

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Σχολή Θετικών και Τεχνολογικών Επιστημών
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Έξυπνα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής Bluetooth

Γιώργος Ζαχαριουδάκης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Νοέμβριος 2003

Έξυπνα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής Bluetooth

Εργασία που υποβλήθηκε από το
Γιώργο Ζαχαριουδάκη
ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

Γιώργος Ζαχαριουδάκης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισηγητική Επιτροπή:

Βασίλης Χριστοφίδης,
Επίκουρος Καθηγητής, Επόπτης

Σπύρος Λάλης,
Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Απόστολος Τραγανίτης, Καθηγητής, Μέλος

Δεκτή:

Δημήτρης Πλεξουσάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής
Πρόεδρος Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ηράκλειο, Νοέμβριος 2003

Στην οικογένειά μου

Έξυπνα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής Bluetooth

Γιώργος Ζαχαριουδάκης
Μεταπτυχιακή Εργασία
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση στις ηλεκτρονικές συσκευές να συγκεντρώνουν όσο το δυνατό περισσότερες υπηρεσίες, προσπαθώντας να παρέχουν όλες τις λειτουργίες τις οποίες πιθανόν χρειάζεται ένας χρήστης. Για παράδειγμα, τηλεοράσεις που να συνδέονται στο διαδίκτυο, κινητά τηλέφωνα τα οποία να αναπαράγουν και μουσική, ρολόγια χειρός τα οποία να αποθηκεύουν αρχεία κ.ά.

Όμως, με την καθιέρωση τεχνολογιών όπως το WLAN και το Bluetooth οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα ασύρματης διασύνδεσης και ακόμα περισσότερο της δυναμικής ανακάλυψης και δικτύωσης μεταξύ των συσκευών, έχει δημιουργηθεί πρόσφορο έδαφος για ένα εναλλακτικό μοντέλο αποκεντρωμένων λειτουργιών όπου μια συσκευή δε θα χρειάζεται να διαθέτει όλες τις πιθανές λειτουργίες αλλά θα μπορεί να επικοινωνεί και να χρησιμοποιεί τις αντίστοιχες λειτουργίες από άλλες συσκευές που τις διαθέτουν, με απλό και ευέλικτο τρόπο, σχηματίζοντας έτσι μικρά δίκτυα "προσωπικής περιοχής" προσαρμοσμένα στις ανάγκες του κάθε χρήστη.

Για την επίτευξη του αποκεντρωμένου μοντέλου, ένα σημαντικό σημείο είναι η δυνατότητα των συσκευών -και των υπηρεσιών που λειτουργούν σε αυτές- να ανακαλύπτουν δυναμικά (ad-hoc) άλλες διαθέσιμες συσκευές/υπηρεσίες που προσφέρουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα, οπότε απαραίτητο είναι να υπάρχει διαθέσιμος ένας μηχανισμός ο οποίος θα δίδει τη δυνατότητα για την ανακάλυψη των συσκευών/υπηρεσιών αυτών γρήγορα, αξιόπιστα και οικονομικά ως προς την κατανάλωση ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε την σχεδίαση και υλοποίηση της πλατφόρμας Bluetooth και το Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών που προσφέρει, με στόχο να αποτιμήσουμε τις δυνατότητες και τα προβλήματα του για τη χρήση του σε δίκτυα προσωπικής περιοχής. Με βάση την υπάρχουσα ερευνητική εργασία στον τομέα της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από δίκτυα, προτείναμε βελτιώσεις του πρωτόκολλου αυτού χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική "υπερ-κόμβων" η οποία αποτελεί μια υβριδική μορφή διομότιμης αρχιτεκτονικής, εκμεταλλευόμενοι τον μηχανισμό του Bluetooth για ανακάλυψη συσκευών. Υλοποι-

ήσαμε τις βελτιώσεις αυτές πάνω από αληθινά συστήματα Bluetooth και αποδείξαμε, μέσω εκτενών μετρήσεων πάνω σε τυπικά σενάρια χρήσης, ότι πράγματι βελτιώνουν τον υπάρχων μηχανισμό ανακάλυψης υπηρεσιών του Bluetooth.

Επόπτης:

Βασίλης Χριστοφίδης
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Smart service discovery protocols over Bluetooth ad-hoc personal area networks

Giorgos Zacharioudakis

Master of Science Thesis

Computer Science Department

University of Crete

Abstract

In the last years there is the growing trend in electronic devices to aggregate as much as possible services trying to provide to its user all the possible necessary functions. For example TV tuners that connect to the Internet, mobile phones acting also as MP3-players, wristwatches that can store files etc.

With technologies like WLAN and Bluetooth that provide wireless connectivity, and even more with the ability of ad-hoc discovery and networking between electronic appliances, an alternative distributed computational model could be exploited where a device will not necessarily implement all its services but discover and use the services provided from other devices with a simple and flexible manner, formulating small "personal area" networks tailored to the needs of each user.

To accomplish this distributed model there is the need of devices to discover ad-hoc the available surrounding services/devices, so there is the need of a discovery mechanism that will provide this functionality with respect to speed of discovery, high degree of discoverability success and low energy consumption.

In this work we studied the design and implementation of the Bluetooth platform and its Service Discovery Protocol to see its abilities and its problems in personal area networking. Taking into consideration the current research in the area of service discovery over networks, we proposed some improvements based on a hybrid peer-to-peer architecture called "super-peers", using the underlying mechanism of Bluetooth device discovery. We implemented them over real Bluetooth devices and we proved, using extensive experiments on typical usage scenarios, that they do improve the current Service Discovery Protocol.

Supervisor:

Vassilis Christophides

Assistant Professor

Computer Science Department
University of Crete

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επόμενους καθηγητές μου κ. Βασίλη Χριστοφίδη και κ. Σπύρο Λάλη για τη βοήθεια, την καθοδήγηση και την κριτική τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Η εργασία αυτή είναι αποτέλεσμα της δικής τους συμβολής και ενθάρρυνσης. Ακόμα ευχαριστώ τον κ. Απόστολο Τραγανίτη για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης και το Εργαστήριο Κατανεμημένων Συστημάτων του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας για τη στήριξη και την υλικοτεχνική υποδομή που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο Μανόλη Σταματογιαννάκη για την άψογη συνεργασία μας επί πολλά χρόνια, τις εποικοδομητικές συζητήσεις μας και την αμέριστη βοήθειά του. Η καλή παρέα και η συνεργασία του βοηθούσε να περνάνε ευχάριστα οι ώρες δουλειάς. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω κάθε φίλο που με συντρόφευσε και με βοήθησε στην πορεία μου μέχρι εδώ και ιδιαίτερα τους Λευτέρη Κουμάκη, Σταμάτη Καρβουναράκη, Χρήστο Παπαχρήστο, Αντώνη Σμαρδά, Νίκο Ριζόπουλο, Γιάννη Αστρινάκη, Σταύρο Δαμιανάκη και Ζαχαρία Σαβδάκη.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ θέλω να το απευθύνω στην οικογένειά μου που με στήριξε συναισθηματικά και υλικά σε όλη την πορεία μου μέχρι σήμερα. Ως ελάχιστη ένδειξη σεβασμού και αναγνώρισης για τη δική τους προσφορά και τις θυσίες που έχουν κάνει για τη δική μου μόρφωση, αφιερώνω την εργασία αυτή στους γονείς μου Ζαχαρία και Πελαγία και στους αδερφούς μου Νίκο και Μιχάλη.

Γιώργος Ζαχαριουδάκης

Περιεχόμενα

Περίληψη	vii
Abstract	ix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	3
1.2 Περίγραμμα της εργασίας	4
2 Το σύστημα Bluetooth	5
2.1 Μοντέλο χρήσης	6
2.1.1 Σημεία πρόσβασης σε ήχο/δεδομένα	6
2.1.2 Διασύνδεση περιφερειακών συσκευών	7
2.1.3 Δικτύωση συσκευών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής	7
2.2 Αρχιτεκτονική	7
2.2.1 Αρχιτεκτονική υλοποίησης	9
2.2.1.1 Επίπεδο διεπαφής επικοινωνίας προγραμματισμού εφαρ- μογών	10
2.2.1.2 Επίπεδο λογικών καναλιών	11
2.2.1.3 Επίπεδο ελέγχου φυσικού καναλιού	12
2.2.1.4 Επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου μετάδοσης	12
2.2.1.5 Επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων	12
2.3 Καταστάσεις στο Bluetooth	13
2.3.1 κατάσταση αναμονής	14
2.3.2 αναζήτηση συσκευών	15
2.3.3 ανίχνευση αναζήτησης συσκευών	17

2.3.3.1	απάντηση αναζήτησης	18
2.3.4	αίτηση σύνδεσης	19
2.3.4.1	απάντηση κύριας συσκευής	20
2.3.5	ανίχνευση αίτησης σύνδεσης	21
2.3.5.1	απάντηση υποτελούς συσκευής	22
2.3.6	κατάσταση σύνδεσης	22
2.4	Ανακάλυψη υπηρεσιών στο Bluetooth	24
2.4.1	Αρχιτεκτονική	25
2.4.2	Ρόλοι συσκευών και χαρακτηριστικά τους	26
2.4.3	Αποτίμηση του Πρωτόκολλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών του Bluetooth	27
2.5	Αποτίμηση των χαρακτηριστικών του Bluetooth	28
3	Ανακάλυψη υπηρεσιών σε δίκτυα	30
3.1	Διομοτίμα συστήματα	31
3.1.1	Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην τοπολογία του δικτύου	32
3.1.1.1	Συγκεντρωτικά συστήματα	32
3.1.1.2	Πλήρως κατανεμημένα συστήματα	33
3.1.1.3	Υβριδικά συστήματα	34
3.1.2	Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην πληροφορία	35
3.2	Πρωτόκολλα Ανακάλυψης Υπηρεσιών	36
3.2.1	SLP	36
3.2.2	Jini	38
3.2.3	UPnP	39
3.2.4	Salutation	41
3.2.5	Λοιπά πρωτόκολλα/συστήματα	42
3.2.6	Αποτίμηση των πρωτοκόλλων	44
3.2.7	Στρατηγικές ανακάλυψης	48
3.3	Ανακάλυψη υπηρεσιών στο Bluetooth	49
3.3.1	Βελτιώσεις της συνδεσιμότητας στο Bluetooth	49
3.3.2	Βελτιώσεις της Ανακάλυψης Συσκευών στο Bluetooth	51
3.3.3	Βελτιώσεις του Πρωτοκόλλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών στο Bluetooth	53
4	Επεκτάσεις στο Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών του Bluetooth	55
4.1	Η μεθοδολογία της σχεδίασής μας	55
4.2	Διομοτίμη αρχιτεκτονική με τη χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών	57
4.2.1	Υλοποίηση	62

4.2.2	Χρόνος αναζήτησης συσκευών	63
4.2.3	Χρόνος σύνδεσης συσκευών	66
4.3	Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση κωδικοποίησης στο πεδίο CoD	66
5	Πειραματική αποτίμηση	71
5.1	Σενάρια χρήσης	71
5.2	Πειραματικό περιβάλλον	73
5.2.1	Μετρούμενες παράμετροι	74
5.3	Πειραματικά αποτελέσματα	76
5.3.1	Εκτιμώμενο κόστος	76
5.3.1.1	Bluetooth SDP	77
5.3.1.2	Επέκταση με τη χρήση υπερ-κόμβων	77
5.3.1.3	Επέκταση με τη χρήση υπερ-κόμβων και κωδικοποίηση στο CoD	78
5.3.2	Πρόταση 1 - Χρήση υπερ-κόμβων	78
5.3.3	Πρόταση 2 - Κωδικοποίηση στο πεδίο CoD	84
5.4	Σύγκριση με άλλες ερευνητικές εργασίες	85
5.5	Αποτίμηση πειραματικών αποτελεσμάτων	87
6	Συμπεράσματα	89
6.1	Μελλοντική εργασία	90
A	Γραφικές παραστάσεις	91
B	Ευρετήριο όρων	95

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Διαδικασία επιλογής σχήματος εναλλαγής συχνότητων.	8
2.2	Αρχιτεκτονική υλοποίησης του Bluetooth	10
2.3	Καταστάσεις στο Bluetooth	13
2.4	Η διαδικασία και οι καταστάσεις σύνδεσης συσκευών	14
2.5	Ανταλλαγή μηνυμάτων σύνδεσης κύριας με υποτελή συσκευή	15
2.6	Πρότυπη κωδικοποίηση του πεδίου Class of Device	19
2.7	Αρχιτεκτονική του Πρωτόκολλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών	25
3.1	Κυριότερες δοσοληψίες στο πρωτόκολλο SLP	37
3.2	Κυριότερες δοσοληψίες στο πρωτόκολλο Jini	39
3.3	Στοιίδα χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων στο UPnP για ανακάλυψη υπηρεσιών	41
3.4	Μοντέλο του Salutation Manager	42
4.1	Αλληλεπίδραση μεταξύ υποσυστημάτων στο προτεινόμενο πρωτόκολλο.	58
4.2	Τοπολογία δικτύου με βάση το προτεινόμενο πρωτοκόλλο.	59
4.3	Υλοποίηση του βελτιωμένου πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών με τη χρήση υπερ-κόμβων	63
4.4	Ποσοστά συσκευών που ανακαλύφθηκαν σε σχέση με τη διάρκεια της αναζήτησης	64
5.1	Ποσοστό επιτυχίας για την ανακάλυψη από μία συσκευή όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών	79
5.2	Μέσος χρόνος καθυστέρησης για την ανακάλυψη από μία συσκευή όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών	81

5.3	Ποσοστό επιτυχίας για την ανακάλυψη από μία συσκευή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών . .	81
5.4	Μέσος χρόνος καθυστέρησης για την ανακάλυψη από μία συσκευή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών	82
5.5	Ποσοστό επιτυχίας ανακάλυψης συσκευών όταν εκτελούν αναζήτηση συσκευών πολλές συσκευές ταυτόχρονα	84

Κατάλογος πινάκων

2.1	Παράμετροι που επιστρέφει το Bluetooth σε μια επιτυχή διαδικασία αναζήτησης (inquiry)	18
B.1	Αντιστοίχιση ελληνικών και αγγλικών τεχνικών όρων	96
B.2	Αντιστοίχιση ελληνικών και αγγλικών τεχνικών όρων	97

Εισαγωγή

Η πρόοδος της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει τις ηλεκτρονικές συσκευές σε μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ με ολοένα και μικρότερο κόστος. Το γεγονός αυτό έχει δώσει τη δυνατότητα -και έχει συμβάλλει στην τάση- να συγκεντρώνονται όσο το δυνατό περισσότερα χαρακτηριστικά σε μια συσκευή, προσπαθώντας να παρέχει όλες τις λειτουργίες τις οποίες πιθανόν χρειάζεται ένας χρήστης. Για παράδειγμα, τηλεοράσεις που να συνδέονται στο διαδίκτυο, κινητά τηλέφωνα τα οποία να αναπαράγουν και μουσική, ρολόγια χειρός τα οποία να αποθηκεύουν αρχεία κ.ά.

Όμως, με την καθιέρωση τεχνολογιών όπως είναι το WLAN [37] και το Bluetooth [57] οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα ασύρματης διασύνδεσης και ακόμα περισσότερο της *δυναμικής ανακάλυψης και δικτύωσης* μεταξύ των συσκευών, έχει δημιουργηθεί πρόσφορο έδαφος για ένα καινούριο υπολογιστικό μοντέλο, σε αντιδιαστολή με το συγκεντρωτικό μοντέλο που ενέπνεαν οι κλασικοί επιτραπέζιοι υπολογιστές.

Η εναλλακτική προσέγγιση είναι η θέσπιση ενός μοντέλου αποκεντρωμένων λειτουργιών όπου μια συσκευή δε θα χρειάζεται να διαθέτει όλες τις πιθανές λειτουργίες αλλά θα μπορεί να επικοινωνεί και να χρησιμοποιεί τις αντίστοιχες λειτουργίες από άλλες συσκευές που τις διαθέτουν, με απλό και ευέλικτο τρόπο. Αυτό έχει αρχίσει να συμβαίνει πρόσφατα και υπάρχουν ήδη κάποιες εμπορικές συσκευές που ακολουθούν αυτή τη λογική.

Επίσης, υπάρχει και αρκετή ερευνητική δουλειά προς αυτή την κατεύθυνση [61, 9] και πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το project 2WEAR [1] στα πλαίσια του οποίου πραγματοποιήθηκε η παρούσα εργασία. Στόχος του ερευνητικού πλαισίου 2WEAR είναι η μελέτη και ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο συντίθεται δυναμικά, από υπολογιστικά συστήματα που επικοινωνούν μέσω ραδιο-επικοινωνίας. Τα υπολογιστικά αυτά συστήματα ποικίλλουν από απλές καθημερινές συσκευές όπως υπολογιστές χειρός και κινητά

τηλέφωνα, έως φορετά (*wearables*) αντικείμενα όπως ρολόγια χειρός, έξυπνες κάρτες, ακουστικά κλπ. Επίσης, στο σύστημα μπορούν να συμμετέχουν υπολογιστικά συστήματα από το περιβάλλον, όπως σημεία πρόσβασης σε δίκτυο ή επιτραπέζιοι υπολογιστές.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του μοντέλου αποκεντρωμένης λειτουργίας είναι πολυάριθμα, όπως παρουσιάζονται και στις ερευνητικές εργασίες. Ένα πολύ σημαντικό όφελος είναι ότι βοηθάει στη δημιουργία ενός υπολογιστικού συστήματος αρκετά ευέλικτου ώστε να προσαρμόζεται στις ανάγκες και τις επιθυμίες του χρήστη με απλό τρόπο, καθώς ο χρήστης είναι σε θέση να συνθέτει το σύστημά του σύμφωνα με τις επιθυμίες, τις ανάγκες ή τις διαθέσιμες συσκευές του.

