότι η σύνδεση σε δίκτυο 3G αυξάνει την κατανάλωση σε σχέση με το δίκτυο WLAN. Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι η κάρτα WLAN ήταν ενσωματωμένη στον υπολογιστή, ενώ τα 3G modems συνδέθηκαν σε εξωτερικές θύρες, κάτι που επιβαρύνει την κατανάλωση. Επιπλέον θα πρέπει να συνηπολογιστεί και το ότι η κεραία του WLAN ήταν σε απόσταση μερικών μέτρων μόνο

κάτι που δεν ίσχυε για τον σταθμό βάσης του δικτύου 3G, ελαχιστοποιώντας στην περίπτωση αυτή τις ενεργειακές απαιτήσεις για την εκπομπή δεδομένων.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί και η σημασία του υλικού στα θέματα της κατανάλωσης, καθώς όπως φαίνεται από τις δύο ομάδες μετρήσεων της περίπτωσης ν (σύνδεση σε δίκτυο 3G), το μόντεμ της Intel έχει καλύτερες ενεργειακές επιδόσεις, χωρίς να υπάρχει κάποια εμφανής διαφοροποίηση στην ποιότητα της λαμβανόμενης υπηρεσίας.

Ανακεφαλαιώνοντας, με βάση τα παραπάνω σχόλια και αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η δυνατότητα επιλογής διεπαφής όταν ένα τερματικό λειτουργεί σε ετερογενή δικτυακά περιβάλλοντα όπως συμβαίνει στις μέρες μας, μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη, τόσο σε θέματα ποιότητας, όσο και σε θέματα ενεργειακής κατανάλωσης, επιτρέποντας τη βελτίωση της συνολικής εμπειρίας του χρήστη, κάτι που επιζητά και αυτός αλλά και ο εκάστοτε πάροχος.

Παραπομπές

- [56] <http://msdn.microsoft.com>
- [57] <http://rxtx.qbang.org>
- [58] <http://www.oracle.com/technetwork/java/index-jsp-141752.html>
- [59] <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-140239.html>
- [60] 3GPP TR 25.820 3G Home Node B (HNB) study item Technical Report
- [61] 3GPP TS 22.220 Service requirements for Home Node B (HNB) and Home eNode B (HeNB)
- [62] Jens Gebert et al, “Cognitive Control Channels for the cooperation of opportunistic and composite wireless networks”, 19th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2011), Barcelona, Spain, August 29-September 2, 2011
- [63] V. Stavroulaki et al, “Cognitive control channels: from concept to identification of implementation options”, IEEE Communications Magazine, vol. 50 issue 7, July 2012

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και

ανακεφαλαίωση

7.1 Συνεισφορά της διατριβής

Στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές που διέπουν την αρχιτεκτονική και την λειτουργία ενός γνωσιακού συστήματος διαχείρισης ετερογενών ασύρματων δικτύων και ευφών τερματικών που υποστηρίζουν πολλαπλές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης. Τόσο στην πλευρά του δικτύου, όσο σε αυτή του τερματικού, σημαντικό ρόλο παίζει η δυνατότητα δυναμικής ενσωμάτωσης και ενοποιημένης υποστήριξης διαφορετικών αυτόνομων λειτουργιών λήψης αποφάσεων. Για το σκοπό αυτό, το σύστημα διαχείρισης αναλαμβάνει όταν απαιτείται, όπως στην περίπτωση που εισάγονται νέες λειτουργίες, την εκτέλεση των απαραίτητων διαδικασιών ανακάλυψης και αλληλεπίδρασης με άλλες υπάρχουσες λειτουργίες. Πιο αναλυτικά, η διδακτορική αυτή διατριβή πραγματεύτηκε τα παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν συστήματα διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών που έχουν προταθεί από άλλους ερευνητές, εντοπίστηκαν τα πλεονεκτήματα αλλά και οι περιορισμοί που το καθένα επιβάλλει, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην εξέταση συστημάτων που επίσης ενσωματώνουν γνωσιακές λειτουργίες διαχείρισης. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι απαιτήσεις από κάθε πλευρά (π.χ. πάροχου, χρηστών, συστήματος), όπως και τα προβλήματα προς επίλυση, ενώ τέλος παρουσιάστηκαν οι στόχοι και η δομή της διατριβής και τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο προτάθηκε ένα αρχιτεκτονικό πλαίσιο το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τη γνωσιακή διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών. Περιγράφηκαν οι βασικές οντότητες που το αποτελούν και προδιαγράφηκε ο τρόπος επικοινωνίας τους και τα μηνύματα που ανταλλάσσουν με στόχο τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων βασισμένων και σε πρότερη γνώση. Το περιεχόμενο αυτών των μηνυμάτων αλλά και οι διαδικασίες μάθησης συνδέονται άμεσα με την οντολογία που προτάθηκε στην διατριβή.

