



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

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Μαρίας Κ. Χαντζάρα**

*Αθήνα, Μάιος 2007*





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

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΥΤΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

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

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή στις 22 Μαΐου 2007.

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

.....  
Ε. Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....  
Ν. Μήτρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ι. Βενιέρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σ. Παπαβασιλείου  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Α. Ρούσκας  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πανεπιστημίου Αιγαίου

*Αθήνα, Μάιος 2007*

.....  
Μαρία Κ. Χαντζάρα

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

Copyright © Μαρία Κ. Χαντζάρα, 2007.

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 το συγγραφέα.

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





## Περίληψη

Οι τελευταίες εξελίξεις στα επικοινωνιακά και υπολογιστικά συστήματα έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη της διάχυτης υπολογιστικής. Σύμφωνα με αυτή, η τεχνολογία διαχέεται ομοιόμορφα στο περιβάλλον και υποστηρίζει τις καθημερινές δραστηριότητες των χρηστών με διακριτικό, φιλικό και ταυτόχρονα αξιόπιστο τρόπο. Μια από τις κρισιμότερες προκλήσεις κατά την υλοποίηση της διάχυτης υπολογιστικής είναι η δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Οι υπηρεσίες αυτές ανακτούν δεδομένα από το φυσικό, κοινωνικό και υπολογιστικό περιβάλλον προκειμένου να λάβουν αποφάσεις και να εκτελέσουν ενέργειες εκ μέρους των χρηστών.

Ωστόσο, η επιτυχής λειτουργία των υπηρεσιών αυτών εξαρτάται άμεσα από την πληροφορία που χρησιμοποιούν και τους μηχανισμούς ανάκτησης της. Στο πλαίσιο αυτό, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν λύσεις για την αποδοτική και αποτελεσματική συλλογή, επεξεργασία, αποθήκευση και διανομή των δεδομένων που παρέχονται από τις ετερογενείς και κατανεμημένες πηγές πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό, προτείνονται λύσεις μεσισμικού με τις οποίες επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος διαχωρισμός των υπηρεσιών από την επικοινωνία με τις πηγές, και η ομοιόμορφη και ευέλικτη παροχή των δεδομένων. Η παρούσα διατριβή ασχολείται με τη μελέτη λύσεων βελτιστοποίησης της διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος.

Αρχικά, παρουσιάζεται η έννοια της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος, αναλύονται οι προκλήσεις κατά την υλοποίηση της, και πραγματοποιείται μια σύντομη επισκόπηση των συστημάτων, υπηρεσιών και αντικειμένων που έχουν υλοποιηθεί. Στη συνέχεια, αναλύεται η έννοια της πληροφορίας περιβάλλοντος, και παρουσιάζονται τα βασικότερα ζητήματα που προκύπτουν κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος. Επιπλέον, παρουσιάζονται κάποια τυπικά παραδείγματα συστημάτων διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στο κατανεμημένο σύστημα διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος, βάσει του οποίου μελετούνται τα δυο ειδικότερα προβλήματα βελτιστοποίησης.

Το πρώτο πρόβλημα αφορά στην επιλογή της πληροφορίας που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των προσωποποιημένων υπηρεσιών σε οποιοδήποτε περιβάλλον διάχυτης υπολογιστικής λειτουργούν. Προτείνεται ο εμπλουτισμός των συστημάτων ανακάλυψης πληροφορίας με ένα μηχανισμό επιλογής πληροφορίας, ο οποίος ελέγχει την αξιοπιστία των πηγών πληροφορίας

και υπολογίζει τη χρησιμότητα της πληροφορίας, ως προς την εγκυρότητα και τη επικαιρότητα της αλλά και σε σχέση με τις απαιτήσεις της προσωποποιημένης υπηρεσίας. Για την τελική επιλογή της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί προτείνεται ένας ευριστικός αλγόριθμος με τον οποίο επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας και η ικανοποίηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του κόστους. Η απόδοση του αλγορίθμου και του προτεινόμενου μηχανισμού αξιολογείται μέσω προσομοιώσεων.

Το δεύτερο πρόβλημα αφορά στη διακίνηση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς πόρων επεξεργασίας και διανομής. Προτείνεται ένας δυναμικός αλγόριθμος ανάθεσης προτεραιοτήτων με τον οποίο καθορίζεται η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων και η σειρά διανομής των ανανεώσεων πληροφορίας. Με την προτεινόμενη λύση μεγιστοποιείται ο αριθμός των ανανεώσεων που διανέμονται έγκαιρα καθώς και η φρεσκάδα των δεδομένων που παραδίδονται. Η απόδοση της προτεινόμενης λύσης αξιολογείται μέσω προσομοιώσεων στις οποίες μεταβάλλεται κάθε φορά μία παράμετρος του συστήματος.

**Λέξεις κλειδιά:** διάχυτη υπολογιστική, υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, διαχείριση πληροφορίας περιβάλλοντος, μεσισμικό, επιλογή πληροφορίας περιβάλλοντος, ποιότητα πληροφορίας περιβάλλοντος, χρησιμότητα, διακίνηση πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, καθορισμός σειράς εξυπηρέτησης, αλγόριθμος



# Abstract

The evolution of communication and computing systems has led to the implementation of the pervasive computing vision. According to it, the physical environment is embedded with computing and communication skills and provides support to the everyday activities of people in an unobtrusive, friendly and trustworthy manner. One of the most critical challenges towards the realisation of pervasive computing is the creation and delivery of context-aware services. These services use data from the physical, social and computing environment in order to make decisions and trigger actions on behalf of the users.

However, the successful provisioning of context-aware services depends on the data that they utilise and the mechanisms providing it. In this framework, it is necessary to implement solutions for effectively and efficiently managing the collection, processing, storage and dissemination of the context information provided by the heterogeneous and distributed context sources. In this respect, middleware solutions, separating the service logic from the context management functionality and offering global and flexible provisioning of the dynamic context data, are proposed. This thesis studies solutions that optimise the mechanisms realizing the context management functionality.

Firstly, this thesis discusses about context-aware computing and the challenges towards the implementation of it, and describes some typical paradigms of context-aware systems, services and artifacts that are presented in the literature. It also discusses about context information and the most important issues towards the design and development of a management system. Furthermore, it reviews the middleware solutions that have been implemented for this purpose. It focuses on the distributed context management system which comprises the basis for the analysis of the optimisation problems studied.

The first problem refers to the selection of the context information to be used by the context-aware services in order to satisfy the objectives of the customised services in whatever pervasive computing environment they are executed. In this respect, the context information discovery system is enhanced with a selection mechanism that estimates the trustworthiness of the context sources and estimates the utility of the offered data in terms of its actuality, freshness and the services' requirements. In order to decide on the final selection of the context information to be used, a heuristic algorithm is introduced. This algorithm maximises the expected utility and balances the quality and the cost constraints. The performance of both the context selection mechanism and the proposed algorithm is evaluated through simulation tests.

The second problem refers to the real-time provisioning of context information given the resource constraints of the context dissemination system. The proposed solution optimises the utilisation of the system resources through a dynamic scheduling algorithm that determines the order of serving the requests and the distribution of the data updates. This algorithm maximises the number of the information updates that are delivered to the consumers in time as well as the the freshness of the delivered data. The performance of the proposed solution under different system conditions is evaluated through simulation tests.

**Keywords:** pervasive computing, context-aware services, context information management, middleware, selection of context information, quality of context, utility, real-time dissemination of context information, scheduling, algorithm

## Ευχαριστίες

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή καταγράφονται τα αποτελέσματα της ερευνητικής εργασίας μου. Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου είχα την ευκαιρία να εργαστώ, ως μέλος του εργαστηρίου τηλεπικοινωνιών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα VESPER και CONTEXT, τα οποία μου προσέφεραν σημαντικά ερεθίσματα και εφόδια. Στη διαδρομή μέχρι την ολοκλήρωση της διατριβής μου είχα τη στήριξη πολλών ατόμων τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μιλτιάδη Αναγνώστου, καθηγητή Ε.Μ.Π., για την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια. Οι συμβουλές και οι υποδείξεις του σε όλα τα στάδια της διατριβής υπήρξαν πολύτιμες. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευστάθιο Συκά, καθηγητή Ε.Μ.Π., για τις πάντα εύστοχες παρατηρήσεις του σχετικά με την ερευνητική μου εργασία, και τον κ. Μιχαήλ Θεολόγου, καθηγητή Ε.Μ.Π., για την υποστήριξη της εργασίας μου καθώς και τη βοήθεια που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Μήτρου, καθηγητή Ε.Μ.Π., τον κ. Ιάκωβο Βενιέρη, καθηγητή Ε.Μ.Π., τον κ. Συμεών Παπαβασιλείου, επίκουρο καθηγητή Ε.Μ.Π., και τον κ. Άγγελο Ρούσκα, επίκουρο καθηγητή του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην επταμελή εξεταστική επιτροπή της διατριβής μου.

Τα χρόνια της παραμονής μου στο Πολυτεχνείο αποτελούν μια πολύτιμη εμπειρία ζωής, από επαγγελματική και προσωπική άποψη. Είχα τη δυνατότητα να συνεργαστώ με καλούς φίλους και επιστήμονες. Θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στις πολύ καλές μου φίλες Ειρήνη Συγκούνα και Μαρία Στριμπάκου, με τις οποίες μοιραστήκαμε κοινές ανησυχίες και προβληματισμούς κατά την πορεία μας ως προπτυχιακές φοιτήτριες και στη συνέχεια ως μεταπτυχιακές φοιτήτριες. Η βοήθεια τους στο να ξεπεράσω τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν όλα αυτά τα χρόνια αποδείχτηκε πολυτιμότερη. Τις ευχαριστώ για τις αξέχαστες στιγμές και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Σταύρο Χυνογαλά και την Ιωάννα Ρουσσάκη, με τους οποίους συνεργάστηκα στα πλαίσια των ευρωπαϊκών προγραμμάτων VESPER και CONTEXT. Η βοήθεια τους σε ότι με προβλημάτισε όλα αυτά τα χρόνια και οι χρήσιμες συμβουλές τους σχετικά με την ερευνητική μου εργασία υπήρξαν καταλυτικές. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω την Αναστασία Καλταμπάνη, με την οποία συνεργάστηκα

κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Η βοήθεια της στο να προσαρμοστώ στο κλίμα του εργαστηρίου και οι συμβουλές της ήταν πολύ σημαντικές.

Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω και κάποιους ανθρώπους εκτός Πολυτεχνείου που είναι δίπλα μου χρόνια τώρα. Ευχαριστώ πολύ τις καλές μου φίλες Κατερίνα Παλατζόγλου, Παρασκευή Ψαρράκη και Ιωσηφίνα Ψαρράκη που κατορθώνουν ακόμη και στις πιο δύσκολες στιγμές να περιορίζουν το άγχος μου και να με πείθουν ότι όλα θα πάνε καλά.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Νίκο Βαρδαλάχο για την υποστήριξη και το κουράγιο που μου έδωσε να ολοκληρώσω τη διατριβή μου. Τον ευχαριστώ τόσο για τις πολύτιμες συμβουλές του όσο και για τη βοήθεια που μου προσέφερε στο να αντιμετωπίσω πολλά εμπόδια με θετικότητα και λογική.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που χωρίς την απεριόριστη αγάπη και στοργή τους τίποτα από όλα αυτά δε θα ήταν εφικτό. Τους ευχαριστώ για την υλική και ηθική συμπαράσταση τους. Στην αδερφή μου Χριστίνα θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τη συνεχή στήριξη της. Η ώριμη κρίση της ήταν ένας από τους πολυτιμότερους βοηθούς όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ για όλα!

Μαρία Χαντζάρα  
Μάιος 2007

# Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>25</b>
1.1. Εξελίξεις στα Επικοινωνιακά και Υπολογιστικά Συστήματα .....	25
1.2. Εξελίξεις στον Τομέα των Υπηρεσιών.....	26
1.3. Αντικείμενο Διατριβής.....	27
1.4. Διάρθρωση Διατριβής .....	30
1.5. Βιβλιογραφία.....	31
<b>2. ΕΠΙΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....</b>	<b>35</b>
2.1. Εισαγωγή.....	35
2.2. Υπολογιστική με Επίγνωση του Περιβάλλοντος .....	36
2.2.1. Περιγραφή.....	36
2.2.2. Πληροφορία Περιβάλλοντος.....	40
2.2.2.1. Ορισμός.....	40
2.2.2.2. Ταξινόμηση.....	42
2.2.2.3. Κύκλος Ζωής Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	43
2.2.3. Υλοποίηση της Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος .....	44
2.2.4. Ανθρώπινες Πτυχές της Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος.....	49
2.3. Παροχή Πληροφορίας Περιβάλλοντος .....	50
2.3.1. Απαιτήσεις.....	50
2.3.2. Αρχιτεκτονικές Προσεγγίσεις .....	50
2.3.3. Ανάλυση Συστημάτων.....	53
2.3.3.1. Μοντέλο Πληροφορίας Περιβάλλοντος .....	53
2.3.3.2. Μέθοδοι Ανάκτησης των Δεδομένων .....	55
2.3.3.3. Μέθοδοι Ανανέωσης της Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	57
2.3.3.4. Μοντέλο Ανακάλυψης των Πηγών Πληροφορίας.....	58
2.3.3.5. Ασφάλεια, Εμπιστοσύνη και Προστασία των Προσωπικών Δεδομένων .....	60
2.3.4. Υλοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	60
2.4. Πρόγραμμα CONTEXT .....	72
2.4.1. Δημιουργία και Διαχείριση Υπηρεσιών με Επίγνωση του Περιβάλλοντος .....	72
2.4.2. Σύστημα Παροχής Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	75
2.5. Επίλογος.....	79
2.6. Βιβλιογραφία.....	80
<b>3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....</b>	<b>95</b>
3.1. Εισαγωγή.....	95
3.2. Επισκόπηση Σχετικής Εργασίας .....	99
3.2.1. Ποιότητα Πληροφορία .....	99
3.2.1.1. Ποιότητα Πληροφορίας στα Πληροφοριακά Συστήματα .....	99
3.2.1.2. Ποιότητα Πληροφορίας στις Υπηρεσίες με Επίγνωση του Περιβάλλοντος.....	101
3.2.2. Συστήματα Ανακάλυψης.....	103

3.2.2.1.	Πρωτόκολλα Ανακάλυψης Υπηρεσιών .....	103
3.2.2.2.	Ανακάλυψη Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	107
3.3.	Μηχανισμός Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος .....	111
3.3.1.	Περιγραφή Μηχανισμού.....	111
3.3.2.	Ορισμός Παραμέτρων Ποιότητας Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	112
3.3.3.	Μοντέλο Ελέγχου Αξιοπιστίας των Πηγών Πληροφορίας.....	114
3.3.4.	Χαρακτηριστικά Αυτονομίας .....	115
3.4.	Περιγραφή και Διατύπωση του Προβλήματος.....	116
3.4.1.	Δεδομένα Προβλήματος.....	116
3.4.2.	Μοντέλο Αξιολόγησης της Πληροφορίας.....	118
3.4.3.	Πρόβλημα Βελτιστοποίησης .....	120
3.5.	Επίλυση Προβλήματος.....	123
3.5.1.	Αλγόριθμοι Επίλυσης του MMKP .....	126
3.5.2.	Προτεινόμενος Αλγόριθμος.....	128
3.5.2.1.	Ορισμοί .....	128
3.5.2.2.	Περιγραφή Αλγορίθμου .....	130
3.5.2.3.	Υπολογισμός Πολυπλοκότητας Αλγορίθμου.....	131
3.5.3.	Εκτίμηση της Απόδοσης του Αλγορίθμου .....	132
3.5.3.1.	Μοντέλο MMKP Προβλημάτων.....	133
3.5.3.2.	Μεγέθη Μέτρησης Απόδοσης.....	134
3.5.3.3.	Συγκριτική Αξιολόγηση Απόδοσης .....	134
3.5.3.3.1.	Αξιολόγηση ως προς την ποιότητα της λύσης.....	135
3.5.3.3.2.	Αξιολόγηση ως προς το χρόνο υπολογισμού .....	136
3.5.3.3.3.	Αξιολόγηση ως προς τον αριθμό των ανανεώσεων της λύσης.....	138
3.5.3.4.	Αξιολόγηση των Τριών Βημάτων του Προτεινόμενου Αλγορίθμου .....	139
3.5.3.5.	Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	141
3.6.	Εφαρμογή Προτεινόμενου Μηχανισμού.....	142
3.6.1.	Πρώτο Σενάριο .....	143
3.6.2.	Συγκριτική Αξιολόγηση .....	146
3.6.3.	Δεύτερο Σενάριο.....	148
3.6.4.	Χρόνος Υπολογισμού.....	150
3.7.	Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα .....	151
3.8.	Βιβλιογραφία.....	153
<b>4.</b>	<b>ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ .....</b>	<b>163</b>
4.1.	Εισαγωγή.....	163
4.2.	Επισκόπηση Σχετικής Εργασίας.....	165
4.2.1.	Υπολογιστική σε Πραγματικό Χρόνο .....	165
4.2.2.	Προβλήματα και Αλγόριθμοι Καθορισμού Σειράς Εκτέλεσης Εργασιών .....	169
4.2.3.	Συστήματα Παροχής Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο .....	173
4.2.3.1.	Βάσεις Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου .....	175
4.2.3.2.	Νεότερα Πεδία Έρευνας .....	181
4.2.3.2.1.	Δίκτυα αισθητήρων .....	182
4.2.3.2.2.	Κινητές βάσεις δεδομένων .....	182
4.2.3.2.3.	Διακίνηση δεδομένων στο διαδίκτυο .....	183
4.2.3.2.4.	Διαχείριση ροών δεδομένων.....	184
4.3.	Περιγραφή και Διατύπωση του Προβλήματος.....	185

4.3.1. Περιγραφή Αιτημάτων και Ορισμοί.....	187
4.3.2. Μαθηματική Περιγραφή .....	191
4.4. Προτεινόμενος Αλγόριθμος .....	194
4.5. Εκτίμηση της Απόδοσης του Αλγορίθμου .....	196
4.5.1. Μοντέλο Προσομοίωσης.....	197
4.5.1.1. Κεντρικός Μεσίτης Πληροφορίας .....	197
4.5.1.2. Κατανεμημένοι Μεσίτες Πληροφορίας .....	200
4.5.2. Μεγέθη Μέτρησης Απόδοσης.....	201
4.5.3. Αποτελέσματα.....	203
4.5.3.1. Κεντρικός Μεσίτης Πληροφορίας .....	203
4.5.3.1.1. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την περίοδο ανανέωσης.....	204
4.5.3.1.2. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό εξυπηρέτησης αιτημάτων.....	206
4.5.3.1.3. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό άφιξης των απλών αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας.....	208
4.5.3.1.4. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη δημοτικότητα των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας.....	208
4.5.3.1.5. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το μέγεθος της ουράς αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας.....	209
4.5.3.1.6. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τις προθεσμίες των καταναλωτών πληροφορίας.....	210
4.5.3.1.7. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αξία των δεδομένων.....	212
4.5.3.1.8. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αναλογία περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών.....	213
4.5.3.1.9. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων .....	214
4.5.3.1.10. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την καθυστέρηση άφιξης των αιτημάτων.....	215
4.5.3.1.11. Χρήση εναλλακτικών πηγών.....	216
4.5.3.1.12. Εφαρμογή πολιτικής αναμονής των απλών αιτημάτων.....	217
4.5.3.2. Κατανεμημένοι Μεσίτες Πληροφορίας .....	218
4.5.3.2.1. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των καταναλωτών που εγγράφονται για ενημερώσεις.....	219
4.5.3.2.2. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των πηγών .....	221
4.5.3.2.3. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την περίοδο ανανέωσης.....	222
4.5.3.2.4. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων του δικτύου .....	224
4.5.3.2.5. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό μετάδοσης .....	225
4.5.3.2.6. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του δικτύου.....	226
4.5.3.2.7. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αξία των δεδομένων.....	227
4.5.3.2.8. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την ποσοστιαία αναλογία περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών.....	228
4.5.3.2.9. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων .....	229
4.5.3.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	230
4.6. Σύγκριση με τη Βιβλιογραφία.....	231
4.7. Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα .....	233
4.8. Βιβλιογραφία.....	235

<b>5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>245</b>
5.1. Ανακεφαλαίωση - Συνεισφορά Διατριβής .....	245
5.2. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα .....	250
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>253</b>



## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Υλοποίηση Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος.....	38
Σχήμα 2-2: Είδη Επεξεργασίας Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	42
Σχήμα 2-3: Κύκλος Ζωής Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	43
Σχήμα 2-4: Επιχειρησιακό Μοντέλο.....	44
Σχήμα 2-5: Διακίνηση Πληροφορίας - Άμεση Επικοινωνία με τις Πηγές.....	51
Σχήμα 2-6: Διακίνηση Πληροφορίας - Έμμεση Επικοινωνία με τις Πηγές.....	51
Σχήμα 2-7: Κεντρική και Κατακεντημένη Αρχιτεκτονική Μεσισμικού.....	52
Σχήμα 2-8: Είδη Πηγών Πληροφορίας.....	57
Σχήμα 2-9: Λειτουργικά Επίπεδα Συστημάτων Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	61
Σχήμα 2-10: Αρχιτεκτονική CONTEXT.....	73
Σχήμα 2-11: Αρχιτεκτονική Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	76
Σχήμα 2-12: Μοντέλο Περιγραφής Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	78
Σχήμα 3-1: Ανεπάρκεια Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	96
Σχήμα 3-2: Αλληλεπιδράσεις κατά την Παροχή των Υπηρεσιών με Επίγνωση του Περιβάλλοντος.....	97
Σχήμα 3-3: Ιεραρχία Διαστάσεων Ποιότητας Δεδομένων.....	101
Σχήμα 3-4: Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	111
Σχήμα 3-5: Παράμετροι Ποιότητας Πληροφορίας.....	113
Σχήμα 3-6: Παράμετροι Ποιότητας Πηγών Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	114
Σχήμα 3-7: Σενάρια Προσαρμογής.....	115
Σχήμα 3-8: Πρόβλημα MMKP.....	125
Σχήμα 3-9: Αλγόριθμος MVRC.....	130
Σχήμα 3-10: Τα τρία βήματα του αλγορίθμου MVRC.....	131
Σχήμα 3-11: Λογισμικό Προσομοίωσης.....	133
Σχήμα 3-12: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού των Ομάδων.....	135
Σχήμα 3-13: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα.....	135
Σχήμα 3-14: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	135
Σχήμα 3-15: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως Αριθμού Ομάδων.....	137
Σχήμα 3-16: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα.....	137
Σχήμα 3-17: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	137
Σχήμα 3-18: Αριθμός Αναεώσεων της Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων.....	138
Σχήμα 3-19: Αριθμός Αναεώσεων της Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα.....	138
Σχήμα 3-20: Αριθμός Αναεώσεων της Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	139
Σχήμα 3-21: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων.....	140
Σχήμα 3-22: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων.....	140
Σχήμα 3-23: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα.....	140
Σχήμα 3-24: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα.....	140
Σχήμα 3-25: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	141
Σχήμα 3-26: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	141
Σχήμα 3-27: Ποσοστό Αποτυχίας Αλγορίθμων Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	141
Σχήμα 3-28: Υπηρεσία Εύρεσης Εστιατορίου.....	144
Σχήμα 3-29: Χρησιμότητα και Κόστος.....	147
Σχήμα 3-30: Χρησιμότητα και Χρόνος Απόκρισης.....	147

Σχήμα 3-31: Χρόνος Υπολογισμού του Προτεινόμενου Αλγορίθμου Επιλογής .....	151
Σχήμα 4-1: Προθεσμίες στα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου.....	168
Σχήμα 4-2: Εξυπηρέτηση Αιτημάτων στο Μεσίτη Πληροφορίας .....	186
Σχήμα 4-3: Μετάδοση Αιτημάτων στους Καταναμημένους Μεσίτες Πληροφορίας .....	186
Σχήμα 4-4: Διανομή Ενημερώσεων.....	189
Σχήμα 4-5: Λογισμικό Προσομοίωσης.....	196
Σχήμα 4-6: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης .....	204
Σχήμα 4-7: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης.....	205
Σχήμα 4-8: Κέρδος Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης .....	205
Σχήμα 4-9: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Περιόδου Ανανέωσης.....	205
Σχήμα 4-10: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης.....	207
Σχήμα 4-11: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης .....	207
Σχήμα 4-12: Κέρδος Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης.....	207
Σχήμα 4-13: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Άφιξης των Απλών Αιτημάτων .....	208
Σχήμα 4-14: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με Τυχαία και Ομοιόμορφη ζήτηση Πληροφορίας.....	209
Σχήμα 4-15: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Μεγέθους της Ουράς.....	210
Σχήμα 4-16: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων του Μεγέθους της Ουράς.....	210
Σχήμα 4-17: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει των Προθεσμιών.....	211
Σχήμα 4-18: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων Συναρτήσει των Προθεσμιών .....	211
Σχήμα 4-19: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει των Προθεσμιών .....	211
Σχήμα 4-20: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Προερχόμενων από το Σύνολο των Πηγών και από τις Πηγές Μεγάλης Αξίας.....	212
Σχήμα 4-21: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με τον IPU Συναρτήσει της Ποσοστιαίας Αναλογίας Πηγών Χαμηλής – Μεσαίας – Υψηλής Αξίας.....	213
Σχήμα 4-22: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών.....	213
Σχήμα 4-23: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει της Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών.....	214
Σχήμα 4-24: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των Μη-περιοδικών Αιτημάτων .....	215
Σχήμα 4-25: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Καθυστέρησης Άφιξης .....	216
Σχήμα 4-26: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει της Καθυστέρησης Άφιξης .....	216
Σχήμα 4-27: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Αριθμού Όμοιων Πηγών .....	217
Σχήμα 4-28: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ορίου Αναμονής.....	218
Σχήμα 4-29: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών ....	220
Σχήμα 4-30: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών.....	220
Σχήμα 4-31: Κέρδος Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών .....	220
Σχήμα 4-32: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Αριθμού των Πηγών .....	221
Σχήμα 4-33: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Αριθμού των Πηγών.....	221
Σχήμα 4-34: Κέρδος Συναρτήσει του Αριθμού των Πηγών .....	222
Σχήμα 4-35: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης .....	223
Σχήμα 4-36: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης.....	223

Σχήμα 4-37: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Περιόδου Ανανέωσης.....	223
Σχήμα 4-38: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Αριθμού Κόμβων .....	224
Σχήμα 4-39: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Αριθμού Κόμβων.....	224
Σχήμα 4-40: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Μετάδοσης.....	225
Σχήμα 4-41: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Ρυθμού Μετάδοσης .....	225
Σχήμα 4-42: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει Παραμέτρου alpha .....	226
Σχήμα 4-43: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει Παραμέτρου beta .....	227
Σχήμα 4-44: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Προερχόμενων από το Σύνολο των Πηγών και από τις Πηγές Μεγάλης Αξίας .....	228
Σχήμα 4-45: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με τον IPU Συναρτήσει της Ποσοστιαίας Αναλογίας Πηγών Χαμηλής – Μεσαίας – Υψηλής Αξίας.....	228
Σχήμα 4-46: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Ποσοστιαίας Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών .....	229
Σχήμα 4-47: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των Μη-περιοδικών Αιτημάτων .....	230



## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Υλοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος.....	71
Πίνακας 3-1: Ποιότητα Πληροφορίας στα Πληροφοριακά Συστήματα.....	100
Πίνακας 3-2: Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας Περιβάλλοντος και Πηγών.....	117
Πίνακας 3-3: Δεδομένα Προβλήματος.....	118
Πίνακας 3-4: Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα .....	136
Πίνακας 3-5: Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων.....	136
Πίνακας 3-6: Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων ...	136
Πίνακας 3-7: Διαθέσιμες Πηγές Πληροφορίας .....	144
Πίνακας 3-8: Υπολογισμός Χρησιμότητας για το Χρήστη A .....	145
Πίνακας 3-9: Μηχανισμοί Επιλογής .....	147
Πίνακας 3-10: Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας NCS.....	149
Πίνακας 3-11: Ανανεωμένα Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας NCS .....	150
Πίνακας 4-1: Παράμετροι των Πηγών Πληροφορίας και των Αιτημάτων τους .....	198
Πίνακας 4-2: Παράμετροι των Καταναλωτών Πληροφορίας .....	199
Πίνακας 4-3: Παράμετροι Συστήματος.....	199
Πίνακας 4-4: Παράμετροι Κατανεμημένης Αρχιτεκτονικής.....	201
Πίνακας 4-5: Προεπιλεγμένες Τιμές των Παραμέτρων Προσομοίωσης του Κεντρικού Συστήματος... ..	204
Πίνακας 4-6: Προεπιλεγμένες Τιμές των Παραμέτρων Προσομοίωσης του Κατανεμημένου Συστήματος.....	219



---

ΠΡΩΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---





# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ραγδαία πρόοδος στις τηλεπικοινωνίες και τις υποδομές υλικού/λογισμικού έχει δημιουργήσει μια νέα πραγματικότητα στα πληροφοριακά και επικοινωνιακά συστήματα. Στο πλαίσιο αυτό, τα δίκτυα ευρείας ζώνης και τα συστήματα κινητών και ασύρματων επικοινωνιών επιτρέπουν στους χρήστες να απολαμβάνουν ποιοτικότερη πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό (World Wide Web), βελτιώνοντας την επικοινωνία των χρηστών και τη διακίνηση των δεδομένων. Επίσης, τα κατακεμημένα συστήματα [1] επιτρέπουν την επικοινωνία και τη συνεργασία των απομακρυσμένων μονάδων, και το μοντέλο της κινητής υπολογιστικής [2] υποστηρίζει τη διαρκή σύνδεση των χρηστών μέσω των φορητών συσκευών τους ακόμη και όταν αλλάζουν φυσική τοποθεσία.

Η τεχνολογική επανάσταση που έχει συντελεστεί προσφέρει τις υποδομές για την υλοποίηση της πανταχού παρούσας υπολογιστικής (*Ubiquitous Computing*) ή διάχυτης υπολογιστικής (*Pervasive Computing*), που αρκετά νωρίς οραματίστηκε ο Mark Weiser [3]. Η βασική ιδέα πίσω από το όραμα αυτό είναι να προσαρτηθούν στο φυσικό περιβάλλον υπολογιστικές και επικοινωνιακές ικανότητες, που με διακριτικότητα θα διευκολύνουν τις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων [4]. Δηλαδή, η τεχνολογία μεταφέρεται, πέρα από τους προσωπικούς υπολογιστές, σε αντικείμενα του περιβάλλοντος [5], όπως ρουχισμό, εργαλεία, ηλεκτρικές συσκευές, σπίτια, μέσω της ενσωμάτωσης μικρού μεγέθους συσκευών που θα έχουν μεγάλη υπολογιστική ισχύ και δυνατότητα συνδεσιμότητας. Η ομοιόμορφη διείσδυση της τεχνολογίας στο περιβάλλοντα χώρο καθιστά την τεχνολογία κομμάτι της καθημερινότητας των χρηστών υποστηρίζοντας τις προσωπικές και κοινωνικές δραστηριότητες τους, είτε προσφέροντας βοήθεια είτε εκτελώντας ενέργειες εκ μέρους τους. Ο τρόπος αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή αλλάζει καθώς η επικοινωνία γίνεται με τρόπο αδιαφανή και ταυτόχρονα φιλικό, δίνοντας την αίσθηση ότι η τεχνολογία απουσιάζει ή αλλιώς την αίσθηση της *‘ήρεμης’ τεχνολογίας (Calm Technology)* [6].

Πλέον η υλοποίηση της διάχυτης υπολογιστικής, γνωστή στην Ευρώπη με το όνομα *περικλείουσα νοημοσύνη (Ambient Intelligence)* [7], βρίσκεται στο κέντρο του ενδιαφέροντος από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, η οποία προσπαθεί να αντιμετωπίσει την

πολυπλοκότητα των ζητημάτων που εμπλέκονται κατά την υλοποίηση της [8]. Προς την κατεύθυνση αυτή, πολλοί επιστήμονες από διαφορετικούς τομείς εργάζονται για την επέκταση των υπάρχουσών μοντέλων και την κάλυψη των νέων απαιτήσεων [8][10]. Η ανάπτυξη του αναγκαίου υπόβαθρου υλικού, τα κατανεμημένα και ενσωματωμένα συστήματα, η κινητή υπολογιστική, η μηχανική των υπηρεσιών (service engineering), η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, η διαχείριση γνώσης και η τεχνητή νοημοσύνη είναι ορισμένες από τις περιοχές που επιβάλλεται να συνεργαστούν για τον κοινό στόχο.

## 1.2. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Στα πλαίσια εξέλιξης της τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών, όπου αυξάνονται οι δυνατότητες του διαδικτύου και αναπτύσσονται τα συστήματα τρίτης και τέταρτης γενιάς, προσφέρεται η δυνατότητα της συνεχούς και ομοιογενούς παροχής πληθώρας υπηρεσιών μέσω των ετερογενών δικτύων και τερματικών. Η *προσωποποίηση των υπηρεσιών (Service Personalization)* εξασφαλίζει όμοια αίσθηση και εγγύηση ποιοτικών χαρακτηριστικών καθώς οι χρήστες αλλάζουν δίκτυο πρόσβασης ή το τερματικό που χρησιμοποιούν. Στη λειτουργικότητα αυτή οι οργανισμοί προτυποποίησης όπως Third Generation Partnership Project (3GPP) και International Telecommunication Union (ITU) έχουν αποδώσει το όνομα *εικονικό οικείο περιβάλλον (Virtual Home Environment - VHE)* [11][12], με την έννοια ότι οι χρήστες απολαμβάνουν όμοια εμπειρία από τη χρήση των υπηρεσιών του οικείου δικτυακού τομέα ακόμη και όταν μετακινούνται εκτός αυτού. Η προσωποποίηση εξασφαλίζεται με τον αυστηρό προσδιορισμό από τους χρήστες των παραμέτρων που περιγράφουν τις απαιτήσεις τους από τις υπηρεσίες, ως προς τις διεπαφές και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους [13][14]. Οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν τις παραμέτρους αυτές που περιλαμβάνονται στα αντίστοιχα προφίλ (profile) των χρηστών και των υπηρεσιών και προσαρμόζουν κατάλληλα τη συμπεριφορά τους.

Ο επόμενος σταθμός στην εξέλιξη των υπηρεσιών επήλθε με την ανάπτυξη των συστημάτων εντοπισμού γεωγραφικής θέσης. Εκμεταλλευόμενες τη γνώση της φυσικής τοποθεσίας που βρίσκονται οι χρήστες, οι υπηρεσίες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν χωρικές πληροφορίες στους κινούμενους χρήστες. Παραδείγματα τέτοιου είδους υπηρεσιών, οι οποίες είναι γνωστές ως *υπηρεσίες βασισμένες στη θέση (Location-based Services)* [15], είναι η ανάκτηση χρήσιμων πληροφοριών και διαφημίσεων, η καθοδήγηση των χρηστών και η υποστήριξη της επικοινωνίας με τους υπόλοιπους χρήστες. Η βασική διαφορά με την έννοια

της προσωποποίησης των υπηρεσιών είναι ότι πλέον χρησιμοποιούνται πληροφορίες που ανιχνεύονται αυτόματα από το περιβάλλον (*implicit input*), χωρίς να χρειάζεται η αλληλεπίδραση με τους χρήστες (*explicit input*).

Στα πλαίσια των προκλήσεων που καλείται να αντιμετωπίσει η έρευνα σχετικά με την υλοποίηση της διάχυτης υπολογιστικής αναπτύχθηκε η ιδέα της *επίγνωσης του περιβάλλοντος* (*Context-Awareness*) [8][16]. Ειδικότερα, με την εκμετάλλευση των υπολογιστικών και επικοινωνιακών δυνατοτήτων του περιβάλλοντος χώρου καθίσταται δυνατή η συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων και των πληροφοριών γεωγραφικής θέσης, οι οποίες βοηθούν στην αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών [17]. Οι πληροφορίες αυτές αναφέρονται στο φυσικό, κοινωνικό και υπολογιστικό περιβάλλον αλλά και την προσωπική κατάσταση των χρηστών και είναι συναφείς με τις υπηρεσίες, δηλαδή αποτελούν τα ‘συμφραζόμενα’ (*context*) των υπηρεσιών [18]. Αξιοποιώντας αυτά τα δεδομένα τα οποία προσφέρονται αυτοματοποιημένα από τις πηγές πληροφορίας, οι υπηρεσίες προσαρμόζονται και εκτελούν ενέργειες. Μια *υπηρεσία με επίγνωση του περιβάλλοντος* (*Context-Aware Service*) μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ανθρώπινος υπηρέτης του χρήστη ο οποίος είναι αρμόδιος για τη λήψη αποφάσεων εκ μέρους του, συνυπολογίζοντας τις ιδιαίτερες ανάγκες του και τις συνθήκες που επικρατούν [19].

### 1.3. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι ένα νέο πεδίο έρευνας που εμπλέκει πολλές διαφορετικές περιοχές όπως οι τεχνολογίες ανίχνευσης και εφαρμογής δράσεων, η ανάπτυξη ευφών δικτυακών υποδομών, τα συστήματα ανακάλυψης και σύνθεσης υπηρεσιών, η διαχείριση των πληροφοριών. Οι προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπιστούν αναφέρονται στην αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των αποφάσεων που λαμβάνονται και των ενεργειών που εκτελούνται, αλλά και στην ανάπτυξη χαρακτηριστικών όπως η επεκτασιμότητα, η κλιμάκωση, η ευρωστία, η προ-δραστικότητα, η διαφάνεια, η αυτονομία και η αξιοπιστία [16]. Παρόλη τη δυσκολία του, το πεδίο αυτό έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας με αποτέλεσμα η πρόοδος που συντελείται να είναι αλματώδης και να αναμένεται στο άμεσο μέλλον η εμπορική αξιοποίηση των συστημάτων που αναπτύσσονται.

Ένα ζήτημα κλειδί στην παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι η διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος, η οποία περιλαμβάνει τους μηχανισμούς

συλλογής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και διανομής των δεδομένων που περιγράφουν τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον εκτέλεσης κάθε υπηρεσίας [18]. Η ετερογένεια και η κατανομή των πηγών πληροφορίας σε συνδυασμό με τις αυστηρές ποιοτικές προδιαγραφές των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν τα δεδομένα εισάγουν την ανάγκη να απαλλαγούν οι υπηρεσίες από τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων του περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα της απαίτησης αυτής έχουν αναπτυχθεί αρκετές λύσεις οι οποίες βασίζονται στην έννοια του μεσισμικού (middleware). Οι λύσεις αυτές επιτυγχάνουν την ομοιόμορφη και ευέλικτη διακίνηση των δεδομένων. Στο πλαίσιο ανάπτυξης των συστημάτων αυτών, υπάρχουν αρκετά θέματα που πρέπει να εξεταστούν και να αντιμετωπιστούν, όπως το μοντέλο περιγραφής των πληροφοριών, οι μηχανισμοί και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και αποθήκευση τους, οι μέθοδοι επικοινωνίας των υπηρεσιών και οι τρόποι ανανέωσης των δεδομένων. Η παρούσα διατριβή εξετάζει δύο προβλήματα βελτιστοποίησης των μηχανισμών αυτών. Τα προβλήματα αυτά οποία περιγράφονται στη συνέχεια αφού πρώτα αναλυθεί το κίνητρο μελέτης τους.

Όταν η παροχή των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος περάσει από το εργαστηριακό στο εμπορικό περιβάλλον, αναμένεται να αυξηθεί ο αριθμός των πηγών πληροφορίας που παρέχουν δεδομένα, και ο αριθμός αιτημάτων που υποβάλλονται για ανάκτηση πληροφορίας. Επιπλέον, η κινητικότητα των χρηστών συνεπάγεται τη μεταβολή των πηγών πληροφορίας με τις οποίες πρέπει να επικοινωνήσει η υπηρεσία για να ανακτήσει τα απαιτούμενα δεδομένα. Συνεπώς, χρειάζεται να αναπτυχθούν μηχανισμοί που θα επιτρέπουν την παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος σε διαφορετικά και άγνωστα περιβάλλοντα με αυτοματοποιημένο τρόπο και χωρίς να απαιτείται ο διαρκής έλεγχος του χρήστη. Ωστόσο, επειδή η παροχή υπηρεσιών σε πραγματικά περιβάλλοντα που δεν είναι πλήρως προδιαγεγραμμένα και ελεγχόμενα, όπως είναι τα εργαστηριακά περιβάλλοντα, καλείται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με την ανεπάρκεια/ατέλεια (imperfection) της παρεχόμενης πληροφορίας περιβάλλοντος. Η χρήση ατελών δεδομένων είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, η οποία προσδιορίζεται από το χρόνο απόκρισης, την ορθότητα των ενεργειών ή αποφάσεων τους, το κόστος εκτέλεσης τους, την αυτονομία και την προ-δραστικότητα τους, με αποτέλεσμα να απειλείται η επιτυχημένη χρήση τους και εν τέλει η βιωσιμότητά τους. Τα ζητήματα αυτά οδηγούν στην ανάγκη ευθυγράμμισης των δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των χρηστών και των υπηρεσιών. Τα δύο προβλήματα βελτιστοποίησης που μελετώνται στην παρούσα διατριβή έχουν ως στόχο τη χρήση από τις υπηρεσίες των πληροφοριών εκείνων που εξασφαλίζουν την καλή λειτουργία τους.

Το πρώτο πρόβλημα που μελετάται αναφέρεται στην *επιλογή των πληροφοριών που θα χρησιμοποιήσουν οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος*. Ειδικότερα, κατά την υποβολή των αιτημάτων ανάκτησης δεδομένων από τις υπηρεσίες ζητείται να προσδιοριστεί η καλύτερη διαθέσιμη πληροφορία για να επιστραφεί στις υπηρεσίες. Για το σκοπό αυτό εμπλουτίζεται το σύστημα ανακάλυψης πληροφορίας με ένα μηχανισμό που επιλέγει αυτοματοποιημένα την πληροφορία η οποία ικανοποιεί κατά το μέγιστο τις απαιτήσεις των χρηστών. Για τη λήψη της αντίστοιχης απόφασης, λαμβάνεται υπόψη η ποιότητα της πληροφορίας, το κόστος της και οι απαιτήσεις των χρηστών. Το πρόβλημα μοντελοποιείται μαθηματικά ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο ζητείται η μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί. Για την επίλυση του προτείνεται ένας νέος ευριστικός αλγόριθμος, του οποίου η απόδοση εκτιμάται με τη χρήση προσομοιώσεων, ως προς την ποιότητα λύσης και το χρόνο υπολογισμού. Επιπλέον, παρουσιάζεται η εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού σε δύο υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος και συγκρίνεται με εναλλακτικές μεθόδους επιλογής.

Το δεύτερο πρόβλημα που μελετάται αναφέρεται στη *διακίνηση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο*. Ειδικότερα, σε ένα μεγάλης κλίμακας σύστημα διανομής πληροφορίας, που περιλαμβάνει πολλές πηγές πληροφοριών οι οποίες παρέχουν δεδομένα, και υπηρεσίες οι οποίες υποβάλουν αιτήματα για ανάκτηση δεδομένων, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων που θα εξασφαλίζουν την εξυπηρέτηση των αιτημάτων εντός των χρονικών προθεσμιών αλλά και τη φρεσκάδα των δεδομένων που διακινούνται. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πρόκληση αυτή, μοντελοποιείται το πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο ζητείται να καθοριστεί η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται στο μεσισμικό από τις πηγές και τις υπηρεσίες καθώς και η σειρά διανομής των ανανεώσεων πληροφορίας έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα αιτήματα που δεν εξυπηρετούνται έγκαιρα και να μεγιστοποιηθεί η φρεσκάδα των δεδομένων που διανέμονται. Προτείνεται ένας νέος δυναμικός αλγόριθμος εξυπηρέτησης ο οποίος σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος. Με τη χρήση προσομοιώσεων εκτιμάται η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου συγκριτικά με γνωστούς αλγορίθμους καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης της βιβλιογραφίας.

## 1.4. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Το περιεχόμενο των κεφαλαίων της διατριβής που ακολουθούν περιγράφεται εν συντομία στη συνέχεια. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η επίγνωση του περιβάλλοντος και οι προκλήσεις κατά την υλοποίηση της. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα τυπικά παραδείγματα υλοποιημένων συστημάτων, υπηρεσιών και αντικειμένων που αντιλαμβάνονται το περιβάλλον εκτέλεσης τους. Ωστόσο, στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση της έννοιας της πληροφορίας περιβάλλοντος και στην καταγραφή των ζητημάτων που εμπλέκονται στη διαχείριση της. Με βάση τα ζητήματα αυτά αναλύονται κάποια τυπικά παραδείγματα συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος. Η τελευταία ενότητα του κεφαλαίου αναφέρεται στην προσέγγιση που προτείνει το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα IST CONTEXT [4] για τη δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος, εστιάζοντας στο σύστημα το οποίο έχει αναπτύξει για την παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος, βάσει του οποίου μελετούνται τα ειδικότερα προβλήματα της διατριβής.

Το τρίτο κεφάλαιο της διατριβής ασχολείται με το πρόβλημα επιλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες. Αρχικά, παρουσιάζεται η συναφής με το πρόβλημα βιβλιογραφία. Στη συνέχεια περιγράφεται ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής πληροφορίας περιβάλλοντος και η μαθηματική μοντελοποίηση του μελετώμενου προβλήματος ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Κατόπιν, αφού παρουσιαστούν οι αλγόριθμοι που προτείνονται στη βιβλιογραφία για την επίλυση του, προτείνεται ένας νέος ευριστικός αλγόριθμος. Ακολουθεί η ανάλυση της απόδοσης του προτεινόμενου αλγορίθμου μέσω του υπολογισμού της πολυπλοκότητάς του και της εκτέλεσης προσομοιώσεων οι οποίες εκτιμούν την ποιότητα λύσης και τον απαιτούμενο χρόνο υπολογισμού. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο παραδείγματα υπηρεσιών που χρησιμοποιούν τον προτεινόμενο μηχανισμό επιλογής πληροφορίας, συγκρίνονται οι λύσεις της προτεινόμενης προσέγγισης με κάποιες εναλλακτικές μεθόδους επιλογής και παρουσιάζονται οι χρονικές απαιτήσεις του προτεινόμενου αλγορίθμου. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα και κάποιες ιδέες για μελλοντική επέκταση της ανάλυσης του προβλήματος.

Το τέταρτο κεφάλαιο μελετά τη διακίνηση πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο μέσω του προσδιορισμού της σειράς εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται στο μεσισμικό διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος και του καθορισμού της σειράς διανομής των ανανεώσεων της πληροφορίας. Αρχικά, αναλύεται η σχετική βιβλιογραφία. Στη συνέχεια αφού οριστούν οι παράμετροι και τα δεδομένα εισόδου, διατυπώνεται το αντίστοιχο

πρόβλημα βελτιστοποίησης. Με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος προτείνεται ένας νέος δυναμικός αλγόριθμος καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης. Ακολουθεί η ανάλυση της απόδοσης του προτεινόμενου αλγορίθμου συγκριτικά με γνωστούς αλγορίθμους της βιβλιογραφίας εκτελώντας προσομοιώσεις στις οποίες μεταβάλλεται κάθε φορά μία παράμετρος του συστήματος. Επιπλέον, συγκρίνεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος με τις προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη του προβλήματος και οι κατευθύνσεις για μελλοντική εργασία.

Το πέμπτο κεφάλαιο ολοκληρώνει τη διατριβή. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η ανακεφαλαίωση, αναλύεται η συνεισφορά της διατριβής στη έρευνα σχετικά με την παροχή υπηρεσιών με επίγνωση περιβάλλοντος και κυρίως τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος, και τέλος συνοψίζονται οι ιδέες για περαιτέρω έρευνα των προβλημάτων που μελετήθηκαν.

## 1.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Tanenbaum, and M. Van Steen, “*Distributed Systems: Principles and Paradigms*”, Second Edition, ISBN: 0132392275, p. 704, Publisher: Prentice Hall, 2007.
- [2] A. Talukder, and R. Yavagal, “*Mobile Computing: Technology, Applications, and Service Creation*”, First Edition, ISBN: 0071477330, p. 672, Publisher: McGraw-Hill, October 2006.
- [3] M. Weiser, “The Computer for the 21<sup>st</sup> Century”, *Scientific American*, ISSN:0036-8733, Vol. 265, No. 3, pp. 94-104, Publisher: Scientific American, September 1991; reprinted in *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, pp. 19-25, Publisher: IEEE Computer Society, January-March 2002.
- [4] M. Weiser, “Hot Topic: Ubiquitous Computing”, *IEEE Computer*, ISSN: 0018-9162, Vol. 26, No. 3, pp. 71-72, Publisher: IEEE Computer Society, October 1993.
- [5] M. Weiser, “The World is not a Desktop”, *Interactions*, ISSN: 1072-5520, Vol. 1, No. 1, pp. 7-8, Publisher: ACM Press, January 1994.
- [6] M. Weiser, and J. Brown, “The Coming Age of Calm Technology”, *Beyond Calculation: The Next Fifty Years*, ISBN:0-38794932-1, pp. 75-85, Publisher: Copernicus, 1997.
- [7] K. Ducatel, M. Bogdanowicz, F. Scapolo, J. Leijten, and J-C. Burgelman, “Scenarios for Ambient Intelligence in 2010”, IST Programme Advisory Group (ISTAG), European Union Report, <ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf>.
- [8] M. Weiser, “Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing”, *Communications of the ACM, Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World*, ISSN: 0001-0782, Vol. 36, No. 7, pp. 74-83, Publisher: ACM Press, July 1993.
- [9] M. Satyanarayanan, “Pervasive Computing: Vision and Challenges”, *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 8, No. 4, pp.10-17, Publisher: IEEE Computer Society, August 2001.

- [10] D. Saha, and A. Mukherjee, “Pervasive Computing: A Paradigm for the 21<sup>st</sup> Century”, *IEEE Computer*, ISSN: 0018-9162, Vol. 36, No. 3, pp. 25-31, Publisher: IEEE Computer Society, March 2003.
- [11] I. Roussaki, M. Chantzara, S. Xynogalas, and M. Anagnostou, “Provision of VHE Services to Roaming Users”, *Journal of Communications and Networks (JCN), Special issue on Evolving from 3G Deployment to 4G Definition*, ISSN: 1229-2370, Vol. 4, No. 4, pp. 363-369, Publisher: Korean Institute of Communications Sciences (KICS), December 2002.
- [12] I. Roussaki, M. Chantzara, S. Xynogalas, and M. Anagnostou, “The Virtual Home Environment Roaming Perspective”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC’03)*, 11-15 May 2003, Anchorage, Alaska, USA, ISBN: 0-7803-7802-4, Vol. 2, pp. 774-778, Publisher: IEEE Communications Society.
- [13] I. Roussaki, M. Chantzara, S. Xynogalas, and M. Anagnostou, “Virtual Home Environment: Building & Testing an Efficient Prototype”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IEEE Workshop on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN’02)*, 9-11 September 2002, Stockholm, Sweden, ISBN: 0-7803-7605-6, pp. 685-689, Publisher: IEEE Communications Society.
- [14] I. Roussaki, H. Jormakka, S. Xynogalas, A. Laikari, M. Chantzara, and M. Anagnostou, “Multi-terminal and Multi-network Access to Virtual Home Environment”, *Proceedings of the 12<sup>th</sup> IST Mobile and Wireless Telecommunications Summit*, 16-19 June 2002, Thessaloniki, Greece, ISBN: 960-91918-0-0, pp. 468-472, Publisher: Information Society Technologies, June 2002.
- [15] A. Küpper, “*Location-Based Services: Fundamentals and Operation*”, ISBN: 0470092319, p. 386, Publisher: John Wiley & Sons, October 2005.
- [16] T. Moran, and P. Dourish, “Context-Aware Computing”, *A Special Triple Issue of Human-Computer Interaction*, ISBN: 0-8058-9685-6, Vol. 16, No. 2, 3, and 4, p. 336, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [17] A. Dey, and G. Abowd, “Towards a Better Understanding of Context and Context Awareness”, GVVU Technical Report GIT-GVVU-99-22, College of Computing, Georgia Institute of Technology, 1999, <ftp://ftp.cc.gatech.edu/pub/gvu/tr/1999/99-22.pdf>.
- [18] S. Xynogalas, M. Chantzara, I. Sygkouna, S. Vrontis, I. Roussaki, and M. Anagnostou, “Context Management for the Provision of Adaptive Services to Roaming Users”, *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 11, No. 2, pp. 40-47, Publisher: IEEE Communications Society, April 2004.
- [19] M. Satyanarayanan, “Challenges in Implementing a Context-Aware System”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 1, No. 3, pp.2, Publisher: IEEE Computer Society, July-September 2002.
- [20] CONTEXT: Active Creation, Delivery and Management of efficient Context Aware Services, IST-2001-38142- CONTEXT, <http://context.upc.es>.



---

ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΠΙΤΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

---



## 2. ΕΠΙΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις βασικότερες προκλήσεις κατά την υλοποίηση της διάχυτης υπολογιστικής είναι η δημιουργία και παροχή υπηρεσιών που έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τις αποφάσεις και τη λειτουργία τους στο μεταβαλλόμενο φυσικό, κοινωνικό και υπολογιστικό περιβάλλον. Οι υπηρεσίες αυτές ονομάζονται *Υπηρεσίες με Επίγνωση του Περιβάλλοντος (Context-Aware Services)* και αποσκοπούν στην βελτίωση των καθημερινών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, λαμβάνοντας αποφάσεις και εκτελώντας ενέργειες εκ μέρους του με φιλικό και μη-παρεισφρητικό τρόπο. Η ανάπτυξη τέτοιου είδους υπηρεσιών έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας τόσο από πλευράς πανεπιστημίων αλλά και βιομηχανιών την τελευταία δεκαετία.

Ένα ζήτημα κλειδί είναι η διαχείριση των δεδομένων που περιγράφουν τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν. Η ετερογένεια και η κατανομή των πηγών πληροφορίας σε συνδυασμό με τις αυστηρές ποιοτικές προδιαγραφές των υπηρεσιών που χρησιμοποιούν τα δεδομένα εισάγουν την απαίτηση για διαχωρισμό της λογικής των υπηρεσιών από τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων του περιβάλλοντος. Πληθώρες ερευνητικές ομάδες έχουν επικεντρώσει τη μελέτη τους στο πεδίο αυτό, και έχουν αναπτύξει υποδομές οι οποίες υλοποιούν τη απαιτούμενη αφαίρεση (abstraction), και επιτυγχάνουν την ενοποιημένη και ευέλικτη διακίνηση των δεδομένων από τις πηγές στις υπηρεσίες. Ωστόσο, η ανάπτυξη μηχανισμών διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα το οποίο εμπλέκει διάφορα προβλήματα, με αποτέλεσμα να μην έχει ακόμη αναπτυχθεί κάποιο σύστημα που να καλύπτει πλήρως τα ζητούμενα χαρακτηριστικά.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται εκτενέστερα η έννοια της *υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος (Context-Aware Computing)* και το ζήτημα διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος. Η διάρθρωση του κεφαλαίου είναι η εξής: Στη δεύτερη ενότητα (2.2) παρουσιάζονται οι βασικές πτυχές της επίγνωσης του περιβάλλοντος. Στην τρίτη ενότητα (2.3) αναλύεται το ζήτημα της παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος και παρουσιάζονται τα συστήματα που έχουν υλοποιηθεί για τη διαχείριση της. Στην τέταρτη ενότητα (2.4) παρουσιάζεται η προσέγγιση που προτείνει το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα IST CONTEXT [1] για τη δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος, εστιάζοντας στο σύστημα που έχει αναπτύξει για την παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος. Με

βάση το τελευταίο, έχει πραγματοποιηθεί η μελέτη των ειδικότερων προβλημάτων με τα οποία ασχολείται η παρούσα διατριβή. Τέλος, στην πέμπτη ενότητα (2.5) συνοψίζονται όσα παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό και στην έκτη ενότητα (2.6) παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές του κεφαλαίου.

## **2.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕ ΕΠΙΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Στην ενότητα αυτή αρχικά αναλύονται οι τομείς που συνεργάζονται για την υλοποίηση της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος και οι βασικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν (ενότητα 2.2.1). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η έννοια της πληροφορίας περιβάλλοντος (ενότητα 2.2.2). Ειδικότερα, δίνεται ο ορισμός της πληροφορίας περιβάλλοντος (ενότητα 2.2.2.1), αναλύεται η ταξινόμηση της (ενότητα 2.2.2.2) και περιγράφονται ο κύκλος ζωής της και το αντίστοιχο επιχειρησιακό μοντέλο (ενότητα 2.2.2.3). Τέλος, στη ενότητα αυτή παρουσιάζονται κάποια τυπικά παραδείγματα υλοποίησης της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος (ενότητα 2.2.3).

### **2.2.1. Περιγραφή**

Η υπολογιστική με επίγνωση του περιβάλλοντος υπόσχεται να καταστήσει τη λειτουργία των υπηρεσιών πιο προσωποποιημένη και προσαρμόσιμη στις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν. Για να επιτευχθεί αυτό, οι υπηρεσίες ανακτούν πληροφορίες που περιγράφουν οτιδήποτε από το φυσικό, κοινωνικό και υπολογιστικό περιβάλλον εκτέλεσης τους μπορεί να τις επηρεάσει, δηλαδή τα 'συμφραζόμενα' της υπηρεσίας, και πραγματοποιούν ενέργειες ή λαμβάνουν αποφάσεις εκ μέρους των χρηστών. Ένα σύστημα ή υπηρεσία που λειτουργεί με επίγνωση του περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ανθρώπινος υπηρέτης ο οποίος είναι αρμόδιος για τη λήψη αποφάσεων εκ μέρους του χρήστη λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες ανάγκες του και τις συνθήκες που επικρατούν, και λειτουργώντας αξιόπιστα και χωρίς να τον ενοχλεί [2]. Ωστόσο, για την υλοποίηση της επίγνωσης του περιβάλλοντος διακρίνονται δύο προσεγγίσεις: η παθητική και η ενεργή [3]. Σύμφωνα με το μοντέλο της παθητικής επίγνωσης του περιβάλλοντος (passive context-awareness) παρουσιάζονται απλά οι πληροφορίες περιβάλλοντος στο χρήστη και/ή αποθηκεύονται για να τις χρησιμοποιήσει αργότερα. Αντίθετα, στην ενεργή επίγνωση του περιβάλλοντος (active context-awareness), η υπηρεσία αλλάζει αυτόνομα τη συμπεριφορά της με βάση τα δεδομένα του περιβάλλοντος.

Η ανάπτυξη και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος αποτελεί μια δύσκολη εργασία, κυρίως επειδή απαιτεί την αλληλεπίδραση και επικοινωνία κατανεμημένων και σύνθετων πόρων σε περίπλοκα ετερογενή περιβάλλοντα, αλλά και λόγω της κινητικότητας των χρηστών. Προκειμένου να υλοποιηθεί ένα σύστημα με επίγνωση του περιβάλλοντος, οι εξής διαφορετικοί τομείς ανάπτυξης υλικού (hardware) και λογισμικού (software) εμπλέκονται και απαιτείται να συνεργαστούν για τον κοινό σκοπό (Σχήμα 2-1):

- ♦ **Τεχνολογίες αντίγνωσης περιβάλλοντος (sensors) και εφαρμογής δράσεων (actuators):** Η ανάπτυξη υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος προϋποθέτει την ανάπτυξη τεχνικών και τεχνολογιών που θα ενσωματώνονται στο φυσικό περιβάλλον με σκοπό να συλλαμβάνουν την απαιτούμενη πληροφορία από το περιβάλλον με χαμηλό κόστος και κατανάλωση ενέργειας [4], αλλά και/ή να εφαρμόζουν ενέργειες στο περιβάλλον.
- ♦ **Συσκευές:** Η κατασκευή μικρών συσκευών που διαθέτουν μεγάλη υπολογιστική ικανότητα, δυνατότητα συνδεσιμότητας παντού και πάντα και επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες τους να τις μεταφέρουν με ευκολία είναι μια σημαντική απαίτηση για την υλοποίηση συστημάτων με επίγνωση του περιβάλλοντος. Εκτός από τους φορητούς υπολογιστές, τα PDAs (Personal digital assistants) και τα έξυπνα τηλέφωνα, έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας η ανάπτυξη εξαρτημάτων ‘wearable’ υπολογιστικής [5].
- ♦ **Δικτυακή υποδομή:** Η ανάπτυξη ευφών δικτυακών υποδομών, ενσύρματων ή ασύρματων, που με αυτονομία και αυτοματισμό θα καθιστούν δυνατή την επικοινωνία ετερογενών συσκευών, χρησιμοποιώντας εγκατεστημένες ή αυτο-οργανούμενες (ad hoc) συνδέσεις και θα έχουν τη δυνατότητα προγραμματισμού [6] είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν.
- ♦ **Ανακάλυψη και δημιουργία υπηρεσιών:** Για τη δημιουργία υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος απαιτείται η συνεργασία διαφορετικών ετερογενών και κατανεμημένων υπηρεσιών. Επομένως, χρειάζεται να αναπτυχθούν μοντέλα και συστήματα για την ανακάλυψη και σύνθεση αυτόνομων υπηρεσιών ώστε να είναι δυνατή η συνεργασία τους και η δημιουργία νέων πολυπλοκότερων [7]. Εξίσου σημαντικό είναι να αναπτυχθούν μοντέλα λήψης αποφάσεων με βάση τα οποία οι υπηρεσίες θα πραγματοποιούν εκτίμηση του περιβάλλοντος και θα λαμβάνουν αποφάσεις.
- ♦ **Διαχείριση πληροφορίας περιβάλλοντος:** Για την επιτυχημένη παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος, είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν οι κατάλληλοι

μηχανισμοί που θα είναι αρμόδιοι για το χειρισμό της συλλογής, της επεξεργασίας, της αποθήκευσης, και της διακίνησης των πληροφοριών περιβάλλοντος [8]. Το ζήτημα αυτό αναλύεται λεπτομερέστερα στην ενότητα 2.3.

- ♦ **Εκτίμηση χρησιμότητας υπηρεσιών:** Κατά το σχεδιασμό, την ανάπτυξη αλλά και την παροχή των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι απαραίτητο να εκτιμάται η χρησιμότητα των υπηρεσιών, ώστε να καθίσταται δυνατός ο έλεγχος και η προσαρμογή των υπηρεσιών στις ανάγκες των χρηστών [9][10]. Η χρησιμότητα αφορά τόσο στη σωστή εκτέλεση των προδιαγεγραμμένων ενεργειών αλλά και στην ικανοποίηση των ανθρώπινων αξιών. Μέσω της διαδικασίας αυτής ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εκτέλεσης εσφαλμένων δράσεων και εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται στους χρήστες.



Σχήμα 2-1: Υλοποίηση Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος

Οι βασικότερες προκλήσεις κατά την ανάπτυξη ενός συστήματος με επίγνωση του περιβάλλοντος [11][12][13], συχνά αλληλοσυγκρουόμενες, αφορούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- ♦ **Αποδοτικότητα (Efficiency):** Η αποδοτικότητα ενός συστήματος με επίγνωση του περιβάλλοντος αναφέρεται στην γρήγορη και οικονομική εκτέλεση των προδιαγεγραμμένων ενεργειών.
- ♦ **Αποτελεσματικότητα (Effectiveness):** Η αποτελεσματικότητα αναφέρεται στην ποιότητα των ενεργειών που εκτελούνται. Λανθασμένες αποφάσεις ή ενέργειες απειλούν την επιτυχία των συστημάτων, καθώς οι χρήστες χάνουν την εμπιστοσύνη τους.
- ♦ **Επεκτασιμότητα (Extensibility):** Η υλοποίηση της με επίγνωση του περιβάλλοντος υπολογιστικής απαιτεί τη συνεργασία διαφορετικών επιμέρους συστημάτων και

τεχνολογιών. Ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα είναι απαραίτητο να παρέχει τη δυνατότητα επαναδιαμόρφωσης ενώ λειτουργεί. Η προσθήκη νέων κομματιών, είτε λογισμικού είτε υλικού, ή ο εμπλουτισμός των ήδη υπάρχοντων, πρέπει να γίνεται με εύκολο τρόπο και χωρίς να απαιτείται η επανεκκίνηση του συστήματος.

- ♦ **Κλιμάκωση (Scalability):** Η προσθήκη νέων συνιστωσών ή λειτουργιών σε ένα σύστημα με επίγνωση του περιβάλλοντος ή η αύξηση του αριθμού των χρηστών δεν πρέπει να επηρεάζει την απόδοση του συστήματος.
- ♦ **Ευρωστία (Robustness):** Η ευρωστία του συστήματος αναφέρεται στην ικανότητα του να αντιμετωπίζει λάθη ή απρόβλεπτες καταστάσεις. Η ανάπτυξη απλών μεθόδων αντιμετώπισης λαθών δεν αρκούν διότι αυτές συνήθως αντιμετωπίζουν τα αναμενόμενα λάθη ενός συστήματος. Το ζητούμενο στα συστήματα με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι να συνεχίζουν την εκτέλεση τους και σε οποιαδήποτε περίπτωση συμβαίνει κάτι απρόβλεπτο σε μια υπό-μονάδα τους.
- ♦ **Απλότητα (Simplicity):** Η απλότητα στη χρήση αποτελεί μια ακόμη πρόκληση κατά την ανάπτυξη συστημάτων με επίγνωση του περιβάλλοντος. Ο σχεδιασμός διεπαφών και μεθόδων επικοινωνίας φιλικών προς το χρήστη και ικανών να αποκρύψουν την πολυπλοκότητα του συστήματος, είναι η λύση για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης.
- ♦ **Αυτοματισμός (Automation) και Αυτονομία (Autonomy):** Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται στην ικανότητα του συστήματος να αποφασίζει και να δρα από μόνο του σύμφωνα με τις δικές του αποφάσεις και στόχους, χωρίς εξωτερική καθοδήγηση.
- ♦ **Διαφάνεια (Transparency):** Οι ενέργειες που εκτελεί το σύστημα πρέπει να αποφασίζονται παρειαφρόντας κατά τον ελάχιστο δυνατόν βαθμό στη ζωή των χρηστών και δίχως να απαιτείται η συμμετοχή των χρηστών στη λήψη των αποφάσεων.
- ♦ **Προ-δραστηκότητα (Proactivity):** Η προ-δραστηκότητα αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να προβλέπει και να προλαμβάνει καταστάσεις.
- ♦ **Ασφάλεια (Security) και Ιδιωτικότητα (Privacy):** Η πρόκληση αυτή αναφέρεται στη λειτουργία του συστήματος κατά τρόπο που δεν παραβιάζει τα δικαιώματα και την ιδιωτικότητα των χρηστών.

## 2.2.2. Πληροφορία Περιβάλλοντος

### 2.2.2.1. Ορισμός

Τα δεδομένα που ανακτούν και χρησιμοποιούν οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος χαρακτηρίζονται ως *Πληροφορία Περιβάλλοντος (Context Information)*. Ο όρος ‘context’, που η αυστηρή του μετάφραση στην ελληνική γλώσσα είναι ‘συμφραζόμενα’, προέρχεται από την επιστήμη της γλωσσολογίας και αναφέρεται σε ό,τι συνοδεύει ένα κείμενο, είτε γραπτό είτε προφορικό, και βοηθάει/συμπληρώνει τη σωστή κατανόηση του νοήματος του, όπως κάποιο κείμενο που ακολουθεί, κάποια έκφραση του ομιλητή, οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν [12]. Εξάλλου ο όρος ‘context’ προέρχεται από την ένωση των λέξεων ‘con’ (Λατινική μετάφραση: ‘με’) και ‘text’ (Κείμενο). Ο ίδιος όρος χρησιμοποιείται και από άλλα επιστημονικά πεδία για να περιγράψει το περιβάλλον της οντότητας που βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος.

Ειδικότερα, στην περιοχή των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος πολλοί διαφορετικοί ορισμοί έχουν δοθεί για την πληροφορία περιβάλλοντος. Οι όροι ‘context-aware’ και ‘context’ χρησιμοποιήθηκαν πρώτα από τους Schilit και Theimer [14] το έτος 1994, οι οποίοι περιέγραψαν την πληροφορία περιβάλλοντος ως την τοποθεσία, τις ταυτότητες των ατόμων και των αντικειμένων που βρίσκονται στο γύρω χώρο, και τις αλλαγές σε αυτά. Στη συνέχεια, πολλοί και διαφορετικοί ορισμοί δόθηκαν. Οι Ryan, Pascoe και Morse [15] περιέγραψαν την πληροφορία περιβάλλοντος ως πληροφορίες θέσης, ταυτότητας, φυσικού περιβάλλοντος και χρόνου. Ωστόσο, ο επικρατέστερος ορισμός είναι αυτός που προτείνεται από τους Dey, Salber και Abowd [16]. Σύμφωνα με αυτόν:

*“Πληροφορία περιβάλλοντος είναι οποιαδήποτε δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν την κατάσταση μιας οντότητας, όπου μια οντότητα είναι πρόσωπο, θέση, ή αντικείμενο που θεωρείται σχετικό με την αλληλεπίδραση ενός χρήστη και μιας εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένου του χρήστη και της εφαρμογής”.*

Αρκετό ενδιαφέρον έχει προκαλέσει η εξήγηση και η ανάλυση του τι είναι πληροφορία περιβάλλοντος [17]. Υπάρχει ωστόσο σύγκλιση στο ότι αναφέρεται στην πληροφορία που επιχειρεί να περιγράψει τις συνθήκες που επικρατούν κατά την εκτέλεση μιας υπηρεσίας. Επίσης, έχουν καταγραφεί διάφορες λίστες με τα διαφορετικά είδη πληροφορίας. Όμως οι περισσότερες από αυτές έχουν συντεθεί με βάση τη συγκεκριμένη εφαρμογή που μελετάται. Η λίστα πληροφορίας περιβάλλοντος που παρουσιάζεται στο [18] περιλαμβάνει όλα τα είδη δεδομένων που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως πληροφορία περιβάλλοντος σε σχέση με



κάποια παραδείγματα υπηρεσιών που τα αξιοποιούν. Συνοπτικά, η πληροφορία περιβάλλοντος περιλαμβάνει τα ακόλουθα δεδομένα:

- ♦ *Πληροφορίες χρηστών*, όπως όνομα, ηλικία, επάγγελμα, λογιστικές πληροφορίες, καταχωρήσεις ημερολογίων και ατζέντας
- ♦ *Προσωπικές πληροφορίες*, όπως υγεία, διάθεση, χόμπι και ενδιαφέροντα
- ♦ *Πληροφορίες δραστηριότητας*, όπως ‘τι κάνει ο χρήστης τώρα’ και ‘με ποιον βρίσκεται ο χρήστης αυτή τη συγκεκριμένη στιγμή’
- ♦ *Κοινωνικές πληροφορίες*, όπως φίλοι, οικογένεια, εργοδότης, υφιστάμενοι και συνάδελφοι
- ♦ *Κανόνες ορισμένους από τον χρήστη*, όπως ‘να μην ενοχληθεί όταν βρίσκεται στη θέση X ή με το πρόσωπο Y’
- ♦ *Πληροφορίες χώρου*, όπως πληροφορίες θέσης, καιρός και περιβάλλουσες εγκαταστάσεις
- ♦ *Πληροφορίες εφαρμογής*, όπως οι λειτουργίες που παρέχει η εφαρμογή που χρησιμοποιεί ο χρήστης
- ♦ *Πληροφορίες τερματικού*, όπως τύπος του τερματικού, τύπος σύνδεσης, εγκατεστημένα εργαλεία/ προγράμματα και εγκατεστημένες περιφερειακές μονάδες
- ♦ *Πληροφορίες δικτύου*, όπως τοπολογία και χαρακτηριστικά ποιότητας

Οι πηγές πληροφορίας περιβάλλοντος απαρτίζονται από αισθητήρες οι οποίοι συλλαμβάνουν ή/και παράγουν δεδομένα, τους χρήστες των υπηρεσιών οι οποίοι εισάγουν προσωπικά δεδομένα ή προτιμήσεις τους, τη δικτυακή υποδομή και τα τερματικά των χρηστών. Ακολουθώντας την κατηγοριοποίηση των αισθητήρων εντοπισμού θέσης που προτείνουν οι Indulska και Sutton [19], οι αισθητήρες ταξινομούνται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- ♦ ***Φυσικούς Αισθητήρες (Physical Sensors)***: Η ομάδα αυτή αποτελείται από τους ‘hardware’ αισθητήρες οι οποίοι συλλαμβάνουν δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον [20]. Παραδείγματα αισθητήρων της κατηγορίας αυτής είναι: κάμερες, θερμόμετρα, συσκευές εντοπισμού θέσης και βίο-αισθητήρες.
- ♦ ***Εικονικούς Αισθητήρες (Virtual Sensors)***: Η ομάδα αυτή αποτελείται από εφαρμογές οι οποίες συλλαμβάνουν με εικονικό τρόπο δεδομένα από το περιβάλλον, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας τις καταχωρήσεις στο ημερολόγιο του χρήστη μπορεί να εντοπιστεί το που ή με ποιους βρίσκεται ο χρήστης τη δεδομένη χρονική στιγμή.

- ♦ **Λογικούς Αισθητήρες (Logical Sensors):** Η ομάδα αυτή αποτελείται από υπηρεσίες οι οποίες επεξεργάζονται δεδομένα που προέρχονται από άλλες πηγές και παράγουν νέα δεδομένα.

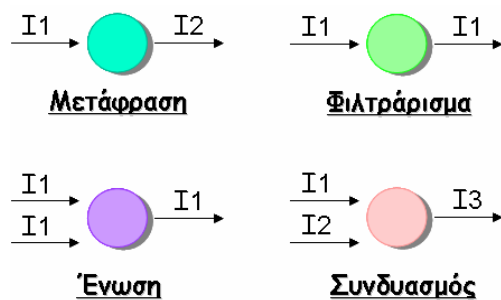
### 2.2.2.2. Ταξινόμηση

Ως προς το ρυθμό ανανέωσης της, η πληροφορία περιβάλλοντος διακρίνεται σε :

- ♦ **Στατική (Static):** Όταν τα δεδομένα παραμένουν σταθερά ή μεταβάλλονται με πολύ μικρή συχνότητα, όπως τα προσωπικά στοιχεία του χρήστη.
- ♦ **Δυναμική (Dynamic):** Όταν τα δεδομένα αλλάζουν συχνά, όπως η γεωγραφική θέση του χρήστη.

Επίσης, ως προς την επεξεργασία που έχει προηγηθεί τα δεδομένα διακρίνονται σε:

- ♦ **Πρωτογενή δεδομένα (Raw/Primary data),** που ανακτώνται από τους αισθητήρες ή από τους χρήστες.
- ♦ **Υψηλού επιπέδου δεδομένα (High-level data),** που προκύπτουν από την επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων. Τα βασικότερα είδη επεξεργασίας [21] που πραγματοποιούν οι υπηρεσίες επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων είναι (Σχήμα 2-2):
  1. **Μετατροπή/Μετάφραση (Interpretation),** κατά την οποία μετατρέπονται τα δεδομένα από μια μορφή σε άλλη.
  2. **Φιλτράρισμα (Filtering),** κατά το οποίο απομονώνεται κάποιο κομμάτι δεδομένων.
  3. **Ένωση (Merging),** κατά την οποία τα δεδομένα που αφορούν την ίδια οντότητα αλλά αναφέρονται σε διαφορετική χρονική περίοδο ενσωματώνονται σε ένα κομμάτι πληροφορίας.
  4. **Συνδυασμός (Aggregation),** κατά την οποία διαφορετικά δεδομένα συνθέτονται για να προκύψει νέα πληροφορία. Στην κατηγορία αυτή η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων γνωστή ως ‘inference’ ή ‘reasoning’.



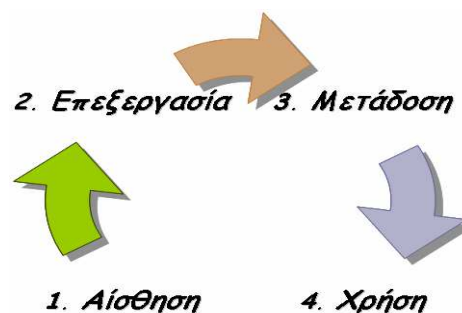
Σχήμα 2-2: Είδη Επεξεργασίας Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Επίσης, ως προς τη χρονική ισχύ των δεδομένων, διακρίνονται οι εξής δύο περιπτώσεις:

- ♦ **Σύγχρονα δεδομένα (Current data)**: Τα δεδομένα αυτά είναι επίκαιρα και περιγράφουν τις σύγχρονες συνθήκες.
- ♦ **Ιστορικά δεδομένα (Historical data)**: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δεδομένα που αποθηκεύονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν καταστάσεις με βάση την παρελθοντική συμπεριφορά ή για να απαντήσουν ερωτήματα σχετικά με αλλαγές στις τιμές της πληροφορίας (π.χ. αν έχει μεταβληθεί η θερμοκρασία πάνω από τρεις φορές την τελευταία μισή ώρα) [22]. Για παράδειγμα, ο Su, Lee και Gerla [23] χρησιμοποιούν τα ιστορικά δεδομένα για να προβλέψουν την κινητικότητα των χρηστών και οι Salber και Abowd [24] προτείνουν τη χρήση ιστορικών δεδομένων για να εντοπίσουν κοινά ενδιαφέροντα στους χρήστες με βάση το ιστορικό πλοήγησης τους στο διαδίκτυο.
- ♦ **Μελλοντικά δεδομένα (Future data)**: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δεδομένα που αναφέρονται σε μελλοντικά σχέδια των χρηστών ή στον προγραμματισμό κάποιων γεγονότων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των τρεχόντων αποφάσεων [22]. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία που βοηθάει τον χρήστη να κινηθεί στην πόλη θα ήταν χρήσιμο να γνωρίζει ότι σε μια συγκεκριμένη πλατεία έχει οργανωθεί μια συγκέντρωση διαμαρτυρίας και να σχεδιάσει ανάλογα τη διαδρομή.

### 2.2.2.3. Κύκλος Ζωής Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Μέχρι να χρησιμοποιηθεί από τις υπηρεσίες, η πληροφορία περιβάλλοντος ακολουθεί έναν κύκλο ζωής (ή αλυσίδα πληροφορίας περιβάλλοντος όπως περιγράφεται στο [25]) που αποτελείται από τέσσερις διαφορετικές φάσεις (Σχήμα 2-3) [26].

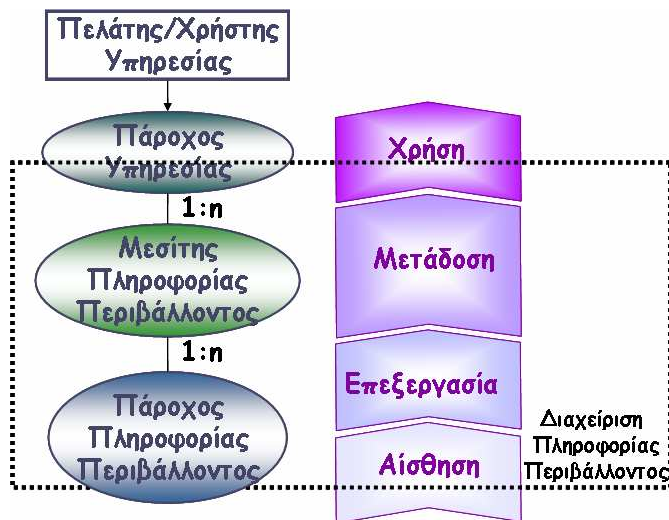


Σχήμα 2-3: Κύκλος Ζωής Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Η πρώτη φάση αφορά στην *αίσθηση της πληροφορίας περιβάλλοντος (context information sensing)*, δηλαδή την ανάκτηση πρωτογενών δεδομένων από τις πηγές πληροφορίας. Η

δεύτερη φάση αναφέρεται στην επεξεργασία της πληροφορίας περιβάλλοντος (*context information processing*). Η τρίτη φάση αφορά στη μετάδοση της πληροφορίας περιβάλλοντος (*context information dissemination*), δηλαδή τη διακίνηση της πληροφορίας από τους παραγωγούς προς τους καταναλωτές της. Τέλος, ο κύκλος ζωής της πληροφορίας τελειώνει με τη χρήση της πληροφορίας περιβάλλοντος (*context information usage*) από τις υπηρεσίες.

Εξετάζοντας το ζήτημα της παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος από εμπορική σκοπιά, είναι προφανές ότι οι τρεις αρχικές φάσεις του κύκλου ζωής αποκαλύπτουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες και ρόλους [25][26] (Σχήμα 2-4).



Σχήμα 2-4: Επιχειρησιακό Μοντέλο

Η αίσθηση της πληροφορίας αφορά στον ιδιοκτήτη του εξοπλισμού ανίχνευσης που ανακτά την πληροφορία από το περιβάλλον, δηλαδή τον *πάροχο πληροφορίας περιβάλλοντος* (*Context Provider*). Η επεξεργασία της πληροφορίας περιβάλλοντος εισάγει έναν νέο επιχειρηματικό ρόλο που εκμεταλλεύεται τη δυνατότητα του να κατεργάζεται τα δεδομένα και να παράγει νέες πληροφορίες. Ο νέος ρόλος που προκύπτει χαρακτηρίζεται και αυτός ως πάροχος πληροφορίας περιβάλλοντος. Τέλος, ο ρόλος του *διακινητή/μεσίτη της πληροφορίας* (*Context Broker*) εκμεταλλεύεται την υπολογιστική δύναμη που διαθέτει και τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων.

### 2.2.3. Υλοποίηση της Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος

Η συμβολή της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος στη βελτίωση της ποιότητας ζωής έχει ευρέως αναγνωριστεί. Ως αποτέλεσμα, έχουν ήδη αναπτυχθεί διάφορες υπηρεσίες που αναφέρονται σε διάφορες πτυχές της ανθρώπινης ζωής. Ένα από τα πρώτα

συστήματα που υλοποιήθηκαν είναι το Active Badges [27], το οποίο αναπτύχθηκε από το εργαστήριο Olivetti Research Lab. Το σύστημα αυτό προτείνει ένα νέο τρόπο εντοπισμού της θέσης των χρηστών σε εσωτερικούς χώρους και αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών. Κάθε άτομο κουβαλάει ένα ηλεκτρονικό διακριτικό (badge) το οποίο μεταδίδει την θέση του στο κτίριο. Με βάση τη θέση του, αλλάζει η συμπεριφορά των προγραμμάτων που εκτελούνται στους κοντινούς σταθμούς εργασίας. Ο χώρος εργασίας αποτέλεσε το πρώτο περιβάλλον εφαρμογής της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος. Η μικρή φορητή συσκευή ParcTab [28] που υλοποιήθηκε από το Xerox Parc είναι ένα από τα πρώτα παραδείγματα. Οι υπηρεσίες [29] που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιούν πληροφορίες θέσης των συσκευών και των ανθρώπων, ώστε να διευκολύνουν την επικοινωνία των συνεργατών, τον έλεγχο εξ' αποστάσεων, την πρόσβαση σε πληροφορίες ανεξαρτήτως της θέσης των χρηστών και την παράδοση υπενθυμίσεων.

Οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα ταξινομούνται με βάση τη σκοπιμότητά τους στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

1. **Επικοινωνία:** Η προσαρμογή των ιδιοτήτων των κλίσεων επικοινωνίας στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν και τις επιθυμίες των χρηστών είναι ένα από τα πρώτα πεδία εφαρμογής της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος. Έτσι λοιπόν, διάφορες υπηρεσίες που αναφέρονται στην επικοινωνία μέσω τηλεφώνου, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, μηνυμάτων (instant messaging) και τηλεδιάσκεψης έχουν αναπτυχθεί. Οι Schilit, Hilbert και Trevor [30] διαχωρίζουν τις υπηρεσίες αυτές στα εξής τρία είδη: 1. Δρομολόγηση κλίσεων: Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν το Etherphone [31] και το Ubiquitous Message Delivery [28] από το Xerox Parc. Το πρώτο ασχολείται με τη δρομολόγηση των εισερχόμενων κλίσεων του χρήστη στην κοντινότερη συσκευή και το δεύτερο ασχολείται με τη δρομολόγηση μηνυμάτων κειμένου. 2. Εύρεση των ατόμων που θα συμμετέχουν στην επικοινωνία: Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η υπηρεσία Context-Aware Mailing List [16] από το Georgia Institute of Technology, η οποία υλοποιεί τη δυναμική σύνθεση της λίστας παραληπτών σε ένα ηλεκτρονικό μήνυμα σύμφωνα με την παρουσία τους στο κτίριο. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκει και η υπηρεσία Whiteboard του συστήματος ParcTab [29]. Η υπηρεσία αυτή διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων που επιλέγονται από την κοινή τοποθεσία και το αντικείμενο εργασίας. 3. Ενημέρωση καλούντων και καλούμενων: Τα προγράμματα Context-Call [32] και Calls.Calm [33] ασχολούνται με την παροχή στους καλούντες της κατάλληλης πληροφορίας ώστε να λάβουν την απόφαση σχετικά με την έναρξη μιας κλήσης. Το

- σύστημα Telme [34] διευκολύνει την επικοινωνία των ανθρώπων που μιλούν διαφορετικές γλώσσες.
2. **Ανάκτηση πληροφορίας:** Η εφαρμογή της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος στην ανάκτηση πληροφοριών την καθιστά αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη. Ειδικότερα, με την εκμετάλλευση της πληροφορίας περιβάλλοντος γίνεται φιλτράρισμα της διαθέσιμης πληροφορίας και παρουσιάζονται τελικά στο χρήστη μόνο τα δεδομένα που ταιριάζουν στις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν [35][36]. Αρχικά, ως πληροφορία περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε η γεωγραφική θέση του χρήστη αλλά στη συνέχεια αναπτύχθηκαν πολυπλοκότερες εφαρμογές που χρησιμοποιούν και άλλες πληροφορίες όπως οι προσωπικές προτιμήσεις του χρήστη και ο ρόλος του. Στα πλαίσια της κατηγορίας αυτής, έχουν αναπτυχθεί κυρίως τουριστικοί οδηγοί, και οδηγοί μουσείων, εκθέσεων και συνεδρίων. Το πρόγραμμα GUIDE [37] έχει αναπτύξει ένα σύστημα τουριστικής περιήγησης για τους επισκέπτες της πόλης Lancaster στη Βρετανία. Το σύστημα ανακτά πληροφορίες σχετικά με το φυσικό περιβάλλον και τις προτιμήσεις του χρήστη, και απεικονίζει τις κατάλληλες πληροφορίες στις συσκευές των χρηστών, οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο ασύρματο δίκτυο που έχει εγκατασταθεί στην πόλη. Για παράδειγμα, εάν ένας χρήστης ενδιαφέρεται για τις ιστορικές πληροφορίες του τόπου, το σύστημα τον κατευθύνει σε έναν αντίστοιχο περίπατο δίνοντας του τις σχετικές οδηγίες για να κινηθεί, και περιγράφει όσα βλέπει ο χρήστης από ιστορική σκοπιά. Παρόμοιες υπηρεσίες (χάρτες και πληροφορίες σύμφωνα με τη γεωγραφική θέση) προσφέρει το σύστημα Cyberguide [38] στους επισκέπτες των χώρων της πανεπιστημιούπολης του Georgia Institute of Technology. Επίσης, έχει αναπτυχθεί από τον Oppermann [39] ένας οδηγός περιήγησης σε μία έκθεση που ονομάζεται Hippie και από τους Dey, Salber κ.α. [40] μια υπηρεσία που προσφέρει βοήθεια κατά τη διάρκεια ενός συνεδρίου. Η τελευταία συμβουλευεί τους συμμετέχοντες στο συνέδριο σχετικά με τις παρουσιάσεις που ταιριάζουν στις προτιμήσεις τους και ανακτά πληροφορία σχετικά με την πρόοδο του συνεδρίου.
  3. **Υπενθυμίσεις:** Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στις υπηρεσίες που επιτρέπουν στους χρήστες να γράψουν σημειώματα με υπενθυμίσεις για τους ίδιους ή άλλους χρήστες. Κάθε υπενθύμιση αφορά συγκεκριμένες συνθήκες και παραδίδεται στον κατάλληλο αποδέκτη, όταν οι συνθήκες αυτές πραγματοποιηθούν. Το πρόγραμμα CybreMinder [41] έχει ασχοληθεί με την προσάρτηση υπενθυμίσεων, που μοιάζουν με μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (καθώς περιλαμβάνουν: παραλήπτη, θέμα, προτεραιότητα, χρόνο λήξης και βασικό κείμενο μηνύματος) σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Με παρόμοιο αντικείμενο έχει ασχοληθεί και το πρόγραμμα ComMotion [42]. Όμως το ComMotion λαμβάνει υπόψη του

μόνο πληροφορίες σχετικές με τη γεωγραφική θέση και το χρόνο, ενώ το CybreMinder ασχολείται με πολυπλοκότερα δεδομένα, που προκύπτουν από το συνδυασμό πληροφοριών, για παράδειγμα όταν δύο χρήστες βρίσκονται στον ίδιο χώρο ή όταν πρόκειται να βρέξει και ο χρήστη φεύγει από το σπίτι. Στην ίδια κατηγορία ανήκει και το Stick-E Notes [43]. Σύμφωνα με αυτό, οι χρήστες προσαρτούν σημειώσεις στις διάφορες πληροφορίες περιβάλλοντος και στη συνέχεια όταν οι αντίστοιχες συνθήκες που περιγράφουν συμβούν, ενεργοποιείται η εμφάνιση των σημειώσεων. Μια σημείωση περιλαμβάνει κείμενο, ιστοσελίδες, προγράμματα για να εκτελεστούν ή διαφορετικές διεπαφές χρήστη. Αντίθετα με τις προηγούμενες υπηρεσίες που ασχολούνται με συνθήκες περιβάλλοντος που ισχύουν στο μέλλον, η υπηρεσία Forget-me-not του συστήματος ParcTab [44] χρησιμοποιεί τις παρούσες συνθήκες του χρήστη για να παραδώσει υπενθυμίσεις για τα γεγονότα που συνέβησαν. Για παράδειγμα, ένας χρήστης θα μπορούσε να ζητήσει από την υπηρεσία: 'Βρες μου τις σημειώσεις που κράτησα περίπου πριν από ένα χρόνο στην αίθουσα διασκέψεων που ήμουν με τους συγκεκριμένους συνεργάτες, ενώ έξω έβρεχε έντονα'.

4. **Ευφυή περιβάλλοντα:** Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στις πιο εξελιγμένες υπηρεσίες και αφορά περιβάλλοντα ή συσκευές, στα οποία έχουν προσαρτηθεί αισθητήρες που παρακολουθούν τις συνθήκες και τους χρήστες και ενεργοποιούν τις αντίστοιχες δράσεις. Χώροι όπως τα σπίτια και οι αίθουσες εργασίας είναι οι βασικές περιοχές λειτουργίας τέτοιου είδους υπηρεσιών. Οι στόχοι τους διαφέρουν από υπηρεσία σε υπηρεσία. Κάποιες υπηρεσίες στοχεύουν στον εντοπισμό καταστάσεων επείγουσας ανάγκης, όπως για παράδειγμα στις περιπτώσεις ηλικιωμένων ή ασθενών [45]. Άλλες χρησιμοποιούν την πληροφορία περιβάλλοντος για τον αυτόματο έλεγχο των συσκευών του χώρου [46], όπως να ανάψουν τα φώτα, τον κλιματισμό. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει το πρόγραμμα Aware Home [48] στο Georgia Institute of Technology το οποίο ασχολείται με την προσφορά υπηρεσιών που καλυτερεύουν την ποιότητα ζωής στο σπίτι. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται σε αίθουσες διδασκαλίας, όπως το Classroom 2000 [49], ή διασκέψεων, όπως το Dynamic Ubiquitous Mobile Meeting Board (DUMMBO) [50], συνήθως στοχεύουν στην αποδοτικότερη συνεργασία των παρευρισκόμενων ή τη συμμετοχή ατόμων εξ' αποστάσεως. Επίσης, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και οι δικτυακές υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τους τις συνθήκες του δικτύου και τις προτιμήσεις των χρηστών για να βελτιστοποιήσουν την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας [51]. Στην περίπτωση αυτή, το περιβάλλον εκτέλεσης της υπηρεσίας περιλαμβάνει τη δικτυακή υποδομή. Κάποια παραδείγματα δικτυακών υπηρεσιών με

επίγνωση του περιβάλλοντος είναι η προσαρμογή της ποιότητας υπηρεσιών κατά την τηλεδιάσκεψη, η δρομολόγηση των πακέτων κατά τη χρήση της υπηρεσίας μεταφοράς αρχείων και η επιλογή του δικτύου πρόσβασης.

Ενώ η εφαρμογή της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος ξεκίνησε με την υλοποίηση υπηρεσιών που χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά την γεωγραφική θέση των χρηστών για να προσωποποιήσουν τις υπηρεσίες (location-based services), σύντομα επεκτάθηκε σε πιο προηγμένες υπηρεσίες που συνυπολογίζουν και άλλα δεδομένα από το περιβάλλον. Επίσης, ενώ αρχικά το πεδίο εφαρμογής ήταν ο χώρος εργασίας, τα τελευταία χρόνια η υπολογιστική με επίγνωση του περιβάλλοντος έχει εφαρμοστεί και σε άλλου είδους περιβάλλοντα [52]. Παραδείγματα αντίστοιχων υπηρεσιών που έχουν αναπτυχθεί προσφάτως, αναφέρονται στην παρακολούθηση ηλικιωμένων και ασθενών [53], στην εκπαίδευση [54][55], στο σπίτι [56], στον τουρισμό [57], στον αθλητισμό [58], στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε ανοικτούς χώρους [59], όπως οι πυρκαγιές [60], και στα μέσα μεταφοράς [61] [62].

Επίσης, ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος σχετίζεται με τον εμπλουτισμό των καθημερινών συσκευών και αντικειμένων με επίγνωση του περιβάλλοντος (context-aware artifacts) [63]. Συγκεκριμένα, έχουν αναπτυχθεί κινητά τηλέφωνα που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος, όπως το SenSay [64], το οποίο αναγνωρίζει μέσω αισθητήρων την επικρατούσα κατάσταση και αποφασίζει ανάλογες δράσεις, που σχετίζονται με τον έλεγχο του επιπέδου του ήχου και της δόνησης, την αποστολή μηνυμάτων σε όσους καλούν και την εισήγηση κλήσεων που πρέπει να γίνουν, και το MIThril Context-Aware Cell Phone [65] που έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει τη θέση του χρήστη και τη δραστηριότητα του. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορες καθημερινές συσκευές που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος. Παραδείγματα τέτοιων έξυπνων συσκευών είναι τα εξής: Η κούπα Mediacup [66], η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος Technology for Enabling Awareness (TEA), έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του καφέ, 'αν έχει αδειάσει' και τη σχετική θέση της (στατική ή κινείται). Διάφορα έξυπνα αντικείμενα έχουν αναπτυχθεί από το εργαστήριο Media Lab στο MIT (Massachusetts Institute of Technology) [67], όπως το κύπελλο Chameleon Mug το οποίο μετρά την θερμότητα που υγρού που περιέχει και εμφανίζει σχετικά μηνύματα, το έξυπνο κουτάλι Intelligent Spoon που μετρά τη θερμοκρασία, την αλμυρότητα, την οξύτητα και τη ρευστότητα του φαγητού με το οποίο έρχεται σε επαφή και προτείνει ανάλογες ενέργειες, το τραπέζι Chameleon Table το οποίο εντοπίζει ποιος, που, πως και πότε το χρησιμοποιεί. Η κούκλα Context-Aware Sensor-Doll [68] εκπέμπει ήχους και μουσική ανάλογα με την κατάσταση της και το πώς την χειρίζεται ο



χρήστης, για παράδειγμα αν τη σηκώνει ψηλά. Η κρεμάστρα [69] έχει επίγνωση του καιρού και φωτίζεται ανάλογα με το δελτίο καιρού. Το έξυπνο πάτωμα Smart Floor [70] εντοπίζει την ταυτότητα του ατόμου που έχει εισέλθει στο χώρο με βάση τα χαρακτηριστικά του περπατήματός του.

#### **2.2.4. Ανθρώπινες Πτυχές της Υπολογιστικής με Επίγνωση του Περιβάλλοντος**

Οι υπεύθυνοι ανάπτυξης συστημάτων και υπηρεσιών που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος έρχονται αντιμέτωποι με διάφορα ζητήματα που αφορούν στην ικανοποίηση των χρηστών και είναι αρκετά σημαντικά προκειμένου να εξασφαλιστεί η εμπορευσιμότητα των υπηρεσιών που αναπτύσσουν. Τα ζητήματα που προκαλούν δυσπιστία στους χρήστες στο να εμπιστευθούν και να χρησιμοποιήσουν τέτοιου είδους συστήματα αφορούν στα εξής:

- ♦ Από τη μία η αυτονομία και η προ-δραστηκότητα των συστημάτων μπορεί εύκολα να οδηγήσει στην αίσθηση έλλειψης ελέγχου από την πλευρά των χρηστών και από την άλλη ο συνεχής έλεγχος από τους χρήστες συνεπάγεται απώλεια της διαφάνειας [71] [72].
- ♦ Εισάγοντας την επίγνωση του περιβάλλοντος στις υπηρεσίες, προσωπικά στοιχεία των χρηστών συλλέγονται και χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα να νιώθουν ότι απειλείται η προσωπική τους ζωή [73].
- ♦ Είναι αδύνατον να αντικατασταθεί το ανθρώπινο μυαλό από μια μηχανή και άρα είναι δύσκολο να υλοποιηθεί η έννοια της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος ως ένας ευφυής ανθρώπινος υπηρέτης [74], με αποτέλεσμα τα συστήματα που υλοποιούνται να είναι ιδιαίτερα επιρρεπή σε λάθη.