Ακόμα περισσότερο, το αποκεντρωμένο σύστημα αυτό επεκτείνει το κλασικό υπολογιστικό μοντέλο του επιτραπέζιου υπολογιστή, με ένα αυτόνομο, κατανεμημένο υπολογιστικό σύστημα το οποίο "χτίζεται" γύρω από το χρήστη, από απλές καθημερινές συσκευές οι οποίες συνθέτουν αυτό που ονομάζουμε *δίκτυο προσωπικής περιοχής* (Personal Area Network -PAN), σε αντιδιαστολή με τα κλασικά δίκτυα τοπικής περιοχής (LAN).

Ένα χαρακτηριστικό σενάριο δημιουργίας/χρήσης θα ήταν το παρακάτω.

Η Ελένη, πηγαίνει με τα πόδια όπως κάθε πρωί στην εργασία της. Περιδιαβαίνοντας στην πόλη του Ηρακλείου, τραβάει φωτογραφίες με την ψηφιακή της φωτογραφική μηχανή. Κάποια στιγμή διαπιστώνει ότι έχει γεμίσει η μνήμη της φωτογραφικής μηχανής, οπότε φροντίζει να αποθηκεύσει τις φωτογραφίες στην επιπλέον μνήμη του φορητού υπολογιστή χειρός που έχει μαζί της. Κάποια στιγμή, περνάει τυχαία δίπλα από ένα κιόσκι το οποίο προσφέρει πρόσβαση στο διαδίκτυο, οπότε φροντίζει να στείλει τις φωτογραφίες από τον υπολογιστή χειρός στον υπολογιστή στο σπίτι της, γιατί διαπιστώνει ότι τελειώνει η μπαταρία του. Φτάνοντας η Ελένη στο γραφείο της, αποφασίζει να εξετάσει τις φωτογραφίες χρησιμοποιώντας την οθόνη του επιτραπέζιου υπολογιστή της. Αφού ξεχωρίσει 2 φωτογραφίες που της άρεσαν, αποφασίζει να τις στείλει για εκτύπωση στον εκτυπωτή του γραφείου.

Στο σενάριο αυτό, βλέπουμε ταυτόχρονα διάφορες συνθήκες στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένας υποθετικός χρήστης των ηλεκτρονικών αυτών συσκευών. Βλέπουμε ότι κάποια περιβάλλοντα είναι ελεγχόμενα και στατικά, όπως για παράδειγμα το γραφείο ή το σπίτι μας, στο οποίο οι συσκευές παρόλο που μπορεί να είναι φορητές συνήθως δεν αλλάζει συχνά το σύνολό τους. Σε αντίθεση, υπάρχουν δυναμικά περιβάλλοντα τα οποία αλλάζουν με γρήγορο ρυθμό (για παράδειγμα, προχωρώντας στο δρόμο) και στα οποία η σύνθεση του δικτύου προσωπικής περιοχής μπορεί να αλλάζει ραγδαία. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως το σύνηθες σενάριο είναι κάπου ενδιάμεσα, όπου υπάρχουν ομάδες συσκευών οι οποίες έρχονται σε επαφή με άλλες ομάδες και συνθέτουν μεγαλύτερα σύνολα συσκευών ή μια ομάδα συσκευών αποσυντίθεται σε μικρότερες ομάδες. Για παράδειγμα, οι συσκευές τις οποίες ένας χρήστης έχει πάνω του αποτελούν μια ομάδα η οποία μένει κατά το πλείστον

αναλλοίωτη, με όχι συχνές προσθήκες/αφαιρέσεις συσκευών. Κατα τη διάρκεια της ημέρας, η ομάδα αυτή θα έρχεται σε επαφή με άλλα σύνολα από στατικές ομάδες συσκευών, όπως οι συσκευές ενός γραφείου, οι συσκευές στο σπίτι ή οι συσκευές που διαθέτει ένας άλλος χρήστης. Παρατηρούμε δηλαδή ότι τα συνήθη σενάρια αντανακλούν μια δυναμική αλληλεπίδραση από στατικές ομάδες συσκευών και ότι παρατηρείται μια μεγάλη τοπικότητα σε αυτά τα σενάρια καθώς οι πυρήνες αυτών των ομάδων δεν αλλάζουν συχνά.

Η τεχνολογία ασύρματης διασύνδεσης Bluetooth που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, δείχνει να ταιριάζει περισσότερο σε αυτό το μοντέλο χρήσης καθώς με φτηνό κόστος προσφέρει τη δυνατότητα διασύνδεσης συσκευών σε μια ακτίνα μικρής εμβέλειας (περίπου 10 μέτρα) και δίνει τη δυνατότητα δυναμικής ανακάλυψης των διαθέσιμων συσκευών.

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Για την επίτευξη του αποκεντρωμένου μοντέλου, ένα σημαντικό σημείο είναι η δυνατότητα των συσκευών -και των υπηρεσιών που λειτουργούν σε αυτές- να ανακαλύπτουν δυναμικά (ad-hoc) άλλες διαθέσιμες συσκευές/υπηρεσίες που προσφέρουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα, οπότε απαραίτητο είναι να υπάρχει διαθέσιμος ένας μηχανισμός ο οποίος θα δίδει τη δυνατότητα για την ανακάλυψη των συσκευών/υπηρεσιών αυτών.

Ο μηχανισμός ανακάλυψη των υπηρεσιών, πρέπει να ικανοποιεί κάποιες απαιτήσεις ώστε να είναι εύχρηστος, λειτουργικός και αποδοτικός:

- Η ανακάλυψη πρέπει να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την πληρότητα, δηλαδή το κατά πόσο πράγματι ανακαλύπτονται όλες οι υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες
- Η ανακάλυψη πρέπει να γίνεται γρήγορα, με ταχύτητα ικανοποιητική για τις εφαρμογές που την χρησιμοποιούν και φυσικά με ταχύτητα ικανοποιητική πρωτίστως για το χρήστη
- Η τεχνολογία/πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη των υπηρεσιών πρέπει να λαμβάνει υπόψιν την περιορισμένη ενέργεια των συσκευών που συνήθως συμμετέχουν στα παραπάνω σενάρια χρήσης λόγω της φορητότητάς τους και άρα χρησιμοποιούν μπαταρίες

Στην παρούσα εργασία στηριχθήκαμε στην πλατφόρμα Bluetooth για δίκτυα προσωπικής περιοχής, καθώς εκτός από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά τα οποία την καθιστούν βολική για μια τέτοια χρήση, στην πρότυπη περιγραφή της (specification) [58] καθορίζεται

και η περιγραφή ενός τέτοιου μηχανισμού ανακάλυψης υπηρεσιών ο οποίος ονομάζεται *Bluetooth Service Discovery Protocol (Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών)*.

Τα δίκτυα προσωπικής περιοχής διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία εκμεταλλευόμαστε στην παρούσα εργασία ώστε να βελτιώσουμε το υπάρχον πρωτόκολλο με κύριο γνώρισμα την τοπικότητα. Λόγω της μικρής εμβέλειας υπάρχει τοπικότητα στη συνδεσιμότητα, τοπικότητα στην επικοινωνία και τοπικότητα ως προς τη συνολική άποψη που μπορεί να έχει μια συσκευή για τις υπόλοιπες διαθέσιμες συσκευές και κατά συνέπεια και για τις υπηρεσίες που αυτές προσφέρουν. Την τοπικότητα αυτή προσπαθούμε να την εκμεταλλευτούμε χρησιμοποιώντας μεσάζοντες κόμβους για την επικοινωνία των σχηματιζόμενων υπο-ομάδων μεταξύ τους. Επίσης, υπάρχει τοπικότητα ως προς το είδος των υπηρεσιών που χρειάζεται/χρησιμοποιεί μια συσκευή και κατά συνέπεια παρουσιάζει κάποιο επαναλαμβανόμενο μοντέλο αιτήσεων για ανακάλυψη υπηρεσιών. Με τη χρήση μιας εφαρμογής υποδάθρου ανά συσκευή μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε και το γνώρισμα αυτό, καθώς επίσης να προανακτούμε (prefetch) πληροφορίες για μείωση της καθυστέρησης για τους χρήστες.

Στόχος της εργασίας ήταν να αποτιμήσει τις δυνατότητες και τα προβλήματα του Bluetooth SDP για τη χρήση του σε δίκτυα προσωπικής περιοχής, να προτείνει βελτιώσεις και πιθανές επεκτάσεις του οι οποίες να συμβάλλουν στις προϋποθέσεις που ορίσαμε παραπάνω και να υλοποιήσει πειραματικά τις επεκτάσεις αυτές ώστε να αποτιμηθούν εάν και κατά πόσο βελτιώνουν τον υπάρχων μηχανισμό.

1.2 Περιγραφή της εργασίας

Η παρούσα εργασία είναι οργανωμένη ως εξής. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζουμε την τεχνολογία Bluetooth, η οποία αποτέλεσε την πειραματική πλατφόρμα με την οποία ασχοληθήκαμε στην παρούσα εργασία. Μελετάμε τη σχεδίαση του Bluetooth και κάνουμε μια αποτίμηση στα εγγενή προβλήματά του.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζουμε την προηγούμενη ερευνητική εργασία που έχει γίνει πάνω στο αντικείμενο αυτής της εργασίας καθώς και στα παρεμφερή ζητήματα που άπτονται αυτού του αντικειμένου. Στο κεφάλαιο 4 προτείνουμε λύσεις στα παραπάνω προβλήματα και παρουσιάζουμε την πειραματική σχεδίαση και υλοποίησή τους. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε πειραματικές μετρήσεις με βάση την υλοποίησή μας και σχολιάζουμε το εάν, κατά πόσο και γιατί συμβάλλουν στην βελτίωση της παρούσας κατάστασης. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παραθέτουμε σκέψεις και προτάσεις προς μελλοντική διερεύνηση ή υλοποίηση.

Το σύστημα Bluetooth

Το Bluetooth [57, 58, 39] είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας ηλεκτρονικών συσκευών μέσω ραδιο-συχνοτήτων με αρχικό σκοπό την αντικατάσταση των φυσικών καλωδίων σύνδεσης. Η ιδέα πίσω από την υλοποίηση του Bluetooth ήταν να εξομοιωθεί το κόστος, η ασφάλεια και οι δυνατότητές του με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των καλωδίων και επιπλέον να εκμεταλλευτούν τις επιπλέον δυνατότητες που δίνει μια ασύρματη τεχνολογία. Τα χαρακτηριστικά και οι συνθήκες λειτουργίας του καθορίστηκαν από ένα σύνολο εταιριών και οργανισμών και λόγω των ιδιοτήτων του εξαπλώθηκε σε σύντομο χρονικό διάστημα και παγιώθηκε η χρήση του για επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών.

Πρόσφατα πάνω στην τεχνολογία και τα χαρακτηριστικά του Bluetooth στηρίχθηκε και προτάθηκε το πρότυπο 802.15 [36] για ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας για δίκτυα προσωπικής περιοχής (short-range Wireless communication for Personal Area Networks -WPAN) το οποίο αναμένεται να δώσει ακόμα μεγαλύτερη ώθηση στην εξάπλωση της τεχνολογίας αυτής, αφού η προτυποποίησή της εξασφαλίζει την διαλειτουργικότητα (interoperability) και τη συμβατότητα (compatibility) μεταξύ υλικού (hardware) και λογισμικού (software) από διαφορετικές εταιρίες.

Το Bluetooth λειτουργεί στην συχνότητα 2.4GHz καθώς είναι η συχνότητα που έχει μείνει ελεύθερη προς εκμετάλλευση από βιομηχανικούς, επιστημονικούς και ιατρικούς φορείς (ISM band - Industrial Scientific Medicine band) σε ένα φάσμα συχνοτήτων από 2400-2483.5 MHz στις περισσότερες χώρες, εκτός από μερικές χώρες στις οποίες υπάρχουν περιορισμοί οπότε το φάσμα είναι μικρότερο (βλ. [58], Part A,§2).

Επειδή το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί το Bluetooth είναι ελεύθερο προς χρήση από πολλά συστήματα, είναι αναμενόμενο ότι θα υπάρχει πολύς "θόρυβος" σε αυτό το φάσμα, οπότε η σχεδίασή του έγινε έτσι ώστε η επικοινωνία πάνω από Bluetooth να είναι

όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη και απαλλαγμένη από παρεμβολές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η τεχνική FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) η οποία εξασφαλίζει μεγαλύτερη αξιοπιστία με σχετικά μικρό κόστος.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του Bluetooth είναι ότι εκτός από κανάλι επικοινωνίας μεταξύ δυο ηλεκτρονικών συσκευών βοηθάει στο σχηματισμό δικτύων μικρής εμβέλειας μεταξύ συσκευών που διαθέτουν Bluetooth. Το δίκτυο που σχηματίζεται μεταξύ των συσκευών ονομάζεται *piconet* (μικροδίκτυο). Στην πρότυπη περιγραφή (specification) του Bluetooth δίνεται η δυνατότητα να διασυνδέονται μικροδίκτυα μεταξύ τους, σχηματίζοντας μεγαλύτερα δίκτυα τα οποία ονομάζονται *scatternets*. Όμως η τεχνολογία του Bluetooth γύρω από τα μικροδίκτυα και τα *scatternets* δεν έχει ωριμάσει αρκετά και αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα τα οποία θα εξετάσουμε στη συνέχεια αυτής της εργασίας. Ένα αποτέλεσμα αυτών των προβλημάτων είναι το γεγονός ότι για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους κάποιες συσκευές που διαθέτουν Bluetooth δεν αρκεί να είναι σε εμβέλεια αλλά χρειάζεται να συντρέχουν και άλλοι παράγοντες όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην εργασία [42].

2.1 Μοντέλο χρήσης

Το Bluetooth [38, 39] όπως προαναφέραμε κατασκευάστηκε με σκοπό να διασυνδέει ηλεκτρονικές συσκευές μεταξύ τους, με κυριότερα μοντέλα χρήσης τις εξής κατηγορίες:

- Σημεία πρόσβασης σε ήχο/δεδομένα (Voice/data access points)
- Διασύνδεση περιφερειακών συσκευών (peripheral interconnection)
- Δικτύωση συσκευών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής (personal area networking)

2.1.1 Σημεία πρόσβασης σε ήχο/δεδομένα

Μία από τις κυριότερες χρήσεις του Bluetooth είναι για τη διασύνδεση μιας συσκευής με μία άλλη μέσω ενός ασύρματου καναλιού επικοινωνίας. Μέσω της σύνδεσης αυτής οι συσκευές μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα/ήχο ή να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες που διαθέτει η άλλη συσκευή. Παραδείγματα χρήσης είναι η ασύρματη σύνδεση ενός υπολογιστή σε ένα κινητό τηλέφωνο (ή ένα άλλο υπολογιστή που διαθέτει Bluetooth) και μέσω αυτού να συνδεθεί ο υπολογιστής στο διαδίκτυο (internet). Μάλιστα η ενδιάμεση αυτή συσκευή (π.χ. το κινητό τηλέφωνο) θα μπορούσε να βρίσκεται σε ένα αθέατο σημείο και ο χρήστης να μην χρειάζεται καν να γνωρίζει ότι η διασύνδεση γίνεται μέσω αυτού.

Με αυτό τον τρόπο, συσκευές που βρίσκονται σε ακτίνα ικανή να διασυνδεθούν σε ένα τέτοιο σημείο πρόσβασης μπορούν εύκολα να αποκτούν και οι ίδιες δεδομένα και υπηρεσίες που δεν έχουν στη διάθεσή τους. Σε πολλούς δημόσιους κοινόχρηστους χώρους όπως αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα, δημόσιες υπηρεσίες κλπ μπορούν να αναπτυχθούν δημόσια σημεία πρόσβασης, για πρόσβαση στο διαδίκτυο, για πληροφοριακό υλικό κλπ.

2.1.2 Διασύνδεση περιφερειακών συσκευών

Μία ακόμα χρήση της τεχνολογίας Bluetooth είναι για την αντικατάσταση των καλωδίων και τη σύνδεση ηλεκτρονικών συσκευών με περιφερειακές συσκευές, π.χ. ενός υπολογιστή με οθόνη, πληκτρολόγιο, ποντίκι. Αυτή η χρήση αφενός κάνει πιο εύκολη και εύχρηστη τη σύνδεση συσκευών μεταξύ τους και αφετέρου διευκολύνει τη φορητότητα και την επαναχρησιμοποίηση περιφερειακών συσκευών.

2.1.3 Δικτύωση συσκευών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής

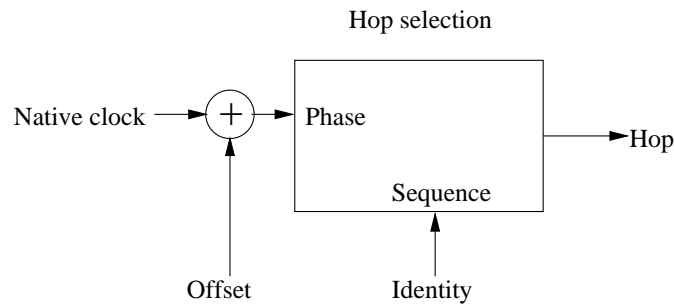
Μία χρήση της τεχνολογίας Bluetooth η οποία προχωράει πέρα από την απλή αντικατάσταση των καλωδίων είναι η δυναμική δικτύωση οποιαδήποτε στιγμή το θελήσουν κάποιες συσκευές (ad-hoc networking). Πέρα από την ασύρματη διασύνδεση, σημαντικό χαρακτηριστικό του Bluetooth που διευκολύνει αυτή τη χρήση είναι η δυνατότητα των συσκευών να ανακαλύπτουν δυναμικά άλλες συσκευές Bluetooth καθώς και τις υπηρεσίες που αυτές προσφέρουν. Ένα σενάριο χρήσης είναι η ανακάλυψη τυχαία (π.χ. σε ένα αεροδρόμιο, ή στο δρόμο) μιας άλλης συσκευής ενός άλλου χρήστη και η σύνδεση με αυτή, ή η δημιουργία ενός δικτύου μεταξύ συσκευών.