Το τρίτο κεφάλαιο περιέγραψε την οντολογία που σχεδιάστηκε ώστε να καλύπτει τις ανάγκες κάθε συστήματος διαχείρισης δικτύων και υπηρεσιών, παρέχοντας γενικές κλάσεις μέσω των οποίων μπορεί να επιτευχθεί μια πιο αφηρημένη απεικόνιση της πληροφορίας, κάτι που επιτρέπει τον ενοποιημένο χειρισμό της και την απόκρυψη ουσιαστικά της ετερογένειας που υπάρχει στα σημερινά δικτυακά περιβάλλοντα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιελήφθη η θεωρητική περιγραφή ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο οποίος είναι σε θέση να ανακατανέμει το φορτίο και τους διαθέσιμους πόρους ενός ασύρματου ετερογενούς δικτύου πέραν της τρίτης γενιάς, έτσι ώστε να ομαλοποιείται η κατάσταση στις περιοχές που ελέγχει και η παροχή των ζητούμενων υπηρεσιών να γίνεται με την επιθυμητή ποιότητα, ενώ παράλληλα να διασφαλίζεται ότι γίνονται σεβαστές οι διάφορες πολιτικές του πάροχου και οι συμφωνίες αυτού με τους χρήστες.

Αντικείμενο του πέμπτου κεφαλαίου ήταν η ανάδειξη της καταλληλότητας αλλά και της αξίας, τόσο του προτεινόμενου αρχιτεκτονικού πλαισίου, όσο και του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, μέσω του σχεδιασμού και της υλοποίησης μιας πλατφόρμας

προσομοίωσης βασισμένης στην τεχνολογία των ευφύων κινητών πρακτόρων και πιο συγκεκριμένα στο μεσισμικό (middleware) JADE και τις γλώσσες προγραμματισμού Java και C++, ενώ ορίστηκε και η οντολογία με τη βοήθεια του λογισμικού Protégé. Αναπτύχθηκε λογισμικό για όλες τις οντότητες και τις αντίστοιχες γνωσιακές λειτουργίες που εμπλέκονται σε ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων, ώστε να γίνει σωστή αξιολόγηση του αρχιτεκτονικού πλαισίου και του αλγορίθμου και να μπορούν να εξαχθούν μετρήσιμα και ασφαλή συμπεράσματα.

Στο έκτο κεφάλαιο έγινε η μελέτη και υλοποίηση ενός πρωτότυπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης σε τερματικό με δυνατότητες σύνδεσης σε πολλά διαφορετικά ασύρματα δίκτυα μέσω αντίστοιχου αριθμού διεπαφών. Ο αλγόριθμος επιλογής διεπαφής και δικτύου πρόσβασης λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του χρήστη, τις απαιτήσεις της υπηρεσίας αλλά και την τρέχουσα κατάσταση των διαθέσιμων δικτύων και βρίσκει τη βέλτιστη λύση με βάση και την πρότερη γνώση. Επίσης παρουσιάστηκαν και σχετικά πειραματικά αποτελέσματα.

Συνοπτικά, με τη διδακτορική αυτή διατριβή εισάγονται τα ακόλουθα πρωτότυπα στοιχεία:

- Η αρχιτεκτονική μέσω της οποίας μπορεί να επιτευχθεί η ενοποιημένη διαχείριση δικτύων και υπηρεσιών από οντότητες με ενσωματωμένες γνωσιακές λειτουργίες.
- Η οντολογία με βάση την οποία μπορεί να γίνει εφικτή η επικοινωνία και η αλληλεπίδραση όλων των συστημάτων διαχείρισης, μέσω της μετάφρασης / προσαρμογής των πληροφοριών από την κατάλληλη οντότητα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής.
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης της χρήσης πόρων που επιτρέπει την έγκαιρη προσαρμογή του δικτυακού περιβάλλοντος στις νέες συνθήκες, διασφαλίζοντας τη δυνατότητα του παρόχου να προσφέρει τις ζητούμενες υπηρεσίες στην ποιότητα που απαιτείται.
- Η πρωτότυπη υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης σύμφωνα με την αρχιτεκτονική, την οντολογία και τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης που προτείνονται και η οποία αποδεικνύει και επικυρώνει την χρησιμότητα και την πληρότητα των ιδεών που πραγματεύεται η διατριβή.
- Η υλοποίηση σε τερματικό του πρωτότυπου συστήματος γνωσιακής διαχείρισης που του επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της χρήσης των διαθέσιμων διεπαφών και τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης με στόχο την επίτευξη καλύτερης ποιότητας των λαμβανόμενων υπηρεσιών σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη.

7.2 Κατευθύνσεις για μελλοντικές επεκτάσεις της διατριβής

Για να καταστεί δυνατή κάποια στιγμή στο μέλλον η αξιοποίηση των ιδεών που αναπτύχθηκαν και προτάθηκαν με την εκπόνηση αυτής της διδακτορικής διατριβής σε δίκτυα με εμπορική χρήση, χρειάζεται να μελετηθούν μερικά σημεία ακόμα, τα οποία κάλλιστα αποτελούν τις μελλοντικές επεκτάσεις της διατριβής.

Πιο συγκεκριμένα και όσον αφορά στην πλευρά του δικτύου, απαιτείται κάποιας μορφής συναίνεση μεταξύ των βασικών εμπλεκόμενων μερών ως προς τα θέματα της οντολογίας που περιγράφεται στο 3^ο κεφάλαιο. Απαιτείται δηλαδή η ανάπτυξη ενός σχετικού προτύπου, διαδικασία η οποία θα οδηγήσει στην περαιτέρω εξειδίκευση των εννοιών της οντολογίας, των ιδιοτήτων τους και των μεταξύ τους σχέσεων.

Αντίστοιχη εργασία χρειάζεται και για την προτυποποίηση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις οντότητες SES και οι οποίες αναλύονται κυρίως στο 4^ο κεφάλαιο αλλά και στο 2^ο κεφάλαιο. Για παράδειγμα, οι κατηγορίες προβλημάτων που λύνει μια οντότητα SES θα πρέπει να εντάσσονται σε προκαθορισμένα πλαίσια, διαφορετικά το σύστημα διαχείρισης δεν θα είναι σε θέση να εξάγει συμπεράσματα για τις δυνατότητές τους και τον βέλτιστο τρόπο αξιοποίησής τους. Γενικότερα, είναι απαραίτητος ο ορισμός των κριτηρίων με βάση τα οποία θα γίνεται η επιλογή μιας οντότητας SES για τον χειρισμό μιας κατάστασης, η κλίμακα βαθμονόμησής τους, το πεδίο ισχύος τους, η μέθοδος πιστοποίησής των τιμών τους (π.χ. από κάποιον ανεξάρτητο οργανισμό) κ.α.

Με δεδομένες τις επεκτάσεις που αναφέρονται παραπάνω σχετικά με την προτυποποίηση, θα χρειαστεί φυσικά στη συνέχεια και η ενημέρωση του αλγορίθμου επιλογής που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Παράλληλα, μια άλλη κατεύθυνση προς την οποία μπορεί να συνεχιστεί η έρευνα, είναι ο καθορισμός ενός γενικότερου προτύπου για την ανταλλαγή της γνώσης μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος διαχείρισης, καθώς στην τρέχουσα υλοποίηση όλες οι απαιτούμενες διεπαφές είναι απόλυτα προσαρμοσμένες στη μορφή των δεδομένων που διακινούν, δηλαδή δεδομένα φορτίου κίνησης από τον εξομοιωτή δικτύου προς τις οντότητες του συστήματος διαχείρισης.

Επίσης δεν πρέπει να παραληφθεί και το θέμα των πολιτικών δικτύου, το οποίο συμπεριλαμβάνεται βέβαια στην οντολογία, αλλά καθώς είναι πολύ σημαντικό όπως και πολύπλοκο, δικαιολογεί σαφώς την διερεύνηση του σε μια ξεχωριστή μελέτη και ανάλυση. Εξ' άλλου το θέμα αυτό σχετίζεται όχι μόνο με τα στοιχεία δικτύου και την δικτυακή υποδομή, αλλά και με τα τερματικά, τα οποία όπως περιγράφεται και στο 6^ο κεφάλαιο της διατριβής, πρέπει να είναι σε θέση να ακολουθούν πολιτικές τις οποίες να λαμβάνουν δυναμικά από το δίκτυο.