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα, τα συστήματα με επίγνωση του περιβάλλοντος καλούνται να χαρακτηρίζονται από σαφήνεια (intelligibility), δηλαδή να έχουν την ικανότητα να εκφράσουν τι γνωρίζουν, πως το γνωρίζουν και πως ενεργούν, αλλά και από υπευθυνότητα (accountability) όταν πρέπει να εκτελέσουν ενέργειες που προσκρούουν σε άλλες [75]. Ωστόσο, ο σχεδιασμός συστημάτων που θα σέβονται τις ανθρώπινες, κοινωνικές και ηθικές αξίες έχει τεράστια δυσκολία [76].

## 2.3. ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### 2.3.1. Απαιτήσεις

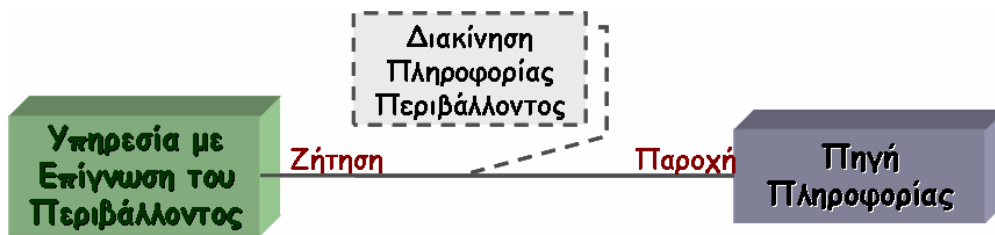
Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος είναι ζήτημα κλειδί, προκειμένου οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος να λειτουργούν με αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Ο σχεδιαστής ενός τέτοιου συστήματος καλείται να αντιμετωπίσει διάφορες προκλήσεις, όπως η έλλειψη τυπικότητας και γενικότητας στην πληροφορία περιβάλλοντος, η ετερογένεια και η κατανομή της πληροφορίας, καθώς και η ύπαρξη σύνθετων σχέσεων μεταξύ των διαφόρων ειδών δεδομένων από το περιβάλλον. Επίσης, εκτός από την ευελιξία και την αξιοπιστία που απαιτείται να προσφέρει το σύστημα διαχείρισης πληροφορίας, η κλιμάκωση, και η υποστήριξη της κινητικότητας των πηγών και των χρηστών αποτελούν καίρια ζητήματα. Ειδικότερα, στα πλαίσια ανάπτυξης ενός συστήματος παροχής πληροφορίας, τα θέματα που πρέπει να εξεταστούν και να αντιμετωπιστούν [77] είναι τα εξής:

- ♦ Ανθρωπομορφικό μοντέλο περιγραφής της πληροφορίας περιβάλλοντος
- ♦ Μηχανισμοί ανακάλυψης, συλλογής και διανομής της πληροφορίας περιβάλλοντος
- ♦ Αλγόριθμοι επεξεργασίας με βάση τους οποίους από τα πρωτογενή δεδομένα παράγονται υψηλού επιπέδου δεδομένα
- ♦ Μηχανισμοί ανανέωσης και αποθήκευσης των δεδομένων, και μηχανισμοί συλλογής και αποθήκευσης ιστορικών δεδομένων
- ♦ Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης της διακίνησης της πληροφορίας ως προς το χρόνο και το υπολογιστικό κόστος, όπως η προσωρινή φύλαξη (caching), η αποθήκευση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πολλαπλά σημεία (replication), η διανομή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- ♦ Μηχανισμοί που εξασφαλίζουν ότι η πρόσβαση στην πληροφορία περιβάλλοντος δεν παραβιάζει τα δικαιώματα των χρηστών και ότι η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με ασφάλεια

### 2.3.2. Αρχιτεκτονικές Προσεγγίσεις

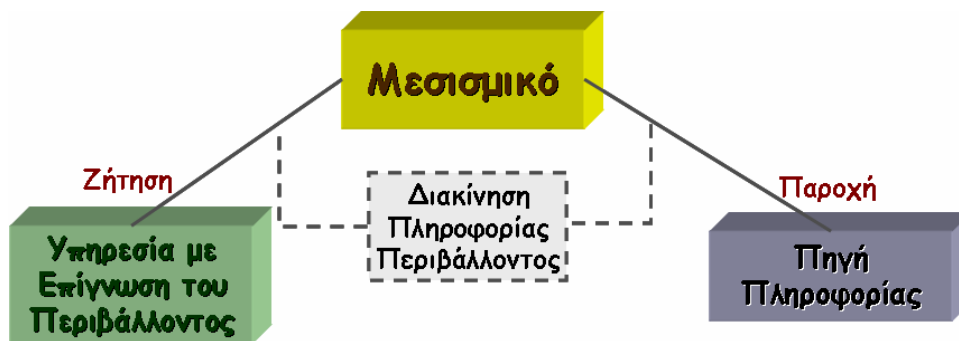
Στις πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος, οι υπηρεσίες συνδέονταν στενά με τις πηγές πληροφορίας. Δηλαδή, οι υπηρεσίες ήταν οι ίδιες υπεύθυνες να ανακτούν την απαιτούμενη πληροφορία επικοινωνώντας με τις πηγές (Σχήμα 2-5). Εξάλλου, οι πρώτες υπηρεσίες με επίγνωση που αναπτύχθηκαν λάμβαναν υπόψη τους

μόνο τις πληροφορίες γεωγραφικής θέσης οι οποίες συλλέγονταν από τον ίδιο πάροχο με αυτόν της υπηρεσίας [27]. Όμως, το γεγονός ότι οι πηγές και οι διεπαφές επικοινωνίας με αυτές αλλάζουν δυναμικά σε συνδυασμό με την κινητικότητα των χρηστών, απαιτεί από τους υπεύθυνους ανάπτυξης υπηρεσιών να σπαταλήσουν χρόνο και έργο προγραμματίζοντας την αλληλεπίδραση με τις νέες πηγές πληροφορίας περιβάλλοντος. Γι' αυτό το λόγο, η προσέγγιση αυτή γρήγορα εγκαταλείφθηκε, καθώς κάνει ιδιαίτερα δύσκολη την κατασκευή μιας νέας υπηρεσίας με επίγνωση του περιβάλλοντος ή ακόμη την επέκταση μιας υπάρχουσας.



Σχήμα 2-5: Διακίνηση Πληροφορίας - Άμεση Επικοινωνία με τις Πηγές

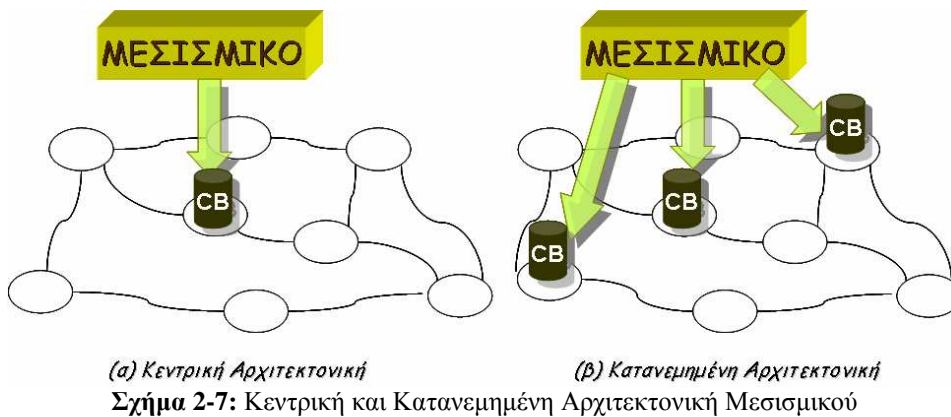
Εις αντικατάσταση του μοντέλου αυτού, προτάθηκε η χρήση λύσεων μεσισμικού (*middleware*) με τις οποίες επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των υπηρεσιών από τη διαδικασία συλλογής της πληροφορίας. Το μεσισμικό προσφέρει τυποποιημένες διεπαφές ζήτησης και παροχής πληροφορίας, που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι καταναλωτές και οι προμηθευτές της πληροφορίας, και είναι υπεύθυνο για την παροχή της πληροφορίας στους καταναλωτές. Με τον τρόπο αυτό οι υπηρεσίες επικοινωνούν με το μεσισμικό χρησιμοποιώντας τις διεπαφές, χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν λεπτομέρειες σχετικά με τη φυσική τοποθεσία των πηγών.



Σχήμα 2-6: Διακίνηση Πληροφορίας - Έμμεση Επικοινωνία με τις Πηγές

Τα συστήματα διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος που ακολουθούν τη λύση του μεσισμικού διακρίνονται σε αυτά που ακολουθούν την *κεντρική (centralized) αρχιτεκτονική* (Σχήμα 2-7(α)) και σε αυτά που ακολουθούν την *κατανεμημένη (distributed) αρχιτεκτονική* (Σχήμα 2-7(β)). Σύμφωνα με την κεντρική αρχιτεκτονική, όπως αυτή που προτείνεται από τους Fahy και Clarke [78], ένας μεσίτης (ή υπηρεσία ή εξυπηρετητής) πληροφορίας περιβάλλοντος (*Context Broker - CB*) διαχειρίζεται τη διανομή της πληροφορίας προς τις υπηρεσίες. Ωστόσο,

το μοντέλο αυτό υπολείπεται τεχνικά και λειτουργικά ως προς την κλιμάκωση, την επεκτασιμότητα και την απόδοση που επιτυγχάνει καθώς απαιτεί μεγάλη υπολογιστική δύναμη για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού αιτημάτων και χώρο για την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Για τους παραπάνω λόγους, η κεντρική αρχιτεκτονική θα μπορούσε να εφαρμοστεί στη συλλογή πληροφορίας σε τοπικά δίκτυα, όπου οι πηγές και οι υπηρεσίες που λειτουργούν είναι λιγοστές και δεν ζητείται η επικοινωνία με πηγές εκτός του τοπικού δικτύου. Αντίθετα, στην περίπτωση των μεγάλης κλίμακας (large-scale) συστημάτων συλλογής πληροφορίας εφαρμόζεται η κατακεντρωμένη αρχιτεκτονική, όπου κάθε μεσίτης πληροφορίας είναι υπεύθυνος για τη συλλογή των τοπικών δεδομένων και την απόκριση στα αιτήματα για ανάκτηση πληροφορίας από τις υπηρεσίες που εκτελούνται τοπικά. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν μηχανισμούς επικοινωνίας μεταξύ των κατακεντρωμένων μεσιτών πληροφορίας προκειμένου να επιτυγχάνεται η σφαιρική συλλογή της κατακεντρωμένης πληροφορίας.



Ειδικότερα, στην περίπτωση των κατακεντρωμένων συστημάτων διακρίνονται οι εξής προσεγγίσεις:

- ♦ Οι συνιστώσες που απαρτίζουν το μεσισμικό είναι κατακεντρωμένες και επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα απομακρυσμένης επικοινωνίας. Οι υπηρεσίες επικοινωνούν με το μεσισμικό χρησιμοποιώντας μια κεντρική συνιστώσα [16].
- ♦ Οι μεσίτες είναι ομότιμοι και συνεργάζονται για τη ανάκτηση των δεδομένων (Peer to Peer - P2P αρχιτεκτονική) [79].
- ♦ Ανά περιοχή υπάρχει ένας τοπικός μεσίτης (Local Context Broker) που επικοινωνεί με τις τοπικές πηγές και ένας μεσίτης που επικοινωνεί με τις απομακρυσμένες πηγές (Remote Context Broker) [80].

- ♦ Ανά περιοχή υπάρχει ένα σύνολο μεσιτών, εκ των οποίων ο ένας είναι υπεύθυνος για το συντονισμό των υπολοίπων και για την επικοινωνία με τις άλλες περιοχές (Υβριδική P2P αρχιτεκτονική) [81].
- ♦ Οι συσκευές των χρηστών είναι συνδεδεμένες κατά αυτο-οργανούμενο (ad hoc) τρόπο. Κάθε συσκευή λειτουργεί ως καταναλωτής και προμηθευτής δεδομένων και αλληλεπιδρά αυτόνομα με άλλες συσκευές στην εγγύτητά της ανταλλάσσοντας πληροφορίες. Στην περίπτωση αυτή δεν υφίσταται κάποιος μεσίτης αλλά οι συσκευές διαθέτουν το κατάλληλο λογισμικό που πραγματοποιεί την επικοινωνία με τις υπόλοιπες συσκευές [82][83].

### 2.3.3. Ανάλυση Συστημάτων

Εκτός από την αρχιτεκτονική προσέγγιση που ακολουθεί ένα σύστημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος, υπάρχουν επιπρόσθετα ζητήματα που διαφοροποιούν τα συστήματα και επηρεάζουν την επίδοσή τους. Τα ζητήματα αυτά αναλύονται στις ακόλουθες ενότητες και αφορούν στο μοντέλο πληροφορίας περιβάλλοντος (ενότητα 2.3.3.1), τις μεθόδους ανάκτησης των ζητούμενων δεδομένων (ενότητα 2.3.3.2), τις μεθόδους ανανέωσης των παρεχόμενων δεδομένων (ενότητα 2.3.3.3), το μοντέλο ανακάλυψης των πηγών (ενότητα 2.3.3.4) και την προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών (ενότητα 2.3.3.5).

#### 2.3.3.1. Μοντέλο Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του μοντέλου περιγραφής της πληροφορίας περιβάλλοντος σε μορφή που να είναι εύκολα κατανοητή και επεξεργάσιμη από μια μηχανή, είναι ένα από τα πρωταρχικά ζητήματα με τα οποία οφείλει να ασχοληθεί ο σχεδιαστής ενός συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος. Λόγω της μεγάλης σημασίας του παραπάνω ζητήματος έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις. Αυτές, σύμφωνα με τους Strang και Linnhoff-Popien [84], ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- ♦ **Κλειδί-Τιμή (Key-Value)**: Στις προσεγγίσεις αυτές τα δεδομένα περιγράφονται χρησιμοποιώντας ζεύγη από ‘κλειδί-τιμή’. Είναι ο πιο απλός τρόπος μοντελοποίησης της πληροφορίας περιβάλλοντος και γι’ αυτό χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος, όπως στο σύστημα που προτάθηκε από τον Schilit, Adams και Want [29], όπου οι παράμετροι περιβάλλοντος είναι τα κλειδιά και τα δεδομένα που τις περιγράφουν είναι οι τιμές. Ωστόσο, στις προσεγγίσεις αυτές δεν είναι δυνατή η αποδοτική ανάκτηση πληροφορίας, διότι δεν υποστηρίζονται πολύπλοκες δομές δεδομένων και εξαρτήσεις.

- ◆ **‘Markup’ γλώσσες:** Στις προσεγγίσεις αυτές ορίζεται ιεραρχική δομή των δεδομένων αποτελούμενη από ετικέτες (tags) με παραμέτρους και περιεχόμενο. Μια ετικέτα είναι δυνατόν να περιέχει άλλες ετικέτες, έτσι ώστε να ορίζονται πολύπλοκες δομές δεδομένων. Η βασικότερη από τις markup γλώσσες είναι η eXtensible Markup Language (XML) [36], στην οποία βασίζονται και οι υπόλοιπες. Παραδείγματα προσεγγίσεων αυτής της κατηγορίας είναι η προσέγγιση των Indulska, Robinsona κ.α. [86] που χρησιμοποιούν το Composite Capabilities/Preference Profile (CC/PP), η προσέγγιση των Held, Buchholz και Schill [87] που ονομάζεται Comprehensive Structured Context Profiles (CSCP) και η γλώσσα ConteXtML [88].
- ◆ **Γραφικό (Graphical):** Η μοντελοποίηση της πληροφορίας περιβάλλοντος με τη χρήση γραφικών μοντέλων υπερέχει ως προς τον ορισμό της δομής των πληροφοριών και των μεταξύ τους σχέσεων, αλλά συνήθως χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες εφαρμογές και είναι δύσκολο να γενικευτεί. Παραδείγματα τέτοιου είδους προσεγγίσεων είναι το μοντέλο που προτείνει ο Bauer [89] το οποίο χρησιμοποιεί τη γλώσσα μοντελοποίησης Unified Modelling Language (UML) [90], και το μοντέλο που προτείνουν οι Henricksen, Indulska και Rakotonirainy [91] το οποίο επεκτείνει το Object Role Modelling (ORM). Η βασική ιδέα στις προσεγγίσεις αυτές είναι ότι μοντελοποιείται μια περιοχή με τύπους γεγονότων και ρόλους που έχουν οι οντότητες.
- ◆ **Αντικειμενοστραφές (Object Oriented):** Οι προσεγγίσεις αυτές εκμεταλλεύονται την ενθυλάκωση και την επαναχρησιμοποίηση που προσφέρουν τα αντικειμενοστραφή μοντέλα. Οι λεπτομέρειες της επεξεργασίας της πληροφορίας ενθυλακώνονται στα αντικείμενα και δεν είναι φανερές στις υπόλοιπες συνιστώσες του συστήματος. Η πρόσβαση στα αντικείμενα γίνεται χρησιμοποιώντας τις προσδιορισμένες διεπαφές. Παραδείγματα τέτοιου είδους μοντέλων είναι τα ‘cues’ [92] που αναπτύχθηκαν από το πρόγραμμα TEA, και το ‘active objects model’ [93] που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα GUIDE. Η αντικειμενοστραφής μέθοδος μοντελοποίησης της πληροφορίας διευκολύνει τη διακίνηση της κατανεμημένης πληροφορίας και καθιστά το μοντέλο εύκολα επεκτάσιμο.
- ◆ **Βασισμένο στη λογική (Logic based):** Τα συστήματα που είναι βασισμένα στη λογική ορίζουν γεγονότα ή εκφράσεις τα οποία προέρχονται από άλλα γεγονότα ή εκφράσεις. Όμοια και στην περίπτωση των μοντέλων πληροφορίας περιβάλλοντος, η πληροφορία ορίζεται από γεγονότα, εκφράσεις και κανόνες. Το μοντέλο των Bacon, Bates και Halls [94], το οποίο χρησιμοποιεί τη γλώσσα λογικού προγραμματισμού prolog, και των Gray και Salber [95] ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

♦ **Οντολογίες:** Στα πλαίσια δημιουργίας του Σημασιολογικού Ιστού (Web Semantics), έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία των οντολογιών με σκοπό να επιτευχθεί η ενοποιημένη διακίνηση ετερογενών δεδομένων στον παγκόσμιο ιστό [96]. Επίσης, η τεχνολογία των οντολογιών έχει θεωρηθεί ως ο καλύτερος τρόπος μοντελοποίησης της πληροφορίας περιβάλλοντος. Στις οντολογίες ορίζεται ένα λεξιλόγιο πληροφορίας αποτελούμενο από αρχές (concepts) και συσχετίσεις (interrelations), ώστε να καθίσταται ευκολότερη η περιγραφή της πληροφορίας με τρόπο κατανοητό από τους υπολογιστές. Επίσης, οι οντολογίες προσφέρουν μηχανισμούς για την επεξεργασία και διακίνηση της πληροφορίας αλλά και για την εξαγωγή νέων πληροφοριών από τα διαθέσιμα δεδομένα. Τα πιο γνωστά πρότυπα δημιουργίας οντολογιών είναι τα εξής: Resource Description Framework (RDF) [96], Web Ontology Language (OWL) [98] και DAPRA Agent Markup Language + Ontology Inference Layer (DAML+OIL) [99], με βάση τα οποία έχουν αναπτυχθεί μοντέλα περιγραφής της πληροφορίας περιβάλλοντος. Ωστόσο, παρόλο που η χρήση των οντολογιών στη μοντελοποίηση της πληροφορίας περιβάλλοντος έχει εκθιαστεί και πολλές προσεγγίσεις έχουν προταθεί, η ανάπτυξη γενικών μοντέλων περιγραφής παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία λόγω της μεγάλης ποικιλίας ειδών πληροφορίας, με αποτέλεσμα οι προτεινόμενες λύσεις να αφορούν συγκεκριμένες υπηρεσίες. Επίσης, η αποδοτικότητα των οντολογιών περιορίζεται από τη σχετικά δύσκολη διαδικασία σχεδιασμού τους και τις μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις που έχει η εκτέλεση τους. Η μοντελοποίηση της πληροφορίας περιβάλλοντος με τη χρήση των οντολογιών έχει ακολουθηθεί από τους Strang, Linhoff-Popien και Frank [100] και τους Wang, Zhang κ.α. [101], οι οποίοι έχουν αναπτύξει τις προσεγγίσεις Context Ontology Language (CoOL) και CONON αντίστοιχα.

### 2.3.3.2. Μέθοδοι Ανάκτησης των Δεδομένων

Ως προς τις μεθόδους ανάκτησης των δεδομένων από τους καταναλωτές της πληροφορίας, δηλαδή από τις υπηρεσίες και τις πηγές που επεξεργάζονται τα πρωτογενή δεδομένα, διακρίνονται οι εξής δύο προσεγγίσεις [102], όπως εξάλλου ισχύει γενικά στα συστήματα διακίνησης δεδομένων [103]:

♦ **Σύγχρονος τρόπος επικοινωνίας (Synchronous communication):** Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, οι καταναλωτές πληροφορίας υποβάλλουν συγκεκριμένα αιτήματα ζητώντας τα δεδομένα που ισχύουν για κάποια οντότητα τη δεδομένη χρονική στιγμή και η απόκριση στο αίτημα τους δίνεται αμέσως (request/response). Ακολουθώντας αυτόν τον τρόπο επικοινωνίας, όταν οι καταναλωτές πληροφορίας επιθυμούν να παρακολουθήσουν

τα δεδομένα των πηγών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου είναι υποχρεωμένοι να υποβάλλουν ανά τακτά διαστήματα νέα αιτήματα (polling).

♦ **Ασύγχρονος τρόπος επικοινωνίας (Asynchronous communication)**: Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, οι καταναλωτές πληροφορίας υποβάλλουν αιτήματα εγγραφής (subscriptions) για να ενημερωθούν σχετικά με γεγονότα πληροφορίας (context events) και λαμβάνουν τις αντίστοιχες ενημερώσεις (notifications), όταν τα ζητούμενα γεγονότα ανιχνεύονται από τις πηγές. Η ασύγχρονη επικοινωνία υλοποιείται κυρίως μέσω του μοντέλου δημοσιεύσεων/εγγραφών (publish/subscribe) [104] και σπανιότερα με το μοντέλο διαμοιρασμένων χώρων (shared spaces) [104], όπως το μοντέλο ‘tuple spaces’ [105]. Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο, οι καταναλωτές πληροφορίας προσδιορίζουν, κατά την εγγραφή τους, τα γεγονότα πληροφορίας που τους ενδιαφέρουν, και στη συνέχεια ενημερώνονται σχετικά με αυτά από την πηγή που τα δημοσιεύει. Σύμφωνα με το μοντέλο διαμοιρασμένων χώρων, οι πηγές πληροφορίας εισάγουν νέα δεδομένα σε κοινό χώρο και οι καταναλωτές ανακτούν τα δεδομένα από τον κοινό χώρο. Για την υλοποίηση της ασύγχρονης επικοινωνίας είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μιας υπηρεσίας διαχείρισης γεγονότων (event service) [104], η οποία διαχειρίζεται/αποθηκεύει τις εγγραφές των καταναλωτών και είναι υπεύθυνη για την παράδοση των γεγονότων πληροφορίας στους καταναλωτές. Τέλος, οι ενημερώσεις πληροφορίας μεταδίδονται προς το σύνολο των ενδιαφερομένων καταναλωτών ακολουθώντας είτε το μοντέλο απλής διανομής (unicast) είτε το μοντέλο πολλαπλής διανομής (multicast).

Η επιλογή μεταξύ των δύο τρόπων επικοινωνίας καθορίζεται από τις απαιτήσεις κάθε υπηρεσίας και το είδος της πληροφορίας. Για παράδειγμα, όταν μια υπηρεσία επιθυμεί να ανακτήσει τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη, χρησιμοποιείται η σύγχρονη επικοινωνία, ενώ όταν μια υπηρεσία παρακολουθεί την γεωγραφική θέση του χρήστη για να του αποστείλει σχετικές διαφημίσεις, τότε προτιμάται η ασύγχρονη επικοινωνία. Όπως είναι προφανές, με την ασύγχρονη επικοινωνία ελαχιστοποιούνται τα αιτήματα που υποβάλει ο καταναλωτής και απελευθερώνεται η υπηρεσία από τη διαδικασία να επικοινωνεί ανά τακτά διαστήματα με το μεσίτη και τις πηγές. Επίσης, επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα στα δεδομένα που παραδίδονται, καθώς αυτά παραδίδονται στον καταναλωτή τη στιγμή της παραγωγής τους. Συνεπώς, η ασύγχρονη επικοινωνία ταιριάζει περισσότερο στις περιπτώσεις ανάκτησης δεδομένων που αλλάζουν συχνά, ενώ για την ανάκτηση στατικών δεδομένων η σύγχρονη επικοινωνία είναι προτιμότερη.

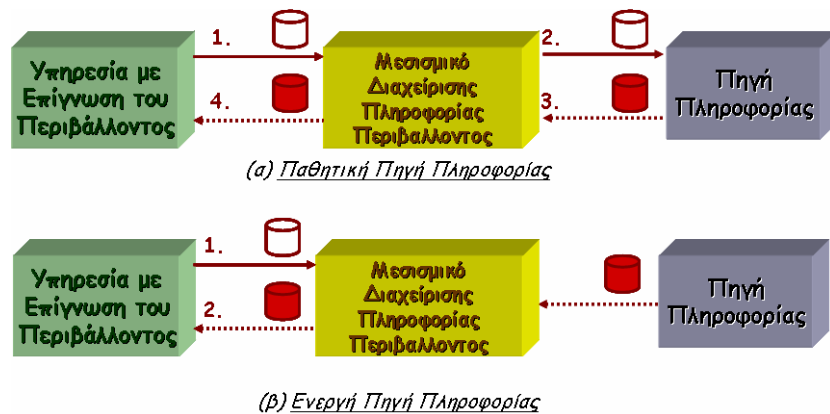


### 2.3.3.3. Μέθοδοι Ανανέωσης της Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Ως προς την περιοδικότητα παροχής των δεδομένων τους [106], οι πηγές πληροφορίας περιβάλλοντος διακρίνονται σε:

- ♦ **Περιοδικές (Periodic) Πηγές Πληροφορίας:** Οι πηγές αυτές ανανεώνουν την πληροφορία ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Δηλαδή, παράγουν νέα δεδομένα μετά από συγκεκριμένη χρονική περίοδο που ονομάζεται περίοδος ανανέωσης.
- ♦ **Μη-Περιοδικές (Aperiodic) Πηγές Πληροφορίας:** Οι πηγές αυτές ανανεώνουν την πληροφορία τους μη περιοδικά, παρέχοντας νέα δεδομένα όταν η τιμή της πληροφορίας αλλάξει ή όταν ισχύσει κάποια συνθήκη.

Ως προς το μοντέλο παροχής των ανανεωμένων δεδομένων από τις πηγές [106][103], διακρίνονται δύο τρόποι, ο παθητικός και ο ενεργός (Σχήμα 2-8).



Σχήμα 2-8: Είδη Πηγών Πληροφορίας

Αντίστοιχα με τους δύο τρόπους παροχής των ανανεώσεων πληροφορίας οι πηγές πληροφορίας διακρίνονται σε:

- ♦ **Παθητικές (Passive) Πηγές Πληροφορίας:** Αυτό το είδος πηγών παρέχει πληροφορία κατόπιν υποβολής αιτημάτων από τους καταναλωτές (consumer-initiated ή pull-based). Δηλαδή, οι πηγές αποκρίνονται μόνο σε αιτήματα για την πληροφορία τους, οπότε και επιστρέφουν τις αντίστοιχες τιμές ή ενημερώσεις. Στην περίπτωση των αιτημάτων για γεγονότα πληροφορίας, το μεσισμικό λειτουργεί ως απλός διαμεσολαβητής μεταφέροντας το αντίστοιχο αίτημα στις πηγές. Η υπηρεσία διαχείρισης των γεγονότων εξασφαλίζει τη μεταφορά των ενημερώσεων στους ενδιαφερόμενους καταναλωτές που έχει καταχωρημένους.
- ♦ **Ενεργή (Active) Πηγές Πληροφορίας:** Αυτό το είδος πηγών πληροφορίας παρέχουν πληροφορία αυτόνομα και ανεξάρτητα από τα αιτήματα των πηγών (source-initiated ή

push-based) με τη μορφή γεγονότων πληροφορίας και εξουσιοδοτούν το μεσισμικό να τη διανείμει σε αυτούς που τη ζητούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στο μοντέλο ανάκτησης δεδομένων που χαρακτηρίζεται ως ευρεία εκπομπή (broadcast) [107]. Σύμφωνα με αυτό, τα δεδομένα παράγονται από τις πηγές με σκοπό να χρησιμοποιηθούν από ένα μεγάλο αριθμό άγνωστων καταναλωτών πληροφορίας και έχει εφαρμογή σε περιπτώσεις που η πληροφορία αλλάζει συχνά. Στην περίπτωση των αιτημάτων για γεγονότα πληροφορίας, η υπηρεσία διαχείρισης των γεγονότων εντοπίζει τα γεγονότα πληροφορίας και τα παραδίδει στους ενδιαφερόμενους καταναλωτές που έχουν εγγραφεί.

Ο ενεργός τρόπος παροχής δεδομένων, ο οποίος χρησιμοποιείται από τα περισσότερα υλοποιημένα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος, απαιτεί την εγκατάσταση κάποιας βάσης δεδομένων για αποθήκευση των δεδομένων. Με τον ενεργό τρόπο, καθώς τα δεδομένα των πηγών παρέχονται συνεχώς καθίσταται δυνατή η αποθήκευση και η εκμετάλλευση ιστορικών δεδομένων των πηγών. Αντίθετα, με τον παθητικό τρόπο, η πληρότητα των ιστορικών δεδομένων δύσκολα επιτυγχάνεται. Επίσης, το γεγονός ότι οι ενεργές πηγές πληροφορίας παρέχουν τα δεδομένα τους προς άγνωστους καταναλωτές απαιτεί την ανάπτυξη μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης από το μεσισμικό προκειμένου να πραγματοποιείται με ασφάλεια η διακίνηση των δεδομένων. Όμως στην περίπτωση του παθητικού τρόπου, οι πάροχοι της πληροφορίας, που διαχειρίζονται τις πηγές, θα μπορούσαν να είναι οι ίδιοι υπεύθυνοι για την πιστοποίηση των καταναλωτών και την έγκριση παροχής των δεδομένων της. Τέλος, με τον ενεργό τρόπο παροχής δεδομένων αυξάνεται η πιθανότητα συλλογής άχρηστων δεδομένων, δηλαδή δεδομένων που δεν έχουν ζητηθεί από τους καταναλωτές. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή καταναλώνονται οι υπολογιστικοί και δικτυακοί πόροι χωρίς όφελος και εις βάρος των κρίσιμων δεδομένων που έχουν ζητηθεί και απαιτείται να παραδοθούν σε πραγματικό χρόνο.

#### **2.3.3.4. Μοντέλο Ανακάλυψης των Πηγών Πληροφορίας**

Το μοντέλο ανακάλυψης των πηγών πληροφορίας που υιοθετεί ένα σύστημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος εξαρτάται από την αρχιτεκτονική που ακολουθείται. Ειδικότερα, όταν η πρόσβαση στα δεδομένα όλων των πηγών πραγματοποιείται από ένα κεντρικό σημείο, το μοντέλο ανακάλυψης της πληροφορίας περιορίζεται στην εγγραφή και αναζήτηση σε ένα κεντρικό κατάλογο. Όταν όμως η πρόσβαση πραγματοποιείται από ένα κατανεμημένο σύστημα είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν πολυπλοκότεροι μηχανισμοί ανακάλυψης των πηγών

[108]. Σε ένα οργανωμένο σύστημα ανακάλυψης τα βασικά στάδια που ακολουθούνται, κατά αντιστοιχία με τα συστήματα ανακάλυψης υπηρεσιών [109], είναι τα εξής:

- ◆ **Εγγραφή (Registration)**: Οι πηγές πληροφορίας εγγράφουν την πληροφορία που δίνουν. Τα στοιχεία της εγγραφής είναι είτε η ταυτότητα (identification) της πηγής (μοντέλο source-centric) [110] είτε το είδος της πληροφορίας που δίνουν (μοντέλο data-centric) [111]. Στη δεύτερη περίπτωση, το σύστημα ανακάλυψης πληροφορίας είναι πιο ευέλικτο και εύρωστο, καθώς επιτρέπει τη δυναμική εύρεση των εκάστοτε καταλληλότερων πηγών. Οι πληροφορίες εγγραφής είτε αποθηκεύονται σε κεντρικό κατάλογο [8] ή τοπικό κατάλογο [80], είτε διανέμονται ως διαφημίσεις [112] σε όλους ή ορισμένους (γειτονικούς ή τον κεντρικό) μεσίτες, ώστε να είναι δυνατή η γρήγορη εύρεση τους όταν ζητούνται από απομακρυσμένους καταναλωτές.
- ◆ **Αναζήτηση (Search)**: Οι καταναλωτές της πληροφορίας υποβάλλουν τα αιτήματα για ανάκτηση της πληροφορίας στον τοπικό ή τον κεντρικό μεσίτη ο οποίος συνεργάζεται με τους υπολοίπους για να αποκριθεί στα αιτήματα [79]. Παρόλο που το μοντέλο αυτό είναι το δημοφιλέστερο, σε ορισμένα συστήματα προβλέπεται η υποβολή κατανεμημένων αιτημάτων στους μεσίτες [113].
- ◆ **Εύρεση/Ταιρίασμα (Matching)**: Στην περίπτωση που οι πηγές εγγράφονται προσδιορίζοντας την ταυτότητα τους, η εύρεση της πηγής από την οποία θα ανακτηθεί η πληροφορία είναι αρκετά απλή. Όμως, όταν οι πηγές κατά την εγγραφή τους προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά της πληροφορίας που παρέχουν απαιτούνται πολυπλοκότεροι αλγόριθμοι ταιριάσματος [114].
- ◆ **Επιλογή (Selection)**: Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου ταιριάσματος είναι ένα σύνολο πηγών οι οποίες ικανοποιούν τα ζητούμενα χαρακτηριστικά που προσδιορίζονται στο αίτημα. Σε περίπτωση πολλαπλών λύσεων, είναι απαραίτητο να επιλεγεί η βέλτιστη αυτών [115]. Ωστόσο, στα περισσότερα συστήματα παροχής πληροφορίας που έχουν ήδη υλοποιηθεί το στάδιο αυτό παραλείπεται. Αντίθετα ένας αυτοματοποιημένος τρόπος εκτίμησης των πηγών και στη συνέχεια επιλογής πρέπει να αναπτυχθεί εις αντικατάσταση του χειροκίνητου (manual) ή τυχαίου. Το ζήτημα αυτό έχει μελετηθεί από την παρούσα διατριβή και αναλύεται στο τρίτο κεφάλαιο.
- ◆ **Επικοινωνία (Communication)**: Χρησιμοποιώντας τον τρόπο που έχει προδιαγραφεί κατά την εγγραφή των πηγών, το σύστημα επικοινωνεί με την πηγή πληροφορίας, ανακτά τα δεδομένα, και τελικά τα παραδίδει στον καταναλωτή χρησιμοποιώντας τα προδιαγεγραμμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας των μεσιτών.

♦ **Ανανέωση (Updating)**: Επειδή η κατάσταση των πηγών πληροφορίας αλλάζει δυναμικά πρέπει το σύστημα να είναι αντίστοιχα ενήμερο ώστε να απαντά βέλτιστα στα αιτήματα των καταναλωτών. Για το λόγο αυτό, ένα σύστημα ανακάλυψης περιλαμβάνει μηχανισμούς ενημέρωσης που υλοποιούνται είτε με τακτικές ερωτήσεις των πηγών [115] είτε με την παράδοση ενημερώσεων για την κατάσταση τους από τις ίδιες τις πηγές ή από κάποια συνιστώσα παρακολούθησης [116]. Όμως το ζήτημα αυτό έχει ελάχιστα μελετηθεί και τα συστήματα κατά πλειοψηφία ακολουθούν το μοντέλο ανανέωσης κατά την επικοινωνία με τις πηγές. Στο τρίτο κεφάλαιο προτείνεται μια μέθοδος παρακολούθησης της κατάστασης των πηγών και αντικειμενικής εκτίμησης της αξιοπιστίας τους.

### **2.3.3.5. Ασφάλεια, Εμπιστοσύνη και Προστασία των Προσωπικών Δεδομένων**

Στα βασικότερα ζητήματα κατά την υλοποίηση της με επίγνωση του περιβάλλοντος υπολογιστικής συγκαταλέγονται η ασφάλεια στη διακίνηση της πληροφορίας περιβάλλοντος και η εξασφάλιση της αμοιβαίας εμπιστοσύνης μεταξύ υπηρεσιών και χρηστών [117]. Ειδικότερα, στα συστήματα διάχυτης υπολογιστικής, όπου οι αισθητήρες και οι συσκευές συλλέγουν συνεχώς δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά και τις κινήσεις των χρηστών, η προσωπική ζωή των πολιτών απειλείται [118]. Ακόμη και οι λίγες παραβιάσεις της ιδιωτικότητας είναι ικανές να προκαλέσουν τη δυσπιστία των χρηστών και τελικά την απόρριψη των συστημάτων αυτών. Επομένως, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν κατάλληλοι μηχανισμοί με τους οποίους θα διασφαλίζει τόσο ο χρήστης ότι τα προσωπικά του δεδομένα χρησιμοποιούνται με τρόπο θεμιτό και νόμιμο, αλλά και οι υπηρεσίες ότι προσφέρονται στους σωστούς χρήστες [119]. Οι μηχανισμοί αυτοί αφορούν στα εξής ζητήματα:

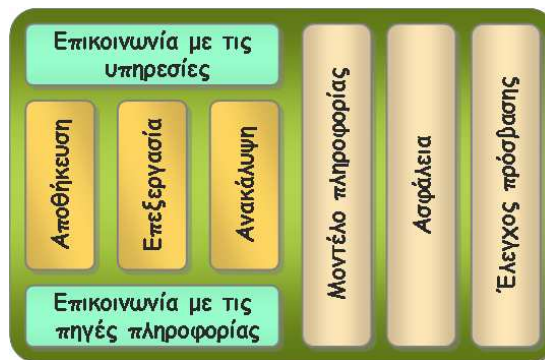
- ♦ Ασφαλή (κρυπτογραφημένη) διακίνηση των δεδομένων
- ♦ Έλεγχο πρόσβασης στα δεδομένα
- ♦ Πιστοποίηση της ταυτότητας των χρηστών

Παράλληλα με τα ζητήματα αυτά ανακύπτει η ηθική και κοινωνική διάσταση της διάχυτης υπολογιστικής, τα οποία είναι ίσως τα δυσκολότερα θέματα που πρέπει να εξετασθούν ώστε να επιτύχει η υλοποίηση της .

### **2.3.4. Υλοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος**

Η ερευνητική κοινότητα που ασχολείται με την κατασκευή και την παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος έχει από νωρίς εντοπίσει την ανάγκη ανάπτυξης μηχανισμών

συλλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος, και έχει σχεδιάσει και υλοποιήσει πολλές προσεγγίσεις. Οι προσεγγίσεις αυτές αφορούν μερισμικά συστήματα, αποτελούμενα από εξυπηρετητές, υπηρεσίες, μεσίτες, υποδομές και εργαλεία, που επιτρέπουν στις υπηρεσίες με επίγνωση περιβάλλοντος να ανακτούν τα απαραίτητα δεδομένα με τυποποιημένο και ομοιόμορφο τρόπο, και στις πηγές πληροφορίας να παραδίδουν τα δεδομένα που ανακτούν από το περιβάλλον με ασφάλεια και ευκολία. Η λειτουργικότητα των προσεγγίσεων αυτών διαχωρίζεται στα επίπεδα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-9.



Σχήμα 2-9: Λειτουργικά Επίπεδα Συστημάτων Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιες από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί. Η ανάλυση κάθε προσέγγισης εστιάζει στην επιλογή του αρχιτεκτονικού μοντέλου, τη μέθοδο μοντελοποίησης των δεδομένων που ακολουθεί, τις υπηρεσίες επεξεργασίας των δεδομένων που διαθέτει και τον έλεγχο πρόσβασης στα δεδομένα που υλοποιεί. Μερικά από τα σημαντικότερα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας που έχουν αναπτυχθεί είναι τα εξής:

✦ Η αρχιτεκτονική που προτείνει ο Schilit [102] από το Columbia University για τη συλλογή πληροφορίας περιβάλλοντος απαρτίζεται από τις εξής καταναμημένες συνιστώσες: τον 'ενεργό χάρτη' (active map), τον πράκτορα χρήστη (user agent) και τον πράκτορα συσκευής (device agent). Ο ενεργός χάρτης διαχειρίζεται τις πληροφορίες που έχουν σχέση με τις περιοχές, όπως αίθουσες, ομάδες εργασίας, ενώ για κάθε χρήστη και για κάθε συσκευή υπάρχουν αντίστοιχα ένας πράκτορας χρήστη και ένας πράκτορας συσκευής που διαχειρίζονται τις πληροφορίες τους. Οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος επικοινωνούν με τις καταναμημένες συνιστώσες χρησιμοποιώντας σύγχρονες ή ασύγχρονες μεθόδους επικοινωνίας. Για την περιγραφή της πληροφορίας ακολουθείται το μοντέλο 'κλειδί-τιμή'. Το προτεινόμενο σύστημα είναι αρκετά απλό καθώς ασχολείται μόνο με το να αποθηκεύει δεδομένα από το περιβάλλον και να παρέχει μεθόδους στις υπηρεσίες για να τα ανακτήσουν, αλλά δεν ασχολείται με τα πολυπλοκότερα ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ένα σύστημα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος.

✦ **Cooltown:** Το πρόγραμμα Cooltown των εργαστηρίων Hewlett-Packard Laboratories ασχολείται με την αναπαράσταση, το συνδυασμό και την αποδοτική εκμετάλλευση της πληροφορίας περιβάλλοντος. Οι Kindberg, Barton κ.α. [120] εισάγουν ένα ομοιόμορφο μοντέλο παρουσίας στον παγκόσμιο ιστό για τους ανθρώπους, τα μέρη και τα πράγματα. Σύμφωνα με αυτό, κάθε οντότητα συνδέεται με μία περιγραφή η οποία ανακτάται μέσω του αντίστοιχου Uniform Resource Locator (URL). Η ανακάλυψη της πληροφορίας γίνεται με βάση την τοποθεσία του χρήστη, δηλαδή πραγματοποιείται εύρεση των υπολοίπων χρηστών και αντικείμενων που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Η χρησιμότητα της προσέγγισης περιορίζεται σε εφαρμογές, όπως οι τουριστικούς οδηγούς και η περιήγηση σε μουσεία.

✦ **Context Toolkit:** Η αρχιτεκτονική Context Toolkit [15], που αναπτύχθηκε στο Georgia Institute of Technology, αποτελείται από τα εξής πέντε είδη συνιστωσών που έχουν υλοποιηθεί με τη γλώσσα Java [121]: ‘widgets’, μεταφραστές (interpreters), ‘συνδυαστές’ (aggregators), υπηρεσίες (services) και ‘discoverers’. Με τα widgets οι υπηρεσίες έχουν πρόσβαση στην πληροφορία περιβάλλοντος με ομοιόμορφο τρόπο. Ειδικότερα, οι υπηρεσίες εγγράφονται στα αντίστοιχα widgets και παρακολουθούν την παρεχόμενη πληροφορία χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν λεπτομέρειες για τους αισθητήρες. Οι μεταφραστές επεξεργάζονται τα δεδομένα που παράγουν οι αισθητήρες ώστε να χρησιμοποιηθούν από τις υπηρεσίες. Οι συνδυαστές συλλέγουν τα δεδομένα που έχουν λογική συσχέτιση σε ένα κοινό σημείο αποθήκευσης ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμα. Οι υπηρεσίες χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος για να καλέσουν ενέργειες. Η συνιστώσα ‘discoverer’ διατηρεί τον κατάλογο εγγραφής των υπολοίπων συνιστωσών του συστήματος. Όταν γίνεται εκκίνηση μιας νέας συνιστώσας, ενημερώνεται η συνιστώσα discoverer για τα χαρακτηριστικά της και τον τρόπο επικοινωνίας μαζί της. Η προτεινόμενη υποδομή εισαγάγει την έννοια του ιδιοκτήτη πληροφορίας προκειμένου να ελέγξει την πρόσβαση στα δεδομένα ως προς το ‘ποιος’ και το ‘πότε’ μπορεί να τα αποκτήσει σύμφωνα με τους κανόνες που ορίζει ο ιδιοκτήτης. Το Context Toolkit ήταν η πρώτη υποδομή που προτάθηκε με σκοπό να απομονωθούν οι υπηρεσίες από τη συλλογή της πληροφορίας περιβάλλοντος. Το κυριότερο μειονέκτημα του Context Toolkit είναι το ότι κάθε φορά που εμφανίζεται νέα πηγή πληροφορίας πρέπει να προστεθεί νέο widget. Το γεγονός ότι υστερεί σε αποδοτικότητα και επεκτασιμότητα περιόρισαν τη χρήση του και συνάμα ενεργοποίησαν την έρευνα για την εξέλιξη του.

✦ **Context Fabric:** Οι Hong και Landay [122] από το Georgia Institute of Technology ανέπτυξαν το σύστημα Context Fabric, με σκοπό να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα του Context Toolkit. Το προτεινόμενο σύστημα ακολουθεί την ίδια λογική διαχωρισμού πηγών πληροφορίας και υπηρεσιών. Έστιάζει στα ζητήματα περιγραφής της πληροφορία, διανομής

και αποθήκευσης της, και στο μηχανισμό διασφάλισης της ιδιωτικότητας. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο ‘tuple space’ ορίζει δομές πληροφορίας ‘infospaces’ όπου αποθηκεύονται ‘tuples’ για τις οντότητες που έχουν οριστεί. Στο μοντέλο αυτό ορίζονται τριών ειδών οντότητες: άνθρωποι, τοποθεσίες και αντικείμενα. Σε κάθε ξεχωριστή οντότητα προσδιορίζονται πολιτικές πρόσβασης και τα χαρακτηριστικά της [123]. Επίσης, ορίζονται οι σχέσεις που περιγράφουν τις εξαρτήσεις μεταξύ των οντοτήτων και οι συνδυαστές που ομαδοποιούν τις οντότητες. Το Context Fabric προβλέπει αποθήκευση των δεδομένων σε πολλαπλά σημεία, ώστε να επιτυγχάνεται ευρωστία σε αποτυχίες και γρηγορότερη πρόσβαση στα δεδομένα. Η γλώσσα προδιαγραφής της πληροφορίας περιβάλλοντος επιτρέπει την υποβολή αιτημάτων υψηλού επιπέδου όμοια με την Structured Query Language (SQL) στις σχεσιακές βάσεις δεδομένων. Στο Context Fabric προτιμάται να τοποθετεί η υπηρεσία συλλογής πληροφορίας στα τερματικά των χρηστών παρά να καταναμηθεί στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορούν οι χρήστες να ελέγχουν ευκολότερα τα προσωπικά δεδομένα τους που μπορούν να ανακτήσουν άλλοι χρήστες. Έτσι λοιπόν, σε κάθε συσκευή υπάρχει εγκατεστημένη μια υπηρεσία πληροφορίας περιβάλλοντος, η οποία επεξεργάζεται τοπικά τα ερωτήματα. Όταν τα ζητούμενα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να ανακτηθούν τοπικά, τότε αυτή επικοινωνεί με τις υπόλοιπες υπηρεσίες της υποδομής. Η ανακάλυψη των υπηρεσιών πραγματοποιείται με βάση την εγγύτητά τους (proximity-based discovery). Τέλος, η σύνθεση δεδομένων υψηλού επιπέδου πραγματοποιείται με τη χρήση πρόσθετων υπηρεσιών (operators) που πραγματοποιούν επεξεργασία των δεδομένων και τη δημιουργία μονοπατιών μεταξύ των υπηρεσιών αυτών (μοντέλο automatic path creation).

✦ **Context Weaver:** Το σύστημα Context Weaver, που ανέπτυξαν οι Cohen, Black κ.α. [124] από το ερευνητικό ινστιτούτο της εταιρείας IBM ‘Thomas J. Watson’, μεσολαβεί μεταξύ των πηγών πληροφορίας και των υπηρεσιών. Όλες οι πηγές παρέχουν τα δεδομένα σύγχρονα ή ασύγχρονα χρησιμοποιώντας μια κοινή απλή διεπαφή. Οι υπηρεσίες ζητούν από το μεσολαβητή να ανακτήσουν δεδομένα περιγράφοντας το είδος τους και όχι τη συγκεκριμένη πηγή. Στη συνέχεια, το σύστημα ανακαλύπτει τις αντίστοιχες πηγές και ανακτώνται οι ζητούμενες πληροφορίες. Η περιγραφή των δεδομένων γίνεται σε γλώσσα XML, τα αιτήματα σε γλώσσα XQuery [125] και οι τιμές επιστρέφονται σε μορφή Java αντικειμένων. Το σύστημα διαθέτει συνιστώσες σύνθεσης δεδομένων οι οποίες λειτουργούν ως νέες πηγές πληροφορίας [126]. Επίσης, το ζήτημα της ιδιωτικότητας των δεδομένων αντιμετωπίζεται με τον ορισμό πολιτικών πρόσβασης σύμφωνα με την πλατφόρμα Platform for Privacy Preferences (P3P) [127]. Παρόλο που το σύστημα επιτρέπει την ευκολότερη δημιουργία υπηρεσιών, η χρήση της κεντρικής αρχιτεκτονικής δημιουργεί προβλήματα αποδοτικότητας.

✦ **Owl/Context Service:** Η υπηρεσία πληροφορίας Owl/Context Service, η οποία προτείνεται από τον Lei, Sow κ.α. [128] από το ερευνητικό ινστιτούτο της εταιρείας IBM ‘Thomas J. Watson’ απαρτίζεται από τον αποστολέα (dispatcher), τους οδηγούς πληροφορίας (context drivers) και κάποιες βοηθητικές συνιστώσες. Οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν τη διεπαφή πελάτη για υποβάλλουν τα (σύγχρονα ή ασύγχρονα) αιτήματα τους και στη συνέχεια ο αποστολέας δρομολογεί τα αιτήματα στον αντίστοιχο οδηγό πληροφορίας μέσω της διεπαφής που προσφέρει κάθε οδηγός. Ένας οδηγός πληροφορίας αντιστοιχεί σε ένα είδος πληροφορίας και διαθέτει τις λεπτομέρειες για να επικοινωνήσει με τις αντίστοιχες πηγές. Επομένως, κάθε φορά που νέα πηγή πληροφορίας προστίθεται, πρέπει επίσης να προστεθεί στο σύστημα ένας νέος οδηγός. Ο οδηγός πληροφορίας είτε ανακτά δεδομένα από την πηγή είτε επιτρέπει στις πηγές να παρέχουν οι ίδιες τα δεδομένα τους μέσω της διεπαφής προώθησης δεδομένων. Επίσης, κάθε οδηγός πληροφορίας έχει τη δυνατότητα μέσω της βοηθητικής συνιστώσας να αποθηκεύσει προσωρινά τα δεδομένα που ανακτά από την πηγή. Οι προδιαγραφές του Context Service προς το παρόν αφορούν τη συλλογή πληροφορίας από τοπικά δίκτυα όπως έξυπνα σπίτια, γραφεία, και γι’ αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί με βάση την κεντρική αρχιτεκτονική.

✦ **Solar:** Οι Chen και Kotz [21][129] από το Dartmouth College προτείνουν την υποδομή Solar για τη συλλογή και τη σύνθεση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε μεγάλης κλίμακας συστήματα διάχυτης υπολογιστικής. Η υποδομή αυτή διαχωρίζει τους κόμβους του δικτύου σε ομάδες που αποτελούν ένα Planet. Κάθε κόμβος διαθέτει μια ή περισσότερες συνιστώσες πληροφορίας που μπορεί να είναι είτε πηγή πληροφορίας είτε επεξεργαστής πληροφορίας που μεταφράζει και συνθέτει δεδομένα. Η σχέση των συνιστωσών πληροφορίας προσδιορίζεται με βάση το μοντέλο των γράφων. Επίσης, η υποδομή διαθέτει μια κεντρική συνιστώσα (Star) στην οποία εγγράφονται οι συνιστώσες πληροφορίας και υποβάλλονται τα αιτήματα των εφαρμογών με τη μορφή εγγραφών. Ειδικότερα, οι εφαρμογές προσδιορίζουν, με τη μορφή XML εγγραφών, τις απαιτήσεις τους για πληροφορία χρησιμοποιώντας μια απλή βιβλιοθήκη που παρέχεται από την υποδομή. Η υποδομή χρησιμοποιεί αυτές τις περιγραφές για να δημιουργήσει επεξεργαστές πληροφορίας και εγγραφές γεγονότων. Οι νέοι επεξεργαστές εισάγονται δυναμικά στο καταλληλότερο planet, ώστε να επιτευχθεί εξισορρόπηση φορτίου, παραμετροποιούνται με βάση τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθούν από άλλες υπηρεσίες. Η προτεινόμενη προσέγγιση έχει υλοποιηθεί με τη γλώσσα Java και τα δεδομένα/γεγονότα πληροφορίας, τα οποία διαδίδονται ανάμεσα στις συνιστώσες με τη μορφή ροών γεγονότων, είναι μοντελοποιημένα ως αντικείμενα Java. Οι επεξεργαστές είναι επίσης αντικείμενα Java και υλοποιούν μια απλή διεπαφή δημοσίευσης/εγγραφής. Επίσης, παρέχεται έλεγχος πρόσβασης στα δεδομένα [130]. Τέλος, υποστηρίζεται η



κινητικότητα των υπηρεσιών και των πηγών μέσω της προσωρινής αποθήκευσης των γεγονότων και ελέγχονται αποτυχίες των συνιστωσών μέσω μηχανισμών παρακολούθησης.

✦ **Aura**: Οι Judd και Steenkiste [110] από το Carnegie Mellon University έχουν αναπτύξει στα πλαίσια του προγράμματος Aura ένα σύστημα διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος. Για κάθε είδος πληροφορίας περιβάλλοντος υπάρχει ξεχωριστή υπηρεσία που τη διαχειρίζεται. Για να απλοποιηθεί η επικοινωνία των εφαρμογών με τις υπηρεσίες προτείνεται η χρήση μιας διεπαφής γενικής χρήσης. Η διεπαφή αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό χρονικού ορίου απόκρισης στα αιτήματα και όρια στα μετα-δεδομένα της πληροφορίας, δηλαδή στα χαρακτηριστικά ποιότητας της πληροφορίας. Επίσης, η προτεινόμενη προσέγγιση υλοποιεί έλεγχο πρόσβασης στα δεδομένα χρησιμοποιώντας μια γλώσσα κανόνων [131]. Τα βασικότερα μειονεκτήματα της προτεινόμενης προσέγγισης είναι το ότι είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται από τα αιτήματα τα ονόματα των υπηρεσιών που παρέχουν τη ζητούμενη πληροφορία, καθώς και η αδυναμία να προσδιοριστούν οι εξαρτήσεις μεταξύ των πληροφοριών, με αποτέλεσμα να απαιτείται η εισαγωγή πολύπλοκων υπηρεσιών σύνθεσης.

✦ **Pervasive Autonomic Context-aware Environments (Pace)**: Οι Henricksen και Indulska [132] από το University of Queensland έχουν ασχοληθεί εκτενώς με το ζήτημα της συλλογής πληροφορίας περιβάλλοντος στα πλαίσια του προγράμματος Pace. Η μελέτη τους έχει επικεντρωθεί στη δημιουργία ενός γραφικού μοντέλου πληροφορίας περιβάλλοντος και ενός μοντέλου προτιμήσεων για την προσαρμογή στις απαιτήσεις των χρηστών. Με βάση τις προσεγγίσεις αυτές, έχουν αναπτύξει μια ιδιαίτερα πολύπλοκη υποδομή ανάκτησης πληροφορίας η οποία διαχειρίζεται ξεχωριστά την πληροφορία των αισθητήρων από τις προτιμήσεις των χρηστών [22]. Οι συνιστώσες που συνθέτουν την υποδομή διαχωρίζονται στα έξι επίπεδα: το στρώμα εφαρμογής στο οποίο κάποιος καταναλωτής πληροφορίας μπορεί να εγγραφεί για τα γεγονότα που τον ενδιαφέρουν και να ενημερώνεται για αυτά, το στρώμα διαχείρισης το οποίο διαχειρίζεται γεγονότα από και προς τα ανώτερα και κατώτερα στρώματα και επίσης διαχειρίζεται τη βάση δεδομένων, και το στρώμα συλλογής πληροφορίας το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τους αισθητήρες. Η προτεινόμενη υποδομή σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί και να ελέγχει.

✦ Οι Harter, Hopper κ.α. [133] από AT&T Laboratories Cambridge, εισαγάγουν μια κεντρική αρχιτεκτονική για να συλλέξουν την πληροφορία περιβάλλοντος. Σκοπός είναι να υποστηριχθούν οι υπηρεσίες που ακολουθούν τους χρήστες καθώς κινούνται μέσα σε ένα κτήριο. Η υποδομή που προτείνουν αποτελείται από τρία επίπεδα. Το κατώτερο επίπεδο περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα από το περιβάλλον.

Το μεσαίο επίπεδο υλοποιεί τη λειτουργικότητα που αφορά στην επικοινωνία των απομακρυσμένων οντοτήτων, την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων και την άμεση δρομολόγηση των δεδομένων που αλλάζουν συχνά στις υπηρεσίες παρακάμπτοντας τη βάση δεδομένων. Η επικοινωνία των απομακρυσμένων οντοτήτων γίνεται με τη χρήση της τεχνολογίας Common Object Request Broker (CORBA) [134]. Η μοντελοποίηση της πληροφορίας ακολουθεί το αντικειμενοστραφές μοντέλο. Το ανώτερο επίπεδο περιλαμβάνει τους πελάτες, δηλαδή τις υπηρεσίες και τους προμηθευτές πληροφορίας που απαρτίζονται από τους αισθητήρες και τους ελεγκτές των πόρων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει αναπτυχθεί για συγκεκριμένες εφαρμογές, υστερεί από απόψεως γενικότητας και επεκτασιμότητας, και επίσης δεν αντιμετωπίζει τις βασικές απαιτήσεις ενός συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος σχετικά με την επεξεργασία της πληροφορίας περιβάλλοντος, τα ζητήματα ασφάλειας και την ατέλεια των δεδομένων.

✦ **Context Broker Architecture (CoBrA)**: Το σύστημα που προτείνει η ομάδα eBiquity από το University of Maryland χρησιμοποιεί την τεχνολογία των πρακτόρων για τη συλλογή πληροφορίας σε περιβάλλοντα διάχυτης υπολογιστικής [135][136]. Κεντρική συνιστώσα στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι ένας ευφυής μεσίτης πληροφορίας ο οποίος διατηρεί και διαχειρίζεται το κοινό μοντέλο πληροφορίας περιβάλλοντος εκ μέρους των πρακτόρων. Οι πράκτορες αντιπροσωπεύουν τις εφαρμογές των κινητών τερματικών που φορούν ή κρατούν οι χρήστες, τις υπηρεσίες που παρέχονται από συσκευές σε ένα χώρο, όπως ο προβολέας, ο ελεγκτής θερμοκρασίας ή φωτός, και τις υπηρεσίες διαδικτύου που παρέχουν παρουσία ιστού (web presence) για ανθρώπους, χώρους και αντικείμενα στο φυσικό κόσμο, όπως υπηρεσίες που παρακολουθούν ανθρώπους και τα ίχνη αντικειμένων. Ο μεσίτης πληροφορίας αποτελείται από τις εξής συνιστώσες: τη βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται οι πληροφορίες (context knowledge base), τη μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων, δεδομένων υψηλού επιπέδου και ελέγχου συνοχής των αποθηκευμένων δεδομένων (context inference engine), τις συνιστώσες που επικοινωνούν με τις πηγές πληροφορίας (context acquisition module) και τη μονάδα διαχείρισης της ιδιωτικότητας (privacy management module). Η μοντελοποίηση της πληροφορίας περιβάλλοντος που προτείνεται στα πλαίσια του συστήματος CoBrA χρησιμοποιεί τη γλώσσα COBRA-Ont, η οποία αναπτύχθηκε με βάση τη γλώσσα οντολογιών OWL. Η διατήρηση της ιδιωτικότητας των χρηστών υλοποιείται με βάση τη γλώσσα πολιτικών (policy language) που ονομάζεται Rei [137]. Η γλώσσα αυτή διαμορφώνεται σύμφωνα με τις δεοντολογικές έννοιες των δικαιωμάτων, των απαγορεύσεων, των υποχρεώσεων και των διανομών και ελέγχει την πρόσβαση στα δεδομένα μέσω δυναμικά τροποποιήσιμων κανόνων ανά περιοχή. Τέλος, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει τη

δημιουργία ομοσπονδιακού συστήματος συνεργασίας πολλών μεσιτών και πρακτόρων, ώστε να επιτευχθεί ευρωστία και αποδοτικότητα σε μεγάλης κλίμακας σενάρια. Ενώ το σύστημα που προτείνεται μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο ολοκληρωμένο από απόψεως δυνατότητας επεξεργασίας της πληροφορίας περιβάλλοντος, η έλλειψη οργανωμένου συστήματος ανακάλυψης των πηγών πληροφορίας είναι ένα από τα κύρια μειονεκτήματα του.

✦ **Agent-based Context-Aware Infrastructure (ACAI)**: Τη χρήση πρακτόρων και οντολογιών για τη συλλογή πληροφορίας περιβάλλοντος προτείνουν επίσης οι Khedr και Karmouch [138] από το University of Ottawa. Σύμφωνα με την προτεινόμενη προσέγγιση ACAI, η διακίνηση της πληροφορίας πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τεσσάρων ειδών πράκτορες: τους πράκτορες των υπηρεσιών οι οποίοι διαπραγματεύονται και ανακτούν την πληροφορία εκ μέρους των υπηρεσιών, τους πράκτορες των πηγών οι οποίοι επικοινωνούν με τις πηγές πληροφορίες, τον πράκτορα διαχείρισης ο οποίος πραγματοποιεί την επικοινωνία ανάμεσα στους προηγούμενους πράκτορες και τον πράκτορα εξαγωγής συμπερασμάτων. Ωστόσο, η προτεινόμενη προσέγγιση περιγράφεται αρκετά γενικά χωρίς να παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες της υλοποίησης και κυρίως χωρίς να αιτιολογείται η χρήση πολλών πρακτόρων.

✦ **Nexus**: Στα πλαίσια του προγράμματος Nexus, οι Grossman, Bauer κ.α. [139] από το University of Stuttgart προτείνουν μια ομοσπονδία από εξυπηρετητές για τη διαχείριση της πληροφορία περιβάλλοντος σε μεγάλης κλίμακας σενάρια. Ειδικότερα, ταξινομείται η πληροφορία περιβάλλοντος με βάση το ρυθμό ανανέωσης της και την πιθανότητα ζήτησης της σε διαφορετικές κατηγορίες και για κάθε κατηγορία ορίζεται ένας ξεχωριστός εξυπηρετητής που διαχειρίζεται τη διακίνηση των δεδομένων. Όμως όλοι οι εξυπηρετητές μαζί λειτουργούν σαν μια ομοσπονδία προκειμένου να εξυπηρετήσουν τα αιτήματα των υπηρεσιών τα οποία μπορεί να είναι είτε σύγχρονα είτε ασύγχρονα. Κάθε εξυπηρετητής διαθέτει τη ίδια διεπαφή την οποία χρησιμοποιούν οι υπηρεσίες για να υποβάλλουν τα αιτήματα τους. Τα αιτήματα και οι επιστρεφόμενες τιμές εκφράζονται με βάση τις XML γλώσσες: Augmented World Query Language (AWQL) και Augmented World Modeling Language (AWML). Ωστόσο, η μοντελοποίηση της πληροφορίας γίνεται με βάση το αντικειμενοστραφές μοντέλο, δηλαδή τα δεδομένα αποθηκεύονται με τη μορφή αντικειμένων στους εξυπηρετητές βάσει ενός κοινού σχήματος. Για λόγους συνεργασίας κάθε εξυπηρετητής εγγράφεται στην αντίστοιχη περιοχή και τα αντικείμενα πληροφορίας εγγράφονται στον κατάλογο της περιοχής. Όταν ένα αίτημα για πληροφορία υποβάλλεται στην ομοσπονδία, χρησιμοποιώντας τους καταλόγους υποβάλλονται επιμέρους αιτήματα στους εξυπηρετητές. Το γεγονός ότι οι εξυπηρετητές είναι κατανεμημένοι καθώς και η ευκολία να προστεθούν νέοι εξυπηρετητές ή να χρησιμοποιηθούν ήδη υλοποιημένοι εξυπηρετεί την εξελιξιμότητα και την εξισορρόπηση του φορτίου.

✦ **Strathclyde Context Infrastructure (SCI)**: Ένα διαφορετικό είδος ομοσπονδίας για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος προτείνεται από τους Glassey, Stevenson κ.α. [116] από το University of Strathclyde. Η προσέγγιση που προτείνουν ορίζει περιοχές ‘range’ είτε με την έννοια του φυσικού χώρου, όπως ένα κτήριο, είτε ως λογική περιοχή, όπως ένα ασύρματο δίκτυο. Σε κάθε περιοχή λειτουργεί ένας εξυπηρετητής πληροφορίας ο οποίος διαχειρίζεται την πληροφορία που σχετίζεται με τη συγκεκριμένη περιοχή. Κάθε εξυπηρετητής πληροφορίας διαχειρίζεται τις οντότητες πληροφορίας που αντιστοιχούν στην προσφερόμενη πληροφορία και κάποιες βοηθητικές συνιστώσες για τη διαχείριση των αιτημάτων, των ενημερώσεων, του καταλόγου των διαθέσιμων οντοτήτων. Για κάθε οντότητα πληροφορίας ορίζεται επίσης το προφίλ της, το οποίο περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά της και η διαφήμιση που περιγράφει τον τρόπο επικοινωνίας μαζί της. Η επικοινωνία των εξυπηρετητών πληροφορίας πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το υπερκείμενο δίκτυο SCINET. Τα αιτήματα που υποβάλλουν οι υπηρεσίες, περιγράφονται με τη γλώσσα XML και περιλαμβάνουν πέντε tags τα οποία περιγράφουν: τι είδους πληροφορία ζητείται, σε ποια περιοχή, πότε και με τι κριτήρια επιλογής, και το είδος του αιτήματος, δηλαδή είτε απλό αίτημα, είτε αίτημα εγγραφής για μια ή συνεχείς ενημερώσεις. Ο συνδυασμός των διαθέσιμων δεδομένων και η σύνθεση νέων δεδομένων πραγματοποιείται μέσω του προσδιορισμού παραμέτρων στα αιτήματα. Η προτεινόμενη προσέγγιση εστιάζει περισσότερο σε ζητήματα αποδοτικότητας και εξελισιμότητας στη συλλογή της πληροφορίας και εισάγει ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής που απλοποιεί την ανάκτηση πληροφορίας από τις υπηρεσίες. Όμως υπάρχουν πολλά ζητήματα που απαιτούν περαιτέρω μελέτη, όπως το μοντέλο επικοινωνίας των εξυπηρετητών, τα ζητήματα ασφάλειας και ευρωστίας.

✦ **Java Context Awareness Framework (JCAF)**: Ο Bardram [140] από το University of Aarhus προτείνει την υποδομή JCAF η οποία αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Java. Η υποδομή αποτελείται από ένα σύνολο καταναμημένων υπηρεσιών πληροφορίας οι οποίες επικοινωνούν σύμφωνα με το μοντέλο των ομότιμων μεσιτών. Συνήθως μια υπηρεσία πληροφορίας ειδικεύεται στα δεδομένα που προέρχονται από συγκεκριμένο χώρο. Η προσφορά και η πρόσβαση στα δεδομένα γίνεται μέσω αυστηρά προδιαγεγραμμένων διεπαφών (Context Client API) και υποστηρίζεται ο σύγχρονος και ο ασύγχρονος τρόπος ανάκτησης δεδομένων. Προφανώς, η μοντελοποίηση της πληροφορίας γίνεται με τη χρήση αντικειμένων Java. Τέλος, η προτεινόμενη υποδομή καλύπτει κατά τον ελάχιστο τρόπο τις απαιτήσεις για ιδιωτικότητα των χρηστών. Πρόσθετη υποστήριξη για την ασφάλεια, την επικύρωση, τον έλεγχο πρόσβασης, και την κρυπτογράφηση μπορεί να προστεθεί με τη χρησιμοποίηση της βιβλιοθήκης ασφάλειας που παρέχει η Java.

✦ **Gaia**: Το πρόγραμμα Gaia [141] από το University of Illinois ασχολείται με την υλοποίηση μιας κατανεμημένης υποδομής για να υποστηρίξει τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος που περιέχονται σε έξυπνους χώρους, σπίτια και χώρους συνάντησης. Η προτεινόμενη υποδομή βασίζεται στην τεχνολογία CORBA. Για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος η προτεινόμενη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί τις εξής συνιστώσες: το διαχειριστή γεγονότων, ο οποίος υλοποιεί ένα αποσυνδεδεμένο πρότυπο επικοινωνίας που αποτελείται από τους προμηθευτές, τους καταναλωτές και τα κανάλια. Σε κάθε κανάλι υπάρχει ένας ή περισσότεροι προμηθευτές που παρέχουν πληροφορία και ένας ή περισσότεροι καταναλωτές που ανακτούν πληροφορία. Εάν ένας προμηθευτής αποτύχει τότε αντικαθίσταται αυτόματα από κάποιον άλλον. Η υπηρεσία πληροφορίας περιβάλλοντος χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες για να ανακτήσουν τη ζητούμενη πληροφορία από το περιβάλλον, είτε με απλά αιτήματα είτε με εγγραφές για ενημερώσεις. Οι λεπτομέρειες των διαθέσιμων παρόχων πληροφορίας διατηρούνται σε έναν κατάλογο εγγραφής στον οποίο ανατρέχουν οι υπηρεσίες για να βρουν το πάροχο από τον οποίο θα ανακτήσουν τα δεδομένα που χρειάζονται. Το μοντέλο περιγραφής της πληροφορίας χρησιμοποιεί first-order δηλώσεις με τέσσερις παραμέτρους (το είδος της πληροφορίας, την οντότητα που αφορά, δηλαδή το άτομο, το χώρο και το αντικείμενο, τη σχέση με την τιμή υπό μορφή ισότητας ή μικρότερο ή μεγαλύτερο). Ένα παράδειγμα πληροφορίας περιβάλλοντος που περιγράφεται με τον προτεινόμενο τρόπο είναι το εξής: `Context(temperature, room 3231, is, 98 F)`. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για την περιγραφή είναι DAML+OIL. Επίσης, η υπηρεσία πληροφορίας επιτρέπει τη δημιουργία δεδομένων υψηλού επιπέδου εφαρμόζοντας λογικές πράξεις όπως `quantification`, `implication`, `conjunction` `disjunction` και `negation` στις δηλώσεις πληροφορίας. Ένα παράδειγμα κανόνα εξαγωγής πληροφορίας υψηλού επιπέδου είναι το εξής: `εάν ισχύουν Context(Number of people, Room 2401, >, 4) AND Context(Application, Powerpoint, is, Running) τότε Context(Social Activity, Room 2401, Is, Presentation)`. Επίσης πρόσφατα η υποδομή έχει εμπλουτιστεί με μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων (πιθανοτική λογική, fuzzy λογική, Bayesian δίκτυα) για την αντιμετώπιση περιπτώσεων ανακρίβειας στην πληροφορίας [142]. Σχετικά με τα ζητήματα ασφάλειας, το πρόγραμμα Gaia προστατεύει την ιδιωτικότητα των χρηστών ως προς τον εντοπισμό της θέσης τους και υποστηρίζει έλεγχο πρόσβασης στα δεδομένα τους.

✦ **Service-Oriented Context-aware middleware (SOCAM)**: Στα πλαίσια του προγράμματος SOCAM, οι Gu, Pung, και Zhang [143] από το National University of Singapore προτείνουν ένα κεντρικό σύστημα για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος. Σύμφωνα με αυτό, ένας κεντρικός εξυπηρετητής είναι υπεύθυνος για τη συλλογή των δεδομένων από τους

καταναεμημένους προμηθευτές πληροφορίας, την επεξεργασία και τη διανομή στους καταναλωτές/υπηρεσίες. Το σύστημα διαθέτει το μηχανισμό ανακάλυψης Service Locating Service, με τον οποίο πραγματοποιείται με δυναμικό τρόπο ο εντοπισμός και η επικοινωνία με τους προμηθευτές πληροφορίας. Επίσης, το σύστημα χρησιμοποιεί τη γλώσσα οντολογιών OWL για την υλοποίηση του μοντέλου πληροφορίας περιβάλλοντος. Ειδικότερα, σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο ορίζονται υπο-περιοχές, όπως περιοχή σπιτιού, περιοχή γραφείου στις οποίες ορίζονται απλές οντολογίες ώστε να είναι λιγότερο πολύπλοκη η επεξεργασία των δεδομένων. Η συνιστώσα 'Context Reasoning Engine' είναι υπεύθυνη για την εξαγωγή συμπερασμάτων, την επίλυση διαφωνιών (conflicts) και τη διατήρηση της συνοχής των δεδομένων που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων. Ωστόσο, εκτός από το γεγονός ότι η αρχιτεκτονική που ακολουθείται είναι συγκεντρωτική, η προτεινόμενη προσέγγιση υστερεί στο ότι δεν προσφέρει μηχανισμούς ασφάλειας. Η ίδια ερευνητική ομάδα αργότερα ασχολήθηκε με τη δημιουργία ενός καταναεμημένου συστήματος αναζήτησης πληροφορίας, επεκτείνοντας το σύστημα SOCAM. Στο νέο σύστημα (Context Bus) [79] οι κόμβοι που παρέχουν παρόμοια πληροφορία ομαδοποιούνται διαμορφώνοντας ένα μη δομημένο υπερκείμενο δίκτυο. Συνεπώς, τα αιτήματα για πληροφορία δρομολογούνται στις κατάλληλες ομάδες, ώστε να μειωθεί η κίνηση στο δίκτυο από αιτήματα προς κόμβους που έχουν άσχετη πληροφορία και να αυξηθούν οι πιθανότητες να βρεθεί η πληροφορία γρήγορα.

★ **Context Management Framework (CMF)**: Η αρχιτεκτονική CMF την οποία προτείνουν οι Korpiää, Mantyjarvi κ.α. [144], από το ερευνητικό κέντρο VTT, αποτελείται από τις εξής τέσσερεις συνιστώσες: το διαχειριστή πληροφορίας, τους εξυπηρετητές πόρων, τις υπηρεσίες αναγνώρισης πληροφορίας και τις εφαρμογές. Οι εξυπηρετητές πόρων επικοινωνούν με τους αισθητήρες, πραγματοποιούν προ-επεξεργασία και παραδίδουν τα δεδομένα στο διαχειριστή πληροφορίας ο οποίος επικοινωνεί με τις υπηρεσίες και παραδίδει την πληροφορία που ζητείται. Οι υπηρεσίες αναγνώρισης πληροφορίας χρησιμοποιούνται από το διαχειριστή για την παραγωγή δεδομένων υψηλότερου επιπέδου, ενώ νέες υπηρεσίες αναγνώρισης είναι εύκολο να προστεθούν. Σχετικά με την αρχιτεκτονική που ακολουθείται, πρέπει να επισημανθεί ότι ο διαχειριστής πληροφορίας βρίσκεται στο τερματικό του χρήστη, ενώ οι υπόλοιπες συνιστώσες είναι διασκορπισμένες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλους τους χρήστες. Το μοντέλο πληροφορίας περιβάλλοντος που χρησιμοποιεί η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στην τεχνολογία των οντολογιών και υλοποιείται με το πρότυπο RDF. Ωστόσο, η προτεινόμενη προσέγγιση έχει περιορισμένη εφαρμογή καθώς αφορά συλλογή πληροφορίας από κινητά τερματικά.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2-1) καταγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προσεγγίσεων που αναλύθηκαν.

**Πίνακας 2-1:** Υλοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος

<u>ΣΥΣΤΗΜΑ</u>	<u>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ</u>	<u>ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ</u>	<u>ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ</u>	<u>ΠΗΓΕΣ</u>	<u>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ</u>	<u>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ</u>	<u>ΑΣΦΑΛΕΙΑ/ ΙΔΙΩΤΙΚΟΤΗΤΑ</u>
<i>Schilit</i>	Κατανεμημένη	Κλειδί- Τιμή	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	-	-	-
<i>Cooltown</i>	Κατανεμημένη	Ιστοσελίδες	Σύγχρονη	Ενεργές	Ανακάλυψη URLs με βάση το φυσικό χώρο	-	-
<i>Conext Toolkit</i>	Κατανεμημένη	Markup Scheme (XML)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Συνιστώσα ανακάλυψης	Συνιστώσες μετάφρασης και ένωσης	Ιδιοκτησία δεδομένων
<i>Context Fabric</i>	Κατανεμημένη	Markup Scheme (tuple spaces)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Ανακάλυψη πηγών με βάση την εγγύτητα	Automatic path creation	Έλεγχος από το χρήστη, ετικέτες πρόσβασης
<i>Context Weaver</i>	Κεντρική	Markup Scheme (XML)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Παθητικές	XQuery	Συνιστώσες σύνθεσης	R3P
<i>Owl Context Service</i>	Κεντρική	Markup Scheme	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Παθητικές	Αποστολέας (dispatcher) αιτημάτων	-	Έλεγχος πρόσβασης με ρόλους
<i>Solar</i>	Κατανεμημένη	Markup Scheme - Αντικειμενο-στραφές (Java objects)	Ασύγχρονη	Παθητικές	Κατάλογοι εγγραφών	Μετατροπή, φιλτράρισμα, ένωση, συνδυασμό	Έλεγχος πρόσβασης με ρόλους και πολιτικές
<i>Aura</i>	Κεντρική	Markup Scheme (XML)	Σύγχρονη	Παθητικές	-	Υπηρεσία σύνθεσης	Έλεγχος πρόσβασης με γλώσσα κανόνων
<i>Pace</i>	Κατανεμημένη	Γραφικό (ORM)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Κεντρικός κατάλογος εγγραφών	-	Έλεγχος πρόσβασης
<i>Harter, Hopper κ.α.</i>	Κεντρική	Αντικειμενο-στραφές	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	-	-	-
<i>CoBra</i>	Κεντρική	Οντολογίες (OWL)	Σύγχρονη	Ενεργές	-	Εξαγωγή συμπερασμάτων	Rei γλώσσα πολιτικών
<i>ACAI</i>	Κατανεμημένη	Οντολογίες (OWL)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Παθητικές	Πράκτορας διαχείρισης πληροφορίας	Εξαγωγή συμπερασμάτων	Εξουσιοδότηση ανάκτησης πληροφορίας
<i>Nexus</i>	Κεντρική	Αντικειμενο-στραφές	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Κεντρικός κατάλογος εγγραφών	-	-
<i>SCI</i>	Κατανεμημένη	Markup Scheme (XML)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Τοπικοί κατάλογοι εγγραφών	Προσδιορισμός παραμέτρων	-
<i>JCAF</i>	Κατανεμημένη	Αντικειμενο-στραφές (Java objects)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	-	-	Βιβλιοθήκη ασφάλειας Java
<i>Gaia</i>	Κεντρική	Οντολογίες (DAML+OIL)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Κεντρική υπηρεσία ανακάλυψης	Λογικές πράξεις, εξαγωγή συμπερασμάτων	Απόρρητο θέσης χρήστη, έλεγχος πρόσβασης στα δεδομένα
<i>SOCAM</i>	Κεντρική	Οντολογίες (OWL)	Σύγχρονη Ασύγχρονη	Ενεργές	Service locating service	Εξαγωγή συμπερασμάτων	-
<i>CMF</i>	Κατανεμημένη	Οντολογίες (RDF)	Σύγχρονη	Ενεργές	Εξυπηρετητές πόρων	Υπηρεσίες αναγνώρισης πληροφορίας	-

Από τα χαρακτηριστικά των προτεινόμενων προσεγγίσεων φαίνεται ότι η ερευνητική κοινότητα ολοένα και εστιάζει στην ανάπτυξη κατανεμημένων συστημάτων διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος και στη χρήση της τεχνολογίας των οντολογιών. Ωστόσο, με την πολλά υποσχόμενη τεχνολογία των οντολογιών δεν έχει ακόμη επιτευχθεί η ανάπτυξη γενικών μοντέλων λόγω της πολυπλοκότητάς της. Επίσης, ο έλεγχος πρόσβασης στα δεδομένα με τη χρήση κανόνων και πολιτικών, και η επεξεργασία της πληροφορίας χρησιμοποιώντας τεχνικές εξαγωγής συμπερασμάτων έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον των ερευνητών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των προσεγγίσεων προτείνει τη συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων ανεξαρτήτως της ζήτησης τους, δηλαδή ακολουθώντας τον ενεργό τρόπο παροχής της πληροφορίας. Σχετικά με την ανακάλυψη των πηγών πληροφορίας, οι περισσότερες προσεγγίσεις υιοθετούν έναν κεντρικό κατάλογο εγγραφής των διαθέσιμων πληροφοριών ενώ όλες πραγματοποιούν επιλογή των πηγών με βάση την ονομασία της ζητούμενης πληροφορίας. Παρόλο που η εξέλιξη των συστημάτων είναι ταχεία τα τελευταία χρόνια, παραμένουν αρκετά ζητήματα που πρέπει να μελετηθούν ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία των μηχανισμών διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος. Η παρούσα διατριβή ασχολείται με δύο προβλήματα που έχουν ελάχιστα αντιμετωπιστεί από τα ήδη υλοποιημένα συστήματα και σχετίζονται με τη μελέτη του μηχανισμού επιλογής σε ένα σύστημα ανακάλυψης της πληροφορίας περιβάλλοντος και τη διακίνηση της πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο.

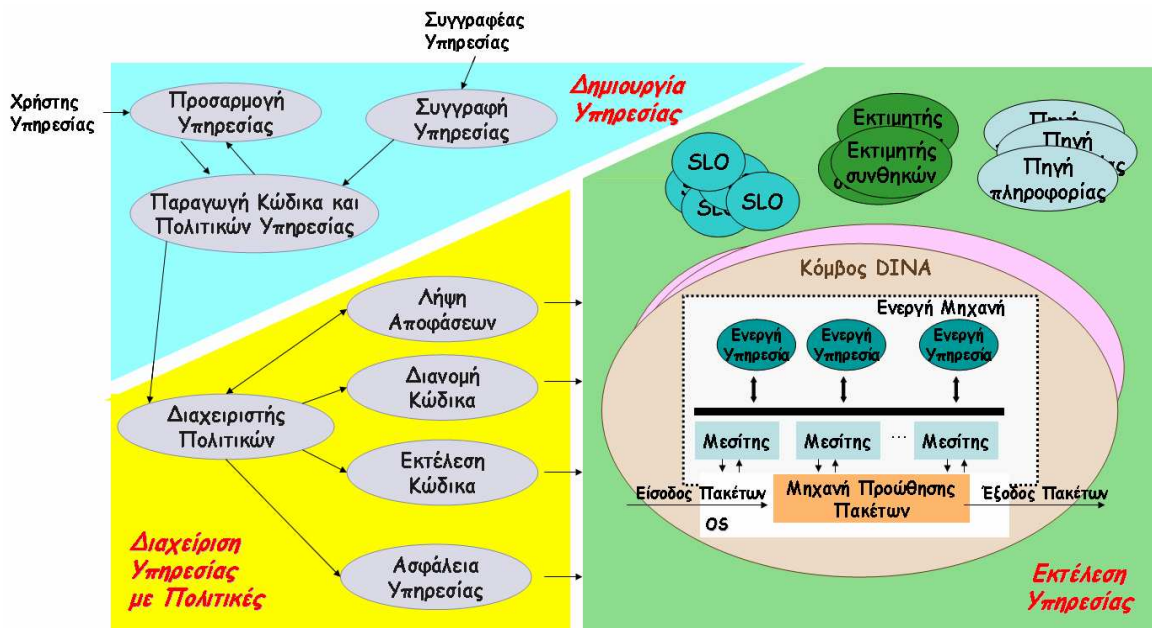
## 2.4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CONTEXT

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η προσέγγιση που προτείνει το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα CONTEXT για τη δημιουργία και διαχείριση υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο σύστημα διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος, το οποίο αποτελεί τη βάση για την ανάλυση των ειδικότερων προβλημάτων της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα, στην ενότητα 2.4.1 παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική που προτάθηκε από το CONTEXT και στην ενότητα 2.4.2 αναλύεται το σύστημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος.

### 2.4.1. Δημιουργία και Διαχείριση Υπηρεσιών με Επίγνωση του Περιβάλλοντος

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα CONTEXT απεικονίζεται στο Σχήμα 2-10.





Σχήμα 2-10: Αρχιτεκτονική CONTEXT

Τα τρία βασικά λειτουργικά στρώματα που υλοποιούν το σύστημα παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι τα εξής:

- ♦ **Στρώμα δημιουργίας υπηρεσιών (Service Creation Layer):** Το επίπεδο αυτό ασχολείται με την κατασκευή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Για την μοντελοποίηση των υπηρεσιών χρησιμοποιείται το μοντέλο πολιτικών Policy Core Information Model (PCIM) [146] και η γλώσσα XML. Η συνιστώσα συγγραφής υπηρεσίας (Service Authoring) παρέχει εργαλεία που επιτρέπουν τη δημιουργία του XML εγγράφου μιας υπηρεσίας επιλέγοντας και συνδυάζοντας δομικά στοιχεία από τη βιβλιοθήκη των οντοτήτων πληροφορίας (Context Entities) και των οντοτήτων δράσεων (Action Entities) καθώς και κάποιες βασικές οντότητες (Basic Entities). Με αυτόν τον εύκολο τρόπο δημιουργείται αυτόματα η λογική της υπηρεσίας με τη μορφή ‘Εάν ....., τότε... (if/else-then)’. Η συνιστώσα προσαρμογής υπηρεσιών (Service Customization) είναι αρμόδια για τη σύναψη των συμφωνιών συνδρομής με τους καταναλωτές υπηρεσιών και για την παροχή μιας διεπαφής στους καταναλωτές όπου καθορίζουν τις απαιτήσεις τους. Τέλος, η συνιστώσα παραγωγής κώδικα και πολιτικών (Code And Policies Generation) παράγει με αυτοματοποιημένο τρόπο από το XML έγγραφο της υπηρεσίας και τις παραμέτρους προσαρμογής του χρήστη τον κώδικα της υπηρεσίας (Service Logic Object - SLO) και τις πολιτικές διανομής και εκτέλεσης για το συγκεκριμένο χρήστη.

- ♦ **Στρώμα διαχείρισης υπηρεσιών (Service Management Layer):** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει ένα σύστημα διαχείρισης που βασίζεται σε πολιτικές (Policy-based

management). Με το σύστημα αυτό, πραγματοποιείται η διανομή (Code Distributor), δηλαδή η εγκατάσταση του κώδικα των υπηρεσιών στους κατάλληλους κόμβους, η εκτέλεση (Code Execution Controller), δηλαδή η ενεργοποίηση των υπηρεσιών όταν συμβούν οι κατάλληλες συνθήκες και η διαβεβαίωση της σωστής εκτέλεσης των υπηρεσιών (Service Assurance). Για τις ανάγκες των αντίστοιχων λειτουργιών εκτός από το σύστημα διαχείρισης πολιτικών έχουν αναπτυχθεί και οι αντίστοιχες μονάδες που υλοποιούν την εκτίμηση των συνθηκών (Condition Evaluator), ενώ οι δράσεις που αποφασίζονται υλοποιούνται από τις συνιστώσες διανομής, εκτέλεσης και διαβεβαίωσης της σωστής λειτουργίας των υπηρεσιών.

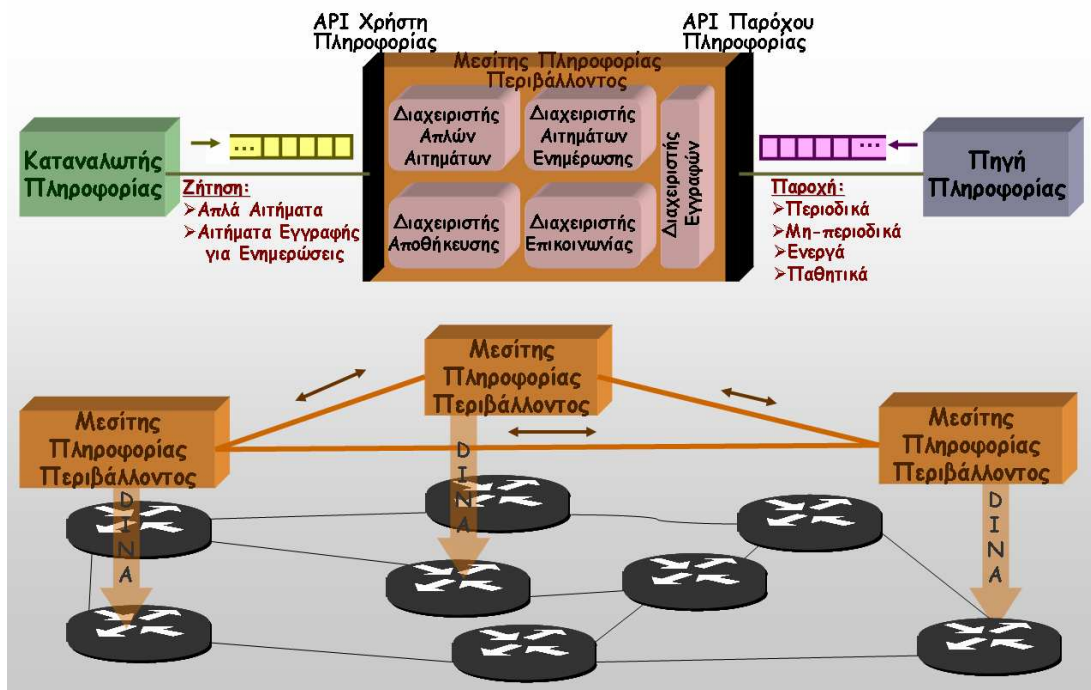
♦ **Στρώμα εκτέλεσης υπηρεσιών (Service Execution Layer):** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τις λειτουργίες και το περιβάλλον εκτέλεσης των υπηρεσιών. Ειδικότερα, το περιβάλλον εκτέλεσης των υπηρεσιών παρέχεται από την πλατφόρμα ενεργών δικτύων (Active Networks) [147] που ονομάζεται DINA [148] και αναπτύχθηκε στα πλαίσια του CONTEXT ως επέκταση της πλατφόρμας ABLE [149]. Τα ενεργά δίκτυα παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης του κώδικα, που μεταφέρεται άμεσα ή έμμεσα, από τα πακέτα, στο περιβάλλον εκτέλεσης που διαθέτουν οι κόμβοι προορισμού τους. Η πλατφόρμα DINA προσαρτάται σε διάφορα στοιχεία όπως δρομολογητές, σημεία ασύρματης πρόσβασης (Wireless Local Area Network - WLAN) καθιστώντας τους κόμβους ενεργούς. Ένας ενεργός κόμβος φιλτράρει τα πακέτα που φτάνουν σε αυτόν (Μηχανή Προώθησης Πακέτων - Forwarding Engine) και έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει τον κώδικα που είναι προσαρτημένος σε αυτά, δηλαδή τις ενεργές υπηρεσίες, στο περιβάλλον εκτέλεσης της Ενεργής Μηχανής (Active Engine). Επίσης, η DINA προσφέρει ένα σύνολο μεσιτών (Μεσίτης πληροφορίας, Μεσίτης QoS, Μεσίτης WLAN, Μεσίτης ελέγχου, Μεσίτης δικτύου, Μεσίτης φιλτραρίσματος) μέσω των οποίων οι ενεργές υπηρεσίες έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες και τους πόρους του τοπικού περιβάλλοντος, αλλά και μπορούν να το διαμορφώσουν [150]. Η επικοινωνία των ενεργών υπηρεσιών με τους μεσίτες πραγματοποιείται μέσω των προδιαγεγραμμένων διεπαφών που προσφέρουν. Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ενεργών δικτύων εντοπίζονται στο ότι προσφέρει ένα κατανεμημένο περιβάλλον εκτέλεσης των υπηρεσιών και τη δυνατότητα εύκολης αλληλεπίδρασης των υπηρεσιών με τη δικτυακή υποδομή.

Λεπτομερέστερη ανάλυση του στρώματος υπηρεσίας που ασχολείται με τη δημιουργία και τη διαχείριση υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος (Service Layer), καθώς και του στρώματος ενεργών εφαρμογών (Active Application Layer), δηλαδή την πλατφόρμα DINA παρουσιάζεται στα παραδοτέα κείμενα του προγράμματος CONTEXT, [151] και [152]

αντίστοιχα, καθώς και στο βιβλίο [153]. Η λειτουργικότητα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής έχει αποτιμηθεί με την υλοποίηση τριών σεναρίων που αφορούν δικτυακές υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος. Στα σενάρια αυτά λαμβάνονται υπόψη οι επικρατούσες συνθήκες του δικτύου και τα δεδομένα των χρηστών προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η μεταφορά αρχείων (Super Mother Scenario), η τηλεδιάσκεψη (Conference Setup Scenario) και η προώθηση κλίσεων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Crisis Helper). Πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ ο αρχικός σκοπός του προγράμματος ήταν κυρίως η ανάπτυξη υπηρεσιών με επίγνωση του δικτύου, το σύστημα που υλοποιήθηκε είναι αρκετά γενικό και μπορεί να εφαρμοστεί για τη δημιουργία κάθε είδους υπηρεσίας με επίγνωση του περιβάλλοντος.

### **2.4.2. Σύστημα Παροχής Πληροφορίας Περιβάλλοντος**

Ακολουθώντας τη γενική απαίτηση για διαχωρισμό της διαδικασίας ανάκτησης της πληροφορίας περιβάλλοντος από τη λειτουργικότητα των υπηρεσιών, το πρόγραμμα CONTEXT έχει υλοποιήσει ένα καταναμημένο σύστημα διαχείρισης της συλλογής πληροφορίας περιβάλλοντος, επεξεργασίας των αιτημάτων για πληροφορία και διανομής των ζητούμενων δεδομένων στις υπηρεσίες [154][155]. Ειδικότερα, έχει αναπτύξει στη γλώσσα Java ένα νέο μεσίτη της πλατφόρμα DINA ο οποίος ονομάζεται *Μεσίτης Πληροφορίας Περιβάλλοντος (Context Broker)* [148]. Έτσι λοιπόν, με την εγκατάσταση της DINA στους κόμβους του δικτύου δημιουργείται ένα σύστημα ομότιμων μεσιτών πληροφορίας περιβάλλοντος το οποίο παρέχει τα ζητούμενα δεδομένα με ομοιόμορφο και διαφανή τρόπο προς τους χρήστες. Κάθε μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος διαχειρίζεται τους τοπικούς πόρους πληροφορίας και πραγματοποιεί την επικοινωνία με τους ομότιμους μεσίτες, λειτουργώντας ταυτόχρονα ως πελάτης και εξυπηρετητής. Διαμορφώνεται επομένως μια καλά οργανωμένη ομοσπονδία που συνεργάζεται για να αποκριθεί στα αιτήματα για πληροφορία. Τόσο οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος (SLOs) όσο και οι πηγές πληροφορίας είναι προσαρτημένες σε κάποιον ενεργό κόμβο και έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν με τον τοπικό μεσίτη πληροφορίας μέσω των διεπαφών που παρέχει. Οι πηγές πληροφορίας απαρτίζονται από άλλους μεσίτες της πλατφόρμας (όπως το μεσίτη που επικοινωνεί με το σταθμό βάσης WLAN, το μεσίτη που ανακτά τοπικές παραμέτρους Management Information Base - MIB), τις εφαρμογές που επικοινωνούν με εξωτερικές πηγές (όπως βάσεις δεδομένων, αισθητήρες, ημερολόγια χρηστών) και τις εφαρμογές που ονομάζονται Context Computational Objects (CCOs) και παράγουν σύνθετη πληροφορία χρησιμοποιώντας πρωτογενή δεδομένα που ανακτούν από άλλες πηγές πληροφορίας. Το προτεινόμενο καταναμημένο σύστημα απεικονίζεται στο Σχήμα 2-11.