2.2 Αρχιτεκτονική

Όπως προαναφέραμε το Bluetooth λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων ISM (Industrial, Scientific and Medical band) το οποίο είναι ελεύθερο προς χρήση από μια πληθώρα οικιακών, βιομηχανικών, ιατρικών και άλλων συσκευών, οπότε είναι λογικό να υπάρχει αυξημένο πρόβλημα παρεμβολών. Επειδή ένας από τους πρωταρχικούς στόχους του Bluetooth είναι να παρέχει φτηνή επικοινωνία και να περιορίσει το πρόβλημα των παρεμβολών ενώ ταυτόχρονα να μην απαιτεί πολύπλοκη υλοποίηση αυξάνοντας έτσι το κόστος, η τεχνολογία που υιοθετήθηκε για επικοινωνία είναι η τεχνική FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), δηλαδή εναλλαγή συχνοτήτων σε ένα φάσμα συχνοτήτων. Σε αντίθεση, η τεχνολογία WLAN [49] χρησιμοποιεί την τεχνική DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) η οποία

είναι πιο αποδοτική και επιτρέπει μεγαλύτερες ταχύτητες διαμεταγωγής με αντίτιμο όμως το υψηλότερο κόστος της και επιπλέον την μικρότερη ανοχή σε παρεμβολές.

Η τεχνική FHSS προτείνει το χωρισμό της διαθέσιμης μπάντας συχνοτήτων σε επιμέρους συχνότητες και επικοινωνία πάνω από ένα συγκεκριμένο υποσύνολο αυτών. Συνολικά οι διαθέσιμες συχνότητες είναι ένα φάσμα περίπου 80 MHz, διαθέσιμο από τη συχνότητα 2400 MHz έως 2483.5 MHz¹. Το φάσμα αυτό χωρίζεται σε 79 διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων πλάτους 1MHz και η επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών γίνεται επιλέγοντας 32 από αυτά τα 79 κανάλια συχνοτήτων. Η επιλογή των καναλιών αυτών και η επικοινωνία γίνεται με βάση ένα αλγόριθμο ο οποίος σχηματικά φαίνεται στην εικόνα 2.1.



Σχήμα 2.1: Διαδικασία επιλογής σχήματος εναλλαγής συχνοτήτων.

Ο αλγόριθμος παίρνει σαν εισοδο-κλειδί την ταυτότητα μιας συσκευής-κόμβου A (βλέπε και 2.3.4, 2.3.6) και φροντίζει για την επιλογή των καναλιών με ένα συγκεκριμένο και όσο το δυνατόν ισοκαταναμημένο τρόπο ανάμεσα στα διαθέσιμα 79 κανάλια. Ο αλγόριθμος καθορίζει εκτός από τα κανάλια και την ακολουθία όπου θα γίνονται οι εναλλαγές εκπομπής μεταξύ τους, ενώ η φάση της εναλλαγής καθορίζεται από το ρολόι της συσκευής-κόμβου A. Η άλλη συσκευή (B), ξέροντας την μετατόπιση του ρολογιού της σε σχέση με το ρολόι της A ουσιαστικά μπορεί να συντονιστεί μαζί της και έτσι να έχουν ίδια φάση εναλλαγής των συχνοτήτων. Κατά μέσο όρο όλες οι συχνότητες έχουν ίδια πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν λόγω του παραπάνω αλγόριθμου, ενώ και οι διάφοροι πιθανοί συνδυασμοί εναλλαγής συχνοτήτων είναι πάρα πολλοί, οπότε εξασφαλίζεται η ισοκατανομή των επικοινωνιών πάνω από το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και ελαχιστοποίηση των πιθανών παρεμβολών μεταξύ συσκευών.

Εκτός από διαίρεση του φάσματος των συχνοτήτων, επιπλέον γίνεται και διαίρεση/πολυπλεξία των διαθέσιμων χρονοθυρίδων (ο χρόνος μεταξύ δύο εναλλαγών συχνοτήτων) με τον διαχωρισμό τους σε χρονοθυρίδες αποστολής δεδομένων (T_x slots) και χρο-

¹Το φάσμα 2400-2483.5 MHz είναι κοινός τόπος για τις περισσότερες χώρες ενώ εξαίρεση αποτελούν η Γαλλία, η Ισπανία και η Ιαπωνία. Γίνονται προσπάθειες ώστε το φάσμα αυτό να είναι κοινό παγκοσμίως

νοθυρίδες λήψης δεδομένων (R_x slots) ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή ανάμεσα στις συσκευές του ίδιου μικροδικτύου όταν επιθυμούν να στείλουν δεδομένα και να γίνεται οργανωμένη κατανομή του χρόνου εκπομπής, όπου συνήθως η κύρια-συσκευή καθορίζει το διαθέσιμο χρόνο προς κάθε υποτελής-συσκευή ανάλογα με την κίνηση δεδομένων που υπάρχει από/προς τον καθένα.

2.2.1 Αρχιτεκτονική υλοποίησης

Η υλοποίηση του Bluetooth είναι δομημένη σαν μια στοίβα επιπέδων (layers) τα οποία κατανέμουν την ευθύνη λειτουργικότητας για τις διάφορες λειτουργίες του Bluetooth, από τις λεπτομέρειες χαμηλού επιπέδου έως γενικότερα θέματα υψηλού επιπέδου [41].

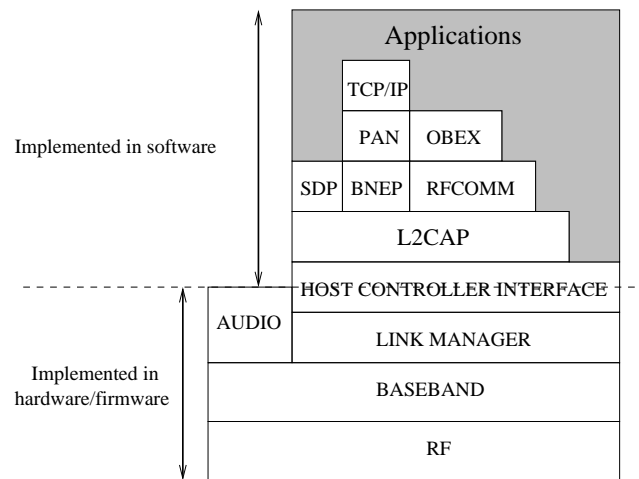
Διακρίνουμε τα παρακάτω επίπεδα

- Επίπεδο βιβλιοθηκών διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών (API libraries)
- Επίπεδο λογικών καναλιών (L2CAP)
- Επίπεδο διεπαφής ελέγχου (HCI)
- Επίπεδο ελέγχου φυσικού καναλιού (Link Manager)
- Επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου μετάδοσης (Baseband)
- Επίπεδο εκπομπής/λήψης ραδιοσυχνοτήτων (RF)

Βέβαια η διάκριση σε επίπεδα δεν αντικατοπτρίζει πάντα την ακριβή αρχιτεκτονική καθώς ορισμένες λειτουργίες εκτελούνται, αλληλεπιδρούν ή βασίζονται σε περισσότερα του ενός επίπεδου. Παρακάτω αναλύουμε πιο διεξοδικά το ρόλο κάθε επιπέδου.

Σε μια πλήρως ολοκληρωμένη υλοποίηση τα παραπάνω επίπεδα μπορεί να είναι όλα υλοποιημένα στην ίδια συσκευή. Παρόλα αυτά η συνηθισμένη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται με στόχο μια πιο λειτουργική και επαναχρησιμοποιήσιμη υλοποίηση, είναι να χρησιμοποιείται ένα ενδιάμεσο επίπεδο προγραμματιστικής διεπαφής μεταξύ του *υποσυστήματος (module)* Bluetooth που είναι υλοποιημένο σε υλικό ή σε σταθερό (ενσωματωμένο) τμήμα λογισμικού (hardware/firmware) και του συστήματος που το χρησιμοποιεί/ελέγχει (host system) σε λογισμικό (software) όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.

Στο ενδιάμεσο αυτό επίπεδο υπάρχει από πλευράς του συστήματος ένα *πρόγραμμα-οδηγός (driver)* που υλοποιεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για την επικοινωνία με το υποσύστημα Bluetooth ενώ από την πλευρά του υποσυστήματος υπάρχει ένα *ενσωματωμένο τμήμα λογισμικού (firmware)* που υλοποιεί τις αντίστοιχες ρουτίνες διασύνδεσης. Με



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονική υλοποίησης του Bluetooth

τον τρόπο αυτό η υλοποίηση σε λογισμικό είναι ανεξάρτητη του τρόπου επικοινωνίας με τη στοίβα Bluetooth σε hardware και έτσι μπορεί αυτή να είναι πάνω από σειριακή θύρα, USB κλπ.

2.2.1.1 Επίπεδο βιβλιοθηκών διεπαφής επικοινωνίας προγραμματισμού εφαρμογών (API libraries)

Στο επίπεδο αυτό του Bluetooth βρίσκονται διάφορες βιβλιοθήκες που διαθέτουν διεπαφή επικοινωνίας προγραμματισμού (API) ώστε οι εφαρμογές που θέλουν να χρησιμοποιήσουν το Bluetooth να μπορούν να επικοινωνήσουν με τα χαμηλότερα επίπεδα του Bluetooth και να χρησιμοποιήσουν τις λειτουργίες του.

Στο επίπεδο αυτό διακρίνουμε βιβλιοθήκες/υπηρεσίες γενικής χρήσης, οι οποίες αποτελούν προαιρετικές προεκτάσεις του Bluetooth (δεν υπάρχουν υλοποιήσεις τους σε όλες τις πλατφόρμες), όπως

RFCOMM Βιβλιοθήκη η οποία δίνει προσομοίωση σειριακής πόρτας (πρωτόκολλο RS-232) πάνω από το επίπεδο L2CAP. Με τη χρήση του RFCOMM, μπορούν να εκμεταλλευτούν το Bluetooth προϋπάρχουσες εφαρμογές οι οποίες μπορούν με τη χρήση της σειριακής πόρτας να επικοινωνούν με άλλες συσκευές χωρίς να χρειάζεται να τροποποιηθούν.

OBEX Το OBEX (OBject EXchange - Ανταλλαγή Αντικειμένων) είναι ένα σύνολο πρωτοκόλλων για μεταφορά αντικειμένων (δεδομένων) πάνω από συνδέσεις Bluetooth ή πάνω από συνδέσεις IrDA. Επειδή η τεχνολογία IrDA και το OBEX προϋπήρχε οπότε υπήρχε ήδη πλήθος από εφαρμογές που δούλευαν πάνω από αυτό, υλοποιήθηκε το OBEX

και για Bluetooth χρησιμοποιώντας για επίπεδο μεταφοράς των δεδομένων είτε το RFCOMM είτε TCP/IP (όταν υπάρχει υλοποίησή του πάνω από Bluetooth για τη συγκεκριμένη πλατφόρμα).

TCP/IP Υλοποίηση του γνωστού πρωτοκόλλου που ελέγχει τη μετάδοση δεδομένων πάνω από το διαδίκτυο (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), για λειτουργία πάνω από συνδέσεις με τη χρήση Bluetooth. Επειδή υπάρχουν πληθώρα εφαρμογών που ήδη λειτουργούν πάνω από TCP/IP, η υλοποίησή του πάνω από Bluetooth ωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό την εξάπλωση του Bluetooth.

SDP Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών (Service Discovery Protocol). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο καθορίζει μια υπηρεσία η οποία βοηθάει τις εφαρμογές, μέσω ενός καθορισμένου API, να ψάξουν και να ανακαλύψουν για την ύπαρξη άλλων υπηρεσιών στην ίδια ή σε άλλες συσκευές. Η αναζήτηση μπορεί να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια και κάτω από διάφορες συνθήκες.

Επειδή η παρούσα εργασία σχετίζεται με την ανακάλυψη υπηρεσιών παρουσιάζουμε αναλυτικά στις ενότητες 2.4, 3.3.3 το πρωτόκολλο αυτό.

2.2.1.2 Επίπεδο λογικών καναλιών (L2CAP)

Το *επίπεδο λογικών καναλιών (L2CAP - Logical Link Control and Adaptation Protocol)* επιτελεί τις εξής βασικές λειτουργίες

- Εποπτεύει και υλοποιεί τη δημιουργία και τον τερματισμό διαφορετικών, ανεξάρτητων λογικών καναλιών πάνω από την ίδια φυσική σύνδεση
- Εποπτεύει και επιβάλλει τις απαιτήσεις για Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS - Quality of Service) πάνω από τις συνδέσεις
- Προσαρμόζει τα δεδομένα όταν χρειάζεται από τη μορφή που έχουν στο επίπεδο των Εφαρμογών (βλ. ενότητα 2.2.1.1) στη μορφή που απαιτείται στο επίπεδο Baseband (βλ. ενότητα 2.2.1.4)
- Πολυπλέκει διαφορετικές ταυτόχρονες συνδέσεις πάνω από την ίδια φυσική σύνδεση ραδιοσυχνότητας ώστε να επιτύχει καλύτερες επιδόσεις και καλύτερη αξιοποίηση των πόρων

2.2.1.3 Επίπεδο ελέγχου φυσικού καναλιού (Link Manager)

Το επίπεδο ελέγχου φυσικού καναλιού (*Link manager*) είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των πόρων σε επίπεδο φυσικού καναλιού, δηλαδή για τη δημιουργία, διαχείριση και τερματισμό όλων των φυσικών συνδέσεων

- Δημιουργεί σύνδεση σε περίπτωση αίτησης από το επίπεδο L2CAP και διαχειρίζεται τις λεπτομέρειες που αφορούν στην Ποιότητα της Υπηρεσίας (QoS) και αυθεντικοποίησης (Authentication)
- Λαμβάνει και διεκπεραιώνει λειτουργίες που αφορούν στον έλεγχο της σύνδεσης, συγχρονισμό των ρολογιών μεταξύ των συσκευών κλπ
- Παρακολουθεί την κατάσταση κάθε καναλιού και τερματίζει τη λειτουργία όταν υπάρξει αποτυχία στη διάρκεια της σύνδεσης

2.2.1.4 Επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου μετάδοσης (Baseband)

Το επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου μετάδοσης (*Baseband*) είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων πριν και μετά την εκπομπή τους μέσω του επιπέδου RF σε άλλες συσκευές. Πιο συγκεκριμένα οι λειτουργίες που διεκπεραιώνει είναι

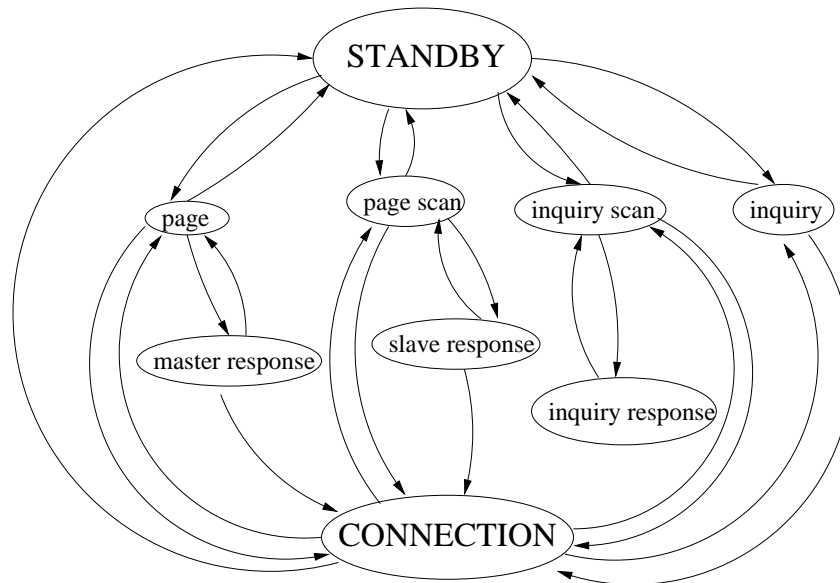
- Η μορφοποίηση των δεδομένων σε πακέτα για την αποστολή σε άλλες συσκευές και αντίστοιχα κατά τη λήψη κατασκευή του ρεύματος δεδομένων από τα πακέτα
- Διόρθωση λαθών κατά την αποστολή των δεδομένων με κατάλληλη κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση των δεδομένων
- Διαχείριση λαθών, απαρίθμηση των πακέτων για ορθή αποστολή τους, επανεκπομπή των πακέτων σε περίπτωση λάθους και γενικά η εκτέλεση του κατάλληλου πρωτοκόλλου για την ορθή αποστολή των πακέτων

2.2.1.5 Επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων (RF)

Το επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων (*RF - Radio Frequency*) αναλαμβάνει όλη την επεξεργασία των σημάτων από ψηφιακό σε αναλογικό και αντίστροφα από αναλογικό σε ψηφιακό του ρεύματος δεδομένων (data stream). Λαμβάνει και αποδίδει ψηφιακά δεδομένα στο επίπεδο Baseband και αντίστοιχα λαμβάνει και αποστέλλει αναλογικά δεδομένα μέσω των ραδιοσυχνοτήτων σε άλλες συσκευές.

2.3 Καταστάσεις στο Bluetooth

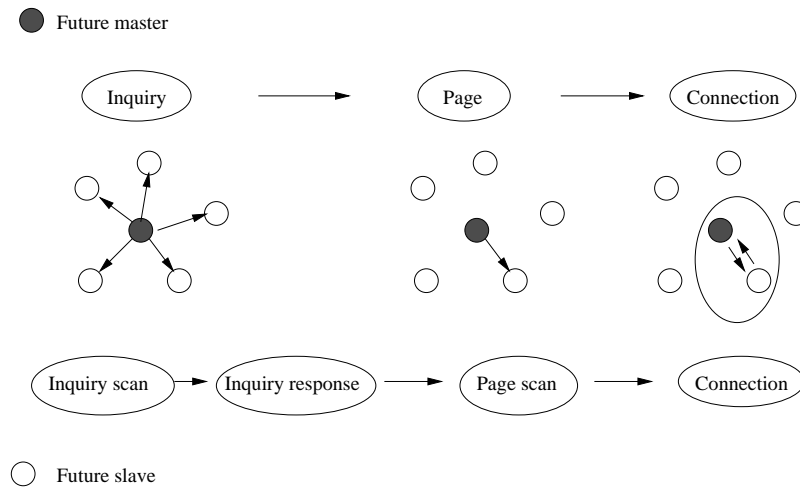
Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ένα Bluetooth module περνάει από διάφορες καταστάσεις, οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 2.3. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της σχεδίασης του Bluetooth το οποίο επηρεάζει φυσικά την απόδοση, τη συμπεριφορά και τις δυνατότητές του υπό πολλές συνθήκες είναι το γεγονός ότι δε μπορεί ένα υποσύστημα Bluetooth να βρίσκεται ταυτόχρονα σε πολλές από τις καταστάσεις αυτές, αλλά μόνο σε μία και από αυτή να μεταβαίνει στις υπόλοιπες.