Όσον αφορά στην πλευρά του τερματικού, ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιλογής διεπαφής είναι πολύ κοντά σε μια εμπορικά διαθέσιμη έκδοσή του. Αυτό όμως που χρειάζεται είναι ο μεγαλύτερος βαθμός ενσωμάτωσής του στο τερματικό, είτε μέσω του λειτουργικού συστήματος (π.χ. μια τροποποιημένη έκδοση του Android), είτε και μέσω του υλικού και του σχετικού οδηγού (π.χ. ένα Intel chipset επικοινωνίας με αναβαθμισμένο firmware και driver). Και οι δύο αυτές επιλογές εξετάζονται ήδη στα πλαίσια μιας pre-product έκδοσης σε συνεργασία με την Intel Mobile Communications στο Μόναχο, η οποία άλλωστε έδωσε και το μόντεμ για τα πειράματα και το σχετικό API για την υλοποίηση του πρωτοτύπου.

Πίνακας οντοτήτων της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής

AES	Analysis and Estimation of Situation
CSD	Candidate Solution Discovery
DF	Directory Facilitator
EDC	Enforcement of Decisions and Configurations
NEM	Network Element Monitoring
PM	Performance Manager
PMM	Profiles and Models Management
SD	Service Directory
SES	Selection and Elaboration of Solution
SIM	network SIMulator
BIK	Building of Information and Knowledge
H2N	Human-to-Network
PDM	Policy Derivation and Management

Πίνακας ακρωνυμίων

3G	3rd Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACE	Autonomic Communication Element
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Analysis and Estimation of Situation
AM	Autonomic Manager

AMS	Agent Management System
API	Application Programming Interface
APN	Access Point Name
B3G	Beyond 3rd Generation
BDI	Belief - Desire - Intention
BS	Base Station
BSS	Business Support System
CDA	Clinical Document Architecture
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CSD	Candidate Solution Discovery
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DEN-ng	Directory Enabled Networks - next generation
DF	Directory Facilitator
DSM	Dynamic Spectrum Management
DSONPM	Dynamic Self-Organizing Network Planning and Management
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EDC	Enforcement of Decisions and Configurations
EMS	Element Management System
EuroNCAP	European New Car Assessment Programme
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
GPS	Global Positioning System

GSM	Global System for Mobile communications
GUI	Graphical User Interface
GUID	Globally Unique Identifier
HNB	Home NodeB
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFX	Infineon Technologies AG
IMC	Intel Mobile Communications
J2ME	Java 2 Micro Edition
J2SE	Java 2 Standard Edition
JADE	Java Agent DEvelopment Framework
JCAF	Java Context-Awareness Framework
JMF	Java Media Framework
JNI	Java Native Interface
JRRM	Joint Radio Resource Management
JVM	Java Virtual Machine
LEAP	Lightweight and Extensible Agent Platform
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MAOD	Mobility Assessment On-Demand
MAS	Multi Agent System

MBTL	Model Based Translation Layer
MEMS	Micro-Electro-Mechanical-Systems
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NC	Node Compartment
NEM	Network Element Monitoring
NMS	Network Management System
ON	Opportunistic Network
OSGi	Open Service Gateway Initiative
OSS	Operation Support System
OWL	Web Ontology Language
PDA	Personal Digital Assistant
PIN	Personal Identification Number
PM	Performance Manager
PMM	Profiles and Models Management
POS	Point Of Sale
QL	Quality Level
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RCM	Reconfiguration Control Module
RFID	Radio-frequency identification
RIM	Reference Information Model
SD	Service Directory

SES	Selection and Elaboration of Solution
SIM	network SIMulator
SIM	Subscriber Identity Module
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
SSID	Service Set IDentification
UC	User Class
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USB	Universal Serial Bus
UWB	Ultra Wideband Technology
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language
AME	Autonomic Management Element
ANA	Autonomic Network Architecture
BIK	Building of Information and Knowledge
H2N	Human-to-Network
PDM	Policy Derivation and Management