Σχήμα 2-11: Αρχιτεκτονική Διαχείρισης Πληροφορίας Περιβάλλοντος

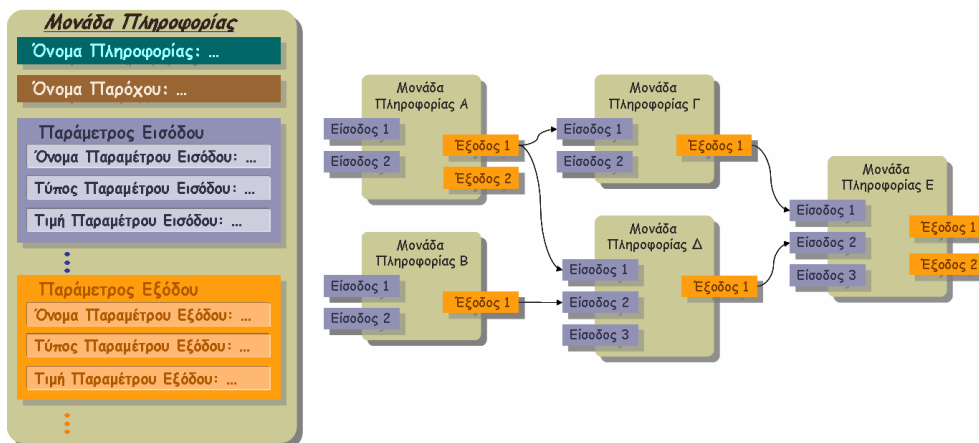
Ο μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος προσφέρει δύο διεπαφές (Application Programming Interfaces - APIs): τη *Διεπαφή Παρόχου Πληροφορίας Περιβάλλοντος* που επιτρέπει στις πηγές να ορίσουν αρχικά την πληροφορία που προσφέρουν και κατόπιν να προσφέρουν και να ανανεώνουν τα δεδομένα τους, και τη *Διεπαφή Χρήστη Πληροφορίας Περιβάλλοντος* η οποία επιτρέπει στις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος να ζητήσουν την πληροφορία. Οι ίδιες διεπαφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις πηγές που ειδικεύονται στην επεξεργασία πρωτογενούς πληροφορίας και την παραγωγή πληροφορίας υψηλού επιπέδου. Γι' αυτό το λόγο, ο όρος καταναλωτής πληροφορίας αναφέρεται σε κάθε οντότητα που ζητά πληροφορία και μπορεί να είναι είτε υπηρεσία είτε πηγή. Ο μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος δέχεται δύο τύπους αιτημάτων: τα *Αιτήματα Ανανέωσης Πληροφορίας* που υποβάλλονται από τις πηγές πληροφορίας και τα *Αιτήματα Ανάκτησης Πληροφορίας* που υποβάλλονται από τους καταναλωτές. Οι δύο τύποι αιτημάτων αναμένουν στις αντίστοιχες ουρές αιτήσεων: *Ουρά Αιτημάτων Ανανέωσης Πληροφορίας* και *Ουρά Αιτημάτων Ανάκτησης Πληροφορίας*, έως ότου εξυπηρετηθούν από το μεσίτη.

Οι πηγές πληροφορίας προσφέρουν δεδομένα είτε περιοδικά είτε μη περιοδικά. Οι τελευταίες παράγουν γεγονότα πληροφορίας, όταν η τιμή της πληροφορίας αλλάξει ή όταν ισχύσει κάποια συνθήκη, για παράδειγμα όταν ξεπεραστεί κάποιο κατώφλι. Ωστόσο και τα δύο είδη πηγών ανανεώνουν τα δεδομένα τους σύμφωνα με συγκεκριμένη περίοδο ανανέωσης. Όμως, οι μη περιοδικές πηγές ελέγχουν κάποιες ειδικές συνθήκες για να παραδώσουν τη νέα

τιμή, με αποτέλεσμα να παρέχουν νέα τιμή ανά μη τακτά χρονικά διαστήματα, μεγέθους πολλαπλάσιου της περιόδου ανανέωσης. Επίσης, τα δεδομένα παρέχονται κατόπιν υποβολής αντίστοιχου αιτήματος ή ανεξαρτήτως. Επομένως υποστηρίζονται και οι δύο μέθοδοι παροχής δεδομένων, παθητική και ενεργή, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα που υλοποιούν τον έναν από τους δύο. Ο μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος υποστηρίζει σύγχρονη και ασύγχρονη επικοινωνία, ώστε να ικανοποιήσει τόσο τα απλά αιτήματα (queries) για πληροφορία, σύμφωνα με τα οποία ζητούνται τα δεδομένα που ισχύουν για κάποια οντότητα τη δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά και τα αιτήματα εγγραφής για ενημέρωση γεγονότων πληροφορίας (subscriptions for context event notifications), σύμφωνα με τα οποία ο καταναλωτής ζητά να ενημερωθεί για τυχόν αλλαγές στα δεδομένα κάποιας οντότητας. Στην περίπτωση της εγγραφής για ενημερώσεις, ανακοινώνονται στον καταναλωτή τα γεγονότα που συμβαίνουν και τον ενδιαφέρουν, ενώ όταν ο καταναλωτής θελήσει να σταματήσει να ενημερώνεται για τα αντίστοιχα γεγονότα, υποβάλλει στο μεσίτη πληροφορίας αίτηση διαγραφής του. Επίσης, το σύστημα θεωρεί ότι ζητούνται μόνον τα τρέχοντα δεδομένα, και όχι παλαιότερα (ιστορικά) δεδομένα που ίσχυαν κάποια χρονική στιγμή στο παρελθόν, και αποθηκεύει μόνο τις τελευταίες τιμές.

Επειδή οι καταναλωτές πληροφορίας και οι πηγές πληροφορίας είναι απαραίτητο να ακολουθούν ένα κοινό μοντέλο περιγραφής της πληροφορίας έχει αναπτυχθεί ένας δομημένος τρόπος περιγραφής που μοιάζει με ένα είδος πρωτογενούς οντολογίας. Ειδικότερα, προτείνεται η έννοια των *Μονάδων Πληροφορίας (Context Modules/Entities)* οι οποίες είναι περιγραφές βασισμένες στη γλώσσα XML. Κάθε μονάδα πληροφορίας αποτελείται από τέσσερα τμήματα: το όνομα της πληροφορίας (context name), το όνομα της πηγής πληροφορίας (producer name), τις παραμέτρους εισόδου (input parameters) και τις παραμέτρους εξόδου (output parameters). Η ονομασία της πληροφορίας έχει διαστιγμένο μορφή (dotted form) αντίστοιχα με τη θέση της στο δέντρο πληροφορίας περιβάλλοντος (context tree) [154], με το οποίο παριστάνεται η ιεραρχική οργάνωση όλων τα ειδών πληροφορίας. Κάθε παράμετρος, εισόδου ή εξόδου, αποτελείται από τρία τμήματα: το όνομα, τον τύπο και την τιμή της παραμέτρου (name, type e.g. integer, string, list and parameter value). Ειδικότερα, όταν μία πηγή πληροφορίας περιβάλλοντος δηλώνει (register) την πληροφορία που παρέχει, δηλώνει την αντίστοιχη μονάδα πληροφορίας, προσδιορίζοντας τα ονόματα της πληροφορίας και του παρόχου, καθώς και τα ονόματα των παραμέτρων εισόδου και εξόδου. Επίσης προσδιορίζει τις τιμές των παραμέτρων ταυτοποίησης (identification parameters), οι οποίες είναι ένα υποσύνολο των παραμέτρων εισόδου. Οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων εισόδου, που ονομάζονται παράμετροι ενεργοποίησης (activation parameters), προσδιορίζονται από τον καταναλωτή της πληροφορίας

κατά την αίτηση του να την αποκτήσει. Μετά την εγγραφή της πηγής ανανεώνεται η βιβλιοθήκη του συστήματος με την αντίστοιχη μονάδα πληροφορίας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους σχεδιαστές των υπηρεσιών. Όταν ένας καταναλωτής πληροφορίας ζητά συγκεκριμένη πληροφορία, προσδιορίζει το όνομα της πληροφορίας, τις παραμέτρους εισόδου (ονόματα και τιμές), και τις παραμέτρους εξόδου (μόνο ονόματα). Στο Σχήμα 2-12 απεικονίζεται η περιγραφή μιας μονάδας πληροφορίας καθώς και ένα παράδειγμα σύνθεσης πολυπλοκότερων δεδομένων. Η προτεινόμενη προσέγγιση ακολουθεί το δεδομένο-κεντρικό μοντέλο, σύμφωνα με το οποίο δεν χρειάζεται να προσδιοριστεί το όνομα του παρόχου από τον οποίο θα αποκτηθεί η πληροφορία αλλά απλά η πληροφορία που ζητείται. Το μοντέλο αυτό υπερέρχει σε ζητήματα ευελιξίας και επεκτασιμότητας καθώς επιτρέπει την είσοδο νέων πηγών με μηδενικό κόστος και δεν απαιτεί να γνωρίζει η υπηρεσία εκ των προτέρων τον πάροχο της ζητούμενης πληροφορίας.



Σχήμα 2-12: Μοντέλο Περιγραφής Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Κάθε μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος απαρτίζεται από τις εξής συνιστώσες: Διαχειριστής απλών αιτημάτων, Διαχειριστής αιτημάτων ενημέρωσης, Διαχειριστής αποθήκευσης, Διαχειριστής εγγραφών και Διαχειριστής επικοινωνίας με υπόλοιπους μεσίτες [82],[155],[156]. Συνοπτικά, η λειτουργικότητα του μεσίτη πληροφορίας είναι η εξής: Κάθε πηγή πληροφορίας δηλώνεται στο τοπικό μεσίτη προσδιορίζοντας το είδος της πληροφορίας και τα χαρακτηριστικά της (δηλαδή την μονάδα πληροφορίας), τη θέση εκτέλεσης της και τον τρόπο επικοινωνίας μαζί της. Στη συνέχεια ο τοπικός μεσίτης αποστέλλει τα στοιχεία της δήλωσης με τη μορφή διαφημίσεων σε όλους τους υπόλοιπους μεσίτες. Οι καταναλωτές της πληροφορίας υποβάλλουν και αυτές τα αιτήματα τους στο τοπικό μεσίτη. Όταν ο μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος λαμβάνει ένα αίτημα για πληροφορία, το επεξεργάζεται και ανακαλύπτει την πηγή που θα το απαντήσει. Η καταλληλότερη πηγή βρίσκεται με απλό ταίριασμα των διαθέσιμων και ζητούμενων δεδομένων, δηλαδή προκύπτει από τη σύγκριση

του είδους της πληροφορίας και των παραμέτρων εισόδου και εξόδου. Ένα πιο προηγμένο μοντέλο επιλογής της καταλληλότερης πηγής προτείνεται στο τρίτο κεφάλαιο της διατριβής. Εάν βρεθεί ότι η ζητούμενη πληροφορία λειτουργεί τοπικά, τότε ανακτάται η πληροφορία από την τοπική βάση δεδομένων ή από την πηγή (ανάλογα αν η πηγή είναι παθητική ή ενεργή). Εάν όμως η ζητούμενη πληροφορία προσφέρεται από απομακρυσμένη πηγή, τότε ο τοπικός μεσίτης επικοινωνεί με τον αντίστοιχο απομακρυσμένο μεσίτη που διαχειρίζεται την πηγή για να ανακτήσει τα ζητούμενα δεδομένα. Στην περίπτωση που η καταλληλότερη πηγή είναι παθητική, ο μεσίτης μεταφέρει το αίτημα στην πηγή. Όταν η πηγή στη συνέχεια λάβει το αίτημα, είτε παραδίδει την αντίστοιχη τιμή που ισχύει τη συγκεκριμένη στιγμή (εάν το αίτημα είναι απλό) ή ξεκινά να μεταδίδει τις ανανεώσεις της πληροφορίας με μορφή ενημερώσεων (εάν το αίτημα είναι εγγραφή για ενημερώσεις). Σχετικά με τις ενεργές πηγές, ο μεσίτης είναι υπεύθυνος να συλλέγει τις ανανεωμένες τιμές και να τις αποθηκεύει στην αντίστοιχη αποθήκη δεδομένων (context repository). Στην αποθήκη αυτή, τα δεδομένα αποθηκεύονται με τη μορφή αντικειμένων. Επομένως, όταν ο μεσίτης λαμβάνει ένα απλό αίτημα για πληροφορία που παρέχεται από μια ενεργή πηγή, ανακτά την πιο πρόσφατη τιμή που έχει αποθηκευτεί και την επιστρέφει στον καταναλωτή. Όταν ο μεσίτης λάβει ένα αίτημα εγγραφής για δεδομένα ενεργής πηγής, αποθηκεύει τις λεπτομέρειες αυτού του αιτήματος και στη συνέχεια παρακολουθεί τις ενημερώσεις ανανέωσης της πληροφορίας που παραδίδει η πηγή και τις διανέμει στον καταναλωτή. Με σκοπό να γίνει αποδοτικότερος ο μηχανισμός συλλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος, ο μεσίτης πληροφορίας υλοποιεί την προσωρινή φύλαξη (caching) των προσφάτων δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για να απαντηθούν μελλοντικά αιτήματα.

## 2.5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η ερευνητική προσπάθεια να δημιουργηθούν συστήματα που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος. Αναλύθηκε η έννοια της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος, παρουσιάστηκαν οι προκλήσεις κατά την υλοποίηση της και πραγματοποιήθηκε μια σύντομη επισκόπηση των συστημάτων που έχουν υλοποιηθεί, αφού η έκρηξη του ερευνητικού ενδιαφέροντος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολυάριθμων υπηρεσιών και αντικειμένων που αντιλαμβάνονται το περιβάλλον εκτέλεσης τους.

Στη συνέχεια, αναλύθηκε η ευρέως αναγνωρισμένη απαίτηση για διαχωρισμό της λογικής της υπηρεσίας από τους μηχανισμούς ανάκτησης της ζητούμενης πληροφορίας. Η ενασχόληση

της ερευνητικής κοινότητας με το θέμα αυτό έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων υποδομών που είναι υπεύθυνες για την παροχή της πληροφορίας περιβάλλοντος. Οι υποδομές αυτές διαφοροποιούνται ως προς: την αρχιτεκτονική που ακολουθούν (κεντρική ή κατανεμημένη), τον τρόπο μοντελοποίησης των δεδομένων, τον τρόπο επικοινωνίας με τις υπηρεσίες και τις πηγές, το μοντέλο ανακάλυψης των πηγών και τον τρόπο αντιμετώπισης των ζητημάτων ιδιωτικότητας των χρηστών και προστασίας των προσωπικών δεδομένων που διακινούν. Από την επισκόπηση των υποδομών που έχουν μέχρι σήμερα υλοποιηθεί, εύκολα προκύπτει η διαπίστωση ότι παρόλο που έχει πραγματοποιηθεί μεγάλη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, παραμένουν αρκετά ζητήματα που πρέπει να μελετηθούν ώστε να γενικευθεί και να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα ελλιπής είναι η αντιμετώπιση των ζητημάτων που σχετίζονται με τα ειδικότερα αντικείμενα της παρούσας διατριβής, δηλαδή την επιλογή της πληροφορίας περιβάλλοντος και τη διακίνηση της σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, εκτενέστερη αναφορά στα θέματα αυτά πραγματοποιείται στα ακόλουθα κεφάλαια.

Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προσέγγιση που προτάθηκε από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CONTEXT για τη δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Η ανάλυση εστιάζει στο κατανεμημένο σύστημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος. Το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί ένα πρωτογενές είδος οντολογίας για την περιγραφή των δεδομένων και ένα δεδομένο-κεντρικό μοντέλο ανακάλυψης των κατανεμημένων πηγών πληροφορίας. Η επικοινωνία πηγών και καταναλωτών πληροφορίας πραγματοποιείται μέσω των διεπαφών που προσφέρει το σύστημα και υποστηρίζονται τόσο ο σύγχρονος όσο και ο ασύγχρονος τρόπος επικοινωνίας. Οι πηγές είναι είτε ενεργές είτε παθητικές και ανανεώνουν τα δεδομένα τους είτε με περιοδικό είτε μη-περιοδικό τρόπο. Η ενασχόληση με το σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος αυτού κινητοποίησε τη μελέτη των προβλημάτων της διατριβής τα οποία αναλύονται στα ακόλουθα κεφάλαια.

## 2.6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] CONTEXT: Active Creation, Delivery and Management of efficient Context Aware Services, IST-2001-38142- CONTEXT, <http://context.upc.es>.
- [2] M. Satyanarayanan, "Pervasive Computing: Vision and Challenges", *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 8, No. 4, pp.10-17, Publisher: IEEE Computer Society, August 2001.
- [3] G. Chen, and D. Kotz, "A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research", *Technical Report: TR2000-381*, Department of Computer Science, Dartmouth College, November 2000.



- [4] M. Beigl, A. Krohn, T. Zimmer, and C. Decker, "Typical Sensors Needed in Ubiquitous and Pervasive Computing", *Proceeding of the 1<sup>st</sup> International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS'04)*, 22-23 June 2004, Tokyo, Japan, pp 153-158.
- [5] T. Starner, "The Challenges of Wearable Computing: Part 2", *IEEE Micro*, ISSN: 0272-1732, Vol. 21, No. 4, pp. 54-67, Publisher: IEEE Computer Society, July/August 2001.
- [6] P. Gupta, and D.Moitra, "Evolving a Pervasive IT Infrastructure: a Technology Integration Approach", *Personal Ubiquitous Computing*, ISSN: 1617-4909 Vo. 8, No. 1, Publisher: Springer, February 2004.
- [7] D. Chakraborty, and T. Finin, "Towards Distributed Service Discovery in Pervasive Computing Environments", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, ISSN: 1536-1233 Vo. 5, No. 2, pp. 97-112, Publisher: IEEE Educational Activities Department, February 2006.
- [8] A. Dey, "Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications", Ph.D. Thesis, College of Computing, Georgia Institute of Technology, December 2000.
- [9] A. Dey, "Usability in Context-Aware Computing", Invited talk in th 3<sup>rd</sup> International Workshop on Modeling and Retrieval of Context (MRC'06), 16-17 July 2006, Boston, USA.
- [10] J. Scholtz, and S. Consolvo, "Toward a Framework for Evaluating Ubiquitous Computing Applications", *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 3, No.2, pp. 82- 88, Publisher: IEEE Computer Society, April-June 2004.
- [11] H.-G. Hegering, A. Küpper, C. Linnhoff-Popien, and H. Reiser, "Management Challenges of Context-Aware Services in Ubiquitous Environments", *Proceeding of the 14<sup>th</sup> IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM'03)*, 20-22 October 2003, Heidelberg, Germany, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-20314-1, Vol. 2867, pp. 246-259, Publisher: Springer.
- [12] T. Winograd, "Architectures for Context", *Human Computer Interaction Journal (HCI)*, Vol. 16, No. 2, pp. 401-419, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [13] K. Henriksen, J. Indulska, T. McFadden, and S. Balasubramaniam, "Middleware for Distributed Context-Aware Systems", *Proceedings of the OTM International Symposium on Distributed Objects and Applications (DOA'05)*, 31 October - 4 November 2005, Agia Napa, Cyprus, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-29738-3, Vol. 3760, pp. 846-863, Publisher: Springer.
- [14] B. Schilit, and M. Theimer, "Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts", *IEEE Network*, ISSN: 0890-8044, Vol. 8, No. 5, pp. 22-32, Publisher: IEEE Communications Society, September October 1994.
- [15] N. Ryan, J. Pascoe, and D. Morse, "Enhanced Reality Fieldwork: The Context-aware Archaeological Assistant", *Computer Applications in Archaeology*, British Archaeological Reports, Publisher: Tempus Reparatum, October 1998.
- [16] A. Dey, D. Salber, and G. Abowd, "A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications", *Human Computer Interaction Journal (HCI)*, Vol. 16, No. 2, pp. p. 97-166, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [17] P. Dourish, "What We Talk About When We Talk About Context", *Personal Ubiquitous Computing*, ISSN: 1617-4909, Vol. 8, No. 1, pp. 19-30, Publisher: Springer, February 2004.
- [18] S. Xynogalas, I. Roussaki, M. Chantzara, and M. Anagnostou, "Context Management in Virtual Home Environment Systems", *Journal of Circuits, Systems, and Computers (JCSC)*, ISSN: 0218-1266, Vol. 13, No. 2, pp. 293-311, Publisher: World Scientific Publishing Company, April 2004.
- [19] J. Indulska, and P. Sutton, "Location Management in Pervasive Systems", *Proceedings of the Australasian Information Security Workshop Conference on ACSW Frontiers 2003*, Conferences in Research and Practice in Information Technology Series, 2003, Adelaide,

- Australia, ISBN: 1445-1336 , ISSN: 1-920682-00-7, pp. 143-151, Vol. 21, Publisher: Australian Computer Society.
- [20] A. Schmidt, and K. Van Laerhoven, “How to Build Smart Appliances?”, *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 8, No. 4, pp. 66-71, Publisher: IEEE Communications Society, August 2001.
- [21] G. Chen, and D. Kotz, “Context Aggregation and Dissemination in Ubiquitous Computing Systems”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA’02)*, 20-21 June 2002, Callicoon, New York, USA, ISBN: 0-7695-1647-5, pp. 105-116, Publisher: IEEE Computer Society.
- [22] K. Henriksen, “A Framework for Context-Aware Pervasive Computing Application”, Ph.D. Thesis, School of Information Technology and Electrical Engineering, The University of Queensland, September 2003.
- [23] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, “Mobility Prediction in Wireless Networks”, *Proceedings of the IEEE 21<sup>st</sup> Century Military Communications Conference (MILCOM’00)*, 22-25 October 2000, Los Angeles, USA, ISBN: 0-7803-6521-6, Vol. 1, pp. 491-495, Publisher: IEEE Communications Society.
- [24] D. Salber, and G. Abowd, “The Design and Use of a Generic Context Server”, *Proceedings of the Perceptual User Interfaces Workshop (PUI ’98)*, 5-6 November 1998, San Francisco, USA, pp. 63-66.
- [25] T. Buchholz, A. Küpper, and M. Schiffers, “Quality of Context: What It Is and Why We Need It”, *Proceedings of the 2003 Workshop of the HP OPenView University Association (HPOVUA’03)*, 6-9 July 2003, Geneva, Switzerland.
- [26] M. Chantzara, and M. Anagnostou, “Evaluation and Selection of Context Information”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Modeling and Retrieval of Context (MRC’05)*, 31 July - 1 August 2005, Edinburgh, UK, CEUR Workshop Proceedings, ISSN: 1613-0073, online [CEUR-WS.org/Vol-146/paper7.pdf](http://CEUR-WS.org/Vol-146/paper7.pdf).
- [27] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, “A New Location Technique for the Active Office”, *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 4, No. 5, pp. 42-47, Publisher: IEEE Communications Society, October 1997.
- [28] R. Want, W. Schilit, N. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. Ellis, and M. Weiser, “An Overview of the PARCTAB Ubiquitous Computing Experiment”, *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 2, No. 6, pp. 28-43, December 1995.
- [29] B. Schilit, N. Adams, and R. Want, “Context-Aware Computing Applications”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA’94)*, 8-9 December 1994, Santa Cruz, California, USA, pp. 85-90, Publisher: IEEE Computer Society.
- [30] B. Schilit, D. Hilbert, and J. Trevor, “Context-Aware Communication”, *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 9, No. 5, pp. 46-54, Publisher: IEEE Communications Society, October 2002.
- [31] D. Swinehart, “Telephone Management in the Etherphone System”, *Proceedings of the IEEE/IEICE Global Telecommunications Conference (Globecom’87)*, November 1987, Tokyo, Japan, pp. 392-402, Publisher: IEEE Communications Society.
- [32] A. Schmidt, A. Takaluoma, and J. Mäntyjärvi, “Context-Aware Telephony over WAP”, *Personal and Ubiquitous Computing*, ISSN:1617-4909, Vol. 4, No. 4, pp. 225-229, Publisher: Springer, September 2000.
- [33] E. Pedersen, “Calls.calm: Enabling Caller and Callee to Collaborate”, *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI’01)*, 31 March - 5 April 2001. Seattle, Washington, USA, ISBN:1-58113-340-5, pp. 235-236, Publisher: ACM Press, April 2001.

- [34] K. Sumi, and T. Nishida, “Telme: A Personalized, Context-Aware Communication Support System”, *IEEE Intelligent Systems*, ISSN:1541-1672, Vol. 16, No. 3, pp. 21-27, Publisher: IEEE Computer Society, May/June 2001.
- [35] P. Brown, and G. Jones, “Context-Aware Retrieval: Exploring a New Environment for Information Retrieval and Information Filtering”, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 5, No. 4, pp. 253-263, Publisher: Springer, December 2001.
- [36] G. Jones, “Challenges and Opportunities of Context-Aware Information Access”, *Proceedings of the 2005 International Workshop on Ubiquitous Data Management (UDM'05)*, 4 April 2005, Tokyo, Japan, ISBN: 0-7695-2411-7, pp. 53-60, Publisher: IEEE Computer Society.
- [37] K. Cheverst, N. Davies, K. Mitchell, and A. Friday, “Experiences of Developing and Deploying a Context-Aware Tourist Guide: the GUIDE Project”, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom'00)*, 6-11 August 2000, Boston, Massachusetts, USA, ISBN:1-58113-197-6, pp. 20-31, Publisher: ACM Press.
- [38] G. Abowd, C. Atkeson, J. Hong, S. Long, R. Kooper, and M. Pinkerton, “Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide”, *Baltzer/ACM Wireless Networks*, ISSN:1022-0038, Vol. 3, No. 5, pp. 421-433, Publisher: Kluwer Academic Publishers, October 1997.
- [39] R. Oppermann, and M. Specht, “A Context-Sensitive Nomadic Information System as an Exhibition Guide”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'00)*, 25-27 September 2000, Bristol, UK, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-41093-7, Vol. 1927, pp. 127-142, Publisher: Springer.
- [40] A. Dey, D. Salber, G. Abowd, and M. Futakawa, “The Conference Assistant: Combining Context-Awareness with Wearable Computing”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'99)*, 18-19 October 1999, San Francisco, California, USA, ISBN: 0-7695-0428-0, pp. 21-28, Publisher: IEEE Computer Society.
- [41] A. Dey, and G. Abowd, “CybreMinder: A Context-Aware System for Supporting Reminders”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'00)*, 25-27 September 2000, Bristol, UK, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-41093-7, Vol. 1927, pp. 172-186, Publisher: Springer.
- [42] N. Marmasse, and C. Schmandt, “Location-Aware Information Delivery with ComMotion”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'00)*, 25-27 September 2000, Bristol, UK, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-41093-7, Vol. 1927, pp. 157-171, Publisher: Springer.
- [43] J. Pascoe, “The Stick-e note Architecture: Extending the Interface Beyond the User”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ACM Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'97)*, 6-9 January 1997, Orlando, Florida, USA, ISBN: 0-89791-839-8, pp. 261-264, Publisher: ACM Press.
- [44] M. Lamming, and M. Flynn, “Forget-me-not: Intimate Computing in Support of Human Memory”, *Proceedings of the FRIEND21 1994 International Symposium on Next Generation Human Interfaces*, February 1994.
- [45] D. Stefanov, Z. Bien, and W.-C. Bang, “The Smart House for Older Persons and Persons with Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives”, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, ISSN: 1534-4320, Vol. 12, No. 2, pp. 228-250, Publisher: IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, June 2004.
- [46] D.Valtchev, and I. Frankov, “Service Gateway Architecture for a Smart Home”, *IEEE Communications Magazine*, ISSN: 0163-6804, Vol. 40, No. 4, pp. 126-132, Publisher: IEEE Communications Society, April 2002.

- [47] V. Lesser, M. Atighetchi, B. Benyo, B. Horling, A. Raja, R. Vincent, T. Wagner, X. Ping, and S. XQ Zhang, “The Intelligent Home Testbed”, *Proceedings of the Autonomy Control Software Workshop (Autonomous Agent Workshop)*, January 1999.
- [48] J. Sanders, “Sensing the Subtleties of Everyday Life”, Winter 2000 Issue of Research Horizons, Research Magazine of Georgia Institute of Technology.
- [49] G. Abowd, “Classroom 2000: An Experiment with the Instrumentation of a Living Educational Environment”, *IBM Systems Journal*, ISSN: 0018-8670 Vol. 38, No. 4, pp. 508-530, Publisher: IBM Corp., October 1999.
- [50] J. Brotherton, K. Truong, and G. Abowd, “Supporting Capture and Access Interfaces for Informal and Opportunistic Meetings”, GVU Technical Report, GIT-GVU-99-06, Publisher: Georgia Institute of Technology, January 1999.
- [51] N. Niebert, M. Prytz, A. Schieder, N. Papadoglou, L. Eggert, F. Pittmann, and C. Prehofer, “Ambient Networks: A Framework for Future Wireless Internetworking”, *Proceedings of the 61<sup>st</sup> IEEE Vehicular Technology Conference (VTC’05- Spring)*, 30 May - 1 June 2005, Stockholm, Sweden, ISSN: 1550-2252, Vol. 5, pp. 2969- 2973, Publisher: IEEE Vehicular Technology Society.
- [52] A. Oulasvirta, “Finding Meaningful Uses for Context-Aware Technologies: The Humanistic Research Strategy”, *Proceedings of the 2004 SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI’04)*, 24-29 April 2004, Vienna, Austria, ISBN:1-58113-702-8, pp. 247-254, Publisher: ACM Press, April 2004.
- [53] E. Mynatt, A.-S. Melenhorst, A. Fisk, and W. Rogers, “Aware Technologies for Aging in Place: Understanding User Needs and Attitudes”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 3, No. 2, pp. 36-41, Publisher: IEEE Computer Society, April-June 2004.
- [54] L. Barkhuus, and P. Dourish, “Everyday Encounters with Context-Aware Computing in a Campus Environment”, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp’04)*, 11-14 September 2005, Tokyo, Japan, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-22955-8, Vol. 3205, pp. 232-249, pp. 232-250, Publisher: Springer.
- [55] A. Campbell, and R. Pargas, “Laptops in the Classroom”, *Proceedings of the 34<sup>th</sup> SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, 19-23 February 2003, Reno, Nevada, USA, pp. 98-102, Publisher: ACM Press.
- [56] S.-H. Lee, and T.-C. Chung, “System Architecture for Context-Aware Home Application”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems (WSTFEUS’04)*, 11-12 May 2004, Vienna, Austria, ISBN: 0-7695-2123-1, pp. 149-153, Publisher: IEEE Computer Society.
- [57] K. Hagen, M. Modsching, and R. Kramer, “A Location Aware Mobile Tourist Guide Selecting and Interpreting Sights and Services by Context Matching”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous’05)*, 17-21 July 2005, San Diego, California, USA, ISBN: 0-7695-2375-7, Publisher: IEEE Computer Society, pp. 293-304.
- [58] E. Chi, G. Borriello, G. Hunt, and N. Davies, “Guest Editors' Introduction: Pervasive Computing in Sports Technologies”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 4, No. 3, pp. 22-25, Publisher: IEEE Computer Society, July-September 2005.
- [59] V. Kostakos and E. O'Neill, “Pervasive Computing in Emergency Situations”, *Proceedings of the 37<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS’04)*, 5-8 January 2004, Big Island, USA, ISBN: 0-7695-2056-1, January 2004.
- [60] X. Jiang, N. Chen, J. Hong, K. Wang, L. Takayama, and J. Landay, “Siren: Context-Aware Computing for Firefighting”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive*

- Computing (PERVASIVE'04)*, 18-23 April 2004, Linz/Vienna, Austria, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-21835-7, Vol. 3001, Publisher: Springer.
- [61] R. Meier, A. Harrington, and V. Cahill, "Towards Delivering Context-Aware Transportation User Services", *Proceedings of the 9<sup>th</sup> IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'06)*, 17-20 September 2006, Toronto, Canada, ISBN 1-4244-0094-5, pp. 369-376, Publisher: IEEE Computer Society.
- [62] J. Kjeldskov, S. Howard, J. Murphy, J. Carroll, F. Vetere, and C. Graham, "Designing TramMateña Context-Aware Mobile System Supporting Use of Public Transportation", *Proceedings of the 2003 Conference on Designing For User Experiences (DUX'03)*, 5-7 June 2003, San Francisco, California, USA, ISBN: 1-58113-728-1, pp. 1-4, Publisher: ACM Press.
- [63] S. Loke, "Context-Aware Artifacts: Two Development Approaches", *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 5, No. 2, pp. 48-53, Publisher: IEEE Computer Society, Apr. 2006.
- [64] D. Siewiorek, A. Smailagic, J. Furukawa, A. Krause, N. Moraveji, K. Reiger, J. Shaffer, and F. Wong, "SenSay: A Context-Aware Mobile Phone", *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03)*, 21-23 October 2003, New York, USA, ISBN: 0-7695-2034-0, pp. 248-250, IEEE Computer Society.
- [65] R. DeVaul, M. Sung, J. Gips, and A. Pentland, "MIThril 2003: Applications and Architecture", *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03)*, 21-23 October 2003, New York, USA, ISBN: 0-7695-2034-0, pp. 4-11, IEEE Computer Society.
- [66] M. Beigl, H.-W. Gellersen, and A. Schmidt, "MediaCups: Experience with Design and Use of Computer-Augmented Everyday Objects", *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, ISSN:1389-1286, Vol. 35, No. 4, pp. 401-409, Publisher: Elsevier North-Holland, March 2001.
- [67] MIT Media Lab, Counter Intelligence Group, <http://www.media.mit.edu/ci/research-index.html>.
- [68] T. Yonezawa, B. Clarkson, M. Yasumura, and K. Mase, "Context-Aware Sensor-Doll as a Music Expression Device", *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'01)*, 31 March - 5 April 2001. Seattle, Washington, USA, ISBN:1-58113-340-5, pp. 307-308, Publisher: ACM Press, 2001.
- [69] T. Matthews, H.-W. Gellersen, K. Van Laerhoven, and A. Dey, "Augmenting Collections of Everyday Objects: A Case Study of Clothes Hangers as an Information Display", *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE'04)*, 18-23 April 2004, Linz/Vienna, Austria, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-21835-1, Vol. 3001, pp. 340-344, Publisher: Springer.
- [70] R. Orr and G. Abowd, "The Smart Floor: a Mechanism for Natural User Identification and Tracking", *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'00)*, 1-6 April 2000, The Hague, The Netherlands, ISBN:1-58113-248-4, pp. 275-276, Publisher: ACM Press.
- [71] B. Hardian, J. Indulska, and K. Henriksen, "Balancing Autonomy and User Control in Context-Aware Systems - a Survey", *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE PerCom Workshop on Context Modelling and Reasoning (CoMoRea'06)*, 17 March 2006, Pisa, Italy, ISBN: 0-7695-2520-2, pp. 51-56, Publisher: IEEE Computer Society.
- [72] B. Hardian, "Middleware Support for Transparency and User Control in Context-Aware Systems", *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International on Middleware Doctoral Symposium (MDS'06)*, ACM International Conference Proceeding Series, 28 November 2006, Melbourne, Australia, ISBN:1-59593-418-9, Vol. 185, Publisher: ACM Press.

- [73] S. Lederer, I. Hong, K. Dey, and A. Landay, “Personal Privacy through Understanding and Action: Five Pitfalls for Designers”, *Personal and Ubiquitous Computing*, ISSN: 1617-4909, Vol. 8, No. 6, pp. 440-454, Publisher: Springer, November 2004.
- [74] T. Erickson, “Some Problems with the Notion of Context-Aware Computing”, *Communications of the ACM*, ISSN: 0001-0782, Vol. 45, No. 2, pp. 102-104, Publisher: ACM Press, February 2002.
- [75] V. Bellotti, and K. Edwards, “Intelligibility and Accountability: Human Considerations in Context Aware Systems”, *Human Computer Interaction Journal(HCI)*, Vol. 16, No. 2, pp. p. 193-212, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [76] B. Friedman, and P. H. Kahn, Jr., “Human Values, Ethics, and Design”, *The Human-Computer Interaction Handbook*, ISBN: 0-8058-3838-4, pp. 1177-1201, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
- [77] S. Xynogalas, M. Chantzara, I. Sygkouna, S. Vrontis, I. Roussaki, and M. Anagnostou, “Context Management for the Provision of Adaptive Services to Roaming Users”, *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 11, No. 2, pp. 40-47, Publisher: IEEE Communications Society, April 2004.
- [78] P. Fahy, and S. Clarke, “CASS - Middleware for Mobile Context-Aware Applications”, *Proceedings of the Workshop on Context Awareness at MobiSys'04*, 6-9 June 2004, Boston, Massachusetts, USA.
- [79] T. Gu, E. Tan, H. K. Pung, and D. Zhang, “A Peer-to-Peer Architecture for Context Lookup”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'05)* , 17-21 July 2005, San Diego, California, USA, ISBN: 0-7695-2375-7, pp. 333-341, Publisher: IEEE Computer Society.
- [80] G. Thomson, M. Richmond, S. Terzis, and P. Nixon, “An Approach to Dynamic Context Discovery and Composition”, *Proceedings of the Workshop on System Support for Ubiquitous Computing (UbiSys'03)* of 5<sup>th</sup> Annual Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'03), online proceedings <http://ubisys.cs.uiuc.edu/papers/dynamic-context-discovery.pdf> , October 2003.
- [81] G.Rey, and J. Coutaz, “The Contextor Infrastructure for Context-Aware Computing”, Component-oriented Approaches to Context-aware Computing held in conjunction with the European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP'04), June 2004.
- [82] C. Sørensen, M. Wu, T. Sivaharan, G. Blair, P. Okanda, A. Friday, and H. Duran-Limon, “A Context-Aware Middleware for Applications in Mobile Ad Hoc Environments”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Workshop on Middleware For Pervasive and Ad-Hoc Computing (MPAC'04)*, ACM International Conference Proceeding Series, ISBN:1-58113-951-9, Vol. 77, Publisher: ACM Press, pp. 107-110, October 2004.
- [83] F. Perich, A. Joshi, T. Finin, and Y. Yesha, “On Data Management in Pervasive Computing Environments”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 16, No. 5, pp. 621-634, Publisher: IEEE Computer Society, May 2004.
- [84] T. Strang and C. Linnhoff-Popien, “A Context Modeling Survey”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management in conjunction with the 6<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'04)*, pp. 34-41, September 2004.
- [85] T. Bray, J. Paoli, C. Sperberg-McQueen, E. Maler, F. Yergeau, and J. Cowan, “XML 1.1 (Second Edition)”, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml-20060816/>, August 2006.
- [86] J. Indulska, R. Robinsona, A. Rakotonirainy, and K. Henricksen, “Experiences in using cc/pp in context-aware systems”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Mobile Data*

- Management (MDM'03)*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-00393-2, Vol. 2574, pp. 247-261, Publisher: Springer, January 2003.
- [87] A. Held, S. Buchholz, and A. Schill, "Modeling of Context Information for Pervasive Computing Applications", *Proceeding of the 6<sup>th</sup> World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'02)*, July 2002.
- [88] N. Ryan, "ConteXtML: Exchanging Contextual Information between a Mobile Client and the FieldNote Server", <http://www.cs.kent.ac.uk/projects/mobicomp/fnc/ConteXtML.html>, August 1999.
- [89] J. Bauer, "Identification and Modeling of Contexts for Different Information Scenarios in Air Traffic", Diploma Thesis, Technische Universitat Berlin, March 2003.
- [90] Object Management Group (OMG), Unified Modeling Language (UML), <http://www.uml.org/>.
- [91] K. Henriksen, J. Indulska, and A. Rakotonirainy, "Modeling Context Information in Pervasive Computing Systems", *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE'02)*, 26-28 August 2002, Zurich, Switzerland, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN:3-540-44060-7, Vol. 2414, pp.167-180, Publisher: Springer.
- [92] A. Schmidt, M. Beigl, and H.-W. Gellersen, "There is More to Context than Location", *Computers and Graphics*, ISSN: 0097-8493, Vol. 23, No. 6, pp. 893-901, Publisher: Elsevier, December 1999.
- [93] K. Cheverst, K. Mitchell, and N. Davies, "Design of an Object Model for a Context Sensitive Tourist Guide", *Computers and Graphics Journal*, ISSN: 0097-8493, Vol. 23, No. 6, pp. 883-891, Publisher: Pergamon, December 1999.
- [94] J. Bacon, J. Bates, and D. Halls, "Location-Oriented Multimedia", *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 4, No. 5, pp. 48-57, Publisher: IEEE Communications Society, October 1997.
- [95] P. Gray and D. Salber, "Modelling and Using Sensed Context Information in the Design of Interactive Applications", *Proceedings of 8<sup>th</sup> IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI'01)*, 11-13 May 2001, Toronto, Canada, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-43044-X, Vol. 2254, pp. 317-336, Publisher: Springer.
- [96] N. Shadbolt, T. Berners-Lee, and W. Hall, "The Semantic Web Revisited", *IEEE Intelligent Systems*, ISSN: 1541-1672, Vol. 21, No. 3, pp. 96-101, Publisher: IEEE Computer Society, May-June 2006.
- [97] D. Beckett, "RDF/XML Syntax Specification (Revised)", World Wide Web Consortium (W3C) Recommendation, <http://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/>, February 2004.
- [98] D. L. McGuinness, and F. Van Harmelen, "OWL Web Ontology Language Overview", World Wide Web Consortium (W3C) Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>, February 2004
- [99] D.L McGuinness, R. Fikes, J. Hendler, and L.A. Stein, "DAML+OIL: A Description Logic for the Semantic Web", *IEEE Intelligent Systems*, ISSN: 1541-1672, Vol. 17, No. 5, pp. 72-80 Mar. 2002, pp. 4-9, Publisher: IEEE Computer Society, September-October 2002.
- [100] T. Strang, C. Linnhoff-Popien, and K. Frank, "CoOL: A Context Ontology Language to enable Contextual Interoperability", *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IFIP International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS'03)*, 17-21 November 2003, Paris, France, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-20529-6, Vol. 2893, pp. 236-247, Publisher: Springer.
- [101] X. Wang, D. Zhang, T. Gu, and H. Pung, "Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL", *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOMW'04)*, Workshop on Context Modeling and Reasoning

- (*CoMoRea'04*), ISBN:0-7695-2106-1, pp. 18-22, Publisher: IEEE Computer Society, March 2004.
- [102] W. Schilit, “A System Architecture for Context-Aware Mobile Computing”, Ph.D. Thesis, Columbia University, 1995.
- [103] M. Franklin, and S. Zdonik, “Dissemination-Based Information Systems”, *IEEE Data Engineering Bulletin*, Vol. 19, No. 3, Publisher: IEEE Computer Society, September 1996.
- [104] P. Eugster, P. Felber, R. Guerraoui, and A.-M. Kermarrec, “The Many Faces of Publish/Subscribe”, *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ISSN: 0360-0300, Vol. 35, No. 2, Publisher: ACM Press, June 2003.
- [105] N. Carriero, and D. Gelernter, “Linda in Context”, *Communications of the ACM*, ISSN: 0001-0782, Vol. 32, No. 4, pp. 444-458, Publisher: ACM Press, April 1989.
- [106] Qi Han, and N. Venkatasubramanian, “Information Collection Services for QoS-aware Mobile Applications”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, ISSN: 1536-1233, Vol. 5, No. 5, pp. 518 - 535, Publisher: IEEE Computer Society, May 2006.
- [107] B. Oki, M. Pfluegl, A. Siegel, and D. Skeen, “The Information Bus – An Architecture for Extensible Distributed Systems”, *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, ISBN:0-89791-632-8, Vol. 27, No. 5, Publisher: ACM Press, pp. 58-68, Publisher December 1993.
- [108] C. Chin, D. Zhang, and M.Gurusamy, “Orion: P2P-based Inter-Space Context Discovery Platform”, *Proceedings of the the 2<sup>nd</sup> Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'05)*, ISBN: 0-7695-2375-7, pp. 490-493, Publisher: IEEE Computer Society, July 2005.
- [109] F. Zhu, M. Mutka, and L. Ni, “Service Discovery in Pervasive Computing Environments”, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 4, No. 4, pp. 81-90, Publisher: IEEE Computer Society and IEEE Communications Society, October-December 2005.
- [110] G. Judd, and P. Steenkiste, “Providing Contextual Information to Pervasive Computing Applications”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03)*, 23-26 March 2003, Dallas-Fort Worth, Texas, USA, ISBN: 0-7695-1893-1, pp. 133-142.
- [111] N. Cohen, P. Castro, and A. Misra, “Descriptive Naming of Context Data Providers”, *Proceedings of 5<sup>th</sup> International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT'05)*, 5-8 July 2005, Paris, France, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-26924-X, Vol. 3554, Publisher: Springer.
- [112] I. Sygkouna, M. Anagnostou, and E. Sykas, “Efficient Search Mechanisms in a Context Distribution System”, *Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06)*, 18-20 April, Vienna, Austria, ISBN: 0-7695-2466-4, Vol. I, pp. 223-230, Publisher: IEEE Computer Society.
- [113] J. Heer, A. Newberger, C. Beckmann, and J. Hong, “Liquid: Context-Aware Distributed Queries”, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'03)*, 12-15 October 2003, Seattle, Washington, USA, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-20301-X, Vol. 2864, pp. 140-148, Publisher: Springer.
- [114] P. Bouquet, B. Magnini, L. Serafini, and S. Zanobini, “A SAT-Based Algorithm for Context Matching”, *Proceedings of 4<sup>th</sup> International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT'03)*, 23-25 June 2003, Stanford, California, USA, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-40380-7, Vol. 2680, pp. 66-79, Publisher: Springer.
- [115] M. Huebscher and J. McCann, “Adaptive Middleware for Context-Aware Applications in Smart-Homes”, *Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Middleware for Pervasive*



- and *Ad-Hoc Computing*, 18-22 October 2004, Toronto, Canada, ACM International Conference Proceeding Series, Vol. 77, ISBN: 1-58113-951-9, pp. 111-116, Publisher: ACM Press.
- [116] R. Glassey, G. Stevenson, M. Richmond, P. Nixon, S. Terzis, F. Wang, and R. Ferguson, "Towards a Middleware for Generalised Context Management", *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad Hoc Computing (MPAC'03)*, 16-20 June 2003, Rio de Janeiro, Brazil, Middleware 2003 Workshop Proceedings, ISBN: 85-87926-03-9, pp. 45-52, Publisher: PUC-Rio.
- [117] M. Langheinrich, "Privacy by Design-Principles of Privacy-Aware Ubiquitous Systems", *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'01)*, 30 September - 2 October 2001, Atlanta, Georgia, USA, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN:3-540-42614-0, Vol. 2201, pp. 273- 291, Publisher: Springer.
- [118] A. Jacobs, and G. Abowd, "A Framework for Comparing Perspectives on Privacy and Pervasive Technologies, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 2, No. 4, pp. 78-84, Publisher: IEEE Computer Society, October-December 2003.
- [119] L. Kagal, T. Finin, and A. Joshi, "Trust-Based Security in Pervasive Computing Environments", *Computer*, Vol. 34, No. 12, pp. 154-157, Publisher: IEEE Computer Society, December 2001.
- [120] T. Kindberg, J. Barton, J. Morgan, G. Becker, D. Caswell, P. Debaty, G., Gopal, M., Frid, V. Krishnan, H. Morris, J. Schettino, B. Serra, and M. Spasojevic, "People, Places, Things: Web Presence for the Real World", *Mobile Networks and Applications*, ISSN: 1383-469X, Vol. 7, No. 5, pp. 365-376, Publisher: IEEE Communications Society, October 2002.
- [121] Sun Developer Network, Java Technology, <http://java.sun.com/>.
- [122] J. Hong, and J. Landay, "An Infrastructure Approach to Context-Aware Computing", *Human Computer Interaction Journal (HCI)*, Vol. 16, No. 2, pp. 287-303, Publisher: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [123] J. Hong, and J. Landay, "An Architecture for Privacy-Sensitive Ubiquitous Computing", *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys'04)*, 6-9 June 2004, Boston, Massachusetts, USA, ISBN:1-58113-793-1, pp. 177-189, Publisher: Kluwer Academic Publishers.
- [124] N. Cohen, J. Black, P. Castro, M. Ebling, B. Leiba, A. Misra, and W. Segmuller, "Building Context-Aware Applications with Context Weaver, IBM Research Report, RC 23388, October 2004.
- [125] S. Amer-Yahia, C. Botev, S. Buxton, P. Case, J. Doerre, M. Holstege, D. McBeath, M. Rys, and J. Shanmugasundaram, "XQuery 1.0 and XPath 2.0 Full-Text", W3C working draft, <http://www.w3.org/TR/xquery-full-text/>, May 2006.
- [126] N. Cohen, H. Lei, P. Castro, J. Davis, and A. Purakayastha, "Composing Pervasive Data Using iQL," *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA'02)*, 20-21 June 2002, Callicoon, New York, USA, ISBN: 0-7695-1647-5, pp. 94-104, Publisher: IEEE Computer Press.
- [127] L. Cranor, M. Langheinrich, M. Marchiori, M. Presler-Marshall, and J. Reagle, "The Platform for Privacy Preferences 1.0 (P3P1.0) Specification," W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/P3P/>, April 2002.
- [128] H. Lei, D. Sow, J. Davis, G. Banavar, and M. Ebling, "The Design and Applications of a Context Service", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ISSN: 1559-1662, Vol, 6, No. 4, pp: 45-55, Publisher: ACM Press, October 2002.
- [129] G. Chen, and D. Kotz, "Solar: A Pervasive-Computing Infrastructure for Context-Aware Mobile Applications", Technical Report TR2002-421, Department of Computer Science, Dartmouth College, February 2002.

- [130] G. Chen, and D. Kotz, “Controlling Access to Pervasive Information in the Solar System”, Technical Report, TR2002-422, Department of Computer Science, Dartmouth College, February 2002.
- [131] U. Hengartner, and P. Steenkiste, “Access Control to Information in Pervasive Computing Environments”, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS’03)*, 18-21 May 2003, Lihue (Kauai), Hawaii, USA, ISBN 1-931971-17-X, pp. 157-162, Publisher: USENIX.
- [132] K. Henriksen, and J. Indulska, “Developing Context-Aware Pervasive Computing Applications: Models and Approach”, *Journal of Pervasive and Mobile Computing*, ISSN: 1574-1192, Vol. 2, No. 1, pp. 37-64, Publisher: Elsevier, February 2006.
- [133] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster, “The Anatomy of a Context-Aware Application”, *Wireless Networks*, ISSN: 1022-0038, Vol. 8, No. 2-3, pp. 187-197, Publisher: Springer, March 2002.
- [134] Object Management Group (OMG), “Common Object Request Broker Architecture (CORBA): Core Specification”, <http://www.omg.org/docs/formal/04-03-12.pdf>, March 2002.
- [135] H. Chen, “An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-Aware Systems”, Ph.D. Thesis, University of Maryland, December 2004.
- [136] H. Chen, T. Finin, J. Anupam, L. Kagal, F. Perich, and D. Chakraborty, “Intelligent Agents Meet the Semantic Web in Smart Spaces”, *IEEE Internet Computing*, ISSN: 1089-7801, Vol. 8, No. 6, pp. 69-79, Publisher: IEEE Communications Society, November-December 2004.
- [137] L. Kagal, T. Finin, and A. Joshi, “A Policy Language for a Pervasive Computing Environment”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (POLICY’03)*, 4-6 June 2003, Lake Como, Italy, ISBN: 0-7695-1933-4, pp. 63-76, Publisher: IEEE Computer Society.
- [138] M. Khedr, and A. Karmouch, “ACAI: Agent-Based Context-aware Infrastructure for Spontaneous Applications”, *Journal of Network and Computer Applications*, ISSN: 1084-8045, Vol. 28, No. 1, pp. 19-44, Publisher: Academic Press Ltd. January 2005.
- [139] M. Grossmann, M. Bauer, N. Hönle, U.-P. Käppler, D. Nicklas, and T. Schwarz, “Efficiently Managing Context Information for Large-scale Scenarios”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom’05)*, 8-12 March 2005, Kauai, Hawaii, USA, ISBN: 0-7695-2299-8, pp. 331-340, Publisher: IEEE Computer Society.
- [140] J. Bardram, “The Java Context Awareness Framework (JCAF) - A Service Infrastructure and Programming Framework for Context-Aware Applications”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE’05)*, 8-13 May 2005, Munich, Germany, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-26008-0, Vol. 3468, pp. 98-115, Publisher: Springer.
- [141] M. Roman, C. Hess, R. Cerqueira, A. Ranganathan, R. Campbell, and K. Nahrstedt, “A Middleware Infrastructure for Active Spaces”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 1, No. 4, pp. 74-83, Publisher: IEEE Computer Society, October-December 2002.
- [142] A. Ranganathan, J. Al-Muhtadi, and R. Campbell, “Reasoning about Uncertain Contexts in Pervasive Computing Environments”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 3, No. 3, pp. 62-70, Publisher: IEEE Computer Society, April-June 2004.
- [143] T. Gu, H.K. Pung, and D.Q. Zhang, “A Middleware for Building Context-Aware Mobile Services”, *Proceedings of the 59<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference (VTC’04-Spring)*, 17-19 May 2004, Milan, Italy, ISSN: 1550-2252, Vol. 5, pp. 2969- 2973, Publisher: IEEE Vehicular Technology Society.

- [144] P. Korpipaa, J. Mantyjarvi, J. Kela, H. Keranen, and E.J. Malm, “Managing Context Information in Mobile Devices”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 2, No. 3, pp. 42-51, Publisher: IEEE Computer Society, July-September 2003.
- [145] J. Serrano, J. Justo, R. Marin, and J. Serrat, “CONTEXT Architecture as a Solution for Managing Pervasive Applications”, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE/IFIP Symposium on Network Operations and Management Symposium (NOMS’06)*, ISSN: 1542-1201, pp. 1-16, Publisher: IEEE Communications Society, 3-7 April 2006, Vancouver, Canada.
- [146] Internet Engineering Task Force (IETF), Policy Core Information Model (PCIM) Extensions, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-policy-pcim-ext-08.txt>, May 2002.
- [147] D. Tennenhouse, J. Smith, W. Sincoskie, D. Wetherall, and G. Minden, “A Survey of Active Network Research”, *IEEE Communications Magazine*, ISSN: 0163-6804, Vol. 35, No. 1, pp. 80-86, Publisher: IEEE Communications Society, January 1997.
- [148] I. Sygkouna, S. Vrontis, M. Chantzara, M. Anagnostou, and E. Sykas, “Context-Aware Services Provisioning on Top of Active Technologies”, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> IEEE/IFIP Workshop on Mobile Agents for Telecommunication Applications (MATA’03)*, 8-10 October 2003, Marrakesh, Morocco, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-20298-1, Vol. 2881, pp. 67-76, Publisher: Springer.
- [149] ABLE: The Active Bell Labs Engine, <http://plan9.bell-labs.com/who/ABLE/index.html>.
- [150] S. Vrontis, I. Sygkouna, M. Chantzara, and E. Sykas, “Enabling Distributed QoS Management Utilizing Active Network Technology”, *Proceedings of IFIP/IEEE Conference on Network Control and Engineering for QoS Security and Mobility (Net-Con’03)*, 13-15 October 2003, Muscat, Oman, ISBN: 1-4020-7616-9, pp. 139-151, Publisher: Kluwer Academic Publishers.
- [151] IST-CONTEXT Consortium, “Deliverable 3.2: Design and Implementation of Components for the Proof of Concept of Provisioning and Management of Context-Aware Services”, <http://context.upc.es/Deliverables/CONTEXT-WP3-D3.2-Final.doc>.
- [152] IST-CONTEXT Consortium, “Deliverable 4.2: Specification, Design and Implementation of the Necessary Components for the Enhancement of an Active Platform for the Validation of the Project Approach”, <http://context.upc.es/Deliverables/CONTEXT-WP4-D4.2-Final.doc>.
- [153] D. Raz, A. Juhola, J. Serrat-Fernandez, and A. Galis, “Fast and Efficient Context-Aware Services”, ISBN: 0-470-01668-X, p. 222, Publisher: John Wiley & Sons Ltd., April 2006.
- [154] S. Xynogalas, M. Chantzara, I. Sygkouna, S. Vrontis, I. Roussaki, and M. Anagnostou, “Context Management for the Provision of Adaptive Services to Roaming Users”, *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 11, No. 2, pp. 40-47, Publisher: IEEE Communications Society, April 2004.
- [155] I. Sygkouna, M. Chantzara, S. Vrontis, S., Xynogalas, M. Anagnostou, and E. Sykas, “Seamless Networking and QoS Provisioning for Context-Aware Services in Heterogeneous Environments”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Mobility Aware Technologies and Applications (MATA’05)*, 17-19 October 2005, Montreal, Canada.
- [156] M. Chantzara, M. Anagnostou, and E. Sykas, “Designing a Quality-Aware Discovery Mechanism for Acquiring Context Information”, *Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA’06)*, 18-20 April, Vienna, Austria, ISBN: 0-7695-2466-4, Vol. I, pp. 211-216, Publisher: IEEE Computer Society.



---

ΤΡΙΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

*ΕΠΙΛΟΤΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ*

---



## 3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη συνεχή πρόοδο της έρευνας σχετικά με τη δημιουργία, παροχή και διαχείριση υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος αναμένεται στο άμεσο μέλλον η παροχή των υπηρεσιών αυτών να περάσει από το εργαστηριακό στο εμπορικό περιβάλλον. Υπό το πρίσμα αυτό, αναμένεται νέες πηγές πληροφορίας να εμφανίζονται και να εξαφανίζονται με μεγάλη συχνότητα, και τα αιτήματα για ανάκτηση πληροφορίας να αυξηθούν. Επιπλέον, ο σχεδιαστής ενός συστήματος παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος καλείται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με την κινητικότητα των χρηστών. Ειδικότερα, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη ότι καθώς οι χρήστες μετακινούνται μεταξύ διαφορετικών περιοχών μεταβάλλονται συνάμα και οι πηγές πληροφορίας που λειτουργούν και παρέχουν δεδομένα [1]. Συνεπώς, χρειάζεται να αναπτυχθούν μηχανισμοί που θα επιτρέπουν την παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος σε διαφορετικά και άγνωστα περιβάλλοντα με τρόπο αυτοματοποιημένο και ταυτόχρονα αξιόπιστο, και χωρίς να απαιτείται ο διαρκής έλεγχος του χρήστη [2].

Επιπλέον η παροχή υπηρεσιών σε πραγματικά περιβάλλοντα που δεν είναι πλήρως προδιαγεγραμμένα και ελεγχόμενα, όπως είναι τα εργαστηριακά περιβάλλοντα, καλείται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με την *ανεπάρκεια/ατέλεια (imperfection)* της παρεχόμενης πληροφορίας περιβάλλοντος. Η ανεπάρκεια της πληροφορίας [3] οφείλεται στα εξής χαρακτηριστικά (Σχήμα 3-1) :

- ♦ *Ασαφής πληροφορία:* Όταν τα δεδομένα που δίνονται δεν είναι ικανά να προσδιορίσουν πλήρως και με ακρίβεια τη συγκεκριμένη κατάσταση
- ♦ *Λανθασμένη πληροφορία:* Όταν η πληροφορία που δίνεται δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα
- ♦ *Ανεπίκαιρη πληροφορία:* Όταν η πληροφορία που δίνεται δεν είναι χρονικά έγκυρη
- ♦ *Μη διαθέσιμη πληροφορία:* Όταν δεν υπάρχει η πληροφορία που ζητείται

Έτσι λοιπόν, τα δεδομένα που παρέχονται από αισθητήρες μπορεί να είναι ανεπίκαιρα ή λανθασμένα ή ακόμη και μη υπαρκτά, λόγω προβλημάτων στους ίδιους τους αισθητήρες ή λόγω καθυστερήσεων και σφαλμάτων στη μετάδοση. Τα δεδομένα που εισάγονται από τον ίδιο το χρήστη υπόκεινται σε λάθη από τον ίδιο ή παραλήψεις ανανέωσης τους. Τέλος, τα

δεδομένα που προέρχονται από την επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων παρουσιάζουν ανεπάρκεια λόγω σφαλμάτων στη διαδικασία επεξεργασίας ή λόγω ανεπάρκειας των πρωτογενών δεδομένων. Όμως, η χρήση ατελών δεδομένων από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στην επιτυχή εκτέλεση των προδιαγεγραμμένων εργασιών από τις υπηρεσίες, με τελικό αποτέλεσμα να απειλείται η βιωσιμότητα τους.



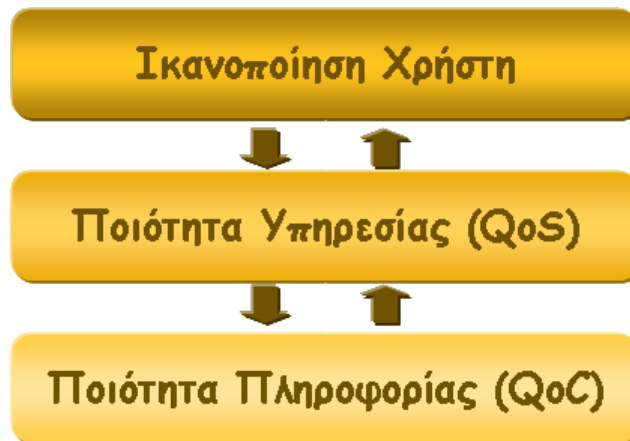
Σχήμα 3-1: Ανεπάρκεια Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Επιπλέον, σε περιβάλλοντα που λειτουργούν πολλές πηγές πληροφορίας είναι δυνατόν να υπάρξουν υποσύνολα αυτών που παρέχουν δεδομένα που αναφέρονται στην ίδια οντότητα αλλά παράγονται μέσω διαφορετικών τεχνικών αίσθησης ή επεξεργασίας. Έτσι λοιπόν, ενώ η πληροφορία αναφέρεται στην ίδια οντότητα μπορεί να διαφέρει ως προς την ατέλεια της. Ως μέσο εκτίμησης της ανεπάρκειας της πληροφορίας περιβάλλοντος έχει προταθεί η έννοια της *Ποιότητα Πληροφορίας Περιβάλλοντος (Quality of Context - QoC)* [4] η οποία περιγράφει την ακρίβεια της διαδικασίας παραγωγής της πληροφορίας, το χρόνο ανανέωσης της, τη χρονική της εγκυρότητα, και την αξιοπιστία του παραγωγού της. Με τον προσδιορισμό των αντίστοιχων χαρακτηριστικών από τους παρόχους πληροφορίας καθίσταται δυνατός ο ορισμός και η τήρηση συμφωνιών ποιότητας πληροφορίας (Context Level Agreements - CLAs) [5] μεταξύ παρόχων δεδομένων και υπηρεσιών, κατά αντιστοιχία με τις συμφωνίες υπηρεσιών (Service Level Agreements - SLAs). Επίσης, σε περίπτωση ανεπάρκειας της πληροφορίας, οι υπηρεσίες έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόσουν τη λειτουργία τους είτε ζητώντας επιπρόσθετη πληροφορία, είτε ενημερώνοντας τον χρήστη [4].

Από την άλλη μεριά, η ύπαρξη πληροφορίας περιβάλλοντος με διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας επιτρέπει την ανάπτυξη και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος με διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (*Quality of Service - QoS*). Αρχικά η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας ορίστηκε για να περιγράψει την ικανότητα του



δικτύου να μεταδίδει δικτυακή κίνηση, και ως μεγέθη μέτρησης της χρησιμοποιούνται δικτυακές παράμετροι, όπως το εύρος ζώνης, η ταχύτητα μετάδοσης και η απώλεια των πακέτων [6]. Ωστόσο, η ίδια έννοια χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς των υπηρεσιών γενικά, περιλαμβάνοντας λειτουργικές και μη-λειτουργικές παραμέτρους ποιότητας, όπως ικανότητα (capability), κόστος, μεγέθη απόδοσης (π.χ. χρόνος απόκρισης, κατανάλωση πόρων), παραμέτρους ασφάλειας, ακεραιότητα (integrity) συναλλαγών, αξιοπιστία, κλιμάκωση (scalability), και διαθεσιμότητα (availability) [7]. Ειδικότερα, η ποιότητα υπηρεσίας για υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος προσδιορίζεται από το χρόνο απόκρισης, την ορθότητα των ενεργειών ή αποφάσεων τους, το κόστος εκτέλεσης τους και την αυτονομία και προ-δραστικότητα τους. Στο πλαίσιο αυτό, ορίζοντας διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας στις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, οι χρήστες των υπηρεσιών έχουν τη δυνατότητα να προσωποποιήσουν τις υπηρεσίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους [8]. Η προσαρμογή των υπηρεσιών στις ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών πραγματοποιείται κατά την εγγραφή τους (service subscription) στις υπηρεσίες όπου καθορίζουν τις αναμενόμενες ενέργειες και το ανώτερο κόστος για τη χρήση τους, και στη συνέχεια αναμένουν βέλτιστη παροχή [9]. Ωστόσο, η προσφορά των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος με διαφορετικά επίπεδα ποιότητας συνεπάγεται τη χρήση πληροφορίας περιβάλλοντος με διαφορετικά χαρακτηριστικά ποιότητας σε κάθε περίπτωση.



**Σχήμα 3-2:** Αλληλεπιδράσεις κατά την Παροχή των Υπηρεσιών με Επίγνωση του Περιβάλλοντος

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, κατά την παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος υφίσταται αμφίδρομη σχέση μεταξύ της ικανοποίησης του χρήστη, της ποιότητας υπηρεσίας και της ποιότητας της πληροφορίας που χρησιμοποιείται, όπως φαίνεται Σχήμα 3-2. Η ικανοποίηση του χρήστη εξαρτάται από το επίπεδο ποιότητας στο οποίο προσφέρεται η υπηρεσία, και το επίπεδο ποιότητας της υπηρεσίας καθορίζεται από τη χρησιμοποιούμενη πληροφορία περιβάλλοντος και την ποιότητα της.

Επομένως, το ζήτημα της ανεπάρκειας της πληροφορίας περιβάλλοντος και η ανάγκη ικανοποίησης των απαιτήσεων ποιότητας των χρηστών οδηγούν στην ανάγκη ευθυγράμμισης της ποιότητας πληροφορίας που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των χρηστών των υπηρεσιών [10]. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πρόκληση αυτή, είναι απαραίτητο να εμπλουτιστούν τα συστήματα ανακάλυψης και διανομής πληροφορίας με μηχανισμούς που επιλέγουν αυτοματοποιημένα και γρήγορα την πληροφορία η οποία ικανοποιεί κατά το μέγιστο τις απαιτήσεις των χρηστών [11]. Το κεφάλαιο αυτό μελετά το ζήτημα αυτό στα πλαίσια του συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα IST CONTEXT [12] και περιγράφεται στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής. Ειδικότερα, μετά την επισκόπηση των μοντέλων επιλογής που χρησιμοποιούν τα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος αλλά και τα γνωστά συστήματα ανακάλυψης υπηρεσιών, η παρούσα μελέτη προτείνει ένα μηχανισμό επιλογής των πηγών πληροφορίας που εναρμονίζονται με τους αντικειμενικούς σκοπούς της υπηρεσίας. Ο μηχανισμός αυτός λαμβάνει υπόψη την εξισορρόπηση των παραμέτρων QoC και του κόστους. Η ισορροπία μεταξύ του έλεγχου του χρήστη και της αυτονομίας της υπηρεσίας πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας ορισμού των απαιτήσεων του χρήστη κατά την εγγραφή του στην υπηρεσία. Μοντελοποιώντας το πρόβλημα προκύπτει ότι αυτό ανάγεται σε μια γνωστή παραλλαγή του *Προβλήματος Σακιδίου*. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος επίλυσης του αντίστοιχου μαθηματικού προβλήματος, εισάγεται ένας νέος ευριστικός αλγόριθμος. Η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου αξιολογείται ως προς την ποιότητα της λύσης που βρίσκει και το χρόνο υπολογισμού.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου είναι δομημένο ως εξής: Στη δεύτερη ενότητα (3.2) παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που σχετίζεται με την ποιότητα πληροφορίας στα πληροφοριακά συστήματα αλλά και στα πλαίσια της παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Επίσης στην ενότητα αυτή, πραγματοποιείται επισκόπηση των συστημάτων ανακάλυψης υπηρεσιών και των συστημάτων ανακάλυψης πληροφορίας περιβάλλοντος, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στη διαδικασία επιλογής των υπηρεσιών και των πηγών πληροφορίας αντίστοιχα. Στην τρίτη ενότητα (3.3) περιγράφεται ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής πληροφορίας περιβάλλοντος και στην τέταρτη ενότητα (3.4) περιγράφεται και μοντελοποιείται μαθηματικά το μελετώμενο πρόβλημα. Στην πέμπτη ενότητα (3.5) περιγράφεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος και αναλύεται η εκτίμηση της απόδοσης του μέσω προσομοιώσεων. Στην έκτη ενότητα (3.6) αναλύεται η εφαρμογή του μηχανισμού σε δύο παραδείγματα υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος και συγκρίνεται με την εφαρμογή εναλλακτικών τρόπων επιλογής. Η ενότητα επτά (3.7)

παρουσιάζει την ανακεφαλαίωση και τα συμπεράσματα όσων παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο καθώς και τα σχέδια για περαιτέρω έρευνα. Τέλος, στην όγδοη ενότητα (3.8) παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές του κεφαλαίου.

## **3.2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **3.2.1. Ποιότητα Πληροφορία**

Η παρούσα ενότητα περιλαμβάνει την επισκόπηση της σχετικής εργασίας αναφορικά με την έννοια της ποιότητας πληροφορίας. Αρχικά αναλύονται τα χαρακτηριστικά ποιότητας των πληροφοριών στα πλαίσια των πληροφοριακών συστημάτων (ενότητα 3.2.1.1) και στη συνέχεια στα πλαίσια παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος (ενότητα 3.2.1.2).

#### **3.2.1.1. Ποιότητα Πληροφορίας στα Πληροφοριακά Συστήματα**

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών μέσων διακίνησης και αποθήκευσης δεδομένων, όλο και περισσότερα δεδομένα γίνονται ευρέως διαθέσιμα. Στα πλαίσια αυτά, είναι κρίσιμη η ανάγκη εκτίμησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δεδομένων που διακινούνται, ώστε να καθίσταται δυνατή η επιλογή και η χρήση εκείνων που περιγράφουν καλύτερα την πραγματικότητα [13]. Για το σκοπό αυτό έχει εισαχθεί η έννοια της *ποιότητας πληροφορίας*, η οποία έχει μελετηθεί εκτενώς στα πλαίσια των πληροφοριακών συστημάτων και ειδικότερα των βάσεων δεδομένων [14]. Οι βασικές παράμετροι χαρακτηρισμού της ποιότητας της πληροφορίας είναι: η ορθότητα (soundness) και η πληρότητα (completeness) της, ως προς το βαθμό που ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, η χρονική ακρίβεια (currency) ως προς την επικαιρότητα της και η συνοχή (consistency) ως προς το βαθμό συμφωνίας με τα παρόμοια δεδομένα που παρέχονται από διαφορετικές πηγές [13]. Ωστόσο, οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία διανομής των πληροφοριών, δηλαδή οι συλλέκτες, διαχειριστές, και καταναλωτές των δεδομένων, πραγματοποιούν υποκειμενικές αξιολογήσεις της ποιότητας δεδομένων απεικονίζοντας τις ανάγκες και την εμπειρία τους. Μελετώντας τις αξιολογήσεις όλων των εμπλεκόμενων φορέων έχουν διαμορφωθεί πληρέστεροι κατάλογοι περιγραφής της ποιότητας πληροφορίας. Στο [15], οι Ripino, Lee, και Wang αναλύουν τις διαστάσεις ποιότητας δεδομένων, όπως αυτές έχουν καθοριστεί μέσα από τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων από τους ενδιαφερόμενους. Ο Πίνακας 3-1 συνοψίζει τις διαστάσεις ποιότητας πληροφορίας που προέκυψαν από τη μελέτη αυτή.

Πίνακας 3-1: Ποιότητα Πληροφορίας στα Πληροφοριακά Συστήματα

<u>Διαστάσεις Ποιότητας</u>	<u>Περιγραφή</u>
<b>Δυνατότητα πρόσβασης</b> ( <i>Accessibility</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι εύκολα και γρήγορα ανακτήσιμο
<b>Ποσότητα δεδομένων</b> ( <i>Amount of data</i> )	ο βαθμός που ο όγκος των δεδομένων είναι κατάλληλος για το σκοπό χρήσης του
<b>Πιστευτότητα</b> ( <i>Believability</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο θεωρείται αληθινό και αξιόπιστο
<b>Πληρότητα</b> ( <i>Completeness</i> )	ο βαθμός στον οποίο ένα δεδομένο είναι ικανοποιητικού εύρους και βάθους για το σκοπό χρήσης του
<b>Σαφής Αναπαράσταση</b> ( <i>Concise Representation</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο αναπαρίσταται με σαφήνεια
<b>Συνεπής Αναπαράσταση</b> ( <i>Consistent Representation</i> )	ο βαθμός στον οποίον τα δεδομένα παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο
<b>Ευκολία στον χειρισμό</b> ( <i>Ease of Manipulation</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα στοιχείο είναι εύκολο να το χρησιμοποιήσεις για τους διαφορετικούς στόχους
<b>Έλλειψη λαθών</b> ( <i>Free-of-Error</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι σωστό και αξιόπιστο
<b>Μεταφρασιμότητα</b> ( <i>Interpretability</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο περιγράφεται με τις κατάλληλες γλώσσες, σύμβολα, και ο ορισμός του είναι σαφής
<b>Αντικειμενικότητα</b> ( <i>Objectivity</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι αληθινό και ο πάροχος του αμερόληπτος
<b>Σχετικότητα</b> ( <i>Relevancy</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι εφαρμόσιμο και χρήσιμο για έναν συγκεκριμένο σκοπό
<b>Φήμη</b> ( <i>Reputation</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι 'highly regarded' όσον αφορά στην πηγή ή στο περιεχόμενο του
<b>Ασφάλεια</b> ( <i>Security</i> )	ο βαθμός στον οποίον η πρόσβαση στο δεδομένο ελέγχεται κατάλληλα προκειμένου να διατηρηθεί η σωστή χρήση του
<b>Επικαιρότητα</b> ( <i>Timeliness</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι επίκαιρο για τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου στόχου
<b>Κατανοητότητα</b> ( <i>Understandability</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι εύκολα κατανοητό
<b>Προστιθέμενη αξία</b> ( <i>Value-Added</i> )	ο βαθμός στον οποίον ένα δεδομένο είναι χρήσιμο, παρέχοντας πλεονεκτήματα από τη χρήση του

Το Σχήμα 3-3 απεικονίζει την ανάλυση των διαστάσεων της ποιότητας πληροφορίας όπως αναλύθηκε από τους Wang, Reddy, και Kon στο [16]. Σύμφωνα την ανάλυση αυτή, αρχικά ο χρήστης της πληροφορίας πρέπει να είναι σε θέση να αποκτήσει το ζητούμενο στοιχείο πληροφορίας, το οποίο σημαίνει ότι τα δεδομένα πρέπει να είναι προσιτά (ο χρήστης έχει τα μέσα και το προνόμιο να πάρει τα δεδομένα). Δεύτερον, ο χρήστης πρέπει να είναι σε θέση να ερμηνεύσει τα δεδομένα (ο χρήστης καταλαβαίνει τη σύνταξη και τη σημασιολογία των στοιχείων). Τρίτον, τα δεδομένα πρέπει να είναι χρήσιμα (τα στοιχεία να μπορούν να

χρησιμοποιηθούν από το χρήστη για τη λήψη αποφάσεων). Τέλος, πρέπει να είναι πιστευτά στο χρήστη (ώστε ο χρήστης να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει). Επομένως, προκύπτουν οι εξής τέσσερις διαστάσεις ποιότητας: δυνατότητα πρόσβασης, κατανοητότητα, χρησιμότητα, και πιστευτότητα. Προκειμένου να είναι προσιτά, τα δεδομένα πρέπει να είναι προσβάσιμα (υπάρχει κάποια μορφή που μπορεί να προσεγγιστεί). Για να είναι χρήσιμα, πρέπει να είναι συναφή (να ικανοποιούν τις απαιτήσεις) και να είναι έγκαιρα. Για να είναι πιστευτά, πρέπει να είναι πλήρη, συνεπή, αξιόπιστα, και ακριβή. Η επικαιρότητα προσδιορίζεται από τη χρονική ακρίβεια (πότε αποθηκεύτηκαν στη βάση δεδομένων) και το χρόνο ζωής (πόσο καιρό θα είναι έγκυρα).



Σχήμα 3-3: Ιεραρχία Διαστάσεων Ποιότητας Δεδομένων

### 3.2.1.2. Ποιότητα Πληροφορίας στις Υπηρεσίες με Επίγνωση του Περιβάλλοντος

Το ζήτημα της ποιότητας της πληροφορίας έχει ελάχιστα μελετηθεί στα πλαίσια της παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, η ανάγκη να εξεταστεί η ποιότητα της πληροφορίας περιβάλλοντος είναι ευρέως αναγνωρισμένη [10][17][18]. Όμως καμία από τις υπάρχουσες μελέτες δεν εξετάζει το πρόβλημα με επαρκή ή γενικό τρόπο. Κυρίως έχουν διαμορφωθεί λίστες παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της πληροφορίας και προσαρτώνται στα αντικείμενα πληροφορίας ως δείκτες, οι οποίοι συχνά χαρακτηρίζονται ως μετά-πληροφορίες [19]. Αντίθετα, ο συνυπολογισμός τους στη διακίνηση των δεδομένων και την ανάπτυξη των υπηρεσιών δεν έχει εξετασθεί.

Οι Buchholz, Küpper, και Schiffers [4] είναι οι πρώτοι που αναφέρθηκαν στην έννοια της ποιότητας πληροφορίας περιβάλλοντος και περιέγραψαν τη χρησιμότητα της. Η λίστα παραμέτρων ποιότητας που προτείνουν περιλαμβάνει τα εξής: ακρίβεια, πιθανότητα ορθότητας, αξιοπιστία, κάλυψη, επικαιρότητα πληροφορίας. Ωστόσο, η διαφοροποίηση μεταξύ των παραμέτρων ακρίβειας και πιθανότητας ορθότητας δεν εξηγείται εκτενώς. Αντιμετωπίζουν αναλυτικά τη σχέση ποιότητας πληροφορίας και των υπηρεσιών με επίγνωση του

περιβάλλοντος και παρουσιάζουν τους λόγους που η συνεκτίμηση της απαιτείται. Ειδικότερα, υποστηρίζουν ότι προκειμένου να είναι εφικτή και αξιόπιστη η συνεργασία μεταξύ υπηρεσιών και πηγών πληροφορίας είναι αναγκαίο να εισαχθεί η έννοια ποιότητας πληροφορίας επιτρέποντας την επιλογή του κατάλληλου παρόχου πληροφορίας, την αναπροσαρμογή της συμπεριφοράς των υπηρεσιών, την επεξεργασία των δεδομένων και την προσαρμογή του μηχανισμού διακίνησης πληροφορίας. Ωστόσο η μελέτη τους δεν εμβαθύνει στη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να υλοποιηθούν οι αντίστοιχοι μηχανισμοί.

Οι Gray και Salber [20] προτείνουν την ακόλουθη λίστα παραμέτρων ποιότητας: κάλυψη (η ποσότητα της πληροφορίας περιβάλλοντος που αποκτάται), ακρίβεια (το μικρότερο κομμάτι πληροφορίας που δίνεται), επανάληψη (κατά πόσο είναι σταθερή η μέτρηση στο χρόνο), συχνότητα (χρονική συχνότητα μέτρησης), επικαιρότητα (χρονική ακτίνα μέτρησης). Όμως, το μοντέλο ποιότητας που προτείνουν δεν είναι γενικό και η ανάλυση τους εστιάζει στην ανάλυση των απαιτήσεων ως προς τα ζητήματα σχεδίασης. Οι Schmidt, Aidoo κ.α. [21] συσχετίζουν τις τιμές της πληροφορίας περιβάλλοντος με μία παράμετρο σιγουριάς που παριστάνει την πιθανότητα τα δεδομένα να περιγράφουν την πραγματικότητα. Επίσης, οι Lei, Sow κ.α. [22] περιγράφουν μια υποδομή διακίνησης πληροφορίας, η οποία συνδέει τις πληροφορίες με τις παραμέτρους ποιότητας, όπως η φρεσκάδα και η εμπιστοσύνη, αλλά το πρότυπο τους είναι ελλιπές. Οι Castro, Chiu κ.α. [23] παρουσιάζουν ένα καλά ορισμένο μοντέλο ποιότητας που βασίζεται στην ακρίβεια και την εμπιστοσύνη, αλλά εξετάζουν μόνο τις πληροφορίες θέσης. Οι Judd και Steenkiste [24] εντοπίζουν την απαίτηση να ληφθούν υπόψη οι παράμετροι ποιότητάς για την πληροφορία που αλλάζει δυναμικά, και η προτεινόμενη υποδομή υποστηρίζει την ανταλλαγή παραμέτρων πληροφορίας. Όμως, η μελέτη τους υστερεί στο να περιγράψει τον τρόπο αξιοποίησής τους. Οι Henricksen, Indulska, και Rakotonirainy [25] κάνουν μια πιο αναλυτική αναφορά στην ποιότητα πληροφορίας συγκριτικά με τα προηγούμενα. Ειδικότερα, μετά την ανάλυση του οντότητο-κεντρικού (entity-centre) μοντέλου πληροφορίας περιβάλλοντος, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που περιγράφει πως το συγκεκριμένο μοντέλο υποστηρίζει τις απαιτήσεις για ποιότητα πληροφορίας. Στην προτεινόμενη προσέγγιση καθορίζονται οι βασικές οντότητες και οι σχέσεις μεταξύ τους, στις οποίες έχουν προσαρτηθεί ένας ή περισσότεροι δείκτες ποιότητας. Δίνεται έμφαση στην ανάλυση του μοντέλου πληροφορίας περιβάλλοντος που προτείνουν, ενώ το ζήτημα της ποιότητας πληροφορίας αντιμετωπίζεται ως κάτι πρόσθετο που το μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει.

Στα πλαίσια της πλατφόρμας Nexus, υλοποιείται ένα ομοσπονδιακό, σφαιρικό μοντέλο πληροφορίας περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η πληροφορία περιγράφεται με

αντικείμενα πληροφορίας τα οποία αποθηκεύονται στους αντίστοιχους εξυπηρετητές [26]. Επίσης, στα αντικείμενα προσαρτώνται μετά-δεδομένα, όπως χρόνος ζωής, χρονική στιγμή αρχικής ανάκτησης δεδομένων, και στις παραμέτρους προσαρτώνται μετά-δεδομένα, όπως χρόνος ισχύος, χρόνος συλλογής, ακρίβεια ή μέθοδος μέτρησης, και στον πάροχο πληροφορίας όπως εμπιστοσύνη και κόστος πρόσβασης. Το μοντέλο πληροφορίας περιβάλλοντος που προτείνεται στα πλαίσια του συστήματος SOCAM [27] βασίζεται στις οντολογίες. Ορίζονται σχέσεις (associations) μεταξύ των χαρακτηριστικών των οντοτήτων και των περιορισμών ποιότητας. Τα είδη χαρακτηριστικών ποιότητας είναι: ακρίβεια, κάλυψη, σιγουριά και φρεσκάδα. Κάθε μέγεθος ποιότητας αποτελείται από την τριάδα: μονάδα, είδος, τιμή. Το μοντέλο Aspect-Scale-ContextInformation (ASC) [28] υποστηρίζει πολύπλοκους τύπους δεδομένων και ορίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (ελάχιστο λάθος, μέσο λάθος, χρόνο παραγωγής) των δεδομένων ως διαφορετική οντότητα που συνδέεται με την οντότητα της πληροφορίας. Οι Henricksen και Indulska σε νεότερη μελέτη τους [3], έχουν εμπλουτίσει το μοντέλο πληροφορίας ORM με δομές που περιγράφουν το είδος της πηγής υπονοώντας τα διαφορετικά ζητήματα ποιότητας.

### **3.2.2. Συστήματα Ανακάλυψης**

Παρόλο που το ζήτημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος έχει εκτενώς ερευνηθεί, το πρόβλημα της επιλογής της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί από τις υπηρεσίες δεν έχει επαρκώς μελετηθεί. Αυτό κυρίως συμβαίνει γιατί έχει θεωρηθεί ότι η ονομασία της προσφερόμενης πληροφορίας αρκεί ώστε να βρεθεί η κατάλληλη πληροφορία. Εξάλλου οι υπηρεσίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα προσφέρονται σε προδιαγεγραμμένα περιβάλλοντα, όπου οι πηγές πληροφορίας είναι συγκεκριμένες, εκ των προτέρων γνωστές και με ελεγχόμενη συμπεριφορά. Όμως, η ανάγκη για επιλογή των πηγών πληροφορίας προβλέπεται να είναι επιτακτική, όταν οι υπηρεσίες περάσουν από το στάδιο έρευνας σε εμπορικό επίπεδο, οπότε θα προσφέρονται σε πραγματικά περιβάλλοντα και όχι σε εργαστηριακά. Στη συνέχεια της ενότητας, γίνεται επισκόπηση των πρωτόκολλων ανακάλυψης υπηρεσιών (ενότητα 3.2.2.1) και των προσεγγίσεων ανακάλυψης των πηγών πληροφορίας (ενότητα 3.2.2.2) εστιάζοντας στο στάδιο της επιλογής.

#### **3.2.2.1. Πρωτόκολλα Ανακάλυψης Υπηρεσιών**

Η ύπαρξη πληθώρας υπηρεσιών και η απαίτηση για συνεργασία τους, προκειμένου να παρέχονται πολυπλοκότερες υπηρεσίες στους χρήστες, έχουν αναδείξει την ανάγκη για ανάπτυξη ολοκληρωμένων και ανοικτών λύσεων ανακάλυψης υπηρεσιών. Αρχικά προτάθηκαν συστήματα που βασίζονταν στην ανακάλυψη των υπηρεσιών με βάση την ονομασία τους

(συστήματα ονοματοδοσίας - naming systems) όπως η αρχιτεκτονική CORBA [29] που έχει προδιαγραφεί από την ομάδα Object Management Group (OMG). Η CORBA είναι μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική που υποστηρίζει την επικοινωνία αντικειμένων με τη χρήση διεπαφών σε γλώσσα Interface Definition Language (IDL). Κάθε αντικείμενο εγγράφεται σε έναν κατάλογο (NameServer) με συγκεκριμένο όνομα και οι άλλες υπηρεσίες μπορούν να ανακτήσουν αναφορά σε αυτό και επομένως να επικοινωνήσουν μαζί του ανεξαρτήτως της θέσης του στο δίκτυο, εφόσον γνωρίσουν το όνομα του. Παρόμοια λογική ακολουθείται και από τους εξυπηρετητές ονομασίας περιοχών (Domain Name Servers- DNSs), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή των ονομάτων των περιοχών σε διευθύνσεις και χρησιμοποιούν βάσεις δεδομένων για να αποθηκεύσουν τα ζεύγη ονομάτων και διευθύνσεων που είναι διαθέσιμα σε αυτούς, καθώς και πληροφορίες για άλλους εξυπηρετητές DNS που μπορούν να ερωτηθούν εναλλακτικά όταν η ζητούμενη διεύθυνση δεν μπορεί να βρεθεί από τις τοπικές καταχωρήσεις. Ωστόσο, τα συστήματα ονοματοδοσίας προϋποθέτουν ότι οι υπηρεσίες γνωρίζουν επακριβώς το όνομα της συγκεκριμένης υπηρεσίας που επιθυμούν να επικοινωνήσουν.

Για την ανακάλυψη των υπηρεσιών στο διαδίκτυο, οι υπηρεσίες ιστού (Web services) [30] χρησιμοποιούν το Universal Description, Discovery, and Integration (UDDI) [31], το οποίο λειτουργεί όπως τα συστήματα ονοματοδοσίας. Ένας κατάλογος UDDI δέχεται μηνύματα Simple Object Access Protocol (SOAP) [32] και παρέχει πρόσβαση σε Web Services Description Language (WSDL) [33] περιγραφές, οι οποίες περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο σύνδεσης και τη μορφή των μηνυμάτων για την επικοινωνία με τις υπηρεσίες του καταλόγου. Το πρωτόκολλο αυτό αφορά κυρίως υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου και οι εγγραφές των υπηρεσιών στον κατάλογο UDDI ακολουθούν την ακόλουθη ιεραρχική ταξινόμηση: βιομηχανίες (industries)> επιχειρήσεις (businesses)> υπηρεσίες (services). Η ανακάλυψη των υπηρεσιών γίνεται με βάση τα ονόματα των υπηρεσιών και όχι σημασιολογικά. Ένα πιο προηγμένο μοντέλο UDDI, στο οποίο καταχωρούνται επιπρόσθετα τα χαρακτηριστικά ποιότητας των υπηρεσιών, προτείνεται από τον Ran [34]. Ωστόσο και σε αυτό το μοντέλο, η ανακάλυψη των υπηρεσιών πραγματοποιείται με απλό ταίριασμα των παραμέτρων ποιότητας.

Η ανάγκη για αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη ανακάλυψη των υπηρεσιών σε ένα δίκτυο οδήγησε στην ανάπτυξη πολυπλοκότερων πρωτοκόλλων ανακάλυψης υπηρεσιών που διαφοροποιούνται από τα παλαιότερα συστήματα ονοματοδοσίας [35] και επιτρέπουν τη δυναμικότερη ανακάλυψη υπηρεσιών. Τα πρωτόκολλα αυτά υποστηρίζουν μηχανισμούς που διαχειρίζονται την εγγραφή των υπηρεσιών σε κάποιο κατάλογο, την εξυπηρέτηση αιτημάτων εύρεσης υπηρεσιών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, την αναζήτηση των ζητούμενων



υπηρεσιών και τέλος την παράδοση της σχετικής αναφοράς για επικοινωνία. Στη συνέχεια αναλύονται τα γνωστότερα πρωτόκολλα ανακάλυψης.

Από την εταιρεία Sun Microsystems έχει αναπτυχθεί η πλατφόρμα Jini [36]. Η πλατφόρμα αυτή εστιάζει στην ανακάλυψη αντικειμένων Java [37] τα οποία αντιπροσωπεύουν υπηρεσίες. Κάθε υπηρεσία περιγράφεται από ένα αντικείμενο υπηρεσίας (service item) που περιλαμβάνει το αναγνωριστικό της υπηρεσίας (service identifier), τα χαρακτηριστικά (attributes sets) και την Java διεπαφή επικοινωνίας μαζί της. Αρχικά λοιπόν, ο πάροχος της υπηρεσίας μέσω μηνυμάτων πολλαπλής διανομής (multicast) βρίσκει στο τοπικό δίκτυο την Υπηρεσία Ανεύρεσης (Lookup Service) και στη συνέχεια εγγράφει το αντικείμενο της υπηρεσίας σε αυτήν. Τα αιτήματα των πελατών έχουν τη μορφή μιας φόρμας υπηρεσίας (service template), η οποία περιλαμβάνει το αναγνωριστικό της υπηρεσίας, τους τύπους Java και τα χαρακτηριστικά της. Η Υπηρεσία Ανεύρεσης αναζητά τις αντίστοιχες υπηρεσίες που ταιριάζουν στο αίτημα. Όταν βρεθεί η κατάλληλη υπηρεσία ο πελάτης φορτώνει το πληρεξούσιο αντικείμενο υπηρεσίας (service proxy object), συνήθως ένα Remote Method Invocation (RMI) stub, το οποίο επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή της υπηρεσίας.

Επίσης, ένα γνωστό σύστημα ανακάλυψης υπηρεσιών είναι το Universal Plug and Play (UPnP) [38] από την εταιρεία Microsoft, το οποίο χρησιμοποιεί το Simple Service Discovery Protocol (SSDP). Το πρωτόκολλο αυτό ανακοινώνει την ύπαρξη μιας συσκευής ή υπηρεσίας και επιτρέπει την ανακάλυψη της με τρόπο ανάλογο με το Jini. Αντί της Υπηρεσίας Ανεύρεσης που έχει το Jini, το UPnP έχει τα Σημεία Ελέγχου (Control Points). Ως γλώσσα περιγραφής των υπηρεσιών, το UPnP χρησιμοποιεί τη γλώσσα XML [39], επιτρέποντας πολυπλοκότερες περιγραφές από ότι το Jini. Όταν ένα Σημείο Ελέγχου βρει τη ζητούμενη συσκευή ή υπηρεσία, μπορεί να την ελέγχει μέσω των URLs που περιλαμβάνονται στην XML περιγραφή. Ειδικότερα, η επικοινωνία πραγματοποιείται με την αποστολή μηνυμάτων SOAP στο αντίστοιχο URL που έχει προσδιοριστεί στην XML περιγραφή.

Το Salutation Consortium έχει αναπτύξει το ομώνυμο σύστημα ανακάλυψης Salutation [40]. Ένα σύστημα Salutation αποτελείται από τους Διαχειριστές Salutation (Salutation Managers), οι οποίοι λειτουργούν όμοια με την Υπηρεσία Ανεύρεσης στο Jini και τα Σημεία Ελέγχου στο UPnP, και τους Διαχειριστές Μεταφοράς (Transport Managers), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την αξιόπιστη επικοινωνία ανεξάρτητα από το υποκείμενο δίκτυο. Ο Διαχειριστής Salutation λειτουργεί όπως ένας μεσίτης υπηρεσιών στον οποίο οι πάροχοι υπηρεσιών εγγράφουν τις δυνατότητες τους. Όταν ένας πελάτης ζητά από τον τοπικό Διαχειριστή Salutation μια υπηρεσία, όλοι οι διαχειριστές συνεργάζονται προκειμένου να βρεθεί η ζητούμενη υπηρεσία σε αντίθεση με τα UPnP και Jini που ακολουθούν τη

συγκεντρωτική αρχιτεκτονική και οι εγγραφές αποθηκεύονται σε κεντρικό κατάλογο. Τέλος, η εύρεση της ζητούμενης υπηρεσίας πραγματοποιείται ταιριάζοντας το αίτημα με τα χαρακτηριστικά που έχουν προσδιοριστεί στον τοπικό διαχειριστή κατά την εγγραφή της υπηρεσίας.

Το Service Location Protocol (SLP) [41] είναι ένα αποκεντρωμένο, ελαφρύ (lightweight) και επεκτάσιμο πρωτόκολλο ανακάλυψης που έχει αναπτυχθεί από το Internet Engineering Task Force (IETF). Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί τα URLs των υπηρεσιών, που περιλαμβάνουν το είδος τους και τη διεύθυνση τους, για να βρουν οι χρήστες ή οι εφαρμογές τις διαθέσιμες υπηρεσίες και να επιλέξουν αυτή που θέλουν. Η ανακάλυψη των υπηρεσιών γίνεται ως εξής: Κάθε υπηρεσία διαφημίζει την ύπαρξη της μέσω του Πράκτορα Υπηρεσίας (Service Agent). Οι διαφημίσεις περιλαμβάνουν τα URLs των υπηρεσιών και τα χαρακτηριστικά τους. Ο Πράκτορας Καταλόγου (Directory Agent) αποθηκεύει προσωρινά τις διαφημίσεις των υπηρεσιών, οι οποίες ανανεώνονται περιοδικά. Τα αιτήματα ανακάλυψης υπηρεσιών στέλνονται από τους Πράκτορες Χρήστη (User Agent) στον Πράκτορα Καταλόγου, ο οποίος απαντά με όλα τα URLs που ταιριάζουν στο αίτημα. Το SLP υποστηρίζει πολυπλοκότερα αιτήματα ανακάλυψης που χρησιμοποιούν χειριστές ερωτήσεων (query operators) όπως AND, OR, συγκρίσεις (comparators), και ταίριασμα τμημάτων λέξεων (substring matching), ενώ τα UPnP και Jini υποστηρίζουν μόνο την ισότητα.

Ένα ακόμη γνωστό πρωτόκολλο από την εταιρεία Apple, είναι το Bonjour [42] (παλαιότερα γνωστό ως Rendezvous) το οποίο βασίζεται στις προδιαγραφές της IETF ομάδας εργασίας Zeroconf [43] και επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών απουσία σταθερής υποδομής. Κάποια λιγότερο γνωστά πρωτόκολλα ανακάλυψης που αναπτύχθηκαν από πανεπιστημιακά ιδρύματα και ερευνητικά ινστιτούτα είναι: το Ninja [44] από το University of California στο Berkeley, το Intentional Naming Server (INS) [45] και το INS/Twine [46] από το MIT, το DEAPspace [47] από το IBM Research. Τα πρωτόκολλα αυτά λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα παραπάνω. Τα πρωτόκολλα Jini, UPnP και Salutation έχουν εφαρμογή σε τοπικά δίκτυα, τα Ninja, INS/Twine και UDDI εφαρμόζονται σε ευρύτερα δίκτυα και το DEAPspace εφαρμόζεται σε αυτο-οργανούμενα (ad-hoc) δίκτυα. Τέλος ένα πολύ γνωστό πρωτόκολλο για ανακάλυψη Bluetooth συσκευών είναι το Bluetooth Service Discovery Protocol [48]. Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει σε κάθε συσκευή Bluetooth να βρει όλες τις Bluetooth συσκευές που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις και να επικοινωνήσει με αυτήν που επιθυμεί με βάση το όνομα της. Στην πραγματικότητα δεν είναι πρωτόκολλο ανακάλυψης αλλά μπορεί να λειτουργήσει ως τέτοιο σε συνεργασία με το Salutation [49].