Σχήμα 2.3: Καταστάσεις στο Bluetooth

Αυτό σημαίνει για παράδειγμα ότι δε μπορεί ενόσω το πρόγραμμα είναι συνδεδεμένο (κατάσταση connected) με μία άλλη συσκευή να εκτελεί ταυτόχρονα ανίχνευση για αναζήτηση συσκευών από άλλες συσκευές (inquiry scanning) και να μπορεί να ανακαλυφθεί από άλλες συσκευές. Μια συνολική αποτίμηση αυτών των χαρακτηριστικών κάνουμε στο τέλος αυτού του κεφαλαίου στην παράγραφο 2.5.

Στο σχήμα 2.4 φαίνεται συνοπτικά και σχηματικά η διαδικασία που ακολουθούν έως ότου συνδεθούν δύο συσκευές. Η κύρια συσκευή κάνει αναζήτηση για άλλες συσκευές και ανακαλύπτει τις διευθύνσεις τους (inquiry, 2.3.2) και κατόπιν κάνει μια αίτηση σύνδεσης με τη συσκευή που την ενδιαφέρει (page, 2.3.4). Η υποτελής συσκευή είναι η συσκευή η οποία ανταποκρίνεται στις αιτήσεις ανακάλυψης (inquiry scan, 2.3.3 - inquiry response, 2.3.3.1) και κατόπιν εάν ανταποκριθεί και σε μια αίτηση σύνδεσης (page scan, 2.3.5) προκύπτει ένα καινούριο μικροδίκτυο.



Σχήμα 2.4: Η διαδικασία και οι καταστάσεις σύνδεσης συσκευών

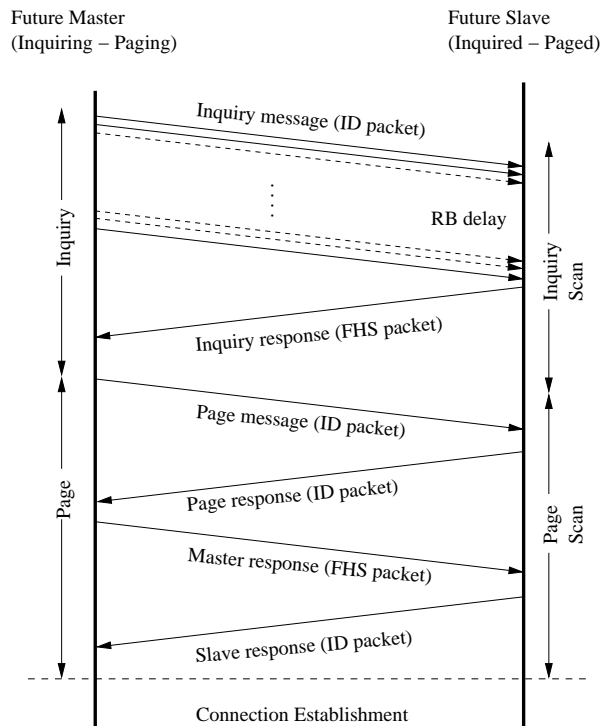
Ακόμα, στο σχήμα 2.5 φαίνεται η ακολουθία από μηνύματα που στέλνει η μελλοντική κύρια συσκευή και η μελλοντική υποτελής συσκευή, υποθέτοντας ότι έπειτα από τις καταστάσεις αναζήτησης (inquiry) και ανίχνευσης αναζήτησης (inquiry scan) μεταβαίνουν αμέσως στις καταστάσεις αίτησης σύνδεσης (page) και ανίχνευσης αίτησης σύνδεσης (page scan) αντίστοιχα, ώστε να ανοίξουν μεταξύ τους μια φυσική σύνδεση.

Στις επόμενες ενότητες αναλύουμε διεξοδικά όλες τις καταστάσεις, τα μηνύματα και τις διαδικασίες από τις οποίες περνάνε οι συσκευές.

2.3.1 κατάσταση αναμονής (standby)

Η κατάσταση αναμονής ή ετοιμότητας (*standby*) είναι μια κατάσταση εξαιρετικά μειωμένης δραστηριότητας και κατά συνέπεια μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας. Μια συσκευή σε κατάσταση ετοιμότητας είναι ουσιαστικά απενεργοποιημένη (*sleep*) για 1.26 sec σε κάθε κύκλο διάρκειας 1.28 sec. Παρακάτω θα γίνει περισσότερο κατανοητό γιατί μετράμε συγκεκριμένα σε κύκλους των 1.28 sec.

Τυπικά, η μόνη δραστηριότητα που συμβαίνει στην κατάσταση αυτή είναι περιοδικά να μεταβαίνει σε κατάσταση ανίχνευσης για αναζήτηση συσκευών ή ανίχνευση για αίτηση σύνδεσης. Αυτό φυσικά δε σημαίνει ότι μόνο σε αυτές τις καταστάσεις μπορεί να μεταβαίνει, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3, απλώς είναι οι καταστάσεις που μεταβαίνει το σύστημα περιοδικά για να εξασφαλίζεται η σωστή συνεργασία του με τις υπόλοιπες τυχόν υπάρχουσες συσκευές σε εμβέλεια (βλ. ενότητες 2.3.3, 2.3.5). Εάν κάποια εφαρμογή από το επίπεδο των εφαρμογών κάνει μια αίτηση για αναζήτηση συσκευών (inquiry) ή για σύνδεση και άνοιγμα καναλιού επικοινωνίας με κάποια άλλη συσκευή (page) τότε μπορεί να μεταβεί



Σχήμα 2.5: Ανταλλαγή μηνυμάτων σύνδεσης κύριας με υποτελή συσκευή

στις αντίστοιχες καταστάσεις.

2.3.2 αναζήτηση συσκευών (inquiry)

Όταν ένα υποσύστημα Bluetooth βρίσκεται σε κατάσταση *αναζήτησης συσκευών (inquiry)* [18] εκτελεί μία διαδικασία αναζήτησης για να ανακαλύψει την ύπαρξη άλλων συσκευών, ψάχνοντας σειριακά κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες για να διαπιστώσει εάν υπάρχει κάποια άλλη συσκευή σε εμβέλεια. Η διαδικασία αυτή είναι συνυφασμένη και δρα συμπληρωματικά με την διαδικασία ανίχνευσης για αναζήτηση (inquiry scan, βλ. ενότητα 2.3.3) καθώς για να καταφέρει μια συσκευή A, η οποία εκτελεί αναζήτηση συσκευών, να ανακαλύψει κάποια άλλη συσκευή B, πρέπει η συσκευή B να βρίσκεται ταυτόχρονα σε κατάσταση ανίχνευσης για αναζήτηση συσκευών.

Έπειτα από μια επιτυχή διαδικασία αναζήτησης το αποτέλεσμα θα είναι η συσκευή που εκτέλεσε την αναζήτηση να ανακαλύψει τις διευθύνσεις BD_ADDRESS των συσκευών που ανακάλυψε, τις τιμές των ρολογιών τους καθώς και κάποια άλλα πεδία (βλ. [58], Part H:1, §5.2.2) από τα οποία πολύ σημαντικό όπως θα εξετάσουμε στη συνέχεια είναι το πεδίο CoD (Class of Device, βλ. 2.1).

Όπως εξηγήσαμε στην ενότητα 2.2 η επικοινωνία στο Bluetooth γίνεται επιλέγοντας 32 από τα 79 διαθέσιμα κανάλια συχνοτήτων με ένα ειδικό αλγόριθμο. Ειδικά κατά τη διαδικασία της αναζήτησης συσκευών επειδή δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ συσκευών, ούτε κάποια κύρια συσκευή από τα στοιχεία της οποίας να καθοριστούν οι συχνότητες επικοινωνίας, υπάρχει ειδική πρόβλεψη για τον καθορισμό της ακολουθίας εναλλαγής συχνοτήτων (frequency hopping sequence). Οι συχνότητες προκύπτουν αλγοριθμικά από τον κωδικό IAC (Inquiry Access Code) ο οποίος αποτελεί παράμετρο προς το Bluetooth κατά τη διαδικασία της αναζήτησης και ο οποίος καθορίζεται στο Bluetooth Specification [58], Part B, §13.2.3, Part H:1, §4.5.1, Part H:1, §4.7.46. Όλες οι συσκευές είναι υποχρεωμένες να υποστηρίζουν τουλάχιστο τον κωδικό GIAC (General IAC) [6] ώστε να μπορούν να ανακαλυφθούν από όλες τις συσκευές Bluetooth και προαιρετικά μπορούν να υποστηρίζουν και τον κωδικό LIAC (Limited IAC). Πιο συγκεκριμένα μια συσκευή μπορεί να περιέλθει σε κατάσταση μειωμένης δυνατότητας ανακάλυψης (limited discoverability mode) και μπορεί να ανακαλυφθεί μόνο από εκείνες τις συσκευές που κάνουν αναζήτηση συγκεκριμένα για αυτόν τον κωδικό οπότε με βάση τα παραπάνω, επειδή από τον κωδικό IAC προκύπτουν οι συχνότητες σάρωσης, θα εκπέμπουν στις ίδιες συχνότητες. Επίσης υπάρχει πρόβλεψη ώστε μια συσκευή να μπορεί να περιέλθει και σε μη-ανακαλύψιμη (non-discoverable) κατάσταση, κατά την οποία οι υπόλοιπες συσκευές δεν μπορούν καθόλου να την ανακαλύψουν. Αυτό ουσιαστικά γίνεται όταν η συσκευή αγνοεί τις υπόλοιπες συσκευές και δεν τους απαντάει κατά τη διαδικασία αναζήτησης, ή όταν δεν περιέρχεται καθόλου σε κατάσταση ανίχνευσης αναζήτησης.

Η διαδικασία της σάρωσης γίνεται σε δύο ξεχωριστές φάσεις σάρωσης από 16 συχνοτήτες κάθε φορά, το οποίο ονομάζεται τρένο συχνοτήτων (train). Δηλαδή χρειάζονται δυο τρένα A, B για να σαρωθούν και οι 32 συχνότητες. Σύμφωνα με το [42] η διαδικασία σάρωσης κάθε τρένου γίνεται ως εξής: το Bluetooth εναλλάσσει διαδοχικά μια χρονοθυρίδα εκπομπής δεδομένων και μια χρονοθυρίδα λήψης δεδομένων. Σε κάθε χρονοθυρίδα εκπομπής δεδομένων το Bluetooth εκπέμπει σε δυο διαφορετικές συχνότητες δυο μηνύματα αναζήτησης (broadcast ID packets) και κατόπιν ακολουθεί η χρονοθυρίδα λήψης δεδομένων στο οποίο ακούει δυο συχνότητες για τυχόν εκπομπή ενός πακέτου-απάντηση το οποίο καθορίζεται από το Bluetooth Specification [58]. Για να σαρωθούν λοιπόν οι 16 συχνότητες του καθενός τρένου, απαιτούνται 8 χρονοθυρίδες εκπομπής και 8 χρονοθυρίδες λήψης δεδομένων -για κάθε τρένο- διαδοχικά εναλλασσόμενες μεταξύ τους.

Επειδή για κάθε χρονοθυρίδα εκπομπής/λήψης απαιτούνται 625 μ s, συνολικά λοιπόν απαιτούνται 10 ms ($16 * 625 \mu$ s) για κάθε τρένο και επειδή σύμφωνα με το [42] απαιτείται σάρωση 256 φορές για κάθε τρένο πριν να μπορεί να γίνει μετάβαση στο άλλο τρένο, απαιτούνται 2.56 sec για κάθε τρένο ή συνολικά $4 * 1.28$ sec για μια πλήρη κάλυψη και στις 32 συχνότητες. Ο λόγος που απαιτούνται 256 σαρώσεις για κάθε train οφείλεται στο γεγονός

(βλ. ενότητα 2.3.3) ότι η συσκευή η οποία εκτελεί ανίχνευση αναζήτησης (inquiry scan) μεταβαίνει μόνο 10 ms για κάθε 1.28 s στην κατάσταση αυτή, οπότε υπάρχει μόνο μία ευκαιρία κάθε 1.28 s να συμπέσουν οι συχνότητες τους και να γίνει η ανακάλυψη. Με 256 σαρώσεις εξασφαλίζεται ότι θα υπάρξουν 2 ευκαιρίες σύμπτωσης συχνοτήτων -οπότε και ευκαιρίες ανακάλυψης της συσκευής- σε κάθε σάρωση ενός τραίνου και κατά συνέπεια αυξάνονται οι πιθανότητες επιτυχούς ανακάλυψης της συσκευής.

Σύμφωνα με το specification του Bluetooth [58], λόγω παρεμβολών από άλλες πηγές θορύβου και λόγω εξασθένισης του σήματος με την απόσταση, για να θεωρηθεί αξιόπιστη μια διαδικασία αναζήτησης και να ανακαλύψει με μεγάλη πιθανότητα όλες τις συσκευές σε εμβέλεια, απαιτούνται 2 σαρώσεις για κάθε τραίνο συχνοτήτων, οπότε συνολικά απαιτείται για μια αξιόπιστη αναζήτηση χρονικό διάστημα 10.24 sec (2 σαρώσεις * 2 τραίνα * 2.56 sec). *Παρατηρούμε λοιπόν ότι η διαδικασία της ανακάλυψης άλλων συσκευών είναι αρκετά χρονοβόρα, ιδιαιτέρως εάν θέλουμε να επιστρέφει αξιόπιστα αποτελέσματα, δηλαδή να ανακαλύπτονται όλες οι συσκευές ή έστω ένα σημαντικό μεγάλο ποσοστό από αυτές.*

Το είδος του πακέτου που στέλνει η συσκευή που εκτελεί την αναζήτηση σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5 ένα πακέτο τύπου ID packet, ενώ η απάντηση (inquiry response) είναι ένα πακέτο τύπου FHS (Frequency Hopping Synchronization) το οποίο περιέχει την διεύθυνση BD_ADDRESS της συσκευής καθώς και κάποιες άλλες πληροφορίες οι οποίες αναλύονται παρακάτω, στην ενότητα 2.3.3.1.

2.3.3 ανίχνευση αναζήτησης (inquiry scan)

Όταν ένα υποσύστημα Bluetooth βρίσκεται σε κατάσταση *ανίχνευσης αναζήτησης συσκευών (inquiry scan)* εκτελεί σάρωση σε ένα σύνολο συχνοτήτων για να ανιχνεύσει αν υπάρχει σε εξέλιξη διαδικασία αναζήτησης εκ μέρους άλλων συσκευών, είναι δηλαδή σε άμεση αντιστοιχία με τη διαδικασία αναζήτησης (βλ. ενότητα 2.3.3).

Συγκεκριμένα, η σάρωση αυτή είναι μια διαδικασία που διαρκεί περίπου 10 ms και εκτελείται μια φορά κάθε 1.28 sec. Αυτό ισχύει για όσες συσκευές είναι σε θέση να μεταβαίνουν σε κατάσταση ανίχνευσης αναζήτησης, γιατί ο χρήστης είναι δυνατό να καθορίσει σε μια συσκευή να μη μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή, πρακτικά δηλαδή να μην είναι σε θέση οι άλλες συσκευές να την ανακαλύψουν.

Κατά τη διαδικασία ανίχνευσης αναζήτησης το σύστημα ελέγχει μια συγκεκριμένη συχνότητα από 32 συχνότητες οι οποίες προκύπτουν με αλγοριθμικό τρόπο από το τρέχων IAC (Inquiry Access Code) (βλ. ενότητα 2.3.2). Η συχνότητα που εξετάζει εξαρτάται από την τρέχουσα τιμή στο ρολόι του. Η σάρωση γίνεται σε αυτή τη συγκεκριμένη συχνότητα για 10 ms και κατόπιν στην επόμενη σάρωση -η οποία θα γίνει μετά από 1.28 s- αλλάζει η

συχνότητα και εξετάζεται η επόμενη.

Εάν σε κάποια συχνότητα ανιχνευθεί κάποιο πακέτο αναζήτησης (ID packet) τότε το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση απάντησης σε αναζήτηση.

Η διαδικασία αναζήτησης αποτελεί το μόνο είδος μαζικής επικοινωνίας (μαζικής αποστολής μηνύματος - multicast) στο Bluetooth, καθώς στην επικοινωνία σε κατάσταση σύνδεσης επικοινωνούν αυστηρά μόνο ζεύγη συσκευών μεταξύ τους και παρόλο που δεν είναι δυνατό να ανταλλάγουν κανονικά πακέτα μηνυμάτων στην κατάσταση αναζήτησης καθώς σχεδιάστηκε μόνο για την ανακάλυψη των συσκευών, στην εργασία αυτή θα δείξουμε πώς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την ανακάλυψη υπηρεσιών, σαν επέκταση της πρότασης που αναφέρεται στην εργασία [34]. Θα αναλύσουμε διοξοδικά το θέμα και τις δικές μας προτάσεις στην ενότητα 4.1.

2.3.3.1 απάντηση αναζήτησης (inquiry response)

Όταν ένα υποσύστημα Bluetooth βρίσκεται στην κατάσταση ανίχνευσης αναζήτησης και ανιχνεύσει ένα πακέτο αναζήτησης τότε μεταβαίνει στην κατάσταση *απάντησης αναζήτησης* προκειμένου να απαντήσει στο πακέτο αυτό. Για να αποφευχθούν συγκρούσεις πακέτων από απαντήσεις άλλων υποσυστημάτων στο ίδιο πακέτο αναζήτησης, η απάντηση δεν γίνεται αμέσως αλλά έπειτα από τυχαία καθυστέρηση (Random Backoff Delay). Επιλέγεται τυχαία ένας αριθμός W στο διάστημα $[0, 1023]$ και το σύστημα επιστρέφει στην κατάσταση ανίχνευσης-αναζήτησης για χρονικό διάστημα W χρονοθυρίδων ώστε να παρακολουθεί για άλλα πακέτα αναζήτησης και κατόπιν επιστρέφει ξανά στην κατάσταση απάντησης-αναζήτησης ώστε να απαντήσει στο προηγούμενο πακέτο. Στέλνει ένα πακέτο-απάντηση το οποίο περιέχει τις πληροφορίες που φαίνονται στον πίνακα 2.1 και κατόπιν επιστρέφει ξανά στην προηγούμενη κατάσταση.

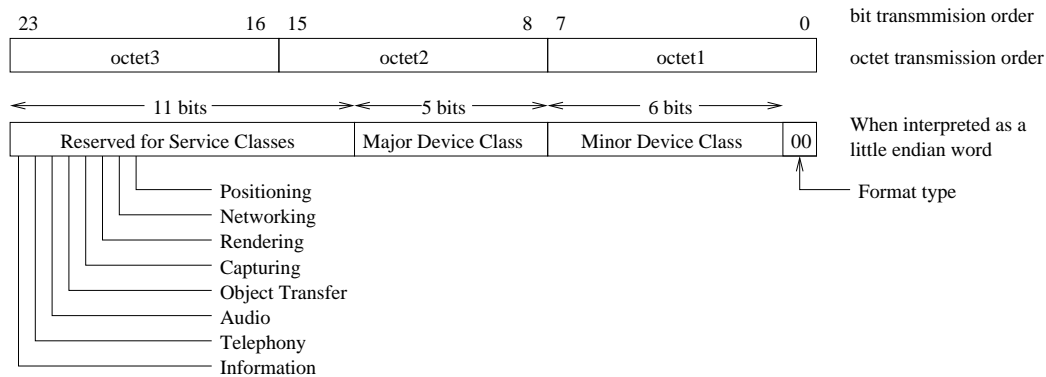
Πεδίο
Num_responses
BD_ADDR[i]
Page_Scan_Repetition_Mode[i]
Page_Scan_Period_Mode[i]
Page_Scan_Mode[i]
Class_of_Device[i]
Clock_Offset[i]

Πίνακας 2.1: Παράμετροι που επιστρέφει το Bluetooth σε μια επιτυχή διαδικασία αναζήτησης (inquiry)

Από τις παραπάνω παραμέτρους, οι πιο βασικές που αφορούν τη διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών (βλ. 2.4) είναι η διεύθυνση κάθε συσκευής (BD_ADDRESS) και το πεδίο Class of Device (CoD).

Η διεύθυνση κάθε συσκευής Bluetooth είναι μια τιμή από 6 bytes και η ονοματολογία καθορίζεται από την IEEE.

Το πεδίο Class of Device είναι ένα πεδίο μεγέθους 3 bytes, του οποίου η μορφοποίηση (κωδικοποίηση) καθορίζεται από το Bluetooth Specification [6]. Η μορφή του CoD συνοπτικά είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Πρότυπη κωδικοποίηση του πεδίου Class of Device

Όπως θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια αυτής της εργασίας, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το πεδίο CoD στα πλαίσια της ανακάλυψης υπηρεσιών καθώς έχει δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά : αφενός ότι το Bluetooth μας δίνει τη δυνατότητα να αλλάξουμε την τιμή του CoD (βλ. [58], Part H:1,§4.7.28) σε ό,τι τιμή θέλουμε και αφετέρου ότι η τιμή του πεδίου CoD μεταφέρεται κατά τη διαδικασία της αναζήτησης μαζί με τη διεύθυνση της ανακαλυπτόμενης συσκευής και τα υπόλοιπα πεδία που προαναφέραμε και δεν απαιτείται σύνδεση και δημιουργία καναλιού επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών για να μεταφερθεί. Θα αναφερθούμε περισσότερο σε αυτά τα χαρακτηριστικά στην ενότητα 4.1.

2.3.4 αίτηση σύνδεσης (page)

Η κατάσταση *αίτησης σύνδεσης (page)* έχει αρκετά κοινά σημεία με την κατάσταση αναζήτησης (βλ. ενότητα 2.3.2). Όταν μια συσκευή ανακαλύψει μια άλλη συσκευή Bluetooth με τη διαδικασία αναζήτησης που περιγράψαμε παραπάνω ή γνωρίζει με κάποιο άλλο τρόπο τη διεύθυνσή της, μπορεί να ανοίξει μια σύνδεση μαζί της ώστε να επικοινωνήσουν.

Όμοια με την κατάσταση αναζήτησης, η συσκευή A (μελλοντική κύρια συσκευή) η οποία επιθυμεί να συνδεθεί με μια άλλη συσκευή B (μελλοντική υποτελής συσκευή) σαρώνει

μια ακολουθία από συχνότητες στις οποίες στέλνει μηνύματα για αίτηση σύνδεσης με την B. Η ακολουθία από συχνότητες στις οποίες στέλνει τα μηνύματα αυτά, καθορίζεται αλγοριθμικά από τη διεύθυνση της συσκευής B στην πρότυπη περιγραφή (specification) του Bluetooth και γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο η A να γνωρίζει τη διεύθυνση της B πριν προχωρήσει στην κατάσταση αίτησης σύνδεσης. Η ουσιαστική διαφορά είναι ότι ενώ στις φάσεις αναζήτησης και ανίχνευσης αναζήτησης τα πακέτα που στέλνονται από τη συσκευή A απευθύνονται προς όλες τις συσκευές (broadcast) και λαμβάνονται από όλες τις συσκευές που βρίσκονται σε εμβέλεια, στην κατάσταση αίτησης σύνδεσης (page) τα πακέτα που στέλνονται απευθύνονται αποκλειστικά στη συσκευή B.

Η συσκευή A, η οποία θα γίνει κύρια συσκευή εάν επιτύχει η διαδικασία της σύνδεσης, στέλνει στις προαναφερθείσες συχνότητες πακέτα-αιτήσεις με τα οποία δηλώνει την επιθυμία να ανοίξει σύνδεση με την B. Εάν η συσκευή B είναι σε κατάσταση ανίχνευσης της αίτησης σύνδεσης ώστε να παραλάβει τα πακέτα αυτά και να ανταποκριθεί στην αίτηση, τότε οι δύο συσκευές μεταβαίνουν σε κατάσταση σύνδεσης (connected).

Η διαδικασία με την οποία στέλνονται τα πακέτα στην παραπάνω ακολουθία από συχνότητες είναι παρόμοια με τη διαδικασία που ακολουθείται στην κατάσταση αναζήτησης, δηλαδή υπάρχουν 32 συχνότητες οι οποίες χωρίζονται σε δύο ομάδες-τραίνα (trains) A, B από 16 συχνότητες. Κάθε τραίνο συχνοτήτων πρέπει να ελεγχθεί ένα συγκεκριμένο αριθμό από φορές N_{page} πριν ελεγχθεί η άλλη ομάδα και ο αριθμός αυτός καθορίζεται από το είδος της διαδικασίας που έχει επιλεγεί (paging scheme). Στο Bluetooth υπάρχει η προϋπόθεση ότι όλες οι συσκευές πρέπει να υποστηρίζουν μια υποχρεωτική διαδικασία σύνδεσης η οποία καθορίζεται στην πρότυπη περιγραφή, ενώ υπάρχει η ευχέρεια οι συσκευές να υλοποιούν και να υποστηρίζουν και προαιρετικές διαδικασίες σύνδεσης.

Εάν η διαδικασία σύνδεσης δεν επιτύχει τότε οι συσκευές μεταβαίνουν στην κατάσταση που βρισκόταν προηγουμένως, διαφορετικά εάν επιτύχει τότε μεταβαίνουν σε κατάσταση σύνδεσης όπου η συσκευή A που ξεκίνησε τη διαδικασία είναι κύρια συσκευή ενώ η συσκευή B είναι υποτελής συσκευή. Περισσότερες πληροφορίες για την κατάσταση σύνδεσης αναφέρουμε στην ενότητα 2.3.6.

2.3.4.1 απάντηση κύριας συσκευής (master response)

Η κατάσταση *απάντησης κύριας συσκευής (master response)* είναι μια ενδιάμεση κατάσταση στην οποία μεταβαίνει προσωρινά η συσκευή A (η οποία επιχειρεί να συνδεθεί με τη συσκευή B) έπειτα από την κατάσταση αίτησης σύνδεσης, όταν η συσκευή B απαντήσει επιτυχώς στην αίτηση σύνδεσης. Στην κατάσταση απάντησης της κύριας συσκευής ακολουθείται η ίδια διαδικασία εναλλαγής συχνοτήτων όπως και στην προηγούμενη κατάσταση (αίτηση

σύνδεσης) και στέλνονται μηνύματα για να καθοριστούν οι παράμετροι της σύνδεσης μεταξύ των δύο συσκευών. Μόλις παραληφθεί ένα μήνυμα επιβεβαίωσης από τη συσκευή B οι συσκευές μεταβαίνουν στην κατάσταση σύνδεσης (connection), διαφορετικά εάν για οποιοδήποτε λόγο δεν επιτύχει η σύνδεση τότε επιστρέφουν στις καταστάσεις όπου βρισκόταν, δηλαδή αίτηση σύνδεσης και ανίχνευση αίτησης σύνδεσης αντίστοιχα.

2.3.5 ανίχνευση αίτησης σύνδεσης (page scan)

Όμοια με την κατάσταση ανίχνευσης αναζήτησης συσκευών, στην κατάσταση *ανίχνευσης αίτησης σύνδεσης (page scan)* μια συσκευή σαρώνει ένα σύνολο από συχνότητες και ελέγχει εάν άλλες συσκευές προσπαθούν να ανοίξουν σύνδεση μαζί της.

Η σάρωση αυτή είναι μια διαδικασία που διαρκεί 10 ms και εκτελείται κάθε 1.28 sec, σε όσες συσκευές επιτρέπεται να μεταβαίνουν στην κατάσταση αυτή, καθώς είναι δυνατό ο χρήστης να ρυθμίσει στην συσκευή να μην μεταδίδει στην κατάσταση αυτή, ώστε να μην μπορούν άλλες συσκευές να συνδέονται στη συσκευή του.

Η συσκευή που εκτελεί ανίχνευση αιτήσεων σύνδεσης ελέγχει μία συχνότητα από ένα σύνολο 32 συχνοτήτων οι οποίες είναι συγκεκριμένες για κάθε συσκευή και προκύπτουν αλγοριθμικά από τη διεύθυνση BD_ADDRESS η οποία αποτελεί μοναδικό αναγνωριστικό για κάθε συσκευή. Κάθε σάρωση/ανίχνευση πραγματοποιείται σε μία συχνότητα κάθε φορά η οποία εξαρτάται από τη φάση του ρολογιού κάθε συσκευής και αυτό επαναλαμβάνεται διαδοχικά για όλες τις προαναφερθείσες συχνότητες, αλλάζοντας συχνότητα σε κάθε κύκλο των 1.28 s.

Από το γεγονός ότι οι συχνότητες όπου γίνεται ο έλεγχος για αίτηση σύνδεσης προκύπτουν από τη διεύθυνση της συσκευής, εύκολα κατανοούμε ότι για να μπορέσει κάποια άλλη συσκευή να κάνει μια αίτηση σύνδεσης (page) πρέπει πρωτίστως να γνωρίζει τη διεύθυνσή της για να μπορέσει να υπολογίσει τις σωστές συχνότητες. Τη διεύθυνση αυτή πρέπει είτε να την ανακαλύψει μέσω μιας διαδικασίας αναζήτησης είτε να την μάθει με κάποιο άλλο τρόπο, όπως για παράδειγμα να την εισάγει ο χρήστης.

Σε περίπτωση που εξετάζουμε δυναμική δικτύωση (ad-hoc networking) όπου δεν υπάρχει τρόπος μια συσκευή να γνωρίζει τις διευθύνσεις άλλων συσκευών που πιθανόν να συναντήσει, στις περισσότερες περιπτώσεις για να συνδεθούν δυο συσκευές μεταξύ τους πρέπει να προηγηθεί μια διαδικασία αναζήτησης.

2.3.5.1 απάντηση υποτελούς συσκευής (slave response)

Η κατάσταση *απάντησης υποτελούς συσκευής (slave response)* είναι μια προσωρινή ενδιάμεση κατάσταση στην οποία μεταβαίνει μια συσκευή B όταν λάβει ένα πακέτο με αίτηση σύνδεσης από κάποια άλλη συσκευή A. Όταν μεταβεί στην κατάσταση αυτή απαντάει στέλλοντας ένα αντίστοιχο πακέτο, το οποίο συγκεκριμένα είναι ίδιο με το πακέτο που έστειλε αρχικά η A.

Έπειτα η συσκευή A μεταβαίνει στην κατάσταση απάντησης κύριας συσκευής (ενότητα 2.3.4.1) και στέλνει καινούριο πακέτο. Η συσκευή B απαντάει στέλλοντας πάλι το ίδιο πακέτο πίσω και κατόπιν μεταβαίνει στην κατάσταση σύνδεσης (connection). Η ανταλλαγή αυτή γίνεται για λόγους επαλήθευσης ώστε κάθε συσκευή να επιβεβαιώσει ότι η άλλη έλαβε το πακέτο. Εάν κατά τη διάρκεια της όλης διαδικασίας χαθούν κάποια πακέτα και δεν επιτύχει η σύνδεση τότε οι συσκευές A, B επιστρέφουν αντίστοιχα στις καταστάσεις αίτησης σύνδεσης και ανίχνευσης αίτησης σύνδεσης.

2.3.6 κατάσταση σύνδεσης (connection)

Μια μονάδα Bluetooth σε κατάσταση *σύνδεσης (connection)* είναι μέλος ενός μικροδικτύου. Εάν αυτή η μονάδα ξεκίνησε τη διαδικασία της σύνδεσης (ενότητα 2.3.4) τότε αποτελεί την κύρια συσκευή σε αυτό το μικροδίκτυο, διαφορετικά είναι υποτελής συσκευή. Μέσα σε ένα μικροδίκτυο η τοπολογία του δικτύου που προκύπτει είναι σχήματος αστέρα, με κεντρικό κόμβο την κύρια συσκευή και περιφερειακούς κόμβους τις υποτελείς συσκευές. Το αποτέλεσμα αυτής της της τοπολογίας είναι ότι οι υποτελείς δε μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, παρά μόνο με την κύρια συσκευή.

Για την εκπομπή ή λήψη δεδομένων χρησιμοποιείται μια ακολουθία εναλλαγής καναλιών (channel hopping sequence) η οποία καθορίζεται από τη διεύθυνση και το ρολόι της κύριας συσκευής, τα οποία στέλνονται στις υποτελείς συσκευές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της αίτησης σύνδεσης. Οι υποτελείς έχοντας τη μετατόπιση του ρολογιού τους (clock offset) σε σχέση με το ρολόι της κύριας-συσκευής μπορούν ουσιαστικά να δουλεύουν με το ρολόι της κύριας συσκευής.

Επίσης η διεύθυνση της κύριας συσκευής καθορίζει αλγοριθμικά (παρόμοια με τη διαδικασία αίτησης σύνδεσης) την εναλλαγή συχνοτήτων για εκπομπή δεδομένων, με αποτέλεσμα να μπορούν να επικοινωνούν οι υποτελείς συσκευές με την κύρια συσκευή. Αυτός ο συγχρονισμός των ρολογιών που απαιτείται, έχει σαν αποτέλεσμα ότι μια κύρια συσκευή δε μπορεί να είναι κύρια σε περισσότερα του ενός μικροδικτύου διότι τότε περισσότεροι υποτελείς θα έπρεπε να συγχρονιστούν στο ίδιο ρολόι και την ίδια ακολουθία εναλλαγής συ-

χνοτήτων, με αποτέλεσμα ουσιαστικά ένα μικροδίκτυο με περισσότερους υποτελείς από το μέγιστο επιτρεπτό, καθώς θα εξέλεμπαν όλοι οι κόμβοι ταυτόχρονα στις ίδιες συχνότητες.

Όσο μια συσκευή Bluetooth είναι συνδεδεμένη με κάποια άλλη συσκευή, η σύνδεση μπορεί να πάρει μία από τις παρακάτω μορφές

- Ενεργή - Active

Σε μια ενεργή σύνδεση, η συσκευή συμμετέχει κανονικά και ενεργά σε όλες τις επικοινωνίες. Η αποστολή δεδομένων γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια των R_x χρονοθυρίδων (time slots) ενώ η λήψη των δεδομένων κατά τη διάρκεια των T_x χρονοθυρίδων. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στο Bluetooth είναι ο περιορισμός ότι σε ένα μικροδίκτυο μπορούν να συμμετέχουν έως 7 ενεργές υποτελείς συσκευές.

- Υπό παρακολούθηση - Sniff

Μια μορφή σύνδεσης περιορισμένης κατανάλωσης ενέργειας, κατά όμως την οποία η υποτελής συσκευή εξακολουθεί να είναι ενεργό μέλος του μικροδικτύου και να εκπέμπει/λαμβάνει δεδομένα. Η υποτελής συσκευή που μεταβαίνει σε κατάσταση σύνδεσης υπό παρακολούθηση συμφωνεί με την κύρια συσκευή σε ένα σύνολο από χρονοθυρίδες (time slots) κατά τις οποίες και μόνο θα γίνεται εκπομπή προς τον υποτελή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο υποτελής να μπορεί κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων χρονοθυρίδων να μην παρακολουθεί το κανάλι για εκπομπή δεδομένων, οπότε εξοικονομεί ενέργεια.

- Υπό αναμονή - Hold

Μια μορφή σύνδεσης κατά την οποία περιορίζονται στο ελάχιστο οι ανάγκες σε κατανάλωση ενέργειας καθώς ο υποτελής και η κύρια συσκευή συμφωνούν σε ένα διάστημα κατά το οποίο ο υποτελής απενεργοποιείται τελείως και δεν εκπέμπει/λαμβάνει δεδομένα, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Μετά το πέρας του προσυμφωνημένου διαστήματος απενεργοποίησης/αναμονής, ο υποτελής επανέρχεται κανονικά σε ενεργή σύνδεση.