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η έκρηξη στην ανάπτυξη και χρήση της τεχνολογίας των οντολογιών [50] έχει αντίκτυπο και στον τομέα ανάπτυξης πρωτοκόλλων ανακάλυψης υπηρεσιών. Η εκφραστικότητα και η δυνατότητα εφαρμογής αλγορίθμων εξαγωγής συμπεράσματος αποτελούν τα βασικότερα πλεονεκτήματα τους. Στα πλαίσια αυτά έχουν αναπτυχθεί κάποιες οντολογίες περιγραφής υπηρεσιών που επιτρέπουν την ευκολότερη εύρεση των υπηρεσιών πραγματοποιώντας σημασιολογικό ταίριασμα των περιγραφών τους (καταλήγοντας σε απόλυτο ή κοντινό ταίριασμα). Τυπικό παράδειγμα χρήσης των οντολογιών είναι το σύστημα που προτείνεται από τους Chakraborty, Joshi κ.α. [51], όπου η περιγραφή μιας υπηρεσίας περιλαμβάνει παραμέτρους όπως τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, τους περιορισμούς της πλατφόρμας και της συσκευής όπου εκτελείται η υπηρεσία.

Όπως προκύπτει από την παραπάνω επισκόπηση, τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών πραγματοποιούν εύρεση των ζητούμενων υπηρεσιών είτε με βάση το όνομα της υπηρεσίας (key-based) είτε, στα πιο προηγμένα συστήματα, ταιριάζοντας συντακτικά (attribute-based) ή σημασιολογικά (semantic-based) τα ζητούμενα χαρακτηριστικά με τα αντίστοιχα των διαθέσιμων υπηρεσιών. Σε περιβάλλοντα που υπάρχουν πολλές παρόμοιες υπηρεσίες, είτε επιλέγεται τυχαία είτε ζητείται από τον ίδιο το χρήστη να επιλέξει τελικά την επιθυμητή υπηρεσία. Ένας αυτόματος (automatic) τρόπος επιλογής που θα απαιτούσε λιγότερη εμπλοκή του χρήστη απουσιάζει από τα ήδη ανεπτυγμένα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών. Επίσης, η δυναμικότητα των υπηρεσιών, οι οποίες είναι δυνατόν είτε να σταματήσουν να προσφέρονται είτε να παρουσιάζουν σφάλματα, αντιμετωπίζεται με την τακτική υποβολή ερωτήσεων για την κατάσταση τους (polling) ή με την ανακοίνωση γεγονότων από τις ίδιες τις υπηρεσίες (service event notification). Πρόσθετα ζητήματα που αφορούν τις προκλήσεις σχετικά με τη χρήση των πρωτοκόλλων ανακάλυψης υπηρεσιών σε συστήματα διάχυτης υπολογιστικής αναλύονται από τους Zhu, Mutka και Ni [52].

### 3.2.2.2. Ανακάλυψη Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Όπως παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσα διατριβής, τα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος διαθέτουν μηχανισμούς ανακάλυψης της πληροφορίας περιβάλλοντος οι οποίοι χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών ή ακολουθούν κάποιο παρόμοιο πρωτόκολλο που έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για αυτά. Ειδικότερα, ορίζονται δύο στάδια: το στάδιο εγγραφής των διαθέσιμων ειδών πληροφορίας σε κεντρικό ή κατακεντρωμένο καταλόγους και το στάδιο αναζήτησης, ταιριάσματος και επιλογής των πληροφοριών με βάση τα ζητούμενα χαρακτηριστικά. Ειδικά, σχετικά με το πρόβλημα επιλογής των πληροφοριών που θα χρησιμοποιηθούν από κάθε καταναλωτή πληροφορίας οι

προσεγγίσεις διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος δεν έχουν καταφέρει να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά. Η διαπίστωση αυτή προκύπτει από την επισκόπηση των συστημάτων που έχουν προσπαθήσει να αντιμετωπίσουν το ζήτημα αυτό. Τα συστήματα αυτά αναλύονται στη συνέχεια.

Οι Cohen, Castro και Misra [53] προτείνουν την περιγραφική ονομασία των πηγών πληροφορίας. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το οποίο έχει υλοποιηθεί στα πλαίσια του συστήματος Context Weaver, οι πάροχοι πληροφορίας ονοματίζονται με βάση την πληροφορία που παρέχουν. Κάθε περιγραφή είναι ένα XML έγγραφο που περιλαμβάνει το είδος της πληροφορίας, τα χαρακτηριστικά της και τις παραμέτρους ενεργοποίησης της πηγής. Επίσης, τα είδη των παρόχων πληροφορίας είναι οργανωμένα ιεραρχικά σε 'υπερ-είδη' και 'υπό-είδη' (superkinds και subkinds). Αντίστοιχα, τα αιτήματα για ανάκτηση πληροφορίας υποβάλλονται με τη χρήση της γλώσσας XQuery [54] και περιλαμβάνουν το είδος της πληροφορίας, τις παραμέτρους ενεργοποίησης και τον τρόπο επιλογής. Οι πιθανοί τρόποι επιλογής της ζητούμενης πληροφορίας που υλοποιούνται με την XQuery είναι: 1. all: όλα τα δεδομένα που ταιριάζουν στην περιγραφή, 2. first(k): το πολύ k δεδομένα που ταιριάζουν στην περιγραφή, 3. top(k,expression): το πολύ k δεδομένα στα οποία η αριθμητική έκφραση *expression* μεγιστοποιείται, 4. ge(expression,n): έναν ορισμένο αριθμό δεδομένων στα οποία η αριθμητική έκφραση *expression* παίρνει τιμή μεγαλύτερη ή ίση με n. Το μοντέλο αυτό δεν υλοποιεί, προς το παρόν, παρακολούθηση των πηγών πληροφορίας και επαναπροσδιορισμού του καταλληλότερου παρόχου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των υπηρεσιών.

Παρόμοια προσέγγιση ακολουθεί και το σύστημα Solar που αναπτύχθηκε από τον Chen [55]. Ειδικότερα, προτείνεται ένα ευέλικτο περιγραφικό σύστημα ονομασίας το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό παραμέτρων στις διαφημίσεις της πληροφορίας και στα αιτήματα για ανάκτηση πληροφορίας. Ένα καταναμεμημένο σύστημα καταχώρησης των διαφημίσεων (directory service) που στηρίζεται στο INS είναι υπεύθυνο για την εύρεση και την επικοινωνία με τις πηγές. Υπηρεσίες παρακολούθησης εντοπίζουν τις αλλαγές στις πηγές και ενημερώνουν αντίστοιχα τους καταλόγους ενώ πληρεξούσια αντικείμενα από τους καταναλωτές πληροφορίας διαχειρίζονται τις εγγραφές για πληροφορία. Η επιλογή των πηγών πληροφορίας πραγματοποιείται σε δύο στάδια: αρχικά πραγματοποιείται ταίριασμα των παραμέτρων της διαθέσιμης και της ζητούμενης πληροφορίας και στη συνέχεια διαλέγονται είτε όλες που ικανοποιούν το αίτημα είτε τυχαία μία από αυτές, ανάλογα με τον τρόπο που έχει προσδιοριστεί στο αίτημα (αντίστοιχα @any ή @all).

Οι Brenner και Schiffer [56] μελετούν τη χρήση της τεχνολογίας υπηρεσιών ιστού για τη διαχείριση της παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν

πολλαπλοί πάροχοι πληροφορίας. Ο προτεινόμενος μεσίτης πληροφορίας περιβάλλοντος διαχειρίζεται ένα UDDI κατάλογο αποθήκευσης των περιγραφών της πληροφορίας. Η επιλογή γίνεται ανταλλάσσοντας SOAP μηνύματα μεταξύ παρόχων πληροφορίας και υπηρεσιών τα οποία περιλαμβάνουν αντίστοιχα τις απαιτήσεις QoS και QoS. Ωστόσο, η ανακάλυψη και η επιλογή γίνεται με απλό ταίριασμα παραμέτρων.

Η χρήση της τεχνολογίας των οντολογιών έχει ευρέως προταθεί για τη συλλογή και επεξεργασία της πληροφορίας περιβάλλοντος. Η προσέγγιση που ακολουθούν τα συστήματα διαχείρισης πληροφοριών με οντολογίες μοιάζει με τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή. Δηλαδή η επιλογή της πληροφορίας πραγματοποιείται με ταίριασμα των παραμέτρων, στις οποίες είναι δυνατόν να συμμετέχουν και οι παράμετροι ποιότητας των πληροφοριών. Παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι το μεσισμικό SOCAM [57] το οποίο χρησιμοποιεί την υπηρεσία Service Locating Service (SLS). Η SLS υλοποιεί σημασιολογικό ταίριασμα των ζητούμενων πληροφοριών και των διαφημίσεων των πηγών και έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει τις δυναμικές αλλαγές των πηγών πληροφορίας και να προσαρμόζεται σε αυτές. Οι πάροχοι πληροφορίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν το πρότυπο περιγραφής υπηρεσιών του Jini, ή να χρησιμοποιήσουν οντολογίες για να εκφράσουν/διαφημίσουν το είδος της πληροφορίας που δίνουν. Όμοια προσέγγιση ακολουθούν και τα άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των οντολογιών, όπως τα συστήματα CoOL [28], CoBrA [58], Orion [59]. Επίσης, η ατέλεια της πληροφορίας στις προσεγγίσεις αυτές αντιμετωπίζεται με μηχανισμούς εξαγωγής συμπεράσματος (reasoning/inference), όπου σύμφωνα με κανόνες που έχουν εκ των προτέρων οριστεί αποσαφηνίζονται οι τυχόν ασάφειες. Ειδικότερα το CoBrA, όταν δύο πηγές παρέχουν διαφορετική πληροφορία χρησιμοποιεί την ανταλλαγή εξηγήσεων ώστε να αποφασιστεί το ποια είναι η σωστή πληροφορία. Ωστόσο καμία από τις προσεγγίσεις δεν προτείνει μεθοδολογία επιλογής ανάμεσα σε πολλαπλές πληροφορίες που ικανοποιούν τα αιτήματα. Εξάλλου, θεωρούν ότι όλα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα δίχως οικονομικό κόστος προς όλους.

Οι Khedr και Karmourch [60] περιγράφουν ένα πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης πληροφορίας περιβάλλοντος με βάση το οποίο συμφωνούνται από τις υπηρεσίες και τους παρόχους πληροφορίας τα χαρακτηριστικά της πληροφορίας που θα ανακτηθούν. Επιπλέον, στο προτεινόμενο σύστημα υποστηρίζεται ο επαναπροσδιορισμός των παρόχων πληροφορίας, που χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας. Για το σκοπό αυτό, προσδιορίζονται από τις υπηρεσίες ανώτερα και κατώτερα όρια ποιότητας της πληροφορίας, ο παράγοντας ικανοποίησης και η αντίστοιχη παράμετρος ευαισθησίας και με βάση την λογαριθμική συνάρτηση χρησιμότητας διακανονίζεται με τους παρόχους πληροφορίας η πληροφορία που

θα ανακτηθεί. Ωστόσο το μοντέλο αυτό, προϋποθέτει ότι οι πάροχοι έχουν δυνατότητα διαπραγμάτευσης των παραμέτρων, το οποίο δεν είναι εφικτό όταν οι πάροχοι πληροφορίας διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική δυνατότητα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αισθητήρων. Εξάλλου το μοντέλο αυτό βασίζεται στο ότι οι πάροχοι πληροφορίας παρέχουν αξιόπιστη πληροφορία σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους.

Μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση προτείνεται από τους Dey και Mankoff [61] η οποία βασίζεται στη διαμεσολάβηση των χρηστών. Ειδικότερα, το προτεινόμενο μοντέλο αντί της επιλογής άλλης καλύτερης πληροφορίας ή της διαπραγμάτευσης με τους παρόχους πληροφορίας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ασάφεια της χρησιμοποιούμενων δεδομένων, δέχεται την ύπαρξη της ασαφούς πληροφορίας. Όμως εισάγει ένα επιπρόσθετο κομμάτι λογισμικού μεταξύ της υποδομής διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος και των εφαρμογών το οποίο είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό της ασαφούς πληροφορίας και την επικοινωνία με το χρήστη από τον οποίο τελικά ζητείται να ξεκαθαρίσει την ασάφεια. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό λόγω της τεράστιας ποσότητας πληροφορίας που διακινείται και συχνά δεν αναφέρεται στο χρήστη, καθώς και επειδή η επικοινωνία με το χρήστη και η ενόχληση του δικαιολογείται μόνο σε περιορισμένες περιπτώσεις ανάγκης.

Οι Huebscher και McCann [62] προτείνουν ένα μεσισμικό παροχής πληροφορίας το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος ως προς τη χρήση της κατάλληλης πληροφορίας περιβάλλοντος. Σύμφωνα με την προσέγγιση τους, η επιλογή των κατάλληλων πηγών πληροφορίας βασίζεται στα χαρακτηριστικά ποιότητας τους. Ειδικότερα, οι υπηρεσίες ορίζουν το χείριστο όριο για τις παραμέτρους ποιότητας και το προτεινόμενο μεσισμικό υπολογίζει την ευκλείδεια ή την στατιστική απόσταση των διαθέσιμων πηγών πληροφορίας και καταλήγει σε αυτές που μεγιστοποιούν την απόσταση από τα χείριστα όρια. Παράλληλα το μεσισμικό παρακολουθεί τη συμπεριφορά των πηγών και προτείνει νέες πηγές για ανάκτηση της ζητούμενης πληροφορίας. Η αξιοπιστία των πηγών υπολογίζεται με ένα μοντέλου μάθησης [63], το οποίο βασίζεται στο θεώρημα του Bayes (Bayes' Theorem) [64].

### 3.3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### 3.3.1. Περιγραφή Μηχανισμού

Όπως έχει ήδη αναλυθεί, η αφθονία της πληροφορίας περιβάλλοντος που παρέχεται από τους διάφορους αισθητήρες και τους χρήστες καθώς και η ανάγκη να εκτελούνται οι υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος σε πολλά ετερογενή περιβάλλοντα επιβάλλει την ανάπτυξη μηχανισμών που θα αποφασίζουν σχετικά με το ποια είναι η καταλληλότερη πηγή πληροφορίας για να ανακτηθούν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν από κάθε συγκεκριμένη υπηρεσία η οποία προσφέρεται σε συγκεκριμένο χρήστη. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ζήτημα αυτό, η περιγραφική ονομασία των πηγών πληροφορίας και το ταίριασμα των χαρακτηριστικών των πηγών (key-based, attribute-based ή semantic-based) δεν αρκεί αλλά ένα αποδοτικότερο μοντέλο επιβάλλεται να αναπτυχθεί. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται στο κεφάλαιο αυτό, ένας μηχανισμός ανακάλυψης και επιλογής. Ο μηχανισμός αυτός υλοποιείται από τη Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος (*Context Matching Engine - CME*) [65], η οποία λειτουργεί κάτω από τη διαχείριση του κεντρικού ή όλων των μεσιτών πληροφορίας. Κατά τη διαδικασία ανακάλυψης των πηγών πληροφορίας, η μηχανή αυτή λειτουργεί μεμονωμένα ανά προσωποποιημένη (customized) υπηρεσία και με αυτοματοποιημένο τρόπο επιλέγει τις καταλληλότερες πηγές πληροφορίας για να ανακτηθούν τα ζητούμενα δεδομένα ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του χρήστη και της υπηρεσίας. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη η CME, προκειμένου να επιλέξει τις καταλληλότερες πηγές, είναι: το προφίλ της υπηρεσίας, οι προτιμήσεις των χρηστών και η ποιότητα πληροφορίας των διαθέσιμων πηγών (Σχήμα 3-4).



Σχήμα 3-4: Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Επίσης, στο Σχήμα 3-4 απεικονίζεται η σύνθεση της CME. Ειδικότερα, ο μηχανισμός επιλογής πληροφορίας υλοποιείται από τις εξής συνιστώσες λογισμικού:

1. **Μονάδα Ελέγχου Αξιοπιστίας Πηγών Πληροφορίας:** Η συνιστώσα αυτή παρακολουθεί τη συμπεριφορά των πηγών πληροφορίας και εκτιμά την αξιοπιστία των πηγών και το χρόνο απόκρισης στα αιτήματα για ανάκτηση πληροφορίας. Επίσης, εντοπίζει τυχόν αποτυχίες ή αλλαγές στις πηγές πληροφορίας ώστε να ενεργοποιήσει τη διαδικασία νέας επιλογής. Η συνιστώσα αυτή αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην ενότητα 3.3.3.
2. **Μονάδα Αξιολόγησης Πληροφορίας:** Η συνιστώσα αυτή λαμβάνει υπόψη της τα χαρακτηριστικά ποιότητας κάθε διαθέσιμης πηγής πληροφορίας, το ζητούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που καθορίζεται από το επιλεγμένο προφίλ υπηρεσίας και τις παραμέτρους που προσωποποιούν την υπηρεσία, καθώς και τα συμπεράσματα της μονάδας ελέγχου αξιοπιστίας των πηγών πληροφορίας. Με βάση αυτά υπολογίζει εκ μέρους της υπηρεσίας και του χρήστη την αναμενόμενη ικανοποίηση από τη χρήση της συγκεκριμένης πληροφορίας. Η συνιστώσα αυτή αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην ενότητα 3.4.2.
3. **Αλγόριθμος Επιλογής:** Ο αλγόριθμος αυτός επιλύει το πρόβλημα επιλογής που τελικά διαμορφώνεται. Το πρόβλημα επιλογής και ο προτεινόμενος αλγόριθμος επίλυσης του αναλύονται λεπτομερώς στις ενότητες 3.4 και 3.5 αντίστοιχα.

Όταν μια υπηρεσία με επίγνωση του περιβάλλοντος υποβάλλει αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας στο μεσίτη πληροφορίας, η CME αναλαμβάνει να αποφασίσει από ποιες πηγές θα ανακτηθούν τα ζητούμενα δεδομένα. Αρχικά λοιπόν, βρίσκονται οι πιθανές πηγές πληροφορίας, που ικανοποιούν το αίτημα της υπηρεσίας, ταιριάζοντας τα χαρακτηριστικά που ζητούνται με αυτά των πηγών. Στη συνέχεια, η μονάδα αξιολόγησης πληροφορίας αξιολογεί τα δεδομένα των πηγών αυτών εκ μέρους της υπηρεσίας και εκτελείται ο αλγόριθμος επιλογής, ο οποίος αποφασίζει για τον καλύτερο συνδυασμό πηγών. Με βάση την απόφαση αυτή, ο μεσίτης επικοινωνεί με τις πηγές πληροφορίας και ανακτώνται τα ζητούμενα δεδομένα.

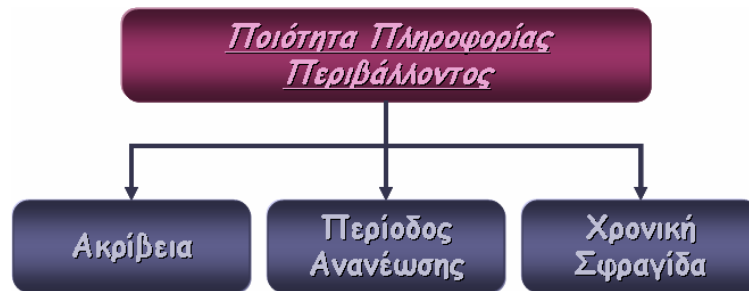
### **3.3.2. Ορισμός Παραμέτρων Ποιότητας Πληροφορίας Περιβάλλοντος**

Η πολυπλοκότητά προσδιορισμού παραμέτρων ποιότητας της πληροφορίας περιβάλλοντος προέρχεται από το γεγονός ότι οι ποιοτικές παράμετροι εξαρτώνται από τη φύση της πληροφορίας. Παραδείγματος χάριν, η ποιότητα των πληροφοριών για τη θέση ενός χρήστη μπορεί να χαρακτηριστεί από την ακρίβειά της, μετρημένη από το τυποποιημένο λάθος του συστήματος θέσης, τη φρεσκάδα, που καθορίζει πότε παρήχθησαν οι πληροφορίες θέσης και



τη μέση διάρκεια ζωής τους. Αφ' ετέρου, η ποιότητα ενός ισχυρισμού για τη δραστηριότητα των χρηστών μπορεί να περιγραφεί από τη βεβαιότητά της πηγής πληροφοριών για τις παρεχόμενες πληροφορίες και μετράται ως εκτίμηση πιθανότητας.

Όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.2.1, έχουν καθοριστεί πολλές διαφορετικές λίστες παραμέτρων ποιότητας, που χαρακτηρίζουν την πληροφορία περιβάλλοντος [17]. Στην παρούσα μελέτη, με βάση την ανάλυση που παρουσιάζεται στις εργασίες [4] και [16], ορίζονται οι παράμετροι ποιότητας που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-5.



Σχήμα 3-5: Παράμετροι Ποιότητας Πληροφορίας

Αναλυτικότερα, για τα δεδομένα που παρέχονται από μία πηγή πληροφορίας ορίζονται τα ακόλουθα μεγέθη ποιότητας:

1. **Ακρίβεια (Accuracy)**: Η παράμετρος αυτή περιγράφει κατά πόσο τα παρεχόμενα δεδομένα αντιστοιχούν στην πραγματικότητα. Η ακρίβεια επηρεάζεται από την τεχνική αίσθησης (sensing) ή επεξεργασίας που χρησιμοποιείται, καθώς και από την 'κοκκοποίηση' (granularity) των πληροφοριών η οποία περιγράφει τη μικρότερη μονάδα που μπορεί να μετρηθεί. Για παράδειγμα, η πληροφορία θέσης ενός χρήστη δίνεται με ακρίβεια +/-10μ από την υπηρεσία θέσης A ενώ η υπηρεσία θέσης B δίνει τη θέση του χρήστη με μικρότερη ακρίβεια +/-100μ.
2. **Περίοδος ανανέωσης (Refresh Time)**: Η παράμετρος αυτή περιγράφει το χρονικό διάστημα, με την πάροδο του οποίου πραγματοποιείται νέα μέτρηση από την πηγή και ανανεώνονται τα παρεχόμενα δεδομένα.
3. **Χρονική στιγμή παραγωγής ή χρονική σφραγίδα (Timestamp)**: Η παράμετρος αυτή περιγράφει την ακριβή χρονική στιγμή που τα ανανεωμένα δεδομένα έχουν παραχθεί από την πηγή. Από το συνδυασμό της παραμέτρου αυτής και της περιόδου ανανέωσης προκύπτει ο χρόνος ζωής των δεδομένων.

Οι παράμετροι ακρίβεια και περίοδος ανανέωσης προσδιορίζονται κατά την φάση εγγραφής των πηγών πληροφορίας στο μεσίτη πληροφορίας, ενώ η χρονική σφραγίδα συνοδεύει τα ανανεωμένα δεδομένα που παρέχονται από την πηγή. Είναι προφανές ότι το

σύνολο των παραμέτρων δεν αφορά όλα τα είδη πληροφορίας, αλλά κυρίως χαρακτηρίζει τα δεδομένα που μεταβάλλονται συχνά και παράγονται από φυσικούς ή λογικούς αισθητήρες. Αντίθετα, η ποιότητα στατικών δεδομένων, όπως το προφίλ του χρήστη, προσδιορίζεται με βάση τη χρονική στιγμή παραγωγής.

### 3.3.3. Μοντέλο Ελέγχου Αξιοπιστίας των Πηγών Πληροφορίας

Επειδή δεν είναι δίκαιο να θεωρείται ότι όλες οι πηγές πληροφορίας διαφημίζουν με πλήρη ειλικρίνεια την ποιότητα της παρεχόμενης πληροφορίας, η Μονάδα Ελέγχου Αξιοπιστίας Πηγών Πληροφορίας έχει αναλάβει την παρακολούθηση της διακίνησης πληροφορίας και παρέχει αντικειμενική μέτρηση της αξιοπιστίας των πηγών βασισμένη σε ένα μοντέλο μάθησης. Ανακαλύπτει αποτυχίες, απλές αλλαγές στις πηγές πληροφορίας και εγγραφή νέων σχετικών πηγών, και ενεργοποιεί την εκ νέου επιλογή των καταλληλότερων πηγών με βάση τα νέα δεδομένα. Επιπλέον, επιθεωρεί εάν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που συνοδεύουν τα δεδομένα ταιριάζουν με αυτά που έχει δηλώσει κατά την εγγραφή. Δηλαδή, εξετάζει την φρεσκάδα των δεδομένων που παραδίδονται, ελέγχοντας εάν η πραγματική περίοδος ανανέωσης εναρμονίζεται με τη αυτή που έχει αρχικά δηλωθεί, και επίσης μετρά τον χρόνο απόκρισης των πηγών στα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας. Επομένως, η μονάδα ελέγχου αξιοπιστίας προσδιορίζει πρόσθετες παραμέτρους ποιότητας που χαρακτηρίζουν τις πηγές πληροφορίας, οι οποίες αλλάζουν με βάση τις συνθήκες στο δίκτυο (Σχήμα 3-6).



Σχήμα 3-6: Παράμετροι Ποιότητας Πηγών Πληροφορίας Περιβάλλοντος

Αναλυτικότερα, για κάθε πηγή πληροφορίας ορίζονται οι εξής παράμετροι ποιότητας:

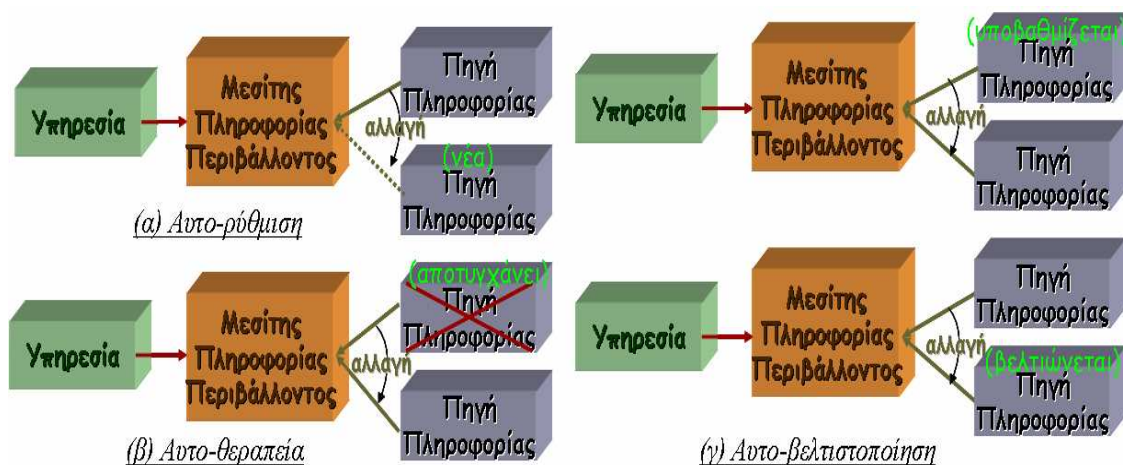
1. **Χρόνος Απόκρισης (Time Response):** Η παράμετρος αυτή είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για παράδοση της πληροφορίας που έχει ζητηθεί και αντιστοιχεί στο χρόνο καθυστέρησης μετάδοσης της πληροφορίας από την πηγή στην υπηρεσία που την έχει ζητήσει.
2. **Αξιοπιστία (Fidelity):** Η παράμετρος αυτή αντιστοιχεί στην πιθανότητα οι πραγματικές παράμετροι ποιότητας να συμφωνούν με αυτές που έχει δηλώσει η πηγή κατά την εγγραφή

της. Επομένως, οι πηγές που δεν έχουν εντοπιστεί ως αναληθείς τείνουν να έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η παράμετρος αυτή επιτρέπει στο μεσίτη πληροφορίας να επιλέγει εκ μέρους της υπηρεσίας το ρίσκο που είναι διατεθειμένος να πάρει με την ελπίδα να ανακτήσει δεδομένα καλής ποιότητας. Ο υπολογισμός της αξιοπιστίας γίνεται ως εξής: Έστω η χρονική στιγμή  $T$  αφού η πηγή πληροφορία  $CS$  έχει παραδώσει τα τελευταία ανανεωμένα δεδομένα. Η Στιγμαία Αξιοπιστία (Current Fidelity - CF)  $CF(CS, T)$  έχει την τιμή '1' όταν η τελευταία ανανεωμένη τιμή έχει παραδοθεί σύμφωνα με τις παραμέτρους εγγραφής, διαφορετικά παίρνει τιμή '0'. Επίσης, ορίζεται η παράμετρος  $W$  που ονομάζεται Παράθυρο (Window) και περιγράφει τον αριθμό των κύκλων ανανέωσης, διάρκειας  $T_r$ , που παρακολουθούνται. Καθώς η παράμετρος  $W$  γίνεται μεγαλύτερη, η εκτίμηση της αξιοπιστίας λαμβάνει περισσότερο υπόψη τη συμπεριφορά της πηγής στο παρελθόν, αλλά απαιτούνται περισσότεροι πόροι για αποθήκευση των στατιστικών δεδομένων. Επομένως, η αξιοπιστία  $F(CS, T)$  της πηγής  $CS$  την χρονική στιγμή  $T$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$F(CS, T) = \frac{1}{W} * \sum_{t=T-W*T_r}^{t=T} CS(CS, t) \quad (3-1)$$

### 3.3.4. Χαρακτηριστικά Αυτονομίας

Εκτός από την αρχική επιλογή της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί από τις υπηρεσίες, ο προτεινόμενος μηχανισμός εντοπίζει μέσω της Μονάδας Ελέγχου Αξιοπιστίας τυχόν αλλαγές και πραγματοποιεί εκ νέου επιλογή, εκτελώντας τον αλγόριθμο επιλογής. Οι πιθανές περιπτώσεις απεικονίζονται στο Σχήμα 3-7.



Σχήμα 3-7: Σενάρια Προσαρμογής

Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο μηχανισμός αναπροσαρμόζει αυτόματα και αυτόνομα την επιλογή, όταν νέες πηγές πληροφορίας εγγράφονται (Σχήμα 3-7(α)), κάποια πηγή πληροφορίας αποτυγχάνει (Σχήμα 3-7(β)), κάποια πηγή υποβαθμίζεται ή βελτιώνεται (Σχήμα 3-7(γ)). Τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά αυτονομίας είναι η αυτο-ρύθμιση (self-configuring), η αυτο-θεραπεία (self-healing) και η αυτο-βελτιστοποίηση (self-optimising).

### 3.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η τυπική περιγραφή του προβλήματος επιλογής πληροφορίας που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, με σκοπό να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία τους. Η επιλογή της πληροφορίας λαμβάνει υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά ποιότητας των πηγών πληροφορίας αλλά και τις απαιτήσεις των χρηστών των υπηρεσιών. Στις ακόλουθες ενότητες αρχικά προσδιορίζονται τα δεδομένα του προβλήματος (ενότητα 3.4.1), στη συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο εκτίμησης της χρησιμότητας των διαθέσιμων πηγών πληροφορίας (ενότητα 3.4.2) και τέλος διατυπώνεται το πρόβλημα επιλογής με τη μορφή προβλήματος βελτιστοποίησης (ενότητα 3.4.3).

#### 3.4.1. Δεδομένα Προβλήματος

Έστω ότι στο σύστημα υπάρχουν ένα σύνολο πηγών πληροφορίας, οι οποίες παρέχουν δεδομένα που καταναλώνονται από τις προσφερόμενες υπηρεσίες. Κάθε πηγή πληροφορίας  $CS_{ij}$ , την οποία εκμεταλλεύεται και διαχειρίζεται ο αντίστοιχος πάροχος πληροφορίας  $CP_{ij}$ , παρέχει πληροφορία  $I_{ij}$ . Η παράμετρος  $i$  χαρακτηρίζει το είδος της πληροφορίας και η παράμετρος  $j$  τα χαρακτηριστικά ποιότητας της. Ισχύει:  $i \in (I, N)$  και  $j \in (I, M_i)$ .  $N$  είναι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων ειδών πληροφοριών περιβάλλοντος, και  $M_i$  είναι ο συνολικός αριθμός διαφορετικών επιπέδων ποιότητας για το είδος πληροφορίας  $i$ . Δύο αντικείμενα πληροφορίας είναι του ίδιου είδους, όταν αναφέρονται από την ίδια σκοπιά στην ίδια οντότητα, για παράδειγμα τη γεωγραφική θέση που βρίσκεται ένα συγκεκριμένο πρόσωπο. Ο συμβολισμός των χαρακτηριστικών ποιότητας της πληροφορίας  $I_{ij}$  περιλαμβάνονται στον πίνακα: Πίνακας 3-2. Επομένως, για κάθε πληροφορία  $I_{ij}$ ,  $i \in (I, N)$ ,  $j \in (I, M_i)$  ορίζεται το Διάνυσμα Χαρακτηριστικών Ποιότητας Πληροφορίας (Information Quality Properties Vector)  $IQPV_{ij} = \langle A_{ij}, Tr_{ij}, Ts_{ij} \rangle$ . Επίσης, σύμφωνα με τη διαδικασία

ελέγχου αξιοπιστίας των πηγών, ορίζεται για κάθε πηγή  $CS_{ij}$  το Διάνυσμα Χαρακτηριστικών Ποιότητας Πηγής (*Context Source Quality Properties Vector*)  $CSQP_{ij} = \langle Tresp_{ij}, F_{ij} \rangle$ . Τέλος, το κόστος απόκτησης της πληροφορίας  $I_{ij}$  είναι  $P_{ij}$ .

**Πίνακας 3-2:** Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας Περιβάλλοντος και Πηγών

<u>Σύμβολο</u>	<u>Περιγραφή</u>
$A_{ij}$	Ακρίβεια της πληροφορίας $I_{ij}$
$Tr_{ij}$	Περίοδος ανανέωσης της πληροφορίας $I_{ij}$
$Ts_{ij}$	Χρόνος παραγωγής της πληροφορίας $I_{ij}$
$Tresp_{ij}$	Χρόνος απόκρισης της πηγής πληροφορίας $I_{ij}$
$F_{ij}$	Αξιοπιστία της πηγής πληροφορίας $I_{ij}$

Όταν ένας χρήστης εγγράφεται στην υπηρεσία, επιλέγει ένα από τα ήδη προδιαγεγραμμένα προφίλ υπηρεσίας και προσδιορίζει τις παραμέτρους προσαρμογής (*customization parameters*) σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται το προφίλ της υπηρεσίας που περιγράφει τις απαιτήσεις του χρήστη και το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Έστω ότι σύμφωνα με το προφίλ υπηρεσίας απαιτείται η απόκτηση  $L$  αντικειμένων πληροφορίας από τα είδη  $\{k_1, k_2, \dots, k_L\} \subseteq (1, N)$ . Για κάθε είδος  $k_z$ ,  $z \in (1, L)$  ζητούμενης πληροφορίας ορίζεται το Διάνυσμα Αποδεκτών Χαρακτηριστικών (*Acceptable Properties Vector*)  $APV_{k_z} = \langle A \max_{k_z}, Tr \max_{k_z} \rangle$ , το οποίο ορίζει τα χείριστα χαρακτηριστικά ποιότητας ως προς την ακρίβεια και την περίοδο ανανέωσης της πληροφορίας, ώστε η ποιότητα παροχής της υπηρεσίας να είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Επίσης, για κάθε ζητούμενο είδος πληροφορίας ορίζεται το Διάνυσμα Βαρών Χαρακτηριστικών Ποιότητας (*Properties Weight Vector*)  $PWV_{k_z} = \langle a_{k_z}, b_{k_z}, c_{k_z}, d_{k_z}, e_{k_z} \rangle$ , το οποίο εκφράζει την αξία των χαρακτηριστικών ποιότητας: ακρίβειας, επικαιρότητας, περιόδου ανανέωσης, χρονικής απόκρισης και αξιοπιστίας της πηγής. Προφανώς ισχύει:  $a_{k_z} + b_{k_z} + c_{k_z} + d_{k_z} + e_{k_z} = 1$ . Ο προσδιορισμός των διανυσμάτων  $APV$  και  $PWV$  αποτελεί ένα ξεχωριστό πρόβλημα στο οποίο ζητείται να παρασταθούν με αριθμητικά μεγέθη οι προτιμήσεις του χρήστη σε ποιότητα υπηρεσίας και ποιότητα πληροφορίας, και επιλύεται χρησιμοποιώντας την εμπειρία του ίδιου του χρήστη καθώς και άλλων χρηστών με παρόμοια συμπεριφορά [66]. Επίσης, ο χρήστης της υπηρεσίας προσδιορίζει το συνολικό κόστος χρήσης της υπηρεσίας, εντός των ορίων που ορίζει το επιλεγμένο προφίλ. Με βάση το κόστος αυτό ορίζεται, ως ένα ποσοστό του, το μέγιστο κόστος  $P_{\max}$  ανάκτησης της απαραίτητης πληροφορίας. Επιπλέον, προσδιορίζεται,

με βάση το επιλεγμένο προφίλ υπηρεσίας, το χρονικό όριο  $T_{\max}$  απόκτησης των απαραίτητων αντικειμένων πληροφορίας. Τέλος, το επιλεγμένο προφίλ προσδιορίζει τη συμπεριφορά του συστήματος σε περιπτώσεις, που οι απαιτήσεις δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν από τις υπάρχουσες πηγές πληροφορίας, δηλαδή προσδιορίζει την παράμετρο που πρέπει να χαλαρωθεί. Τα δεδομένα του προβλήματος συνοψίζονται στον πίνακα: Πίνακας 3-3.

Πίνακας 3-3: Δεδομένα Προβλήματος

	<u>Περιγραφή Δεδομένων</u>	<u>Συμβολισμός</u>
Χαρακτηριστικά Πηγών Πληροφορίας	Διάνυσμα χαρακτηριστικών ποιότητας πληροφορίας	$IQPV_{ij} = \langle A_{ij}, Tr_{ij}, Ts_{ij} \rangle$
	Διάνυσμα χαρακτηριστικών ποιότητας Πηγής	$CSQPV_{ij} = \langle Tresp_{ij}, F_{ij} \rangle$
	Κόστος συλλογής πληροφορίας	$P_{ij}$
Προφίλ Υπηρεσίας/ Χρήστη	$L$ αντικειμένων πληροφορίας	$\{k_1, k_2, \dots, k_L\} \subseteq (I, N)$
	Διάνυσμα αποδεκτών χαρακτηριστικών για κάθε ζητούμενο είδος πληροφορίας	$APV_{k_z} = \langle A_{\max k_z}, Tr_{\max k_z} \rangle$
	Διάνυσμα βαρών χαρακτηριστικών ποιότητας για κάθε ζητούμενο είδος πληροφορίας	$PWV_{k_z} = \langle a_{k_z}, b_{k_z}, c_{k_z}, d_{k_z}, e_{k_z} \rangle$
	Όριο συνολικού κόστους συλλογής πληροφορίας	$P_{\max}$
	Όριο χρονικής καθυστέρησης συλλογής πληροφορίας	$T_{\max}$

### 3.4.2. Μοντέλο Αξιολόγησης της Πληροφορίας

Η αξιολόγηση των διαθέσιμων πηγών πληροφορίας ως προς τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης υπηρεσίας, του χρήστη της και του επιλεγμένου προφίλ υπηρεσίας προσδιορίζεται με βάση το μοντέλο χρησιμότητας (*utility model*), το οποίο ποσοτικοποιεί την αναμενόμενη ικανοποίηση του χρήστη της υπηρεσίας, όταν χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τις διαθέσιμες πηγές πληροφορίας. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ορίζεται μια συνάρτηση χρησιμότητας η οποία με δεδομένα τις απαιτήσεις του χρήστη και της υπηρεσίας υπολογίζει τη χρησιμότητα της πληροφορίας ως προς την εγκυρότητα και τη φρεσκάδα της. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται *Συνάρτηση Χρησιμότητας*  $U(I_{ij})$  και το αποτέλεσμα της ονομάζεται *Χρησιμότητα Πληροφορίας*. Οι μονάδες στις οποίες μετράται μια ‘ποσότητα’ χρησιμότητας είναι αυθαίρετες και αναπαριστούν μια σχετική μόνο τιμή. Στην παρούσα υλοποίηση έχει

θεωρηθεί ότι η χρησιμότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που παίρνει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$ .

Ο υπολογισμός της χρησιμότητας κάθε πληροφορίας  $I_{ij}$  με χαρακτηριστικά ποιότητας  $IQPV_{ij} = \langle A_{ij}, Tr_{ij}, Ts_{ij} \rangle$  και  $CSQP_{ij} = \langle Tresp_{ij}, F_{ij} \rangle$  πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τους εξής πέντε παράγοντες:  $U_A, U_T, U_{Tr}, U_{Tresp}$  και  $U_F$ , οι οποίοι μετρούν αντίστοιχα την χρησιμότητα της πληροφορίας από απόψεως ακρίβειας, επικαιρότητας, περιόδου ανανέωσης, και χρόνου απόκρισης και αξιοπιστίας της πηγής. Οι παράγοντες  $U_A, U_F$  εκφράζουν την εγκυρότητα (actuality) της πληροφορίας, ενώ οι παράγοντες  $U_T, U_{Tr}, U_{Tresp}$  εκφράζουν την φρεσκάδα (freshness) της πληροφορίας. Η χρησιμότητα της πληροφορίας γενικά αυξάνεται όσο ένα αντικείμενο πληροφορίας είναι περισσότερο ακριβές, είναι συντομότερα διαθέσιμο προς χρήση και παραμένει φρέσκο για μεγαλύτερο διάστημα.

Η διατύπωση των παραγόντων χρησιμότητας της πληροφορίας  $I_{ij}$  λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς ποιότητας που επιβάλλονται από το επιλεγμένο προφίλ υπηρεσίας και τον χρήστη, δηλαδή τα  $A_{max_i}, Tr_{max_i}$  για κάθε ζητούμενο είδος πληροφορίας  $i \in \{k_1, k_2, \dots, k_L\} \subseteq (1, N)$ , και την χρονική στιγμή  $T_{current}$  κατά την οποία υποβάλλεται από την υπηρεσία το αίτημα για απόκτηση πληροφορίας. Έστω  $Ts_{ij}$  η χρονική σφραγίδα των τελευταίων ανανεωμένων τιμών πληροφορίας που έχουν παραδοθεί για την πληροφορία  $I_{ij}$ . Οι παράγοντες λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0,1]$  και ορίζονται ως ακολούθως για την πληροφορία  $I_{ij}$  και το επιλεγμένο προφίλ υπηρεσίας:

- ♦ Παράγοντας χρησιμότητας των χαρακτηριστικών *ακρίβειας* της πληροφορίας:

$$U_A(I_{ij}) = 1 - \frac{A_{ij}}{A_{max_i}} \quad (3-2)$$

- ♦ Παράγοντας χρησιμότητας των χαρακτηριστικών *επικαιρότητας* των δεδομένων:

- Όταν τα δεδομένα της αντίστοιχης πηγής μεταβάλλονται δυναμικά με το χρόνο ο παράγοντας αυτός έχει την εξής μορφή:

$$U_T(I_{ij}) = 1 - \frac{T_{current} - Ts_{ij} + Tresp_{ij}}{Tr_{ij}} \quad (3-3)$$

- Όταν τα δεδομένα της αντίστοιχης πηγής παραμένουν αμετάβλητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα ο παράγοντας αυτός έχει την εξής μορφή:

$$U_T(I_{ij}) = 1 - \frac{T_{current} - Ts_{ij}}{\max_{k=i, j=1}^{k=i, j=M_i} (T_{current} - Ts_{kj})} \quad (3-4)$$

- ♦ Παράγοντας χρησιμότητας της περιόδου ανανέωσης των δεδομένων:

$$U_{Tr}(I_{ij}) = 1 - \frac{Tr_{ij}}{Tr_{max_i}} \quad (3-5)$$

- ♦ Παράγοντας χρησιμότητας του χρόνου απόκρισης της πηγής:

$$U_{Tresp}(I_{ij}) = 1 - \frac{Tresp_{ij}}{T_{max}} \quad (3-6)$$

- ♦ Παράγοντας χρησιμότητας της αξιοπιστίας της πηγής:

$$U_F(I_{ij}) = F_{ij} \quad (3-7)$$

Τέλος, η συνάρτηση χρησιμότητας της πληροφορίας  $I_{ij}$ , λαμβάνοντας υπόψη τη βαθμονόμηση των παραγόντων ποιότητας όπως προσδιορίζεται από το προφίλ της υπηρεσίας, δηλαδή το διάνυσμα  $PWV_i = \langle a_i, b_i, c_i, d_i, e_i \rangle$ , διαμορφώνεται ως εξής:

$$U(I_{ij}) = a_i U_A(I_{ij}) + b_i U_T(I_{ij}) + c_i U_{Tr}(I_{ij}) + d_i U_{Tresp}(I_{ij}) + e_i U_F(I_{ij}) \quad (3-8)$$

Όταν για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο πληροφορίας δεν υφίσταται κάποια από τις παραμέτρους ποιότητας που ορίστηκαν παραπάνω, ο αντίστοιχος παράγοντας χρησιμότητας είναι μηδενικός. Για παράδειγμα, στη στατική πληροφορία η οποία δεν μεταβάλλεται συχνά, η χρησιμότητα της πληροφορίας υπολογίζεται με βάση την επικαιρότητα της, το χρόνο απόκρισης και την αξιοπιστία της αντίστοιχης πηγής. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι η συνάρτηση χρησιμότητας είναι γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών ποιότητας. Η ανάπτυξη μιας πιο πραγματικής συνάρτησης χρησιμότητας περιλαμβάνεται στα σχέδια για μελλοντική επέκταση της παρούσας μελέτης.

### 3.4.3. Πρόβλημα Βελτιστοποίησης

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, η τυπική περιγραφή του προβλήματος επιλογής πηγών πληροφορίας για ανάκτηση δεδομένων είναι η εξής:

- ✦ **Δεδομένα Προβλήματος:** Έστω ότι η αγορά πληροφορίας περιβάλλοντος αποτελείται από ένα σύνολο πηγών πληροφορίας  $CS_{ij}$ , ( $i \in (1, N)$ ,  $j \in (1, M_i)$ ) που παρέχουν πληροφορία  $I_{ij}$ . Τα χαρακτηριστικά ποιότητας πληροφορίας και πηγής περιγράφονται αντίστοιχα από τα διανύσματα  $IQP_{V_{ij}}$  και  $CSQP_{V_{ij}}$  και το κόστος απόκτησης της



πληροφορίας  $I_{ij}$  είναι  $P_{ij}$ . Σύμφωνα με το προφίλ υπηρεσίας που επιλέγει ο χρήστης και προσαρμόζει στις απαιτήσεις του, απαιτείται να ανακτηθούν  $L$  αντικείμενα πληροφορίας των ειδών:  $\{k_1, k_2, \dots, k_L\} \subseteq (1, N)$ . Οι προδιαγραφές για κάθε είδος πληροφορίας  $k_z, z \in (1, L)$  είναι:  $APV_{k_z}, PWV_{k_z}$ . Οι περιορισμοί συνολικού κόστους και συνολικής καθυστέρησης απόκρισης των πηγών είναι αντίστοιχα  $P_{\max}$  και  $T_{\max}$ .

Έστω η μεταβλητή απόφασης  $x_{ij}$ , η οποία έχει τιμή  $x_{ij}=1$ , όταν τα ζητούμενα δεδομένα είδους  $i$  ανακτώνται από την πηγή  $CS_{ij}$ , ενώ διαφορετικά έχει τιμή  $x_{ij}=0$ . Ζητείται να προσδιοριστούν οι τιμές των μεταβλητών  $x_{ij}, i \in \{k_1, k_2, \dots, k_L\} \subseteq (1, N)$  και  $j \in (1, M_i)$  που μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση και ικανοποιούν τους περιορισμούς που παρατίθενται στη συνέχεια.

✦ **Αντικειμενική Συνάρτηση:**

Μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί από την υπηρεσία:

$$\max \sum_{i=k_1}^{i=k_L} \sum_{j=1}^{j=M_i} U(I_{ij}) x_{ij} \quad (3-9)$$

✦ **Περιορισμοί:**

$$\circ \sum_{i=k_1}^{i=k_L} \sum_{j=1}^{j=M_i} P_{ij} x_{ij} \leq P_{\max} \quad (3-10)$$

$$\circ \sum_{i=k_1}^{i=k_L} \sum_{j=1}^{j=M_i} T_{resp\ ij} x_{ij} \leq T_{\max} \quad (3-11)$$

$$\circ \max_{i=k_1}^{i=k_L} \left\{ \sum_{j=1}^{j=M_i} T_{resp\ ij} x_{ij} \right\} \leq T_{\max} \quad (3-12)$$

$$\circ \forall i \in \{k_1, k_2, \dots, k_L\}, \sum_{j=1}^{j=M_i} x_{ij} = 1 \quad (3-13)$$

$$\circ \forall i \in \{k_1, k_2, \dots, k_L\}, \sum_{j=1}^{j=M_i} A_{ij} x_{ij} \leq A_{\max\ i} \quad (3-14)$$

$$\circ \forall i \in \{k_1, k_2, \dots, k_L\}, \sum_{j=1}^{j=M_i} Tr_{ij} x_{ij} \leq Tr_{\max\ i} \quad (3-15)$$

Οι σχέσεις (3-10), και (3-11) ή (3-12) εκφράζουν την απαίτηση για επιλογή δεδομένων που ικανοποιούν τα όρια κόστους και χρονικής καθυστέρησης ανάκτησης της ζητούμενης

πληροφορίας. Η σχέση (3-11) ισχύει μόνο για τις περιπτώσεις που τα αντικείμενα πληροφορίας είναι εξαρτώμενα και επομένως ανακτώνται διαδοχικά, ενώ η σχέση (3-12) ισχύει για τις περιπτώσεις που τα αντικείμενα πληροφορίας είναι ανεξάρτητα και αποκτώνται παράλληλα. Επίσης, η σχέση (3-13) εξασφαλίζει ότι για κάθε ζητούμενη πληροφορία τα δεδομένα αποκτώνται από μια μόνο πηγή. Οι σχέσεις (3-14) και (3-15) φιλτράρουν τις διαθέσιμες πηγές ως προς τους περιορισμούς ποιότητας που εκφράζονται από το διάλυμα APV. Όταν δεν υπάρχει εφικτή λύση που να ικανοποιεί τους περιορισμούς (3-10) και/ή (3-12) ή (3-13), χαλαρώνεται κάποιος από τους περιορισμούς σύμφωνα με το προφίλ υπηρεσίας, δηλαδή αυξάνεται το όριο  $P_{\max}$  ή  $T_{\max}$  αντίστοιχα. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη πηγή πληροφορίας που να ικανοποιεί τη σχέση (3-14) ή (3-15), τότε επιλέγεται το αντικείμενο με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα το οποίο παραβιάζει κατά το ελάχιστο τους περιορισμούς (3-14) και (3-15).

Πρέπει να επισημανθεί ότι η μοντελοποίηση του προβλήματος έγινε με βάση το μοντέλο συμπεριφοράς των χρηστών όταν αυτοί αποφασίζουν να αγοράσουν αγαθά και όχι των παρόχων. Ειδικότερα, οι χρήστες είναι διατεθειμένοι να διαθέσουν ένα συγκεκριμένο ποσό χρημάτων προκειμένου να αγοράσουν κάποιο αγαθό και επιλέγουν το αντικείμενο που έχει τη μέγιστη ποιότητα, δεδομένου των διαθέσιμων χρημάτων. Αντίθετα, οι πάροχοι υπηρεσιών/αγαθών ορίζουν την ελάχιστη ποιότητα αγαθών, και προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν το ποσό των χρημάτων που θα διαθέσουν για την αγορά του, ώστε να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Η μοντελοποίηση του προβλήματος έγινε με το συγκεκριμένο τρόπο προκειμένου να συμβαδίζει με τη λογική των χρηστών της υπηρεσίας.

Παρατηρώντας την μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, εύκολα προκύπτει ότι το πρόβλημα επιλογής των πηγών πληροφορίας από τις οποίες θα αποκτηθούν τα ζητούμενα δεδομένα ανάγεται στην περίπτωση του *Προβλήματος Σακιδίου* [66] όπου υπάρχουν πολλαπλές επιλογές αντικειμένων και πολλαπλοί περιορισμοί. Το πρόβλημα αυτό ανήκει στην οικογένεια των NP-hard (Non Polynomial - NP) προβλημάτων και οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι εύρεσης της βέλτιστης λύσης είναι χρονοβόροι. Όμως, το γεγονός αυτό καθιστά αδύνατη την εφαρμογή των αλγορίθμων αυτών στο πρόβλημα που μελετάται, καθώς αυτό απαιτεί τη γρήγορη λήψη απόφασης εκ μέρους μεγάλου αριθμού υπηρεσιών.

### 3.5. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με την ανάλυση της προηγούμενης ενότητας, το πρόβλημα της επιλογής των πηγών πληροφορίας για ανάκτηση δεδομένων έχει μοντελοποιηθεί ως μια παραλλαγή του Προβλήματος Σακιδίου (*Knapsack Problem - KP*), όπου υπάρχουν πολλαπλοί περιορισμοί και πολλές ομάδες αντικειμένων από τις οποίες πρέπει να γίνει επιλογή. Το KP και οι παραλλαγές του, είναι ένα από τα περισσότερο μελετημένα προβλήματα βελτιστοποίησης, καθώς πολλά προβλήματα προερχόμενα από διαφορετικούς τομείς μοντελοποιούνται ως μια παραλλαγή του, όπως η σύνταξη προϋπολογισμού κεφαλαίου, η φόρτωση φορτίου και η κατανομή πόρων [67]. Λόγω της ευρείας εφαρμογής του, το KP έχει μελετηθεί αρκετά και πολύ αλγόριθμοι έχουν προταθεί για την επίλυση των διαφόρων παραλλαγών του.

Ο αντικειμενικός σκοπός της απλούστερης παραλλαγής του KP είναι να βρεθεί η μέγιστη αξία που μπορεί να χωρέσει σε ένα σακίδιο περιορισμένης χωρητικότητας, δηλαδή προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την κατανομή των πόρων ενός συστήματος ώστε να επιτύχει το μέγιστο κέρδος. Η διατύπωση του προβλήματος 0-1 KP έχει ως εξής: Έστω ένας σάκος χωρητικότητας  $C > 0$  και  $n$  αντικείμενα. Κάθε αντικείμενο  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) έχει μέγεθος  $r_i$  και αξία  $v_i$ . Ζητείται να προσδιοριστούν τα αντικείμενα τα οποία όταν τοποθετηθούν στο σάκο μεγιστοποιούν το κέρδος. Έστω η μεταβλητή απόφασης  $x_i \in \{0,1\}$ , η οποία παίρνει τιμή  $x_i=0$  όταν το αντικείμενο  $i$  επιλέγεται, και  $x_i=1$  όταν δεν επιλέγεται το αντικείμενο  $i$ . Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, η οποία ζητείται να μεγιστοποιηθεί, και ο περιορισμός λόγω χωρητικότητας είναι αντίστοιχα:

$$\underline{\text{Αντικειμενική Συνάρτηση:}} \quad \max \sum_{i=1}^{i=n} v_i x_i \quad (3-16)$$

$$\underline{\text{Περιορισμός:}} \quad \sum_{i=1}^{i=n} r_i x_i \leq C \quad (3-17)$$

Η παραλλαγή του 0-1 KP, που ονομάζεται *Multi-Dimension* ή *Multi-Constraint Knapsack Problem (MDKP)* αφορά στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι περιορισμοί στο σακίδιο. Έστω ότι υπάρχουν  $m$  περιορισμοί οι οποίοι περιγράφονται από το διάνυσμα:  $C = (C_1, \dots, C_m)$ , και κάθε αντικείμενο  $i$  έχει αντίστοιχα μέγεθος  $r_i = (r_{i1}, \dots, r_{im})$ . Η αντικειμενική συνάρτηση, που παραμένει ίδια με το 0-1 KP, και οι περιορισμοί δίνονται στη συνέχεια.

$$\text{\underline{Αντικειμενική Συνάρτηση:}} \quad \max \sum_{i=1}^{i=n} v_i x_i \quad (3-18)$$

$$\text{\underline{Περιορισμοί:}} \quad \sum_{i=1}^{i=n} r_{ki} x_i \leq C_k, k = 1, \dots, m. \quad (3-19)$$

Μια ακόμη παραλλαγή του ΚΡ είναι το *Multi-Choice Knapsack Problem (MCKP)*. Στην περίπτωση αυτή, το σακίδιο έχει χωρητικότητα  $C > 0$ , αλλά τα αντικείμενα είναι χωρισμένα σε  $n$  ομάδες. Κάθε ομάδα  $i$  αποτελείται από  $l_i$  αντικείμενα. Κάθε αντικείμενο  $ij$ , το οποίο ανήκει στην ομάδα  $i$ , έχει τιμή  $v_{ij}$  και μέγεθος  $r_{ij}$ . Το ζητούμενο του προβλήματος είναι να τοποθετηθεί ένα μόνο αντικείμενο από κάθε ομάδα στο σακίδιο, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αξία των αντικειμένων που είναι τοποθετημένα στο σάκο, δίχως αυτά να υπερβαίνουν τη χωρητικότητα του. Θεωρώντας τη μεταβλητή απόφασης  $x_{ij}$ , που παίρνει τιμή  $x_{ij} = 1$ , όταν από την ομάδα  $i$  το αντικείμενο  $ij$  επιλέγεται, και τιμή  $x_{ij} = 0$ , όταν επιλέγεται άλλο αντικείμενο, η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί του προβλήματος είναι αντίστοιχα:

$$\text{\underline{Αντικειμενική Συνάρτηση:}} \quad \max \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=l_i} v_{ij} x_{ij} \quad (3-20)$$

$$\text{\underline{Περιορισμοί:}} \quad \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=l_i} r_{ij} x_{ij} \leq C \quad (3-21)$$

$$\sum_{j=1}^{j=l_i} x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \quad (3-22)$$

Οι περιορισμοί (3-22) εξασφαλίζουν ότι από κάθε ομάδα θα επιλεγεί μόνο ένα αντικείμενο.

Από το συνδυασμό των MDKP και MCKP προκύπτει μια ακόμη παραλλαγή του ΚΡ η οποία ονομάζεται *Multi-Choice Multi-Constraint Knapsack Problem (MMKP)*. Η αυστηρή διατύπωση του προβλήματος αυτού περιγράφεται ακολούθως. Έστω  $n$  ομάδες αντικειμένων. Κάθε ομάδα  $i$  αποτελείται από  $l_i$  αντικείμενα. Κάθε αντικείμενο  $ij$  έχει συγκεκριμένη αξία  $v_{ij}$  και καταναλώνει πόρους σύμφωνα με το διάνυσμα  $r_{ij} = (r_{1ij}, \dots, r_{mij})$  ως προς τους  $m$  περιορισμούς πόρων  $C = (C_1, \dots, C_m)$ . Ζητείται να αποφασιστεί ποιο αντικείμενο θα επιλεγεί από κάθε ομάδα, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αξία υπό τους  $m$  περιορισμούς χωρητικότητας. Θεωρώντας την μεταβλητή απόφασης  $x_{ij} \in \{0, 1\}$ , με  $i = 1, \dots, n$  και  $j = 1, \dots, l_i$ , το MMKP περιγράφεται ως εξής. Επίσης, στο Σχήμα 3-8 απεικονίζεται η γραφική αναπαράστασή του.

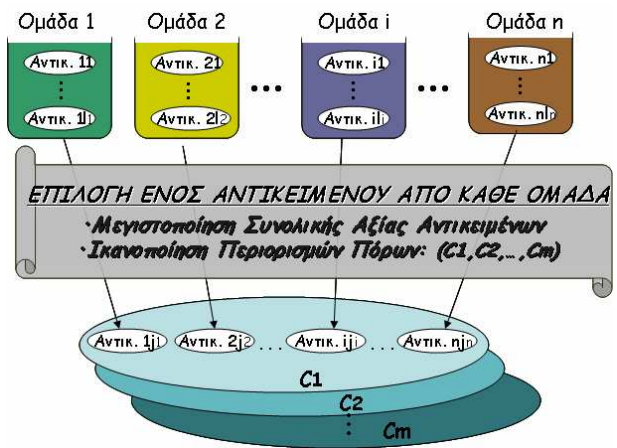
**Αντικειμενική Συνάρτηση:**

$$\max \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=l_i} v_{ij} x_{ij} \quad (3-23)$$

**Περιορισμοί:**

$$\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=l_i} r_{kij} x_{ij} \leq C_k, k = 1, \dots, m \quad (3-24)$$

$$\sum_{j=1}^{j=l_i} x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n \quad (3-25)$$



Σχήμα 3-8: Πρόβλημα MMKP

Επομένως, το πρόβλημα επιλογής πληροφορίας ανάγεται στην παραλλαγή MMKP. Οι ομάδες αντικειμένων αντιστοιχούν στα είδη πληροφορίας που ζητούνται και οι πόροι αφορούν την χρονική απόκριση των πηγών και το κόστος. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται ο νέος ευριστικός αλγόριθμος επίλυσης του MMKP που ονομάζεται *Maximizing Value per Resources Consumption (MVRC)* [68]. Ο MVRC αποτελεί βελτίωση του αλγορίθμου HEU [69], ο οποίος είναι ένας από τους καλύτερους αλγορίθμους ως προς την ποιότητα της λύσης και τον απαιτούμενο χρόνο υπολογισμού. Ξεκινώντας από μια αρχική λύση, ο MVRC πραγματοποιεί επαναληπτικές βελτιώσεις αλλάζοντας ένα από τα ήδη επιλεγμένα αντικείμενα έως ότου καταλήξει στη βέλτιστη λύση. Αντίθετα από τον HEU ο οποίος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση των πόρων, ο προτεινόμενος αλγόριθμος διαλέγει τα αντικείμενα με το μέγιστο λόγο αξίας προς την κατανάλωση πόρων. Με αυτόν τον τρόπο ο MVRC αναμένεται να επιλύσει τα προβλήματα MMKP σε λιγότερο χρόνο, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιπτώσεις που απαιτείται η γρήγορη λήψη αποφάσεων, όπως αυτή που μελετάται. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου προβλήματος MMKP, δηλαδή της επιλογής των πηγών πληροφορίας με βάση τα χαρακτηριστικά ποιότητας τους, έγκειται στο ότι η συνάρτηση κόστους και κατανάλωσης πόρων δεν είναι μονότονη. Τα αντικείμενα πληροφορίας με μεγαλύτερο κόστος έχουν μεγαλύτερη χρησιμότητα, ενώ τα αντικείμενα με μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης έχουν μικρότερη χρησιμότητα.

Η ανάλυση του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι οργανωμένη ως εξής: Αρχικά στην ενότητα 3.5.1 αναλύονται οι προτεινόμενες προσεγγίσεις επίλυσης του MMKP της βιβλιογραφίας. Στην ενότητα 3.5.2 περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα του MVRC και υπολογίζεται η πολυπλοκότητά του. Τέλος, στην ενότητα 3.5.3 παρουσιάζονται οι δοκιμές με τις οποίες εκτιμάται η απόδοση του αλγορίθμου χρησιμοποιώντας την προσομοίωση που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.

### 3.5.1. Αλγόριθμοι Επίλυσης του MMKP

Το πρόβλημα KP, και κυρίως η απλούστερη παραλλαγή του, είναι ένα από τα πιο γνωστά και μελετημένα NP-hard προβλήματα. Τα βιβλία [70] και [71] περιλαμβάνουν επισκόπηση των προβλημάτων KP και των μεθόδων επίλυσης τους, που περιλαμβάνουν άπληστους, ευριστικούς και προσεγγιστικούς αλγορίθμους. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι που επιλύουν τις παραλλαγές του KP με βέλτιστο τρόπο βασίζονται είτε στην αναζήτηση 'Επέκταση και Οριοθέτηση' (*Branch-and-bound*) είτε στην τεχνική του *δυναμικού προγραμματισμού*. Οι προσεγγίσεις αυτές παράγουν βέλτιστες λύσεις αλλά είναι χρονοβόρες, καθώς σύμφωνα με την πολυπλοκότητα τους, ο χρόνος υπολογισμού της λύσης μεγαλώνει εκθετικά με την αύξηση του μεγέθους του προβλήματος. Λόγω αυτού, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι οι οποίοι παράγουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις σε σύντομο χρόνο υπολογισμού [72]. Κάποιες από τις τεχνικές στις οποίες βασίζονται οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι είναι: η χαλάρωση κάποιων συντελεστών με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η πολυπλοκότητα εις βάρος της βελτιστοποίησης, η προ-επεξεργασία, όπου θεωρούνται ότι ορισμένες παράμετροι είναι σταθερές, η χρήση κάποιων τεστ ορίων που αποκλείουν ορισμένες τιμές από τις λύσεις. Επίσης για την επίλυση του KP έχουν προταθεί οι εξελικτικοί αλγόριθμοι (*evolutionary algorithms*) και οι γενετικοί αλγόριθμοι (*genetic algorithms*).

Ωστόσο, επειδή το ενδιαφέρον της παρούσας μελέτης επικεντρώνεται στην παραλλαγή MMKP, στη συνέχεια η ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας αφορά στους αλγορίθμους που επιλύουν αποκλειστικά αυτό το πρόβλημα. Ως βέλτιστος αλγόριθμος επίλυσης του MMKP, προτείνεται από τον Khan ένας αλγόριθμος *branch-and-bound*. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί ένα δέντρο αναζήτησης προκειμένου καταλήξει στη βέλτιστη λύση. Κάθε κόμβος του δέντρου αντιπροσωπεύει μια φάση της λύσης (*solution state*) κατά την οποία κάποιες ομάδες έχουν 'σταθεροποιηθεί' (δηλαδή από τις ομάδες αυτές έχει ήδη επιλεγεί κάποιο αντικείμενο) και άλλες είναι ελεύθερες (δηλαδή δεν έχει επιλεγεί κάποιο αντικείμενο από τις ομάδες αυτές). Από έναν κόμβο που έχει ελεύθερες ομάδες μπορεί να δημιουργηθεί διακλάδωση προς νέο κόμβο στον οποίο επιλέγεται κάποιο αντικείμενο από μία ελεύθερη ομάδα. Ουσιαστικά, ο αλγόριθμος αυτός απαριθμεί διαδοχικά τις πιθανές λύσεις, κρατώντας τη μέχρι στιγμής καλύτερη. Όμως, η πολυπλοκότητα της τεχνικής αυτής είναι μεγάλη, και επομένως είναι αδύνατο να εφαρμοστεί σε πραγματικές εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη λήψη αποφάσεων.

Ένας από τους πρώτους αλγορίθμους ευριστικής αναζήτησης της λύσης προβλημάτων MMKP παρουσιάζεται από τους Moser, Jokanovic, και Shiratori [73]. Ο προτεινόμενος

αλγόριθμος *Moser* βασίζεται στη θεωρία ‘*Lagrange Multipliers*’. Αρχικά επιλέγει τα αντικείμενα μεγαλύτερης αξίας και σταδιακά πραγματοποιεί υποβάθμιση της λύσης, ανταλλάσσοντας αντικείμενα που έχουν ήδη επιλεγεί. Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι  $O(n^2m(l-1)^2)$ . Όμως, ενώ καταλήγει σε λύση σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο *Moser* αποτυγχάνει να βρει λύση όταν οι διαθέσιμοι πόροι είναι περιορισμένοι και οι εφικτές λύσεις είναι λιγοστές.

Ο ευριστικός αλγόριθμος *HEU*, που προτείνεται από τους Khan και Li [68], βασίζεται στην ιδέα ‘*Toyoda*’ της σύνθεσης των πόρων (*aggregate resources*), που αρχικά προτάθηκε από τον *Toyoda* [74], από τον οποίο παίρνει το όνομα της. Η ιδέα αυτή μετατρέπει τις πολλαπλές διαστάσεις κατανάλωσης πόρων σε μία, τιμωρώντας (*penalizing*) την κατανάλωση πόρων ως προς κάθε διάσταση αντιστρόφως ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους. Δηλαδή, όταν οι διαθέσιμοι πόροι ως προς μια διάσταση είναι περιορισμένοι, τότε η τιμωρία για την κατανάλωση πόρων ως προς τη διάσταση αυτή είναι μεγάλη. Ο αλγόριθμος *HEU* ξεκινά από μια λύση όπου από κάθε ομάδα έχουν επιλεγεί τα αντικείμενα μικρότερης αξίας, και καταλήγει σε εφικτή λύση μέσω της αντικατάστασης των ήδη επιλεγμένων αντικειμένων σύμφωνα με την ιδέα *Toyoda*. Στη συνέχεια βελτιώνει την εφικτή λύση πραγματοποιώντας διαδοχικά αντικαταστάσεις με αντικείμενα μεγαλύτερης αξίας που δίνουν εφικτή λύση. Ο αλγόριθμος αυτός έχει πολυπλοκότητα  $O(n^2m(l-1)^2)$  και έχει εφαρμοστεί στο πρόβλημα διαχείρισης *QoS*. Ωστόσο προϋποθέτει ότι η σχέση μεταξύ αξίας και κατανάλωσης πόρων είναι μονότονη. Αυτό εξάλλου ισχύει στο πρόβλημα που εφαρμόστηκε, όπου ένα υψηλό επίπεδο *QoS* απαιτεί μεγάλη κατανάλωση πόρων. Από τη σύγκριση του *HEU* με τον *Moser* προκύπτει η υπεροχή του *HEU* τόσο ως προς την ποιότητα λύσης αλλά και ως προς τον χρόνο υπολογισμού που απαιτεί.

Προκειμένου να ξεπεραστεί η κακή απόδοση του *HEU* στα *MMKP* προβλήματα όπου τα αντικείμενα μικρότερης δεν δίνουν εφικτή λύση ή κάποια αντικείμενα μεγαλύτερης αξίας καταναλώνουν λιγότερους πόρους από τα μικρότερης αξίας, οι Akbar, Rahman κ.α. [75] προτείνουν τον *C-HEU*. Ειδικότερα, εφαρμόζεται μια τεχνική μετατροπής των πολλαπλών διαστάσεων σε μία και κατασκευάζονται ‘*convex hulls*’ ώστε να μειωθεί ο αριθμός των λύσεων. Συγκρινόμενη με τον *HEU*, η μέθοδος αυτή παράγει λιγότερο καλές λύσεις κυρίως για τις περιπτώσεις των προβλημάτων όπου τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα. Όμως επιλύει τα προβλήματα σε σημαντικά λιγότερο χρόνο από τον *HEU*, καθώς έχει μικρότερη πολυπλοκότητα ίση με  $O(nlm+n \log n+nl \log n)$ . Τελικά προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος ταιριάζει περισσότερο στις περιπτώσεις όπου ο χρόνος απόκρισης έχει μεγαλύτερη σημασία από την ποιότητα της λύσης.

Μια ακόμη παραλλαγή του HEU, προτείνεται από τους Yu και Lin [76]. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος *WE\_HEU* έχει όμοια πολυπλοκότητα με τον HEU, δηλαδή  $O(n^2m(l-1)^2)$ , και έχει εφαρμοστεί στο πρόβλημα επιλογής υπηρεσιών προκειμένου να συντεθούν πολυπλοκότερες υπηρεσίες. Ο *WE\_HEU* διαφέρει από τον HEU στο ότι αρχικά επιλέγει εφικτή λύση και επομένως επιτυγχάνει να μειώσει τον χρόνο εκτέλεσης του.

Οι Hifi, Micrafy, και Sbihi [77] προτείνουν ένα σύνολο αλγορίθμων που επιλύουν τα προβλήματα MMKP. Ο πρώτος αλγόριθμος βρίσκει την αρχική εφικτή λύση με άπληστο τρόπο, ο δεύτερος βελτιώνει την ποιότητα της αρχικής λύσης και ο τρίτος ψάχνει για την καλύτερη εφικτή λύση από ένα σύνολο γειτονικών λύσεων χρησιμοποιώντας την μέθοδο ‘*guided local search*’. Η αξιολόγηση του αλγορίθμου αυτού δείχνει ότι υπερτερεί του HEU ως προς την ποιότητα των λύσεων αλλά συγκριτικές μετρήσεις χρονικών απαιτήσεων δεν παρουσιάζονται στην μελέτη τους.

Οι Parra-Hernandez και Dimopoulos [78] προτείνουν τον αλγόριθμο *HMMKP* με πολυπλοκότητα  $O(n^2m(l^2-1))$  για την επίλυση των προβλημάτων MMKP. Σύμφωνα με τον *HMMKP*, αρχικά τα MMKP προβλήματα ανάγονται σε προβλήματα MDKP. Στη συνέχεια λύνεται γραμμικά το χαλαρωμένο πρόβλημα και παράγονται μια σειρά από νέες τιμές για τις παραμέτρους του προβλήματος. Με τις τιμές αυτές, ο αλγόριθμος βρίσκει μια εφικτή λύση, η οποία στη συνέχεια βελτιώνεται. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων δείχνουν ότι ο *HMMKP* βρίσκει καλύτερες λύσεις από τους Moser και HEU αλλά έχει μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος. Επίσης, εμφανίζει μικρότερα ποσοστά αποτυχίας από τους άλλους αλγορίθμους.

### 3.5.2. Προτεινόμενος Αλγόριθμος

#### 3.5.2.1. Ορισμοί

Προτού αναλυθεί ο αλγόριθμος MVRC, θα παρουσιαστούν οι ορισμοί κάποιων μεγεθών με βάση την αυστηρή περιγραφή του προβλήματος MMKP.

Έστω το αντικείμενο  $ij$ , που ανήκει στην ομάδα  $i$ , έχει αξία  $v_{ij}$  και καταναλώνει πόρους  $r_{ij} = (r_{ij1}, \dots, r_{ijm})$ . Για το αντικείμενο αυτό ορίζονται τα ακόλουθα μεγέθη:

- ♦ **Συνολική Κατανάλωση Πόρων** (*Aggregate Resources Consumption - ARC*):

$$ARC_{ij} = \frac{r_{ij1} * C_1 + \dots + r_{ijm} * C_m}{\sqrt{C_1^2 + \dots + C_m^2}},$$



- ♦ **Αξία ανά μονάδα Συνολικής Κατανάλωσης Πόρων** (*Value per unit of Aggregate Resources Consumption - V-ARC*):

$$V - ARC_{ij} = \frac{v_{ij}}{ARC_{ij}}$$

Έστω η λύση του προβλήματος  $S = (1j_1, 2j_2, \dots, ij_i, \dots, nj_n)$ . Το διάνυσμα αυτό δηλώνει τα αντικείμενα που επιλέγονται από κάθε ομάδα, όπως για παράδειγμα από την ομάδα  $i$  έχει επιλεγεί το αντικείμενο  $ij_i$ . Η κατανάλωση πόρων της λύσης αυτής περιγράφεται από το διάνυσμα  $R_S = (R_1, R_2, \dots, R_m)$ , όπου ισχύει  $R_k = \sum_{i=1}^n r_{kij_i}$  για κάθε  $k \in (1, m)$ . Έστω ότι το ήδη επιλεγμένο αντικείμενο  $ij_i$  από την ομάδα  $i$  αντικαθίσταται από το αντικείμενο  $ij$  που ανήκει στην ίδια ομάδα. Η νέα λύση που προκύπτει είναι:  $S' = (1j_1, 2j_2, \dots, ij, \dots, nj_n)$ . Η αντίστοιχη κατανάλωση πόρων είναι:  $R_{S'} = (R'_1, R'_2, \dots, R'_k)$ . Για τη νέα λύση  $S'$ , ορίζονται τα ακόλουθα μεγέθη:

- ♦ **Συνολικές Απαιτήσεις Πόρων** (*Aggregate Resources Requirement - ARR*):

$$ARR_{ij} = \frac{(R'_1 - R_1) * R_1 + \dots + (R'_k - R_k) * R_k}{\sqrt{R_1^2 + \dots + R_k^2}},$$

- ♦ **Βελτίωση Αξίας ανά μονάδα Συνολικών Απαιτήσεων Πόρων** (*Value Update per unit of Aggregate Resources Requirement - VU-ARR*):

$$VU - ARR_{ij} = \frac{v_{ij} - v_{ij_i}}{ARR_{ij}}.$$

Επίσης για τη λύση  $S$ , ορίζεται ο **Παράγοντας Εφικτότητας** (*Feasibility Factor*) κάθε περιορισμού πόρων  $k=1, 2, \dots, m$  ως εξής:

$$F_k = R_k / C_k$$

Εάν ισχύει  $F_k \leq 1$ , τότε η ικανοποίηση του περιορισμού πόρων  $k$  είναι εφικτή, διαφορετικά είναι μη εφικτή. Με όμοια λογική, εάν ισχύει  $F_k \leq 1$  για κάθε  $k=1, 2, \dots, m$ , η λύση  $S$  ονομάζεται εφικτή λύση, διαφορετικά ονομάζεται μη εφικτή. Έστω ένα ήδη επιλεγμένο αντικείμενο στην λύση  $S$ , το αντικείμενο  $ij_i$  από την ομάδα  $i$ . Ορίζεται ο παράγοντας εφικτότητας του αντικειμένου αυτού ως εξής:

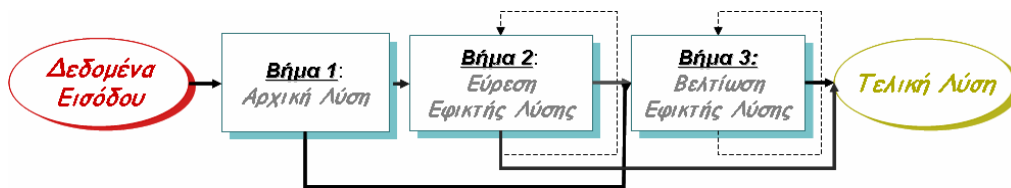
$$FI_{kj_i} = r_{kij_i} / R_k, \text{ για κάθε } k=1, 2, \dots, m.$$

Τέλος, το άθροισμα της αξίας των επιλεγμένων αντικειμένων είναι η **Συνολική Αξία της Λύσης**:

$$V_S = \sum_{i=1}^{i=n} v_{ij_i} \cdot$$

### 3.5.2.2. Περιγραφή Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος MVRC ακολουθεί τα τρία βήματα που απεικονίζονται στο Σχήμα 3-9 μέχρι να καταλήξει στην τελική λύση. Το πρώτο βήμα παράγει μια αρχική λύση. Το δεύτερο βήμα παράγει εφικτή λύση, αλλάζοντας τα ήδη επιλεγμένα αντικείμενα. Τέλος, το τρίτο βήμα βελτιώνει την εφικτή λύση επιλέγοντας αντικείμενα με μεγαλύτερη αξία.



Σχήμα 3-9: Αλγόριθμος MVRC

Τα βήματα του MVRC περιγράφονται λεπτομερέστερα ακολούθως:

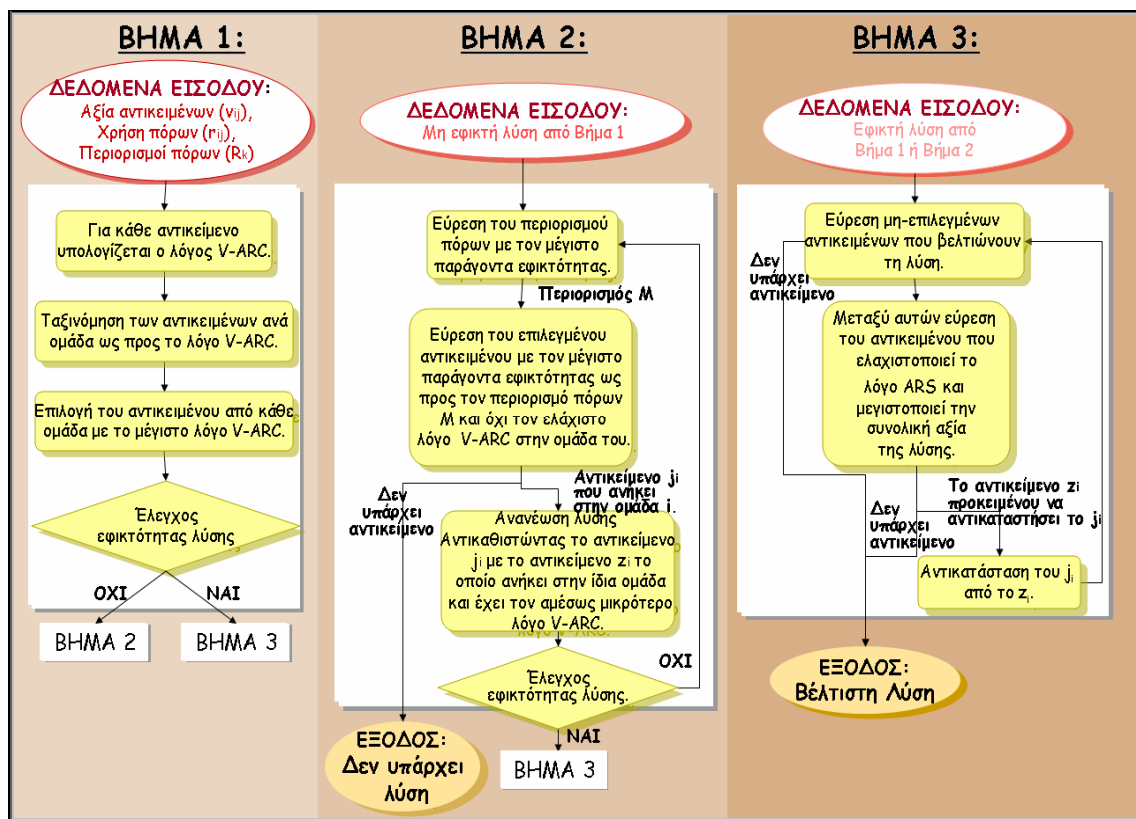
**Βήμα 1:** Στο βήμα αυτό επιλέγεται από κάθε ομάδα το αντικείμενο με το μεγαλύτερο λόγο  $V-ARC$ . Αυτή αποτελεί και την αρχική λύση. Εάν η λύση αυτή είναι εφικτή, ακολουθεί το βήμα 3, διαφορετικά ακολουθεί το βήμα 2.

**Βήμα 2:** Το βήμα αυτό έχει στόχο να βρει εφικτή λύση. Για να το επιτύχει αυτό αλλάζει κάποιο από τα αντικείμενα της λύσης μέχρι να καταλήξει σε εφικτή λύση. Η απόφαση για το ποιο αντικείμενο θα αλλάξει είναι το αποτέλεσμα των ακόλουθων βημάτων. Αρχικά, βρίσκεται ο περιορισμός πόρων με το μεγαλύτερο παράγοντα εφικτότητας (βήμα 2.1) και ως προς τον περιορισμό αυτό προσδιορίζεται το αντικείμενο με το μέγιστο παράγοντα εφικτότητας (βήμα 2.2). Το επόμενο βήμα είναι να ανταλλαχθεί το αντικείμενο με ένα άλλο αντικείμενο από την ίδια ομάδα που έχει μικρότερο  $V-ARC$  (βήμα 2.3). Εάν η νέα λύση που προκύπτει δεν είναι εφικτή, επαναλαμβάνεται το βήμα 2, διαφορετικά ακολουθεί το βήμα 3. Εάν τελικά το βήμα 2 αποτύχει να βρει εφικτή λύση, ο αλγόριθμος τερματίζει δίχως λύση.

**Βήμα 3:** Το βήμα αυτό αποσκοπεί στο να βελτιώσει την εφικτή λύση που βρέθηκε στο βήμα 2. Ειδικότερα, ανταλλάσσεται ένα από τα αντικείμενα της λύσης με κάποιο από την ίδια ομάδα, ώστε να αυξηθεί η συνολική αξία της λύσης. Το κριτήριο για την αλλαγή των αντικειμένων είναι η μεγιστοποίηση του λόγου  $VU-ARR$  ώστε η λύση να παραμείνει εφικτή. Σχετικά με την απόφαση του αντικειμένου που θα εισαχθεί στο σακίδιο, ισχύουν τα ακόλουθα. Έστω δύο

υπονήφια αντικείμενα, με λόγους  $ARR_1$ ,  $VU-ARR_1$  και  $ARR_2$ ,  $VU-ARR_2$  αντίστοιχα: (1) Εάν οι δύο λόγοι  $ARR_1$ ,  $ARR_2$  έχουν αρνητικές τιμές, επιλέγεται το αντικείμενο που μεγιστοποιεί την βελτίωση της λύσης. (2) Εάν οι δύο λόγοι  $ARR_1$ ,  $ARR_2$  είναι θετικοί αριθμοί, επιλέγεται το αντικείμενο που έχει μεγαλύτερο λόγο  $VU-ARR$ . (3) Εάν ισχύει:  $ARR_1 \leq 0$  και  $ARR_2 > 0$ , επιλέγεται το αντικείμενο που μεγιστοποιεί την βελτίωση της λύσης. Εάν νέα αλλαγή μπορεί να πραγματοποιηθεί, το βήμα 3 επαναλαμβάνεται, διαφορετικά ο αλγόριθμος τερματίζει και η παρούσα λύση είναι η τελική και βέλτιστη.

Στο Σχήμα 3-10 απεικονίζονται τα διαγράμματα ροής που αναλύουν τα βήματα του MVRC.



Σχήμα 3-10: Τα τρία βήματα του αλγορίθμου MVRC

### 3.5.2.3. Υπολογισμός Πολυπλοκότητας Αλγορίθμου

Στην ενότητα αυτή υπολογίζονται τα άνω όρια της πολυπλοκότητας των τριών βημάτων του MVRC αλγορίθμου. Έστω το πρόβλημα MMKP όπου ο αριθμός των ομάδων είναι  $n$ , οι περιορισμοί πόρων είναι  $m$  και τα αντικείμενα σε κάθε ομάδα είναι  $l$ . Επίσης, έστω ότι τα αντικείμενα σε κάθε ομάδα είναι ταξινομημένα με βάση την αξία τους.

Στο βήμα 1 υπολογίζεται για κάθε αντικείμενο ο λόγος V-ARC με πολυπλοκότητα  $O(nml)$ . Η ταξινόμηση των αντικειμένων ως προς το λόγο V-ARC γίνεται με βάση τον αλγόριθμο

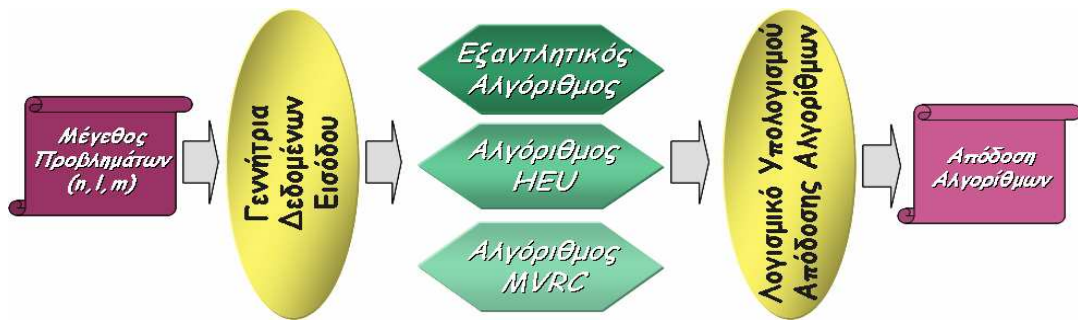
*Quicksort* [79] ο οποίος έχει πολυπλοκότητα  $O(l \log l)$ . Για τον έλεγχο εφικτότητας της αρχικής λύσης η πολυπλοκότητα είναι  $O(m)$ . Επομένως, η πολυπλοκότητα του βήματος 1 είναι  $O(nml + nl \log l + m)$ .

Στο βήμα 2, το βήμα 2.1 που βρίσκει τον περιορισμό με το μεγαλύτερο παράγοντα εφικτότητας και ελέγχει την εφικτότητα της λύσης, απαιτεί  $m$  συγκρίσεις και επομένως έχει πολυπλοκότητα  $O(m)$ . Το βήμα 2.2 που βρίσκει το αντικείμενο με το μεγαλύτερο παράγοντα εφικτότητας έχει πολυπλοκότητα  $O(n)$ . Το βήμα 2.3 το οποίο βρίσκει το αντικείμενο με το χαμηλότερο λόγο *V-ARC* απαιτεί σταθερό χρόνο, αφού τα αντικείμενα είναι ήδη ταξινομημένα με βάση την αξία τους. Το βήμα 2 επαναλαμβάνεται στη χειρότερη περίπτωση  $n(l-1)$  φορές. Επομένως, η πολυπλοκότητα του βήματος 2 είναι  $O(n^2(l-1)m)$ .

Στο βήμα 3, ο υπολογισμός του λόγου *VU-ARR* έχει πολυπλοκότητα  $O(m)$ , ενώ η εύρεση του αντικειμένου που θα ανταλλαχθεί απαιτεί  $n(l-1)$  υπολογισμούς του *VU-ARR*. Άρα, η πολυπλοκότητα είναι  $O(n(l-1)m)$ . Επειδή ο μέγιστος αριθμός εφικτών βελτιώσεων είναι  $n(l-1)$ , η πολυπλοκότητα του βήματος 3 είναι  $O(n^2(l-1)^2m)$ . Τέλος, προκύπτει ότι τα τρία βήματα του *MVRC* έχουν πολυπλοκότητα  $O(nml + nl \log l + m + n^2(l-1)m + n^2(l-1)^2m)$ , και κρατώντας τον παράγοντα του πολυωνύμου με το μέγιστο εκθέτη προκύπτει ότι η πολυπλοκότητα είναι  $O(n^2(l-1)^2m)$ .

### 3.5.3. Εκτίμηση της Απόδοσης του Αλγορίθμου

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του, υλοποιήθηκε ο προτεινόμενος αλγόριθμος *MVRC* καθώς και ο *HEU* και ο εξαντλητικός αλγόριθμος. Ο *HEU* είναι ένας από τους καλύτερους ευριστικούς αλγορίθμους που έχουν προταθεί, ο οποίος έχει συγκριθεί σχεδόν με όλους τους αλγορίθμους της βιβλιογραφίας. Η εξαντλητική προσέγγιση είναι ένας ακριβής αλγόριθμος που υπολογίζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς, ελέγχει την εφικτότητα των λύσεων και τελικά καταλήγει στη βέλτιστη λύση. Η πολυπλοκότητα του εξαντλητικού αλγορίθμου είναι  $O(ml^n)$  και του *HEU* είναι  $O(n^2m(l-1)^2)$ . Η συγκριτική αξιολόγηση των τριών αλγορίθμων πραγματοποιήθηκε για *MMKP* προβλήματα διαφορετικού μεγέθους, ενώ εκτιμήθηκε τόσο η ποιότητα της λύσης που δίνουν αλλά και η απόδοσή τους ως προς τις χρονικές απαιτήσεις τους. Η υλοποίηση των αλγορίθμων έγινε σε γλώσσα *Java 1.4*. [37], ενώ το περιβάλλον εκτέλεσης είναι: *1.4 GHz Pentium Fujitsu Siemens Lifebook* με μνήμη *512MB* και λειτουργικό σύστημα *Linux*. Οι συνιστώσες λογισμικού που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια του εργαλείου προσομοιώσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-11.



Σχήμα 3-11: Λογισμικό Προσομοίωσης

Τα δεδομένα που περιγράφουν τα προβλήματα επίλυσης παρήχθησαν με βάση το σχέδιο που αναλύεται στην ενότητα 3.5.3.1, ενώ για κάθε μέγεθος προβλήματος εξετάστηκαν συσχετισμένα και ασυσχέτιστα σύνολα αντικειμένων. Στην ενότητα 3.5.3.2 περιγράφονται τα μεγέθη μέτρησης της απόδοσης των αλγορίθμων και στην ενότητα 3.5.3.3 παρουσιάζονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για να συγκρίνουν την απόδοση των αλγορίθμων. Στη ενότητα 3.5.3.4 παρουσιάζονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για τη σύγκριση των βημάτων του αλγορίθμου. Τέλος, στην ενότητα 3.5.3.5 αναλύονται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές

### 3.5.3.1. Μοντέλο MMKP Προβλημάτων

Για την αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγορίθμου παρήχθησαν προβλήματα MMKP διαφορετικών μεγεθών σύμφωνα με το γνωστό σχέδιο που προτείνεται στη βιβλιογραφία [75]. Επίσης, θεωρήθηκαν δύο ειδών προβλήματα εισόδου: τα *συσχετισμένα* (*correlated*) και τα *ασυσχέτιστα* (*uncorrelated*) προβλήματα. Στα συσχετισμένα προβλήματα, η αξία κάθε αντικειμένου εξαρτάται από την κατανάλωση πόρων, ενώ στα ασυσχέτιστα η αξία και η κατανάλωση πόρων κάθε αντικειμένου είναι ανεξάρτητα. Σύμφωνα με [80], τα συσχετισμένα προβλήματα επιλύονται δυσκολότερα. Θεωρώντας ότι  $R_c$  είναι η μέγιστη κατανάλωση πόρων από κάθε αντικείμενο και ότι  $V_c$  είναι η μέγιστη αξία ανά μονάδα κατανάλωσης πόρων, το μοντέλο παραγωγής προβλημάτων MMKP ακολουθεί τους εξής κανόνες:

- Κάθε  $k$  περιορισμός πόρων δίνεται από τη σχέση:  $R_k = 1/2nR_c$ .
- Το κόστος  $V_k$  κάθε  $k$  περιορισμού είναι ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφα κατανομημένος (*distributed*) στο διάστημα  $(0, V_c - 1)$ .
- Η κατανάλωση πόρων  $r_{kij}$  του αντικειμένου  $ij$  ως προς τον  $k$  πόρο είναι ένας τυχαίος αριθμός ομοιόμορφα κατανομημένος στο διάστημα  $(0, R_c - 1)$ .
- Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα, η αξία  $v_{ij}$  του αντικειμένου  $ij$  προκύπτει από το γινόμενο ενός τυχαίου αριθμού ομοιόμορφα κατανομημένου στο διάστημα  $(0, m(R_c/2)(V_c/2))$  με τον αριθμό  $(j+1)/l$ .

- ♦ Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι συσχετισμένα, η αξία  $v_{ij}$  του αντικειμένου  $ij$  υπολογίζεται από το άθροισμα ενός τυχαίου αριθμού ομοιόμορφα κατανεμημένου στο διάστημα  $(0, 3m(R_c/10)(V_c/10))$  και του  $\sum_{k=1}^{k=m} r_{kij} * V_k$ .

Η γεννήτρια τυχαίων αριθμών είναι: `'java.util.Random.nextInt (int n)'` που ανήκει στη βιβλιοθήκη της γλώσσας Java. Η γεννήτρια αυτή επιστρέφει έναν ψευδοτυχαίο ακέραιο αριθμό ομοιόμορφα κατανεμημένο στο διάστημα  $[0,n)$ . Επιπλέον, σε όλα τα προβλήματα MMKP που επιλύονται, οι ομάδες έχουν τον ίδιο αριθμό αντικειμένων. Τέλος, οι παράμετροι  $R_c, V_c$  έχουν τιμή 10, όπως ακριβώς στις προσομοιώσεις τις βιβλιογραφίας.

### 3.5.3.2. Μεγέθη Μέτρησης Απόδοσης

Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της απόδοσης των αλγορίθμων είναι τα εξής:

- ♦ **Ποιότητα Λύσης (Optimality):** Είναι ο ποσοστιαίος λόγος της συνολικής αξίας της λύσης προς τη συνολική αξία της λύσης του εξαντλητικού αλγορίθμου. Έστω ότι  $V_{opt}$  είναι η συνολική αξία της βέλτιστης λύσης και  $V_i$  είναι η συνολική αξία της λύσης του ευριστικού (MVRC ή HEU). Η ποιότητα της λύσης αυτής ορίζεται ως εξής:

$$\%Opt = V_i / V_{opt} * 100$$

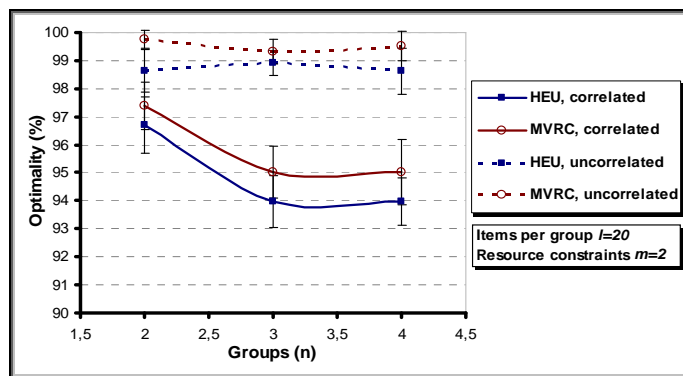
- ♦ **Χρόνος Υπολογισμού (Computation time):** Είναι ο χρόνος που απαιτείται από τον αλγόριθμο μέχρι να καταλήξει στην τελική λύση.
- ♦ **Αριθμός Ανανεώσεων της Λύσης (Number of updates):** Είναι ο αριθμός των ανανεώσεων της λύσης που πραγματοποιούνται μέχρι ο αλγόριθμος να καταλήξει στην τελική λύση.