- Σταθμευμένη - Park

Αυτή η μορφή σύνδεσης είναι επίσης μια μορφή σύνδεσης κατά την οποία ο υποτελής ξυπνάει περιοδικά για να λάβει δεδομένα, αλλά μένει κανονικά συγχρονισμένος με το υπόλοιπο μικροδίκτυο καθ' όλη τη διάρκεια της σύνδεσης. Εκτός από την ανάγκη μειωμένης κατανάλωσης, η μορφή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως όταν θέλουν περισσότεροι από 7 υποτελείς συσκευές να συμμετέχουν στο μικροδίκτυο, οπότε μπορούν κάποιοι να μεταδούν σε σταθμευμένη σύνδεση για να μπορούν να συμμετέχουν κι άλλες ως ενεργοί κόμβοι.

Στην εργασία [60] υπάρχει μια αποτίμηση της ταχύτητας σε κατάσταση σύνδεσης μεταξύ δύο συσκευών, ανάλογα με διάφορες παραμέτρους και κυριότερα με το είδος των χρησιμοποιούμενων πακέτων κατά τη σύνδεση.

2.4 Ανακάλυψη υπηρεσιών στο Bluetooth

Είναι αναμενόμενο ότι οι υπηρεσίες που προσφέρονται πάνω από το Bluetooth θα αυξάνονται συνεχώς καθώς εξαπλώνεται η χρήση του. Από αυτό γίνεται φανερό ότι απαιτείται μια διαδικασία (πρωτόκολλο) μέσω της οποίας οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες να μπορούν να μαθαίνουν για την ύπαρξη των διαθέσιμων υπηρεσιών και τα χαρακτηριστικά τους. Μάλιστα αυτή η διαδικασία θα πρέπει να είναι αρκετά γενική ώστε να μπορεί να συμπεριλάβει και υπηρεσίες οι οποίες είναι ανύπαρκτες προς το παρόν και οι οποίες πιθανόν να εμφανιστούν στο μέλλον.

Στο Bluetooth συμπεριλαμβάνεται η περιγραφή μιας τέτοιας διαδικασίας - πρωτοκόλλου η οποία χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη διαθέσιμων υπηρεσιών σε συσκευές Bluetooth οι οποίες βρίσκονται σε ικανή εμβέλεια και η οποία ονομάζεται Service Discovery Protocol (πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών) [31] [55]. Το πρωτόκολλο αυτό περιγράφει μόνο την διαδικασία που απαιτείται από μια εφαρμογή για να ανακαλύψει τις υπηρεσίες αυτές και όχι τα περαιτέρω βήματα για την επικοινωνία μεταξύ τους, τα οποία εξαρτώνται από τις εκάστοτε εφαρμογές και υπηρεσίες. Παρόλα αυτά, το SDP παρέχει τις κατάλληλες λειτουργίες ώστε να μεταφερθούν και να γνωστοποιηθούν και οι κατάλληλες πληροφορίες οι οποίες απαιτούνται για την επικοινωνία, όπως για παράδειγμα διευθύνσεις, αριθμοί πόρτας (port numbers), διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και δυνατότητες της υπηρεσίας κλπ.

Μια βασική παραδοχή/υπόθεση που γίνεται στον ορισμό του SDP είναι ότι αποτελεί μια διαδικασία η οποία εκκινείται από τον χρήστη, κατά συνέπεια όλες οι διαδικασίες που απαιτούνται για να γίνει μια δοσοληψία ανακάλυψης υπηρεσιών λαμβάνουν χώρα μόνον όταν ο χρήστης ζητήσει κάτι τέτοιο. *Αυτό όπως θα δούμε παρακάτω ενδέχεται να μην είναι καθόλου καλή επιλογή.*

Το SDP παρέχει λειτουργικότητα για τους παρακάτω τύπους αναζητήσεων

- Αναζήτηση για υπηρεσίες με βάση τον τύπο της υπηρεσίας, π.χ. *"Είναι διαθέσιμη μια υπηρεσία εκτύπωσης;"*
- Αναζήτηση για υπηρεσίες με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, π.χ. *"Είναι διαθέσιμη μια υπηρεσία εκτύπωσης με δυνατότητα εκτύπωσης διπλής όψης;"*
- Αναζήτηση απαρίθμησης για όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες, π.χ. *"Ποιές υπηρεσίες εί-*

και διαθέσιμες;" "Ποιές υπηρεσίες εκτύπωσης είναι διαθέσιμες ;"

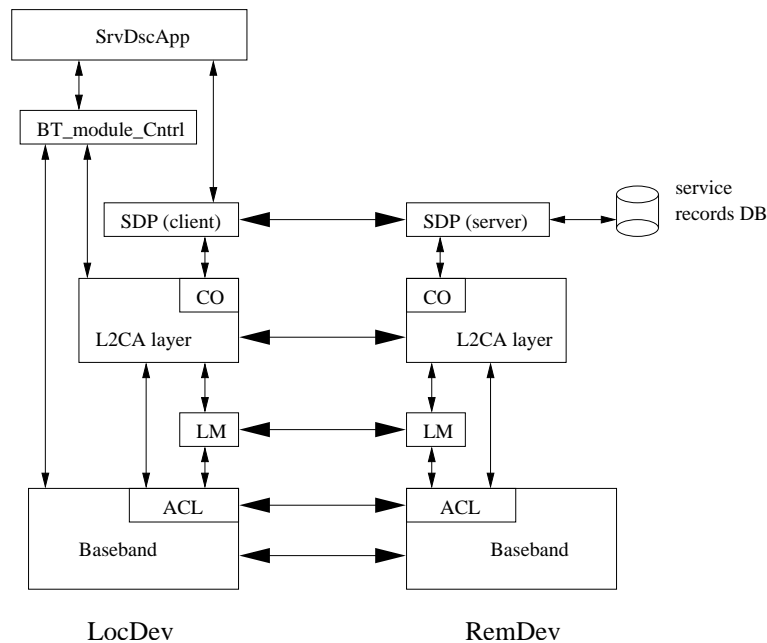
Τα παραπάνω σενάρια αναζήτησης μπορούν να εκτελεστούν με δυο διαφορετικούς τρόπους

- Αναζήτηση σε κάποια συγκεκριμένη συσκευή στην οποία ο χρήστης 'συνειδητά' συνδέθηκε
- Αναζήτηση σε όλες τις συσκευές οι οποίες βρίσκονται σε εμβέλεια και οι οποίες έχουν ανακαλυφθεί από την τοπική συσκευή

Σε όλες τις περιπτώσεις λοιπόν, απαιτείται κατ' αρχήν η ανακάλυψη κάποιας συσκευής, έπειτα η δημιουργία σύνδεσης μαζί της και άνοιγμα καναλιού επικοινωνίας και τέλος η εκτέλεση του πρωτοκόλλου (SDP) για την ανακάλυψη των υπηρεσιών.

2.4.1 Αρχιτεκτονική

Σύμφωνα με το [59] η αρχιτεκτονική του SDP, με τα επίπεδα και τα διάφορα υποσυστήματα του Bluetooth που συμμετέχουν, είναι αυτή η οποία απεικονίζεται στο σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7: Αρχιτεκτονική του Πρωτοκόλλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών

Η εφαρμογή του χρήστη (SrvDscApp) στην τοπική συσκευή (LocDev) η οποία θέλει να ανακαλύψει υπηρεσίες κάνοντας χρήση του SDP επικοινωνεί μέσω κατάλληλης διεπαφής

επικοινωνίας με το υποσύστημα του SDP που είναι υπεύθυνο για την εξυπηρέτηση των πελατών (SDP client) και κάνει αίτηση για ανακάλυψη υπηρεσιών.

Αν ο τύπος της αναζήτησης είναι τέτοιος ώστε το SDP να χρειάζεται να ψάξει και σε άλλες συσκευές, το SDP κάνει μια αντίστοιχη αίτηση μέσω των κατάλληλων διεπαφών (APIs) του Bluetooth (BT_module_ctrl) ώστε να γίνει μια αναζήτηση για άλλες συσκευές που βρίσκονται σε εμβέλεια (βλ. ενότητα 2.3.2).

Κατόπιν όταν υπάρχει μια λίστα με τις διαθέσιμες συσκευές σε κατάλληλη εμβέλεια και είναι γνωστές οι διευθύνσεις τους ώστε να μπορεί να γίνει σύνδεση μαζί τους (βλ. ενότητα 2.3.4), το SDP χρησιμοποιεί το επίπεδο L2CAP (βλ. ενότητα 2.2.1.2) και ανοίγει σύνδεση με την απομακρυσμένη συσκευή (remDev) στην οποία θέλει να κάνει αναζήτηση.

Το L2CAP με τη σειρά του, χρησιμοποιεί το επίπεδο Baseband (βλ. ενότητα 2.2.1.4) και στέλνει μέσω ασύγχρονης μετάδοσης (ACL - Asynchronous Connectionless Link) κατάλληλα πακέτα που καθορίζονται από το πρωτόκολλο του SDP (PDUs - Protocol Data Units) και εκτελείται έτσι το πρωτόκολλο SDP.

Η απομακρυσμένη συσκευή διατηρεί μια βάση με εγγραφές (service records DB) στην οποία εγγράφει τις διαθέσιμες υπηρεσίες και τα χαρακτηριστικά τους και την οποία εξετάζει όταν υπάρχει κάποια αίτηση.

2.4.2 Ρόλοι συσκευών και χαρακτηριστικά τους

Τις συσκευές οι οποίες συμμετέχουν στην παραπάνω διαδικασία όπως αναφέραμε και παραπάνω τις διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες

- *Τοπική συσκευή - Local Device* Είναι η συσκευή η οποία εκκινεί τη διαδικασία της αναζήτησης υπηρεσιών και πρέπει να διαθέτει τουλάχιστο το τμήμα του SDP που είναι επιφορτισμένο με την εξυπηρέτηση των προγραμμάτων-πελατών (SDP client). Επίσης η τοπική συσκευή περιέχει και την εφαρμογή του χρήστη (SrvDscApp) η οποία κάνει την αίτηση αναζήτησης.
- *Απομακρυσμένη συσκευή - Remote Device* Είναι κάθε συσκευή η οποία συμμετέχει στη διαδικασία της αναζήτησης απαντώντας σε αιτήσεις αναζήτησης. Η απομακρυσμένη συσκευή πρέπει να διαθέτει τουλάχιστο το τμήμα του SDP που είναι επιφορτισμένο με την εξυπηρέτηση των αιτήσεων (SDP server) και τη βάση όπου διατηρούνται οι τυχόν εγγραφές υπηρεσιών.

Οι παραπάνω ρόλοι δεν είναι μόνιμοι ή αποκλειστικοί, αλλά τους χρησιμοποιούμε για να υποδηλώσουμε το ρόλο κάποιας συσκευής σε κάποια συγκεκριμένη αναζήτηση. Δηλαδή,

ενδέχεται κάποια συσκευή να διαθέτει όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και να δρα άλλες φορές σαν τοπική συσκευή (η οποία κάνει αναζήτηση για υπηρεσίες) και άλλες φορές σαν απομακρυσμένη συσκευή η οποία απαντάει σε αιτήσεις άλλων.

2.4.3 Αποτίμηση του Πρωτόκολλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών του Bluetooth

Το Bluetooth Profile Specification [59] στο οποίο και καθορίζεται το Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών (SDP - Service Discovery Protocol), κάνει μια σημαντική παραδοχή ότι μια συσκευή μπορεί να θεωρείται σαν *τοπική* μόνο εάν διαθέτει διεπαφή επικοινωνίας με το χρήστη (UI - User Interface) και ότι παρόλο που μια συσκευή μπορεί να διαθέτει όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά για να χαρακτηριστεί σαν τοπική και να εκκινεί διαδικασία αναζήτησης, ο χρήστης είναι τελικά αυτός ο οποίος δίνει μια τέτοια εντολή. Κατά συνέπεια εάν δε διαθέτει μια συσκευή διεπαφή επικοινωνίας με το χρήστη, τελικά δε θα εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία.

Εμείς θεωρούμε λανθασμένη μια τέτοια παραδοχή καθώς τη θεωρούμε υπερβολικά "ανθρωποκεντρική", η οποία δε λαμβάνει υπόψιν σενάρια όπως αυτά που θα αναπτύξουμε εκτενέστερα στο κεφάλαιο 4.2.1, δηλαδή δεν λαμβάνει υπόψιν το ενδεχόμενο οι αιτήσεις για ανακάλυψη υπηρεσιών να μην προέρχονται απαραίτητα από το χρήστη αλλά από άλλες υπηρεσίες ή εφαρμογές. Η παραδοχή αυτή είναι σημαντική γιατί βλέπουμε ότι εν τέλει καταλήγει να επιδρά στη σχεδίαση του SDP. Αυτή η παραδοχή/θεώρηση πηγάζει από τον αρχικό σκοπό του Bluetooth ο οποίος ήταν η αντικατάσταση των καλωδίων και όχι τόσο η δυναμική δικτύωση συσκευών, οπότε θεωρούσε ότι είναι προτιμότερη η καλή απόδοση του Bluetooth σε θέματα ταχύτητας μετάδοσης κατά τη διάρκεια της σύνδεσης και όχι η όσο το δυνατόν ταχύτερη ανακάλυψη συσκευών/υπηρεσιών.

Ένα τέτοιο πρωτόκολλο το οποίο δεν είναι σχεδιασμένο να χρησιμοποιείται από άλλα προγράμματα αλλά πρωτίστως από το χρήστη, δεν λαμβάνει υπόψιν όσο θα έπρεπε ζητήματα απόδοσης. Ένας χρήστης για παράδειγμα εκκινεί σε μια συσκευή μια διαδικασία αναζήτησης υπηρεσιών και είναι διατεθειμένος -επειδή έτσι έχει συνηθίσει από την καθημερινή πρακτική- να περιμένει μερικά δευτερόλεπτα έως ότου ολοκληρωθεί η αναζήτηση. Επίσης, όσο διαρκεί η αναζήτηση δεν είναι πιθανό να ξεκινήσει και άλλες διαδικασίες αναζήτησης και επιπλέον, δεν αναμένεται να αναζητάει πολύ συχνά και επαναλαμβανόμενα τις διαθέσιμες υπηρεσίες αλλά πιθανότατα θα μεσολαβούν μεγάλα διαστήματα μεταξύ των αναζητήσεων.

Αντίθετα, όταν την διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών την εκκινεί/χρησιμοποιεί κάποιο πρόγραμμα μπορεί να γίνεται πολύ συχνά, μπορεί να υπάρχουν πολλά προγράμ-

ματα (εφαρμογές/υπηρεσίες) τα οποία ταυτόχρονα ζητούν να ανακαλύψουν άλλες διαθέσιμες υπηρεσίες και τέλος εάν μια τέτοια διαδικασία ανακάλυψης διαρκεί χρόνο της τάξης των αρκετών δευτερολέπτων, αυτόματα γίνεται κρίσιμος παράγοντας για την ταχύτητα και την αποδοτικότητα των εν λόγω προγραμμάτων.

2.5 Αποτίμηση των χαρακτηριστικών του Bluetooth

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά του Bluetooth βλέπουμε ότι υπάρχουν μια πληθώρα προβλημάτων που δυσχεραίνουν τη λειτουργία του και την απόδοσή του, ιδιαίτερα όταν επιθυμούμε αποδοτική ανακάλυψη υπηρεσιών, με βάση τις παραμέτρους που ορίζουμε στην ενότητα 5.2.1.

Όπως είδαμε, λόγω της εγγενούς σχεδίασης του Bluetooth και την διαπίστωση ότι δεν σχεδιάστηκε τόσο για την δυναμική δικτύωση των συσκευών όσο για την απλή διασύνδεσή τους, για να ανακαλυφθούν οι διαθέσιμες υπηρεσίες πρέπει καταρχήν να ανακαλυφθούν οι συσκευές που υπάρχουν σε εμβέλεια, το οποίο επιβάλλει μια καθυστέρηση της τάξης των αρκετών δευτερολέπτων (βλ. ενότητα 2.3.2). Έπειτα, πρέπει να ανοίξει μια σύνδεση με την απομακρυσμένη συσκευή η οποία επίσης είναι χρονοβόρα διαδικασία (βλ. ενότητα 4.2.3) και κατόπιν να λάβει χώρα αυτό καθ' εαυτό το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών.

Όπως είδαμε, μια συσκευή δε μπορεί ταυτόχρονα να βρίσκεται σε πολλές καταστάσεις. Για παράδειγμα, όταν βρίσκεται σε κατάσταση σύνδεσης (connected, βλ. ενότητα 2.3.6) πρέπει να μεταβεί σε κατάσταση αναζήτησης (inquiry, βλ. ενότητα 2.3.2) προκειμένου να εκτελέσει μια αναζήτηση για άλλες συσκευές, το οποίο ενδέχεται να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί αρκετά γρήγορα ή ενδέχεται να μη μπορεί να πραγματοποιηθεί καθόλου. Σε μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε και θα αναλύσουμε εκτενώς στην ενότητα 4.2.1 είδαμε ότι όταν το Bluetooth είναι σε κατάσταση σύνδεσης, υπάρχει πρόβλημα στο να μεταβεί περιοδικά σε κατάσταση ανίχνευσης για αναζήτηση συσκευών το οποίο είναι απαραίτητο προκειμένου να ανακαλυφθεί από άλλες συσκευές.

Αυτό συνεπάγεται ότι όταν μια συσκευή συμμετέχει σε ένα μικροδίκτυο, με μεγάλη πιθανότητα δε μπορεί να γίνει αντιληπτή από τις άλλες συσκευές παρόλο που μπορεί να είναι σε ικανοποιητική εμβέλεια. Επιπλέον, πιθανότατα θα χρειάζεται μακρόχρονη αναζήτηση προκειμένου να ανακαλυφθεί και μάλιστα χωρίς κάποια εξασφάλιση βεβαιότητας ότι τελικά θα ανακαλυφθεί.