### 3.5.3.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Απόδοσης

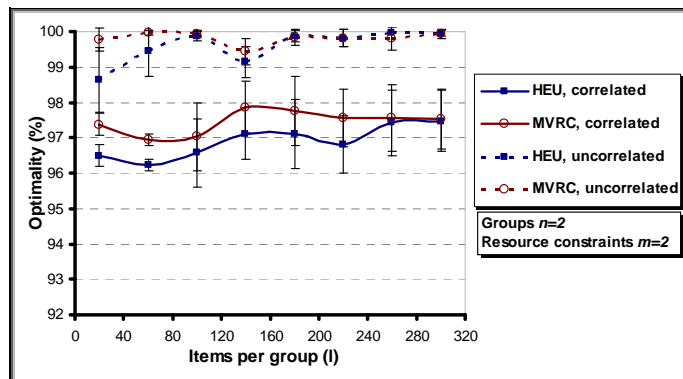
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αξιολόγηση της απόδοσης του MVRC, καθώς μεγαλώνει το μέγεθος των προβλημάτων, δηλαδή καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ομάδων, ο αριθμός των αντικειμένων ανά ομάδα και ο αριθμός των περιορισμών πόρων. Για κάθε MMKP διαφορετικού μεγέθους παράγονται 20 διαφορετικά προβλήματα τα οποία επιλύονται με τους τρεις αλγορίθμους. Ενώ τα μεγέθη μέτρησης υπολογίζονται για κάθε προσομοίωση, στα διαγράμματα που αποτυπώνουν την απόδοση των αλγορίθμων παρουσιάζονται η μέση τιμή τους για τα 20 δείγματα ίδιου μεγέθους και τα αντίστοιχα 0.95 διαστήματα εμπιστοσύνης. Η απόδοση των αλγορίθμων ως προς την ποιότητα της λύσης, τον χρόνο υπολογισμού και τον αριθμό των ανανεώσεων παρουσιάζονται αντίστοιχα στις ενότητες: 3.5.3.3.1, 3.5.3.3.2 και 3.5.3.3.3.

### 3.5.3.3.1. Αξιολόγηση ως προς την ποιότητα της λύσης

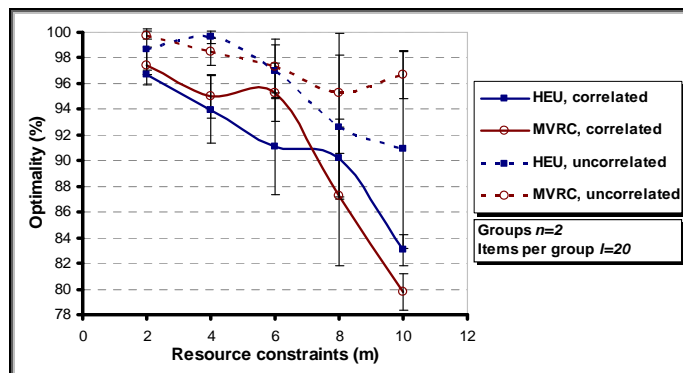
Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 3-12, Σχήμα 3-13 και Σχήμα 3-14 απεικονίζουν την ποιότητα της λύσης που επιτυγχάνουν οι HEU και MVRC συναρτήσει του αριθμού των ομάδων, του αριθμού των αντικειμένων ανά ομάδα και του αριθμού των περιορισμών πόρων. Η απόδοση των αλγορίθμων έχει αξιολογηθεί ξεχωριστά για προβλήματα με ασυσχέτιστα και συσχετισμένα αντικείμενα. Λόγω των απαιτήσεων σε μνήμη και χρόνο υπολογισμού, τα μεγάλα μεγέθους προβλήματα δεν είναι δυνατόν να επιλυθούν με τον εξαντλητικό αλγόριθμο και γι' αυτό, τα προβλήματα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας της λύσης είναι μικρού μεγέθους.



Σχήμα 3-12: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσει του Αριθμού των Ομάδων



Σχήμα 3-13: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσει του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα



Σχήμα 3-14: Ποιότητα Λύσης Συναρτήσει του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

Παρατηρώντας τα σχήματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι και οι δύο αλγόριθμοι παράγουν καλύτερες λύσεις (σχεδόν βέλτιστες) όταν επιλύουν προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα σε σχέση με τα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι συσχετισμένα. Η ποιότητα των λύσεων των δύο αλγορίθμων και για τα δύο είδη προβλημάτων μεγαλώνει καθώς μεγαλώνει το μέγεθος των προβλημάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς τα προβλήματα γίνονται μεγαλύτερα, μικραίνουν και οι διαφορές στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα η τελική λύση να είναι πιο κοντά στη βέλτιστη. Συγκρίνοντας τους δύο αλγορίθμους, προκύπτει ότι ο MVRC παράγει σαφώς καλύτερες λύσεις από τον HEU. Ωστόσο, το ίδιο δεν ισχύει για τις περιπτώσεις που ο αριθμός των περιορισμών πόρων είναι μεγάλος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-14 για περιορισμούς πόρων μεγαλύτερους από 8, οι λύσεις που βρίσκει ο MVRC είναι χειρότερες από τις λύσεις του HEU. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο MVRC δεν βελτιστοποιεί την κατανάλωση πόρων στο δεύτερο βήμα όπως ο HEU. Όμως ο MVRC βρίσκει καλύτερη λύση στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα και όταν ο αριθμός των περιορισμών είναι μεγάλος.

### 3.5.3.3.2. Αξιολόγηση ως προς το χρόνο υπολογισμού

Στους παρακάτω πίνακες: Πίνακας 3-4, Πίνακας 3-5, Πίνακας 3-6, παρουσιάζεται ο χρόνος υπολογισμού (σε msec) που απαιτείται από τον εξαντλητικό αλγόριθμο για να επιλύσει τα μικρού μεγέθους MMKP. Όπως προκύπτει από τους χρόνους που καταγράφονται, η αύξηση του μεγέθους των προβλημάτων μεγαλώνει υπερβολικά τις χρονικές απαιτήσεις του αλγορίθμου που δίνει τη βέλτιστη λύση με αποτέλεσμα να είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές εφαρμογές.

**Πίνακας 3-4:** Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα

	<i>l</i>							
	20	60	100	140	180	220	260	300
<b>n =2, m = 2</b>	2.7	11.9	36.8	77.3	126.4	165.6	234.6	320.7

**Πίνακας 3-5:** Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

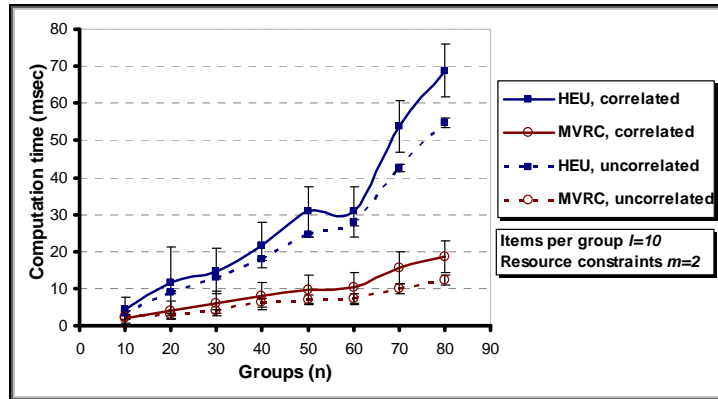
<b>m</b>	<b>n=2, l=100</b>
2	36.8
4	45.9
6	51.2
8	54.2
10	54.8

**Πίνακας 3-6:** Χρόνος Υπολογισμού Εξαντλητικού Αλγορίθμου Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων

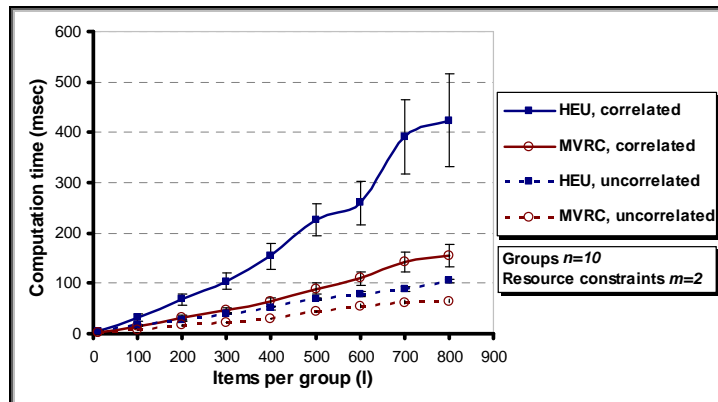
<b>n</b>	<b>m=2, l=20</b>
2	2.7
3	31.4
4	595.4



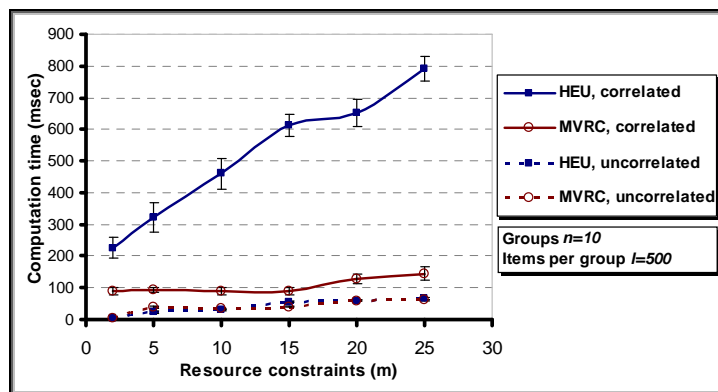
Τα διαγράμματα που απεικονίζονται στα σχήματα: Σχήμα 3-15, Σχήμα 3-16 και Σχήμα 3-17, δείχνουν το χρόνο υπολογισμού που απαιτείται από τους δύο αλγορίθμους καθώς αυξάνεται αντίστοιχα ο αριθμός των ομάδων, των αντικειμένων ανά ομάδα και των περιορισμών πόρων. Θεωρήθηκαν προβλήματα MMKP μεγάλου μεγέθους όπου τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα και συσχετισμένα.



Σχήμα 3-15: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσει Αριθμού Ομάδων



Σχήμα 3-16: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσει του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα



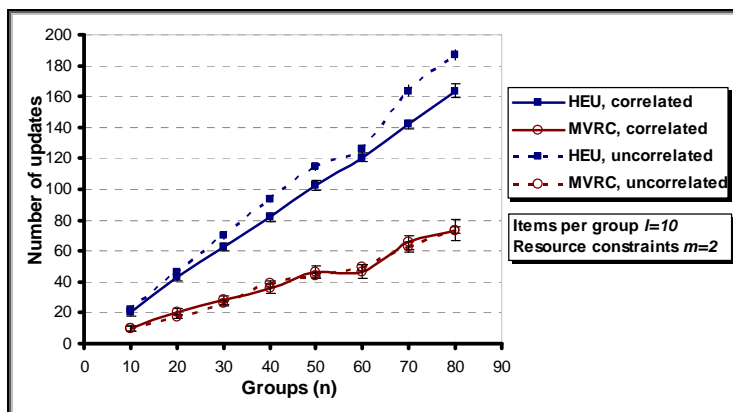
Σχήμα 3-17: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσει του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

Από τα παραπάνω διαγράμματα, προκύπτει ότι τα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα επιλύονται σε λιγότερο χρόνο σε σχέση με αυτά που είναι συσχετισμένα. Επίσης, προκύπτει ότι ο MVRC απαιτεί λιγότερο χρόνο από τον HEU και για

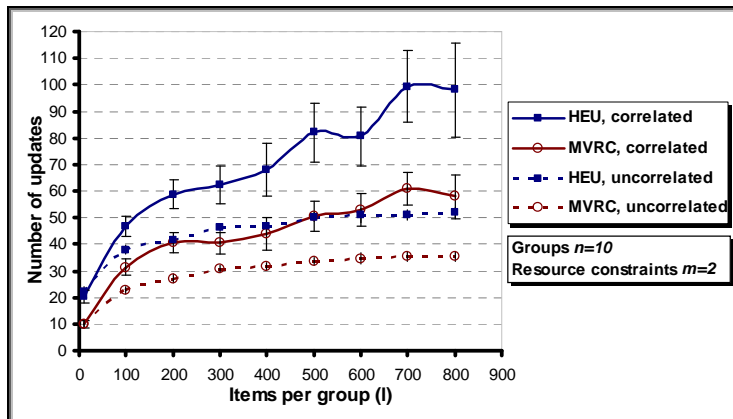
τα δύο είδη προβλημάτων. Καθώς αυξάνεται το μέγεθος των προβλημάτων, ο χρόνος υπολογισμού του HEU μεγαλώνει με μεγαλύτερο ρυθμό. Ειδικότερα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-17 καθώς αυξάνεται ο αριθμός των περιορισμών ο χρόνος υπολογισμού του MVRC παραμένει σχεδόν σταθερός. Αυτό συμβαίνει γιατί ο HEU σε αντίθεση με τον MVRC προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση πόρων. Τέλος, στο Σχήμα 3-16 φαίνεται ότι ο MVRC υπερτερεί του HEU καθώς αυξάνεται ο αριθμός των αντικειμένων ανά ομάδα.

### 3.5.3.3.3. Αξιολόγηση ως προς τον αριθμό των ανανεώσεων της λύσης

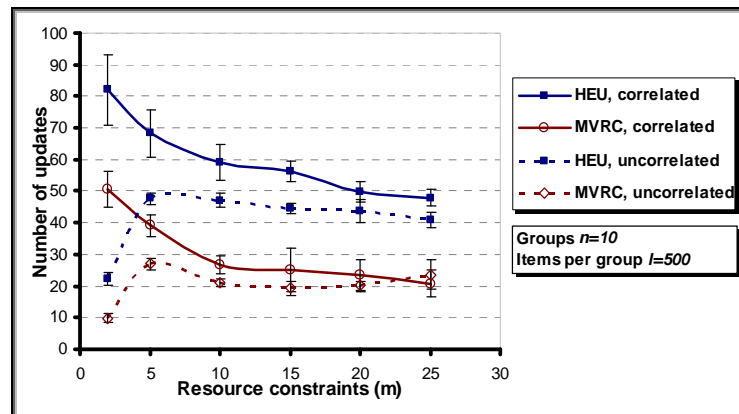
Επειδή ο χρόνος υπολογισμού που απαιτεί κάθε αλγόριθμος εξαρτάται από την υλοποίηση του, μετρήθηκε επιπρόσθετα ο αριθμός των ανανεώσεων της λύσης. Αυτό το μέγεθος μέτρησης απόδοσης είναι ανεξάρτητο της υλοποίησης και δείχνει πόσο γρήγορα κάθε αλγόριθμος καταλήγει στην τελική λύση. Στα σχήματα: Σχήμα 3-18, Σχήμα 3-19 και Σχήμα 3-20 παρουσιάζεται ο αριθμός ανανεώσεων της λύσης καθώς αυξάνεται αντίστοιχα ο αριθμός των ομάδων, των αντικειμένων ανά ομάδα και ο αριθμός των περιορισμών πόρων. Τα προβλήματα που χρησιμοποιούνται είναι τα προβλήματα μεγάλου μεγέθους για τα οποία μετρήθηκε ο χρόνος υπολογισμού.



Σχήμα 3-18: Αριθμός Ανανεώσεων της Λύσης Συναρτήσει του Αριθμού Ομάδων



Σχήμα 3-19: Αριθμός Ανανεώσεων της Λύσης Συναρτήσει του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα



Σχήμα 3-20: Αριθμός Ανανεώσεων της Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

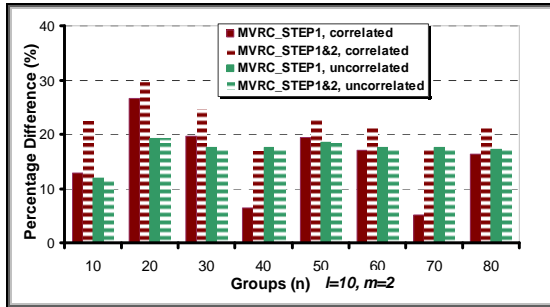
Παρατηρώντας τα διαγράμματα προκύπτει ότι καθώς το μέγεθος των προβλημάτων μεγαλώνει, πραγματοποιούνται περισσότερες ανανεώσεις της λύσης. Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα, οι αλγόριθμοι πραγματοποιούν λιγότερες ανανεώσεις σε σχέση με αυτά που είναι συσχετισμένα. Η παρατήρηση αυτή συμβαδίζει με τα συμπεράσματα σχετικά με το χρόνο υπολογισμού. Τέλος, ο MVRC πραγματοποιεί περίπου τις μισές ανανεώσεις λύσης συγκριτικά με τον HEU.

#### 3.5.3.4. Αξιολόγηση των Τριών Βημάτων του Προτεινόμενου Αλγορίθμου

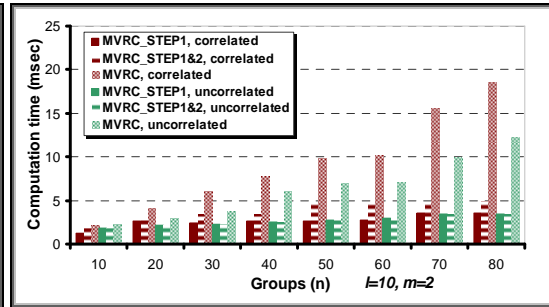
Προκειμένου να αξιολογηθούν τα τρία βήματα του προτεινόμενου αλγορίθμου, καταγράφηκαν για τα προβλήματα μεγάλου μεγέθους τα μεγέθη απόδοσης μετά την εκτέλεση των τριών βημάτων ξεχωριστά. Ως MVRC\_Step1 χαρακτηρίζονται τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του πρώτου βήματος και ως MVRC\_Step1&2 χαρακτηρίζονται τα αποτελέσματα μετά την εκτέλεση του δεύτερου βήματος. Για να εκτιμηθεί η ποιότητα της ενδιάμεσης λύσης καταγράφεται η ποσοστιαία διαφορά της από την τελική λύση. Δηλαδή, έστω ότι  $V_{MVRC}$  είναι η τελική λύση and  $V_i$  η λύση ενός ενδιάμεσου βήματος, η ποσοστιαία διαφορά (percentage difference) ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση:  $\% Di = (V_{MVRC} - V_i) / V_{MVRC} * 100$ . Ο χρόνος υπολογισμού που καταγράφεται είναι ο απαιτούμενος χρόνος μέχρι την εκτέλεση και του συγκεκριμένου βήματος του αλγορίθμου.

Στα σχήματα: Σχήμα 3-21 και Σχήμα 3-22 παρουσιάζονται αντίστοιχα η ποσοστιαία διαφορά των ενδιάμεσων λύσεων και ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται συναρτήσεως του αριθμού των ομάδων. Από τα σχήματα αυτά προκύπτει ότι οι λύσεις του πρώτου βήματος είναι αρκετά κοντά στην τελική και το δεύτερο βήμα πραγματοποιεί ελάχιστη βελτίωση της λύσης. Μάλιστα, στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα το δεύτερο βήμα δεν εκτελείται καθόλου. Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των

αντικειμένων είναι συσχετισμένα το δεύτερο βήμα πραγματοποιεί περισσότερες ανανεώσεις της λύσης καθώς μεγαλώνει ο αριθμός των ομάδων. Για τον χρόνο υπολογισμού, παρατηρείται ότι ο χρόνος που απαιτούν τα δύο πρώτα βήματα του MVRC παραμένει σταθερός καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ομάδων.

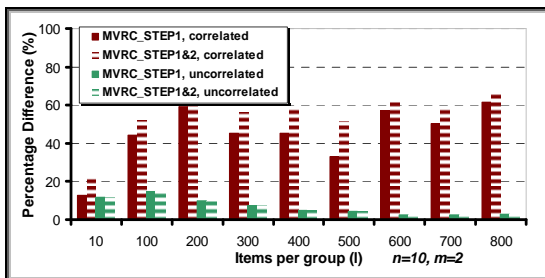


Σχήμα 3-21: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων

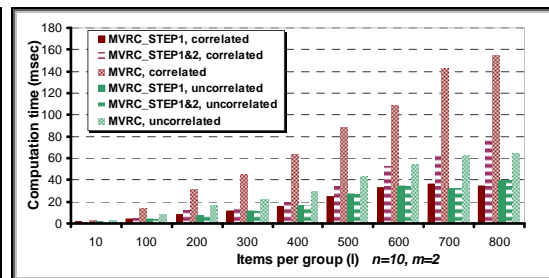


Σχήμα 3-22: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Ομάδων

Στα σχήματα: Σχήμα 3-23 και Σχήμα 3-24 παρουσιάζονται αντίστοιχα η ποσοστιαία διαφορά των ενδιάμεσων λύσεων και ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται συναρτήσεως του αριθμού των αντικειμένων ανά ομάδα. Όπως και πριν, στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα το πρώτο βήμα παράγει λύσεις κοντά στην τελική. Για τα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι συσχετισμένα, η λύση του πρώτου βήματος είναι πολύ κοντά στη λύση του δεύτερου βήματος, ενώ οι λύσεις αυτές είναι περίπου το 50% της τελικής.



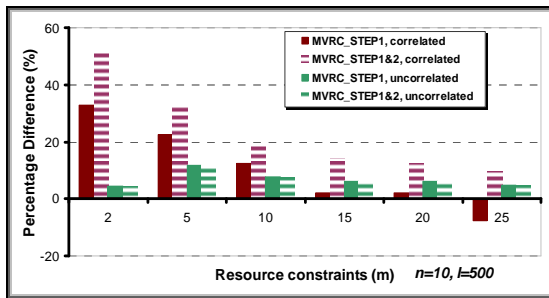
Σχήμα 3-23: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα



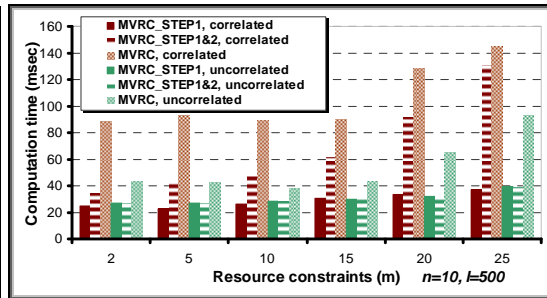
Σχήμα 3-24: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Αντικειμένων ανά Ομάδα

Στα σχήματα: Σχήμα 3-25 και Σχήμα 3-26, παρουσιάζονται αντίστοιχα η ποσοστιαία διαφορά των ενδιάμεσων λύσεων και ο χρόνος υπολογισμού που απαιτείται συναρτήσεως του αριθμού των περιορισμών. Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα, παρατηρείται ότι το πρώτο βήμα παράγει λύση που είναι πολύ κοντινή στην τελική. Η ποσοστιαία διαφορά παραμένει σταθερή περίπου 15% καθώς αυξάνεται ο αριθμός των περιορισμών. Στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι

συσχετισμένα, το πρώτο βήμα αδυνατεί να βρει εφικτή λύση και επομένως το δεύτερο βήμα πραγματοποιεί πολλές ανανεώσεις. Ειδικότερα, καθώς μεγαλώνει ο αριθμός των περιορισμών το πρώτο βήμα παράγει καλύτερη λύση (που φτάνει σε σημείο να είναι καλύτερη από την τελική για  $m=25$ ), η οποία όμως δεν είναι εφικτή. Το δεύτερο βήμα πραγματοποιεί περισσότερες ανανεώσεις μέχρι να καταλήξει σε εφικτή λύση και το δεύτερο βήμα όλο και λιγότερες μέχρι να καταλήξει στην τελική.



Σχήμα 3-25: Ποσοστιαία Διαφορά Λύσης Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

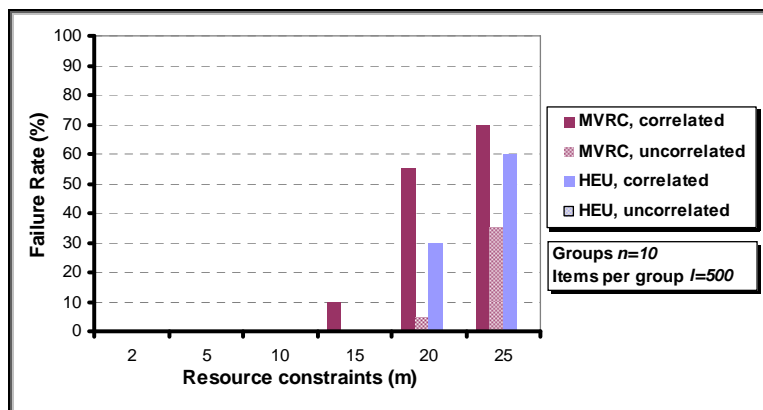


Σχήμα 3-26: Χρόνος Υπολογισμού Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

### 3.5.3.5. Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση των αλγορίθμων συνοψίζονται ακολούθως:

- Η επίλυση προβλημάτων μικρού μεγέθους είναι πάντα εφικτή με τους MVRC, HEU.
- Ο MVRC αδυνατεί να επιλύσει προβλήματα μεγάλου μεγέθους όταν ο αριθμός των περιορισμών πόρων είναι μεγάλος. Για παράδειγμα, για  $n=10$ ,  $l=500$  και  $m=20$ , το ποσοστό αποτυχίας (failure ratio) είναι 50% ενώ για  $m=25$ , αυτό γίνεται 70%. Τα αντίστοιχα ποσοστά αποτυχίας για τους MVRC και HEU φαίνονται στο Σχήμα 3-27.



Σχήμα 3-27: Ποσοστό Αποτυχίας Αλγορίθμων Συναρτήσεως του Αριθμού Περιορισμών Πόρων

- Σχετικά με την ποιότητα των λύσεων, παρατηρείται ότι οι δύο αλγόριθμοι παράγουν λύσεις πολύ κοντινές στις βέλτιστες λύσεις που παράγει ο εξαντλητικός αλγόριθμος.

- ♦ Στα μικρότερου μεγέθους προβλήματα, η αύξηση του μεγέθους του προβλήματος οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις, ενώ στα μεγαλύτερου μεγέθους η ποιότητα των λύσεων σταθεροποιείται. Επίσης, οι λύσεις των δύο αλγορίθμων στα προβλήματα μεγάλου μεγέθους είναι αρκετά κοντινές.
- ♦ Υπάρχουν κάποιες ανωμαλίες στα μεγέθη μέτρησης της απόδοσης των αλγορίθμων. Ειδικότερα, κάποια προβλήματα μικρότερου μεγέθους απαιτούν περισσότερο χρόνο από τα μεγάλου μεγέθους. Αυτό συμβαίνει γιατί τα προβλήματα παράγονται με τυχαίο τρόπο και εάν σε ένα πρόβλημα υπάρχουν λίγες εφικτές λύσεις, τότε η τελική λύση βρίσκεται σε λιγότερο χρόνο.
- ♦ Η απόδοση των αλγορίθμων είναι καλύτερη στα προβλήματα που τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων είναι ασυσχέτιστα από ότι όταν είναι συσχετισμένα.
- ♦ Ο MVRC υπερέχει του HEU ως προς την ποιότητα των λύσεων. Επίσης, ο MVRC απαιτεί μικρότερο χρόνο υπολογισμού και πραγματοποιεί λιγότερες ανανέωσεις της λύσης μέχρι να καταλήξει στην τελική λύση.
- ♦ Καθώς το μέγεθος των προβλημάτων μεγαλώνει, ο ρυθμός αύξησης του χρόνου υπολογισμού και των ανανεώσεων της λύσης είναι μεγαλύτερος για τον HEU, ενώ για τον MVRC τείνει να σταθεροποιηθεί. Η πολυπλοκότητα του HEU σε όλα τα βήματα του είναι δευτέρου βαθμού ως προς το μέγεθος των ομάδων και του αριθμού των ομάδων, ενώ η πολυπλοκότητα του MVRC είναι δευτέρου βαθμού μόνο στο τρίτο βήμα.
- ♦ Όταν ο αριθμός των περιορισμών πόρων είναι μεγάλος ο HEU καταλήγει σε καλύτερες λύσεις από ότι ο MVRC, αλλά απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο υπολογισμού.

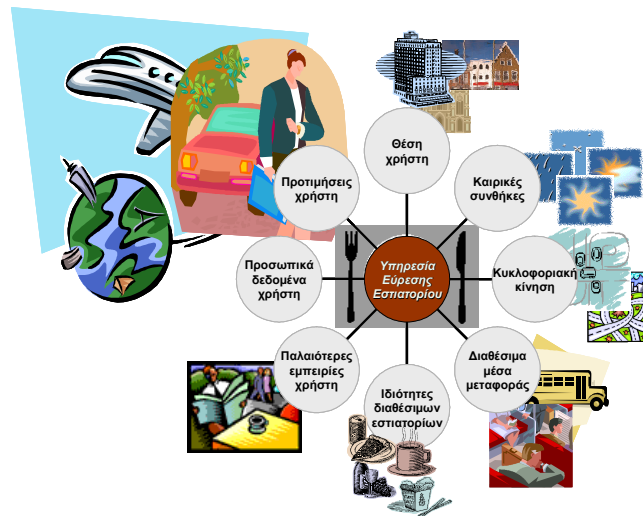
### **3.6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ**

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν δυο σενάρια υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος μέσω των οποίων θα περιγραφεί η εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής πληροφορίας. Το πρώτο σενάριο αναφέρεται στην υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου [81] (ενότητα 3.6.1) και το δεύτερο αναφέρεται στην υπηρεσία που προσφέρει δικτυακή σύνδεση με επίγνωση του περιβάλλοντος σε κινούμενους χρήστες [82] (ενότητα 3.6.3). Επιπλέον, συγκρίνονται οι λύσεις της προτεινόμενης προσέγγισης σε σχέση με κάποιες εναλλακτικές μεθόδους επιλογής (ενότητα 3.6.2) και παρουσιάζονται οι χρονικές απαιτήσεις του προτεινόμενου αλγορίθμου επιλογής (ενότητα 3.6.4).

### 3.6.1. Πρώτο Σενάριο

Η υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου θα μπορούσε να προσφερθεί από έναν πάροχο κινητής επικοινωνίας και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που ο χρήστης βρίσκεται εκτός του οικείου περιβάλλοντος του (π.χ. στο εξωτερικό). Επίσης η υπηρεσία αυτή θα μπορούσε να είναι εύκολα υλοποιήσιμη στο κοντινό μέλλον καθώς δεν απαιτεί εξεζητημένους αισθητήρες και η χρησιμοποιούμενη πληροφορία είναι εύκολα διαθέσιμη. Η υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου είναι η ακόλουθη: Ο χρήστης κατά την εγγραφή του στην υπηρεσία ορίζει τις προσωπικές του προτιμήσεις σχετικά με το επιθυμητό οικονομικό κόστος, τις ιδιαίτερες προτιμήσεις του για το είδος του φαγητού, την απόσταση του εστιατορίου κλπ.

Έτσι λοιπόν, όταν ο χρήστης επιθυμεί να φάει, χρησιμοποιεί την υπηρεσία μέσω της φορητής συσκευής του όπου δηλώνει αυτήν την επιθυμία (ανάγκη) του. Η υπηρεσία χρησιμοποιεί την γεωγραφική του θέση, τα διαθέσιμα μεταφορικά μέσα και την κυκλοφοριακή κίνηση ώστε να συμπεραίνει την περιοχή του εστιατορίου που θα προτείνει στο χρήστη. Από τη βάση δεδομένων στην οποία είναι καταχωρημένα τα εστιατόρια της περιοχής, η υπηρεσία επιλέγει τη λίστα των κατάλληλων εστιατορίων. Στη συνέχεια φιλτράρει τη λίστα, ώστε αυτή να περιλαμβάνει τα εστιατόρια που ταιριάζουν στις προτιμήσεις του χρήστη, στη χρονική στιγμή της ημέρας και στις καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, τις πρωινές ώρες προτείνονται φούρνοι ή καφετέριες, και τις καλές καλοκαιρινές μέρες προτιμώνται εστιατόρια που έχουν τραπέζια σε εξωτερικό χώρο. Η τελική λίστα των εστιατορίων δίνεται στο χρήστη με τις αντίστοιχες οδηγίες για τη μετάβαση του σε καθένα από αυτά. Με βάση τις δυνατότητες του τερματικού του χρήστη και το χρησιμοποιούμενο δίκτυο παραδίδονται στο χρήστη οι αντίστοιχες οδηγίες (βίντεο, κείμενο, φωτογραφίες). Επίσης, η υπηρεσία θα μπορούσε να λάβει υπόψη της: στοιχεία από την υγεία του χρήστη (όχι μόνο τα χρόνια προβλήματα υγείας αλλά και τα έκτακτα, ή ακόμη και ιδιαίτερες συνήθειες του χρήστη π.χ. νηστεύει ή όχι) και να του προτείνει το εστιατόριο με το κατάλληλο προφίλ και ποιότητά υλικών, δεδομένα από την ατζέντα του π.χ. το διαθέσιμο χρόνο που έχει. Επιπλέον, παλαιότερες επιλογές του χρήστη και η εμπειρία του από αυτές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή. Στις προτιμήσεις του χρήστη περιλαμβάνεται επίσης αν επιθυμεί το εστιατόριο να έχει κόσμο ή επιθυμεί ησυχία. Ιδιαίτερα χρήσιμο για την περίπτωση που η υπηρεσία προσφέρεται σε οικείο περιβάλλον, είναι πληροφορία σχετική με το αν κάποιος που θα ήθελε ο χρήστης να συναντήσει ή να αποφύγει, βρίσκεται στο ίδιο εστιατόριο, και ακολούθως να προταθεί ή όχι στο χρήστη.



Σχήμα 3-28: Υπηρεσία Εύρεσης Εστιατορίου

Ωστόσο, η ίδια υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου είναι δυνατόν να προσφερθεί με διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας ανάλογα με την πληροφορία περιβάλλοντος και την ποιότητα της που θα χρησιμοποιήσει για την επιλογή εστιατορίου. Επομένως, το κόστος της θα είναι ανάλογο του επιπέδου προσφερόμενης ποιότητας.

Με σκοπό να παρουσιαστεί ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής πληροφορίας πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις της υπηρεσίας εύρεσης εστιατορίου με δύο επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Η απλούστερη έκδοση της υπηρεσίας είναι αυτή που λαμβάνει υπόψη αποκλειστικά τη γεωγραφική θέση του χρήστη. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να ληφθούν υπόψη οι καιρικές συνθήκες, έστω μόνον η θερμοκρασία, τότε η υπηρεσία πρέπει αρχικά να εντοπίσει το χρήστη και στη συνέχεια να μάθει τη θερμοκρασία στο συγκεκριμένο σημείο. Ο Πίνακας 3-7 περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων πηγών που προσφέρουν πληροφορίες θέσεις και θερμοκρασίας. Έστω ότι όλες οι πηγές παράγουν αρχική τιμή πληροφορίας τη χρονική στιγμή  $T=0sec$  και οι επόμενες ανανεωμένες τιμές παράγονται σύμφωνα με το χρόνο ανανέωσης τους. Έστω ότι η υπηρεσία ζητά την πληροφορία τη χρονική στιγμή  $T_{current}=7sec$ .

Πίνακας 3-7: Διαθέσιμες Πηγές Πληροφορίας

	Πληροφορία Θέσης (m)						Θερμοκρασία (°C)					
	$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$	$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$	$I_{24}$	$I_{25}$	$I_{26}$
<b>P</b>	150	100	50	80	190	20	50	70	80	100	130	40
<b>A</b>	5	100	900	200	1	1000	2	1,5	1	1	0,5	3
<b>Tr (sec)</b>	10	60	240	100	6	220	10	8	10	5	5	10
<b>Ts (sec)</b>	5	0	0	0	7	0	6	6	7	7	7	6
<b>Tresp(sec)</b>	0.9	2.1	1	0.5	1.2	1.2	0.5	1	1.9	2.5	1	3.5
<b>F (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



Ο πάροχος της υπηρεσίας έχει προσδιορίσει τα εξής βάρη για τη συλλογή της πληροφορίας θέσης και θερμοκρασίας:  $PWV_1 = \{0.5, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1\}$  και  $PWV_2 = \{0.1, 0.1, 0.3, 0.5, 0.1\}$ . Για την πληροφορία θέσης, η ακρίβεια έχει μεγαλύτερη αξία ενώ για την θερμοκρασία τα χρονικά χαρακτηριστικά είναι σημαντικότερα. Έστω οι δύο χρήστες της υπηρεσίας: *Χρήστης Α* και *Χρήστης Β*. Ο Χρήστης Α επιθυμεί η υπηρεσία να λαμβάνει υπόψη τη θερμοκρασία για να προτείνει το καταλληλότερο εστιατόριο ενώ η τοποθεσία του εστιατορίου δεν τον ενδιαφέρει. Στην περίπτωση αυτή η υπηρεσία λειτουργεί επαρκώς όταν χρησιμοποιήσει πληροφορία της γεωγραφικής θέσης του χρήστη με μικρή ακρίβεια και τη θερμοκρασία της πόλης που βρίσκεται ο χρήστης. Αντίθετα ο Χρήστης Β επιθυμεί να βρει το κοντινότερο εστιατόριο που ταιριάζει στις προτιμήσεις του για να δειπνήσει. Επομένως, για αυτόν το χρήστη η γεωγραφική του θέση πρέπει να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι δύο χρήστες επιλέγουν τα αντίστοιχα προφίλ υπηρεσίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους. Οι αντίστοιχοι περιορισμοί ποιότητας πληροφορίας όπως αποτυπώνονται στα διανύσματα αποδεκτών χαρακτηριστικών είναι:  $APV_1 = \{1000, 240\}$ ,  $APV_2 = \{3, 10\}$  για τον Χρήστη Α και  $APV_1 = \{5, 20\}$  για τον Χρήστη Β. Το άνω όριο κόστους είναι αντίστοιχα  $P_{max} = 100, 170$ , ενώ η μέγιστη καθυστέρηση είναι  $T_{max} = 4sec$ . Ο Πίνακας 3-8 περιλαμβάνει την εκτιμώμενη χρησιμότητα των διαθέσιμων πηγών πληροφορίας για το Χρήστη Α.

Πίνακας 3-8: Υπολογισμός Χρησιμότητας για το Χρήστη Α

	Πληροφορία Θέσης						Θερμοκρασία					
	$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$	$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$	$I_{24}$	$I_{25}$	$I_{26}$
$U_A$	0,995	0,9	0,1	0,8	0,999	0	0,333	0,5	0,66	0,66	0,833	0
$U_T$	0,71	0,848	0,966	0,925	0,8	0,963	0,85	0,75	0,81	0,5	0,8	0,55
$U_{Tr}$	0,958	0,75	0	0,583	0,975	0,083	0	0,199	0	0,5	0,5	0
$U_{Tresp}$	0,775	0,475	0,75	0,875	0,7	0,7	0,875	0,75	0,525	0,375	0,75	0,125
$U_F$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$U$	0,919	0,804	0,396	0,825	0,917	0,344	0,659	0,660	0,510	0,554	0,788	0,217

Για το Χρήστη Α, εφαρμόζοντας την προτεινόμενη προσέγγιση προτείνεται η ζητούμενη πληροφορία να αποκτηθεί από  $I_{13}$  και  $I_{21}$ . Στην περίπτωση αυτή η αντικειμενική συνάρτηση (3-9) μεγιστοποιείται με τιμή  $0,396 + 0,659 = 1,056$ , ενώ όλοι οι περιορισμοί ικανοποιούνται. Το κόστος της λύσης αυτής είναι 100. Εάν ληφθούν υπόψη μόνον οι περιορισμοί ποιότητας  $APV_1$ ,  $APV_2$ , η πληροφορία που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί είναι  $I_{16}$  και  $I_{26}$ , επιτυγχάνοντας συνολική χρησιμότητα  $0,344 + 0,217 = 0,562$  με κόστος 60. Όμως η λύση αυτή όχι μόνο δεν έχει μικρότερη συνολική χρησιμότητα αλλά επίσης δεν ικανοποιεί τον περιορισμό (3-11). Για το Χρήστη Β, μόνο τα δεδομένα  $I_{11}$  και  $I_{15}$  ικανοποιούν τους περιορισμούς (3-14) και (3-15), και αποτελούν εφικτή λύση. Η προτεινόμενη προσέγγιση προτείνει ως βέλτιστη λύση την

πληροφορία  $I_{11}$  με 0,336 χρησιμότητα και κόστος 150. Η μέγιστη χρησιμότητα είναι 0,79 και επιτυγχάνεται από την  $I_{15}$ . Ωστόσο, η λύση αυτή δεν είναι εφικτή επειδή έχει κόστος 190.

### 3.6.2. Συγκριτική Αξιολόγηση

Στη συνέχεια θα συγκριθεί η λύση που προτείνεται από τη Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος με κάποιους εναλλακτικούς μηχανισμούς επιλογής [10]. Για τη σύγκριση χρησιμοποιείται η υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου που προσφέρεται στον Χρήστη Α στην προηγούμενη ενότητα 3.6.1. Οι αλγόριθμοι επιλογής που συγκρίνονται με τη Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος (CME) είναι οι εξής:

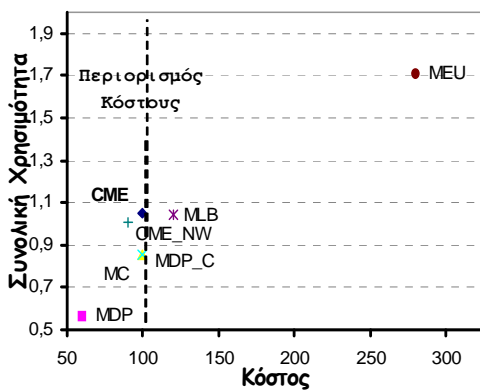
1. **Ταίριασμα Χαρακτηριστικών Δεδομένων** (*Match Data Properties - MDP*) σύμφωνα με τον οποίο επιλέγεται η πληροφορία που ταιριάζει στις απαιτήσεις που περιγράφονται από τα διανύσματα αποδεκτών χαρακτηριστικών ποιότητας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί κόστους και χρονικής απόκρισης.
2. **Ταίριασμα Χαρακτηριστικών Δεδομένων & Περιορισμών** (*Match Data Properties & Constraints - MDP\_C*) σύμφωνα με τον οποίο επιλέγεται η πληροφορία που ταιριάζει στις απαιτήσεις ποιότητας όπως αυτές περιγράφονται από τα διανύσματα αποδεκτών χαρακτηριστικών αλλά και τους περιορισμούς κόστους και χρονικής απόκρισης.
3. **Ταίριασμα Κόστους** (*Match Cost - MC*) ο οποίος επιλέγει την πληροφορία που εναρμονίζεται με τον περιορισμό κόστους. Δηλαδή επιλέγονται τα αντικείμενα πληροφορίας που όλα μαζί κοστίζουν το ίδιο ή λιγότερο από  $P_{max}$ .
4. **Ταίριασμα Χρονικής Καθυστέρησης** (*Match Latency Bound - MLB*) ο οποίος επιλέγει την πληροφορία που εναρμονίζεται με τον περιορισμό χρονικής καθυστέρησης. Δηλαδή επιλέγονται τα αντικείμενα που παραδίδονται μέσα ή σε λιγότερο από  $T_{max}$ .
5. **Μέγιστη Συνολική Χρησιμότητα** (*Maximum Total Utility - MEU*) ο οποίος επιλέγει την πληροφορία που μεγιστοποιεί τη συνολική χρησιμότητα δίχως να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί κόστους ή χρονικής καθυστέρησης.
6. **Μηχανή Επιλογής Πληροφορίας Περιβάλλοντος Χωρίς Βάρη** (*Context Matching Engine & No Weights - ME\_NW*) ο οποίος επιλέγει την πληροφορία όμοια με τη μηχανή επιλογής πληροφορίας χωρίς όμως να συνυπολογίζει τα βάρη των παραγόντων χρησιμότητας.

Ο Πίνακας 3-9 περιλαμβάνει τους διαφορετικούς μηχανισμούς επιλογής σε σχέση με τις απαιτήσεις χρήστη/υπηρεσίας που λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση. Το σύμβολο “✓” δείχνει ότι ο συγκεκριμένος τρόπος επιλογής λαμβάνει υπόψη την αντίστοιχη απαίτηση, ενώ το αντίθετο συμβολίζεται με “-”.

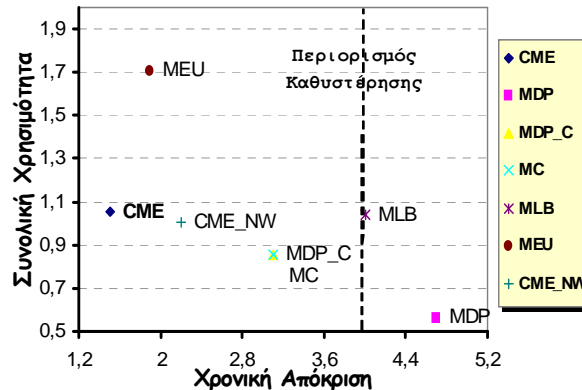
Πίνακας 3-9: Μηχανισμοί Επιλογής

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	Περιορισμός Κόστους	Περιορισμός Χρονικής Απόκρισης	Διάνυσμα Αποδεκτών Χαρακτηριστικών	Διάνυσμα Βαρών Χαρακτηριστικών Ποιότητας
CME	✓	✓	✓	✓
MDP	-	-	✓	-
MDP_C	✓	✓	✓	-
MC	✓	-	✓	-
MLB	-	✓	✓	-
MEU	-	-	✓	✓
CME_NW	✓	✓	✓	-

Έτσι λοιπόν, εφαρμόστηκαν οι παραπάνω τεχνικές επιλογής στην υπηρεσία εύρεσης εστιατορίου. Οι λύσεις που αποκτήθηκαν από κάθε αλγόριθμο καταγράφονται στα: Σχήμα 3-29 και Σχήμα 3-30, όπου απεικονίζονται αντίστοιχα η συνολική χρησιμότητα ως προς το κόστος της και η συνολική χρησιμότητα κάθε λύσης ως προς τη χρονική καθυστέρηση.



Σχήμα 3-29: Χρησιμότητα και Κόστος



Σχήμα 3-30: Χρησιμότητα και Χρόνος Απόκρισης

Παρόλο που οι παραπάνω λύσεις αφορούν το συγκεκριμένο παράδειγμα, κάποια συμπεράσματα από τη σύγκριση των λύσεων μπορούν να γενικευτούν. Ο MDP χρησιμοποιείται από τα περισσότερα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος και έχει τις λιγότερες υπολογιστικές απαιτήσεις αφού αποφασίζει για κάθε αντικείμενο πληροφορίας ανεξάρτητα (για  $n$  ομάδες αντικειμένων πληροφορίας με  $l$  αντικείμενα ανά ομάδα, ο MDP έχει πολυπλοκότητα  $O(nl)$ ). Ωστόσο οι λύσεις που βρίσκει ο MDP έχουν τη χαμηλότερη συνολική χρησιμότητα και πιθανώς παραβιάζουν τους περιορισμούς. Όμως, όταν οι περιορισμοί λαμβάνονται υπόψη στον MDP\_C, οι λύσεις δεν παραβιάζουν τους περιορισμούς αλλά έχουν μικρή συνολική χρησιμότητα. Από την άλλη, οι λύσεις των CME και CME\_NW δεν παραβιάζουν τους περιορισμούς και έχουν μεγαλύτερη συνολική χρησιμότητα. Ως προς τους περιορισμούς, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν επαρκεί η συνεκτίμηση μόνο ενός

περιορισμού. Αυτό έχει σχέση με το γεγονός ότι δεν υπάρχει πάντα αντιστοιχία μεταξύ κόστους και χρονικής καθυστέρησης, καθώς και αντιστοιχία της χρησιμότητας των αντικειμένων με το κόστος τους και τη χρονική καθυστέρηση. Σχετικά με τη βαθμολόγηση των παραγόντων χρησιμότητας, αξίζει να σημειωθεί ότι οι λύσεις που παράγονται συνυπολογίζοντας τη βαθμολόγηση έχουν σημαντικά μεγαλύτερη συνολική χρησιμότητα. Επομένως, ως τελικό συμπέρασμα προκύπτει ότι παρόλο που ο προτεινόμενος μηχανισμός έχει αυξημένη πολυπλοκότητα βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών και συνεπώς την εμπειρία των χρηστών από την χρήση τους, επιλέγοντας καλύτερες πηγές πληροφορίας.

### 3.6.3. Δεύτερο Σενάριο

Το δεύτερο σενάριο εφαρμογής του προτεινόμενου μηχανισμού αναφέρεται στην υπηρεσία που προσφέρει δικτυακή σύνδεση με επίγνωση του περιβάλλοντος. Η υπηρεσία αυτή αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος CONTEXT. Η υλοποίηση της, που είναι εκτός ενδιαφέροντος για το παρόν κείμενο, αναλύεται εκτενώς στο [83]. Η περιγραφή του σεναρίου δίνεται ακολούθως. Χρήστης της υπηρεσίας είναι ένα άτομο που κινείται σε ένα χώρο στον οποίο παρέχεται διαδικτυακή σύνδεση μέσω ασύρματης τεχνολογίας (πχ. ένας καθηγητής στον χώρο της πανεπιστημιούπολης, ένας επιχειρηματίας στο αεροδρόμιο), και επιθυμεί μέσω του φορητού υπολογιστή του, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με μία κάρτα ασύρματης σύνδεσης (WLAN) να παραμένει διαρκώς συνδεδεμένος στο δίκτυο. Το πρωτόκολλο Mobile IP (Internet Protocol) [84] είναι υπεύθυνο για την αδιαφανή προς το χρήστη σύνδεση της συσκευής του στα διαφορετικά σημεία ασύρματης πρόσβασης, καθώς αυτός μετακινείται. Η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι υπεύθυνη να εξασφαλίζει στον χρήστη την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας, καθώς μετακινείται και αλλάζει δίκτυο σύνδεσης. Προκειμένου να το επιτύχει αυτό, δηλαδή να εφαρμόσει τους κανόνες ποιότητας υπηρεσίας του χρήστη, η υπηρεσία ανακτά τις προτιμήσεις του χρήστη και τις λεπτομέρειες της σύνδεσης του.

Οι λεπτομέρειες σύνδεσης του χρήστη είναι διαθέσιμες από την Υπηρεσία Πληροφορίας Δικτύου (*Network Context Service - NCS*) στην οποία εγγράφεται η υπηρεσία μέσω του μεσίτη πληροφορίας περιβάλλοντος. Κατόπιν της εγγραφής, η NCS παραδίδει ενημερώσεις σχετικά με τις αλλαγές στη σύνδεση δικτύου του χρήστη έχοντας ως δεδομένο τη διεύθυνση Media Access Control (MAC) του τερματικού του χρήστη. Ωστόσο, η υπηρεσία NCS παρέχει την πληροφορία αυτή σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας:  $I_{11}, \dots, I_{16}$ . Οι σχετικές λεπτομέρειες μαζί το αντίστοιχο κόστος απεικονίζονται στον πίνακα: Πίνακας 3-10. Για αυτό το είδος πληροφορίας δεν ορίζεται η παράμετρος ποιότητας: ακρίβεια. Οι προτιμήσεις του χρήστη περιλαμβάνονται στο προφίλ του χρήστη και σχετίζονται με τις απαιτήσεις του σε εύρος

ζώνης. Η πληροφορία αυτή ανακτάται κατά την εκκίνηση εκτέλεσης της υπηρεσίας από τη βάση δεδομένων όπου αποθηκεύονται τα προφίλ με κόστος  $P=20$ , ενώ οι λεπτομέρειες σύνδεσης παραδίδονται στην υπηρεσία με την μορφή ενημερώσεων για όσο διάστημα αυτή εκτελείται. Έστω ότι η υπηρεσία ξεκινά και υποβάλλει αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας στο μεσίτη πληροφορίας τη χρονική στιγμή  $T_{current} = 7sec$  (Η χρονική στιγμή  $0sec$  είναι ο χρόνος εκκίνησης του συστήματος).

Πίνακας 3-10: Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας NCS

	NCS Πληροφορία					
	$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$
<b><math>P</math></b>	150	100	50	80	190	60
<b><math>Tr</math> (sec)</b>	10	30	240	60	5	180
<b><math>Ts</math> (sec)</b>	1	1	1	1	6	1
<b><math>Tresp</math> (sec)</b>	0.9	2.1	1	0.5	1.2	1.2
<b><math>F</math> (%)</b>	100	100	100	100	100	100
<b><math>U</math> για τον I</b>	0.742	0.376	-	-	0.791	-
<b><math>U</math> για τον II</b>	0.862	0.736	0.578	0.864	0.851	0.638

Ο πάροχος της υπηρεσίας προσδιορίζει τα εξής βάρη για την ανάκτηση των πληροφοριών σύνδεσης:  $PWV = \{0, 0.05, 0.4, 0.4, 0.15\}$ . Όπως είναι προφανές, το βάρος που αντιστοιχεί στην ακρίβεια είναι μηδενικό. Τα βάρη που αναφέρονται στα χρονικά χαρακτηριστικά της πληροφορίας είναι πιο σημαντικά. Ωστόσο, το βάρος της επικαιρότητας είναι μικρότερο από τα υπόλοιπα, επειδή η συγκεκριμένη πληροφορία παραδίδεται όταν παρατηρηθεί κάποια αλλαγή, και άρα η ανανεωμένη τιμή παραδίδεται αμέσως μόλις παραχθεί.

Για τη συγκεκριμένη υπηρεσία, θεωρούνται δύο χρήστες: Χρήστης I και Χρήστης II. Ο Χρήστης I συμμετέχει σε μια πολύ σημαντική βίντεο-συνδιάσκεψη και επιθυμεί οι προτιμήσεις ποιότητας να εφαρμόζονται αμέσως όταν αλλάζει το δίκτυο πρόσβασης. Αντίθετα, ο Χρήστης II 'σερφάρει' στο διαδίκτυο και δεν ενδιαφέρεται για σύνδεση υψηλής ποιότητας. Οι δύο χρήστες επιλέγουν τα αντίστοιχα προφίλ με βάση τις προτιμήσεις τους. Οι περιορισμοί είναι:  $APV = \{0, 30\}$  για τον Χρήστη I και  $APV = \{0, 300\}$  για τον Χρήστη II. Τα όρια κόστους για τους δύο χρήστες είναι αντίστοιχα  $P_{max} = 170$  και  $P_{max} = 100$ , και ο μέγιστος χρόνος απόκρισης είναι  $T_{max} = 4sec$  και για τους δύο. Ο Πίνακας 3-10 περιλαμβάνει τον υπολογισμό της χρησιμότητας της πληροφορίας σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης πληροφορίας, τη χρονική στιγμή υποβολής των αιτημάτων. Η παραβίαση του περιορισμού (3-15) αποτυπώνεται με το σύμβολο "-" στο αντίστοιχο κελί. Για την πληροφορία που αναφέρεται στις προτιμήσεις των χρηστών δεν υπολογίζεται χρησιμότητα γιατί υπάρχει μόνο ένα αντίγραφο της που είναι αποθηκευμένο στην αντίστοιχη βάση δεδομένων.

Τα δυο είδη πληροφορίας ανακτώνται ανεξάρτητα και επομένως, ανατρέχοντας στη διατύπωση του προβλήματος, ισχύει ο περιορισμός (3-12) ο οποίος αναφέρεται στην παράλληλη ανάκτηση πληροφορίας. Οι διαθέσιμες πηγές πληροφορίας αξιολογούνται και η βέλτιστη επιλογή αποφασίζεται με βάση τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Τα αποτελέσματα είναι: Για τον Χρήστη I, από τα  $I_{11}$ ,  $I_{12}$  και  $I_{15}$  που ικανοποιούν την (3-15), ο αλγόριθμος καταλήγει στην πληροφορία  $I_{11}$ , με την οποία μεγιστοποιείται η χρησιμότητα και ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί ενώ το συνολικό κόστος είναι 170. Επίσης, μεγιστοποίηση της χρησιμότητας επιτυγχάνεται με την  $I_{15}$ , με την οποία όμως παραβιάζεται ο περιορισμός (3-10). Για τον Χρήστη II, κάθε τύπος πληροφορίας είναι εφικτή λύση ως προς τον περιορισμό (3-15). Ο αλγόριθμος αποφασίζει ότι η βέλτιστη επιλογή είναι  $I_{14}$  με χρησιμότητα 0,864 και κόστος 100.

Περίπου 5 λεπτά μετά την εκτέλεση την υπηρεσίας, όταν  $T_{current} = 310sec$ , η υπηρεσία NCS σταματά να παρέχει το επίπεδο ποιότητας που αντιστοιχεί στο  $I_{14}$ . Η CME παρακολουθεί τη διακίνηση της πληροφορίας, εντοπίζει το γεγονός ότι η  $I_{14}$  δεν είναι πλέον διαθέσιμη και ενεργοποιεί εκ νέου τη διαδικασία αξιολόγησης των πηγών εκ μέρους του Χρήστη II. Τα νέα επίπεδα ποιότητας και η αντίστοιχη χρησιμότητα απεικονίζονται στον πίνακα: Πίνακας 3-11.

**Πίνακας 3-11:** Ανανεωμένα Χαρακτηριστικά Ποιότητας Πληροφορίας NCS

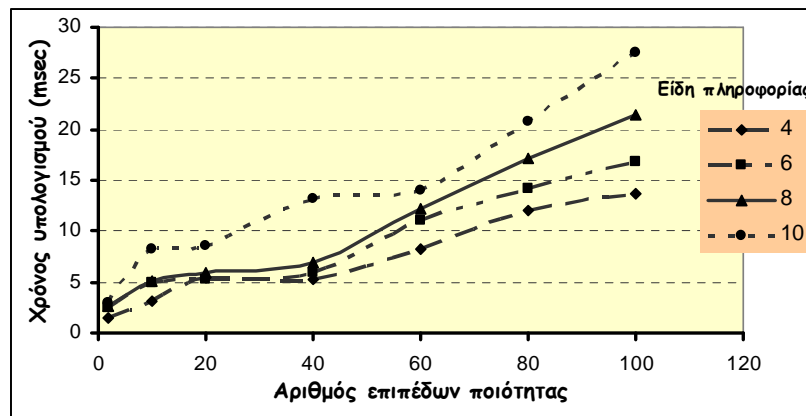
	<i>NCS Information</i>					
	$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$	$I_{16}$
<b><i>Tr</i></b> (sec)	10	30	240	X	5	180
<b><i>Ts</i></b> (sec)	301	301	241	X	306	181
<b><i>Tresp</i></b> (sec)	0.9	2.1	1	X	1.2	6.2
<b><i>F</i></b> (%)	100	100	100	X	100	50
<b><i>U</i></b> για τον <b><i>B</i></b>	0.847	0.731	0.565	X	0.821	0.528

Εκτελώντας τον αλγόριθμο επιλογής με τα νέα δεδομένα προκύπτει ότι οι λεπτομέρειες δικτύου για τον Χρήστη II είναι προτιμότερο να ανακτηθούν από  $I_{13}$ . Η  $I_{16}$  δεν επιλέγεται διότι ο χρόνος απόκρισης έχει αυξηθεί και η αξιοπιστία έχει γίνει 50% για τα δεδομένα αυτά.

### 3.6.4. Χρόνος Υπολογισμού

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.5.3 σχετικά με το χρόνο υπολογισμού του προτεινόμενου αλγορίθμου επιλογής υπολογίστηκαν για τα τυπικά προβλήματα MMKP. Ωστόσο, για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμού για προβλήματα επιλογής πληροφορίας περιβάλλοντος. Ειδικότερα εκτελέστηκε ο αλγόριθμος MVRC για την επιλογή της ζητούμενης πληροφορίας από {4,6,8,10} είδη πληροφορίας και {2,10,20,40,60,80,100} επίπεδα ποιότητας και καταγράφηκε ο χρόνος εκτέλεσης του [82]. Το περιβάλλον εκτέλεσης είναι ίδιο με πριν. Για

κάθε μέγεθος προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν 10 τυχαία προβλήματα και υπολογίστηκε η μέση τιμή του χρόνου υπολογισμού τους. Τα προβλήματα δημιουργήθηκαν ακολουθώντας κοινό πρότυπο, σύμφωνα με το οποίο το κόστος κάθε πληροφορίας είναι αντιστρόφως ανάλογο του χρόνου ανανέωσης της και της ακρίβειας της, ενώ η χρησιμότητα υπολογίζεται με βάση το μοντέλο αξιολόγησης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-31. Από τα διαγράμματα προκύπτει η αύξηση του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου με την αύξηση του αριθμού των ζητούμενων ειδών πληροφορίας και των διαθέσιμων επιπέδων ποιότητας.



Σχήμα 3-31: Χρόνος Υπολογισμού του Προτεινόμενου Αλγορίθμου Επιλογής

### 3.7. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κεφάλαιο αυτό ασχολήθηκε με το πρόβλημα επιλογής της πληροφορίας που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος. Η προτεινόμενη προσέγγιση αξιολογεί την ωφέλεια από τη χρήση της διαθέσιμης πληροφορίας ως προς την ποιότητα της, χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση χρησιμότητας. Η συμπεριφορά των πηγών πληροφορίας ελέγχεται καθ' όλη τη διάρκεια παροχής πληροφορίας και εκτιμάται αντίστοιχα η αξιοπιστία τους. Επίσης, κατάλληλοι μηχανισμοί παρακολούθησης επιτρέπουν την αυτόνομη προσαρμογή στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Συνεκτιμώντας τις απαιτήσεις των χρηστών και των υπηρεσιών, μοντελοποιήθηκε το μελετώμενο πρόβλημα ως πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο ζητείται η μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας της χρησιμοποιούμενης πληροφορίας και η ικανοποίηση των περιορισμών κόστους και χρόνου απόκρισης. Ο προτεινόμενος μηχανισμός επιλογής πληροφορίας εφαρμόστηκε σε δύο παραδείγματα υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος.

Από την μαθηματική περιγραφή του προβλήματος προέκυψε ότι ανάγεται στην παραλλαγή του γνωστού NP-hard Προβλήματος Σακιδίου MMKP. Για την επίλυση του προτάθηκε ο MVRC, ένας νέος ευριστικός αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου. Με τη χρήση προσομοιώσεων συγκρίθηκε η απόδοση του σε σχέση με τον HEU και τον εξαντλητικό για προβλήματα διαφορετικών μεγεθών. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν ότι ο MVRC καταλήγει σε πολύ καλές λύσεις σε λιγότερο χρόνο, γεγονός, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις που απαιτείται η γρήγορη λήψη αποφάσεων, όπως αυτή που μελετάται. Επίσης, καθώς το μέγεθος των προβλημάτων αυξάνεται, ο ρυθμός αύξησης του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου τείνει να παραμένει σταθερός.

Ένα πιθανό σημείο επέκτασης της παρούσας μελέτης σχετίζεται με την αναβάθμιση του μοντέλου ελέγχου αξιοπιστίας των πηγών πληροφορίας. Ειδικότερα, θα ήταν χρήσιμο να αναπτυχθεί ένας ευφύστερος τρόπος υπολογισμού της αξιοπιστίας των πηγών, που θα βασίζεται σε μοντέλα μάθησης και θα επιτρέπει τους διασταυρούμενους ελέγχους των δεδομένων που παρέχονται από τις εναλλακτικές πηγές πληροφορίας. Επίσης, επειδή όλες οι υπηρεσίες δεν υπάγονται στο σειριακό ή το παράλληλο μοντέλο ανάκτησης πληροφορίας περιβάλλοντος αλλά σε πολυπλοκότερα σύμφωνα με τα οποία η πληροφορία που θα ζητηθεί δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή, αλλά προκύπτει κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας, απαιτείται η γενίκευση του προβλήματος. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να οριστούν οι αντίστοιχες πιθανότητες ζήτησης κάθε πληροφορίας κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας, ώστε να υπολογιστεί ανάλογα η συνολική χρησιμότητα της πληροφορίας και οι περιορισμοί χρόνου και κόστους.

Επίσης, στην παρούσα προσέγγιση του προβλήματος έχει γίνει η υπόθεση ότι η περιγραφή των προτιμήσεων του χρήστη με μετρήσιμα μεγέθη, τα οποία προσδιορίζουν το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας και τις απαιτήσεις σε ποιότητα πληροφορίας, είναι εκ των προτέρων γνωστή κατά την εγγραφή του χρήστη στην υπηρεσία. Στην πραγματικότητα αυτό αποτελεί ένα ξεχωριστό πρόβλημα με δεδομένα εισόδου την παρελθοντική εμπειρία του χρήστη από τη συγκεκριμένη υπηρεσία καθώς και την αντίστοιχη εμπειρία άλλων χρηστών, το οποίο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και χρησιμότητα. Επιπλέον, είναι χρήσιμη η ανάπτυξη ενός πιο πραγματικού μοντέλου υπολογισμού της χρησιμότητας της πληροφορίας καθώς η ικανοποίηση των χρηστών σπάνια είναι γραμμική συνάρτηση της ποιότητας, όπως ορίστηκε στο κεφάλαιο αυτό, αλλά έχει τη μορφή καμπύλης που μοιάζει με τη λογαριθμική συνάρτηση. Επομένως, η ανάπτυξη κατάλληλου μοντέλου προσδιορισμού των προτιμήσεων του χρήστη και η συνάρτηση χρησιμότητα περιλαμβάνονται στα σχέδια για μελλοντική μελέτη.



Τέλος, πιθανή επέκταση της παρούσας μελέτης αποτελεί η εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής στα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών. Όπως αναφέρθηκε, τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών χρησιμοποιούν τεχνικές επιλογής υπηρεσιών που βασίζονται στο απλό ταίριασμα των περιγραφών ή των παραμέτρων των υπηρεσιών με τα ζητούμενα χαρακτηριστικά. Ένας πιο αυτοματοποιημένος τρόπος επιλογής όπως ο προτεινόμενος θα βελτίωνε την απόδοση τους.

### 3.8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] F. Meneses, “Context Management for Heterogeneous Administrative Domains”, *Advances in Pervasive Computing*, A Collection of Contributions Presented at the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE’04), 18-23 April 2004, Linz/Vienna, Austria, ISBN: 3-85403-176-9, Publisher: Austrian Computer Society.
- [2] S. Xynogalas, M. Chantzara, I. Sygkouna, S. Vrontis, I. Roussaki, and M. Anagnostou, “Context Management for the Provision of Adaptive Services to Roaming Users”, *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 11, No. 2, pp. 40-47, Publisher: IEEE Communications Society, April 2004.
- [3] K. Henriksen, and J. Indulska, “Modelling and Using Imperfect Context Information”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom’04), Workshop on Context Modelling and Reasoning (CoMoRea’04)*, 14-17 March 2004, Toronto, Canada, ISBN: 0-7695-2106-1, pp. 33-38, Publisher: IEEE Computer Society Press.
- [4] T. Buchholz, A. Küpper, and M. Schiffers, “Quality of Context: What It Is and Why We Need It”, *Proceedings of the 2003 Workshop of the HP OPenView University Association (HPOVUA’03)*, 6-9 July 2003, Geneva, Switzerland.
- [5] A. Karmouch, R. Giaffreda, A. Jonsson, A. Galis, M. Smirnov, R. Glitho, and A. Karlsson, “Context Management Architecture for Ambient Networks”, *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Wireless World Research Forum (WWRF)*, 4-5 November 2004, Toronto, Canada.
- [6] P. Ferguson, and G. Huston, “*Quality of Service: Delivering QoS in the Internet and the Corporate Network*”, New York, ISBN: 0-471-24358-2, p. 288, Publisher: Wiley Computer Books, February 1998.
- [7] M. Papazoglou, and D. Georgakopoulos, “Introduction”, *Communications of the ACM, Special Section: Service-oriented computing*, ISSN: 0001-0782, Vol. 46, No. 10, pp. 24-28, Publisher: ACM Press, October 2003.
- [8] K. Henriksen, and J. Indulska, “Personalising Context-Aware Applications”. *Proceedings of the OnTheMove (OTM) 2005 Workshop on Context-Aware Mobile Systems (CAMS’05)*, 30-31 October 2005, Agia Napa, Cyprus, Lecture Notes in Computer Science, ISBN 3-540-29739-1, Vol. 3762, pp. 122-131, Publisher: Springer.
- [9] H. Hegering, A. Kupper, C. Linnhoff-Popien, and H. Reiser, “Management Challenges of Context-Aware Services in Ubiquitous Environments”, *Proceedings of the 14<sup>th</sup> IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM’03)*, 20-22 October 2003, Heidelberg, Germany, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-20314-1, Vol. 2867, pp. 246-259, Publisher: Springer, October 2003.

- [10] M. Krause, and I. Hochstatter, “Challenges in Modelling and Using Quality of Context (QoC)”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International IEEE/IFIP Workshop on Mobility Aware Technologies and Applications (MATA’05)*, 17-19 October 2005, Montreal, Canada, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN 3-540-29410-4, Vol. 3744, pp. 324-333, Publisher: Springer.
- [11] M. Chantzara, and M. Anagnostou, “Designing the Context Matching Engine for Evaluating and Selecting Context Information Sources”, *2<sup>nd</sup> International Workshop on Modeling and Retrieval of Context (MRC’05) - Revised Selected Papers*, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI), ISBN: 3-540-33587-0, Vol. 3946, pp.101-117, Publisher: Springer, 2006.
- [12] CONTEXT: Active Creation, Delivery and Management of efficient Context Aware Services, IST-2001-38142- CONTEXT, <http://context.upc.es>.
- [13] A. Motro, and I. Rakov, “Not all answers are equally good: Estimating the quality of database answers”, *Flexible Answering Systems*, Editors: T. Andreassen, H. Christiansen, and H.L. Larsen, pp. 1-21, Publisher: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [14] R. Wang, V. Storey, and C. Firth, “A Framework for Analysis of Data Quality Research”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 7, No. 4, pp. 623-640, Publisher: IEEE Computer Society, August 1995.
- [15] L. Pipino, Y. Lee, and R. Wang, “Data Quality Assessment”, *Communications of the ACM*, ISSN: 0001-0782, Vol. 45, No. 4, pp. 211-218, Publisher: ACM Press, April 2002.
- [16] R. Wang, M. Reddy, and H. Kon, “Toward Quality Data: An Attribute-Based Approach”, *Journal of Decision Support Systems*, Special Issue on Information Technologies and Systems, ISSN: 0167-9236, Vol. 13, No. 3-4, pp. 349-372, Publisher: Elsevier Science Publishers B. V., March 1995.
- [17] M. Razzaque, S. Dobson, and P. Nixon, “Categorisation and Modelling of Quality in Context Information”, *Proceedings of the IJCAI’05 Workshop on AI and Autonomic Communications*, 30 July - 1 August 2005, Edinburgh, UK.
- [18] A. Salden, I. Widya, and B. Van Beijnum, “Quality of Context Modelling: A prerequisite for viable ad-hoc context-aware service provisioning”, Deliverable 2.9, Dutch National Research Program: Awareness/ Freeband Communication, <http://awareness.freeband.nl>, December 2004.
- [19] F. Fuchs, I. Hochstatter, M. Krause, and M. Berger, “A Meta-Model Approach to Context Information”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, Workshop on Context Modeling and Reasoning (CoMoRea’05), 12 March 2005, Hawaii, USA, ISBN: 0-7695-2300-5, pp. 8-14, Publisher: IEEE Computer Society.
- [20] P. Gray, and D. Salber, “Modelling and Using Sensed Context Information in the Design of Interactive Applications”, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction (EHCI’01)*, 11-13 May 2001, Toronto, Canada, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-43044-X, Vol. 2254, pp. 317-336, Publisher: Springer.
- [21] A. Schmidt, K.A. Aidoo, A. Takaluoma, U. Tuomela, K. Van Laerhoven, and W. Van de Velde, “Advanced Interaction in Context”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC’99)*, 27-29 September 1999, Karlsruhe, Germany Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-66550-1, Vol. 1707, pp. 89-101, Publisher: Springer.
- [22] H. Lei, D. Sow, J. Davis, G. Banavar, and M. Ebling, “The Design and Applications of a Context Service”, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, ISSN: 1559-1662, Vol. 6, No. 4, pp. 45-55, Publisher: ACM Press, October 2002.
- [23] P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and R. Muntz, “A Probabilistic Room Location Service for Wireless Networked Environments”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on*

- Ubiquitous Computing (UbiComp'01)*, 30 September - 2 October 2001, Atlanta, Georgia, USA, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISSN: 0302-9743, Vol. 2201, pp. 18-34, Publisher: Springer.
- [24] G. Judd, and P. Steenkiste, “Providing Contextual Information to Pervasive Computing Applications”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03)*, 23-26 March 2003, Dallas-Fort Worth, Texas, USA, ISBN: 0-7695-1893-1, pp. 133-142.
- [25] K. Henriksen, J. Indulska, and A. Rakotonirainy, “Modeling Context Information in Pervasive Computing Systems”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Pervasive Computing (PERVASIVE'02)*, 26-28 August 2002, Zurich, Switzerland, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-44060-7, Vol. 2414, pp. 169-180, Publisher: Springer.
- [26] N. Honle, U.-P. Kappeler, D. Nicklas, T. Schwarz, and M. Grossmann, “Benefits of Integrating Meta Data into a Context Model”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Workshop on Context Modeling and Reasoning (CoMoRea'05)*, 12 March 2005, Hawaii, USA, ISBN: 0-7695-2300-5, pp. 25- 29, Publisher: IEEE Computer Society.
- [27] T. Gu, X.H. Wang, H.K. Pung, and D.Q. Zhang, “An Ontology-based Context Model in Intelligent Environments”, *Proceedings of the 2004 Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference (CNDS'04)*, 18-21 January 2004, San Diego, California, USA.
- [28] T. Strang, C. Linnhoff-Popien, and K. Frank, “CoOL: A Context Ontology Language to Enable Contextual Interoperability”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> IFIP International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS'03)*, 17-21 November 2003, Paris, France, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-20529-6, Vol. 2893, pp. 236-247, Publisher : Springer.
- [29] Object Management Group (OMG), “Common Object Request Broker Architecture (CORBA): Core Specification”, March 2002, <http://www.omg.org/docs/formal/04-03-12.pdf>.
- [30] D. Booth, H. Haas, F. McCabe, E. Newcomer, M. Champion, C. Ferris, and D. Orchard, “Web Services Architecture”, W3C Working Group Note, February 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>.
- [31] UDDI Specification, OASIS standard, <http://uddi.org/specification.html>.
- [32] M. Gudgin, M. Hadley, N. Mendelsohn, J.-J. Moreau, and H. F. Nielsen, “SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework”, W3C Recommendation, June 2003, <http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part1-20030624/>.
- [33] R. Chinnici, M. Gudgin, J-J Moreau, J. Schlimmer, and S. Weerawarana, “Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0”, W3C Working Draft, August 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/WD-wsd120-20040803/wsd120.pdf>.
- [34] S. Ran, “A Model for Web Services Discovery with QoS”, *ACM SIGecom Exchanges*, ISSN: 1551-9031, Vol. 4, No. 1, pp. 1-10, Publisher: ACM Press, March 2003.
- [35] W. Keith Edwards, “Discovery Systems in Ubiquitous Computing”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 5, No. 2, pp. 70-77, Publisher: Computer Society, April 2006.
- [36] Sun Microsystems, “Jini technology architectural overview”, 1999, <http://www.sun.com/jini/whitepapers/architecture.pdf>.
- [37] Sun Developer Network, Java Technology, <http://java.sun.com/>.
- [38] UPnP Forum, “Understanding Universal Plug and Play: A white paper”, 2000, [http://upnp.org/download/UPNP\\_UnderstandingUPNP.doc](http://upnp.org/download/UPNP_UnderstandingUPNP.doc).

- [39] T. Bray, J. Paoli, C. Sperberg-McQueen, E. Maler, F. Yergeau, and J. Cowan, “XML 1.1 (Second Edition)”, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml-20060816/August2006>.
- [40] Salutation Consortium, Salutation Architecture Specification, 1999.
- [41] E. Guttman, and C. Perkins, “Service Location Protocol”, Version 2, RFC2608, 1999. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2608.txt>.
- [42] Apple, [http://images.apple.com/macosx/pdf/MacOSX\\_Bonjour\\_TB.pdf](http://images.apple.com/macosx/pdf/MacOSX_Bonjour_TB.pdf).
- [43] IETF Zeroconf working group, [www.zeroconf.org](http://www.zeroconf.org).
- [44] S. Czerwinski, B. Zhao, T. Hodes, A. Joseph, and R. Katz, “An architecture for a Secure Service Discovery Service”, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom’99)*, 17-19 August 1999, Seattle, Washington, USA, ISBN: 1-58113-142-9, pp. 24-35, Publisher: ACM Press.
- [45] W. Adjie-Winoto, E. Schwartz, H. Balakrishnan, and J. Lilley, “The Design and Implementation of an Intentional Naming System”, *Proceedings of the 17<sup>th</sup> ACM Symposium on Operating Systems Principles*, 12-15 December 1999, Kiawah Island Resort, SC, USA ISBN: 1-58113-140-2, pp. 186-201, Publisher: ACM Press.
- [46] M. Balazinska, H. Balakrishnan, and D. Karger, “INS/Twine: A Scalable Peer-to-Peer Architecture for Intentional Resource Discovery”, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Pervasive Computing (PerCom’02)*, 23-26 August 2002, Dallas-Fort Worth Metroplex, Texas, USA, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-44060-7, Vol. 2414, pp. 195-210, Publisher: Springer.
- [47] M. Nidd, “Service Discovery in DEAPspace”, *IEEE Personal Communications*, ISSN: 1070-9916, Vol. 8, No. 4, pp. 39-45, Publisher: IEEE Communications Society, August 2001.
- [48] Bluetooth Special Interest Group, “Specification of the Bluetooth System”, February 2003.
- [49] B. Miller, “Mapping Salutation Architecture APIs to Bluetooth Service Discovery Layer, Version 1.0”, white paper, 1999, <http://citeseer.ist.psu.edu/251752.html>.
- [50] M. Uschold, and M. Gruninger, “Ontologies: Principles, Methods and Applications”, *Knowledge Engineering Review*, ISSN: 0269-8889, Vol. 11, No. 2, pp. 93-155, Publisher: Cambridge University Press, 1996.
- [51] D. Chakraborty, A. Joshi, Y. Yesha, and T. Finn, “Toward Distributed Service Discovery in Pervasive Computing Environments”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, ISSN: 1536-1233, Vol. 5, No. 2, pp. 97-112, Publisher: IEEE Computer Society, February 2006.
- [52] F. Zhu, M. Mutka, and L. Ni, “Service Discovery in Pervasive Computing Environments”, *IEEE Pervasive Computing*, ISSN: 1536-1268, Vol. 4, No. 4, pp. 81-90, Publisher: IEEE Computer Society, October-December 2005.
- [53] N. Cohen, P. Castro, and A. Misra, “Descriptive Naming of Context Data Providers”, *Proceedings of 5<sup>th</sup> International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT’05)*, 5-8 July 2005, Paris, France, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-26924-X, Vol. 3554, Publisher: Springer.
- [54] S. Amer-Yahia, C. Botev, S. Buxton, P. Case, J. Doerre, M. Holstege, D. McBeath, M. Rys, and J. Shanmugasundaram, “XQuery 1.0 and XPath 2.0 Full-Text”, W3C Working Draft, May 2006, <http://www.w3.org/TR/xquery-full-text/>.
- [55] G. Chen, “Solar: Building a Context Fusion Network for Pervasive Computing”, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science and Electrical Engineering Dartmouth College, August 2004.
- [56] M. Brenner, and M. Schiffers, “Applying Web Services Technologies to the Management of Context Provisioning”, *Proceedings of the 2003 Workshop of the HP OpenView University Association (HPOVUA’03)*, 6-9 July 2003, Geneva, Switzerland.

- [57] T. Gu, H.K. Pung, and D.Q. Zhang, “A Middleware for Building Context-Aware Mobile Services”, *Proceedings of the 59<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference (VTC’04-Spring)*, 17-19 May 2004, Milan, Italy, ISSN: 1550-2252, Vol. 5, pp. 2969-2973, Publisher: IEEE Vehicular Technology Society.
- [58] H. Chen, T. Finin, and A. Joshi, “Using OWL in a Pervasive Computing Broker”, *Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems (OAS’03)*, In association with the 2<sup>nd</sup> International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS’03), 15 July 2003, Melbourne, Australia, CEUR Workshop Proceedings, Vol. 73, online <http://CEUR-WS.org/Vol-73/>.
- [59] C. Chin, D. Zhang, and M.Gurusamy, “Orion: P2P-based Inter-Space Context Discovery Platform”, *Proceedings of the the 2<sup>nd</sup> Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous’05)*, 17-21 July 2005, San Diego, California, USA, ISBN: 0-7695-2375-7, pp. 490-493, Publisher: IEEE Computer Society.
- [60] M. Khedr, and A. Karmouch, “Negotiating Context Information in Context-Aware Systems”, *IEEE Intelligent Systems*, ISSN: 1541-1672, Vol. 19, No. 6, pp. 21-29, Publisher: IEEE Computer Society, November/December 2004.
- [61] A. Dey, and J. Mankoff, “Designing Mediation for Context-Aware Applications”, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, ISSN: 1073-0516, Vol. 12, No. 1, pp. 53-80, Publisher ACM Press, March 2005.
- [62] M. Huebscher, and J. McCann, “Adaptive Middleware for Context-Aware Applications in Smart-Homes”, *Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing*, 18-22 October 2004, Toronto, Canada, ACM International Conference Proceeding Series, ISBN: 1-58113-951-9, Vol. 77, pp. 111-116, Publisher: ACM Press.
- [63] M. Huebscher, and J. McCann, “A Learning Model For Trustworthiness Of Context-Awareness Services”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom’05)*, 8-12 March 2005, Kauai, Hawaii, USA, ISBN: 0-7695-2300-5, pp. 120 - 124, Publisher: IEEE Computer Society.
- [64] A. Papoulis, “Bayes’ Theorem in Statistics” and “Bayes’ Theorem in Statistics (Reexamined)”, Chapters: 3-5 and 4-4 in *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, 2<sup>nd</sup> edition, pp. 38-39, 78-81, and 112-114, Publisher: McGraw-Hill/New York, 1984.
- [65] M. Chantzara, and M. Anagnostou, “User-Sensitive and Quality-Driven Discovery of Context Information for the Successful Delivery of Context-Aware services”, *International Journal of Pervasive Computing and Communications (JPCC), Special issue on ‘Pervasive Management’*, ISSN: 1742-7371 (print), 1742-738X (online), Vol. 2, No. 3, pp. 219-228, Publisher: Troubador Publishing Ltd, September 2006.
- [66] W.J. Doll, and G. Torkzadeh, “The Measurement of End-User Computing Satisfaction: Theoretical and Methodological Issues”, *MIS Quarterly*, ISSN: 02767783, Vol. 15, No. 1, pp. 5-10, Publisher: Management Information Systems Research Center, University of Minnesota, March 1991.
- [67] H. Kellerer, U. Pferschy, and D. Pisinger, “*Knapsack Problems*”, ISBN 3-540-40286-1, p. 546, Publisher: Springer, 2004.
- [68] M. Chantzara, and M. Anagnostou, “MVRHC Heuristic for Solving the Multi-Choice Multi-Constraint Knapsack Problem”, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference of Computational Science (ICCS’06)*, 28-31 May 2006, University of Reading, UK, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-34379-2, Vol. 3991, Part I, pp. 579-587, Publisher: Springer.
- [69] S. Khan, K. Li, E. Manning, and M. Akbar, “Solving the Knapsack Problem for Adaptive Multimedia Systems”, *Studia Informatica Universalis, Special Issue on Combinatorial Problems*, ISBN 2-912590-13-2, Vol. 2. No. 1, pp. 157-178, Publisher: Editions SUGER, 2002.

- [70] S. Martello, and P. Toth, “*Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*”, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, ISBN: 0-471-92420-2, Publisher: John Wiley & Sons Inc., 1990.
- [71] D. Pisinger, “Algorithms for Knapsack Problems”, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science (DIKU), University of Copenhagen, 1995.
- [72] S. Khan, “Quality Adaptation in a Multi-Session Adaptive Multimedia System: Model, Algorithms and Architecture”, Ph.D. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Victoria, 1998.
- [73] M. Moser, D. Jokanovic, and N. Shiratori, “An Algorithm for the Multidimensional Multiple-Choice Knapsack Problem”, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. 80, No. 3, pp. 582-589, Publisher: Oxford University Press, 1997.
- [74] Y. Toyoda, “A Simplified Algorithm for Obtaining Approximate Solutions to Zero-one Programming Problems”, *Management Science*, ISSN: 00251909, Vol. 21, No. 12, pp. 1417-1427, Publisher: INFORMS, August 1975.
- [75] M. Akbar, M. Rahman, M. Kaykobad, E. Manning, and G. Shoja, “Solving the Multidimensional Multiple-choice Knapsack Problem by Constructing Convex Hulls”, *Computers & Operations Research*, ISSN: 0305-0548, Vol. 33, No. 5, pp. 1259-1273, Publisher: Elsevier Science Ltd., May 2006.
- [76] T. Yu, and K.-J. Lin, “Service Selection Algorithms for Composing Complex Services with Multiple QoS Constraints”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC’05)*, 12-15 December 2005, Amsterdam, The Netherlands Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 3-540-30817-2, Vol. 3826, Publisher: Springer.
- [77] M. Hifi, M. Micrafy, and A. Sbihi, “Heuristic Algorithms for the Multiple-choice Multidimensional Knapsack Problem”, *Journal of the Operational Research Society*, ISSN: 0160-5682, Vol. 55, pp. 1323-1332, Publisher: Palgrave Macmillan Ltd, December 2004.
- [78] R. Parra-Hernandez, and N. Dimopoulos, “A New Heuristic for Solving the Multichoice Multidimensional Knapsack Problem”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, ISSN: 1083-4427, Vol. 35, No. 5, pp. 708-717, Publisher: IEEE Press, September 2005.
- [79] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein, “*Introduction to Algorithms*”, Second Edition, ISBN: 0-262-03293-7, Section 7.8: Quicksort, pp. 153-171, Publisher: MIT Press and McGraw-Hill, September 2001.
- [80] D. Pisinger, “Where are the hard knapsack problems?”, *Computers and Operations Research*, ISSN: 0305-0548, Vol. 32, No. 9, pp. 2271-2284, Publisher: Elsevier Science, September 2005.
- [81] M. Chantzara, and M. Anagnostou, “Evaluation and Selection of Context Information”, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Modeling and Retrieval of Context (MRC’05)*, 31 July - 1 August 2005, Edinburgh, UK, CEUR Workshop Proceedings, ISSN: 1613-0073, July/August 2005, online [CEUR-WS.org/Vol-146/paper7.pdf](http://www.ceauro.org/Vol-146/paper7.pdf).
- [82] M. Chantzara, M. Anagnostou, and E. Sykas, “Designing a Quality-Aware Discovery Mechanism for Acquiring Context Information”, *Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA’06)*, 18-20 April, Vienna, Austria, ISBN: 0-7695-2466-4, Vol. I, pp. 211-216, Publisher: IEEE Computer Society.
- [83] IST-CONTEXT Consortium, “Deliverable 3.2: Design and Implementation of Components for the Proof of Concept of Provisioning and Management of Context-Aware Services”, <http://context.upc.es/Deliverables/CONTEXT-WP3-D3.2-Final.doc>.

- [84] IETF Network Working Group, “IP Mobility Support for IPv4”,  
<http://tools.ietf.org/html/rfc3344>.





---

ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ  
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

---



## 4. ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις βασικές προκλήσεις κατά την παροχή των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι η διακίνηση των δεδομένων του περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Ειδικότερα, προκειμένου να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένα μεγάλης κλίμακας σύστημα διανομής πληροφορίας, όπου πολλές πηγές πληροφοριών και υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος αντίστοιχα παρέχουν δεδομένα και υποβάλουν αιτήματα για ανάκτηση δεδομένων, πρέπει να αναπτυχθούν κατάλληλες μέθοδοι οι οποίες θα εξασφαλίζουν την εξυπηρέτηση των αιτημάτων εντός των χρονικών προθεσμιών καθώς και τη φρεσκάδα (freshness) των δεδομένων που διακινούνται [1]. Είναι γεγονός ότι η μη έγκυρη απόκριση στα αιτήματα για πληροφορία αλλά και η χρήση παλαιών (ληγμένων) δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις ή δράσεις εκ μέρους των υπηρεσιών [2]. Ωστόσο, η υπολογιστική σε πραγματικό χρόνο δεν πρέπει να συγχέεται με την γρήγορη υπολογιστική καθώς η πρώτη στοχεύει στην ικανοποίηση των χρονικών απαιτήσεων κάθε εργασίας [3]. Δεν αρκεί η γρήγορη απόκριση στα αιτήματα για πληροφορία αλλά απαιτείται συγχρονισμός ώστε να καλυφθούν οι χρονικές απαιτήσεις των δεδομένων και των υπηρεσιών.

Το κεφάλαιο αυτό μελετά τη διακίνηση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή την ικανοποίηση των χρονικών προθεσμιών των αιτημάτων που υποβάλλονται από τις πηγές πληροφορίας και τους χρήστες, στα πλαίσια του συστήματος διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος το οποίο αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα CONTEXT [4] και περιγράφεται στην ενότητα 2.4.2 της παρούσας διατριβής. Ειδικότερα, το παρόν κεφάλαιο μελετά το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται από τις πηγές για ανανέωση των δεδομένων τους και των αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας, εξετάζοντας τις χρονικές απαιτήσεις και τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος. Οι προθεσμίες των αιτημάτων για ανανέωση της πληροφορίας και οι προθεσμίες των αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας ισούνται με τον χρόνο ζωής των δεδομένων που αντίστοιχα παραδίδονται και ανακτώνται. Η θεώρηση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα δεδομένα που λήγουν προτού παραδοθούν απορρίπτονται, εξασφαλίζει ότι οι πληροφορίες που τελικά χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες είναι χρονικά έγκυρες. Το ζητούμενο του προβλήματος είναι να καθοριστεί η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται

στο μεσισμικό ώστε να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των αιτημάτων ζήτησης πληροφορίας στα οποία αποκρίνεται επιτυχώς, δηλαδή με φρέσκα δεδομένα, και επομένως να μεγιστοποιηθούν τα κέρδη του. Ωστόσο επειδή το σύστημα που μελετάται αποτελείται από καταναμημένους μεσίτες, οι καθυστερήσεις στην απόκριση των αιτημάτων, δηλαδή στην παράδοση των δεδομένων, υφίσταται τόσο κατά την φάση εξυπηρέτησης των αιτημάτων από τους μεσίτες και κατά την μετάδοσή τους στο δίκτυο. Επομένως προκειμένου να εξασφαλιστεί η παροχή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι απαραίτητο να καθοριστεί τόσο η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται σε κάθε μεσίτη όσο και η σειρά μετάδοσης των αιτημάτων στους ενδιαμέσους κόμβους κατά τη διακίνηση τους από τον ένα μεσίτη στον άλλον.

Διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση παρόμοιων ζητημάτων έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια των βάσεων δεδομένων πραγματικού χρόνου (Real-time Databases) [5][6][7], οι οποίες καλούνται να αποθηκεύουν τα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα και να απαντούν στις αιτήσεις για ανάκτηση δεδομένων εντός χρονικών ορίων. Το πρόβλημα διακίνησης πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο έχει ακόμα μελετηθεί τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια νέων τομέων έρευνας όπως τα δίκτυα αισθητήρων και η διαχείριση ροών δεδομένων [8]. Έτσι λοιπόν αρχικά παρουσιάζεται η επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς το πρόβλημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, ορίζονται οι παράμετροι του και διατυπώνεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αφού εξεταστούν οι ιδιαίτερες απαιτήσεις του προβλήματος προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος καθορισμού της σειράς εξυπηρέτησης των αιτημάτων. Στόχος του αλγορίθμου είναι να καταναμηθούν οι πόροι του μεσισμικού με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα αιτήματα που δεν εξυπηρετούνται έγκαιρα και να μεγιστοποιηθεί η φρεσκάδα των δεδομένων που παραδίδονται στις υπηρεσίες. Η απόδοση τους προτεινόμενου αλγορίθμου αξιολογείται υπό διαφορετικές συνθήκες μέσω του προγράμματος προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου είναι δομημένο ως εξής: Στη δεύτερη ενότητα (4.2) παρουσιάζεται η σχετική βιβλιογραφία που αναφέρεται στην παροχή πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο. Ειδικότερα, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο, τα προβλήματα καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης των εργασιών και οι αλγόριθμοι επίλυσης τους, και παρουσιάζονται τα συστήματα παροχής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο. Στην τρίτη ενότητα (4.3) περιγράφεται αυστηρά το πρόβλημα καθορισμού εξυπηρέτησης και διανομής των αιτημάτων παροχής και ανάκτησης πληροφορίας, και στην τέταρτη ενότητα (4.4) παρουσιάζεται αναλυτικά ο προτεινόμενος αλγόριθμος. Στην πέμπτη ενότητα (4.5) περιγράφεται το εργαλείο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε προκειμένου να

αξιολογηθεί η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου, αναλύονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τους. Στην ενότητα έξι (4.6) παρουσιάζεται η σύγκριση της προτεινόμενης προσέγγισης με τα συστήματα της βιβλιογραφίας, Στην έβδομη ενότητα (4.7) παρουσιάζονται η ανακεφαλαίωση και τα συμπεράσματα όσων παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο καθώς και οι προτεινόμενες κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα. Τέλος, στην όγδοη ενότητα (4.8) παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές του κεφαλαίου.

## **4.2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που σχετίζεται με την παροχή πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά, αναλύονται οι βασικές έννοιες και οι προκλήσεις της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο (ενότητα 4.2.1). Στη συνέχεια, η ανάλυση εστιάζει στα προβλήματα καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης εργασιών υπό χρονικούς περιορισμούς και περιορισμούς πόρων, και παρουσιάζονται οι γνωστοί αλγόριθμοι ανάθεσης προτεραιοτήτων (ενότητα 4.2.2). Τέλος, η ενότητα ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των προσεγγίσεων που έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης για την υλοποίηση της παροχής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο (ενότητα 4.2.3).

### **4.2.1. Υπολογιστική σε Πραγματικό Χρόνο**

Στην υπολογιστική σε πραγματικό χρόνο (Real-time Computing) η ορθή λειτουργία των συστημάτων δεν εξαρτάται μόνον από τα λογικά αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιούνται και των ενεργειών που εκτελούνται, αλλά και από τον χρόνο παραγωγής των αποτελεσμάτων [3]. Συνεπώς, όταν οι χρονικές προθεσμίες δεν τηρούνται τα συστήματα θεωρούνται ότι έχουν αποτύχει. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν ζωτικό ρόλο στη σημερινή κοινωνία και καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών, απλών και πολύπλοκων. Παραδείγματα εφαρμογής τους είναι ο έλεγχος των μηχανών αυτοκινήτων, τα συστήματα εντολής και ελέγχου, οι εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας, τα συστήματα ελέγχου πτήσεων, τα ηλεκτρονικά συστήματα αεροσκαφών και διαστημοπλοίων κ.λπ. Ωστόσο, τέτοιου είδους συστήματα έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και η ικανοποίηση των χρονικών περιορισμών τους επιβεβαιώνεται με ειδικές τεχνικές ή με εκτενείς και μεγάλου κόστους προσομοιώσεις. Μικρές αλλαγές στα συστήματα αυτά πολύ συχνά επιβάλλουν επανασχεδιασμό και νέες δοκιμές.

Ο λόγος για τον οποίο η έρευνα σχετικά με τα ζητήματα που αφορούν την υπολογιστική σε πραγματικό χρόνο δεν προσέλκυσε το απαιτούμενο ενδιαφέρον από την ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα οφείλεται σε κάποιες βασικές παρερμηνείες [3]. Αρχικά θεωρήθηκε ότι η πρόοδος στον τομέα των υπέρ-υπολογιστών, με την εκμετάλλευση των παράλληλων και καταναμημένων επεξεργαστών, θα βελτίωνε την απόδοση των συστημάτων. Ωστόσο δεν έγινε σωστή εκτίμηση ως προς το ότι η βελτίωση της απόδοσης δεν συνεπάγεται την ταυτόχρονη επίλυση των ζητήματα συγχρονισμού. Στην πραγματικότητα η εκτέλεση εργασιών και η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο γίνεται όλο και δυσκολότερη όσο περισσότερο υλικό και λογισμικό χρησιμοποιείται. Ένα ακόμη βασικό σημείο παρερμηνείας είναι ότι η υπολογιστική σε πραγματικό χρόνο συγγέεται με το γρήγορο υπολογισμό. Όμως, ενώ ο αντικειμενικός σκοπός της γρήγορης υπολογιστικής είναι να ελαχιστοποιήσει το μέσο χρόνο απόκρισης ενός συνόλου εργασιών, ο στόχος της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο είναι να ικανοποιήσει τις μεμονωμένες απαιτήσεις συγχρονισμού κάθε εργασίας. Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος πραγματικού χρόνου είναι η προβλεψιμότητα. Δηλαδή, όταν μία εργασία ενεργοποιείται, πρέπει να είναι δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου ολοκλήρωσης της εργασίας. Επιπλέον, είναι επιθυμητό να επιτυγχάνονται υψηλά ποσοστά χρησιμοποίησης του συστήματος ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούνται οι χρονικοί περιορισμοί των εργασιών.