Λόγω της τοπολογίας αστέρα που επιβάλλουν τα μικροδίκτυα στο Bluetooth, δε μπορούν οι υποτελείς συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Οι υποτελείς συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μόνο με την κύρια συσκευή στο δικό τους μικροδίκτυο. Αυτό συ-

νεπάγεται ότι παρόλο που ενδέχεται να υπάρχει σε εμβέλεια κάποια συσκευή η οποία διαθέτει την υπηρεσία για την οποία ψάχνει κάποια άλλη συσκευή, αν δεν είναι στο ίδιο μικροδίκτυο δε θα μπορεί να εκτελεστεί το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών (service discovery protocol) καθώς όπως είδαμε στην ενότητα 2.4 απαιτείται σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών.

Επιπλέον, το γεγονός ότι όταν εκτελείται το SDP ανοίγει συνδέσεις, επιβαρύνει ακόμα περισσότερο την απόδοση του SDP καθώς όποτε δημιουργούνται καινούρια μικροδίκτυα προκαλείται ένα φαινόμενο φαύλου κύκλου: λόγω της δημιουργίας καινούριων ζευγών συσκευών κύριος υποτελής και την αδυναμία άλλων συσκευών να ανακαλύψουν την υπηρεσία για την οποία ψάχνουν, εκτελούν ολοένα και περισσότερες αναζητήσεις (δηλαδή βρίσκονται σε κατάσταση αναζήτησης) οπότε άλλες συσκευές δε μπορούν να συνδεθούν μαζί τους κ.ό.κ. Επιπλέον, αν καταφέρουν να συνδεθούν δημιουργούν καινούρια μικροδίκτυα τα οποία λόγω των ρόλων κύριος/υποτελής που δημιουργούνται περιορίζουν τη συνολική δυνατότητα συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών.

Ανακάλυψη υπηρεσιών σε δίκτυα

Μελετώντας το πρόβλημα της ανακάλυψης υπηρεσιών σε δίκτυα προσωπικής περιοχής, είναι βασικό να ορίσουμε τι εννοούμε με τον όρο υπηρεσία. Σαν υπηρεσία ορίζεται κάθε εφαρμογή η οποία διαθέτει ένα σύνολο καλά ορισμένων διεπαφών μέσω των οποίων μπορούν να εκτελέσουν κάποιους υπολογισμούς ή κάποιες λειτουργίες εκ μέρους κάποιων άλλων εφαρμογών-πελατών. Για την επικοινωνία μεταξύ υπηρεσιών και πελατών χρησιμοποιείται κάποιο μέσο επικοινωνίας το οποίο ποικίλλει, και συνήθως είναι κάποιο είδος δικτύου (π.χ. Internet, Bluetooth) για το οποίο διατίθεται κάποιο πρωτόκολλο μέσω του οποίου διεξάγεται η επικοινωνία (π.χ. Internet Protocol, Bluetooth Protocol Specification).

Για παράδειγμα, μια υπηρεσία θα μπορούσε να είναι μια *"υπηρεσία εκτύπωσης"* και χρησιμοποιώντας ένα καθορισμένο πρωτόκολλο να μπορεί μια εφαρμογή/συσκευή να στείλει κάποια δεδομένα προς εκτύπωση. Εάν η εφαρμογή αυτή δεν γνώριζε για την ύπαρξη κάποιας υπηρεσίας εκτύπωσης, θα ήταν χρήσιμο (ή και απαραίτητο) να υπάρχει ένας μηχανισμός ανακάλυψης των διαθέσιμων υπηρεσιών, στον οποίο μηχανισμό να απευθύνει ερωτήσεις της μορφής:

- Ερωτήσεις αναζήτησης με βάση κάποιο τύπο υπηρεσίας, π.χ. *"Βρες μια υπηρεσία εκτύπωσης"*
- Ερωτήσεις αναζήτησης με βάση κάποιο τύπο και κάποια χαρακτηριστικά, π.χ. *"Βρες μια υπηρεσία εκτύπωσης με δυνατότητα εκτύπωσης διπλής όψης"*
- Ερωτήσεις απαρίθμησης πολλών (ή όλων των) υπηρεσιών, π.χ. *"Βρες όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες εκτύπωσης"*
- Ερωτήσεις αναζήτησης συγκεκριμένης υπηρεσίας, π.χ. *"Βρες την υπηρεσία εκτύπωσης DSL-LASER2"*

Επειδή η παρούσα εργασία εστιάζει σε υπηρεσίες πάνω από δίκτυα Bluetooth, στο κεφάλαιο αυτό μελετάμε κυρίως τις σχετικές εργασίες που έχουν γίνει για θέματα που αφορούν το Bluetooth ή για άλλα δίκτυα (π.χ. IP) στα οποία η αρχιτεκτονική και οι σχεδιαστικές τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι σε άμεση συνάφεια με το Bluetooth Service Discovery Protocol το οποίο προσπαθούμε να βελτιώσουμε στο κεφάλαιο 4.2.1.

Στη συνέχεια εξετάζουμε άλλα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών και αρχιτεκτονικές συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για ανακάλυψη υπηρεσιών στο Internet, καθώς επίσης συγκεκριμένες εργασίες που έχουν εστιασθεί στην βελτίωση του Bluetooth SDP αλλά και στη βελτίωση του Bluetooth εν γένει και κυρίως στους τομείς που επηρεάζουν το SDP, όπως η συνδεσιμότητα, η ανακάλυψη συσκευών και υπηρεσιών, η ταχύτητα κ.ά.

3.1 Διομότιμα συστήματα (peer-to-peer)

Ένα πεδίο που σχετίζεται αρκετά με τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών είναι τα *διομότιμα συστήματα (peer-to-peer)* [35] [53] [64] [66] [23] τα οποία επίσης χρησιμοποιούν διάφορα πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές για τον εντοπισμό πληροφοριών, αρχείων, πόρων, υπηρεσιών. Περισσότερο γνωστά είναι τα διομότιμα συστήματα ανταλλαγής αρχείων, παρόμοιες όμως τεχνικές χρησιμοποιούν όλα σχεδόν τα διομότιμα συστήματα. Στα συστήματα που αναλύουμε παρακάτω αναφερόμαστε γενικά σε αναζητούμενη "πληροφορία" χάριν της γενικότητας, όπου αυτή η πληροφορία θα μπορούσε να είναι ένα URL για ανάκτηση ενός αρχείου (ή και το ίδιο το αρχείο), μια υπηρεσία ή οτιδήποτε άλλο.

Επειδή ο στόχος και οι προτεραιότητες των συστημάτων αυτών συχνά διαφέρει από τους αντίστοιχους στόχους ενός πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών, οι σχεδιαστικές λύσεις και παράμετροι δεν είναι κατάλληλες για να μεταφερθούν αυτούσιες σε ένα τέτοιο πρωτόκολλο. Παρακάτω παρουσιάζουμε μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα λόγω των αρχιτεκτονικών και πρωτοκόλλων ανακάλυψης πληροφοριών που χρησιμοποιούν, ώστε να διακρίνουμε τεχνικές οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σε ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από την πλατφόρμα Bluetooth.

Διακρίνουμε δύο διαφορετικές κατηγορίες διομότιμων συστημάτων ανάλογα με τον τρόπο της υλοποίησής τους

- Συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν σαν βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής τους την τοπολογία του δικτύου και ο τρόπος δημοσιοποίησης/αναζήτησης της πληροφορίας εξαρτάται από την τοπολογία αυτή
- Συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν σαν κυριότερο στοιχείο της αρχιτεκτονικής

τους την ίδια την πληροφορία που διαχειρίζονται και ο τρόπος δημοσιοποίησης/αναζήτησης της πληροφορίας εξαρτάται από την ίδια την πληροφορία

3.1.1 Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην τοπολογία του δικτύου

Στα διομότιμα συστήματα που χρησιμοποιούν την τοπολογία του δικτύου σαν μέσο για την δημοσιοποίηση/αναζήτηση της πληροφορίας, ο παράγοντας που κατηγοριοποιεί τα συστήματα είναι ο βαθμός συγκεντρωτικότητας ή πλήρους κατανομής του δικτύου ανάλογα με το είδος της διασύνδεσης που υπάρχει μεταξύ των κόμβων ενός τέτοιου συστήματος.

Διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες συστημάτων

- Συγκεντρωτικά
- Πλήρως κατανεμημένα
- Υβριδικά

3.1.1.1 Συγκεντρωτικά συστήματα

Στα συγκεντρωτικά (ή ιεραρχικά) συστήματα διακρίνουμε μια πλήρη ιεράρχηση των κόμβων μεταξύ τους με ένα ή περισσότερα επίπεδα ιεράρχησης, όπου η τοπολογία προσομοιάζει περισσότερο σε δενδρική δομή. Θα μπορούσε να τεθεί το εύλογο ερώτημα πώς μια δενδρική ή γενικά μια ιεραρχημένη δομή χρησιμοποιείται για διασύνδεση ανάμεσα σε -θεωρητικά- ισότιμους κόμβους. Η ιεραρχική αυτή δομή χρησιμοποιείται κυρίως για δημοσιοποίηση/αναζήτηση της πληροφορίας, ενώ η ανάκτηση γίνεται συνήθως απευθείας από τον κόμβο ο οποίος διαθέτει την ζητούμενη πληροφορία. Η ιεράρχηση αυτή λοιπόν χρησιμεύει κυρίως για να επιμερίζεται το κόστος στους κόμβους και παράλληλα να υπάρχουν κάποιοι "κεντρικοί" κόμβοι οι οποίοι να μπορούν να έχουν συνολικό έλεγχο σε όλο το σύστημα. Τα συστήματα αυτά είναι απλά και λειτουργικά, όμως προφανές μειονέκτημα σε αυτούς τους είδους τις αρχιτεκτονικές είναι ότι κάποιοι κόμβοι επιφορτίζονται με καιρίο ρόλο και αποτελούν κρίσιμα σημεία του συστήματος τόσο σαν τροχοπέδη της απόδοσης αλλά και -κυρίως- στην ανοχή του συστήματος σε βλάβες. Παραδείγμα συγκεντρωτικού διομότιμου συστήματος αποτελεί το σύστημα Napster [28] το οποίο χρησιμοποιείται για ανταλλαγή αρχείων μεταξύ χρηστών πάνω από το διαδίκτυο. Στο Napster υπάρχουν κάποιοι κεντρικοί εξυπηρετητές στους οποίους συλλέγονται πληροφορίες από όλους τους χρήστες για τα διαθέσιμα αρχεία και οι αιτήσεις αναζήτησης των χρηστών απευθύνονται σε αυτούς τους κεντρικούς εξυπηρετητές, με όλα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία προαναφέραμε.

3.1.1.2 Πλήρως καταναμημένα συστήματα

Στα πλήρως καταναμημένα συστήματα η διασύνδεση ανάμεσα στους κόμβους αποτελεί συνήθως μια μορφή γράφου, όχι απαραίτητα συνεκτικού, όπου οι κόμβοι συνδέονται με κάποιους γειτονικούς κόμβους και έχουν μια πολύ περιορισμένη γνώση για ένα μικρό τμήμα από τον πλήρες γράφο. Σε τέτοια πλήρως καταναμημένα συστήματα, ο πιο συνήθης τρόπος για αναζήτηση/δημοσιοποίηση της πληροφορίας είναι η αποστολή μαζικών μηνυμάτων σε πολλούς αποδέκτες (broadcast) ώστε σταδιακά το μήνυμα να φτάσει στους ενδιαφερόμενους αποδέκτες. Αυτή η μαζική κοινοποίηση συνοδεύεται από μια ένδειξη που επισημαίνει πόσο είναι το επιθυμητό *μέγιστο βάθος αναζήτησης* (TTL - Time To Live), δηλαδή το μέγιστο μήκος μονοπατιού από κόμβους που θα πρέπει να προωθείται η αίτηση πριν απορριφθεί, ώστε να περιορίζεται η χρήση του δικτύου. Η τεχνική αυτή έχει το πολύ μεγάλο μειονέκτημα ότι επιβαρύνει πάρα πολύ το δίκτυο και καταναλώνει πολλούς πόρους χωρίς μάλιστα καμία εγγύηση για την αποτελεσματικότητά της, ενώ εμφανίζει και μεγάλη καθυστέρηση έως ότου τα μηνύματα φτάσουν στους ενδιαφερόμενους αποδέκτες.

Τυπικό σύστημα αυτής της κατηγορίας αποτελεί το πρωτόκολλο Gnutella [24] [25], του οποίου υπάρχουν αρκετές υλοποιήσεις. Το Gnutella είναι ένα πρωτόκολλο για την επικοινωνία ομότιμων κόμβων πάνω από το Internet για ανταλλαγή αρχείων, στο οποίο δεν υπάρχει καμιά μορφή οργάνωση ή ιεραρχία. Οι κόμβοι συνδέονται μέσω κάποιου αρχικού - αυθαίρετου- συνόλου κόμβων στο υπόλοιπο δίκτυο Gnutella και κατόπιν σταδιακά μέσω αυτού του αρχικού συνόλου μαθαίνει για την ύπαρξη και άλλων κόμβων. Οι αιτήσεις για κάποιο αρχείο αποστέλλονται σε όλους τους γνωστούς κόμβους, οι οποίοι με τη σειρά τους προωθούν την αίτηση σε όλους τους γνωστούς τους κόμβους κ.ό.κ. και εάν κάποιος κόμβος διαθέτει το αναζητούμενο αρχείο απαντάει στον αρχικό κόμβο και του το στέλνει.

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αλγόριθμοι επιλεκτικής μαζικής κοινοποίησης (selective broadcast) οι οποίοι προσπαθούν να μειώσουν το κόστος της μαζικής κοινοποίησης και ταυτόχρονα να βελτιώσουν την απόδοση σε χρόνο απόκρισης του συστήματος. Στην εργασία [65] παρουσιάζονται τρεις τέτοιες τεχνικές

- Σταδιακή εμβάθυνση (iterative deepening)

Η τεχνική αυτή προτείνει την κοινοποίηση της αίτησης αναζήτησης αρχικά στους γειτονικούς κόμβους, με όριο μεγίστου μονοπατιού (TTL) το οποίο αρχικά είναι μικρό και το οποίο σταδιακά μεγαλώνει εάν δεν υπάρξουν αποτελέσματα από τις προηγούμενες αναζητήσεις. Με τη σταδιακή αύξηση του TTL αυξάνει και το μέγιστο "βάθος" αναζήτησης προς τους γειτονικούς κόμβους.

- Κατευθυνόμενη αναζήτηση (directed BFS)

Η τεχνική αυτή προτείνει την κοινοποίηση της αίτησης σε ένα μικρό υποσύνολο από τους γειτονικούς κόμβους, επιλεγμένο έτσι ώστε στατιστικά να υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να απαντήσουν επιτυχώς στην αίτηση. Η επιλογή του υποσυνόλου γίνεται κρατώντας στατιστικό ιστορικό των γειτονικών κόμβων, με βάση τις επιτυχημένες απαντήσεις που επέστρεψαν στο παρελθόν.

- Τοπικού ευρετηριασμού (local indices)

Η τεχνική αυτή προτείνει να διατηρεί κάθε κόμβος ένα ευρετήριο για τις διαθέσιμες πληροφορίες των γειτονικών του κόμβων (μέχρι κάποια ακτίνα r), έτσι ώστε να μπορεί να ανακαλύψει μέσω αυτού απευθείας εάν κάποιος από τους κόμβους αυτού διαθέτει κάποια πληροφορία χωρίς να στέλνει αιτήσεις στο δίκτυο.

Από την πειραματική αποτίμηση των παραπάνω μεθόδων στην προαναφερθείσα έρευνα προέκυψε ότι σε σύγκριση με την απλή μαζική κοινοποίηση (mass broadcast), η τεχνική του τοπικού ευρετηριασμού προσφέρει πολύ καλές επιδόσεις σε αξιοπιστία αποτελεσμάτων, ταχύτητα και κόστος σε χρήση δικτύου με το μειονέκτημα όμως τόσο της αυξημένης πολυπλοκότητας όσο και της δυσκολίας να συντηρούνται συνεπή τα τοπικά ευρετήρια. Από τις άλλες δύο τεχνικές, η τεχνική της κατευθυνόμενης αναζήτησης επιτυγχάνει καλύτερο μέσο χρόνο απόκρισης και καλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα της αναζήτησης, ενώ η τεχνική της σταδιακής εμβάθυνσης κάνει καλύτερη (οικονομικότερη) χρήση του δικτύου.