Καθώς η τεχνολογία υλικού αναπτύσσεται και οι απαιτήσεις των χρηστών αυξάνονται, τα συστήματα ολοένα αυξάνουν τις χρονικές απαιτήσεις τους. Όμως, για να είναι εφικτή η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας συστημάτων που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια από πολλές πλευρές ανάπτυξης συστημάτων [3], όπως οι εξής:

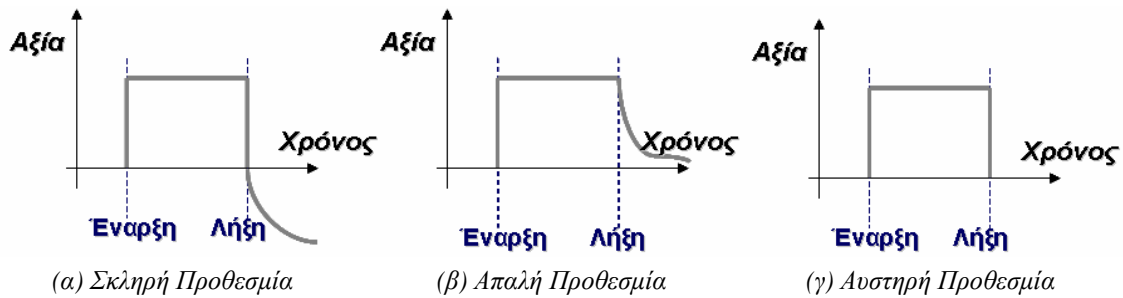
- ♦ **Τεχνικές προσδιορισμού και επιβεβαίωσης** που μπορούν να χειριστούν τις απαιτήσεις των συστημάτων πραγματικού χρόνου στα οποία συμμετέχει ένας μεγάλος αριθμός μονάδων που αλληλεπιδρούν.
- ♦ **Μεθοδολογίες σχεδιασμού** που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνθεση συστημάτων με χρονικές προθεσμίες, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από την αρχή της σχεδίασης των συστημάτων.
- ♦ **Γλώσσες προγραμματισμού** με συγκεκριμένες δομές για να εκφράσουν με σαφή σημασιολογία, τη σχετική με το χρόνο συμπεριφορά των δομικών μονάδων.
- ♦ **Αλγόριθμοι καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης εργασιών** που με δυναμικό τρόπο θα μπορούν να διαχειριστούν πολύπλοκες δομές εργασιών με περιορισμούς πόρων και καθορισμένη σειρά εκτέλεσης.

- ♦ Λειτουργικά συστήματα σχεδιασμένα να συνεργάζονται με το σύστημα διαχείρισης πόρων με γρήγορο και προβλέψιμο τρόπο.
- ♦ Πρωτόκολλα επικοινωνίας για την αποδοτική παράδοση μηνυμάτων με χρονικές προθεσμίες.
- ♦ Αρχιτεκτονικές που θα υποστηρίζουν ανοχή σφαλμάτων, λειτουργικά συστήματα και επικοινωνία με χρονικούς περιορισμούς.

Σε ένα σύστημα που λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο υπάρχει ένα σύνολο συγκεκριμένων εργασιών που ζητείται να εκτελεστούν επαναληπτικά. Κάθε εργασία χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους: τον χρόνο έναρξης, την περίοδο, τον απαιτούμενο χρόνο εκτέλεσης και την χρονική προθεσμία εκτέλεσης. Με βάση το χρονικό διάστημα που επαναλαμβάνεται η εκτέλεση τους, οι εργασίες διακρίνονται σε περιοδικές, μη-περιοδικές και σε σποραδικές. Σε μία περιοδική εργασία, η περίοδος προσδιορίζει το χρονικό διάστημα που ζητείται να εκτελεστεί ξανά η εργασία στο σύστημα. Αντίθετα για μια μη-περιοδική εργασία δεν ορίζεται περίοδος καθώς αυτή εκτελείται ακανόνιστα και σε άγνωστες χρονικές στιγμές. Μία σποραδική εργασία πάλι εκτελείται ακανόνιστα, αλλά ορίζεται ελάχιστος χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών εκτελέσεων της. Πολύ συχνά στην βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται λίγο απρόσεκτα οι ορισμοί των σποραδικών και των μη-περιοδικών εργασιών. Στο εξής θα γίνεται αναφορά σε όλες τις εργασίες όπου οι χρόνοι εκτέλεσης τους είναι άγνωστοι ως εργασίες μη-περιοδικές, ενώ για το αν ορίζεται ή όχι ελάχιστος χρόνος ανάμεσα σε δυο διαδοχικές εκτελέσεις θα γίνεται ξεχωριστή αναφορά. Επίσης, τα συστήματα διακρίνονται με βάση το χρόνο έναρξης των περιοδικών εργασιών, δηλαδή εάν όλες οι εργασίες ζητούνται να εκτελεστούν ταυτόχρονα για πρώτη φορά ή όχι.

Σύμφωνα με την θεωρία της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο, υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη χρονικών προθεσμιών εκτέλεσης των εργασιών: σκληρές προθεσμίες (hard deadlines), απαλές προθεσμίες (soft deadlines) και αυστηρές προθεσμίες (firm deadlines). Σκληρές προθεσμίες είναι αυτές οι οποίες όταν δεν τηρηθούν είναι δυνατόν να προκαλέσουν καταστροφή στο σύστημα (Σχήμα 4-1(α)). Αντίθετα όταν οι απαλές προθεσμίες δεν τηρηθούν, δεν προκαλείται καταστροφή αλλά η ολοκλήρωση εκτέλεσης των αντίστοιχων εργασιών μετά την προθεσμία τους έχει μειωμένη αξία για το σύστημα (Σχήμα 4-1(β)). Ένας ενδιάμεσος τύπος προθεσμιών είναι οι αυστηρές προθεσμίες. Στις εργασίες αυτές, η ολοκλήρωση εκτέλεσης των εργασιών μετά τις προθεσμίες έχει μηδενική αξία (Σχήμα 4-1(γ)). Αντίστοιχα, τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως σκληρά, απαλά ή αυστηρά ανάλογα με το είδος των προθεσμιών των εργασιών που εκτελούν. Το μοντέλο που προτείνεται από τους Jensen, Locke, και Tokuda [9] γενικεύει τους παραπάνω χαρακτηρισμούς χρονικών προθεσμιών, καθώς ορίζει

μία συνάρτηση χρησιμότητας η οποία προσδιορίζει την αξία ολοκλήρωσης εκτέλεσης μιας εργασίας σε κάθε χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, όταν η συνάρτηση χρησιμότητας προσδιορίζει σταθερή αξία πριν την προθεσμία εκτέλεσης της εργασίας και μηδενική αξία μετά από αυτή, η προθεσμία είναι αυστηρή.



Σχήμα 4-1: Προθεσμίες στα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου

Η παροχή πληροφορίας είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα που διακινούνται πρέπει να φτάνουν εγκαίρως στις διάφορες εφαρμογές. Εφαρμογές όπως τα ρομπότ, η ιατρική παρακολούθηση ασθενών, οι εμπορικές συναλλαγές, τα συστήματα του στρατού απαιτούν τη συνεχή και σε πραγματικό χρόνο παροχή δεδομένων, προκειμένου να εκτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες. Για παράδειγμα, εάν το σύστημα που ελέγχει ένα ρομπότ δεν διατάξει εγκαίρως το ρομπότ να σταματήσει ή να στρίψει, το ρομπότ είναι πιθανόν να συγκρουστεί με κάποιο άλλο αντικείμενο. Επίσης, στα συστήματα παρακολούθησης ασθενών, δεδομένα όπως ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση πρέπει να συλλέγονται περιοδικά και τα επίπεδα επικινδυνότητας της υγείας του ασθενούς πρέπει να εντοπίζονται εγκαίρως, εντός της χρονικής προθεσμίας που ορίζεται από την χρονική εγκυρότητα των δεδομένων. Εάν δεν επιτευχθεί αυτό, τα δεδομένα που συλλέγονται δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική κατάσταση της υγείας των ασθενών.

Το πρόβλημα διακίνησης δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές προθεσμίες έχει κυρίως μελετηθεί στα πλαίσια των βάσεων δεδομένων πραγματικού χρόνου, ενώ σημαντική έρευνα έχει γίνει πρόσφατα στον τομέα των λεγόμενων υπηρεσιών δεδομένων πραγματικού χρόνου (real-time data services) που καλύπτουν νέους τομείς όπως τα δίκτυα αισθητήρων, οι κινητές βάσεις δεδομένων, η διακίνηση δεδομένων μέσω διαδικτύου και η διαχείριση ροών δεδομένων [8]. Στα συστήματα αυτά ορίζονται δυο ειδών αιτήματα: τα αιτήματα από τους χρήστες της πληροφορίας κατά τα οποία ζητούνται δεδομένα και τα αιτήματα από τους παραγωγούς πληροφορίας κατά τα οποία παρέχονται τα ανανεωμένα δεδομένα. Ο στόχος είναι να διακινούνται έγκαιρα οι πληροφορίες και να χρησιμοποιούνται δεδομένα που περιγράφουν την πραγματικότητα τη δεδομένη χρονική στιγμή. Δηλαδή, πρέπει να διατηρείται η λογική συνοχή των δεδομένων αλλά και να ικανοποιούνται οι χρονικοί περιορισμοί των αιτημάτων



και τα δεδομένα που διακινούνται να είναι χρονικά έγκυρα. Προτού αναλυθούν τα συστήματα παροχής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, θα παρουσιαστεί η επισκόπηση των προβλημάτων και των αλγορίθμων χρονικού προγραμματισμού εκτέλεσης εργασιών.

#### **4.2.2. Προβλήματα και Αλγόριθμοι Καθορισμού Σειράς Εκτέλεσης Εργασιών**

Η θεωρία χρονικού προγραμματισμού εκτέλεσης εργασιών ενδιαφέρεται για τη βέλτιστη κατανομή των λιγοστών πόρων στις εργασίες κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Τα αντίστοιχα προβλήματα καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης (scheduling problems) υφίσταται σε ποικίλες μορφές. Τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα, όπως περιγράφονται από τους Karger, Stein και Wein [10], είναι τα ακόλουθα:

- ♦ **Παράδειγμα 1:** Έστω το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας ενός υπολογιστή που πρέπει να εκτελέσει ένα σύνολο εργασιών. Το ζητούμενο είναι να καθοριστεί η σειρά με την οποία θα εκτελεστούν οι εργασίες ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο μέσος χρόνος αναμονής των εργασιών στο σύστημα, από το χρόνο άφιξης έως το χρόνο ολοκλήρωσης τους.
- ♦ **Παράδειγμα 2:** Έστω μια ομάδα αστροναυτών που προετοιμάζουν την επιστροφή του διαστημόπλοιου που επιβαίνουν στη γη. Υπάρχει ένα σύνολο εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν από την ομάδα προτού μπει το διαστημόπλοιο στη γήινη ατμόσφαιρα. Κάθε εργασία πρέπει να εκτελεστεί από ένα μοναδικό αστροναύτη, και ορισμένες εργασίες δεν μπορούν να εκτελεστούν προτού άλλες ολοκληρωθούν. Το ζητούμενο είναι να βρεθούν ποιες εργασίες θα εκτελεστούν από κάθε αστροναύτη και με ποια σειρά, έτσι ώστε η εκτέλεση όλων των εργασιών να ολοκληρωθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα.
- ♦ **Παράδειγμα 3:** Έστω ένα εργοστάσιο που παράγει διαφόρων ειδών εξαρτήματα. Κάθε εξάρτημα πρέπει να περάσει από τα μηχανήματα 1, 2 και 3 διαδοχικά. Επίσης, κάθε εξάρτημα απαιτεί διαφορετικό χρόνο επεξεργασίας στο κάθε μηχάνημα. Το εργοστάσιο έχει συγκεκριμένες παραγγελίες για εξαρτήματα με συγκεκριμένη ημερομηνία παράδοσης η καθεμία. Το ζητούμενο είναι να καθοριστεί η σειρά επεξεργασίας των εξαρτημάτων στα μηχανήματα ώστε να παραδοθούν όσο το δυνατόν περισσότερα εξαρτήματα στην ώρα τους.

Γενικότερα, τα προβλήματα καθορισμού της σειράς εκτέλεσης εργασιών αναφέρονται στον καθορισμό του πότε και σε πιο μηχάνημα θα εκτελεστεί κάθε εργασία, ώστε να βελτιστοποιείται η αντικειμενική συνάρτηση και να ικανοποιούνται συγκεκριμένοι περιορισμοί. Ωστόσο, κάθε πρόβλημα καθορισμού σειράς εκτέλεσης εργασιών έχει

διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τις εξής παραμέτρους: τις μηχανές εξυπηρέτησης, το κριτήριο βελτιστοποίησης και τους χρονικούς περιορισμούς. Οι μηχανές εξυπηρέτησης μπορεί να είναι μία (sequencing on one processor), όπως στο πρώτο παράδειγμα, ή περισσότερες που λειτουργούν παράλληλα ή σειριακά (multiprocessor scheduling), όπως στο δεύτερο παράδειγμα. Το κριτήριο βελτιστοποίησης εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι: ο μέγιστος χρόνος εκτέλεσης των εργασιών (makespan), η μέγιστη καθυστέρηση, ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών σταθμισμένος (weighted) ή (non-weighted) με βάση την αξία των εργασιών, ο σταθμισμένος ή μη-σταθμισμένος αριθμός εργασιών που καθυστερούν (tardy tasks), και ο συνολικός σταθμισμένος ή μη-σταθμισμένος χρόνος αργοπορίας (tardiness). Επιπλέον, είναι δυνατόν να υπάρχουν λογικές εξαρτήσεις μεταξύ των εργασιών όπως συμβαίνει στο δεύτερο παράδειγμα. Δηλαδή, η εκκίνηση εκτέλεσης κάθε εργασίας προϋποθέτει ότι κάποια άλλη συγκεκριμένη εργασία έχει ήδη εκτελεστεί. Ο αντίστοιχος όρος που χρησιμοποιείται στην αγγλική γλώσσα είναι 'precedence constraints'. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των προβλημάτων καθορισμού σειράς εκτέλεσης είναι εάν οι εργασίες έχουν συγκεκριμένους χρόνους άφιξης και χρονικές προθεσμίες και επομένως κάθε εργασία είναι διαθέσιμη να εκτελεστεί μετά από συγκεκριμένη χρονική στιγμή και μέχρι κάποια χρονική στιγμή. Μια ακόμη διαφοροποίηση αναφέρεται στο εάν επιτρέπεται η προσωρινή παύση εκτέλεσης μιας εργασίας προκειμένου να εκτελεστεί κάποια εργασία με μεγαλύτερη προτεραιότητα ή η εκτέλεση των εργασιών δεν επιτρέπεται να διακοπεί. Τα συστήματα χαρακτηρίζονται αντίστοιχα ως προεκτοπιστικά (pre-emptive) και μη-προεκτοπιστικά (non-pre-emptive).

Η θεωρία καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης εργασιών έχει μεγάλη σημασία για την καλή λειτουργία των συστημάτων πραγματικού χρόνου. Ωστόσο, όπως επισημαίνεται από τον Stankovic [3] τα προβλήματα καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης στα συστήματα πραγματικού χρόνου είναι διαφορετικά από τα κλασσικά προβλήματα που έχουν μελετηθεί στα πλαίσια των μη ντετερμινιστικών προβλημάτων πολυωνυμικού χρόνου [11]. Τα τελευταία θεωρούν ένα σταθερό σύστημα που έχει αυστηρά προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις και χαρακτηριστικά, και ο αντικειμενικός σκοπός είναι να βρεθεί ένα εφικτό πρόγραμμα εξυπηρέτησης που να βελτιστοποιεί το κριτήριο απόδοσης. Αντίθετα, τα συστήματα υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο απαιτούν την τήρηση των προθεσμιών που θέτουν οι εργασίες, αλλά και το συνολικό πρόγραμμα άφιξης των εργασιών δεν είναι εκ των προτέρων γνωστόν (περίπτωση μη-περιοδικών/σποραδικών εργασιών). Επομένως χαρακτηρίζονται από μεγάλη δυναμικότητα και απαιτούν online αλγόριθμους επίλυσης [12]. Ο στόχος είναι να εκτελεστούν όσο το δυνατόν περισσότερες εργασίες ικανοποιώντας τους χρονικούς περιορισμούς, και οι αλγόριθμοι που

συνήθως χρησιμοποιούνται για το επιτύχουν αυτό βασίζονται σε ευριστικές λύσεις και όχι σε αναλυτική προσέγγιση. Ακόμη, πρέπει να ενσωματώνουν εναλλακτικά σχέδια προγραμματισμού και αντιμετώπισης λαθών.

Επειδή υπάρχουν πολύ πρόσφατες μελέτες που αναλύουν τα κλασσικά προβλήματα καθορισμού της σειράς εξυπηρέτησης των εργασιών, όπως τα βιβλία του Pinedo [13] και του Leung [14] καθώς και τα αντίστοιχα προβλήματα στα πλαίσια των συστημάτων πραγματικού χρόνου, όπως η μελέτη των Sha, Abdelzaher κ.α. [15] στην οποία αναλύονται οι προσεγγίσεις που έχουν δημοσιευθεί την τελευταία εικοσιπενταετία, στο παρόν κείμενο δεν θα αναλυθούν εκτενώς οι αλγοριθμικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Ωστόσο για λόγους συνοχής, θα παρουσιαστούν εν συντομία οι πολύ γνωστοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για το χρονικό προγραμματισμό των εργασιών όπου το πρόγραμμα άφιξης τους δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό, και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται στα συστήματα πραγματικού χρόνου. Οι αλγόριθμοι αποφασίζουν το πρόγραμμα εκτέλεσης των εργασιών με βάση τις προτεραιότητες που αναθέτουν στις εργασίες. Η εργασία στην οποία έχει ανατεθεί η μεγαλύτερη προτεραιότητα εκτελείται πρώτη. Όμως, κάθε αλγόριθμος χρησιμοποιεί διαφορετικό κριτήριο για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων. Το κριτήριο αυτό συμφωνεί με το κριτήριο βελτιστοποίησης του αντίστοιχου προβλήματος που επιλύει.

Σύμφωνα με τους Pruhs, Sgall, και Torng [16], οι βασικότεροι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται στα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού των εργασιών, όπου ο χρόνος άφιξης τους δεν είναι εκ των προτέρων γνωστός είναι οι ακόλουθοι:

- ♦ **First In First Out (FIFO)**: Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο, οι προτεραιότητες των εργασιών υπολογίζονται με βάση το χρόνο άφιξη των εργασιών στο σύστημα. Η εργασία που φτάνει πρώτη, εκτελείται και πρώτη. Ο FIFO είναι βέλτιστος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου απόκρισης των εργασιών που εκτελούνται σε έναν επεξεργαστή. Ο εξυπηρετητής ιστού Apache χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο αυτό.
- ♦ **Shortest Remaining Processing Time (SRPT) ή Least Slack First (LSF)**: Ο αλγόριθμος αυτός αναθέτει προτεραιότητες με βάση το υπόλοιπο του χρόνου που εκτιμάται ότι απαιτείται για την ολοκλήρωση εκτέλεσης των εργασιών. Επομένως, η εργασία που απαιτεί το λιγότερο χρόνο για την ολοκλήρωση εκτέλεσης της εκτελείται πρώτη. Ο LSF είναι βέλτιστος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του μέσου χρόνου απόκρισης των εργασιών που εκτελούνται σε έναν επεξεργαστή.

- ♦ **Shortest Job First (SJF)**: Ο αλγόριθμος αυτός αναθέτει προτεραιότητες στις εργασίες με βάση τον αρχικό χρόνο που εκτιμάται ότι απαιτείται για την εκτέλεση των εργασιών.
- ♦ **Highest Density First (HDF)**: Ο αλγόριθμος αυτός εκτελεί τις εργασίες που φτάνουν στο σύστημα με βάση την πυκνότητά τους, η οποία ορίζεται από το λόγο της αξίας τους προς το χρόνο εκτέλεσής τους.
- ♦ **Round Robin (RR)**: Ο αλγόριθμος αυτός κατανέμει ομοιόμορφα τους πόρους του συστήματος στις εργασίες που εκτελούνται, δηλαδή αφιερώνει κυκλικά ίσο χρονικό διάστημα εκτέλεσης στις ενεργές εργασίες.
- ♦ **Shortest Elapsed Time First (SETF)**: Ο αλγόριθμος αυτός αναθέτει προτεραιότητες στις εργασίες με βάση το χρόνο που έχουν χρησιμοποιήσει τη μονάδα επεξεργασίας.
- ♦ **MultiLevel Feedback (MLF)**: Ο αλγόριθμος αυτός μιμείται τον SETF, αλλά παράλληλα φροντίζει ο αριθμός των εκτοπισμών εκτέλεσης να παραμένει λογαριθμικός. Τα λειτουργικά συστήματα Windows NT και UNIX χρησιμοποιούν τον MLF για την εκτέλεση των εργασιών.

Στην περίπτωση των συστημάτων πραγματικού χρόνου, όπου κάθε εργασία έχει χρονική προθεσμία εκτέλεσης, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε δύο είδη προβλημάτων: στο κατά πόσο είναι εφικτός ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις προθεσμίες όλων των εργασιών και στην εύρεση του κατάλληλου αλγορίθμου που θα το επιτύχει αυτό. Για την επίλυση του πρώτου προβλήματος, το οποίο αναφέρεται κυρίως στα προβλήματα με αυστηρές προθεσμίες, οι απαιτούμενοι πόροι του συστήματος προσδιορίζονται με βάση τη χειρότερη περίπτωση (worst-case) άφιξης των εργασιών. Οι αλγόριθμοι χρονικού προγραμματισμού εκτέλεσης των εργασιών σε συστήματα πραγματικού χρόνου διακρίνονται σε στατικούς και δυναμικούς [17]. Στους στατικούς αλγορίθμους, οι προτεραιότητες των εργασιών προαποφασίζονται, με αποτέλεσμα το υπολογιστικό κόστος να είναι μικρό. Αντίθετα, στους δυναμικούς αλγορίθμους οι προτεραιότητες καθορίζονται δυναμικά κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών, με αποτέλεσμα το υπολογιστικό κόστος να είναι μεγαλύτερο. Ωστόσο, με τους δυναμικούς αλγορίθμους το σύστημα λειτουργεί αποδοτικότερα καθώς έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει απρόβλεπτες καταστάσεις και παράλληλα επιτυγχάνεται καλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος.

Οι γνωστότεροι στατικοί αλγόριθμοι είναι οι ακόλουθοι:

- ♦ **Rate Monotonic (RM)**: Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο, οι προτεραιότητες των εργασιών είναι αντιστρόφως ανάλογες της περιόδου εκτέλεσης των εργασιών. Ο RM

θεωρείται βέλτιστος για τα συστήματα μη-περιοδικών, και περιοδικών εργασιών στα οποία η προθεσμία εκτέλεσης τους ισούται με την περίοδο τους και η αρχική εκτέλεση των εργασιών ζητείται την ίδια στιγμή [18].

- ♦ **Deadline Monotonic (DM)**: Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο, οι προτεραιότητες των εργασιών είναι αντιστρόφως ανάλογες των προθεσμιών τους. Ο DM θεωρείται βέλτιστος για τα συστήματα μη-περιοδικών, και περιοδικών εργασιών στα οποία η προθεσμία εκτέλεσης τους είναι μικρότερη ή ίση της περιόδου τους και η πρώτη εκτέλεση των εργασιών ζητείται την ίδια στιγμή [19]. Είναι προφανές ότι ο RM είναι μία υποπερίπτωση του DM.

Ο γνωστότερος δυναμικός αλγόριθμος είναι ο εξής:

- ♦ **Earliest Deadline First (EDF)**: Ο αλγόριθμος αυτός παρακολουθεί τις απόλυτες προθεσμίες των εργασιών και δυναμικά αναθέτει τιμές στις προτεραιότητες των εργασιών που να είναι αντιστρόφως ανάλογες των προθεσμιών τους. Η εργασία με την κοντινότερη χρονική προθεσμία εκτέλεσης είναι η πρώτη που εκτελείται [18].

Εκτενής σύγκριση των αλγορίθμων RM και EDF παρουσιάζεται από τον Buttazo [20]. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι εκτός από τους δυναμικούς και στατικούς αλγορίθμους, πρόσφατα έχει εκφραστεί ενδιαφέρον για τη χρήση τεχνικών ελέγχου με ανατροφοδότηση στην επίλυση των σχετικών προβλημάτων στα πλαίσια των συστημάτων πραγματικού χρόνου. Ο έλεγχος με ανατροφοδότηση [21] βασίζεται στην ιδέα σταθεροποίησης του συστήματος στα ζητούμενα χαρακτηριστικά ποιότητας, δηλαδή το ποσοστό αποτυχιών, μέσω της συνεχούς παρατήρησης της συμπεριφοράς του συστήματος και ενεργοποίησης των κατάλληλων μηχανισμών.

### **4.2.3. Συστήματα Παροχής Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα συστήματα παροχής δεδομένων είναι ένα από τα σημαντικότερα πεδία εφαρμογής της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο. Στα πλαίσια των συστημάτων αυτών τα ζητήματα που κυρίως έχουν μελετηθεί είναι τα εξής: τα χαρακτηριστικά των δεδομένων και των συναλλαγών που πραγματοποιούνται, τα ζητήματα επεξεργασίας των αιτημάτων, η βελτιστοποίηση των τεχνικών διακίνησης της κατανεμημένης πληροφορίας μέσω τεχνικών αντιγραφής και προσωρινής αποθήκευσης, ο έλεγχος συνοχής και επικαιρότητας των δεδομένων και των αντιγράφων τους, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των κατανεμημένων πηγών πληροφορίας. Ξεχωριστή σημασία στο πεδίο αυτό, όπως και σε όλα τα συστήματα που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο, έχει η επίλυση των προβλημάτων χρονικού

προγραμματισμού εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται στο σύστημα για προσφορά και ζήτηση πληροφορίας. Η παρούσα ενότητα ασχολείται με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας που μελετά τέτοιου είδους προβλήματα.

Οι απαιτήσεις παροχής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο αναφέρονται στη διακίνηση των πληροφοριών εντός των χρονικών ορίων που επιβάλλουν οι υπηρεσίες ή οι χρήστες που τις ζητούν, καθώς και στη χρονική εγκυρότητα των δεδομένων. Ωστόσο, δεδομένου ότι υπάρχουν περιορισμένοι πόροι για την επεξεργασία των αιτημάτων που υποβάλλονται από τις πηγές πληροφορίας και τους καταναλωτές είναι αναγκαίο να εφαρμοστούν αλγόριθμοι καθορισμού της χρονικής σειράς εξυπηρέτησης ώστε να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν αποδοτικότερα οι διαθέσιμοι πόροι. Ο απώτερος στόχος είναι να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν περισσότερα αιτήματα και τα δεδομένα που παραδίδονται στους χρήστες να είναι επίκαιρα. Τα αντίστοιχα μεγέθη ποιότητας υπηρεσίας και επίδοσης των συστημάτων είναι: το ποσοστό των αιτημάτων που αποτυγχάνουν (user transaction deadline miss ratio) και η φρεσκάδα των δεδομένων (data freshness) [8]. Επιπλέον, για τη μελέτη των συστημάτων που έχουν την ιδιότητα να προσαρμόζονται [22], ορίζονται επιπρόσθετα στιγμιαία μεγέθη όπως η υπερανύψωση (overshoot), που περιγράφει το μέγιστο στιγμιαίο ποσοστό αποτυχιών, και το χρόνο αποκατάστασης (settling time) που απαιτείται για την επαναφορά του συστήματος στη σταθεροποιημένη απόδοση. Όταν οι προθεσμίες των αιτημάτων είναι σκληρές, μελετάται η χειρότερη περίπτωση αφίξεων αιτημάτων και απαιτείται μηδενικό ποσοστό αποτυχίας, ενώ όταν οι προθεσμίες είναι χαλαρές οι αλγόριθμοι αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση των μέσων τιμών των μεγεθών απόδοσης.

Ειδικότερα, στην περίπτωση που έχουμε σκληρές προθεσμίες, όλα τα αιτήματα πρέπει να εκτελεστούν εντός των ορίων. Όμως, για να γίνει αυτό πρέπει να είναι γνωστοί οι χρόνοι υποβολής των αιτημάτων. Η πληροφορία αυτή είναι ήδη γνωστή για τα αιτήματα που υποβάλλονται περιοδικά ενώ για τα αιτήματα που υποβάλλονται μη-περιοδικά δεν είναι γνωστή εξ' ορισμού. Όμως, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, με βάση το ελάχιστο μεσοδιάστημα ανάμεσα στην υποβολή δύο μη-περιοδικών αιτημάτων, και το μέγιστο χρόνο εκτέλεσης μπορούν να διαφυλαχθούν πόροι για την εξυπηρέτηση των μη-περιοδικών αιτημάτων [18]. Επίσης, για να εξασφαλιστεί ότι όλες οι προθεσμίες θα ικανοποιηθούν, πρέπει να καθοριστούν οι πόροι του συστήματος και οι μέγιστοι χρόνοι εκτέλεσης. Όταν τα παραπάνω έχουν εξασφαλιστεί, ο χρονικός προγραμματισμός εκτέλεσης των αιτημάτων μπορεί να γίνει σύμφωνα με τους στατικούς ή δυναμικούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούν τα συστήματα πραγματικού χρόνου για τον καθορισμό της σειράς εκτέλεσης των περιοδικών εργασιών, όπως ο RM [23] και ο EDF [24]. Τέτοιου είδους προσεγγίσεις εκτός από το ότι επιβάλλουν την εκ

των προτέρων γνώση πολλών χαρακτηριστικών είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε κακή χρησιμοποίηση των πόρων του συστήματος αφού έχουν βασιστεί στους χρόνους της χειρότερης περίπτωσης.

Στην περίπτωση των απαλών προθεσμιών υπάρχουν μεγαλύτερα περιθώρια καθώς όσο περισσότερες προθεσμίες τηρούνται τόσο καλύτερα είναι για το σύστημα. Όταν τα αιτήματα έχουν διαφορετική αξία, το κριτήριο βελτιστοποίησης του αλγορίθμου καθορισμού προτεραιοτήτων είναι η μεγιστοποίηση της συνολικής αξίας των αιτημάτων που εξυπηρετούνται εντός των ορίων. Επομένως, οι πολιτικές ανάθεσης προτεραιοτήτων λαμβάνουν υπόψη τους περιορισμούς χρόνου αλλά και την αξία των αιτημάτων [25]. Στα συστήματα με χαλαρές προθεσμίες, δηλαδή απαλές ή αυστηρές, ακολουθούνται διάφορες προσεγγίσεις ως προς το πότε απορρίπτονται τα αιτήματα, όταν οι προθεσμίες τους έχουν ξεπεραστεί και αυτά δεν έχουν ακόμη εξυπηρετηθεί. Γενικά, όταν οι προθεσμίες είναι αυστηρές, ένα αίτημα απορρίπτεται όταν το χρονικό του όριο έχει λήξει, ενώ όταν οι προθεσμίες είναι απαλές ένα αίτημα απορρίπτεται τη χρονική στιγμή που η αξία του μηδενίζεται. Ωστόσο όταν επιτρέπεται στα αιτήματα να εξυπηρετηθούν ακόμη και όταν οι απαλές προθεσμίες τους έχουν περάσει, όπως στο [26], τα αιτήματα που αναμένουν καθυστερούν όλο και περισσότερο και έτσι δημιουργείται ένα φαινόμενο τύπου 'ντόμινο'.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στα συστήματα παροχής δεδομένων, όπου εκτελούνται διαδικασίες εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων, σχετίζεται με την απαίτηση εξισορρόπησης ανάμεσα στη φρεσκάδα των δεδομένων και τις χρονικές προθεσμίες των αιτημάτων (κυρίως εξαγωγής δεδομένων). Η παλαιότερη βιβλιογραφία σχετικά με τα συστήματα πραγματικού χρόνου περιλαμβάνει μελέτες και πειραματικές αναλύσεις που καλύπτουν τις περισσότερες πτυχές επεξεργασίας των αιτημάτων που υποβάλλονται, δίχως όμως να λαμβάνονται υπόψη οι χρονικοί περιορισμοί που επιβάλλονται από τη χρονική εγκυρότητα των δεδομένων [26][27]. Νέες λύσεις που θα λαμβάνουν υπόψη τους τις προθεσμίες των δεδομένων απαιτούνται τόσο για τον έλεγχο της συνοχής αλλά και για το χρονικό προγραμματισμό εξυπηρέτησης των αιτημάτων. Στη συνέχεια της ενότητας, θα αναλυθούν οι προσεγγίσεις με τις οποίες αντιμετωπίζονται τα ζητήματα αυτά στα πλαίσια των βάσεων δεδομένων πραγματικού χρόνου (ενότητα 4.2.3.1) αλλά και νεότερων πεδίων που ασχολούνται με τη συλλογή δεδομένων πληροφορίας (ενότητα 4.2.3.2).

#### **4.2.3.1. Βάσεις Δεδομένων Πραγματικού Χρόνου**

Οι Adelberg, Garcia-Molina και Kao [28] είναι οι πρώτοι που εστίασαν την έρευνα τους στην εξισορρόπηση των χρονικών προθεσμιών και τη φρεσκάδα των δεδομένων. Με σκοπό

την εξισορρόπηση αυτή, προτείνουν τέσσερις αλγόριθμους ανάθεσης προτεραιοτήτων, όπου ο καθένας εκφράζει προτίμηση είτε στα αιτήματα εισαγωγής είτε στα αιτήματα εξαγωγής δεδομένων. Και στους τέσσερις αλγόριθμους που προτείνονται, ο βασικός αλγόριθμος καθορισμού της σειράς εξυπηρέτησης που χρησιμοποιείται είναι ο FIFO. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι οι εξής: 1<sup>ος</sup> (Updates first): Προηγούνται τα αιτήματα εισαγωγής δεδομένων και τα αιτήματα εξαγωγής δεδομένων αντίστοιχα διακόπτονται για να εξυπηρετηθούν τα αιτήματα εισαγωγής. 2<sup>ος</sup> (Transactions first): Προηγούνται τα αιτήματα εξαγωγής δεδομένων, δηλαδή αντίθετα από πριν. 3<sup>ος</sup> (Split updates): Διαχωρίζονται τα αιτήματα εισαγωγής δεδομένων σε μεγάλης και μικρής αξίας. Τα αιτήματα εισαγωγής μεγάλης αξίας δεδομένων εξυπηρετούνται αμέσως μόλις φτάνουν στο σύστημα, ενώ τα μικρότερης αξίας εξυπηρετούνται μετά από τα αιτήματα εξαγωγής πληροφορίας. 4<sup>ος</sup> (On demand): Εξυπηρετούνται τα αιτήματα εισαγωγής δεδομένων κατόπιν ζήτησης. Δηλαδή, στην περίπτωση που τα αποθηκευμένα δεδομένα δεν είναι επίκαιρα, προκειμένου να απαντηθεί ένα αίτημα εξαγωγής δεδομένων, αναζητείται στην ουρά των αιτημάτων εισαγωγής δεδομένων η ύπαρξη σχετικού αιτήματος το οποίο τελικά εξυπηρετείται πρώτο. Σύμφωνα με την πειραματική μελέτη της απόδοσης των τεσσάρων αλγόριθμων, προκύπτει ότι ο 4<sup>ος</sup> αλγόριθμος υπερτερεί των υπολοίπων εκτός από την περίπτωση που το κόστος αναζήτησης στην ουρά είναι μεγάλο. Το γενικό συμπέρασμα σχετικά με την απόφαση να εφαρμοστεί ένας από τους τέσσερις αλγόριθμους είναι ότι η επιλογή πρέπει να γίνει με βάση τα ειδικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του συστήματος. Δηλαδή, εάν η φρεσκάδα των δεδομένων έχει μεγαλύτερη σημασία, τότε προτιμότερος είναι ο 1<sup>ος</sup>. Εάν οι χρονικές προθεσμίες των αιτημάτων εξαγωγής έχουν μεγαλύτερη σημασία, τότε είναι προτιμότερος ο 2<sup>ος</sup>. Και τέλος εάν η επικαιρότητα των δεδομένων είναι σημαντική αλλά όχι κρίσιμη, καλύτερος είναι ο 3<sup>ος</sup>. Κάτι που θα ήταν χρήσιμο να επισημανθεί, παρόλο που δεν αναφέρεται στο [28], είναι ότι στην επιλογή του αλγόριθμου μεγάλο ρόλο παίζει ο αριθμός των αιτημάτων εισαγωγής και εξαγωγής. Εάν τα αιτήματα εισαγωγής είναι λιγοστά τότε προτιμότερος είναι ο 1<sup>ος</sup>, ενώ ο 2<sup>ος</sup> είναι καλύτερος στις περιπτώσεις που τα αιτήματα εξαγωγής είναι λιγοστά συγκριτικά με τα αιτήματα εισαγωγής. Ενδιαφέρουσα θα ήταν εξάλλου η πειραματική εκτίμηση της απόδοσης των αλγόριθμων ως προς το λόγο του πλήθους των αιτημάτων εισαγωγής προς το πλήθος των αιτημάτων εξαγωγής.

Στη νεότερη τους εργασία [29], οι Adelberg, Kao και Garcia-Molina μελέτησαν με παρόμοια μεθοδολογία το ίδιο πρόβλημα λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που προκύπτουν από τη σύνθεση πρωτογενών δεδομένων. Σύμφωνα με την παρατήρηση ότι τα αιτήματα για υπολογισμό των σύνθετων δεδομένων υποβάλλονται σε σύντομα διαστήματα λόγω ανανέωσης των πρωτογενών, προτείνεται η καθυστέρηση ορισμένων υπολογισμών ώστε να γίνονται



ομαδικά. Τελικό προϊόν της εργασίας τους είναι ένας επεξεργαστής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο (Stanford real-time information processor - STRIP) [30], όπου εισάγονται και εξάγονται δεδομένα με απαλές προθεσμίες. Οι Ahmed και Vrbsky [31] προτείνουν μια διαφορετική προσέγγιση για να διατηρηθεί η εγκυρότητα των σύνθετων δεδομένων. Συγκεκριμένα, για κάθε ανανέωση της σύνθετης πληροφορίας προσδιορίζεται ένας χρονικός περιορισμός και πραγματοποιείται η αντίστοιχη εγγραφή στη βάση δεδομένων μόνο όταν αυτός ο περιορισμός ικανοποιείται. Το πρόβλημα ικανοποίησης των χρονικών περιορισμών των αιτημάτων και των δεδομένων μελετούν επίσης ο Kao, Lam κ.α. [32].

Τα ζητήματα της χρονικής και λογικής συνοχής των δεδομένων για συστήματα βάσεων δεδομένων έχουν μελετηθεί εκτενώς στις εργασίες [33],[34] και [35]. Οι Song και Liu [33] έχουν αναπτύξει ένα σύστημα πραγματικού χρόνου όπου εκτελούνται περιοδικά αιτήματα εισαγωγής, εξαγωγής και εξαγωγής/εισαγωγής δεδομένων, και τα δεδομένα έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Με βάση το μοντέλο αυτό, εξετάζονται η απόδοση των αλγορίθμων RM και EDF όταν χρησιμοποιούνται για το χρονικό προγραμματισμό εξυπηρέτησης των αιτημάτων, παράλληλα με αλγορίθμους ελέγχου συνοχής κλειδώματος δύο φάσεων (two-phase locking) και αισιόδοξους (optimistic). Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι οι RM και EDF έχουν παρόμοια απόδοση όταν το φορτίο του συστήματος είναι μικρό. Όμως σε περιπτώσεις μεγάλου φορτίου ο EDF είναι καλύτερος.

Οι Kuo και Mok [34] προτείνουν το πρωτόκολλο Similarity Stack Protocol (SSP) για την πρόσβαση στα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η αξιοπιστία του SSP βασίζεται στην ιδέα της ομοιότητας (similarity) μεταξύ των δεδομένων. Επομένως, επιτρέπει παλαιότερα δεδομένα να χρησιμοποιηθούν σε υπολογισμούς εφόσον δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται τα αιτήματα που χάνουν τις προθεσμίες τους. Στη νεότερη εργασία [35] τους, οι Kuo και Mok προτείνουν πιο ελαστικές απαιτήσεις συνοχής προκειμένου να καλυτερεύσει η επίδοση του συστήματος. Η ομοιότητα των δεδομένων έχει και παλαιότερα προταθεί για την προσαρμογή του φορτίου των αιτημάτων από τους Kuo και Ho στο [36].

Οι Gustafsson και Hansson [37] εξετάζουν την έννοια της ομοιότητας για να εκτιμήσουν τη φρεσκάδα των δεδομένων. Ειδικότερα, θεωρούνται φρέσκα τα δεδομένα όταν δεν έχει μεταβληθεί η τιμή τους, και όχι όταν είναι επίκαιρα όπως στις εργασίες [34],[35], και συνεπώς χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων δεδομένων. Χρησιμοποιείται ως βάση ο 4<sup>ος</sup> αλγόριθμος (On demand) που προτείνεται από τους Adelberg, Garcia-Molina και Kao στο [28], σύμφωνα με τον οποίο οι ανανεώσεις γίνονται μόνον κατόπιν ζήτησης. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η ομοιότητα των δεδομένων, με αποτέλεσμα οι ανανεώσεις που

πραγματοποιούνται να περιορίζονται ακόμη περισσότερο. Από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εργασίες: [37] και [38] προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι βελτιώνουν σημαντικά τη συμπεριφορά του συστήματος.

Οι Kim, Son και Stankovic [39] εισάγουν την έννοια της προθεσμίας των δεδομένων (data deadline). Στα πλαίσια της αντικείμενο-κεντρικής βάσης δεδομένων πραγματικού χρόνου που ονομάζεται BeeHive εξετάζονται δύο παραλλαγές του EDF που λαμβάνουν υπόψη τους χρονικούς περιορισμούς λόγω εγκυρότητας των δεδομένων. Μέσα από εκτενείς δοκιμές προκύπτει ότι σε περιπτώσεις μεσαίων φορτίων, όταν λαμβάνονται υπόψη οι προθεσμίες των δεδομένων η απόδοση του συστήματος βελτιώνεται σημαντικά, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις η βελτίωση είναι αμελητέα. Επίσης, οι Kim, Son και Stankovic προτείνουν την εφαρμογή ενός μοντέλου ελέγχου αποδοχής (admission control), σύμφωνα με το οποίο εξετάζεται ποια αιτήματα θα εξυπηρετηθούν και ποια θα απορριφθούν με βάση το φορτίο του συστήματος. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η χρήση αυτής της τεχνικής βελτιώνει την απόδοση του συστήματος σε οποιοσδήποτε συνθήκες.

Οι Xiong, Ramamritham κ.α. [40] συνδυάζουν την ομοιότητα των δεδομένων με τις προθεσμίες των δεδομένων και την 'πολιτική επιβεβλημένης αναμονής (forced wait policy)'. Η πολιτική επιβεβλημένης αναμονής επιβάλλει στα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας να περιμένουν έως επίκαιρα δεδομένα να διατεθούν από τις πηγές πληροφορίας. Οι έννοιες αυτές χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την απόδοση των βασικών αλγορίθμων EDF και LSF. Πραγματοποιούνται προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τους βασικούς και τους βελτιωμένους αλγορίθμους για να καθοριστεί η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων εξαγωγής δεδομένων. Τα αιτήματα εισαγωγής δεδομένων που υποβάλλονται περιοδικά από κάθε πηγή είναι πολύ λιγότερα από τα αιτήματα εξαγωγής δεδομένων (για φορτίο 100%, τα αιτήματα εισαγωγής δεδομένων καλύπτουν το 20% του συνολικού φορτίου), και γι' αυτό το λόγο εξυπηρετούνται πριν από τα αιτήματα εξαγωγής δεδομένων και ποτέ δεν χάνονται οι προθεσμίες τους. Τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν δείχνουν ότι ο συνυπολογισμός των προθεσμιών των δεδομένων βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των EDF και LSF, ενώ ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση παρατηρείται όταν εφαρμόζεται η πολιτική επιβεβλημένης αναμονής των αιτημάτων. Επίσης η ιδέα της ομοιότητας βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των αλγορίθμων καθώς μειώνονται τα αιτήματα που αποτυγχάνουν λόγω μη επίκαιρων δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή η χρήση της πολιτικής αναμονής δεν βελτιώνει περισσότερο την απόδοση. Επομένως, καταλήγει η μελέτη αυτή ότι οι τρεις ιδέες που παρουσιάζονται είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη βελτίωση της απόδοσης των βάσεων δεδομένων πραγματικού χρόνου.

Ένα από τα πρώτα συστήματα που χρησιμοποίησαν την τεχνική ελέγχου με ανατροφοδότηση για τον καθορισμό της σειράς εξυπηρέτησης των αιτημάτων προτείνεται από τους Kang, Son, και Stankovic [41][42]. Στα προτεινόμενα συστήματα υπολογίζεται από το σύστημα ανατροφοδότησης η απαραίτητη ρύθμιση φόρτου εργασίας, και εφαρμόζονται η διαχείριση της φρεσκάδας των δεδομένων και ο έλεγχος αποδοχής ώστε να υλοποιηθεί το επιθυμητό ποσοστό αποτυχιών δίχως να μεταβληθεί η φρεσκάδα των δεδομένων. Χρησιμοποιώντας την έννοια της αντιληπτής φρεσκάδας, αναπτύχθηκε μια προσαρμοστική πολιτική αναπροσαρμογών προκειμένου να διατηρηθεί η φρεσκάδα κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Αρχικά, όλα τα δεδομένα ενημερώνονται αμέσως όταν υποβάλλονται τα αντίστοιχα αιτήματα. Υπό συνθήκες μεγάλου φορτίου, προκειμένου να ελαττωθεί το ποσοστό αποτυχιών, τα δεδομένα ανανεώνονται κατά την ζήτηση [41], ενώ στην νεότερη εργασία [42] προτείνεται η ανανέωση των δεδομένων με μικρότερη συχνότητα, εντός των ορίων που επιβάλλει η ζητούμενη ποιότητα δεδομένων. Η μελέτη απόδοσης του συστήματος έδειξε ότι τα ζητούμενα μεγέθη ποιότητας ικανοποιούνται σε συνθήκες διαφορετικών φορτίων και ζήτησης δεδομένων, ενώ η συμπεριφορά του σε δυναμικά μεταβαλλόμενα φορτία είναι άριστη. Στην εργασία [43] παρουσιάζεται η εφαρμογή αυτής της προσέγγισης σε ένα σύστημα ηλεκτρονικού εμπορίου όπου οι συναλλαγές πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο. Τα αιτήματα των χρηστών/καταναλωτών διαχωρίζονται σε διάφορα επίπεδα ποιότητας και εξυπηρετούνται ανάλογα με το προδιαγεγραμμένο ποσοστό αποτυχίας.

Οι Amirijoo, Hansson και Son, στις εργασίες τους [44],[45] και [46], χρησιμοποιούν την τεχνική υπολογισμού της ανακρίβειας [47] σε συνδυασμό με την τεχνική ελέγχου με ανατροφοδότηση για τη διαχείριση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών από μια βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου. Η τεχνική υπολογισμού της ανακρίβειας εφαρμόζεται εκτός από τα αιτήματα και στα δεδομένα, τα οποία επιτρέπεται να έχουν ένα συγκεκριμένο βαθμό απόκλισης από τις πραγματικές τιμές. Προκειμένου να μετρηθεί η ανακρίβεια των δεδομένων χρησιμοποιείται η έννοια του λάθους δεδομένων, η οποία περιγράφει την απόκλιση της τιμής της αποθηκευμένης πληροφορίας από την τελευταία ανανεωμένη τιμή που έχει υποβληθεί από την αντίστοιχη πηγή. Ορίζεται μια επιτρεπόμενη τιμή απόκλισης (maximum data error - mde). Όταν υποβάλλεται στο σύστημα ένα αίτημα ανανέωσης πληροφορίας, εάν το λάθος των δεδομένων είναι μικρότερο από το mde, τότε το αίτημα δεν εξυπηρετείται. Επομένως, εάν το mde αυξηθεί, τότε όλο και λιγότερα αιτήματα ανανέωσης δεδομένων θα εξυπηρετούνται και η ποιότητα των αποθηκευμένων δεδομένων θα μειώνεται. Όμως εκτός από την έννοια του λάθους των δεδομένων ορίζεται και η έννοια της ανακρίβειας των αιτημάτων, περιγράφοντας την ακρίβεια και την επικαιρότητα των δεδομένων που επιστρέφονται, και το πόσο λεπτομερή

είναι. Όσο μειώνονται οι πόροι του συστήματος τόσο αυξάνεται η ανακρίβεια των αιτημάτων. Το σύστημα λειτουργεί ως εξής: Ο διαχειριστής του συστήματος αρχικά προδιαγράφει την αρχική απόκλιση των δεδομένων και την επιθυμητή μέση τιμή ανακρίβειας των αιτημάτων. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος υποβάλλονται αιτήματα τα οποία εξυπηρετούνται σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο. Σε περιοδικά διαστήματα μετρώνται από το σύστημα διάφορα μεγέθη απόδοσης, όπως η μέση τιμή ανακρίβειας των αιτημάτων που εξυπηρετούνται, και συγκρίνονται με την επιθυμητή τιμή, ώστε να προσαρμοστεί η τιμή  $mde$  αναλόγως.

Οι Han και Venkatasubramanian [48] έχουν εργαστεί πάνω στο θέμα της συλλογής δεδομένων από κατανεμημένες πηγές πληροφορίας. Οι ίδιοι στη μελέτη τους [24] προτείνουν μια προσέγγιση για το χρονικό προγραμματισμό εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται από τις πηγές και τους καταναλωτές πληροφορίας. Ανάμεσα σε πηγές και καταναλωτές εισάγεται ένα μεσολαβητής πληροφορίας που είναι υπεύθυνος για τη διακίνηση της πληροφορίας. Ο μεσολαβητής αυτός δέχεται αιτήματα είτε περιοδικά είτε μη-περιοδικά από τους καταναλωτές πληροφορίας που ζητούν να ανακτήσουν πληροφορία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας, που αφορούν το χρόνο απόκρισης και την ακρίβεια των δεδομένων. Επίσης, δέχεται αιτήματα από τις πηγές για ανανέωση της πληροφορίας τους με συγκεκριμένη περιοδικότητα ή μη-περιοδικά και συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εγκυρότητας. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να μεγιστοποιηθεί η απόδοση του συστήματος, η οποία ορίζεται από την πιθανότητα τα αιτήματα των καταναλωτών να απαντηθούν επιτυχώς, το πόσο επίκαιρα είναι τα δεδομένα που παραδίδονται και το κόστος επικοινωνίας για την εξυπηρέτηση των αιτημάτων. Προκειμένου να ισορροπήσει τους παραπάνω παράγοντες και να μεγιστοποιήσει την επίδοση του συστήματος, προτείνεται ο αλγόριθμος Timeliness-Accuracy Balanced Scheduling (TABS), ο οποίος βασίζεται στον EDF και τον Total Bandwidth Server (TBS) [49] για τον υπολογισμό των προθεσμιών για τα μη-περιοδικά αιτήματα, και καθορίζει τη σειρά εκτέλεσης των αιτημάτων δίχως να κάνει διάκριση από ποιον προέρχονται όπως γίνεται στη εργασία [28]. Επίσης χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Minimized Cost για την ανανέωση του καταλόγου των δεδομένων ο οποίος όπως φαίνεται και από το όνομα του προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος επικοινωνίας φιλτράροντας τα δεδομένα που ανανεώνονται.

Μια διαφορετική προσέγγιση προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διακίνηση των δεδομένων μέσω της ελαχιστοποίησης του χρόνου απόκρισης στα αιτήματα για απόκτηση δεδομένων είναι η χρήση κατανεμημένων βάσεων δεδομένων. Τα ερευνητικά ζητήματα που έχουν απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα ως προς τα συστήματα αυτά είναι το πρόβλημα

αντιγραφής των δεδομένων σε πολλαπλούς κόμβους τόσο ως προς τη θέση των κόμβων [50], αλλά και τα πρωτόκολλα ανανέωσης ή διαγραφής τους [51][52], το πρόβλημα διατήρησης συνοχής μεταξύ των αντιγράφων [53] και τα πρωτόκολλα ‘commit’ [54]. Σχετικά με τη διατήρηση της απαιτούμενης ποιότητας στη διακίνηση δεδομένων που αποθηκεύονται σε κατακευματισμένες βάσεις, ο Wei, Son κ.α. [51] έχουν μελετήσει τα προβλήματα χρονικής εγκυρότητας και συνοχής των δεδομένων όταν τα αντίγραφα τοποθετούνται και ανανεώνονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Αργότερα, οι ίδιοι μελέτησαν επιπρόσθετα την περίπτωση να γίνεται σύνθεση νέων δεδομένων από τα πρωτογενή [55] και πρότειναν δυναμικούς αλγορίθμους σύμφωνα με τους οποίους τοποθετούνται και ανανεώνονται τα αντίγραφα των δεδομένων σε περιορισμένο αριθμό κόμβων σε μεσαίας και μεγάλης κλίμακας δίκτυα [56].

Ολοκληρώνοντας την επισκόπηση της έρευνας αναφορικά με τις βάσεις δεδομένων πραγματικού χρόνου, αξίζει να αναφερθεί ότι βάσεις δεδομένων πραγματικού χρόνου έχουν αναπτυχθεί και προσφέρονται ως εμπορικά προϊόντα τα τελευταία χρόνια (όπως οι: eXtremeDB, Empress, TimesTen, Lockheed Martin Corporation). Ωστόσο, όπως υποστηρίζουν οι Ramamritham, Son και Dirippro [8], οι βάσεις αυτές δεν καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις παροχής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό ισχύει επειδή αυτά τα προϊόντα αυτά αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης, το οποίο όμως δεν συνεπάγεται απαραίτητα την ικανοποίηση των χρονικών περιορισμών.

#### 4.2.3.2. Νεότερα Πεδία Έρευνας

Μέχρι πρόσφατα η παροχή πληροφορίας μελετήθηκε σε σχέση με την τεχνολογία των βάσεων δεδομένων, οι οποίες είτε συγκεντρωτικά είτε κατακευματισμένα αποθηκεύουν τα δεδομένα και οι χρήστες μέσω των προσφερόμενων διεπαφών αποκτούν πρόσβαση σε αυτά. Ωστόσο με την ανάπτυξη των τεχνολογιών του διαδικτύου, τη δυνατότητα ασύρματης δικτυακής σύνδεσης και γενικά τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν την κινητικότητα των χρηστών, νέα σχετικά πεδία έρευνας έχουν προκύψει. Έτσι λοιπόν, τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα μελετά τα θέματα συλλογής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο στα πλαίσια νέων αναπτυσσόμενων τομέων τεχνολογίας όπως τα δίκτυα αισθητήρων και οι κινητές βάσεις δεδομένων. Η μελέτη των συστημάτων αυτών παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του χαμηλού εύρους ζώνης και της δυναμικότητας που έχουν οι ασύρματες συνδέσεις, αλλά και τους περιορισμούς σε πόρους ενέργειας. Επίσης νέοι τομείς έρευνας αναφέρονται στη διακίνηση δεδομένων μέσω διαδικτύου και τη διαχείριση συνεχών ροών δεδομένων. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν συνοπτικά τα πεδία έρευνας που προαναφέρθηκαν, δηλαδή τα δίκτυα αισθητήρων (ενότητα 4.2.3.2.1), οι κινητές βάσεις δεδομένων (ενότητα

4.2.3.2.2), η διακίνηση δεδομένων στο διαδίκτυο (ενότητα 4.2.3.2.3) και η διαχείριση ροών δεδομένων (ενότητα 4.2.3.2.4).

#### 4.2.3.2.1. Δίκτυα αισθητήρων

Τα δίκτυα αισθητήρων [57] απαρτίζονται από ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων, που συνδέονται ασύρματα, μεταφέρουν πληροφορία από το περιβάλλον και επιδρούν με αυτό. Κάθε αισθητήρας διαθέτει περιορισμένη μνήμη, ενεργειακούς πόρους και δυνατότητες επεξεργασίας και επικοινωνίας. Το γεγονός ότι τα δίκτυα αισθητήρων υποστηρίζουν την ανάπτυξη της διάχυτης υπολογιστικής έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Ορισμένα ερευνητικά προγράμματα που έχουν εργαστεί στον τομέα αυτόν είναι: τα εξής: Cougar [58], SAFE [59], SINA, DSWARE. Τα ζητήματα που απασχολούν την ανάπτυξη δικτύων με αισθητήρες αφορούν στην περιγραφή των δεδομένων των αισθητήρων και των αιτημάτων προς αυτούς [58], τα μοντέλα επικοινωνίας και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης [59][60][61][62], το συνδυασμό και την επεξεργασία των δεδομένων κατά τη συλλογή τους [63]. Κατά τη μελέτη των ζητημάτων αυτών ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαχείριση της ενέργειας και τη δυναμικότητα της ασύρματης δικτύωσης.

Σχετικά με τη διανομή των δεδομένων από τους αισθητήρες στους καταναλωτές της πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις. Οι Lu, Blum κ.α. [64] προτείνουν τον αλγόριθμο ανάθεσης προτεραιοτήτων που ονομάζεται Velocity Monotonic Scheduling (VMS). Σύμφωνα με τον VMS, η προτεραιότητα κάθε πακέτου υπολογίζεται με βάση το λόγο της απόστασης που πρέπει να διασχίσει προς το χρόνο μέχρι τη λήξη της προθεσμίας. Οι He, Stankovic κ.α. [65] προτείνουν έναν αλγόριθμο δρομολόγησης ο οποίος για να διαλέξει τον επόμενο κόμβο υπολογίζει την αναμενόμενη καθυστέρηση. Οι Liu, Abu-Ghazaleh, και Kang [66] προτείνουν έναν αλγόριθμο ο οποίος καθυστερεί τα πακέτα σε κάθε κόμβο για το χρονικό διάστημα που υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των επόμενων κόμβων και τη χρονική προθεσμία. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψη η καθυστέρηση στις ουρές σε επίπεδο δικτύου, και επίσης κατανέμεται ο υπόλοιπος χρόνος μέχρι την προθεσμία προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι μεγάλες στιγμιαίες ροές.

#### 4.2.3.2.2. Κινητές βάσεις δεδομένων

Η πρόσφατη πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες έχει δώσει μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη της κινητής υπολογιστικής και επομένως των υπηρεσιών κινητής πληροφορίας, οι οποίες επιτρέπουν στους κινητούς χρήστες να έχουν εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα [67]. Οι κινητές βάσεις δεδομένων εφαρμόζονται σε υπηρεσίες που προσφέρονται στα πλαίσια των συστημάτων συλλογής κυκλοφοριακής κίνησης, τις εμπορικές συναλλαγές μέσω κινητού

διαδικτύου (mobile internet). Προτείνονται δυο ειδών αρχιτεκτονικές: Στο πρώτο μοντέλο, το σύστημα αποτελείται από σύνολα κινητών κόμβων που επικοινωνούν με ένα σταθερό κόμβο. Όταν ένας κόμβος μετακινείται σε άλλη περιοχή αλλάζει υπεύθυνο σταθερό σταθμό [68]. Σύμφωνα με το δεύτερο μοντέλο, το σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο κινητών κόμβων που είναι συνδεδεμένοι ασύρματα και αυτό-οργανούμενα (Mobile Ad Hoc Networks - MANET), ενώ όλοι οι κόμβοι είναι κινητοί και συνδέονται ασύρματα μεταξύ τους [69]. Τα ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε τέτοιου είδους συστήματα είναι η κινητικότητα των κόμβων, οι περιορισμοί σε πόρους ενέργειας [70] και η διαχείριση του εύρους ζώνης αλλά και τα χρονικά ζητήματα στη διακίνηση των δεδομένων [71].

Το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού της μετάδοσης των δεδομένων στα συστήματα αυτά έχει κυρίως μελετηθεί στα πλαίσια της ευρείας εκπομπής των δεδομένων. Ειδικότερα, δεδομένου του περιορισμένου εύρους ζώνης, εξετάζονται οι αλγόριθμοι καθορισμού της σειράς μετάδοσης των δεδομένων με σκοπό να μεγιστοποιηθεί το ποσοστό των αιτημάτων που απαντώνται επιτυχώς. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις αυτές είναι παρόμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούν οι βάσεις δεδομένων πραγματικού χρόνου, αντιμετωπίζοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης όπως το ρυθμό επεξεργασίας των βάσεων. Μια πρόσφατη μελέτη του προβλήματος αυτού παρουσιάζεται από τους Wu και Lee [72], οι οποίοι προτείνουν δύο σχετικούς αλγορίθμους. Ο πρώτος λαμβάνει υπόψη του τη συχνότητα ζήτησης των δεδομένων, τον όγκο τους, και τις προθεσμίες των δεδομένων αλλά και των αιτημάτων ανάκτησης τους. Ο δεύτερος αλγόριθμος εξετάζει επιπλέον τις περιπτώσεις όπου επιτρέπεται να γίνει αναβολή της μετάδοσης. Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε η υπεροχή των αλγορίθμων αυτών ως προς αλγορίθμους που εξετάζουν μόνο τις προθεσμίες των δεδομένων ή των αιτημάτων, ή τις φορές που δεν έχουν μεταδοθεί τα δεδομένα ή τον όγκο των δεδομένων.

#### 4.2.3.2.3. Διακίνηση δεδομένων στο διαδίκτυο

Ο μεγάλος όγκος των δεδομένων που διακινούνται στο διαδίκτυο σε συνδυασμό με τους περιορισμένους πόρους αποθήκευσης και μετάδοσης φέρνουν στην επιφάνεια ζητήματα που σχετίζονται με τη διακίνηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων και η αντιγραφή τους σε πολλαπλά σημεία είναι οι βασικότερες τεχνικές βελτιστοποίησης στη διακίνηση δεδομένων στο διαδίκτυο. Επίσης, είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για μετάδοση χρονικά έγκυρων δεδομένων ελαχιστοποιώντας το απαιτούμενο κόστος. Οι Olston, Loo και Widom [73] και οι Gupta και Tang [74] έχουν ασχοληθεί με την εξισορρόπηση της επικαιρότητας των δεδομένων και τους περιορισμούς των πόρων στην περίπτωση προσωρινής αποθήκευσης των σελίδων του διαδικτύου. Οι Cho και

Garcia-Molina [75] προτείνουν μια πολιτική ανανέωσης των εξυπηρετητών του διαδικτύου ώστε αυτοί να διατηρούν ανανεωμένες σελίδες. Η προτεινόμενη πολιτική βασίζεται στην παρατήρηση ότι τα δεδομένα που ανανεώνονται συχνότερα πρέπει να συγχρονίζονται λιγότερο συχνά. Οι Labrinidis και Roussopoulos [76] μελετούν το ζήτημα των αναπροσαρμογών στους εξυπηρετητές διαδικτύου ώστε οι χρήστες να λαμβάνουν ποιοτικά δεδομένα.

#### 4.2.3.2.4. Διαχείριση ροών δεδομένων

Τα τελευταία χρόνια αρκετό ερευνητικό ενδιαφέρον έχει αποσπάσει η διαχείριση ροών δεδομένων. Σε αντίθεση με τις βάσεις δεδομένων που διαχειρίζονται ήδη αποθηκευμένα δεδομένα, στην περιοχή αυτή οι εφαρμογές υποβάλλουν σύνθετα ερωτήματα πάνω στα δεδομένα που μεταφέρονται συνεχώς από ροές που παράγονται από πηγές δεδομένων. Ορισμένα σχετικά προγράμματα είναι τα STREAM [77], Aurora [78], Gigascope [79], ενώ ειδικότερα αντικείμενα μελέτης είναι η επεξεργασία των ερωτήσεων [80], ο χρονικός προγραμματισμός εξυπηρέτησης [81], η διαχείριση μνήμης [82], η διαχείριση ροών σε κατανεμημένα περιβάλλοντα και ζητήματα συγκέντρωσης (clustering) [83]. Η διαχείριση ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο διαφέρει από τη διαχείριση ροών πολυμεσικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ως προς το ότι τα πρώτα εστιάζουν στην εκτέλεση πολύπλοκων αιτημάτων τύπου SQL στις ροές δεδομένων ενώ τα δεύτερα εστιάζουν στην κωδικοποίηση/ αποκωδικοποίηση και τη μετάδοση των πολυμεσικών ροών.

Σχετικά με το ζήτημα του χρονικού προγραμματισμού εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται στις ροές δεδομένων, οι Carney, Centintemel κ.α. [84] προτείνουν μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος όμως εστιάζει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της κατανάλωσης πόρων μνήμης, ενώ η μόνη χρονική απαίτηση που λαμβάνεται υπόψη είναι ο χρόνος απόκρισης. Επίσης, οι Babcock και Olston [83] προτείνουν έναν αλγόριθμο που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της χρήσης της μνήμης δίχως να λαμβάνονται υπόψη καθόλου οι χρονικές απαιτήσεις. Επίσης, σε νεότερη εργασία τους [82] προτείνουν ένα μοντέλο περιοδικών αντί συνεχών αιτημάτων. Ο χρονικός προγραμματισμός εκτέλεσης των αιτημάτων βασίζεται στον αλγόριθμο EDF και λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Central Processing Unit - CPU) και τους χρονικούς περιορισμούς των αιτημάτων.

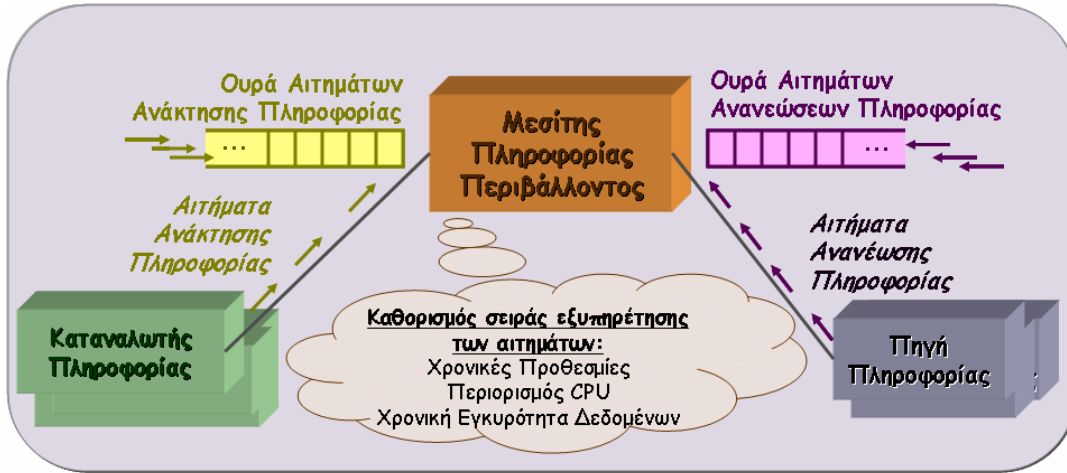


### 4.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται και διατυπώνεται το πρόβλημα παροχής της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, υπό τους περιορισμούς πόρων του συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος. Ο σκοπός είναι να ικανοποιούνται οι προθεσμίες των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας και να μεγιστοποιείται η φρεσκάδα των δεδομένων που παραδίδονται. Το συγκεκριμένο πρόβλημα μελετάται με βάση το σύστημα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα CONTEXT και περιγράφεται στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, κάθε μεσίτης δέχεται δύο ειδών αιτήματα: τα αιτήματα από τις πηγές πληροφορίας οι οποίες παρέχουν πληροφορία και τα αιτήματα από τους καταναλωτές πληροφορίας οι οποίοι ζητούν πληροφορία από τοπικές ή απομακρυσμένες πηγές. Οι πηγές πληροφορίας είναι είτε ενεργές είτε παθητικές και υποβάλλουν περιοδικά ή μη-περιοδικά αιτήματα ανανέωσης των δεδομένων τους. Οι καταναλωτές είτε υποβάλλουν απλά αιτήματα είτε εγγράφονται για να λάβουν ενημερώσεις πληροφορίας. Οι προθεσμίες όλων των αιτημάτων, τόσο από τα πηγές όσο και από τους καταναλωτές, είναι αυστηρές, δηλαδή δεν έχει καμία χρησιμότητα η εξυπηρέτηση τους πέραν των χρονικών προθεσμιών τους.

Δεδομένου ότι κάθε μεσίτης του συστήματος έχει περιορισμένους πόρους επεξεργασίας ώστε να εξυπηρετήσει τα αιτήματα τη στιγμή που αυτά υποβάλλονται, διατηρεί τις αντίστοιχες ουρές όπου αυτά αναμένουν να εξυπηρετηθούν (Σχήμα 4-2). Επιπλέον, δεδομένου των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων του δικτύου για τη διανομή του μεγάλου όγκου των δεδομένων που ζητούνται από τους απομακρυσμένους καταναλωτές των δεδομένων, οι κόμβοι του δικτύου διατηρούν τις αντίστοιχες ουρές όπου αναμένουν τα πακέτα που μεταφέρουν τα δεδομένα (Σχήμα 4-3). Λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές απαιτήσεις των αιτημάτων, μη-προεκτοπιστική σειρά εξυπηρέτησης, και τους περιορισμένους πόρους εξυπηρέτησης των μεσιτών και τους πόρους του δικτύου, ζητείται να προσδιοριστεί ο βέλτιστος προγραμματισμός εξυπηρέτησης των αιτημάτων που αναμένουν στις ουρές, ώστε να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των αποκρίσεων του συστήματος με φρέσκα δεδομένα εντός των χρονικών ορίων. Επομένως προκύπτουν τα εξής δύο επιμέρους προβλήματα: Το πρώτο πρόβλημα, που απεικονίζεται στο Σχήμα 4-2, μελετά τη σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων από κάθε μεσίτη [85]. Το δεύτερο πρόβλημα, που απεικονίζεται στο Σχήμα 4-3, αναφέρεται στη σειρά μετάδοση των αιτημάτων (δηλαδή τη μετάδοση των πακέτων που μεταφέρουν τα αιτήματα) στους κατανεμημένους μεσίτες πληροφορίας για τη διανομή της πληροφορίας στους απομακρυσμένους καταναλωτές [86]. Και στα δύο επιμέρους προβλήματα ο αντικειμενικός

στόχος είναι η βέλτιστη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων ώστε να ικανοποιούνται οι χρονικές προθεσμίες των αιτημάτων, δηλαδή να διακινούνται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 4-2: Εξυπηρέτηση Αιτημάτων στο Μεσίτη Πληροφορίας



Σχήμα 4-3: Μετάδοση Αιτημάτων στους Κατανεμημένους Μεσίτες Πληροφορίας

Το πρόβλημα ανάθεσης προτεραιοτήτων στα αιτημάτων που υποβάλλονται και διακινούνται στο σύστημα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος συνίσταται στα ακόλουθα τρία ζητούμενα. Δεδομένου των χρονικών περιορισμών των αιτημάτων και των περιορισμένων πόρων για επεξεργασία των αιτημάτων που υποβάλλονται σε κάθε μεσίτη και για μετάδοση των αιτημάτων μεταξύ των κατανεμημένων μεσιτών, ζητείται να προσδιοριστούν:

1. Η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας
2. Η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας
3. Η σχετική σειρά εξυπηρέτησης ενός αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας και ενός αιτήματος ανάκτησης πληροφορίας

Ωστόσο, το φορτίο που επιβάλλει στο σύστημα η εξυπηρέτηση των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας είναι ελάχιστο συγκριτικά με το φορτίο που επιβάλλουν τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας. Αυτό συμβαίνει γιατί σε ένα σύστημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος, προτιμούνται τα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας με τη μορφή εγγραφών για λήψη ενημερώσεων, ενώ τα απλά αιτήματα για δεδομένα που αφορούν μια οντότητα μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν είναι εύχρηστα [87]. Επομένως, αριθμητικά ο αριθμός των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας είναι πολύ μεγαλύτερος από τα αιτήματα ανάκτησης. Επίσης η διανομή των ανανεώσεων πληροφορίας καταναλώνει περισσότερους πόρους για διαδικασίες ανακάλυψης και αποθήκευσης αλλά και λόγω του όγκου της πληροφορίας που μεταφέρεται. Συνεπώς το πρόβλημα ανάθεσης προτεραιοτήτων που μελετάται περιορίζεται στην ανάθεση προτεραιοτήτων στα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας. Για τη σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας, ορίζεται ότι αυτά εξυπηρετούνται κατά σειρά άφιξης. Για τη σχετική σειρά εξυπηρέτησης ενός αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας και ενός αιτήματος ανάκτησης πληροφορίας ορίζεται ότι τα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας εξυπηρετούνται προτού εξυπηρετηθεί οποιοδήποτε αίτημα ανανέωσης πληροφορίας. Οι παραπάνω θεωρήσεις ισχύουν για τη χρονοδρομολόγηση των αιτημάτων που επεξεργάζεται κάθε μεσίτης καθώς και τη χρονοδρομολόγηση των αιτημάτων που μεταδίδονται μεταξύ των κατανεμημένων μεσιτών.

Στη συνέχεια αναλύονται οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα αιτήματα που δέχεται το μεσιτικό διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος και δίνονται κάποιοι βασικοί ορισμοί (ενότητα 4.3.1), και στη συνέχεια διατυπώνεται μαθηματικά το πρόβλημα βελτιστοποίησης (ενότητα 4.3.2).

#### **4.3.1. Περιγραφή Αιτημάτων και Ορισμοί**

Έστω ένα *Αίτημα Ανάκτησης Πληροφορίας (Consumer Request - CR)* που υποβάλλεται από έναν καταναλωτή πληροφορίας. Το αίτημα αυτό είναι είτε απλό αίτημα ανάκτησης δεδομένων (*Consumer Query - CQ*) είτε αίτημα εγγραφής για ανάκτηση δεδομένων (*Consumer Subscription - CSub*). Οι παράμετροι που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του *CR* είναι οι ακόλουθοι:

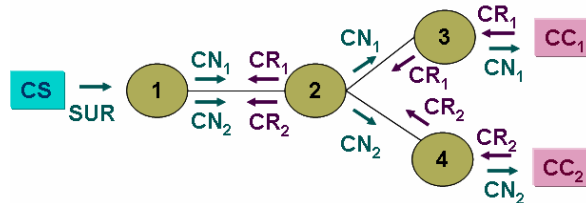
1. **Καταναλωτής Πληροφορίας (Context Consumer - CC):** Είναι η οντότητα, είτε υπηρεσία με επίγνωση του περιβάλλοντος είτε πηγή, που υποβάλλει το αίτημα *CR*.
2. **Κόμβος (Node - N):** Είναι ο κόμβος στον οποίο λειτουργεί ο καταναλωτής *CC(CR)* και ο μεσίτης πληροφορίας στον οποίο υποβάλλεται το αίτημα *CR*.

3. **Χρόνος Έναρξης (Start Time - S):** Είναι η χρονική στιγμή που υποβάλλεται το αίτημα CR από τον καταναλωτή.
4. **Χρόνος Εξυπηρέτησης (Execution Time - E):** Είναι η χρονική στιγμή που εξυπηρετείται το αίτημα CR.
5. Η **Προθεσμία (Deadline)** του αιτήματος CR περιγράφει τη χρονική στιγμή μέχρι την οποία η απάντηση στο αίτημα έχει μη-μηδενική χρησιμότητα. Αν το CR είναι απλό αίτημα τότε η προθεσμία αντιστοιχεί στον χρόνο ανάκτησης των δεδομένων. Ενώ αν το CR είναι αίτημα εγγραφής για να παραλάβει ενημερώσεις, η προθεσμία αντιστοιχεί στο χρονικό περιθώριο ανάκτησης των ανανεώσεων πληροφορίας από τη στιγμή παραγωγής τους. Η παράμετρος αυτή ορίζεται με δύο τρόπους:
  - **Σχετική Προθεσμία (Relative Deadline - RD):** Είναι το χρονικό διάστημα μετά το χρόνο έναρξης  $S(CR)$  που πρέπει να απαντηθεί το αίτημα CR.
  - **Απόλυτη Προθεσμία (Absolute Deadline - AD):** Είναι η χρονική στιγμή που προκύπτει αν προσθέσουμε τη σχετική προθεσμία  $RD(CR)$  στο χρόνο έναρξης  $S(CR)$ . Αυτή η χρονική στιγμή είναι και ο χρόνος λήξης του αιτήματος CR.
6. **Επιλεγμένη Πηγή Πληροφορίας (Selected Context Source - SS):** Είναι η πηγή πληροφορίας από την οποία θα αποκτηθεί η ζητούμενη πληροφορία για την απόκριση στο αίτημα CR. Η πηγή αυτή προσδιορίζεται κατά την υποβολή του αιτήματος από το μηχανισμό ανακάλυψης των πηγών.

Οι παράμετροι που περιγράφουν ένα *Αίτημα Ανανέωσης Πληροφορίας (Source Update Request - SUR)* που υποβάλλεται από μία πηγή πληροφορίας είναι οι ακόλουθες:

1. **Πηγή Πληροφορίας (Context Source - CS):** Είναι η πηγή πληροφορίας που υποβάλλει το αίτημα ανανέωσης SUR. Τα χαρακτηριστικά ποιότητας της πηγής CS είναι: *Ακρίβεια (Accuracy - A)*, *Περίοδος Ανανέωσης (Refresh Time - RT)* και το *Κόστος (Cost - C)*, ενώ η χρονική στιγμή παραγωγής της τελευταίας τιμής από την πηγή ή αλλιώς η χρονική σφραγίδα (timestamp) είναι  $T(CS)$ .
2. **Κόμβος (Node - N):** Είναι ο κόμβος στον οποίο λειτουργεί η πηγή  $CS(SUR)$  και ο μεσίτης πληροφορίας στον οποίο υποβάλλεται το αίτημα SUR.
3. **Όγκος Δεδομένων (Data Volume - DV):** Είναι ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρει το αίτημα SUR.
4. **Ενημερώσεις (Context Notifications - CN):** Είναι το σύνολο των  $N$  ενημερώσεων  $\{CN_1, CN_2, \dots, CN_N\}$  που πρέπει να παραδοθούν αντίστοιχα στους  $N$  καταναλωτές που έχουν εγγραφεί. Μετά την εξυπηρέτηση του SUR στον τοπικό μεσίτη, οι

ενημερώσεις αυτές διανέμονται και έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με το αίτημα *SUR* ως προς τις χρονικές προθεσμίες και τον όγκο δεδομένων που μεταφέρουν. Ένα παράδειγμα διανομής ενημερώσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4-4. Η πηγή *CS* υποβάλλει το αίτημα *SUR* στον κόμβο 1 και στη συνέχεια οι ενημερώσεις  $CN_1$  και  $CN_2$  προωθούνται προς τους κόμβους 3 και 4 όπου οι καταναλωτές  $CC_1$  και  $CC_2$  έχουν υποβάλει τα αιτήματά τους.



Σχήμα 4-4: Διανομή Ενημερώσεων

5. **Χρόνος Έναρξης (Start Time - S):** Είναι η χρονική στιγμή παραγωγής της νέας τιμής από την πηγή, δηλαδή η χρονική σφραγίδα της. Αυτή είναι και η χρονική στιγμή υποβολής του αιτήματος *SUR*.
6. **Χρόνος Αφίξης στον κόμβο  $k$  (Arrival Time - A):** Είναι η χρονική στιγμή που το αίτημα *SUR* εισάγεται στην ουρά του κόμβου  $k$ . Όταν ο κόμβος αυτός είναι ο προορισμός του αιτήματος τότε εισέρχεται στην ουρά του μεσίτη που λειτουργεί στον κόμβο.
7. **Χρόνος Εξυπηρέτησης στον κόμβο  $k$  (Execution Time - E):** Είναι η χρονική στιγμή που εξυπηρετείται το αίτημα *SUR* στον κόμβο  $k$ . Ως προς αυτή τη χρονική στιγμή ισχύουν οι ακόλουθες περιπτώσεις.
  - Εάν  $k = N(SUR)$ , τότε αυτή η χρονική στιγμή αντιστοιχεί στην εξυπηρέτηση του αιτήματος από τον τοπικό μεσίτη. Στο κόμβο αυτό ελέγχεται εάν κάποιος καταναλωτής έχει ζητήσει την πληροφορία που μεταφέρει και προωθείται το αίτημα προς τον/τους αντίστοιχο/χους καταναλωτή/τές προκειμένου να παραδοθούν τα ανανεωμένα δεδομένα. Δηλαδή προωθείται η αντίστοιχη ενημέρωση.
  - Εάν ο κόμβος  $k$  είναι ο κόμβος όπου βρίσκεται ο μεσίτης στον οποίο κάποιος από τους καταναλωτές της πληροφορίας που μεταφέρεται έχει υποβάλει το αίτημα του, τότε αυτή η χρονική στιγμή αντιστοιχεί στην παράδοση την ενημέρωσης στον/στους αντίστοιχο/χους καταναλωτή/τές.
  - Σε κάθε άλλη περίπτωση αυτή η χρονική στιγμή αντιστοιχεί στον χρόνο ολοκλήρωσης της μετάδοσης από τον κόμβο  $k$  στον επόμενο κόμβο της διαδρομής προς τον/τους καταναλωτή/τές.

8. Η **Προθεσμία (Deadline)** του αιτήματος *SUR* περιγράφει τη χρονική στιγμή μέχρι την οποία το αίτημα πρέπει να εξυπηρετηθεί ώστε τα δεδομένα που θα παραδώσει να είναι χρονικά έγκυρα (φρέσκα). Η παράμετρος αυτή, όμοια με την αντίστοιχη παράμετρο για τα αιτήματα των καταναλωτών, ορίζεται με δύο τρόπους:
- **Σχετική Προθεσμία (Relative Deadline - RD)**: Είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία τα δεδομένα παραμένουν χρονικά έγκυρα μετά από το χρόνο έναρξης  $S(SUR)$ . Προφανώς ισχύει:  $RD(SUR) = RT(CS(SUR))$ .
  - **Απόλυτη Προθεσμία (Absolute Deadline - AD)**: Είναι η χρονική στιγμή που τα δεδομένα που μεταφέρει το αίτημα *SUR* παύουν να είναι έγκυρα. Αυτή η χρονική στιγμή προκύπτει αν προσθέσουμε τη σχετική προθεσμία  $RD(SUR)$  στο χρόνο έναρξης  $S(SUR)$ .
9. **Αξία (Importance -  $I \in \{1,2,3\}$ )**: Είναι η αξία εξυπηρέτησης του αιτήματος *SUR*. Η αξία αυτή εκφράζεται μέσω της τιμής αγοράς των δεδομένων τους. Δηλαδή τα δεδομένα με τη μεγαλύτερη τιμή έχουν και τη μεγαλύτερη αξία τόσο για τους καταναλωτές που τα χρειάζονται, αλλά και για το μεσίτη που έχει μεγαλύτερο ποσοστό κέρδους από τη διανομή τους. Ωστόσο, παρόλο που τα δεδομένα έχουν διάφορες τιμές, το σύστημα θεωρεί μόνο τρία επίπεδα τιμής και συνεπώς αξίας της πληροφορίας: *χαμηλό*, *μεσαίο* και *υψηλό* με τιμές 1,2,3 αντίστοιχα.

Σχετικά με την φρεσκάδα των δεδομένων και τους χρονικούς περιορισμούς των αιτημάτων για ανάκτηση τους ισχύουν οι ακόλουθοι ορισμοί:

- ♦ **Ορισμός 1:** Έστω ότι το αίτημα *SUR* ανανέωσης πληροφορίας υποβάλλεται από την πηγή *CS*. Τα δεδομένα που μεταφέρει το *SUR* είναι χρονικά έγκυρα (φρέσκα) όταν χρησιμοποιούνται πριν τη χρονική στιγμή  $AD(SUR)$ .
- ♦ **Ορισμός 2:** Έστω ότι το αίτημα *CR* εγγραφής στα δεδομένα που παράγονται από την πηγή *CS*, δηλαδή  $SS(CR) = CS$ . Στο πλαίσιο αυτό πρέπει να λάβει την ενημέρωση *CN* που παράγεται από την πηγή. Οι ακόλουθοι ορισμοί ισχύουν:
  - Το σύστημα θα παραδώσει χρονικά έγκυρα δεδομένα, εάν η *CN* παραδοθεί έως τη χρονική στιγμή  $AD(CN)$ .
  - Το σύστημα θα παραδώσει την ενημέρωση *CN* εντός της χρονικής προθεσμίας που έχει θέσει, εάν η *CN* παραδοθεί έως τη χρονική στιγμή  $AD(CR)$ .
  - Το σύστημα θα παραδώσει επιτυχώς την ενημέρωση *CN*, εάν η *CN* παραδοθεί εντός της χρονικής προθεσμίας και τα δεδομένα είναι έγκυρα. Επομένως, η ενημέρωση πρέπει να παραδοθεί έως τη χρονική στιγμή  $\min\{AD(CR), AD(CN)\}$ .

- ♦ **Ορισμός 4:** Έστω ότι το απλό αίτημα  $CR$  που ζητά την ανάκτηση των δεδομένων από την πηγή  $CS$ , δηλαδή  $SS(CR)=CS$ . Για την περίπτωση αυτή ισχύουν τα εξής:
  - Το σύστημα πρέπει να αποκριθεί άμεσα στο αίτημα  $CR$ . Δηλαδή  $AD(CR)=S(CR)$  και  $RD(CR)=0$ .
  - Το σύστημα θα αποκριθεί επιτυχώς στο αίτημα  $CR$ , εάν τα δεδομένα που θα παραδώσει είναι έγκυρα.
- ♦ **Ορισμός 4:** Έστω το αίτημα  $CR$  που ζητά πληροφορία η οποία παράγεται από την πηγή  $CS_1=SS(CR)$ . Το αίτημα ανανέωσης πληροφορίας  $SUR_1$  είναι το πιο πρόσφατο αίτημα ανανέωσης που έχει υποβληθεί από την πηγή  $CS_1$ . Επίσης, έστω ότι έχει υποβληθεί το αίτημα ανανέωσης πληροφορίας  $SUR_2$  από την πηγή  $CS_2$ . Τα δεδομένα που μεταφέρουν τα δύο αιτήματα ανανέωσης είναι όμοια εάν ισχύουν:  $A(CS_1)=A(CS_2)$ ,  $RT(CS_1)=RT(CS_2)$ ,  $C(CS_1)=C(CS_2)$ . Το σύστημα θα αποκριθεί στο αίτημα  $CR$  με δεδομένα που μεταφέρονται από το αίτημα  $SUR_2$  (και όχι από το  $SUR_1$ ), μόνον όταν ισχύει  $AD(SUR_1)<AD(SUR_2)$ , δηλαδή όταν τα χαρακτηριστικά ποιότητας των πηγών και το κόστος είναι όμοια, αλλά και τα δεδομένα του  $SUR_2$  είναι πιο φρέσκα.

### 4.3.2. Μαθηματική Περιγραφή

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, η τυπική περιγραφή του προβλήματος εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται στους μεσίτες και διανομής των ανανεωμένων δεδομένων δεδομένου των αυστηρών χρονικών περιορισμών, των περιορισμένων πόρων επεξεργασίας που διαθέτουν οι μεσίτες και των δικτυακών πόρων παρατίθεται ακολούθως:

- ✦ **Δεδομένα Προβλήματος:** Έστω ο μη κατευθυνόμενος γράφος  $G(V,E)$ , όπου  $V$  είναι το σύνολο των κόμβων και  $E$  το σύνολο των ακμών. Κάθε ακμή περιγράφεται από τους κόμβους  $s,d \in V$  με τη μορφή  $(s,d) \in E$  και έχει ανώτερο ρυθμό μετάδοσης (bandwidth)  $B_{sd}$ , ενώ η καθυστέρηση διάδοσης (delay) είναι  $D_{sd}$ . Έστω  $N$  πηγές πληροφορίας περιβάλλοντος:  $\{CS_1, \dots, CS_N\}$ ,  $L$  καταναλωτές πληροφορίας:  $\{CC_1, \dots, CC_L\}$  που λειτουργούν στο δίκτυο την χρονική περίοδο  $[T_1, T_2]$ . Στο κόμβο  $k \in V$  είναι εγκατεστημένος ένας μεσίτης με ανώτερο ρυθμό εξυπηρέτησης (αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας ανά δευτερόλεπτο (sec))  $C_k > 0$ . Κάθε πηγή πληροφορίας  $CS_i$ ,  $i \in (1, N)$  υποβάλλει  $M_i$  αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας:  $\{SUR_1^i, \dots, SUR_{M_i}^i\}$  κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου  $[T_1, T_2]$ . Κάθε καταναλωτής  $CC_j$ ,  $j \in (1, L)$  έχει υποβάλει ένα αίτημα εγγραφής για λήψη ενημερώσεων και περιμένει να λάβει

$L_j$  ενημερώσεις  $\{CN_1^j, \dots, CN_{L_j}^j\}$  από την πηγή  $SS_j \in \{CS_1, \dots, CS_N\}$ , κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου  $[T_1, T_2]$ . Οι ενημερώσεις αυτές είναι αντίστοιχες με τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας που υποβάλλει η πηγή κατά την ίδια περίοδο. Το δρομολόγιο των ενημερώσεων από τον κόμβο  $N(SS_j)$ , όπου λειτουργεί η πηγή που παράγει τις ενημερώσεις, προς τον κόμβο, όπου βρίσκεται ο καταναλωτής  $N(CC_j)$ , αποτελείται από  $P_j$  κόμβους  $(n_1^j, n_2^j, \dots, n_{P_j}^j)$  με  $n_1^j = N(SS_j)$  και  $n_{P_j}^j = N(CC_j)$ . Οι προθεσμίες τόσο των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας όσο και των δεδομένων είναι αυστηρές.

Ζητείται να καθοριστεί η σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας στο μεσίτη και η σειρά μετάδοσης των ενημερώσεων στις γραμμές του δικτύου. Δηλαδή ζητείται να προσδιοριστούν οι χρονικές στιγμές:  $E(SUR_m^i, N(CS_i))$ , όπου  $i \in (1, N), m \in (1, M_i)$  και  $E(CN_z^j, k)$ , όπου  $j \in (1, L), z \in (1, L_j)$ , ώστε να μεγιστοποιείται ο αριθμός των ενημερώσεων που παραδίδονται επιτυχώς στους καταναλωτές πληροφορίας που τις έχουν ζητήσει. Έστω  $x_{jz} = 1$ , όταν η ενημέρωση  $CN_z^j$  φτάσει επιτυχώς στον καταναλωτή  $CC_j$ , δηλαδή  $E(CN_z^j, n_{P_j}) \leq S(CN_z^j) + RT(SS_j)$ , ενώ διαφορετικά έχει τιμή  $x_{jz} = 0$ .

- ✦ **Αντικειμενική Συνάρτηση:** Μεγιστοποίηση των ανανεώσεων πληροφορίας που παραδίδονται επιτυχώς κατά το χρονικό διάστημα  $[T_1, T_2]$ :

$$\max \sum_{j=1}^{j=L} \sum_{z=1}^{z=L_j} x_{jz} \quad (4-1)$$

- ✦ **Περιορισμοί:**

- $\forall t \in [T_1, T_2]$  και  $\forall k \in V$ :

$$\frac{1}{C_k} \left( \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{m=1}^{m=M_i} y_{imt} + \sum_{j=1}^{j=L} \sum_{l=1}^{l=L_j} z_{jlt} \right) \leq 1, \text{ όπου} \quad (4-2)$$

$$y_{imt} = \begin{cases} 1, & \text{όταν } k = N(CS_i), t \leq E(SUR_m^i, k) < t+1 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$z_{jlt} = \begin{cases} 1, & \text{όταν } k = n_{P_j}^j, t \leq E(CN_l^j, k) < t+1 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$



- ο  $\forall t \in [T_1, T_2]$  και  $\forall (s, d) \in E$ :

$$\frac{1}{B_{sd}} \sum_{j=1}^{j=L} \sum_{l=1}^{l=L_j} DV(CN_l^j) z_{jlt} \leq 1, \text{ όπου} \quad (4-3)$$

$$z_{jlt} = \begin{cases} 1 & , \text{όταν } (s, d) \in (n_{l_j}^j, \dots, n_{p_j}^j), t \leq E(CN_l^j, s) < t+1 \\ 1 & , \text{όταν } (d, s) \in (n_{l_j}^j, \dots, n_{p_j}^j), t \leq E(CN_l^j, d) < t+1 \\ 0 & , \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

- ο  $\forall CN_z^j, j \in (1, L), z \in (1, L_j)$ :

$$A(CN_z^j, n_{l_j}^j) = E(SUR_z^i, N(CS_i)), S(CN_z^j) = S(SUR_z^i), \quad \text{με } i: CS_i = SS_j \quad (4-4)$$

- ο  $\forall CN_z^j, j \in (1, L), z \in (1, L_j)$  και  $\forall (s, d) \in E$  με  $(s, d) \in (n_{l_j}^j, \dots, n_{p_j}^j)$ :

$$A(CN_z^j, d) = E(CN_z^j, s) + D_{sd} \quad (4-5)$$

- ο  $\forall CR_j, j \in (1, L)$ :

$$AD(CR_j) = AD(SUR_z^i), RD(CR_j) = RT(SS_j), \quad \text{με } i: CS_i = SS_j \quad (4-6)$$

- ο  $\forall CN_z^j, j \in (1, L), z \in (1, L_j)$  και  $\forall n \in (n_{l_j}^j, \dots, n_{p_j}^j)$ :

$$A(CN_z^j, n) \leq E(CN_z^j, n) \leq S(CN_z^j) + RT(SS_j) \quad (4-7)$$

- ο  $\forall SUR_m^i, i \in (1, N), m \in (1, M_i)$

$$A(SUR_m^i, N(CS_i)) \leq E(SUR_m^i, N(CS_i)) \leq S(SUR_m^i) + RT(CS_i) \quad (4-8)$$

Οι εξισώσεις (4-2) και (4-3) αναφέρονται στους περιορισμούς πόρων του συστήματος. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των αιτημάτων ανανέωσης που εξυπηρετούνται ανά δευτερόλεπτο από κάθε μεσίτη δεν πρέπει να υπερβαίνει τις δυνατότητες του (4-2), και ο όγκος των ενημερώσεων που μεταφέρονται στις ακμές του δικτύου δεν πρέπει να υπερβαίνουν τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης (4-3). Οι σχέσεις (4-4) περιγράφουν ότι κατά την εξυπηρέτηση ενός αιτήματος ανανέωσης στον τοπικό μεσίτη με την πηγή, ελέγχονται οι καταναλωτές που έχουν ζητήσει τα αντίστοιχα δεδομένα, προς τους οποίους στη συνέχεια διανέμονται. Ο περιορισμός (4-5) αναφέρεται στην καθυστέρηση διάδοσης στις γραμμές του δικτύου. Οι σχέσεις (4-6) περιγράφουν ότι οι προθεσμίες παράδοσης των ενημερώσεων είναι ίσες με τις προθεσμίες των δεδομένων. Οι περιορισμοί (4-7) και (4-8) αναφέρονται στην

απαίτηση για διανομή χρονικά έγκυρων δεδομένων και την ικανοποίηση των αυστηρών χρονικών προθεσμιών που θέτουν τα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας. Δηλαδή, τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας πρέπει να εξυπηρετούνται προτού τα δεδομένα τους λήξουν, διαφορετικά απορρίπτονται. Σχετικά την υποβολή των αιτημάτων εγγραφής έχει θεωρηθεί έχουν ήδη υποβληθεί στο σύστημα πριν το διάστημα  $[T_1, T_2]$ . Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στην μαθηματική περιγραφή του προβλήματος δεν έχουν συμπεριληφθεί τα απλά αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας, καθώς αυτά απαντώνται με τα ήδη αποθηκευμένα δεδομένα.

#### 4.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος ο οποίος ονομάζεται *Importance/Popularity/Urgency-Aware Scheduling Algorithm (IPU)*. Ο αλγόριθμος αυτός καθορίζει με δυναμικό τρόπο τη σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας λαμβάνοντας υπόψη του τις προθεσμίες, τα ζητήματα συγχρονισμού αλλά και πόση αξία έχει το αίτημα για το σύστημα.

Επειδή το ενδιαφέρον δεν εστιάζεται μόνο στο πόσα αιτήματα χάνουν τις προθεσμίες τους αλλά και ποια είναι τα αιτήματα που αποτυγχάνουν [88], ο αλγόριθμος IPU λαμβάνει υπόψη το κέρδος από την έγκαιρη εξυπηρέτηση ενός αιτήματος που εκφράζεται από την παράμετρο *Αξία (Importance)*. Η παράμετρος αυτή είναι χαρακτηριστικό της κάθε πηγής και υπολογίζεται με βάση το κόστος παροχής της πληροφορίας.

Επίσης, με απώτερο σκοπό να μειωθεί ο συνολικός αριθμός των αιτημάτων που δεν εξυπηρετούνται εντός των προθεσμιών τους, λαμβάνεται υπόψη η *Δημοτικότητα (Popularity)* ενός αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας, η οποία περιγράφει τη ζήτηση από τους καταναλωτές για το συγκεκριμένο αίτημα. Συνεπώς, τα αιτήματα με τη μεγαλύτερη ζήτηση έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από τα άλλα. Ο ορισμός της δημοτικότητας για τα αιτήματα ανανέωσης παρουσιάζεται στη συνέχεια.

**Ορισμός Δημοτικότητας:** Η δημοτικότητα  $Pop(SUR, t)$  του αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας  $SUR$  που υποβάλλεται από την πηγή  $CS$  (ή της αντίστοιχης ενημέρωσης που διανέμεται προς τους καταναλωτές) υπολογίζεται από το ποσοστό ζήτησης της πληροφορίας που μεταφέρει το αίτημα τη δεδομένη χρονική στιγμή  $t$ . Δηλαδή, υπολογίζεται από το πηλίκο του συνολικού αριθμού καταναλωτών που έχουν ζητήσει τη συγκεκριμένη πληροφορία προς το συνολικό αριθμό καταναλωτών που ζητούν πληροφορία.

$$Pop(SUR,t) = \frac{\#CC_j, A(CR_1^j, N(SUR)) \leq t, SS(CR_1^j) = CS(SUR)}{\#CC_j, A(CR_1^j, N(CR_1^j)) \leq t}$$

Ο απώτερος σκοπός του συστήματος είναι να αποκρίνεται επιτυχώς στα αιτήματα πληροφορίας, τόσο στα απλά αιτήματα αλλά και στα αιτήματα εγγραφής για ενημερώσεις, παραδίδοντας χρονικά έγκυρα δεδομένα. Για αυτό το λόγο εισάγεται η παράμετρος *Επιτακτικότητα (Urgency)* η οποία περιγράφει την ανάγκη εξυπηρέτησης ενός αιτήματος ανανέωσης για λόγους χρονικής εγκυρότητας. Εάν η επιτακτικότητα οριστεί αντιστρόφως ανάλογη της απόλυτης προθεσμίας του αιτήματος ανανέωσης, δηλαδή όπως ακριβώς στον EDF, τότε ενώ οι ανανεώσεις της πληροφορίας θα παραδίδονταν έγκαιρα αλλά τα δεδομένα θα έληγαν σύντομα. Επομένως, εκτιμήθηκε ότι είναι πιο αποδοτικό να εξυπηρετούνται τα αιτήματα με τέτοιο τρόπο ώστε τα δεδομένα που θα αποθηκεύονται να παραμένουν έγκυρα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, ο προτεινόμενος αλγόριθμος προσπαθεί να διασκορπίσει δίκαια τυχόν αποτυχίες έγκαιρης εξυπηρέτησης ανάμεσα στις διάφορες πηγές. Για να επιτευχθεί αυτό λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των κύκλων ανανέωσης κατά τους οποίους δεν έχουν παραδοθεί ανανεώσεις των δεδομένων κάθε πηγής. Ο ορισμός της επιτακτικότητας για τα αιτήματα ανανέωσης παρουσιάζεται στη συνέχεια.

**Ορισμός Επιτακτικότητας:** Η επιτακτικότητα  $Urg(SUR, t)$  ενός αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας  $SUR$  περιγράφει την αξία εξυπηρέτησης από πλευράς χρονικής εγκυρότητας τη δεδομένη χρονική στιγμή  $t$ . Δηλαδή, η επιτακτικότητα είναι ανάλογη του υπόλοιπου χρόνου που τα δεδομένα παραμένουν χρονικά έγκυρα.

$$Urg(SUR, t) = UrgImp(SUR, t) * (S(SUR) + AD(SUR) - t)$$

Ο παράγοντας *Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας (Urgency Importance)*  $UrgImp(SUR, t)$  περιγράφει τον αριθμό κύκλων ανανέωσης κατά τους οποίους δεν έχει μεταδοθεί και αποθηκευτεί επιτυχώς ανανεωμένη τιμή από την πηγή και εξασφαλίζει ότι τα ποσοστά αποτυχίας έγκαιρης εξυπηρέτησης είναι παρόμοια για τις διάφορες πηγές. Για αιτήματα που προέρχονται από περιοδικές πηγές πληροφορίας η παράμετρος αυτή ορίζεται ως εξής:

$$UrgImp(SUR, t) = \frac{S(SUR) - T(CS(SUR))}{AD(SUR)}$$

Ωστόσο, για τα αιτήματα που προέρχονται από μη-περιοδικές πηγές ο παράγοντας αυτός είναι παράμετρος του συστήματος. Η ανάθεση τιμής στην παράμετρο αυτή εκφράζει τον επιθυμούμενο βαθμό εξυπηρέτησης των μη-περιοδικών αιτημάτων εις βάρος των περιοδικών.

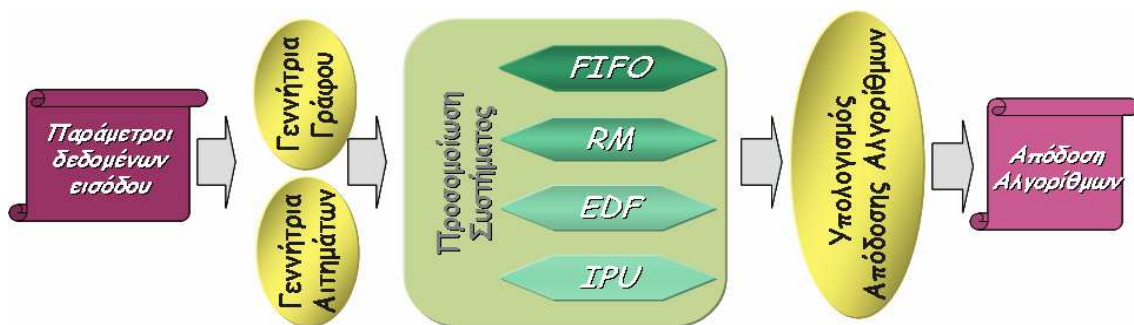
Σύμφωνα με τον προτεινόμενο αλγόριθμο, οι προτεραιότητες των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας υπολογίζονται με βάση την επιτακτικότητά τους (που εκφράζει τους χρονικούς

περιορισμούς των αιτημάτων), την αξία τους (που εκφράζει το κέρδος από την έγκαιρη εξυπηρέτηση τους) και τη δημοτικότητα τους (που εκφράζει την ζήτηση των δεδομένων από τους καταναλωτές). Τελικά, η Προτεραιότητα (Priority)  $Pr(SUR,t)$  του αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας  $SUR$  τη χρονική στιγμή  $t$  είναι:

$$Pr(SUR,t) = Pop(SUR,t) * Urg(SUR,t) * I(SUR)$$

## 4.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η εκτίμηση της απόδοσης του προτεινόμενου αλγορίθμου IPU συγκριτικά με τους γνωστούς αλγορίθμους: FIFO, EDF και RM. Για το σκοπό αυτό, έχει αναπτυχθεί πρόγραμμα που προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος στη γλώσσα προγραμματισμού Java 1.4 [89]. Επιλέχθηκε η χρήση προσομοιώσεων καθώς δεν ήταν δυνατός ο πειραματισμός σε πραγματικό περιβάλλον λόγω των απαιτήσεων σε εξοπλισμό υλικού. Το περιβάλλον εκτέλεσης των προσομοιώσεων είναι *1.4 GHz Pentium Fujitsu Siemens Lifebook* με μνήμη *512MB* και λειτουργικό σύστημα *Windows XP*. Κατά την εκτέλεση κάθε προσομοίωσης αρχικά παράγονται τα αιτήματα που υποβάλλονται από τις πηγές και τους καταναλωτές της πληροφορίας, σύμφωνα με τις παραμέτρους που ορίζονται. Επίσης, παράγονται η τοπολογία και τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Στη συνέχεια, με δεδομένα εισόδου τα αιτήματα που υποβάλλονται εκτελείται το πρόγραμμα της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο ανάθεσης προτεραιοτήτων. Με βάση την τελική σειρά εκτέλεσης των αιτημάτων υπολογίζεται η απόδοση του αντίστοιχου αλγορίθμου. Οι συνιστώσες λογισμικού που υλοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων απεικονίζονται στο Σχήμα 4-5.



Σχήμα 4-5: Λογισμικό Προσομοίωσης

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται η μοντελοποίηση του συστήματος (ενότητα 4.5.1), τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της απόδοσης των αλγορίθμων (ενότητα 4.5.2) και οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν (ενότητα 4.5.3).

### 4.5.1. Μοντέλο Προσομοίωσης

Στην ενότητα αυτή αναλύεται το μοντέλο προσομοίωσης που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο προσομοιώσεων για τη μελέτη του καθορισμού της σειράς εκτέλεσης των αιτημάτων σε κάθε μεσίτη. Ειδικότερα, θεωρήθηκε ότι το σύστημα αποτελείται από ένα μοναδικό μεσίτη στον οποίο υποβάλλονται όλα τα αιτήματα και εξετάστηκε η εφαρμογή των αλγορίθμων στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων που υποβάλλονται σε αυτόν. Στη συνέχεια, μελετήθηκε το πρόγραμμα διανομής των ανανεωμένων δεδομένων στους απομακρυσμένους καταναλωτές πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό, ορίστηκε ένα σύνολο κατανεμημένων μεσιτών στους κόμβους του δικτύου, στους οποίους υποβάλλονται τα αιτήματα από τις πηγές και τους καταναλωτές πληροφορίας. Με βάση αυτό, μελετήθηκε το πρόγραμμα διανομής των ανανεώσεων στους ενδιάμεσους κόμβους του δικτύου στα πλαίσια μετάδοσης της πληροφορίας από τις απομακρυσμένες πηγές στους καταναλωτές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μοντέλα των προσομοιώσεων, πρώτα η κεντρική περίπτωση (ενότητα 4.5.1.1) και κατόπιν η κατανεμημένη (ενότητα 4.5.1.2). Ειδικότερα, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των πηγών πληροφορίας και των αιτημάτων για ανανέωση πληροφορίας που υποβάλλονται στο σύστημα, τα χαρακτηριστικά των καταναλωτών πληροφορίας και των αιτημάτων που υποβάλλουν, και οι παράμετροι του συστήματος.

#### 4.5.1.1. Κεντρικός Μεσίτης Πληροφορίας

Έστω ότι ο αριθμός των πηγών πληροφορίας είναι  $N_{sources}$ . Η πιθανότητα μία πηγή πληροφορίας να παρέχει δεδομένα σύμφωνα με τον ενεργό τρόπο  $p_{active}$ , και η πιθανότητα να παρέχει δεδομένα σύμφωνα με τον παθητικό τρόπο είναι  $p_{passive}$ . Προφανώς, ισχύει:  $p_{active} + p_{passive} = 1$ . Όμοια, οι πιθανότητες μία πηγή να υποβάλει περιοδικά και μη-περιοδικά αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας είναι  $p_{periodic}$  και  $p_{aperiodic}$  αντίστοιχα. Προφανώς και για αυτές τις πιθανότητες, ισχύει:  $p_{aperiodic} + p_{periodic} = 1$ . Επίσης, οι πιθανότητες τα δεδομένα που παρέχει μια πηγή να έχουν: χαμηλή, μεσαία και υψηλή αξία είναι αντίστοιχα:  $p_{low}$ ,  $p_{medium}$  και  $p_{high}$ , ενώ ισχύει:  $p_{low} + p_{medium} + p_{high} = 1$ . Η παράμετρος  $Type$  περιγράφει τον αριθμό των πηγών που παρέχουν όμοια πληροφορία. Η περίοδος ανανέωσης των πηγών πληροφορίας παράγεται από μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών που δημιουργεί ομοιόμορφα κατανεμημένους ακέραιους αριθμούς στο διάστημα  $[Min\_refresh\_time, Max\_refresh\_time]$ . Η μέση τιμή της περιόδου ανανέωσης είναι  $Mean\ Refresh\ Time: MRT = (Min\_refresh\_time + Max\_refresh\_time) / 2$ . Πρέπει να επισημανθεί ότι όλες οι πηγές έχουν υποβάλλει το πρώτο αίτημα ανανέωσης, προτού οι καταναλωτές υποβάλλουν αιτήματα απόκτησης πληροφορίας. Οι περιοδικές πηγές

πληροφορίας υποβάλλουν ένα αίτημα ανανέωσης πληροφορίας στην αρχή κάθε κύκλου ανανέωσης, ενώ οι μη-περιοδικές υποβάλλουν τα αιτήματα ανανέωσης ανά μη τακτά χρονικά διαστήματα, τα οποία είναι όμως πολλαπλάσια του χρόνου ανανέωσης. Ειδικότερα, ο αριθμός των κύκλων ανανέωσης που περνούν μέχρι την υποβολή νέου αιτήματος ανανέωσης από τις μη-περιοδικές πηγές παράγεται από μια γεννήτρια ακέραιων αριθμών που ακολουθούν την εκθετική κατανομή. Η μέση τιμή των αριθμών αυτών είναι *Aperiodic\_Rate* (AR). Επιπλέον, *Urgency\_Importance* είναι η σπουδαιότητα επιτακτικότητας για τις μη-περιοδικές τιμές. Λόγω των καθυστερήσεων διάδοσης στο δίκτυο, τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας φτάνουν με καθυστέρηση στην ουρά εξυπηρέτησης του μεσίτη. Η καθυστέρηση αυτή περιγράφεται από το λόγο του χρόνου καθυστέρησης διάδοσης στο δίκτυο προς την αντίστοιχη περίοδο ανανέωσης της πηγής και συμβολίζεται ως *Delay\_Ratio*. Άρα, για το αίτημα ανανέωσης πληροφορίας SUR ο χρόνος άφιξης στην ουρά είναι:  $A(SUR) = S(SUR) + Delay\_Ratio * RT(SUR)$ . Τα παραπάνω μεγέθη που χαρακτηρίζουν τις πηγές πληροφορίας και τα αιτήματα που υποβάλλουν συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 4-1).

**Πίνακας 4-1:** Παράμετροι των Πηγών Πληροφορίας και των Αιτημάτων τους

<u>Παράμετρος</u>	<u>Περιγραφή</u>
<b>N<sub>sources</sub></b>	Αριθμός των πηγών πληροφορίας
<b>P<sub>active</sub></b>	Πιθανότητα μία πηγή να είναι ενεργή
<b>P<sub>passive</sub></b>	Πιθανότητα μία πηγή να είναι παθητική
<b>P<sub>periodic</sub></b>	Πιθανότητα μία πηγή να είναι περιοδική
<b>P<sub>aperiodic</sub></b>	Πιθανότητα μία πηγή να είναι μη-περιοδική
<b>P<sub>low</sub></b>	Πιθανότητα τα δεδομένα μίας πηγή να είναι χαμηλής αξίας
<b>P<sub>medium</sub></b>	Πιθανότητα τα δεδομένα μίας πηγή να είναι μεσαίας αξίας
<b>P<sub>high</sub></b>	Πιθανότητα τα δεδομένα μίας πηγή να είναι υψηλής αξίας
<b>Min_refresh_time</b>	Ελάχιστη τιμή περιόδου ανανέωσης της πληροφορίας των πηγών
<b>Max_refresh_time</b>	Μέγιστη τιμή περιόδου ανανέωσης της πληροφορίας των πηγών
<b>Type</b>	Αριθμός πηγών που δίνουν όμοια πληροφορία
<b>Aperiodic_Rate</b>	Μέση τιμή κύκλων ανανέωσης που οι μη-περιοδικές πηγές υποβάλουν αίτημα ανανέωσης
<b>Urgency_Importance</b>	Σπουδαιότητα επιτακτικότητας για τα δεδομένα των μη-περιοδικών πηγών
<b>Delay_Ratio</b>	Λόγος της καθυστέρησης άφιξης ενός αιτήματος προς την περίοδο ανανέωσης των δεδομένων της πηγής

Οι παράμετροι που σχετίζονται με τους καταναλωτές πληροφορίας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-2). Έστω ότι ο αριθμός των καταναλωτών πληροφορίας που

εγγράφονται για να λάβουν ενημερώσεις πληροφορίας είναι  $N_{consumers}$ . Κάθε καταναλωτής εγγράφεται για τα δεδομένα μιας μόνο πηγής πληροφορίας. Εκτός από τις εγγραφές για ενημερώσεις, υποβάλλονται απλά αιτήματα με ρυθμό που ακολουθεί την κατανομή *Poisson* και μέση τιμή χρόνου μεταξύ των διαδοχικών αφίξεων ίση με *Queries\_Interval* δευτερόλεπτα. Η ζήτηση για δεδομένα των πηγών είναι τυχαία αλλά ομοιόμορφα κατανεμημένη μεταξύ των πηγών. Οι προθεσμίες που θέτει κάθε καταναλωτής πληροφορίας υπολογίζεται από το ποσοστό *Deadline\_Ratio* της περιόδου ανανέωσης των δεδομένων της πηγής πληροφορίας που αντιστοιχεί στο αίτημα. Επομένως, για το αίτημα κατανάλωσης πληροφορίας *CR*, η απόλυτη προθεσμία εξυπηρέτησης είναι ίση με:  $AD(CR) = S(CR) + Deadline\_Ratio * RT(CS(CR))$ . Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι προθεσμίες για τα απλά αιτήματα πληροφορίας είναι μηδενικές. Δηλαδή, η απόκριση σε ένα απλό αίτημα γίνεται αμέσως όταν υποβάλλεται, και τα δεδομένα που επιστρέφονται είναι αυτά που έχουν πιο πρόσφατα αποθηκευτεί. Άρα, για ένα απλό αίτημα *CR*, η απόλυτη προθεσμία είναι:  $AD(CR) = A(CR)$ , εκτός αν προσδιοριστεί κάτι διαφορετικό.

**Πίνακας 4-2:** Παράμετροι των Καταναλωτών Πληροφορίας

<u>Παράμετρος</u>	<u>Περιγραφή</u>
<b><math>N_{consumers}</math></b>	Αριθμός καταναλωτών πληροφορίας που εγγράφονται για να λάβουν ενημερώσεις
<b><i>Queries_Interval</i></b>	Μέση τιμή χρονικού διαστήματος μεταξύ των αφίξεων δύο διαδοχικών απλών αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας
<b><i>Deadline_Ratio</i></b>	Λόγος της προθεσμίας του καταναλωτή ενός αιτήματος προς την περίοδο ανανέωσης της αντίστοιχης πηγής

Ο Πίνακας 4-3 περιλαμβάνει τις γενικές παραμέτρους του συστήματος. Το ανώτατο χρονικό διάστημα που επιτρέπεται κάθε αίτημα να περιμένει στην ουρά μέχρι να εξυπηρετηθεί καθορίζεται από τις προθεσμίες των καταναλωτών, δηλαδή από την παράμετρο *Deadline\_Ratio*. Το μέγεθος *Queue\_Size* της ουράς αναμονής των αιτημάτων ανανέωσης περιγράφει τη χωρητικότητα της ουράς σε αιτήματα. Ο μέσος εκτιμώμενος ρυθμός εκτέλεσης των αιτημάτων ανανέωσης, δηλαδή ο αριθμός των αιτημάτων που εξυπηρετούνται ανά δευτερόλεπτο, είναι *Execution\_Rate (ER)*. Τέλος, το χρονικό διάστημα που προσομοιώνεται το σύστημα είναι *Time*.

**Πίνακας 4-3:** Παράμετροι Συστήματος

<u>Παράμετρος</u>	<u>Περιγραφή</u>
<b><i>Queue_Size</i></b>	Χωρητικότητα ουράς αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας
<b><i>Execution_Rate</i></b>	Ρυθμός εξυπηρέτησης αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας
<b><i>Time</i></b>	Χρόνος προσομοίωσης

Ως μέγεθος μέτρησης του φορτίου του μεσίτη εισάγεται το μέγεθος *Broker\_Load*. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί στο λόγο του ρυθμού άφιξης αιτημάτων στο μεσίτη προς το ρυθμό εξυπηρέτησης. Επειδή τα αιτήματα που υποβάλλονται από τους καταναλωτές είναι ελάχιστα σε σχέση με τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας, το φορτίο του μεσίτη οφείλεται κυρίως στα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας. Έτσι λοιπόν, ο ρυθμός άφιξης αιτημάτων υπολογίζεται με βάση τα αιτήματα που υποβάλλονται από τις περιοδικές και τις μη-περιοδικές πηγές. Ο μέσος ρυθμός άφιξης αιτημάτων που προέρχονται από μια περιοδική πηγή είναι  $1/MRT$ , ενώ ο μέσος ρυθμός άφιξης των αιτημάτων που προέρχονται από μια μη-περιοδική πηγή είναι  $1/MRT * AR$ . Επομένως, το φορτίο του μεσίτη ορίζεται ως ακολούθως:

$$Broker\_Load = \frac{\left(\frac{1}{MRT} * P_{periodic} + \frac{1}{MRT * AR} * P_{aperiodic}\right) * N_{sources}}{ER}$$

Σχετικά με τις τιμές του *Broker\_Load* ισχύουν τα εξής:

- ♦ Όταν  $Broker\_Load < 1$ , το σύστημα είναι ‘υπό-φορτωμένο’ (underloaded).
- ♦ Όταν  $Broker\_Load \geq 1$ , το σύστημα είναι ‘υπέρ-φορτωμένο’ (overloaded).

#### 4.5.1.2. Κατανεμημένοι Μεσίτες Πληροφορίας

Για την προσομοίωση του συστήματος, όταν αποτελείται από κατανεμημένους μεσίτες ορίζονται κάποια επιπρόσθετα μεγέθη. Το δίκτυο αναπαρίσταται με ένα μη-κατευθυνόμενο γράφο ο οποίος παράγεται χρησιμοποιώντας το μοντέλο *Waxman* [90]. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι κόμβοι τοποθετούνται τυχαία εντός της περιοχής *Graph\_Area* η οποία ορίζεται από ένα ορθογώνιο πλέγμα. Δύο κόμβοι  $n_1, n_2$  συνδέονται βάση της πιθανότητας:

$P(n_1, n_2) = alpha * e^{-d(n_1, n_2) / beta * L}$ , όπου  $d(n_1, n_2)$  είναι η ευκλείδεια απόσταση των κόμβων,  $L$  είναι η μέγιστη πιθανή απόσταση δύο οποιοδήποτε κόμβων που τοποθετούνται στην περιοχή *Graph\_Area* και οι παράμετροι  $alpha, beta \in (0,1)$  εκφράζουν αντίστοιχα την πιθανότητα ύπαρξης συνδέσεων και την πιθανότητα απευθείας σύνδεσης των απομακρυσμένων κόμβων σε σχέση με κοντινότερους. Έστω *Nodes* ο αριθμός των κόμβων και *Edges* ο αριθμός των συνδέσεων του δικτύου. Το εύρος ζώνης των συνδέσεων παράγεται από μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών που δημιουργεί ομοιόμορφα κατανεμημένους ακέραιους αριθμούς στο διάστημα [*Min\_Bandwidth*, *Max\_Bandwidth*]. Προφανώς η μέση τιμή εύρους ζώνης είναι:  $Mean\_Bandwidth = (Min\_Bandwidth + Max\_Bandwidth) / 2$ . Το μοντέλο μετάδοσης στις συνδέσεις είναι διπλής κατεύθυνσης (full-duplex), δηλαδή μοιράζεται το εύρος ζώνης ομοιόμορφα στις δύο κατευθύνσεις μετάδοσης. Ο χρόνος καθυστέρησης διάδοσης σε κάθε γραμμή του δικτύου είναι ανάλογος της ευκλείδειας απόστασης των αντίστοιχων κόμβων



(σύμφωνα με την θέση τους στην περιοχή *Graph\_Area*). Η αναλογία της καθυστέρησης διάδοσης προς την ευκλείδεια απόσταση είναι *Transmission\_Delay\_Ratio* και είναι έχει ίδια τιμή για όλες τις συνδέσεις. Ο κόμβος λειτουργίας κάθε πηγής και καταναλωτή αποφασίζεται τυχαία. Το μέγεθος των πακέτων που μεταφέρουν τις ανανεώσεις των δεδομένων είναι *Packet\_length*. Το μονοπάτι δρομολόγησης ενός αιτήματος μεταξύ δυο απομακρυσμένων κόμβων υπολογίζεται με βάση τον αλγόριθμο υπολογισμού του συντομότερου μονοπατιού *Dijkstra Shortest Path* [91]. Όταν περισσότεροι από έναν καταναλωτή έχουν εγγραφεί για την ίδια πληροφορία, τότε υλοποιείται πολλαπλή διανομή ως εξής: τα δεδομένα δρομολογούνται ως ένα αίτημα κατά μήκος της κοινής διαδρομής, το οποίο στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται/αντιγράφεται (replicate) για να συνεχίσει προς κάθε καταναλωτή. Η παραπάνω λειτουργικότητα υποστηρίζεται από την τεχνολογία των ενεργών δικτύων. Σύμφωνα με το σχεδιασμό του συστήματος, στην περίπτωση των απλών αιτημάτων κάθε μεσίτης, προκειμένου να αποκριθεί στα απλά αιτήματα που έχουν υποβληθεί σε αυτόν τοπικά, αρχικά ελέγχει την χρονική εγκυρότητα των αντίστοιχων δεδομένων που είναι αποθηκευμένα, και εάν αποδειχτεί ότι αυτά έχουν λήξει τότε επικοινωνεί απευθείας με τον υπεύθυνο μεσίτη για να αποκτήσει τα φρέσκα δεδομένα. Τα επιπρόσθετα μεγέθη που ορίστηκαν για το μοντέλο της κατανεμημένης αρχιτεκτονικής παρουσιάζονται στον πίνακα: Πίνακας 4-4.

**Πίνακας 4-4:** Παράμετροι Κατανεμημένης Αρχιτεκτονικής

<u>Παράμετρος</u>	<u>Περιγραφή</u>
<b>Graph_Area</b>	Περιοχή τοποθέτησης κόμβων
<b>alpha</b>	Πιθανότητα συνδέσεων
<b>beta</b>	Πιθανότητα συνδέσεων απομακρυσμένων κόμβων
<b>Nodes</b>	Αριθμός κόμβων
<b>Edges</b>	Αριθμός συνδέσεων
<b>Min_Bandwidth</b>	Ελάχιστη τιμή εύρους ζώνης των συνδέσεων
<b>Max_Bandwidth</b>	Μέγιστη τιμή εύρους ζώνης των συνδέσεων
<b>Transmission_Delay_Ratio</b>	Λόγος της καθυστέρησης διάδοσης προς την ευκλείδεια απόσταση
<b>Packet_length</b>	Μέγεθος πακέτων που μεταφέρουν τα δεδομένα

#### 4.5.2. Μεγέθη Μέτρησης Απόδοσης

Στην ενότητα αυτή ορίζονται τα μεγέθη που περιγράφουν την απόδοση των αλγορίθμων και μετρούν την ικανότητα του συστήματος να αποκρίνεται στα αιτήματα των καταναλωτών πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά, ορίζονται τα εξής μεγέθη που σχετίζονται με τους καταναλωτές οι οποίοι εγγράφονται για να λάβουν ενημερώσεις.

- ♦ **Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων (Delivered Notifications Ratio - DNR):** Είναι η μέση τιμή των λόγων του αριθμού ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί σε κάθε καταναλωτή προς τον αριθμό ενημερώσεων που έχουν παραχθεί από την αντίστοιχη πηγή.
- ♦ **Ποσοστό Εκπρόθεσμων Ενημερώσεων (Deadline Miss Notifications Ratio - DMNR):** Είναι η μέση τιμή των λόγων του αριθμού ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί σε κάθε καταναλωτή μετά την προθεσμία που έχει θέσει προς το σύνολο των ενημερώσεων που έχει λάβει.
- ♦ **Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων (Fresh Notifications Ratio - FNR):** Είναι η μέση τιμή των λόγων του αριθμού των χρονικά έγκυρων ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί σε κάθε καταναλωτή πληροφορίας προς το σύνολο των ενημερώσεων που έχει λάβει.
- ♦ **Ποσοστό Επιτυχημένων Ενημερώσεων (Successful Notifications Ratio - SNR):** Είναι η μέση τιμή των λόγων του αριθμού των ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί επιτυχώς σε κάθε καταναλωτή προς το σύνολο των ενημερώσεων που έχει λάβει.
- ♦ **Ποσοστό Καθυστερήσης (Delay Ratio - DR):** Είναι η μέση τιμή των λόγων των χρονικών διαστημάτων που έχει καθυστερήσει η παράδοση των ενημερώσεων προς τις αντίστοιχες προθεσμίες τους για το σύνολο των ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί στους καταναλωτές. Προφανώς το μέγεθος αυτό περιγράφει τη φρεσκάδα των δεδομένων που έχουν παραδοθεί στους καταναλωτές.

Όταν η προθεσμία των καταναλωτών είναι ίση ή μικρότερη από την περίοδο χρονικής εγκυρότητας των δεδομένων (δηλαδή  $Deadline\_Ratio \leq 1$ ) ισχύουν τα ακόλουθα:

- $DMNR = 1 - DNR$
- $FNR = DNR$
- $SNR = DNR$

Σχετικά με τις αποκρίσεις στα απλά αιτήματα για πληροφορία ορίζεται το εξής μέγεθος:

- ♦ **Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων (Fresh Responses Ratio - FRR):** Είναι ο λόγος των αποκρίσεων σε απλά αιτήματα που επιστρέφουν χρονικά έγκυρα δεδομένα.

Επίσης, κάποια γενικά μεγέθη της απόδοσης των αλγορίθμων είναι τα ακόλουθα:

- ♦ **Ποσοστό Χρήσης Όμοιων Δεδομένων (Multi-versioning Utilization Ratio - MUR):** Είναι το ποσοστό αποκρίσεων σε αιτήματα καταναλωτών με δεδομένα από εναλλακτικές πηγές. Προφανώς, όταν η παράμετρος *Type* ισούται με τη μονάδα, ισχύει:  $MUR=0$ .

- ♦ **Κέρδος (Profit):** Είναι το κέρδος από την επιτυχημένη διακίνηση πληροφορίας. Συγκεκριμένα, το κέρδος υπολογίζεται για το σύνολο των αιτημάτων στα οποία το σύστημα αποκρίνεται με επιτυχία (εντός προθεσμίας και με χρονικά έγκυρα δεδομένα). Για κάθε επιτυχημένο απλό αίτημα το κέρδος ισούται με την αξία των δεδομένων (δηλαδή 1, 2 ή 3). Επίσης, για κάθε ενημέρωση που παραδίδεται έγκαιρα και εντός προθεσμίας αυξάνεται το συνολικό κέρδος κατά ποσό ίσο με την αξία των δεδομένων (δηλαδή 1, 2 ή 3).

Τα παραπάνω μεγέθη περιγράφουν την απόδοση των αλγορίθμων ως προς το κατά πόσο τα δεδομένα διανέμονται εντός των ορίων χρονικής εγκυρότητας και κατά πόσο ικανοποιούνται οι προθεσμίες, αλλά και το κέρδος από την επιτυχημένη διανομή πληροφορίας.

### **4.5.3. Αποτελέσματα**

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση των αλγορίθμων στην απόδοση του συστήματος πραγματοποιούνται ένα σύνολο από δοκιμές. Σε κάθε δοκιμή εκτιμάται η συμπεριφορά του συστήματος, όταν μεταβάλλεται μία μόνο παράμετρος του συστήματος. Για κάθε νέα τιμή των παραμέτρων εκτελούνται 10 προσομοιώσεις και υπολογίζονται τα αντίστοιχα μεγέθη απόδοσης. Στη συνέχεια, για κάθε δεκάδα προσομοιώσεων υπολογίζεται η μέση τιμή των μεγεθών απόδοσης και τα αντίστοιχα 0.90 διαστήματα εμπιστοσύνης. Η περιγραφή και τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για τα δύο επιμέρους προβλήματα αναλύονται στις ενότητες που ακολουθούν. Ειδικότερα, στην ενότητα 4.5.3.1 παρουσιάζονται οι δοκιμές που έγιναν για το πρόβλημα εξυπηρέτησης των αιτημάτων στον κεντρικό μεσίτη και στην ενότητα 4.5.3.2 παρουσιάζονται οι δοκιμές για το πρόβλημα διανομής. Τέλος, στην ενότητα 4.5.3.3 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών.

#### **4.5.3.1. Κεντρικός Μεσίτης Πληροφορίας**

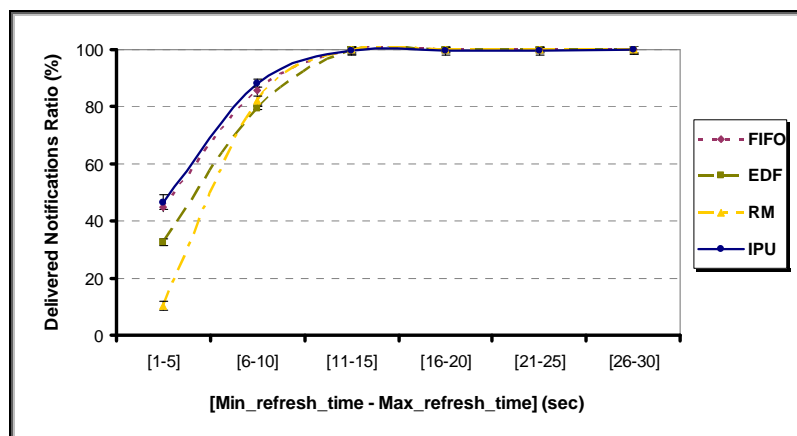
Οι προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων του συστήματος καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-5). Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι οι προθεσμίες τόσο των δεδομένων όσο και των αιτημάτων ανάκτησης πληροφορίας είναι αυστηρές, και ότι τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας απορρίπτονται όταν τα δεδομένα που μεταφέρουν λήξουν. Με βάση τις προεπιλεγμένες τιμές το φορτίο του μεσίτη είναι:  $Broker\_Load = 100\%$ . Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι για αυτές τις παραμέτρους οι αριθμοί των αιτημάτων ζήτησης και των αιτημάτων ανανέωσης των δεδομένων είναι αντίστοιχα 600 και 20000. Δηλαδή τα αιτήματα ζήτησης είναι το 3% των αιτημάτων ανανέωσης και άρα, επαληθεύεται η θεώρηση που έγινε κατά την μοντελοποίηση του προβλήματος.

Πίνακας 4-5: Προεπιλεγμένες Τιμές των Παραμέτρων Προσομοίωσης του Κεντρικού Συστήματος

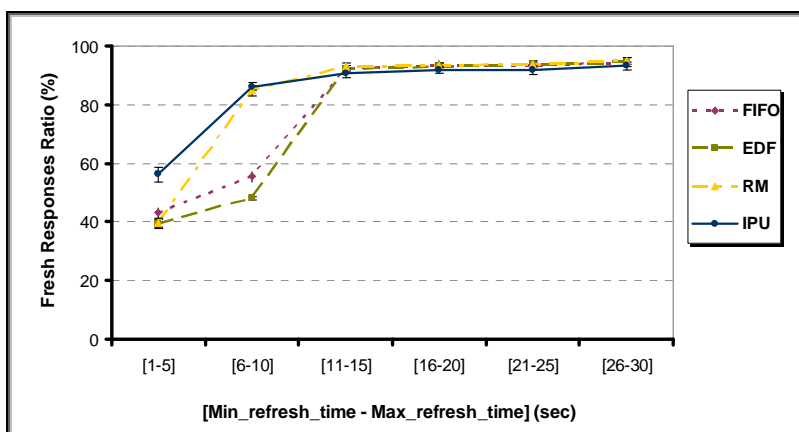
<u>Παράμετρος</u>	<u>Τιμή</u>	<u>Παράμετρος</u>	<u>Τιμή</u>
$N_{sources}$	200	$Min\_refresh\_time$	1 sec
$P_{active}$	0.5	$Max\_refresh\_time$	20 sec
$P_{passive}$	0.5	$Type$	1
$P_{aperiodic}$	0.5	$Aperiodic\_Rate$	5 κύκλοι ανανέωσης
$P_{periodic}$	0.5	$Urgency\_Importance$	5
$P_{low}$	0.33	$N_{consumers}$	400
$P_{medium}$	0.33	$Queries\_Interval$	5 sec
$P_{high}$	0.33	$Deadline\_Ratio$	1 (για εγγραφές), 0 (για απλά αιτήματα)
$Delay\_Ratio$	0.1	$Queue\_Size$	$\infty$
$Execution\_Rate$	12 αιτήματα/sec	$Time$	1000 sec

#### 4.5.3.1.1. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την περίοδο ανανέωσης

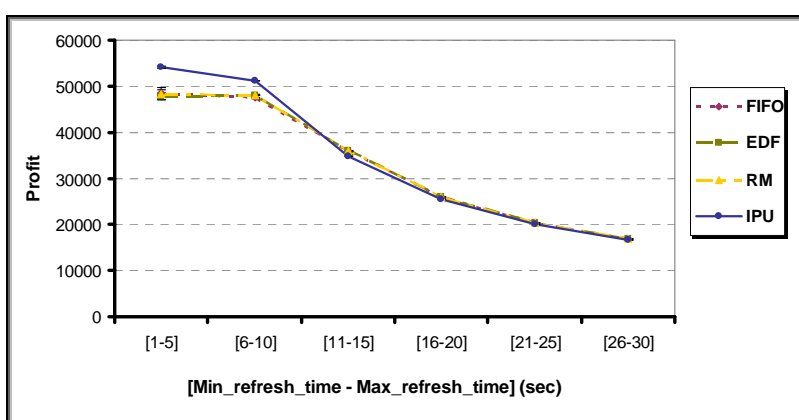
Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται η περίοδος ανανέωσης των δεδομένων. Συγκεκριμένα, εκτελούνται προσομοιώσεις με τις παρακάτω τιμές:  $Min\_refresh\_time=\{1, 6, 11, 16, 21, 26\}$  sec και  $Max\_refresh\_time=\{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$  sec ως ελάχιστη και μέγιστη περίοδο ανανέωσης (το φορτίο είναι αντίστοιχα %  $Broker\_Load \approx \{285, 125, 78, 56, 43, 36\}$ ). Τα μεγέθη απόδοσης που υπολογίζονται είναι: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων, Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων και Κέρδος, τα οποία παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-6, Σχήμα 4-7 και Σχήμα 4-8. Στις προσομοιώσεις με περίοδο ανανέωσης στο διάστημα [1-5] υπολογίζεται επιπλέον το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων για κάθε τιμή περιόδου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-9.



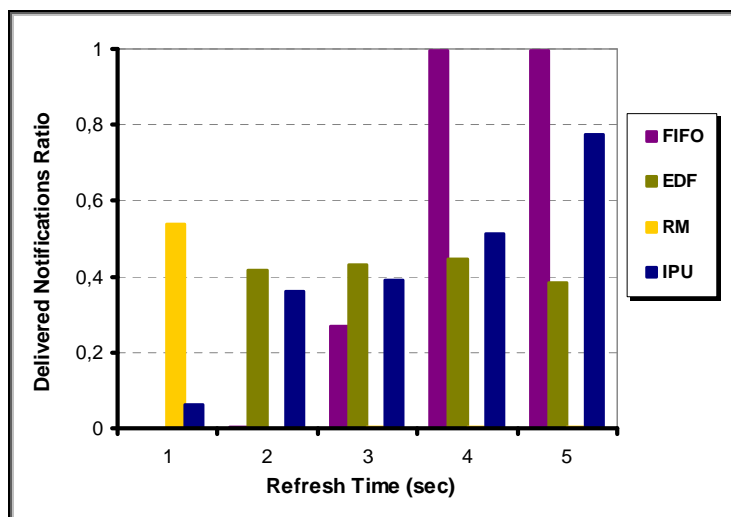
Σχήμα 4-6: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης



Σχήμα 4-7: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης



Σχήμα 4-8: Κέρδος Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης



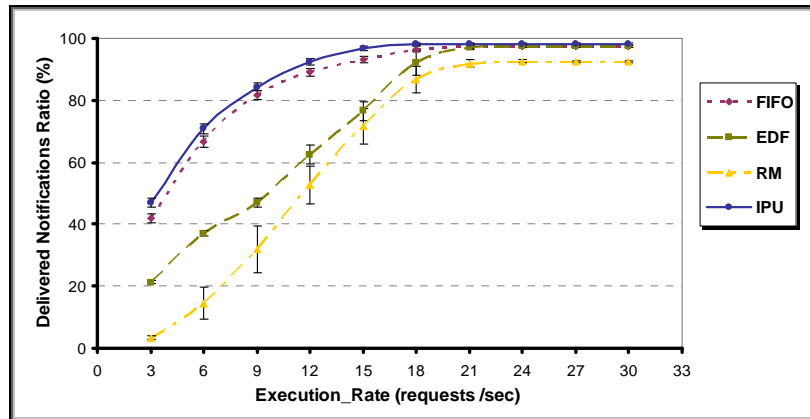
Σχήμα 4-9: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Περιόδου Ανανέωσης

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-6, Σχήμα 4-7, Σχήμα 4-8), όταν η περίοδος ανανέωσης είναι χαμηλή, ο προτεινόμενος αλγόριθμος IPU είναι καλύτερος από τους υπόλοιπους. Ωστόσο, καθώς μεγαλώνει η περίοδος ανανέωσης, η απόδοση των αλγορίθμων συγκλίνει. Συγκεκριμένα, όταν η ελάχιστη τιμή περιόδου ανανέωσης είναι μεγαλύτερη από 10

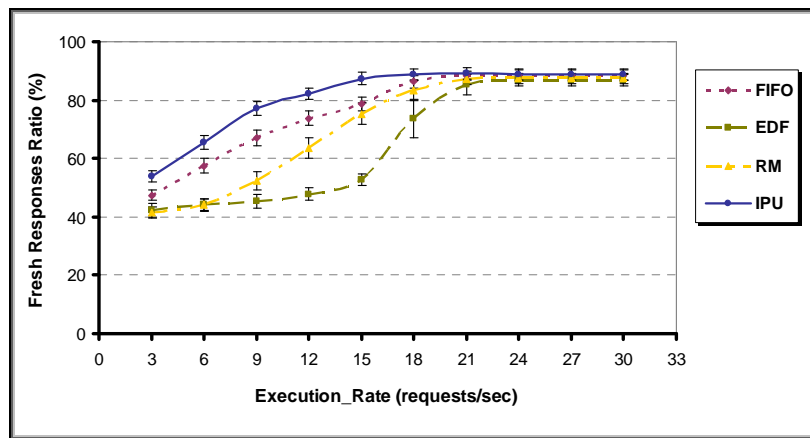
sec (το φορτίο είναι μικρότερο από 78%) οι τέσσερις αλγόριθμοι επιτυγχάνουν παρόμοια αποτελέσματα ως προς τα ποσοστά διανεμημένων ενημερώσεων και χρονικά έγκυρων αποκρίσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο EDF επιτυγχάνει το μικρότερο ποσοστό χρονικά έγκυρων αποκρίσεων λόγω του ότι εξυπηρετεί τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας πολύ κοντά στο χρόνο λήξης των δεδομένων που μεταφέρουν. Επίσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-8, ο IPU επιτυγχάνει μεγάλο κέρδος στις περιπτώσεις μεγάλου φορτίου. Για παράδειγμα, για φορτίο περίπου 278%, ο IPU επιτυγχάνει περίπου 20% μεγαλύτερο κέρδος από τους άλλους αλγορίθμους. Ωστόσο, οι τρεις γνωστοί αλγόριθμοι πετυχαίνουν παρόμοια κέρδη για όλες τις τιμές περιόδου ανανέωσης, αφού δεν φιλτράρουν τα αιτήματα ως προς την αξία τους. Επίσης, το γεγονός ότι το κέρδος μειώνεται σταδιακά καθώς αυξάνει η περίοδος ανανέωσης των πηγών δικαιολογείται από το ότι μειώνεται ο αριθμός των αιτημάτων ανανέωσης που υποβάλλονται στο μεσίτη. Από το χρόνο αναμονής των αιτημάτων στην ουρά, προκύπτει ότι ο IPU προτιμά να εξυπηρετεί τα αιτήματα σχεδόν αμέσως μόλις φτάσουν. Αυτό συμφωνεί με το σχεδιασμό του αλγορίθμου και ειδικότερα με τον ορισμό της επιτακτικότητας. Εξάλλου, αυτός είναι και ο λόγος που το ποσοστό χρονικά έγκυρων αποκρίσεων είναι μεγαλύτερο όταν χρησιμοποιείται ο IPU. Το ίδιο θα ήταν αναμενόμενο και για τον FIFO, αλλά σύμφωνα με τα αποτελέσματα κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο FIFO δεν φιλτράρει τα αιτήματα που θα εξυπηρετήσει με αποτέλεσμα να μαζεύονται πολλά αιτήματα στην ουρά και να λήγουν. Τέλος, από το Σχήμα 4-9 επαληθεύεται ότι ο RM προτιμά να εξυπηρετεί τα αιτήματα που ανανεώνονται συχνότερα, οι FIFO και EDF προτιμούν τα αιτήματα που ανανεώνονται λιγότερα συχνά (καθώς αυτά έχουν μεγαλύτερο περιθώριο αναμονής στην ουρά), ενώ αντίθετα ο IPU συμπεριφέρεται με όμοιο τρόπο σε όλα τα αιτήματα ανεξάρτητα από την περίοδο ανανέωσης.

#### 4.5.3.1.2. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό εξυπηρέτησης αιτημάτων

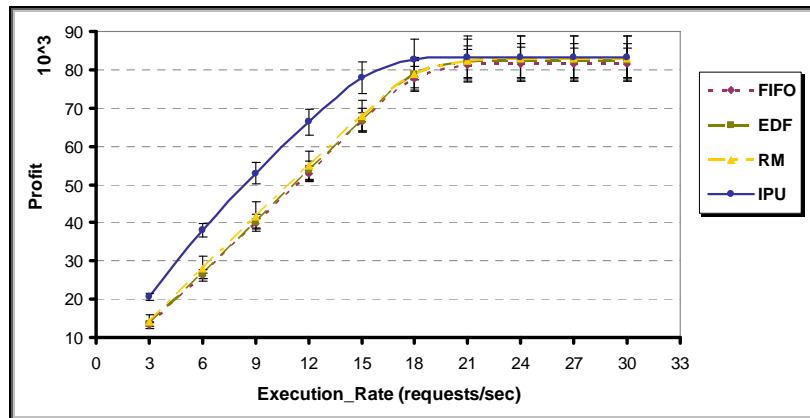
Στη δοκιμή αυτή εκτιμάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται η ικανότητα εξυπηρέτησης του μεσίτη, δηλαδή ο ρυθμός εξυπηρέτησης των αιτημάτων. Ειδικότερα, εκτελούνται προσομοιώσεις για ρυθμό εξυπηρέτησης αιτημάτων  $Execution\_Rate = \{3, 6, \dots, 27, 30\}$  αιτήματα/sec, και υπολογίζονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων, Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων και Κέρδος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τα μεγέθη αυτά καταγράφονται αντίστοιχα στα σχήματα: Σχήμα 4-10, Σχήμα 4-11 και Σχήμα 4-12. Για αυτές τις τιμές ρυθμού εξυπηρέτησης, το φορτίο είναι αντίστοιχα  $\% Broker\_Load \approx \{400, 200, 130, 100, 80, 67, 57, 50, 44, 40\} \%$ .



Σχήμα 4-10: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης



Σχήμα 4-11: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης

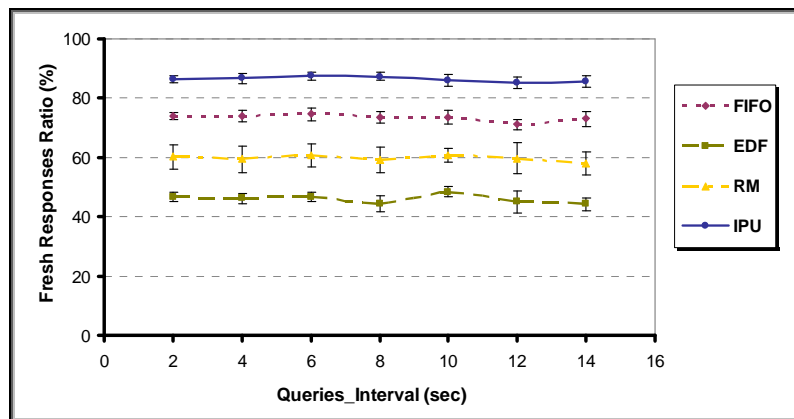


Σχήμα 4-12: Κέρδος Συναρτήσει του Ρυθμού Εξυπηρέτησης

Όπως παρουσιάζεται στα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-10, Σχήμα 4-11 και Σχήμα 4-12), όταν ο ρυθμός εξυπηρέτησης είναι χαμηλός, ο IPU είναι καλύτερος, ενώ όταν ο ρυθμός εξυπηρέτησης αυξάνεται η απόδοση των αλγορίθμων συγκλίνει. Επομένως, επαληθεύονται τα συμπεράσματα της προηγούμενης ενότητας. Η αντιστοιχία μεταξύ των δύο δοκιμών έχει ως εξής: Η αύξηση του ρυθμού εξυπηρέτησης ισοδυναμεί με τη μείωση της περιόδου ανανέωσης.

#### 4.5.3.1.3. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό άφιξης των απλών αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας

Στη δοκιμή αυτή μεταβάλλεται ο ρυθμός άφιξης των απλών αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας, προκειμένου να μελετηθεί η χρονική εγκυρότητα των αποθηκευμένων δεδομένων. Ειδικότερα, προσομοιώνεται το σύστημα για τις περιπτώσεις που το μέσο χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές αφίξεις απλών αιτημάτων για ανάκτηση πληροφορίας είναι  $Queries\_Interval = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$  sec, και υπολογίζεται το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων. Στο Σχήμα 4-13 παρουσιάζονται τα σχετικά αποτελέσματα.



Σχήμα 4-13: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Άφιξης των Απλών Αιτημάτων

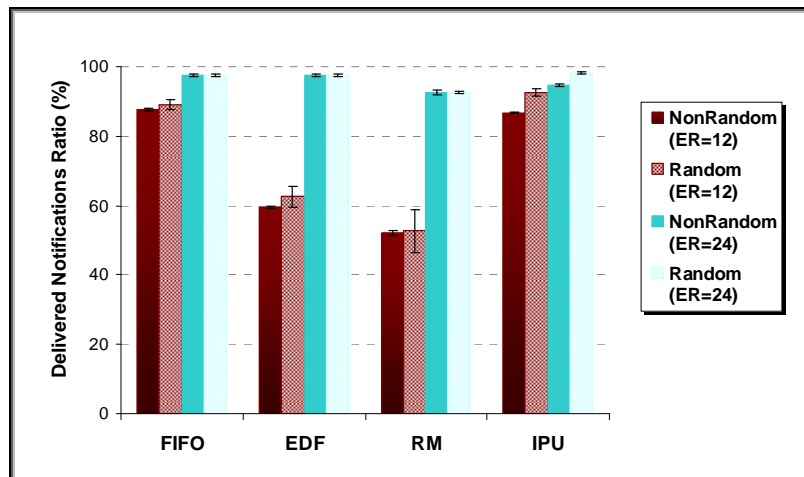
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-13, ο IPU επιτυγχάνει το μεγαλύτερο ποσοστό χρονικά έγκυρων αποκρίσεων στα απλά αιτήματα, που είναι περίπου 90%. Το αντίστοιχο ποσοστό όταν χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος EDF είναι περίπου 45%, δηλαδή το μισό. Επίσης, το γεγονός ότι το ποσοστό χρονικά έγκυρων αποκρίσεων δεν μεταβάλλεται με την παράμετρο  $Queries\_Interval$  επιβεβαιώνει ότι με την προεπιλεγμένη τιμή που χρησιμοποιείται στις υπόλοιπες δοκιμές παράγονται σωστά συμπεράσματα για την φρεσκάδα των αποθηκευμένων δεδομένων.

#### 4.5.3.1.4. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη δημοτικότητα των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας

Σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, η ζήτηση των δεδομένων των πηγών έχει θεωρηθεί τυχαία. Ωστόσο, προκειμένου να μελετηθεί κατά πόσο συνεισφέρει η συνεκτικότητα της δημοτικότητας των αιτημάτων στην απόδοση του IPU, στην παρούσα δοκιμή εκτελούνται δύο ομάδες προσομοιώσεων. Στην πρώτη τα αιτήματα ανάκτησης πληροφορίας ζητούν δεδομένα από τις πηγές *τυχαία* (random), ενώ στη δεύτερη η ζήτηση των δεδομένων είναι κατανομημένη *ομοιόμορφα* (non-random). Όταν η ζήτηση είναι ομοιόμορφη, τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας έχουν την ίδια δημοτικότητα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν είναι



τυχαία. Εκτελούνται οι προσομοιώσεις για ρυθμούς εξυπηρέτησης  $Execution\_Rate = \{12, 24\}$  αιτήματα/ sec (το φορτίο είναι αντίστοιχα  $Broker\_Load \approx \{100, 50\}\%$ ), και καταγράφεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-14.

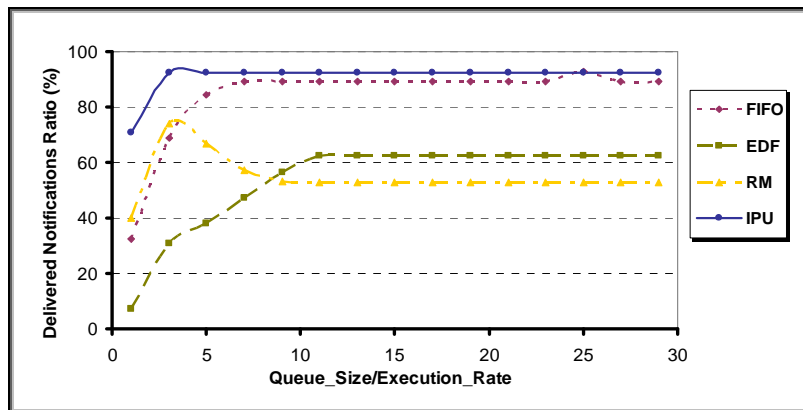


Σχήμα 4-14: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με Τυχαία και Ομοιόμορφη ζήτηση Πληροφορίας

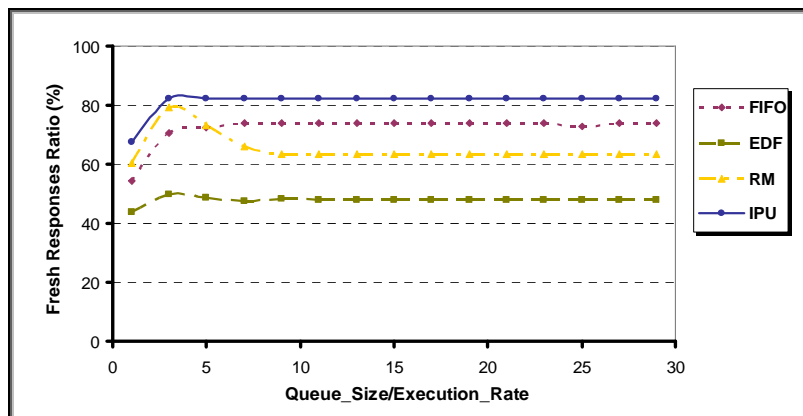
Στο Σχήμα 4-14 φαίνεται ότι όταν η ζήτηση των δεδομένων είναι τυχαία ο IPU επιτυγχάνει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με όταν η ζήτηση είναι ομοιόμορφη. Επομένως, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συνυπολογισμός της δημοτικότητας των αιτημάτων βελτιώνει την απόδοση του αλγορίθμου IPU. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιούνται οι γνωστοί αλγόριθμοι τα αποτελέσματα είναι ίδια είτε η ζήτηση της πληροφορίας είναι τυχαία είτε αυτή είναι ομοιόμορφη. Οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται στα ποσοστά όταν χρησιμοποιούνται οι γνωστοί αλγόριθμοι οφείλονται στο ότι τα προβλήματα είναι τυχαία.

#### 4.5.3.1.5. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το μέγεθος της ουράς αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας

Ως προεπιλεγμένη παράμετρο του συστήματος έχει θεωρηθεί ότι η ουρά αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας έχει άπειρη χωρητικότητα και συνεπώς τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας απορρίπτονται μόνο όταν τα δεδομένα τους παύουν να είναι επίκαιρα. Στη δοκιμή αυτή εξετάζεται η απόδοση των αλγορίθμων όταν η ουρά δεν έχει άπειρη χωρητικότητα. Εκτελούνται προσομοιώσεις όταν ο λόγος του μεγέθους της ουράς προς τον αριθμό των αιτημάτων που εξυπηρετούνται ανά sec, δηλαδή το ρυθμό εξυπηρέτησης, είναι  $Queue\_Size/Execution\_Rate = \{1, 3, 5, 7, \dots, 27, 29\}$  και υπολογίζονται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-15 και Σχήμα 4-16.



Σχήμα 4-15: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσεως του Μεγέθους της Ουράς



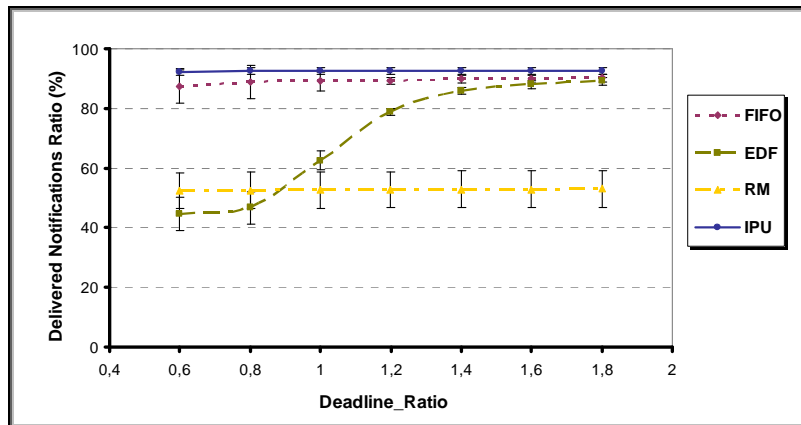
Σχήμα 4-16: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων του Μεγέθους της Ουράς

Όπως φαίνεται στα: Σχήμα 4-15 και Σχήμα 4-16, ο IPU έχει καλύτερη απόδοση από τους άλλους αλγορίθμους για κάθε μέγεθος της ουράς. Ακόμη και όταν το μέγεθος της ουράς είναι ίσο με το ρυθμό εξυπηρέτησης (πρακτικά αυτό σημαίνει ότι αναμένουν στην ουρά μόνο τα αιτήματα που θα εξυπηρετηθούν το επόμενο δευτερόλεπτο), ο IPU επιτυγχάνει σχεδόν διπλάσια ποσοστά (και μεγαλύτερα από 50%). Επίσης τα ποσοστά του IPU μεγιστοποιούνται με μικρότερο μέγεθος ουράς (όταν ο λόγος μεγέθους ουράς προς ρυθμό εξυπηρέτησης γίνει 3) από τους άλλους αλγορίθμους (όταν ο λόγος γίνει τουλάχιστον μεγαλύτερος από 7). Η ασυνέχεια στα διαγράμματα του RM οφείλεται στη φύση του αλγορίθμου. Τέλος, το γεγονός ότι τα ποσοστά δεν φτάνουν το 100% οφείλεται στο χαμηλό ρυθμό εξυπηρέτησης.

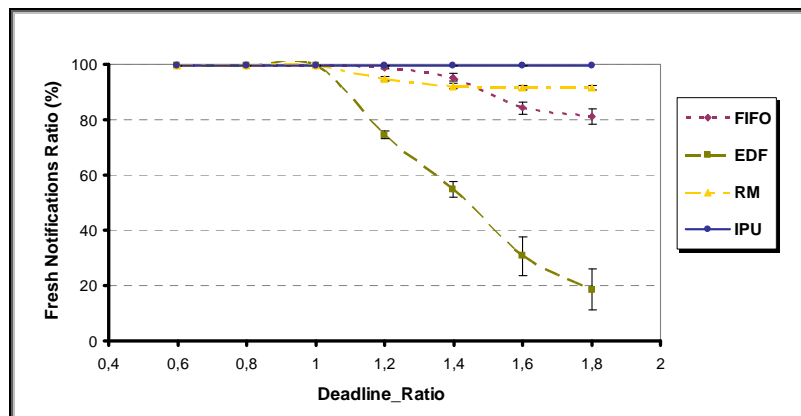
#### 4.5.3.1.6. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τις προθεσμίες των καταναλωτών πληροφορίας

Στη δοκιμή αυτή εξετάζεται η απόδοση των αλγορίθμων σε σχέση με το είδος των προθεσμιών που θέτουν οι καταναλωτές. Ο χρόνος απόρριψης καθορίζεται από τις προθεσμίες των καταναλωτών, οι οποίες προσδιορίζονται από την παράμετρο *Deadline\_Ratio*. Όταν οι προθεσμίες είναι αυστηρές, ισχύει *Deadline\_Ratio=1* και τα αιτήματα ανανέωσης απορρίπτονται όταν τα δεδομένα λήγουν. Όταν οι προθεσμίες είναι σκληρές ή απαλές, ισχύει:

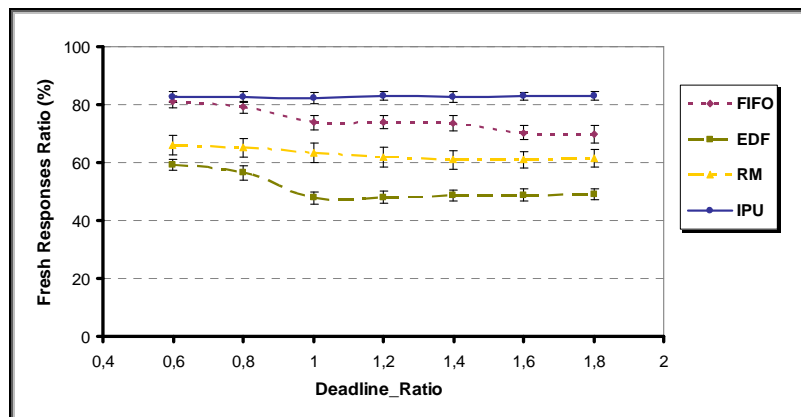
$Deadline\_Ratio < 1$  ή  $Deadline\_Ratio > 1$ . Στη δοκιμή αυτή εκτελούνται προσομοιώσεις με  $Deadline\_Ratio = \{0.6, 0.8, \dots, 1.8\}$  και υπολογίζονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων, Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων και Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα: Σχήμα 4-17, Σχήμα 4-18 και Σχήμα 4-19. Προφανώς το Ποσοστό Επιτυχημένων Ενημερώσεων ισούται με το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Εκπρόθεσμων Ενημερώσεων ισούται με το αποτέλεσμα της αφαίρεσης του Ποσοστού Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων από την μονάδα.



Σχήμα 4-17: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσεϊ των Προθεσμιών



Σχήμα 4-18: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων Συναρτήσεϊ των Προθεσμιών

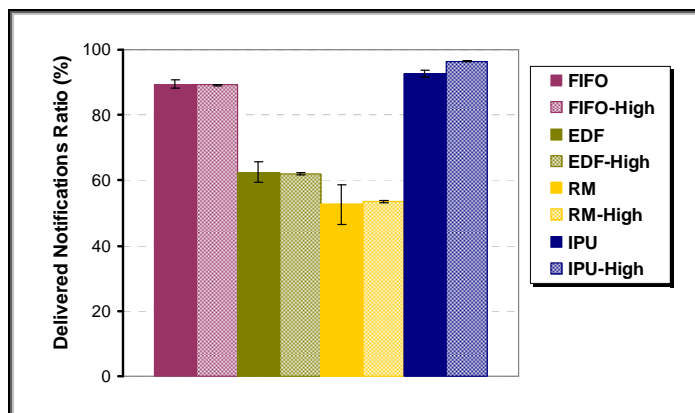


Σχήμα 4-19: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσεϊ των Προθεσμιών

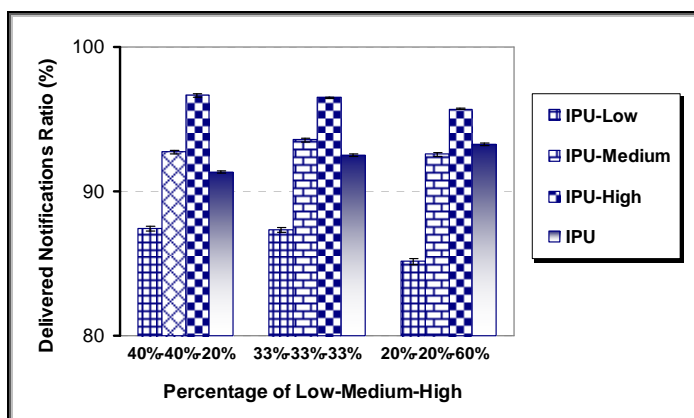
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-17, Σχήμα 4-18 και Σχήμα 4-19, η απόδοση του IPU παραμένει σταθερή παρόλο που μεταβάλλονται οι προθεσμίες των καταναλωτών. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται ο IPU οι ενημερώσεις που παραδίδονται είναι πάντα χρονικά έγκυρες. Αυτό συμβαίνει επειδή ο αλγόριθμος αυτός προτιμά να εξυπηρετεί τα αιτήματα σύντομα και επομένως τα δεδομένα που παραδίδονται είναι φρέσκα. Αντίθετα οι άλλοι αλγόριθμοι εξυπηρετούν τα αιτήματα κοντά στο χρόνο λήξης τους. Επομένως, τα αιτήματα έχουν τη δυνατότητα να παραμείνουν μεγαλύτερο διάστημα στην ουρά, με αποτέλεσμα τα δεδομένα που τελικά παραδίδονται να είναι ληγμένα. Με τον EDF, όταν μεγαλώνουν οι προθεσμίες των καταναλωτών το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων μεγαλώνει ενώ το ποσοστό χρονικά έγκυρων ενημερώσεων ελαττώνεται. Το ίδιο επίσης ισχύει όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι FIFO και RM αλλά σε μικρότερο βαθμό. Στις ίδιες παρατηρήσεις στηρίζεται και η εξήγηση της μείωσης του ποσοστού χρονικά έγκυρων αποκρίσεων με την αύξηση των προθεσμιών όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-19.

#### 4.5.3.1.7. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αξία των δεδομένων

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων σε σχέση με την αξία των δεδομένων που παρέχουν οι πηγές. Αρχικά, στο Σχήμα 4-20 καταγράφεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων που προέρχονται από το σύνολο των πηγών και ξεχωριστά από τις πηγές μεγάλης αξίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται τρεις ομάδες προσομοιώσεων με αναλογίες πηγών που παρέχουν δεδομένα χαμηλής, μεσαίας και υψηλής αξίας αντίστοιχα  $\{(40\%, 40\%, 20\%), (33\%, 33\%, 33\%), (20\%, 20\%, 60\%)\}$ . Στις προσομοιώσεις αυτές χρησιμοποιείται μόνον ο αλγόριθμος IPU, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη αξία των δεδομένων. Για κάθε αναλογία υπολογίζεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων ξεχωριστά για κάθε είδος πηγών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-21.



Σχήμα 4-20: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Προερχόμενων από το Σύνολο των Πηγών και από τις Πηγές Μεγάλης Αξίας

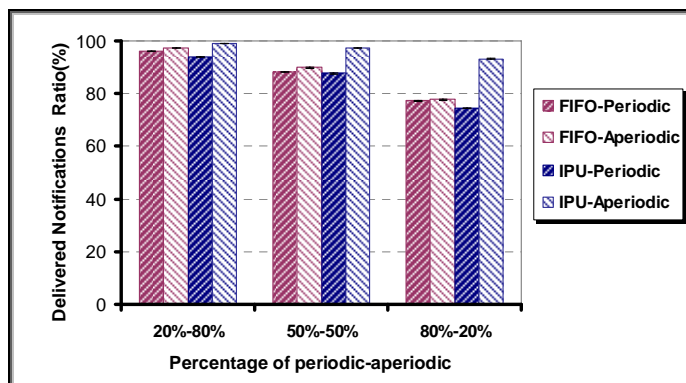


Σχήμα 4-21: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με τον IPU Συναρτήσεως της Ποσοστιαίας Αναλογίας Πηγών Χαμηλής – Μεσαίας – Υψηλής Αξίας

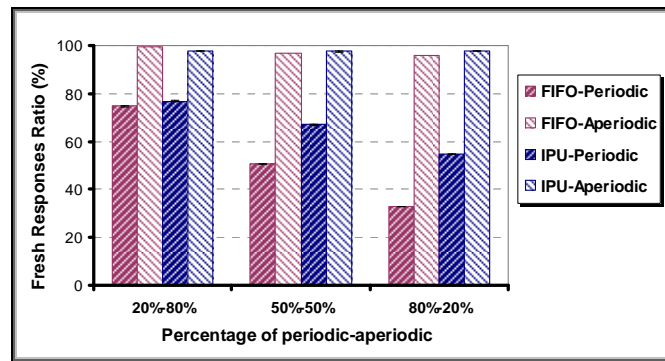
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-20, όταν χρησιμοποιείται ο IPU, το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων που αφορούν δεδομένα υψηλής αξίας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό για το σύνολο των ενημερώσεων. Αντίθετα με τους υπολοίπους αλγορίθμους, τα δυο ποσοστά είναι ίσα. Μάλιστα σύμφωνα με το Σχήμα 4-21, ακόμη και όταν τα δεδομένα υψηλής αξίας είναι περισσότερα (οι πηγές υψηλής αξίας είναι 60%) το αντίστοιχο ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων που αφορούν δεδομένα υψηλής αξίας παραμένει σταθερό εις βάρος του ποσοστού για τις διανεμημένες ενημερώσεις χαμηλής αξίας.

#### 4.5.3.1.8. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αναλογία περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται ο αριθμός των περιοδικών και των μη-περιοδικών πηγών. Συγκεκριμένα, συγκρίνεται η απόδοση του IPU με την απόδοση του FIFO. Για τις τρεις αναλογίες {(20%, 80%), (50%, 50%), (80%, 20%)} περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών, εκτελούνται προσομοιώσεις και υπολογίζονται για κάθε περίπτωση το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Ενημερώσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-22 και Σχήμα 4-23.



Σχήμα 4-22: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσεως της Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών

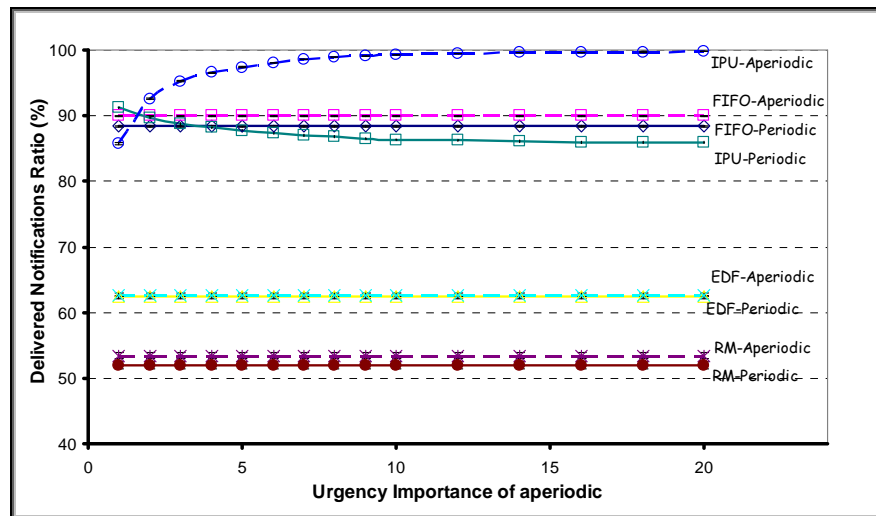


**Σχήμα 4-23:** Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσεως της Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών

Όπως φαίνεται στα σχήματα: Σχήμα 4-22 και Σχήμα 4-23, καθώς ο αριθμός των περιοδικών πηγών μεγαλώνει, τα μεγέθη απόδοσης μικραίνουν. Αυτό συμβαίνει διότι το φορτίο του συστήματος μεγαλώνει και συνεπώς απορρίπτονται περισσότερα αιτήματα ανανέωσης. Ωστόσο τα μεγέθη που αναφέρονται στις μη-περιοδικές πηγές μειώνονται με μικρότερο ρυθμό (Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων) ή παραμένουν σταθερά (Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων) όταν χρησιμοποιείται ο IPU. Πρέπει να επισημανθεί ότι τα μεγέθη που αναφέρονται στις μη-περιοδικές πηγές είναι μεγαλύτερα από αυτά που αναφέρονται στις περιοδικές. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογείται από το ότι τα απλά αιτήματα για δεδομένα από μη-περιοδικές πηγές ποτέ δεν απαντώνται με μη χρονικά έγκυρα δεδομένα (δηλαδή όταν δεν υπάρχουν αποθηκευμένα φρέσκα δεδομένα, τα απλά αιτήματα θεωρείται ότι απαντώνται επιτυχώς), και επίσης υπολογίζεται επιτυχής ενημέρωση ακόμη και όταν δεν έχει υποβληθεί αίτημα ανανέωσης από την πηγή κατά τη διάρκεια του αντίστοιχου κύκλου ανανέωσης.

#### 4.5.3.1.9. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων

Στη δοκιμή αυτή εξετάζεται η συμπεριφορά του προτεινόμενου αλγορίθμου σε σχέση με την παράμετρο Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας που προέρχονται από μη-περιοδικές πηγές. Ειδικότερα, εκτελούνται προσομοιώσεις για τις εξής τιμές της παραμέτρου:  $Urgency\_Importance = \{1, 2, 3, \dots, 9, 10, 12, \dots, 18, 20, 24, 28\}$  και καταγράφεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων ξεχωριστά για τα αιτήματα που αφορούν περιοδικές και μη-περιοδικές πηγές. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-24. Επίσης, στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ποσοστά όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι FIFO, EDF και RM, παρόλο που λειτουργούν ανεξάρτητα από την παράμετρο που μελετάται. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά καταγράφονται προκειμένου να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου IPU.

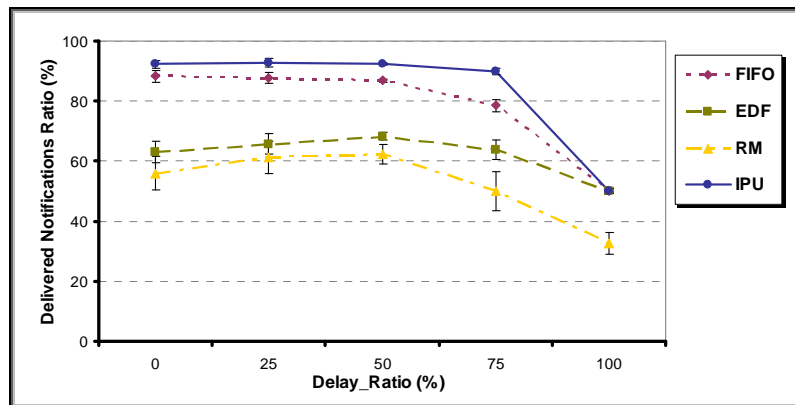


**Σχήμα 4-24:** Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των Μη-περιοδικών Αιτημάτων

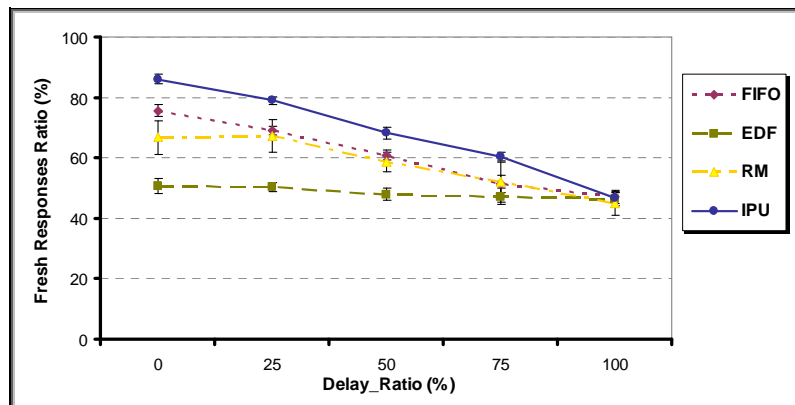
Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 4-24, όταν χρησιμοποιείται ο IPU, η αύξηση της παραμέτρου οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού διανεμημένων ενημερώσεων που προέρχονται από μη-περιοδικές και μείωση του αντίστοιχου ποσοστού διανεμημένων ενημερώσεων που προέρχονται από περιοδικές πηγές. Για τιμές μικρότερες από 2 ή 3 τα ποσοστά για τα περιοδικά δεδομένα είναι μεγαλύτερα από αυτά για τα μη-περιοδικά. Επίσης στις περιπτώσεις αυτές, ο IPU έχει χειρότερη απόδοση από τους γνωστούς αλγορίθμους. Όμως, για τιμές μεγαλύτερες από 2 ή 3, ο IPU υπερτερεί των υπολοίπων αλγορίθμων. Τέλος, από τη δοκιμή αυτή προκύπτει ότι η ανάθεση τιμής στην παράμετρο σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων εκφράζει τον επιθυμούμενο βαθμό εξυπηρέτησης των μη-περιοδικών αιτημάτων εις βάρος των περιοδικών.

#### 4.5.3.1.10. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την καθυστέρηση άφιξης των αιτημάτων

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων σε σχέση με το χρόνο που καθυστερούν να υποβληθούν τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας στον μεσίτη πληροφορίας. Επειδή οι πηγές πληροφορίας είναι απομακρυσμένες από τον κεντρικό μεσίτη, τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας φτάνουν με καθυστέρηση στην ουρά αναμονής. Η προεπιλεγμένη τιμή για την καθυστέρηση άφιξης είναι 10% της περιόδου ανανέωσης. Στη δοκιμή αυτή, εκτελούνται προσομοιώσεις για καθυστερήσεις άφιξης ίσες με το  $Delay\_Ratio = \{0, 25, 50, 75, 100\}$  % της περιόδου ανανέωσης, και καταγράφονται τα μεγέθη: *Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων* και *Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων*. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-25 και Σχήμα 4-26.



Σχήμα 4-25: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Καθυστέρησης Άφιξης



Σχήμα 4-26: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει της Καθυστέρησης Άφιξης

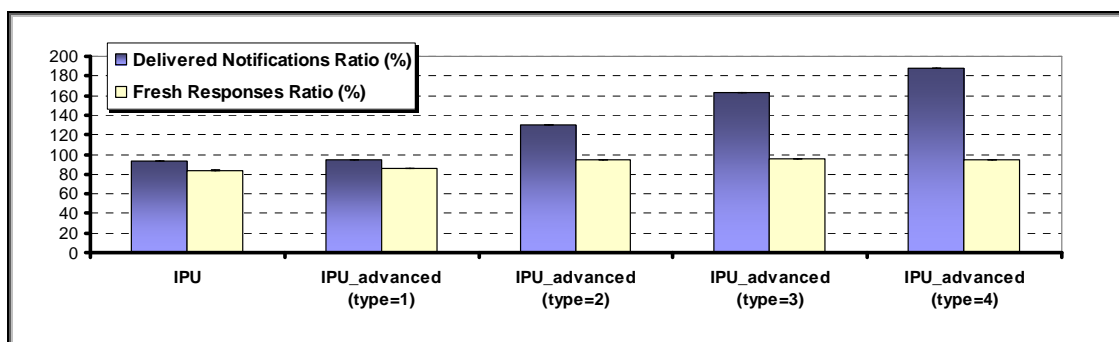
Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα, ο IPU αποδίδει καλύτερα από τους άλλους αλγορίθμους για κάθε ποσοστό καθυστέρησης. Επίσης, η απόδοση όλων των αλγορίθμων μειώνεται όσο μεγαλώνει η καθυστέρηση άφιξης των αιτημάτων. Ειδικότερα, το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων παραμένει σχεδόν σταθερό μέχρι το ποσοστό καθυστέρησης να γίνει 50%, και μειώνεται σημαντικά μέχρι 100% (Σχήμα 4-25). Για το ποσοστό έγκυρων αποκρίσεων προκύπτει ότι αυτό μειώνεται σταθερά καθώς αυξάνεται το ποσοστό καθυστέρησης (Σχήμα 4-26) όταν χρησιμοποιούνται FIFO, RM και IPU. Αντίθετα, το αντίστοιχο ποσοστό παραμένει σταθερό με τον EDF, αφού ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εξυπηρετεί τα αιτήματα με βάση το χρόνο λήξης των δεδομένων που μεταφέρουν και άρα οποιαδήποτε καθυστέρηση άφιξης δεν επηρεάζει την ανάθεση προτεραιοτήτων. Επίσης, από το Σχήμα 4-26 προκύπτει ότι το ποσοστό χρονικά έγκυρων αποκρίσεων δεν μηδενίζεται, ακόμη και όταν το ποσοστό καθυστέρησης γίνει 100%, λόγω των αιτημάτων για μη-περιοδικά δεδομένα.

#### 4.5.3.1.11. Χρήση εναλλακτικών πηγών

Στη δοκιμή αυτή εξετάζεται η συμπεριφορά του προτεινόμενου αλγορίθμου IPU, όταν υπάρχουν πηγές πληροφορίας που παρέχουν όμοια δεδομένα. Για το λόγο αυτό, εκτός από τον



IPU έχει υλοποιηθεί μια ακόμη παραλλαγή του, ο αλγόριθμος IPU\_Advanced. Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει τις προτεραιότητες με τον ίδιο τρόπο όπως ο IPU, αλλά παράλληλα εξετάζει την ύπαρξη εναλλακτικών πηγών. Ειδικότερα, ψάχνει τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας και βρίσκει αν υπάρχουν κάποια από όμοιες πηγές ώστε να εξυπηρετήσει πρώτο εκείνο που μεταφέρει τα πιο πρόσφατα δεδομένα και να απορρίψει τα υπόλοιπα. Αντίστοιχα, τα αιτήματα των καταναλωτών, είτε είναι απλά είτε είναι αιτήματα για λήψη ενημερώσεων, απαντώνται με τα νεότερα δεδομένα, που πιθανόν προέρχονται από εναλλακτικές πηγές. Στη δοκιμή αυτή, οι πηγές πληροφορίας είναι χωρισμένες σε ομάδες αποτελούμενες από  $Type=\{1,2,3,4\}$  όμοιες πηγές. Για κάθε περίπτωση  $Type$  εκτελούνται οι προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τον IPU και τον IPU\_Advanced. Προφανώς, ο IPU αποφασίζει την ίδια σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων για κάθε τιμή της παραμέτρου  $Type$ . Στις προσομοιώσεις που εκτελούνται καταγράφονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων. Τα μεγέθη παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-27.



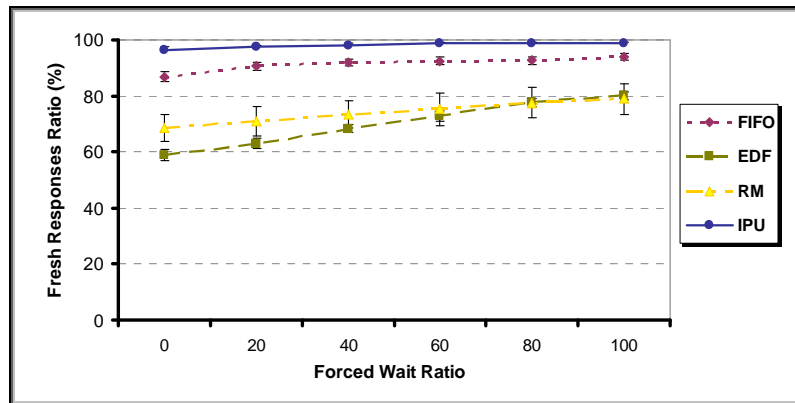
Σχήμα 4-27: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Αριθμού Όμοιων Πηγών

Όπως είναι αναμενόμενο, και επίσης φαίνεται στο Σχήμα 4-27, όταν οι εναλλακτικές πηγές αυξάνονται η απόδοση του αλγορίθμου καλυτερεύει. Όταν  $Type=4$  το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων είναι περίπου 180%. Προφανώς το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από το 100% επειδή παραδίδονται στους καταναλωτές περισσότερες από μία ενημερώσεις από τις εναλλακτικές πηγές.

#### 4.5.3.1.12. Εφαρμογή πολιτικής αναμονής των απλών αιτημάτων

Στη δοκιμή αυτή μελετάται κατά πόσο βελτιώνεται η απόδοση των αλγορίθμων όταν τα απλά αιτήματα δεν λαμβάνουν αμέσως αποκρίσεις αλλά έχουν μεγαλύτερες προθεσμίες. Η πολιτική αυτή ονομάζεται: Πολιτική Αναμονής (*Forced Wait Policy*) και έχει προταθεί από τους Xiong, Ramamritham κ.α. [40]. Ωστόσο, η πολιτική αυτή εφαρμόζεται μόνο για τα δεδομένα από ενεργές πηγές και όταν τα προσωρινά αποθηκευμένα δεδομένα τους έχουν λήξει. Δεν εφαρμόζεται η πολιτική αυτή στην περίπτωση δεδομένων που προέρχονται από

παθητικές πηγές επειδή υπάρχει η δυνατότητα να ερωτηθεί (probe) κατευθείαν η πηγή. Στο Σχήμα 4-28 απεικονίζεται το Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων για τα δεδομένα που προέρχονται από ενεργές πηγές, όταν τα αντίστοιχα απλά αιτήματα αναμένουν για χρονικό διάστημα ίσο με το ποσοστό  $\{0, 25, 50, 75, 100\}\%$  της περιόδου ανανέωσης των πηγών. Τα αιτήματα που αναμένουν συνυπολογίζονται στη δημοτικότητα των αντίστοιχων πηγών.



Σχήμα 4-28: Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων Συναρτήσει του Ορίου Αναμονής

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-28, η χρήση της πολιτικής αναμονής βελτιώνει την απόδοση των αλγορίθμων. Αυτό είναι περισσότερο φανερό στα αποτελέσματα των RM και EDF, ενώ η μεγαλύτερη βελτίωση επιτυγχάνεται για τον EDF (κατά περίπου 20%). Ο IPU έχει ήδη πολύ καλή απόδοση (ακόμη και χωρίς την πολιτική), με αποτέλεσμα η βελτίωση που επιτυγχάνεται να μην είναι μεγάλη.

#### 4.5.3.2. Καταναμημένοι Μεσίτες Πληροφορίας

Ο Πίνακας 4-6 περιλαμβάνει τις προεπιλεγμένες τιμές του καταναμημένου συστήματος. Για τις παραμέτρους που δεν περιλαμβάνονται στον πίνακα αυτό ισχύουν οι τιμές που ορίστηκαν στις προσομοιώσεις του κεντρικού μεσίτη, και καταγράφονται στον πίνακα: Πίνακας 4-5. Σύμφωνα με τις προεπιλεγμένες τιμές, στο δίκτυο που παράγεται με το μοντέλο Waxman, ο αριθμός των συνδέσεων είναι  $Edges \approx 170$ . Επίσης, με βάση τις διαστάσεις της περιοχής όπου τοποθετούνται οι κόμβοι του γράφου, προκύπτει ότι η μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης στις συνδέσεις είναι  $141msec$ . Προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοση του αλγορίθμου στη διανομή των ανανεώσεων στο δίκτυο, επιλέγεται η τιμή  $Execution\_Rate=500$  αιτήματα/sec για την παράμετρο ‘ρυθμό εξυπηρέτησης αιτημάτων’ όλων των μεσιτών. Η επιλογή αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται τα αιτήματα μόλις φτάνουν στους μεσίτες. Συνεπώς, η συνολική καθυστέρηση παράδοσης των ανανεωμένων δεδομένων προκύπτει από την καθυστέρηση διάδοσης στο δίκτυο και την αναμονή στις αντίστοιχες ουρές των ενδιάμεσων κόμβων.

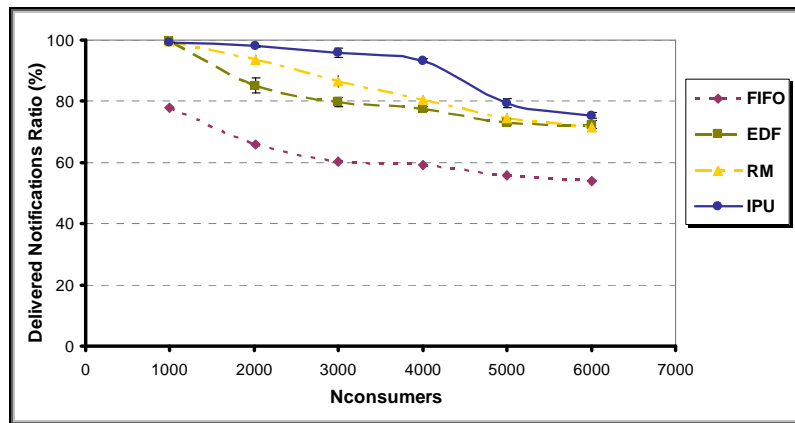
Πίνακας 4-6: Προεπιλεγμένες Τιμές των Παραμέτρων Προσομοίωσης του Καταναμημένου Συστήματος

<i><b>Παράμετρος</b></i>	<i><b>Τιμή</b></i>	<i><b>Παράμετρος</b></i>	<i><b>Τιμή</b></i>
<b>Graph_area</b>	100x100	<b>Min_refresh_time</b>	1 sec
<b>a</b>	0.2	<b>Max_refresh_time</b>	10 sec
<b>b</b>	0.15	<b>N<sub>consumers</sub></b>	5000
<b>Nodes</b>	100	<b>Min_Bandwidth</b>	1 Mbps
<b>N<sub>sources</sub></b>	400	<b>Max_Bandwidth</b>	5 Mbps
<b>Edges</b>	170	<b>Packet_length</b>	50 Kb
<b>Execution_Rate</b>	500 αιτήματα/sec	<b>Transmission_Delay_Ratio</b>	1

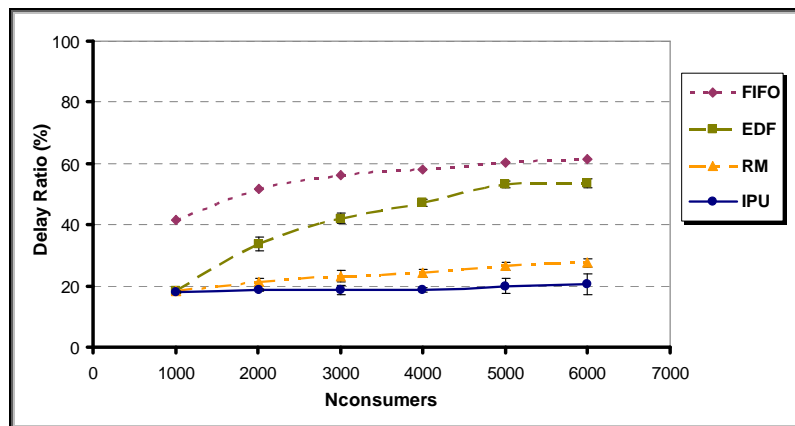
Τα βασικά μεγέθη απόδοσης που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις του καταναμημένου συστήματος είναι το *Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων* και το *Ποσοστό Καθυστέρησης* παράδοσης των ενημερώσεων. Με το πρώτο μέγεθος εκτιμάται η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου να παραδώσει τις ενημερώσεις που έχουν ζητηθεί από τους καταναλωτές. Με το δεύτερο μέγεθος εκτιμάται η φρεσκάδα των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται. Στις προσομοιώσεις του κεντρικού μεσίτη πληροφορίας χρησιμοποιείται ως μέγεθος μέτρησης της απόδοσης των αλγορίθμων το μέγεθος Ποσοστό Χρονικά Έγκυρων Αποκρίσεων. Όμως, στην περίπτωση του καταναμημένου συστήματος το μέγεθος αυτό αναμένεται να έχει την τιμή 100%, αφού ο ρυθμός εξυπηρέτησης των μεσιτών είναι πολύ μεγάλος και τα απλά ερωτήματα απαντώνται πάντα με χρονικά έγκυρα δεδομένα είτε κατευθείαν από τον τοπικό είτε από τους απομακρυσμένους μεσίτες. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για τις προεπιλεγμένες παραμέτρους οι αριθμοί των αιτημάτων ζήτησης και των αιτημάτων ανανέωσης των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν είναι αντίστοιχα 5000 και 6000000 (εξαιρουμένων των απλών αιτημάτων). Επομένως, επαληθεύεται η θεώρηση που έγινε κατά τη μοντελοποίηση του προβλήματος, σύμφωνα με την οποία δίνεται υψηλότερη προτεραιότητα στα αιτήματα ζήτησης πληροφορίας.

#### 4.5.3.2.1. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των καταναλωτών που εγγράφονται για ενημερώσεις

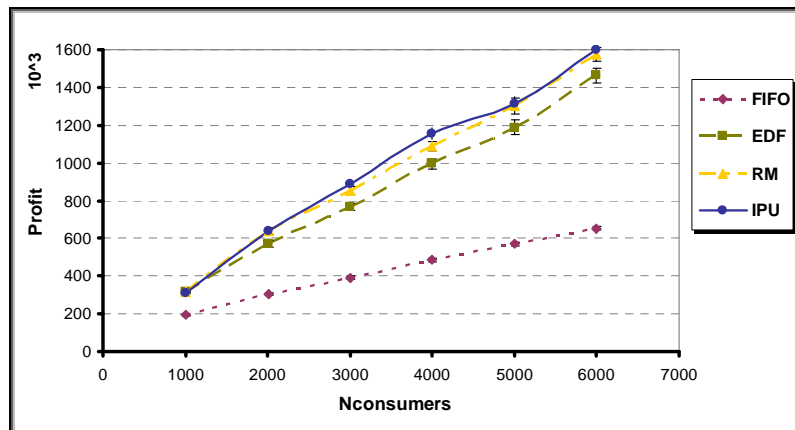
Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται ο αριθμός των καταναλωτών που εγγράφονται για δεδομένα. Συγκεκριμένα, εκτελούνται προσομοιώσεις για αριθμό καταναλωτών  $N_{consumers} = \{500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000\}$  και υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη απόδοσης: *Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων*, *Ποσοστό Καθυστέρησης* και *Κέρδος*. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αντίστοιχα στα σχήματα: Σχήμα 4-29, Σχήμα 4-30 και Σχήμα 4-31.



Σχήμα 4-29: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών



Σχήμα 4-30: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών



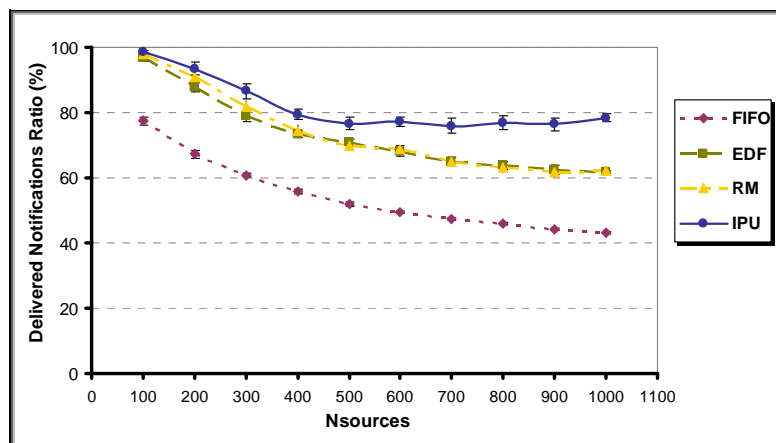
Σχήμα 4-31: Κέρδος Συναρτήσει του Αριθμού των Καταναλωτών

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος IPU υπερέχει των υπολοίπων, ενώ ο αλγόριθμος με την αμέσως καλύτερη απόδοση είναι ο RM. Καθώς ο αριθμός των καταναλωτών που εγγράφονται για ενημερώσεις αυξάνεται, μεγαλώνει και ο αριθμός των ενημερώσεων που διακινούνται με αποτέλεσμα το ποσοστό των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται να μειώνεται (Σχήμα 4-29), καθώς και οι ενημερώσεις που τελικά παραδίδονται να είναι λιγότερο φρέσκες (Σχήμα 4-30). Ωστόσο επειδή ο απόλυτος αριθμός

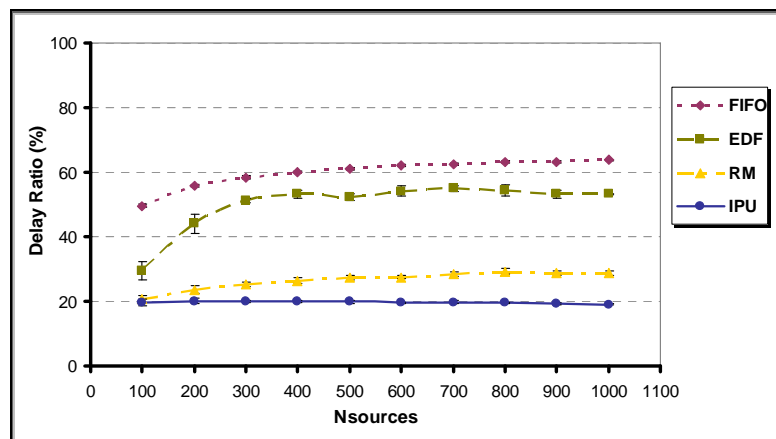
των ενημερώσεων που παραδίδονται μεγαλώνει, αυξάνεται αντίστοιχα και το κέρδος του συστήματος (Σχήμα 4-31). Τα συμπεράσματα αυτά ισχύουν για όλους τους αλγορίθμους. Όμως, όταν χρησιμοποιείται ο IPU παρατηρείται ότι το ποσοστό καθυστέρησης παραμένει χαμηλό παρόλο που ο αριθμός των καταναλωτών αυξάνεται. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται ο IPU, το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων μειώνεται με μικρότερο ρυθμό και το κέρδος αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Ο FIFO έχει τη χειρότερη απόδοση καθώς οι ανανεώσεις χρονοδρομολογούνται στους ενδιάμεσους κόμβους με βάση το χρόνο άφιξης τους και άρα λήγουν προτού φτάσουν στον προορισμό τους.

#### 4.5.3.2.2. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των πηγών

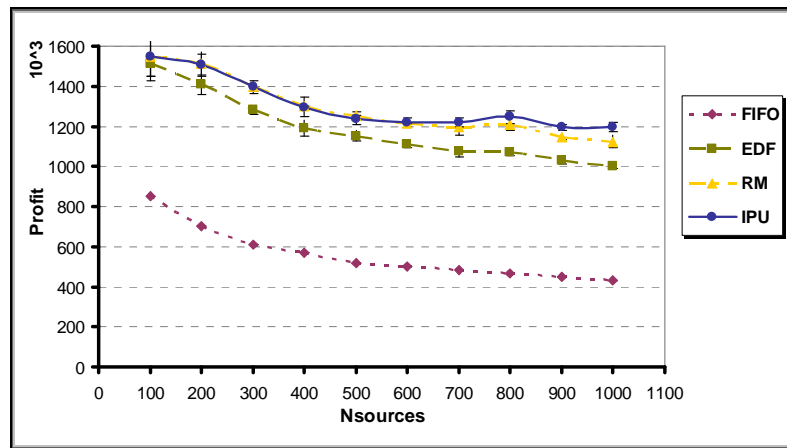
Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται ο αριθμός των πηγών δεδομένων. Εκτελούνται προσομοιώσεις για αριθμό πηγών  $N_{sources} = \{100, 200, \dots, 1000\}$  και υπολογίζονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων, Ποσοστό Καθυστέρησης και Κέρδος. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-32, Σχήμα 4-33 και Σχήμα 4-34.



Σχήμα 4-32: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Αριθμού των Πηγών



Σχήμα 4-33: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Αριθμού των Πηγών



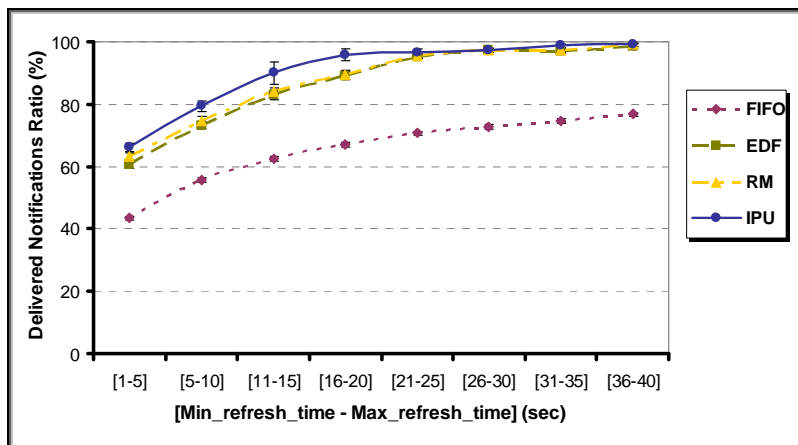
Σχήμα 4-34: Κέρδος Συναρτήσεις του Αριθμού των Πηγών

Από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-32, Σχήμα 4-33 και Σχήμα 4-34) προκύπτει ότι με τον IPU επιτυγχάνονται όλο και καλύτερα ποσοστά διανεμημένων ενημερώσεων, καθυστέρησης και κέρδους σε σχέση με τους υπολοίπους αλγόριθμους, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πηγών. Όμοια με την προηγούμενη δοκιμή, ο αμέσως καλύτερος αλγόριθμος είναι ο RM, ενώ ο αλγόριθμος FIFO είναι ο χειρότερος. Επίσης παρατηρείται ότι όσο ο αριθμός των πηγών αυξάνεται, μειώνεται το ποσοστό των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται, αυξάνεται το ποσοστό καθυστέρησης και μειώνεται το κέρδος. Ειδικότερα για αριθμό πηγών πάνω από 400 τα μεγέθη αυτά σταθεροποιούνται. Τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν για όλους τους αλγόριθμους ενώ για τον IPU ο ρυθμός μείωσης των ενημερώσεων που παραδίδονται είναι μικρότερος συγκριτικά με τους υπόλοιπους αλγόριθμους. Αξίζει να σημειωθεί ότι με την αύξηση των πηγών παρατηρείται μείωση του κέρδους σε αντίθεση με την αύξηση των καταναλωτών όπου παρατηρείται αύξηση του κέρδους. Αυτό συμβαίνει επειδή η ζήτηση από τους καταναλωτές παραμένει ίδια με αποτέλεσμα ο αριθμός των ενημερώσεων που ζητούνται να παραμένει σταθερός. Αντίθετα όταν αυξάνονται οι καταναλωτές, ο αριθμός των ενημερώσεων που ζητούνται να παραδοθούν αυξάνεται αντίστοιχα.

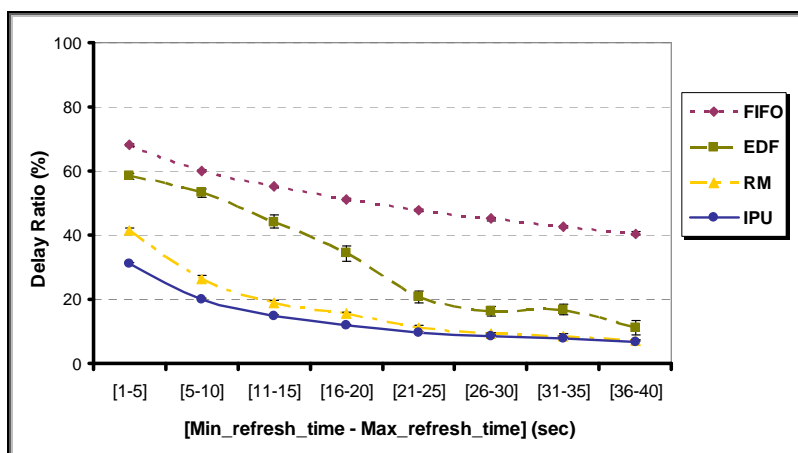
#### 4.5.3.2.3. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την περίοδο ανανέωσης

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται η περίοδος ανανέωσης των δεδομένων των πηγών. Η αύξηση της περιόδου ανανέωσης αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση των ανανεώσεων που απορρίπτονται. Εκτελούνται προσομοιώσεις για τιμές ελάχιστης και μέγιστης περιόδου ανανέωσης αντίστοιχα:  $Min\_refresh\_time = \{1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36\} sec$  και  $Max\_refresh\_time = \{5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40\} sec$ , και υπολογίζονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και Ποσοστό Καθυστέρησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα: Σχήμα 4-35 και Σχήμα 4-36. Επίσης, για την

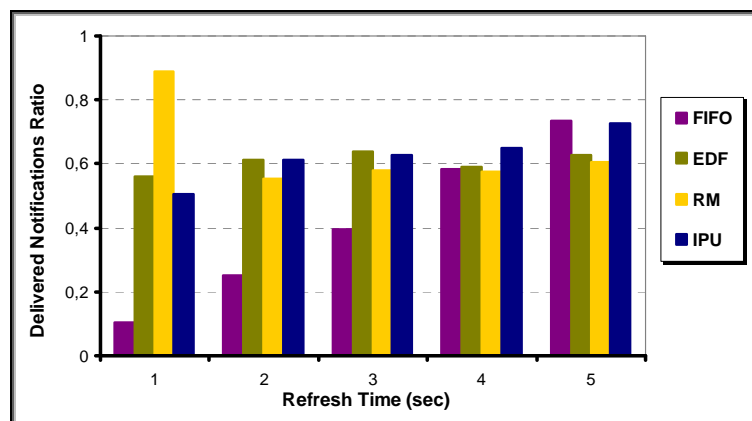
περίπτωση που οι τιμές της περιόδου ανανέωσης βρίσκονται στο διάστημα [1-5] καταγράφονται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων για κάθε τιμή περιόδου ανανέωσης. Τα αποτελέσματα αυτής της καταγραφής παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-37.



Σχήμα 4-35: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης



Σχήμα 4-36: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Διαστήματος Τιμών της Περιόδου Ανανέωσης



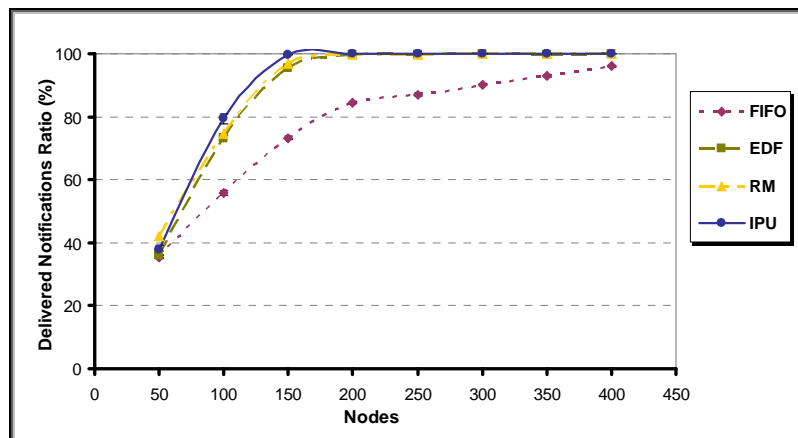
Σχήμα 4-37: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Περιόδου Ανανέωσης

Από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-35 και Σχήμα 4-36) προκύπτει ότι ο IPU υπερέρχει των υπολοίπων αλγορίθμων όταν οι περίοδοι ανανέωσης των πηγών είναι μικρές, ενώ όσο

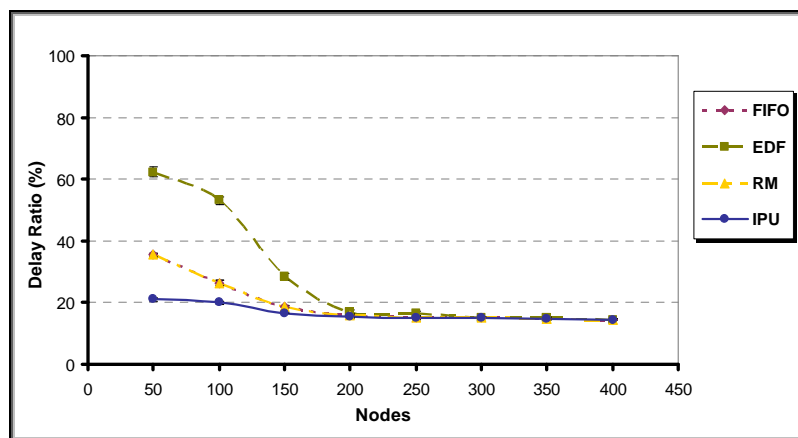
αυξάνονται οι περίοδοι ανανέωσης οι τέσσερις αλγόριθμοι συγκλίνουν. Επίσης παρατηρείται ότι όσο οι πηγές έχουν μεγαλύτερες περιόδους ανανέωσης το ποσοστό των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται αυξάνεται και το ποσοστό καθυστέρησης μειώνεται. Ειδικότερα, για περιόδους ανανέωσης πάνω από 21 sec τα μεγέθη αυτά σταθεροποιούνται. Από το Σχήμα 4-37 προκύπτει ότι ο RM προτιμά να εξυπηρετεί τα αιτήματα που ανανεώνονται συχνότερα και ο FIFO εμφανίζει καλύτερη απόδοση στις ενημερώσεις με μεγαλύτερες περιόδους ανανέωσης. Αντίθετα οι EDF και IPU συμπεριφέρονται με όμοιο τρόπο σε όλα τα αιτήματα.

#### 4.5.3.2.4. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων του δικτύου

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται ο αριθμός των κόμβων του γράφου που παριστάνει το δίκτυο. Συγκεκριμένα, για αριθμό κόμβων  $Nodes = \{50, 100, \dots, 400\}$  εκτελούνται προσομοιώσεις και υπολογίζονται τα εξής μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και Ποσοστό Καθυστέρησης. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται αντίστοιχα στα σχήματα: Σχήμα 4-38 και Σχήμα 4-39.



Σχήμα 4-38: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσεως του Αριθμού Κόμβων



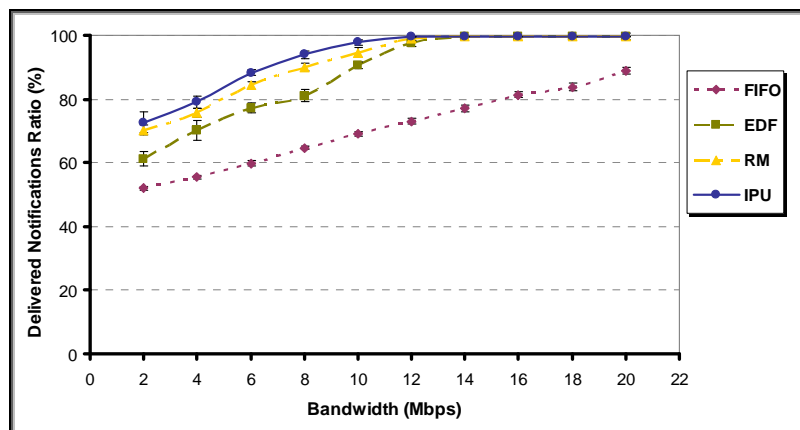
Σχήμα 4-39: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσεως του Αριθμού Κόμβων



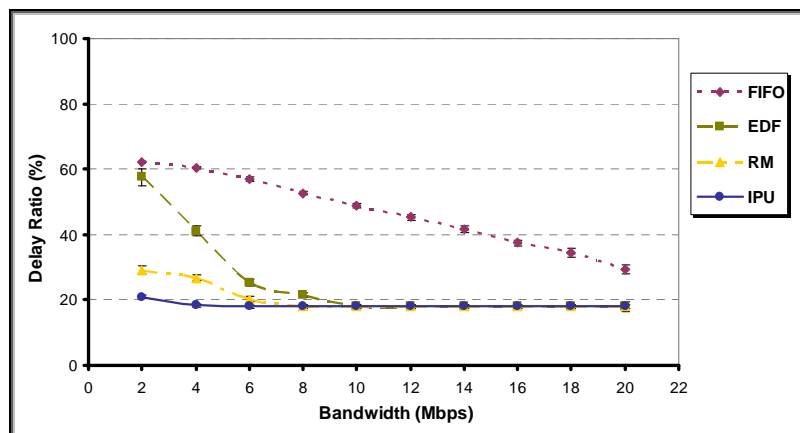
Από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-38 και Σχήμα 4-39) προκύπτει ότι όσο ο αριθμός των κόμβων μεγαλώνει, το ποσοστό των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται αυξάνεται ενώ το ποσοστό καθυστέρησης μειώνεται. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογείται από το ότι με την αύξηση του αριθμού των κόμβων που τοποθετούνται στο ίδιο χώρο (Graph\_Area) μεγαλώνει η πυκνότητα του δικτύου και αυξάνονται τα μονοπάτια διακίνησης των δεδομένων με αποτέλεσμα να παραδίδονται συντομότερα τα ανανεωμένα δεδομένα. Ειδικότερα, για πάνω από 200 κόμβους το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων είναι 100% με τους IPU, EDF και RM, ενώ ο FIFO πετυχαίνει το ποσοστό αυτό για αριθμό κόμβων μεγαλύτερο από 400.

#### 4.5.3.2.5. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με το ρυθμό μετάδοσης

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων καθώς μεταβάλλεται ο ρυθμός μετάδοσης των συνδέσεων του δικτύου. Συγκεκριμένα, εκτελούνται προσομοιώσεις για εύρος ζώνης  $Bandwidth=\{2, 4, \dots, 20\}$  σε όλες τις συνδέσεις του δικτύου και υπολογίζονται τα μεγέθη: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων και Ποσοστό Καθυστέρησης. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται αντίστοιχα στα σχήματα: Σχήμα 4-40 και Σχήμα 4-41.



Σχήμα 4-40: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει του Ρυθμού Μετάδοσης

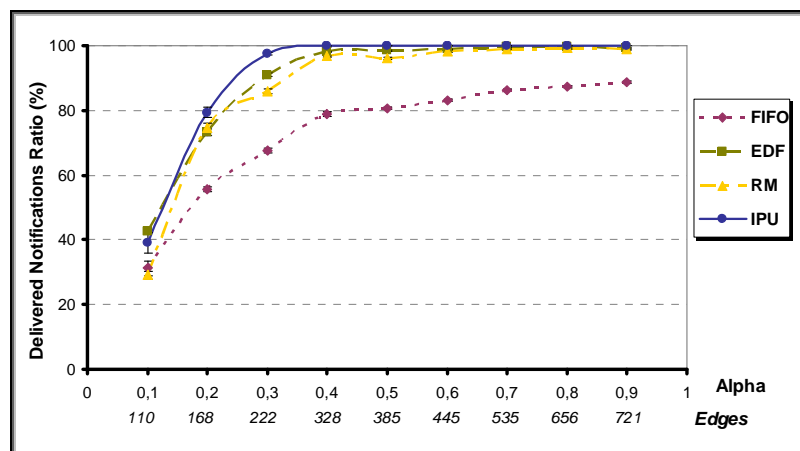


Σχήμα 4-41: Ποσοστό Καθυστέρησης Συναρτήσει του Ρυθμού Μετάδοσης

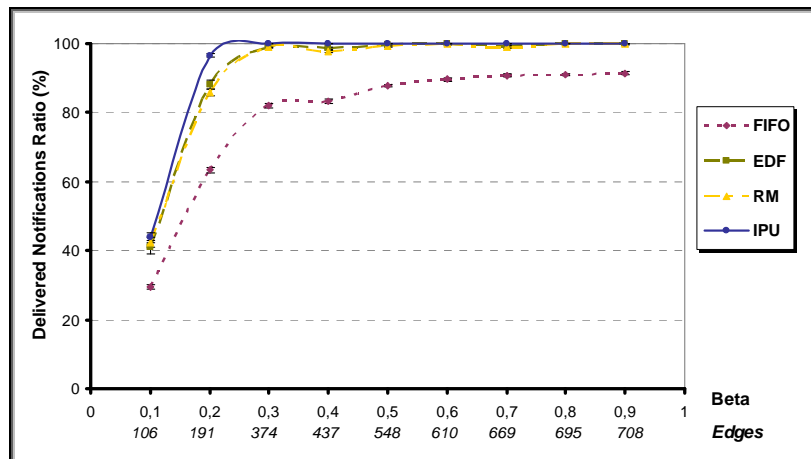
Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-40 και Σχήμα 4-41) καθώς το εύρος ζώνης των συνδέσεων αυξάνεται, μεγαλώνει το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων και μειώνεται το ποσοστό καθυστέρησης των ενημερώσεων που τελικά παραδίδονται. Όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι RM, EDF και IPU για εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 10Mbps, το ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων φτάνει το 100% και το ποσοστό καθυστέρησης φτάνει το 20% που είναι και η ελάχιστη τιμή. Για χαμηλότερο εύρος ζώνης ο IPU έχει καλύτερη απόδοση ως προς και τα δύο μεγέθη, ενώ για όλες τις τιμές το ποσοστό καθυστέρησης έχει τιμή 20%. Ο αμέσως καλύτερος αλγόριθμος μετά τον IPU είναι ο RM, ενώ ο αλγόριθμος με την χειρότερη απόδοση είναι ο FIFO. Με τον τελευταίο το ποσοστό των ενημερώσεων που έχουν παραδοθεί και το ποσοστό καθυστέρησης δεν φτάνουν αντίστοιχα την μέγιστη και ελάχιστη τιμή ακόμη και όταν το εύρος ζώνης γίνει 20Mbps.

#### 4.5.3.2.6. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του δικτύου

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου καθώς μεταβάλλονται οι παράμετροι alpha και beta. Η παράμετρος alpha περιγράφει την πιθανότητα ύπαρξης συνδέσεων και η παράμετρος beta περιγράφει την πιθανότητα απευθείας σύνδεσης των απομακρυσμένων κόμβων. Επίσης, οι δύο παράμετροι σε συνδυασμό με το αριθμό των κόμβων καθορίζουν τον αριθμό των συνδέσεων και επομένως το βαθμό του δικτύου [92]. Ειδικότερα, για τιμές  $alpha, beta = \{0.1, 0.2, \dots, 0.9\}$  προκύπτουν διαφορετικοί γράφοι, με βάση τους οποίους εκτελούνται οι προσομοιώσεις και υπολογίζεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων απεικονίζονται αντίστοιχα στα σχήματα: Σχήμα 4-38 και Σχήμα 4-39. Για κάθε τιμή των alpha και beta, καταγράφεται και ο αντίστοιχος αριθμός συνδέσεων του γράφου που κατασκευάστηκε.



Σχήμα 4-42: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει Παραμέτρου alpha



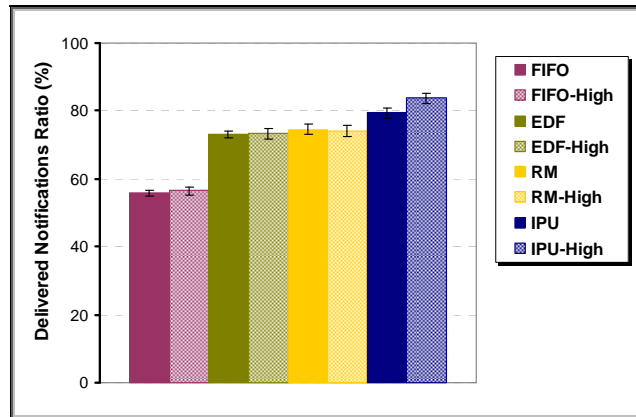
Σχήμα 4-43: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει Παραμέτρου beta

Από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4-42 και Σχήμα 4-43) προκύπτει ότι με την αύξηση των δύο παραμέτρων αυξάνεται και το ποσοστό των ενημερώσεων που παραδίδονται. Η παρατήρηση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι η αύξηση των παραμέτρων συνεπάγεται αύξηση του αριθμού των απευθείας συνδέσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου με αποτέλεσμα να παραδίδονται συντομότερα τα ανανεωμένα δεδομένα. Ειδικότερα, για alpha μεγαλύτερο από 0.4 και beta να έχει την προεπιλεγμένη τιμή, δηλαδή 0.15, το ποσοστό των διανεμημένων ενημερώσεων γίνεται 100% όταν χρησιμοποιούνται οι IPU, EDF και RM. Για beta μεγαλύτερο από 0.3 και alpha να έχει στην προεπιλεγμένη τιμή, δηλαδή 0.1, το ποσοστό των διανεμημένων ενημερώσεων γίνεται 100%. Τέλος, συγκριτικά με τους EDF και RM, ο αλγόριθμος IPU είναι ο καλύτερος καθώς επιτυγχάνει τη μέγιστη τιμή ποσοστού διανεμημένων ενημερώσεων με μικρότερες τιμές των alpha και beta. Αντίθετα, με τον αλγόριθμο FIFO, η μέγιστη τιμή είναι 90% η οποία επιτυγχάνεται για μεγαλύτερες τιμές alpha και beta.

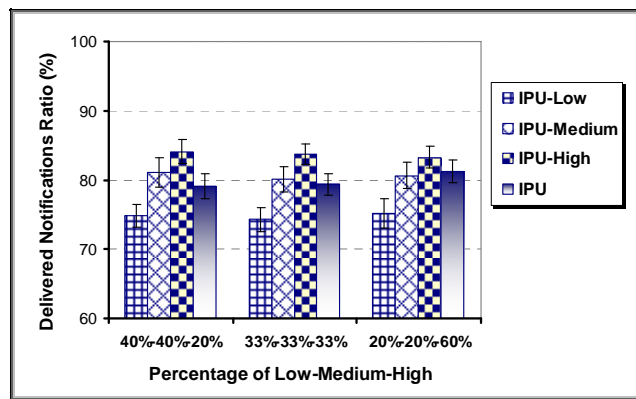
#### 4.5.3.2.7. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την αξία των δεδομένων

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση των αλγορίθμων σε σχέση με το είδος των πηγών. Αρχικά, στο Σχήμα 4-44, καταγράφεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων που προέρχονται από το σύνολο των πηγών και ξεχωριστά από τις πηγές μεγάλης αξίας όταν χρησιμοποιούνται οι τέσσερις αλγόριθμοι. Επίσης, πραγματοποιούνται τρεις ομάδες προσομοιώσεων όπου σε κάθε μία η ποσοστιαία αναλογία των πηγών που παρέχουν δεδομένα χαμηλής, μεσαίας και υψηλής αξίας είναι αντίστοιχα  $\{(40\%, 40\%, 20\%), (33\%, 33\%, 33\%), (20\%, 20\%, 60\%)\}$ . Στις προσομοιώσεις αυτές χρησιμοποιείται μόνο ο αλγόριθμος IPU, αφού μόνο αυτός λαμβάνει υπόψη την αξία των δεδομένων για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων. Για κάθε αναλογία υπολογίζεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων

ξεχωριστά για τις ενημερώσεις από κάθε είδος πηγών. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-45.



**Σχήμα 4-44:** Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Προερχόμενων από το Σύνολο των Πηγών και από τις Πηγές Μεγάλης Αξίας



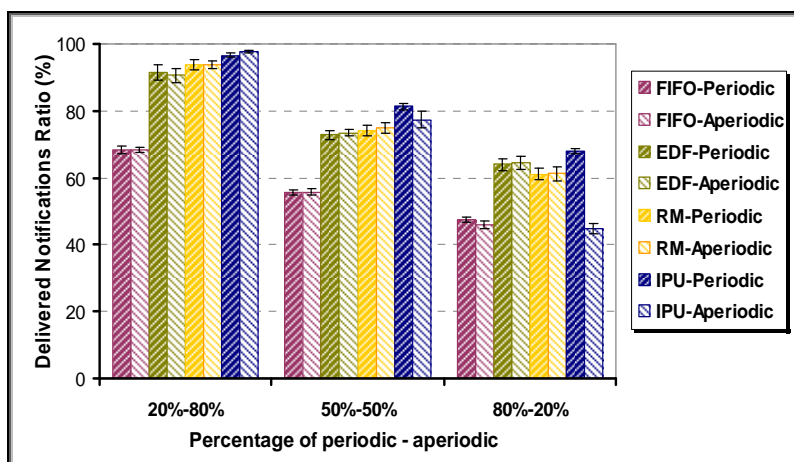
**Σχήμα 4-45:** Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων με τον IPU Συναρτήσει της Ποσοστιαίας Αναλογίας Πηγών Χαμηλής – Μεσαίας – Υψηλής Αξίας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-44, με τον IPU επιτυγχάνεται μεγαλύτερο ποσοστό διανεμημένων ενημερώσεων που αφορούν δεδομένα υψηλής αξίας. Μάλιστα σύμφωνα με το Σχήμα 4-45, ακόμη και όταν τα δεδομένα υψηλής αξίας είναι περισσότερα (οι πηγές υψηλής αξίας είναι 60%) τα αντίστοιχα ποσοστά απόδοσης του αλγορίθμου παραμένουν σταθερά. Αντίθετα, οι υπόλοιποι αλγόριθμοι συμπεριφέρονται με ίδιο τρόπο και στους τρεις τύπους δεδομένων.

#### 4.5.3.2.8. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με την ποσοστιαία αναλογία περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η μεταβολή της απόδοσης των αλγορίθμων με την μεταβολή του αριθμού των περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών. Ειδικότερα, εκτελούνται προσομοιώσεις για τις τρεις ποσοστιαίες αναλογίες  $\{(20\%, 80\%), (50\%, 50\%), (80\%, 20\%)\}$

περιοδικών και μη-περιοδικών πηγών αντίστοιχα και καταγράφεται το Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων στο Σχήμα 4-46.

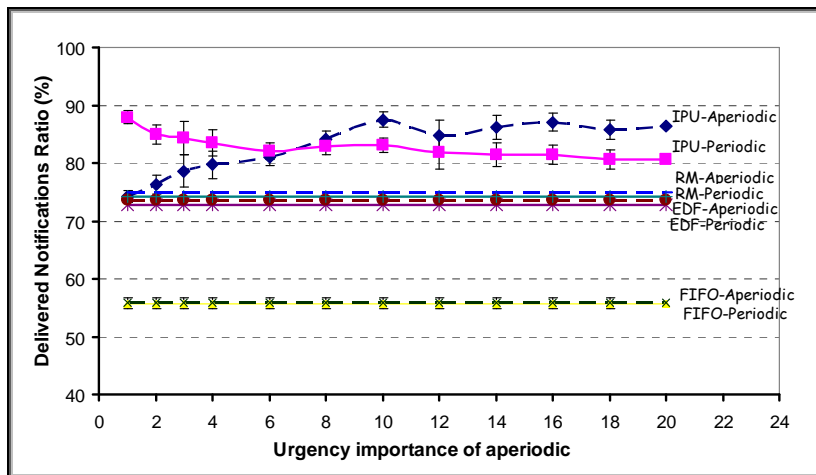


**Σχήμα 4-46:** Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Ποσοστιαίας Αναλογίας Περιοδικών και Μη-περιοδικών Πηγών

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-46, καθώς αυξάνεται το ποσοστό των περιοδικών μεγαλώνει, το ποσοστό ενημερώσεων που παραδίδονται μειώνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση του αριθμού των περιοδικών πηγών συνεπάγεται αύξηση του συνολικού αριθμού ενημερώσεων που διακινούνται με αποτέλεσμα να απορρίπτονται όλα και περισσότερα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας. Ωστόσο το ποσοστό των παραδιδόμενων ενημερώσεων που προέρχονται από τις μη-περιοδικές πηγές μειώνεται με μικρότερο ρυθμό όταν χρησιμοποιείται ο IPU.

#### 4.5.3.2.9. Αξιολόγηση απόδοσης σε σχέση με τη σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων

Στη δοκιμή αυτή μελετάται η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου σε σχέση με την παράμετρο Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας που προέρχονται από μη-περιοδικές πηγές. Ειδικότερα, εκτελούνται προσομοιώσεις για τιμές  $Urgency\_Importance = \{1, 2, 3, \dots, 9, 10, 12, \dots, 18, 20, 24, 28\}$  και καταγράφεται το μέγεθος: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων ξεχωριστά για τις περιοδικές και μη-περιοδικές ενημερώσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-24. Επίσης, στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ποσοστά όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι FIFO, EDF και RM, παρόλο που λειτουργούν ανεξάρτητα από την παράμετρο που μελετάται. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά καταγράφονται προκειμένου να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου IPU.



Σχήμα 4-47: Ποσοστό Διανεμημένων Ενημερώσεων Συναρτήσει της Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των Μη-περιοδικών Αιτημάτων

Προφανώς οι αλγόριθμοι FIFO, EDF και RM είναι ανεξάρτητοι της παραμέτρου που μεταβάλλεται στη δοκιμή αυτή. Όταν χρησιμοποιείται ο IPU η αύξηση της παραμέτρου οδηγεί σε αύξηση του ποσοστού διανεμημένων ενημερώσεων που προέρχονται από μη-περιοδικές πηγές και μείωση του αντίστοιχου μεγέθους που αναφέρεται στις περιοδικές πηγές. Η τιμή για την οποία τα ποσοστά διανεμημένων ενημερώσεων από μη-περιοδικές και περιοδικές πηγές ισούνται είναι 7. Όταν η σπουδαιότητα επιτακτικότητας των μη-περιοδικών αιτημάτων ανανέωσης είναι μικρότερη από 7, οι περιοδικές ανανεώσεις προτιμώνται από τις μη-περιοδικές, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν αυτή είναι μεγαλύτερη από 7. Τέλος, ο λόγος για τον οποίον η απόδοση όλων των αλγορίθμων είναι σχεδόν πάντα καλύτερη στα αιτήματα για μη-περιοδικά δεδομένα από ότι τα περιοδικά στηρίζεται στο ότι τα μη-περιοδικά αιτήματα ανανέωσης είναι λιγότερα.

### 4.5.3.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στις ενότητες 4.5.3.1 και 4.5.3.2 παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου IPU συγκριτικά με την απόδοση των γνωστών αλγορίθμων: FIFO, EDF και RM. Αρχικά αξιολογήθηκε η χρήση των αλγορίθμων στην περίπτωση που η διακίνηση της πληροφορίας πραγματοποιείται από έναν κεντρικό μεσίτη πληροφορίας και στη συνέχεια θεωρήθηκε ένα σύνολο συνεργαζόμενων μεσιτών. Στην πρώτη περίπτωση, οι αλγόριθμοι καθορίζουν τη σειρά εξυπηρέτησης των αιτημάτων που δέχεται ο μεσίτης και στη δεύτερη καθορίζουν τη σειρά μετάδοσης των αιτημάτων στις συνδέσεις του δικτύου. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει η υπεροχή του IPU, ο οποίος υπερτερεί τόσο ως προς την εξυπηρέτηση των αιτημάτων των καταναλωτών αλλά και ως προς το κέρδος από τη διακίνηση της πληροφορίας. Διαπιστώθηκε ότι καθώς ο αριθμός των καταναλωτών που υποβάλλουν αιτήματα ή ο αριθμός

των παραγόμενων ανανεώσεων αυξάνεται, ο IPU αποδίδει καλύτερα. Επίσης, ο IPU έχει την καλύτερη συμπεριφορά όταν μεταβάλλονται οι διάφοροι παράμετροι του συστήματος, όπως το μέγεθος της ουράς, ο χρόνος αναμονής στην ουρά, η καθυστέρηση άφιξης, οι προθεσμίες των καταναλωτών και τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Στην περίπτωση του κεντρικού μεσίτη ο αμέσως καλύτερος αλγόριθμος μετά τον IPU είναι ο FIFO, ενώ οι RM και EDF έχουν παρόμοια απόδοση. Στην περίπτωση των κατανεμημένων μεσιτών ο αμέσως καλύτερος αλγόριθμος μετά τον IPU είναι ο RM, με τον οποίο επιτυγχάνονται μεγάλα ποσοστά διανεμημένων ενημερώσεων καθώς δίνεται προτεραιότητα στα δεδομένα που ανανεώνονται συχνότερα. Ο χειρότερος είναι ο αλγόριθμος FIFO καθώς οι ανανεώσεις των δεδομένων απορρίπτονται προτού φτάσουν στο τελικό προορισμό τους αφού λήγουν στους ενδιάμεσους κόμβους των μονοπατιών διακίνησης των δεδομένων. Η απόδοση του EDF δεν είναι ιδιαίτερα καλή καθώς επιβάλλει την εξυπηρέτηση των αιτημάτων σε χρονικές στιγμές πολύ κοντά στην λήξη των δεδομένων. Επίσης, από τα αποτελέσματα των δοκιμών προκύπτει ότι η απόδοση του IPU είναι βέλτιστη ως προς τα δεδομένα μεγάλης αξίας, και λιγότερο καλή για τα μεσαίας αξίας, εις βάρος των δεδομένων χαμηλής αξίας. Τέλος, τα μικρά διαστήματα εμπιστοσύνης σε σύγκριση με τους υπόλοιπους αλγορίθμους φανερώνουν σταθερότητα στην απόδοση του.

## 4.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στην ενότητα αυτή συγκρίνεται η προτεινόμενη λύση με τις προσεγγίσεις που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για τη διακίνηση πληροφορίας σε πραγματικό. Οι πρώτες διαφορές αναφέρονται στις προδιαγραφές των συστημάτων. Ειδικότερα, μια από τις βασικές απαιτήσεις της παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος είναι η παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος με περιοδικό αλλά και μη-περιοδικό τρόπο. Όμως, στα περισσότερα συστήματα της βιβλιογραφίας ανανεώσεις των δεδομένων πραγματοποιούνται μόνο ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης, στα συστήματα αυτά οι πηγές που παρέχουν την πληροφορία είναι είτε ενεργές είτε παθητικές. Μόνο στο μοντέλο που παρουσιάζεται από τους Han και Venkatasubramanian στο [24] ορίζονται και οι δύο τύποι πηγών (ενεργές και παθητικές πηγές) και οι δύο τρόποι παραγωγής δεδομένων (περιοδικές και μη-περιοδικές πηγές), όπως εξάλλου ορίζονται και στο σύστημα που μελετάται στο κεφάλαιο αυτό. Ωστόσο οι Han και Venkatasubramanian [24] ορίζουν προθεσμίες χρονικής εγκυρότητας μόνο για τα δεδομένα των περιοδικών πηγών. Επίσης, στο σύστημα που μελετάται ορίζονται δύο είδη αιτημάτων: τα

απλά αιτήματα και τα αιτήματα εγγραφής για λήψη ενημερώσεων, ενώ οι υπόλοιπες προσεγγίσεις αναφέρονται αποκλειστικά σε απλά αιτήματα.

Επίσης, κάθε σύστημα που περιγράφεται στη βιβλιογραφία έχει τις δικές του απαιτήσεις και αντικειμενικούς σκοπούς σχετικά με τη διαχείριση των δεδομένων. Σε ένα σύστημα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος το ενδιαφέρον εστιάζεται εξίσου στην ελαχιστοποίηση των αιτημάτων που χάνουν τις προθεσμίες τους και στην μεγιστοποίηση της χρονικής εγκυρότητας των δεδομένων που διακινούνται. Εξάλλου, αυτός είναι και ο λόγος που ο EDF αποτυγχάνει. Αντίθετα τα συστήματα της βιβλιογραφίας ενδιαφέρονται μόνο για την ελαχιστοποίηση των προθεσμιών που χάνονται, με αποτέλεσμα ο EDF να έχει πολύ καλή απόδοση.

Ένα ακόμη σημείο διαφοροποίησης αφορά στον καθορισμό της σχετικής σειράς εξυπηρέτησης ενός αιτήματος ανανέωσης πληροφορίας και ενός αιτήματος απόκτησης πληροφορίας. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των Adelberg, Garcia-Molina, και Kao [28], το ζήτημα αυτό πρέπει να αντιμετωπιστεί από το σχεδιαστή του συστήματος ανάλογα με τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του. Για παράδειγμα, οι Xiong, Ramamritham κ.α. [40] θεωρούν ότι τα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας ποτέ δεν χάνουν τις προθεσμίες τους, ενώ η προσέγγιση των Han και Venkatasubramanian [24] δεν διαφοροποιεί τα δύο είδη αιτημάτων και υπολογίζει τις προτεραιότητες τους με ακριβώς τον ίδιο τρόπο. Για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος έχει θεωρηθεί ότι το φορτίο που προέρχεται από τους καταναλωτές είναι ελάχιστο σε σχέση με το φορτίο που προέρχεται από τις πηγές δεδομένων, με αποτέλεσμα τα αιτήματα των καταναλωτών να εξυπηρετούνται πριν από κάθε αίτημα ανανέωσης πληροφορίας.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες προσεγγίσεις που θεωρούν ότι τα μη-περιοδικά δεδομένα έχουν χαλαρότερες προθεσμίες από τα περιοδικά δεδομένα [24], στο σύστημα διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος που μελετάται τα μη-περιοδικά δεδομένα είναι εξίσου σημαντικά, αν όχι σημαντικότερα. Στο πλαίσιο αυτό επιβάλλεται να εξασφαλιστεί η έγκαιρη παράδοση τους. Αντί να εφαρμοστεί κάποια τεχνική διαφύλαξης πόρων όπως αυτή που προτείνουν οι Spuri και Buttazzo [49] προκειμένου να εξυπηρετηθούν τα μη-περιοδικά αιτήματα, η εξυπηρέτηση αυτών καθορίζεται από την παράμετρο Σπουδαιότητα Επιτακτικότητας των μη-περιοδικών δεδομένων. Η τιμή της παραμέτρου αυτής ορίζεται από το χειριστή του συστήματος και επιτρέπει την προσαρμογή στις απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος.

Ακόμη, ο προτεινόμενος αλγόριθμος χρησιμοποιεί έναν απλούστερο μηχανισμό συγκριτικά με την προσέγγιση των Amirjoo, Hansson, και Son [44] για να εφαρμόσει



δικαιοσύνη ανάμεσα στα αιτήματα ανανέωσης πληροφορίας. Συγκεκριμένα, αντί να προσαρμόζει το παράθυρο λάθους των δεδομένων ανάλογα με την επίδοση του συστήματος, παρακολουθεί τα αιτήματα που έχουν απορριφθεί και φροντίζει ανάλογα να ανανεωθούν τα αντίστοιχα δεδομένα. Επίσης, ο IPU ακολουθεί τη λογική των Kang, Son, και Stankovic [42] και των Amirijoo, Hansson, και Son [46] οι οποίοι προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν το ποσοστό απόρριψης αιτημάτων εξυπηρετούν τα αιτήματα ανανέωσης κατόπιν ζήτησης των δεδομένων που μεταφέρουν. Ωστόσο, ο προτεινόμενος αλγόριθμος επεκτείνει την ιδέα αυτή καθώς επιπρόσθετα εκμεταλλεύεται τη δημοτικότητα των δεδομένων.

Το πρόβλημα της διανομής των δεδομένων σε αυτούς που τα έχουν ζητήσει σε πραγματικό χρόνο έχει ελάχιστα μελετηθεί. Παρόμοιο πρόβλημα έχει απασχολήσει τους ερευνητές στα πλαίσια της διαχείρισης ροών πολυμεσικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ως προς την κωδικοποίηση/ αποκωδικοποίηση και μεταφορά των πολυμεσικών ροών. Επίσης σχετικά με τα καταναμημένα συστήματα διανομής δεδομένων όπως οι καταναμημένες βάσεις δεδομένων και τα συστήματα ομότιμων μεσιτών, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στο πρόβλημα κατανομής φορτίου, τα πρωτόκολλα συνεργασίας και τον έλεγχο συνοχής και ανανέωσης των δεδομένων. Όμως στο σύστημα που μελετάται κάθε μεσίτης επικοινωνεί αποκλειστικά με τους τοπικούς καταναλωτές και πηγές πληροφορίας και δεν καταχωρούνται αντίγραφα των δεδομένα σε πολλαπλούς μεσίτες.

Οι περιοχές που έχουν ασχοληθεί με τη διανομή δεδομένων με χρονικούς περιορισμούς είναι νεότερα ερευνητικά πεδία όπως τα δίκτυα αισθητήρων και τα συστήματα κινητών αυτό-οργανούμενων κόμβων. Ωστόσο οι περιοχές αυτές αναφέρονται σε αυτό-οργανούμενες συνδέσεις και κινητούς κόμβους ενώ το σύστημα που μελετάται έχει σταθερές συνδέσεις και κόμβους. Οι αλγόριθμοι που προτείνονται για τη χρονοδρομολόγηση των πακέτων βασίζονται σε παραλλαγές του EDF, σύμφωνα με τις οποίες χρησιμοποιείται η καθυστέρηση μετάδοσης στις συνδέσεις και επιβάλλεται η αντίστοιχη αναμονή των πακέτων που μεταφέρουν τα δεδομένα στους ενδιάμεσους κόμβους για χρονικό διάστημα που εξασφαλίζει την παράδοση τους εντός των χρονικών περιορισμών δίχως να επιτυγχάνουν τη μεγιστοποίηση της χρονικής εγκυρότητας τους ([64][65][66][72]).

## 4.7. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε το ζήτημα διακίνησης της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο με βάση το καταναμημένο σύστημα που παρουσιάστηκε στο δεύτερο

κεφάλαιο της παρούσας διατριβής. Ειδικότερα, το πρόβλημα που εξετάστηκε είναι ο καθορισμός της σειράς εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται από τις πηγές και τους καταναλωτές πληροφορίας, οι οποίοι αντίστοιχα παρέχουν και ζητούν δεδομένα από το σύστημα συλλογής και διακίνησης πληροφορίας. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η επιτυχής απόκριση στα αιτήματα των καταναλωτών, δηλαδή ζητείται να απαντώνται με επίκαιρα δεδομένα εντός των χρονικών περιορισμών που θέτουν. Επειδή οι λόγοι καθυστέρησης απόκρισης στα αιτήματα των καταναλωτών είναι οι περιορισμένοι πόροι εξυπηρέτησης των μεσιτών και οι δυνατότητες της δικτυακής υποδομής, το πρόβλημα διασπάται σε δύο υπο-προβλήματα: το πρώτο αναφέρεται στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων από κάθε μεσίτη και το δεύτερο στη διανομή των δεδομένων στους απομακρυσμένους καταναλωτές πληροφορίας. Προκειμένου να μελετηθεί το πρόβλημα, αρχικά αναλύθηκε η σχετική βιβλιογραφία, η οποία αναφέρεται στις απαιτήσεις των συστημάτων υπολογισμού σε πραγματικό χρόνο και στα προβλήματα προγραμματισμού της σειράς εκτέλεσης εργασιών, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ανάλυση των συστημάτων διακίνησης πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο.

Στη συνέχεια με βάση τις προδιαγραφές του συστήματος, μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα και σύμφωνα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του σχεδιάστηκε ο νέος δυναμικός αλγόριθμος IPU. Ο αλγόριθμος αυτός λαμβάνει υπόψη την επιτακτικότητα των αιτημάτων (η οποία προσδιορίζεται με βάση τις χρονικές προθεσμίες), την αξία τους (η οποία προσδιορίζεται από το κέρδος του μεσίτη) και τη δημοσιότητα τους (η οποία προσδιορίζεται από την ζήτηση της πληροφορίας). Ο προτεινόμενος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της σειράς εκτέλεσης των αιτημάτων που λαμβάνει κάθε μεσίτης, αλλά και για τη διανομή των δεδομένων από τους μεσίτες στους οποίους οι πηγές υποβάλουν τα αιτήματα ανανέωσης προς τους μεσίτες στους οποίους οι καταναλωτές έχουν υποβάλει τα αιτήματα εγγραφής. Αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης του συστήματος με το οποίο εκτιμήθηκε η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου συγκριτικά με την απόδοση των γνωστών αλγορίθμων FIFO, EDF και RM. Πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστές δοκιμές για την περίπτωση του κεντρικού μεσίτη πληροφορίας και για την περίπτωση του κατανεμημένου συστήματος μεσιτών, μεταβάλλοντας κάθε φορά μία παράμετρο του συστήματος. Χρησιμοποιώντας ως βασικά μεγέθη εκτίμησης της απόδοσης το ποσοστό των ενημερώσεων που παραδίδονται, την καθυστέρηση παράδοσης των ανανεωμένων δεδομένων, το ποσοστό των απλών αιτημάτων που απαντώνται με επίκαιρα δεδομένα αλλά και το κέρδος του συστήματος, τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι ο IPU υπερέρχει των υπολοίπων αλγορίθμων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης του προβλήματος διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή ο προτεινόμενος αλγόριθμος IPU, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί

και σε άλλα συστήματα που απαιτούν συλλογή πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, όπως η διαχείριση δικτύων, το ηλεκτρονικό εμπόριο, ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας. Τα σχέδια για επέκταση της μελέτης αυτής αφορούν την εφαρμογή του αλγορίθμου σε συστήματα με διαφορετικές απαιτήσεις. Ειδικότερα, σχεδιάζεται η επέκταση του αλγορίθμου ώστε να εφαρμοστεί και σε άλλα, καταναμημένα και μη, συστήματα διακίνησης πληροφορίας. Επίσης, ο προτεινόμενος αλγόριθμος θα μπορούσε να τροποποιηθεί ώστε να εφαρμοστεί σε δίκτυα όπου οι συνδέσεις των κόμβων είναι αυτό-οργανούμενες. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει η επέκταση του αλγορίθμου για την περίπτωση των δεδομένων που προκύπτουν από τη σύνθεση άλλων δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξαρτήσεις μεταξύ των πληροφοριών προκειμένου να προσδιοριστούν οι προθεσμίες και οι προτεραιότητες.

## 4.8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. Xynogalas, M. Chantzara, I. Sygkouna, S. Vrontis, I. Roussaki, and M. Anagnostou, "Context Management for the Provision of Adaptive Services to Roaming Users", *IEEE Wireless Communications*, ISSN: 1536-1284, Vol. 11, No. 2, pp. 40-47, Publisher: IEEE Communications Society, April 2004.
- [2] K. Henriksen, and J. Indulska, "Modelling and Using Imperfect Context Information", *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom'04), Workshop on the Advanced Context Modelling, Reasoning and Management (CoMoRea'04)*, 14-17 March 2004, Toronto, Canada, ISBN: 0-7695-2106-1, pp. 33-37, Publisher: IEEE Computer Society.
- [3] J. Stankovic, "Misconceptions About Real Time Computing: A Serious Problem for Next-Generation Systems", *IEEE Computer*, ISSN: 0018-9162, Vol. 21, No. 10, pp. 10-19, Publisher: IEEE Computer Society, October 1988.
- [4] CONTEXT: Active Creation, Delivery and Management of efficient Context Aware Services, IST-2001-38142- CONTEXT, <http://context.upc.es>.
- [5] J. Stankovic, S. Son, and J. Hansson, "Misconceptions about Real-Time Databases", *IEEE Computer*, ISSN: 0018-9162, Vol. 32, No. 6, pp. 29 - 36, Publisher: IEEE Computer Society, June 1999.
- [6] A. Bestavros, S. Son, and K. Lin, "*Real-Time Database Systems: Issues and Applications*", ISBN: 0792398971, p. 368, Publisher: Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, January 1997.
- [7] G. Ozsoyoglu, and R. Snodgrass, "Temporal and Real-Time Databases: A Survey", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 7, No. 4, pp. 513 - 532, Publisher: IEEE Computer Society, August 1995.
- [8] K. Ramamritham, S. Son, and L. Dipippo, "Real-Time Databases and Data Services", *Real-Time Systems Journal*, ISSN: 0922-6443, Vol. 28, No. 2-3, pp. 179-215, Publisher: Kluwer Academic Publishers, November-December 2004.

- [9] E.D. Jensen, C.D. Locke, and H. Tokuda, "A Time-Driven Scheduling Model for Real-Time Systems", *Proceedings of the 6<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'85)*, 3-6 December 1985, San Diego, California, USA, pp. 112-122, Publisher: IEEE Computer Society.
- [10] D. Karger, C. Stein, and J. Wein, "Scheduling Algorithms", Chapter 38 of the *Handbook of Algorithms and Theory of Computation (M. J. Atallah, ed.)*, ISBN: 0849326494, Publisher: Taylor & Francis CRC Press, 1998.
- [11] M. Garey, and D. Johnson, "*Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*", ISBN: 0716710455, p. 338, Publisher: W.H. Freeman and Company, New York, 1979.
- [12] A. Borodin, and R. El-Yaniv, "*Online Computation and Competitive Analysis*", ISBN: 0521563925, p. 432, Publisher: Cambridge University Press, April 1998.
- [13] M. Pinedo, "*Scheduling Theory: Algorithms and Systems*", Second Edition, ISBN: 0130281387, p. 586, Publisher: Prentice Hall, August 2001.
- [14] J. Leung, "*Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*", ISBN: 1584883979, p. 1120, Publisher: Chapman & Hall/CRC Press, April 2004.
- [15] L. Sha, T. Abdelzaher, K-E. Arzen, A. Cervin, T. Baker, A. Burns, G. Buttazzo, M. Caccamo, J. Lehoczky, and A.Mok, "Real Time Scheduling Theory: A Historical Perspective", *Real-Time Systems Journal*, ISSN: 0922-6443, Vol. 28, No. 2-3, pp. 101-155, Publisher: Kluwer Academic Publishers, November-December 2004.
- [16] K. Pruhs, J. Sgall, and E. Torng, "Online Scheduling", Chapter in *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis (J. Leung ed.)*, ISBN: 1584883979, Publisher: Chapman & Hall/CRC Press, April 2004.
- [17] S. Baruah, and J. Goossens, "Scheduling Real-Time Tasks: Algorithms and Complexity", Chapter in *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis (J. Leung ed.)*, Publisher: Chapman & Hall/CRC Press, April 2004.
- [18] C. Liu, and J. Layland, "Scheduling Algorithms for Multi-Programming in a Hard Real-Time Environment", *Journal of the Association of Computer Machinery (ACM)*, ISSN: 0004-5411, Vol. 20, No. 1, pp. 46-61, Publisher: ACM Press, January 1973.
- [19] J. Leung, J. Whitehead, "On the Complexity of Fixed-Priority Scheduling of Periodic Real-Time Tasks", *Performance Evaluation*, ISSN: 0166-5316, Vol. 2, pp. 237-250, Publisher: Elsevier, 1982.
- [20] G. Buttazzo, "Rate Monotonic vs. EDF: Judgment Day", *Real-Time Systems*, ISSN: 0922-6443, Vol. 29, pp. 5-26, Publisher: Kluwer Academic Publishers, January 2005.
- [21] C. Lu, J. Stankovic, G. Tao, and S. Son, "Feedback Control Real-Time Scheduling: Framework, Modelling, Algorithms", *Journal of Real-Time Systems, Special Issue on Control Theoretical Approaches to Real-Time Computing*, ISSN: 0922-6443, Vol. 23, No. 1/2, pp. 85-126, Publisher: Kluwer Academic Publishers, July-September 2002.
- [22] C. Lu, J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, G. Tao, S. H. Son and M. Marley, "Performance Specifications and Metrics for Adaptive Real-Time Systems", *Proceedings of the 21<sup>st</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'00)*, 27-30 December 2000, Orlando, Florida, USA, ISBN: 0-7695-0900-2, pp. 13-23, Publisher: IEEE Computer Society.
- [23] L. Sha, R. Rajkumar, J. Lehoczky, "Concurrency Control for Distributed Real-Time Databases", *ACM SIGMOD Record*, ISSN: 0163-5808, Vol. 17, No. 1, Publisher: ACM Press, March 1988.
- [24] Qi Han, N. Venkatasubramanian, "Addressing Timeliness/Accuracy/Cost Tradeoffs in Information Collection for Dynamic Environments", *Proceedings of the 24<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'03)*, 3-5 December 2003, Cancun, Mexico, ISBN: 0-7695-2044-8, pp. 108-117, Publisher: IEEE Computer Society.

- [25] A. Burns, D. Prasad, A. Bondavalli, F. Di Giandomenico, K. Ramamritham, J. Stankovic, and L. Stringini, “The Meaning and Role of Value in Scheduling Flexible Real-Time Systems”, *Journal of System Architecture (JSA), Special Issue on Real-Time Systems*, ISSN: 1383-7621, Vol. 46, pp. 305-325, Publisher: Elsevier, January 2000.
- [26] R. Abbott, and H. Garcia-Molina, “Scheduling Real-Time Transactions: A Performance Evaluation”, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, ISSN:0362-5915, Vol. 17, No. 3, pp. 513-560, Publisher: ACM Press, September 1992.
- [27] H. Pang, M. Carey, and M. Linvy, “Multiclass Query Scheduling in Real-Time Database Systems”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 7, No. 4, pp. 533-551, Publisher: IEEE Computer Society, August 1995.
- [28] B. Adelberg, H. Garcia-Molina, and B. Kao, “Applying Update Streams in a Soft Real-Time Database System”, *Proceedings of the 1995 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, ISBN:0-89791-731-6, pp. 245-256, Publisher: ACM Press, May 1995.
- [29] B. Adelberg, B. Kao, and H. Garcia-Molina, “Database Support for Efficiently Maintaining Derived Data”, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology (ETDB’96)*, 25-29 March 1996, Avignon, France, Lecture Notes In Computer Science (LNCS), ISBN:3-540-61057-X, Vol. 1057, pp. 223-240, Publisher: Springer.
- [30] B. Adelberg, H. Garcia-Molina, and J. Widom, “The STRIP Rule System for Efficiently Maintaining Derived Data”, *Proceedings of the 1997 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, May 13-15, 1997, Tucson, Arizona, USA, ISSN: 0163-5808, pp. 147-158, Publisher: ACM Press.
- [31] Q. Ahmed, and S. Vrbsky, “Triggered Updates for Temporal Consistency in Real-Time Databases”, *Real-Time Systems*, ISSN: 0922-6443, Vol. 19, No. 3, pp. 209-243, Publisher: Kluwer Academic Publishers, November 2000.
- [32] B. Kao, K. Lam, B. Adelberg, R. Cheng, and T. Lee, “Maintaining Temporal Consistency of Discrete Objects in Soft Real-Time Database Systems”, *IEEE Transactions Computers*, ISSN: 0018-9340 Vol. 52, No. 3, pp. 373-389, IEEE Computer Society, March 2003.
- [33] X. Song, and J.W.S. Liu, “Maintaining Temporal Consistency: Pessimistic Versus Optimistic Concurrency Control”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 7, No. 5, pp. 786-796, Publisher: IEEE Computer Society, October 1995.
- [34] T. Kuo, and A. Mok, “SSP: A Semantics-Based Protocol for Real-Time Data Access”, *Proceedings of the 14<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS’93)*, December 1993, Raleigh-Durham, NC, USA, ISBN: 0-8186-4480-X, pp. 76-86, Publisher: IEEE Computer Society.
- [35] T. Kuo, and A. Mok, “Real-Time Data Semantics and Similarity-Based Concurrency Control”, *IEEE Transactions on Computers*, ISSN: 1041-4347, Vol. 49, No. 11, pp. 1241-1254, Publisher: IEEE Computer Society, November 2000.
- [36] T. Kuo, and S. Ho, “Similarity-Based Load Adjustment for Static Real-Time Transaction Systems”, *IEEE Transactions on Computers*, ISSN: 1041-4347, Vol. 49, No. 2, pp. 112-126, Publisher: IEEE Computer Society, December 1997.
- [37] T. Gustafsson, and J. Hansson, “Dynamic on Demand updating of Data in Real-time DataBase Systems”, *Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing (SAC’04)*, 14-17 March 2004, Nicosia, Cyprus, pp. 846-853, Publisher: ACM Press.
- [38] T. Gustafsson, and J. Hansson, “Data Management in Real-Time Systems: A Case of On-Demand Updates in Vehicle Control Systems”, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS’04)*, 25-28 May 2004, Toronto, Canada, ISBN: 0-7695-2148-7, pp. 182-191, Publisher: IEEE Computer Society.

- [39] S. Kim, S. Son, and J. Stankovic, "Performance Evaluation on a Real-Time Database", *Proceedings of the 8<sup>th</sup> IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS'02)*, 24-27 September 2002, San Jose, California, USA, ISBN: 0-7695-1739-0, pp. 253-265, Publisher: IEEE Computer Society.
- [40] M. Xiong, K. Ramamritham, J. Stankovic, D. Towsley, and R. Sivasankaran, "Scheduling Transactions with Temporal Constraints: Exploiting Data Semantics", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 14, No. 5, pp. 1155-1166, Publisher: IEEE Computer Society, September 2002.
- [41] K. Kang, S. Son, J. Stankovic, and T. Abdelzaher, "A QoS-sensitive Approach for Timeliness and Freshness Guarantees in Real-Time Databases", *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRT'02)*, 19-21 June 2002, Washington, USA, ISBN:0-7695-1665-3 pp. 203-212, Publisher: IEEE Computer Society.
- [42] K. Kang, S. Son, and J. Stankovic, "Managing Deadline Miss Ratio and Sensor Data Freshness in Real-Time Databases", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 16, No. 10, pp. 1200-1216, Publisher: IEEE Computer Society, October 2004.
- [43] K. Kang, S. Son, and J. Stankovic, "Differentiated Real-Time Data Services for E-Commerce Applications", *Electronic Commerce Research, Special Issue on Business Process Integration and E-Commerce Infrastructure*, ISSN: 1567-4223, Vol. 3, No. 1-2, pp 113-142, Publisher: Elsevier, January-April 2003.
- [44] M. Amirijoo, J. Hansson, and S. Son, "Algorithms for Managing QoS for Real-time Data Services Using Imprecise Computation", *Revised Papers of the IEEE Conference on Real-Time and Embedded Computing Systems and Applications (RTCSA'03)*, 18-20 February 2003, Tainan, Taiwan, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), ISBN: 978-3-540-21974-3, Vol. 2968, pp. 136-157, Publisher: Springer.
- [45] M. Amirijoo, J. Hansson, S. H. Son, and S. Gunnarsson, "Robust Quality Management for Differentiated Imprecise Data Services", *Proceedings of the 25<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'04)*, 5-8 December 2004, Lisbon, Portugal, ISBN: 0-7695-2247-5, pp. 265-275, Publisher: IEEE Computer Society.
- [46] M. Amirijoo, J. Hansson, and S. Son, "Specification and Management of QoS in Real-Time Databases Supporting Imprecise Computations", *IEEE Transactions on Computers*, ISSN: 0018-9340, Vol. 55, No. 3, pp. 304-319, Publisher: IEEE Computer Society, March 2006.
- [47] J. Liu, K. Lin, W. Shih, A. Yu, J. Chung, W. Zhao, "Algorithms for Scheduling Imprecise Computations", *IEEE Computer*, ISSN: 0018-9162, Vol. 24, No. 5, pp. 58-68, Publisher: IEEE Computer Society, May 1991.
- [48] Q. Han, and N. Venkatasubramanian, "Information Collection Services for QoS-aware Mobile Applications", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, ISSN: 1536-1233, Vol. 5, No. 5, pp. 518-535, Publisher: IEEE Computer Society, May 2006.
- [49] M. Spuri, and G. Buttazzo, "Scheduling Aperiodic Tasks in Dynamic Priority Systems", *Real-Time Systems*, ISSN: 0922-6443, Vol. 10, No. 2, pp. 179-210, Kluwer Academic Publishers, March 1996.
- [50] S. Cook, J. Pacht, and I. Pressman, "The Optimal Location of Replicas in a Network Using a Read-One-Write-All Policy", *Distributed Computing*, ISSN: 0178-2770, Vol. 15, No. 1, pp. 57-66, Publisher: Springer, January 2002.
- [51] Y. Wei, S. Son, J. Stankovic, and K. Kang, "Qos Management in Replicated Real-Time Databases", *Proceedings of the 24<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'03)*, 3-5 December 2003, Cancun, Mexico, ISBN: 0-7695-2044-8, pp. 86-93, Publisher: IEEE Computer Society.

- [52] P. Peddi, and L. DiPippo, “A Replication Strategy for Distributed Real-Time Object-Oriented Databases”, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Object-oriented Real-time Distributed Computing (ISORC’02)*, 29 April - 1 May 2002, Crystal City, VA, USA, ISBN: 0-7695-1558-4, pp. 129-136, Publisher: IEEE Computer Society.
- [53] M. Xiong, K. Ramamritham, J. Haritsa, and J. Stankovic, “Mirror: A Stateconscious Concurrency Control Protocol for Replicated Real-Time Databases Information Systems”, *Information Systems Journal*, ISSN: 0306-4379, Vol. 27, No. 4, pp. 277-297, Publisher: Blackwell Publishing, April 2002.
- [54] J. Haritsa, K. Ramamritham, and R. Gupta, “The PROMPT Real-Time Commit Protocol”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, ISSN: 1045-9219, Vol. 11, No. 2, pp. 160-181, Publisher: IEEE Computer Society, February 2000.
- [55] Y. Wei, S. Son, and J. Stankovic, “Maintaining Data Freshness in Distributed Real-Time Databases”, *Proceedings of the 16<sup>th</sup> Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS’04)*, 30 June - 2 July 2004, Catania, Sicily, Italy, ISBN: 1068-3070, pp. 251-260, Publisher: IEEE Computer Society.
- [56] Y. Wei, A. Aslinger, S. Son, and J. Stankovic, “ORDER: A Dynamic Replication Algorithm for Periodic Transactions in Distributed Real-time Databases”, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE Conference on Real-time Embedded Computing Systems and Applications (RTCSA’04)*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pp. 152-169, Publisher: Springer, 25-27 August 2004, Gothenburg, Sweden.
- [57] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks: A Survey”, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, ISSN: 0140-3664, Vol. 38, No. 4, pp. 393-422, Publisher: Elsevier, March 2002.
- [58] P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadri, “Querying the Physical World”, *IEEE Personal Communications, Special Issue on Smart Spaces and Environments*, ISSN: 1070-9916, Vol. 7, No. 5, pp.10-15, Publisher: IEEE Communications Society, October 2000.
- [59] S. Kim, S. H. Son, J. Stankovic, and Y. Choi, “Data Dissemination over Wireless Sensor Networks”, *IEEE Communications Letters*, ISSN: 1089-7798, Vol. 8, No. 9, pp 561-563, IEEE Communications Society Press, Publisher: IEEE Communications Society, September 2004.
- [60] M. Kubisch, H. Karl, A. Wolisz, L.C. Zhong, and J. Rabaey, “Distributed Algorithms for Transmission Power Control in Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking (WCNC’03)*, 16-20 March 2003, New Orleans, Louisiana, USA, ISBN: 0-7803-7700-1, pp. 558-563, Publisher: IEEE Communications Society.
- [61] Q. Huang, S. Bhattacharya, C. Lu, and G. Roman, “FAR: Face-Aware Routing for Mobicast in Large-Scale Sensor Networks”, *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, ISSN: 1550-4859, Vol. 1, No. 2, pp. 240-271, Publisher: ACM Press, November 2005.
- [62] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, “Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks”, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom’00)*, 6-11 August 2000, Boston, Massachusetts, USA, ISSN: 1063-6692, pp. 56-67, Publisher: IEEE Communications Society, IEEE Computer Society and ACM Press.
- [63] M. Sharaf, J. Beaver, A. Labrinidis, and P. Chrysanthis, “Balancing Energy Efficiency and Quality of Aggregate Data in Sensor Networks”, *International Journal on Very Large Data Bases (VLDB)*, ISSN: 1066-8888, Vol. 13, pp. 384-403, Publisher: Springer, December 2004.
- [64] C. Lu, B. Blum, T. Abdelzaher, J. Stankovic, and T. He, “RAP: A Real-Time Communication Architecture for Large-scale Wireless Sensor Networks”, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium (RTAS’02)*, 24-27 September 2002, San Jose, California, USA, pp. 55-66, Publisher: IEEE Computer Society.

- [65] T. He, J. Stankovic, C. Lu, and T. Abdelzaher, “A Spatiotemporal Protocol for Wireless Sensor Network”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, ISSN: 1045-9219, Vol. 16, No. 10, pp. 995-1006, Publisher: IEEE Computer Society, October 2005.
- [66] K. Liu, N. Abu-Ghazaleh, and K. Kang, “JiTS: Just-in-Time Scheduling for Real-Time Sensor Data Dissemination”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom’06)*, 13-17 March 2006, Pisa, Italy, ISBN: 0-7695-2518-0, pp. 42-46, Publisher: IEEE Computer Society.
- [67] D. Barbara, “Mobile Computing and Databases: A Survey”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 11, No. 1, pp. 108-117, Publisher: IEEE Computer Society, January 1999.
- [68] E. Kayan, and O. Ulusoy, “An Evaluation of Real-Time Transaction Management Issues in Mobile Database Systems”, *Computer Journal*, ISSN: 0010-4620, Vol. 42, No. 6, pp. 501-510, Publisher: Oxford University Press, 1999.
- [69] IETF Working Group on MANETs, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [70] L. Gruenwald, S. Banik, C. Lau, and M. Montealegre, “Managing Real-Time Database Transactions in Mobile Ad-Hoc Networks”, submitted to the *International Journal of Distributed and Parallel Databases*, April 2005.
- [71] B. Lim, and R. Hurson, “Transaction Processing in Mobile Heterogeneous Database Systems”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, ISSN: 1041-4347, Vol. 14, No. 6, pp. 1330-1346, Publisher: IEEE Computer Society, November 2002.
- [72] X. Wu, and V. Lee, “Wireless Real-Time On-Demand Broadcast Scheduling With Dual Deadlines”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, ISSN: 0743-7315, Vol. 65, No. 6, pp. 714-728, Publisher: Academic Press, June 2005.
- [73] C. Olston, B. Loo, and J. Widom, “Adaptive Precision Setting for Cached Approximate Values”, *ACM SIGMOD Record*, ISSN: 0163-5808, Vol. 30, No. 2, pp. 355-366, Publisher: ACM Press, June 2001.
- [74] H. Gupta, and B. Tang, “Data Caching under Number Constraint”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC’06)*, 11-15 June 2006, Instabul, Turkey, ISBN: 1-4244-0355-3, Publisher: IEEE Communications Society.
- [75] J. Cho, and H. Garcia-Molina, “Effective Page Refresh Policies for Web Crawlers”, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, ISSN: 0362-5915, Vol. 28, No. 4, pp. 390-426, Publisher: ACM Press, December 2003.
- [76] A. Labrinidis, and N. Roussopoulos, “Update Propagation Strategies for Improving the Quality of Data on the Web”, *Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Very Large Data Bases (VLDB’01)*, 11-14 September 2001, Rome, Italy, ISBN: 1-55860-804-4, pp. 391-400, Publisher: Morgan Kaufmann Publishers.
- [77] M. Stonebraker, U. Çetintemel, and S. Zdonik, “The 8 Requirements of Real-Time Stream Processing”, *ACM SIGMOD Record*, ISSN: 0163-5808, Vol. 34, No. 4, pp. 42-47, Publisher: ACM Press, December 2005.
- [78] H. Balakrishnan, M. Balazinska, D. Carney, U. Cetintemel, M. Cherniack, C. Convey, E. Galvez, J. Salz, M. Stonebraker, N. Tatbul, R. Tibbetts, and S. Zdonik. “Retrospective on Aurora”, *International Journal on Very Large Data Bases - VLDB Journal, Special Issue on Data Stream Processing*, ISSN: 1066-8888, Vol. 13, No. 4, pp. 370-383, Publisher: Springer, December 2004.
- [79] C. Cranor, T. Johnson, O. Spatscheck, and V. Shkapenyuk, “Gigascop: A Stream Database for Network Applications”, *Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 9-12 June 2003, San Diego, California, USA, ISBN: 1-58113-634-X, pp. 645-651, Publisher: ACM Press.



- [80] A. Arasu, B. Babcock, S. Babu, J. McAlister, and J. Widom, “Characterizing Memory Requirements for Queries Over Continuous Data Streams”, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, ISSN: 0362-5915, Vol. 29, No. 1, pp. 162-194, Publisher: ACM Press, March 2004.
- [81] Y. Wei, S. Son, and J. Stankovic, “RTSTREAM: Real-Time Query Processing for Data Streams”, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC’06)*, 24-26 April 2006, Gyeongju, Korea ISBN: 0-7695-2561-X, pp. 141-150, Publisher: IEEE Computer Society.
- [82] B. Babcock, S. Babu, M. Datar, R. Motwani, and D. Thomas, “Operator Scheduling in Data Stream Systems”, *The International Journal on Very Large Data Bases (VLDB), Special Issue on Data Stream Processing*, ISSN: 1066-8888, Vol. 13, No. 4, pp. 333-353, Publisher: Springer, December 2004.
- [83] B. Babcock, and C. Olston, “Distributed Top-k Monitoring”, *Proceedings of the 2003 ACM Conference on Management of Data*, 9-12 June 2003, San Diego, California, USA, ISBN 1-58113-634-X, pp. 28-39, Publisher: ACM Press.
- [84] D. Carney, U. Centintemel, A. Rasin, S. Zdonik, M. Cherniack, and M. Stonebraker, “Operator Scheduling in a Data Stream Manager”, *Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Conference on Very Large Data Bases (VLDB’03)*, 9-12 September 2003, Berlin, Germany, ISBN: 0-12-722442-4, pp. 838-849, Publisher: Morgan Kaufmann Publishers.
- [85] M. Chantzara, N. Vardalachos, and M. Anagnostou, “Addressing Scheduling Issues in Context Information Management”, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU’06)*, 11-13 October 2006, London, UK, ISBN: 4-902523-09-4, pp. 68-75, Publisher: Information Processing Society of Japan (IPSJ).
- [86] M. Chantzara, N. Vardalachos, and M. Anagnostou, “An Approach for Real-time Context Information Distribution”, submitted to the *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2007.
- [87] M. Ebling, G. Hunt, and H. Lei, “Issues for Context Services for Pervasive Computing”, *Proceedings of the ACM/IFIP Middleware’01 Workshop on Middleware for Mobile Computing*, November 200, Heidelberg, Germany.
- [88] J. Haritsa, M. Carey, and M. Livny, “Value-Based Scheduling in Real-Time Database Systems”, *International Journal on Very Large Data Bases - VLDB Journal*, ISSN: 1066-8888, Vol. 2, No. 2, pp. 117-152, Publisher: Springer, April 1993.
- [89] Sun Developer Network, Java Technology, <http://java.sun.com/>.
- [90] B. Waxman, “Routing of multipoint connections”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, ISSN: 0733-8716, Vol. 6, No. 9, pp. 1617-1622, Publisher: IEEE Communications Society, December 1988.
- [91] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein, “*Introduction to Algorithms*”, Second Edition, ISBN: 0-262-03293-7, Section 24.3: Dijkstra’s algorithm, pp. 595-601, Publisher: MIT Press and McGraw-Hill, September 2001.
- [92] E. Zegura, K. Calvert, S. Bhattacharjee, “How to Model an Internetwork”, *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies, Networking the Next Generation (INFOCOM’96)*, 24-28 March 1996, San Francisco, California, USA, ISBN: 0-8186-7293-5, Vol. 2, pp. 594-602, Publisher: IEEE Computer and Communications Societies.



---

ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

---



## 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την κατακλείδα της διατριβής. Στην ενότητα 5.1 παρουσιάζεται η σύντομη ανακεφαλαίωση όσων παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και τα σημεία που περιγράφουν τη συνεισφορά της παρούσας διατριβής. Στην ενότητα 5.2 συνοψίζονται κάποιες ιδέες για περαιτέρω έρευνα των θεμάτων με τα οποία ασχολήθηκε η διατριβή.

### 5.1. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των υπολογιστικών και επικοινωνιακών συστημάτων στρέφονται γύρω από την υλοποίηση της διάχυτης και πανταχού παρούσας υπολογιστικής. Μια από τις πρωταρχικές και ταυτόχρονα δημοφιλέστερες προκλήσεις του τομέα αυτού είναι η ανάπτυξη υπηρεσιών που έχουν επίγνωση του περιβάλλοντος. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τις αποφάσεις και τη λειτουργία τους στο φυσικό, κοινωνικό και υπολογιστικό περιβάλλον. Για να το επιτύχουν αυτό χρειάζεται, εκτός από τα δεδομένα που εισάγουν οι χρήστες, να ανακτούν τις πληροφορίες που περιγράφουν το περιβάλλον. Όμως, η ετερογένεια και η κατανομή των πηγών πληροφορίας επιβάλλουν την ανάγκη διαχωρισμού της λογικής των υπηρεσιών από τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Στοχεύοντας στην ικανοποίηση της απαίτησης αυτής, έχουν αναπτυχθεί υποδομές που επιτυγχάνουν την ενοποιημένη και ευέλικτη διακίνηση των δεδομένων από τις πηγές στις υπηρεσίες. Ωστόσο, στα πλαίσια των υποδομών αυτών προκύπτουν πολύπλοκα προβλήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση των μηχανισμών διαχείρισης των πληροφοριών του περιβάλλοντος, δηλαδή την ανακάλυψη, συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων. Η παρούσα διατριβή ξεκίνησε με την μελέτη των ζητημάτων αυτών και στη συνέχεια επικεντρώθηκε σε δύο προβλήματα με τα οποία ασχολήθηκε εκτενώς. Ειδικότερα, στην παρούσα διατριβή παρουσιάστηκαν τα παρακάτω:

- Αναλύθηκε η έννοια της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος, εντοπίστηκαν οι απαιτήσεις και παρουσιάστηκαν κάποια υλοποιημένα συστήματα και υπηρεσίες. Επίσης, αναλύθηκαν οι απαιτήσεις των συστημάτων που είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος και παρουσιάστηκαν τυπικά παραδείγματα συστημάτων που έχουν υλοποιηθεί. Εκτενέστερα περιγράφηκε η προσέγγιση του προγράμματος CONTEXT βάσει της οποίας μελετήθηκαν τα ειδικότερα προβλήματα της διατριβής.

- Μελετήθηκε το πρόβλημα επιλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος. Ειδικότερα, μετά την ανάλυση του κινήτρου μελέτης του προβλήματος και την επισκόπηση της σχετικής εργασίας, περιγράφηκε ο προτεινόμενος μηχανισμός με τον οποίο επιλέγεται η πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί από τις υπηρεσίες και μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα επιλογής που προκύπτει στα πλαίσια λειτουργίας του μηχανισμού αυτού. Από τη διατύπωση του προβλήματος διαπιστώθηκε ότι αυτό ανάγεται σε γνωστό NP-hard πρόβλημα και για την επίλυση του προτάθηκε ένας νέος αλγόριθμος, η απόδοση του οποίου εκτιμήθηκε μέσω προσομοιώσεων.
- Μελετήθηκε το πρόβλημα διακίνησης της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά αναλύθηκε το κίνητρο μελέτης του προβλήματος και πραγματοποιήθηκε επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Στη συνέχεια διατυπώθηκε και μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα. Τέλος, προτάθηκε ένας νέος τρόπος επίλυσης, του οποίου η απόδοση αξιολογήθηκε μέσω προσομοιώσεων.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο, που αποτελεί την εισαγωγή της διατριβής, αναλύθηκαν οι τελευταίες εξελίξεις στα τηλεπικοινωνιακά και υπολογιστικά συστήματα, που οδηγούν στην υλοποίηση της διάχυτης υπολογιστικής, και περιγράφηκε η μετάβαση στην παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Κατόπιν έγινε η εισαγωγή του αντικειμένου της διατριβής και παρουσιάστηκε η διάρθρωση των κεφαλαίων που ακολουθούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύθηκαν η έννοια της υπολογιστικής με επίγνωση του περιβάλλοντος και οι προκλήσεις κατά την υλοποίηση της, και περιγράφηκαν η έννοια της πληροφορίας περιβάλλοντος και η ταξινόμηση της με βάση τα χαρακτηριστικά των δεδομένων. Επίσης, παρουσιάστηκε μια σύντομη επισκόπηση των συστημάτων που έχουν υλοποιηθεί, καθώς η έκρηξη του ερευνητικού ενδιαφέροντος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολυάριθμων υπηρεσιών και αντικειμένων που αντιλαμβάνονται το περιβάλλον εκτέλεσής τους. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, παρουσιάστηκαν τα ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ένα σύστημα διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος και αναλύθηκαν οι προσεγγίσεις που ακολουθούνται ως προς το αρχιτεκτονικό μοντέλο, το μοντέλο περιγραφής των δεδομένων, τον τρόπο επικοινωνίας με τις υπηρεσίες και τις πηγές, το μοντέλο ανακάλυψης των πηγών και τον τρόπο αντιμετώπισης των ζητημάτων ιδιωτικότητας των χρηστών και προστασίας των προσωπικών δεδομένων. Επιπλέον, αναλύθηκαν κάποια τυπικά παραδείγματα συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση της πληροφορίας περιβάλλοντος. Τέλος, περιγράφηκε η προσέγγιση που προτείνει το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα CONTEXT για τη δημιουργία και παροχή υπηρεσιών με επίγνωση του

περιβάλλοντος, εστιάζοντας στο σύστημα που έχει αναπτυχθεί για την παροχή πληροφορίας περιβάλλοντος. Βάσει του συστήματος αυτού μελετήθηκαν στα κεφάλαια τρία και τέσσερα τα ειδικότερα προβλήματα της διατριβής.

Το τρίτο κεφάλαιο της διατριβής ασχολήθηκε με το πρόβλημα επιλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος που χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες. Αρχικά, παρουσιάστηκε η βιβλιογραφία σχετικά με την ποιότητα πληροφορίας στα πλαίσια των πληροφοριακών συστημάτων και στα πλαίσια της παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επισκόπηση των συστημάτων ανακάλυψης υπηρεσιών και των συστημάτων ανακάλυψης πληροφορίας περιβάλλοντος, δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στη διαδικασία επιλογής των υπηρεσιών και των πηγών πληροφορίας αντίστοιχα. Από τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας προέκυψε ότι τα ήδη υλοποιημένα συστήματα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος χρησιμοποιούν το ακόλουθο μοντέλο για να ανακαλύψουν τις πηγές πληροφορίας: οι πηγές εγγράφονται δηλώνοντας την ταυτότητα ή τα χαρακτηριστικά τους και στη συνέχεια, όταν οι υπηρεσίες υποβάλλουν αιτήματα ανάκτησης δεδομένων, αναζητούνται στον κεντρικό ή τους κατανεμημένους καταλόγους οι πληροφορίες που ικανοποιούν τα αιτήματα. Η καταλληλότητα των πληροφοριών προκύπτει από το ταίριασμα των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων πηγών με τα ζητούμενα χαρακτηριστικά. Παρόμοιο μοντέλο χρησιμοποιείται από τα συστήματα ανακάλυψης υπηρεσιών. Όμως, η αστάθεια των πηγών πληροφορίας και η ανεπάρκεια της παρεχόμενης πληροφορίας περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την κινητικότητα των χρηστών επιβάλλει το ταίριασμα των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των χρηστών.

Η παρούσα διατριβή υποστηρίζει ότι είναι απαραίτητο να εμπλουτιστούν τα συστήματα ανακάλυψης και διανομής πληροφορίας με μηχανισμούς που θα επιλέγουν αυτοματοποιημένα και γρήγορα την πληροφορία η οποία ικανοποιεί κατά το μέγιστο τις απαιτήσεις των χρηστών. Στα πλαίσια αυτά εισήγαγε ένα νέο μηχανισμό επιλογής των πληροφοριών, ο οποίος αξιολογεί την ωφέλεια από την χρήση της διαθέσιμης πληροφορίας ως προς την εγκυρότητα και τη φρεσκάδα της, ορίζοντας μια συνάρτηση χρησιμότητας. Επιπλέον, παρακολουθεί και ελέγχει τη συμπεριφορά των πηγών πληροφορίας καθ' όλη τη διάρκεια παροχής πληροφορίας και εκτιμά την αξιοπιστία τους. Επιτρέπει την αυτόνομη προσαρμογή στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα διαχείρισης της πληροφορίας περιβάλλοντος τα οποία ανανεώνουν τις εγγραφές των πηγών κατά την επικοινωνία μαζί τους.

Το πρόβλημα επιλογής της πληροφορίας μοντελοποιήθηκε ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο ζητείται η μεγιστοποίηση της συνολικής χρησιμότητας της

χρησιμοποιούμενης πληροφορίας και η ικανοποίηση των περιορισμών κόστους και χρόνου απόκρισης. Από την μαθηματική περιγραφή του προβλήματος προκύπτει η ανάγωγή του στην παραλλαγή του γνωστού NP-hard Προβλήματος Σακιδίου, που ονομάζεται Multi-Choice Multi-Constraint Knapsack Problem, όταν οι πληροφορίες που ζητά μια υπηρεσία συλλέγονται σειριακά ή παράλληλα. Για την επίλυση του προτάθηκε ο νέος ευριστικός αλγόριθμος MVRC. Αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να τη σύγκριση της απόδοσης του MVRC με τον αλγόριθμο HEU και τον εξαντλητικό ως προς την ποιότητα λύσης που επιτυγχάνουν και τον απαιτούμενο χρόνο υπολογισμού, όταν εφαρμόζονται σε προβλήματα διαφορετικών μεγεθών. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν ότι ο MVRC καταλήγει σε πολύ καλές λύσεις σε λιγότερο χρόνο, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν απαιτείται η γρήγορη λήψη αποφάσεων, όπως στην περίπτωση που μελετάται. Καθώς το μέγεθος των προβλημάτων αυξάνεται, ο ρυθμός αύξησης του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου τείνει να παραμένει σταθερός. Στα πλαίσια αξιολόγησης του προτεινόμενου μηχανισμού ορίστηκαν δύο σενάρια υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος με βάση τα οποία περιγράφηκε η λειτουργία του προτεινόμενου μηχανισμού. Τέλος, συγκρίθηκε ο προτεινόμενος μηχανισμός με κάποιους εναλλακτικούς τρόπους επιλογής της πληροφορίας περιβάλλοντος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της διατριβής, μελετήθηκε μια ακόμη πρόκληση των συστημάτων παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος, η οποία αναφέρεται στη διακίνηση της πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο. Είναι γεγονός ότι η μη έγκυρη απόκριση στα αιτήματα για πληροφορία αλλά και η χρήση ληγμένων δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις ή δράσεις εκ μέρους των υπηρεσιών. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθούν κατάλληλοι μέθοδοι που βελτιστοποιούν την εξυπηρέτηση των αιτημάτων εντός των χρονικών προθεσμιών αλλά και την φρεσκάδα των δεδομένων που διακινούνται. Η επίλυση του προβλήματος κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την αποδοτική λειτουργία ενός μεγάλης κλίμακας συστήματος διανομής πληροφορίας, που περιλαμβάνει πολλές πηγές πληροφοριών οι οποίες παρέχουν δεδομένα, και υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος που υποβάλουν αιτήματα για ανάκτηση δεδομένων.

Στα πλαίσια μελέτης του προβλήματος, αρχικά παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές της υπολογιστικής σε πραγματικό χρόνο, τα προβλήματα καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης των εργασιών και οι αλγόριθμοι επίλυσης τους. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τη διακίνηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ειδικότερα, η παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχει μελετηθεί στα πλαίσια των βάσεων δεδομένων πραγματικού χρόνου όπου ζητείται η εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων εντός των χρονικών



προθεσμιών αλλά και στα πλαίσια νεότερων τομέων έρευνας όπως είναι τα δίκτυα αισθητήρων και οι ροές δεδομένων.

Μετά την επισκόπηση των σχετικών προσεγγίσεων που έχουν ακολουθηθεί στα πλαίσια των παραπάνω τομέων, περιγράφηκε και μοντελοποιήθηκε το πρόβλημα παροχής πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, ορίστηκαν δύο ειδών πηγές πληροφορίας: οι ενεργές πηγές (παρέχουν δεδομένα με αυθόρμητο τρόπο), και οι παθητικές πηγές (επιστρέφουν δεδομένα μόνο κατόπιν ζήτησης), οι οποίες υποβάλλουν ανανεώσεις των δεδομένων τους είτε περιοδικά είτε μη-περιοδικά. Επιπλέον, τα αιτήματα για πληροφορία διακρίνονται σε αιτήματα για απλά δεδομένα και εγγραφές για ενημερώσεις. Θεωρώντας ότι τα αιτήματα για ανάκτηση και προσφορά δεδομένων έχουν αυστηρές προθεσμίες και εξυπηρετούνται με μη-προ-εκτοπιστικό τρόπο, διατυπώθηκε το πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο διασπάται στα εξής επιμέρους προβλήματα: (1) τον καθορισμό της σειράς εξυπηρέτησης των αιτημάτων που υποβάλλονται σε κάθε μεσίτη και (2) τον καθορισμό της σειράς μετάδοσης των αιτημάτων στους ενδιαμέσους κόμβους κατά τη διακίνηση τους από τον ένα μεσίτη στον άλλον. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η μεγιστοποίηση του αριθμού των ανανεώσεων πληροφορίας που παραδίδονται επιτυχώς, δηλαδή εντός των χρονικών περιορισμών και με χρονικά έγκυρα δεδομένα.

Για την επίλυση του προβλήματος προτείνεται ο νέος αλγόριθμος καθορισμού σειράς εξυπηρέτησης IPU, ο οποίος σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος. Ο IPU καθορίζει με δυναμικό τρόπο τις προτεραιότητες των αιτημάτων ανανέωσης πληροφορίας λαμβάνοντας υπόψη τις προθεσμίες, τα ζητήματα συγχρονισμού αλλά και πόση αξία έχει το αίτημα για το σύστημα. Αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να τη σύγκριση της απόδοσης του IPU με τους γνωστούς αλγορίθμους FIFO, EDF και RM. Προκειμένου να μελετηθούν ξεχωριστά τα δύο επιμέρους προβλήματα πραγματοποιήθηκαν ξεχωριστά δοκιμές όταν το σύστημα αποτελείται από έναν κεντρικό μεσίτη και όταν το σύστημα αποτελείται από πολλούς καταναλωτές. Σε καθεμιά από τις δοκιμές μεταβλήθηκε μία παράμετρος του συστήματος και αξιολογήθηκε η απόδοση των αλγορίθμων ως προς την ικανότητα του συστήματος να αποκρίνεται στα αιτήματα των καταναλωτών πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο. Τα βασικά μεγέθη εκτίμησης απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ποσοστό των ενημερώσεων που διανέμονται επιτυχώς, η φρεσκάδα των ενημερώσεων, το ποσοστό των απλών αιτημάτων που απαντώνται με επίκαιρα δεδομένα αλλά και το κέρδος του συστήματος. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων διαπιστώθηκε ότι ο IPU αποδίδει καλύτερα καθώς αυξάνεται ο αριθμός

των καταναλωτών που υποβάλλουν αιτήματα ή ο αριθμός των παραγόμενων ανανεώσεων. Ειδικότερα, με τον IPU μεγιστοποιείται το ποσοστό ενημερώσεων που παραδίδονται και η φρεσκάδα τους, αλλά και μεγιστοποιείται το κέρδος του συστήματος. Τέλος, ο IPU επιτυγχάνει να διασκορπίσει δίκαια τυχόν αποτυχίες έγκαιρης εξυπηρέτησης ανάμεσα στις διάφορες πηγές.

## 5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Τα τελευταία χρόνια έχει συντελεστεί αλματώδης πρόοδος στα συστήματα δημιουργίας και παροχής υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος αλλά και τις υποδομές που επιτυγχάνουν την ενοποιημένη και ευέλικτη διακίνηση των δεδομένων από τις πηγές στις υπηρεσίες. Ωστόσο υπάρχουν πολλά ζητήματα που χρίζουν περαιτέρω μελέτης, ειδικότερα υπό την προοπτική να περάσει η παροχή των υπηρεσιών με επίγνωση του περιβάλλοντος από το εργαστηριακό στο εμπορικό περιβάλλον. Υπό το πρίσμα αυτό, είναι απαραίτητο να διεξαχθούν ευρείας κλίμακας δοκιμές σε πραγματικά περιβάλλοντα, ώστε να διερευνηθεί η εφαρμογή των προτεινόμενων λύσεων αλλά και να ενσωματωθεί πρόσθετη λειτουργικότητα στις υποδομές διαχείρισης πληροφορίας περιβάλλοντος κάνοντας χρήση νέων τεχνολογιών. Πέραν τούτου, υπάρχουν συγκεκριμένες ιδέες που θα μπορούσαν να αποτελέσουν χρήσιμες επεκτάσεις των υποδομών σχετικά με τα ζητήματα με τα οποία ασχολήθηκε η παρούσα διατριβή.

Σχετικά με το πρόβλημα επιλογής των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες με επίγνωση του περιβάλλοντος, τα πιθανά σημεία για περαιτέρω έρευνα αφορούν στα εξής:

- ♦ Ανάπτυξη ενός ευφύστερου τρόπου υπολογισμού της αξιοπιστίας των πηγών, που θα βασίζεται σε μοντέλα μάθησης και θα επιτρέπει τους διασταυρούμενους ελέγχους των δεδομένων που παρέχονται από τις εναλλακτικές πηγές πληροφορίας.
- ♦ Μελέτη και επίλυση του προβλήματος καθορισμού των προτιμήσεων του χρήστη και της υπηρεσίας και τις απαιτήσεις τους σε ποιότητα πληροφορίας με μετρήσιμα μεγέθη.
- ♦ Εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων υπολογισμού της χρησιμότητας της πληροφορίας.
- ♦ Επέκταση και γενίκευση του μοντέλου επιλογής πληροφορίας περιβάλλοντος ώστε να καλύπτονται οι περιπτώσεις υπηρεσιών στις οποίες η πληροφορία που ζητείται δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή, αλλά προκύπτει κατά την εκτέλεση της υπηρεσίας.

- ♦ Αξιοποίηση του προτεινόμενου μηχανισμού επιλογής στα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών και στην τεχνολογία των οντολογιών.

Σχετικά με το πρόβλημα διακίνησης πληροφορίας περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο, τα πιθανά σημεία για περαιτέρω έρευνα αφορούν στα εξής:

- ♦ Αξιοποίηση τεχνικών προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων ή δημιουργίας αντιγράφων στους ενδιαμέσους κόμβους.
- ♦ Εφαρμογή και επέκταση της προτεινόμενης προσέγγισης σε διαφορετικά μοντέλα καταναμημένων αρχιτεκτονικών συλλογής πληροφορίας, όπως τα ιεραρχικά δίκτυα, τα δίκτυα όπου οι συνδέσεις των κόμβων είναι αυτό-οργανούμενες, όπως τα δίκτυα αισθητήρων.
- ♦ Εφαρμογή και επέκταση της προτεινόμενης προσέγγισης για τις περιπτώσεις δεδομένων που προκύπτουν από τη σύνθεση άλλων δεδομένων.



## Κατάλογος Συντμήσεων

<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>ACAI</b>	Agent-based Context-Aware Infrastructure
<b>API</b>	Application Programming Interfaces
<b>APV</b>	Acceptable Properties Vector
<b>AR</b>	Aperiodic_Rate
<b>ARC</b>	Aggregate Resources Consumption
<b>ARR</b>	Aggregate Resources Requirement
<b>ASC</b>	Aspect-Scale-ContextInformation
<b>AWML</b>	Augmented World Modeling Language
<b>AWQL</b>	Augmented World Query Language
<b>CB</b>	Context Broker
<b>CC/PP</b>	Composite Capabilities/Preference Profile
<b>CCO</b>	Context Computational Object
<b>CLA</b>	Context Level Agreement
<b>CME</b>	Context Matching Engine
<b>CMF</b>	Context Management Framework
<b>CoBrA</b>	Context Broker Architecture
<b>CoOL</b>	Context Ontology Language
<b>CORBA</b>	Common Object Request Broker Architecture
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>CSCP</b>	Comprehensive Structured Context Profiles
<b>CSQPV</b>	Context Source Quality Properties Vector
<b>DAML</b>	DAPRA Agent Markup Language
<b>DM</b>	Deadline Monotonic
<b>DMNR</b>	Deadline Miss Notifications Ratio
<b>DNR</b>	Delivered Notifications Ratio
<b>DNS</b>	Domain Name Server
<b>DR</b>	Delay Ratio
<b>EDF</b>	Earliest Deadline First
<b>ER</b>	Execution_Rate

<b>FIFO</b>	First In First Out
<b>FNR</b>	Fresh Notifications Ratio
<b>FRR</b>	Fresh Responses Ratio
<b>FWP</b>	Forced Wait Policy
<b>HDF</b>	Highest Density First
<b>IDL</b>	Interface Definition Language
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force
<b>INS</b>	Intentional Naming Server
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IPU</b>	Importance/Popularity/Urgency-Aware Scheduling Algorithm
<b>IQPV</b>	Information Quality Properties Vector
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>JCAF</b>	Java Context Awareness Framework
<b>KP</b>	Knapsack Problem
<b>LSF</b>	Least Slack First
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>MANET</b>	Mobile Ad Hoc Networks
<b>MC</b>	Match Cost
<b>MCKP</b>	Multi-Choice Knapsack Problem
<b>mde</b>	maximum data error
<b>MDKP</b>	Multi-Dimension ή Multi-Constraint Knapsack
<b>MDP</b>	Match Data Properties
<b>MDP_C</b>	Match Data Properties & Constraints
<b>ME_NW</b>	Context Matching Engine & No Weights
<b>MEU</b>	Maximum Total Utility
<b>MIB</b>	Management Information Base
<b>MLB</b>	Match Latency Bound
<b>MLF</b>	MultiLevel Feedback
<b>MMKP</b>	Multi-Choice Multi-Constraint Knapsack Problem
<b>MRT</b>	Mean Refresh Time
<b>MUR</b>	Multi-versioning Utilization Ratio
<b>MVRC</b>	Maximizing Value per Resources Consumption
<b>NCS</b>	Network Context Service

<b>NP</b>	Non Polynomial
<b>OIL</b>	The Ontology Inference Layer
<b>ORM</b>	Object-Role Modeling
<b>OWL</b>	Web Ontology Language
<b>P2P</b>	Peer to Peer
<b>P3P</b>	Platform for Privacy Preferences
<b>Pace</b>	Pervasive Autonomic Context-aware Environments
<b>PCIM</b>	Policy Core Information Model
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant
<b>PWV</b>	Properties Weight Vector
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RDF</b>	Resource Description Framework
<b>RM</b>	Rate Monotonic
<b>RR</b>	Round Robin
<b>SCI</b>	Strathclyde Context Infrastructure
<b>SETF</b>	Shortest Elapsed Time First
<b>SJF</b>	Shortest Job First
<b>SLA</b>	Service Level Agreement
<b>SLO</b>	Service Logic Object
<b>SLP</b>	Service Location Protocol
<b>SNR</b>	Successful Notifications Ratio
<b>SOAP</b>	Simple Object Access Protocol
<b>SOCAM</b>	Service-Oriented Context-aware middleware
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>SRPT</b>	Shortest Remaining Processing Time
<b>SSDP</b>	Simple Service Discovery Protocol
<b>SSP</b>	Similarity Stack Protocol
<b>STRIP</b>	Stanford real-time information processor
<b>TABS</b>	Timeliness-Accuracy Balanced Scheduling
<b>TABS</b>	Timeliness-Accuracy Balanced Scheduling
<b>TBS</b>	Total Bandwidth Server
<b>TEA</b>	Technology for Enabling Awareness
<b>UDDI</b>	Universal Description, Discovery, and Integration

<b>UML</b>	Unified Modeling Language
<b>UPnP</b>	Universal Plug and Play
<b>URL</b>	Uniform Resource Locators
<b>V-ARC</b>	Value per unit of Aggregate Resources Consumption
<b>VHE</b>	Virtual Home Environment
<b>VMS</b>	Velocity Monotonic Scheduling
<b>VU-ARR</b>	Value Update per unit of Aggregate Resources Requirement
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>WSDL</b>	Web Services Description Language
<b>XML</b>	eXtensible Markup Language