3.1.1.3 Υβριδικά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα ή συστήματα *υπερ-κόμβων* (super nodes, super peers) αποτελούν ένα συνδυασμό των συγκεντρωτικών και των πλήρως καταναμημένων συστημάτων, προσπαθώντας να συγκεράσουν τα θετικά στοιχεία από κάθε πλευρά. Όπως είδαμε αποτελεί μειονέκτημα η ύπαρξη κεντρικών κόμβων με αυξημένες ευθύνες, ιδιαίτερα σε δυναμικά, αυτόνομα δίκτυα στα οποία κόμβοι μπορούν να προστίθενται ή να αφαιρούνται αυθαίρετα. Επίσης, η πλήρως καταναμημένη οργάνωση ενός δικτύου δυσχεραίνει την αξιόπιστη και αποδοτική από πλευράς ταχύτητας και κόστους επικοινωνίας συλλογή πληροφοριών. Έτσι λοιπόν ένα υβριδικό μοντέλο των παραπάνω συστημάτων είναι αυτό κατά το οποίο κάποιοι κόμβοι οι υπερ-κόμβοι, αναλαμβάνουν την "εποπτεία" και συλλογή πληροφοριών από μικρά υποσύνολα γειτονικών κόμβων με σκοπό να προσφέρουν υπηρεσίες συγκεντρωτικής αναζήτησης σε άλλους κόμβους, σαν μεσάζοντες. Το ουσιαστικό στοιχείο όμως είναι ότι οι υπερ-κόμβοι δεν είναι υποχρεωτικά υπεύθυνοι για τους υπόλοιπους κόμβους από τους οποίους συλλέγουν πληροφορίες και διατηρείται έτσι η αυτονομία των επιμέρους κόμβων του δικτύου, μπορούν να υπάρχουν αλληλο-επικαλυπτόμενα σύνολα κόμβων και οι υπερ-

κόμβοι να εμφανίζονται ή να καταστρέφονται κατά το δοκούν χωρίς επιπτώσεις για την λειτουργία του συστήματος. Οι υπερ-κόμβοι δεν είναι οντότητες διαφορετικές από τους απλούς κόμβους αλλά όμοιοι οι οποίοι είναι επιφορτισμένοι με κάποιες επιπλέον λειτουργίες. Οι υπερ-κόμβοι μεταξύ τους ακολουθούν μια διασύνδεση και τοπολογία παρόμοια με ενός πλήρως κατανεμημένου συστήματος καθώς συνήθως ο αριθμός τους είναι σχετικά μικρός και μπορεί πιο εύκολα μεταξύ τους να υπάρξει αποδοτική επικοινωνία.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι το Morpheus [27] και το Kazaa [26] τα οποία είναι φτιαγμένα χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία. Πρόκειται για συστήματα ανταλλαγής αρχείων τα οποία ακολουθούν την παραπάνω αρχιτεκτονική, δηλαδή ένα δίκτυο από ομότιμους κόμβους μέσα στους οποίους υπάρχουν κάποιοι υπερ-κόμβοι με αυξημένες δυνατότητες. Οι υπερ-κόμβοι είναι απλοί κόμβοι οι οποίοι "προάγονται" σε υπερ-κόμβους εάν πληρούν κάποιες προϋποθέσεις σε τομείς όπως η επεξεργαστική ισχύς, η διαθέσιμη μνήμη του συστήματος, η πρόσβαση σε ευρεία σύνδεση δικτύου και άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα ώστε ο υπερ-κόμβος να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του ρόλου του χωρίς να αποτελεί τροχοπέδη για τη λειτουργία του συστήματος. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου είναι δυνατόν ένας απλός κόμβος να προάγεται σε υπερ-κόμβο ή και το αντίστροφο. Οι απλοί κόμβοι των δικτύων Kazaa και Morpheus όταν συνδέονται στο δίκτυο εντοπίζουν κάποιους υπερ-κόμβους στους οποίους και γνωστοποιούν την ύπαρξή τους καθώς και τα διαθέσιμα αρχεία τους. Όταν κάποιος κόμβος αναζητεί κάποιο αρχείο, απευθύνει την αίτηση σε κάποιο υπερ-κόμβο ο οποίος μπορεί να του υποδείξει εάν υπάρχει κάποιος κόμβος που το διαθέτει.

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από επιδόσεις αρκετά καλύτερες από δίκτυα που στηρίζονται στο πρωτόκολλο Gnutella λόγω της ημι-ιεραρχικής δομής που ακολουθούν και της μειωμένης (μη αλόγιστης) χρήσης του δικτύου και ταυτόχρονα δεν έχουν κεντρικοποιημένη οργάνωση η οποία να αποτελεί τροχοπέδη στην απόδοση και παράγοντα αποδιοργάνωσης του δικτύου σε περίπτωση βλάβης.

3.1.2 Αρχιτεκτονικές βασισμένες στην πληροφορία

Σε αντίθεση με τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τοπολογία του δικτύου, είτε του φυσικού δικτύου είτε του νοητού που σχηματίζουν οι κόμβοι μέσω των συνδέσεων, υπάρχουν και τα συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια την πληροφορία σαν μέσο οργάνωσης αλλά και αναζήτησης. Η λογική των συστημάτων αυτών είναι να διαμοιράζεται στους διαθέσιμους κόμβους ένα *πεδίο ευθύνης*, δηλαδή ένα υποσύνολο της συνολικά διαθέσιμης πληροφορίας, με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε κόμβος να μπορεί να εντοπίσει τον κόμβο ο οποίος διαθέτει την πληροφορία ή έστω κάποιο κόμβο ο οποίος να μπορεί να τον παραπέμψει κατάλληλα ώστε

τελικά να εντοπίσει το αρχείο/πληροφορία που αναζητάει. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν κάποιο αλγόριθμο ο οποίος καθορίζει το πεδίο ευθύνης για κάθε κόμβο, τον τρόπο με τον οποίο μπορούν οι υπόλοιποι κόμβοι να εντοπίσουν τον κόμβο αυτό καθώς επίσης πώς το σύστημα διατηρείται σε συνεπή κατάσταση καθώς εισέρχονται και αποχωρούν κόμβοι, οπότε αντίστοιχα μεταβάλλεται και το πεδίο ευθύνης καθενός.

Παρόλο που αυτά τα συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε δυναμικά και μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, εντούτοις η σχεδίασή τους ανταποκρίνεται περισσότερο στη λογική ενός μηχανισμού ευρετηριασμού και εντοπισμού της πληροφορίας (lookup service) και λιγότερο σε μια υπηρεσία ανακάλυψης σε ένα πλήρως δυναμικό περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά περιέχουν έμφυτη την παραδοχή ότι μπορεί εν τέλει να χρειάζεται ένα μονοπάτι αναζήτησης ανάμεσα σε πολλούς κόμβους για να εντοπιστεί τελικά η αναζητούμενη πληροφορία, το οποίο όμως σε ένα περιβάλλον όπως για παράδειγμα το Bluetooth δεν είναι αυτονόητο ότι μπορεί να λειτουργήσει απροβλημάτιστα, καθώς θα έπρεπε να συντρέχουν παράγοντες όπως η εμβέλεια των συσκευών, η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους και η δυνατότητα να αναδιοργανώνεται ταχύτατα το πεδίο ευθύνης τους, τα οποία όπως είδαμε στην ενότητα 2 δεν είναι έννοιες αυτονόητες στο Bluetooth.

3.2 Πρωτόκολλα Ανακάλυψης Υπηρεσιών (Service Discovery Protocols)

Το θέμα της ανακάλυψης υπηρεσιών δεν είναι καινούριο ερευνητικό θέμα. Υπάρχουν αρκετές εργασίες στον τομέα αυτό, οι οποίες καλύπτουν διαφορετικές πτυχές σε μεγάλο εύρος των αναγκών που υπάρχουν σε αυτή την περιοχή. Παρόλο που η εργασία μας ασχολείται με επεκτάσεις και βελτιώσεις στο SDP του Bluetooth, είναι σημαντικό να μελετήσουμε την αρχιτεκτονική αντίστοιχων συστημάτων σε άλλες πλατφόρμες ώστε να δούμε ποια είναι τα σημαντικά και πρωτότυπα χαρακτηριστικά τους, τα οποία θα μπορούσαν πιθανόν να χρησιμοποιηθούν και στο Bluetooth.

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα πιο σημαντικά πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

3.2.1 SLP

Το SLP [33] είναι ένα πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε από το IETF¹ για ανακάλυψη υπηρεσιών πάνω από δίκτυα IP. Παρόμοια με το Bluetooth SDP (βλ. ενότητα 2.4), υποστηρί-

¹Internet Engineering Task Force

ζει λειτουργίες ανακάλυψης υπηρεσιών με βάση το είδος της αναζητούμενης υπηρεσίας ή διάφορες ιδιότητες και χαρακτηριστικά της υπηρεσίας αυτής και ακόμα υποστηρίζει υπηρεσία φυλλομέτρησης (browsing), δηλαδή μαζική αναζήτηση για όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας IP multicast. Για την ανακάλυψη των υπηρεσιών ακολουθεί τις παρακάτω μεθοδολογίες

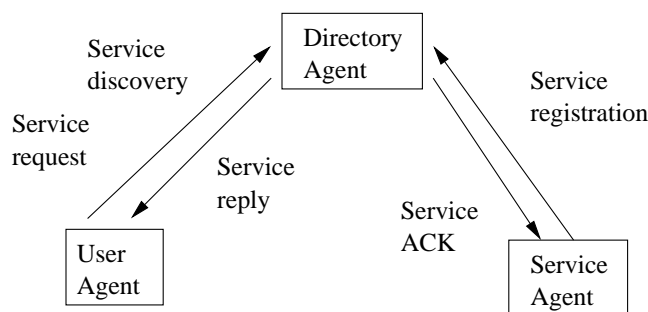
- *Ενεργή αναζήτηση (active / pull)* Αναζήτηση χρησιμοποιώντας multicast και στέλνοντας μηνύματα αιτήσεων προς άλλους εξυπηρετητές, δηλαδή μηνύματα με τα οποία ζητάει να μάθει την -πιθανή- ύπαρξη κάποιων υπηρεσιών
- *Παθητική αναζήτηση (passive / push)* Αναζήτηση χρησιμοποιώντας multicast και στέλνοντας μηνύματα προς άλλους εξυπηρετητές στα οποία διαφημίζει τις υπηρεσίες που διαθέτει ο τοπικός εξυπηρετητής, δηλαδή γνωστοποίηση της ύπαρξης των τοπικών υπηρεσιών και των χαρακτηριστικών τους

Οι μεθοδολογίες αυτές εξάλλου ακολουθούνται από την πλειοψηφία των πρωτοκόλλων αναζήτησης υπηρεσιών, είτε η μία από αυτές είτε και οι δύο.

Οι κυριότεροι ρόλοι -αρχιτεκτονικά υποσυστήματα- του SLP είναι

- *Πράκτορας Πελάτη (UA - User Agent)* Ο πελάτης ο οποίος αναζητάει κάποια υπηρεσία
- *Πράκτορας Εξυπηρετητή (SA - Service Agent)* Ο εξυπηρετητής ο οποίος προσφέρει κάποια υπηρεσία
- *Πράκτορας Μεσάζοντα (DA - Directory Agent)* Ο μεσάζοντας ο οποίος μπορεί να μεσολαβεί ανάμεσα σε ένα UA και τον SA

ενώ και οι κυριότερες λειτουργίες φαίνονται στο σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1: Κυριότερες δοσοληψίες στο πρωτόκολλο SLP

Όπως προαναφέραμε, το SLP έχει σχεδιαστεί για λειτουργία πάνω από δίκτυα IP. Στα συνηθισμένα σενάρια χρήσης του SLP, ένας UA στέλνει μια αίτηση μέσω multicast στο τοπικό

υποδίκτυο και οι SA απαντούν στα μηνύματα αυτά όταν οι υπηρεσίες τους ανταποκρίνονται στα ζητούμενα χαρακτηριστικά της αίτησης. Σε πιο προχωρημένα σενάρια στα οποία ζητούμενο είναι η εξοικονόμηση εύρους (bandwidth) στο δίκτυο, χρησιμοποιείται ο ρόλος του DA. Στον DA εγγράφουν οι SA τις διαθέσιμες από αυτούς υπηρεσίες και σε αυτόν απευθύνονται οι πελάτες για να εντοπίσουν τις υπηρεσίες που αναζητούν. Την ύπαρξη του DA μπορούν να μάθουν οι πράκτορες πελάτη (UA) και πράκτορες εξυπηρετητή (SA) είτε με την προηγούμενη μέθοδο (της αναζήτησης με multicast) είτε με προκαθορισμένη ρύθμισή του από το χρήστη.

3.2.2 Jini

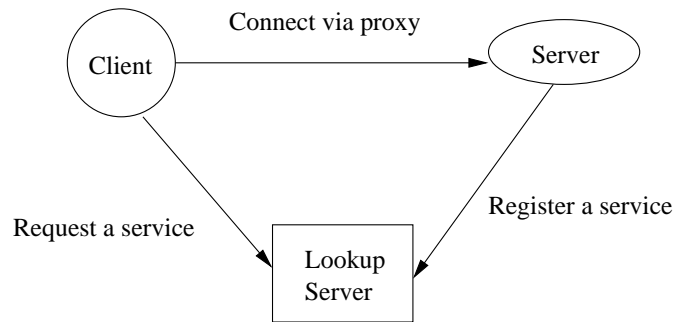
Το σύστημα Jini [45] είναι μια επέκταση της γλώσσας προγραμματισμού Java και αναπτύχθηκε από την εταιρία Sun Microsystems. Δεν είναι πρωτόκολλο όπως το SLP, αλλά αποτελεί συγκεκριμένη πλατφόρμα, σε γλώσσα Java. Σε κάθε συσκευή Jini, δηλαδή σε κάθε συσκευή η οποία θέλει να είναι μέρος του συστήματος Jini και να ανακαλύπτει ή να προσφέρει υπηρεσίες, πρέπει απαραίτητα να τρέχει μια Java Virtual Machine (JVM) καθώς η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών γίνεται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία RMI (Remote Method Invocation) της Java.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος είναι παρόμοια με την αρχιτεκτονική του SLP, δηλαδή οι βασικές οντότητες οι οποίες ορίζονται από το πρωτόκολλο είναι

- Οι συσκευές-πελάτες, οι οποίες ενδιαφέρονται να εντοπίσουν και να χρησιμοποιήσουν κάποια υπηρεσία μέσω της διεπαφής που προσφέρει η πλατφόρμα Jini
- Οι συσκευές-εξυπηρετητές, οι οποίες διαθέτουν διάφορες υπηρεσίες προς χρήση από πελάτες
- Οι συσκευές-εξυπηρετητές οι οποίες προσφέρουν υπηρεσία *Πίνακα Ανεύρεσης (Lookup Service)*

Οι παραπάνω οντότητες είναι -όπως και στα περισσότερα αντίστοιχα πρωτόκολλα- απλώς ιδεατοί διαχωρισμοί οι οποίοι αποδίδονται στις συσκευές ανάλογα με τις λειτουργίες που επιτελούν κάθε δεδομένη στιγμή. Στην πραγματικότητα οι συσκευές μπορούν ταυτόχρονα να είναι πελάτες και εξυπηρετητές ή να παρέχουν και υπηρεσία Πίνακα Αντιστοιχίσεως.

Οι συσκευές εγγράφονται σε ένα δίκτυο Jini χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται *Discovery and Join* (Ανακάλυψη και Συνένωση). Το Jini ορίζει ένα πρωτόκολλο με το οποίο γίνεται η ανακάλυψη των Πινάκων Ανεύρεσης σε ένα τέτοιο δίκτυο, παρόμοια με



Σχήμα 3.2: Κυριότερες δοσοληψίες στο πρωτόκολλο Jini

το SLP, με τεχνική multicast. Η συνένωση σε ένα δίκτυο Jini γίνεται με την εγγραφή μιας συσκευής-εξυπηρετητή σε Πίνακες Ανεύρεσης σε ένα εξυπηρετητή (server) που έχει επωμιστεί αυτή τη λειτουργία και η οποία είναι η αντίστοιχη πράξη της εγγραφής σε ένα DA στο SLP. Κατόπιν, στους Πίνακες Ανεύρεσης μπορούν να απευθύνονται άλλες συσκευές-πελάτες προκειμένου να ανακαλύψουν πληροφορίες για τις υπηρεσίες που αναζητούν. Οι λειτουργίες αυτές φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 3.2.

Μια βασική διαφορά του Jini με το SLP είναι ότι εκτός από πληροφορίες για τις υπηρεσίες και διευθύνσεις για επικοινωνία μαζί τους, το Jini παρέχει τη δυνατότητα να περιέχεται στο Lookup Table και κάποιο πρόγραμμα σε γλώσσα Java για αυτή την υπηρεσία. Αυτό το πρόγραμμα μπορεί να μεταφέρεται αυτόματα (χωρίς να το ζητήσει/ρυθμίσει ρητά ο πελάτης) στην JVM του πελάτη της υπηρεσίας και να λειτουργεί σαν πρόγραμμα-οδηγός (driver) εξασφαλίζοντας την σύνδεση και την επικοινωνία με την εν λόγω υπηρεσία, χωρίς να χρειάζεται κάποια άλλη εργασία από την πλευρά του χρήστη και αυξάνοντας έτσι την ευχρηστία του.

3.2.3 UPnP

Το πρωτόκολλο UPnP (Universal Plug and Play) [22, 17, 29] είναι ένα ανοικτό πρωτόκολλο το οποίο αναπτύχθηκε από ένα forum εταιριών του οποίου ηγείται η εταιρία Microsoft, με σκοπό να προωθήσει και να επεκτείνει την ήδη διαδεδομένη τεχνολογία της Plug and Play.

Το UPnP λειτουργεί μόνο πάνω από δίκτυα IP [10] και η βασική του διαφορά με το SLP και το Jini είναι ότι δεν υπάρχει κάποια κεντρική οντότητα στην οποία να εγγράφονται οι υπηρεσίες όπως ο Μεσάζων Πράκτορας στο SLP ή ο Πίνακας Ανεύρεσης στο Jini, οπότε είναι περισσότερο χρήσιμο και λειτουργικό για αυτόνομα δυναμικώς συντετιθέμενα δίκτυα (ad hoc networks). Για τη δημιουργία του στηρίχθηκε σε προϋπάρχοντα πρωτόκολλα και τεχνολογίες όπως HTTP, XML, SOAP και το πρωτόκολλο UPnP ουσιαστικά είναι ο συνεκτικός

ιστός μεταξύ των τεχνολογιών αυτών, με κάποιες επεκτάσεις όπου αυτό ήταν απαραίτητο. Το γεγονός ότι το UPnP στηρίζεται στα παραπάνω πρωτόκολλα και τεχνολογίες, το καθιστούν ικανό να λειτουργήσει πάνω από οποιαδήποτε συσκευή και πλατφόρμα καθώς είναι ανεξάρτητο γλώσσας προγραμματισμού.

Οι βασικές οντότητες στο UPnP είναι

- οι συσκευές
- οι υπηρεσίες
- τα σημεία ελέγχου

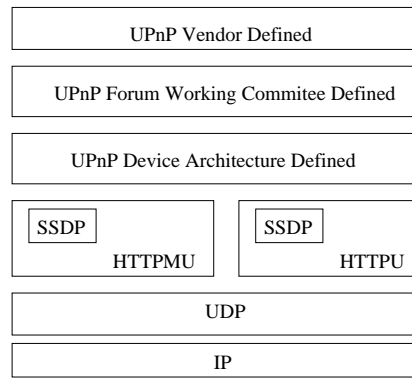
Μια συσκευή μπορεί να περιέχει υπηρεσίες ή άλλες ενσωματωμένες συσκευές. Μια υπηρεσία προσφέρει μέσω της περιγραφής της σε XML μια διεπαφή με την οποία άλλες υπηρεσίες ή εφαρμογές μπορούν να επικοινωνούν μαζί της. Ένα έγγραφο περιγραφής μιας συσκευής περιέχει URLs στις διαθέσιμες υπηρεσίες αυτής της συσκευής και στις περιγραφές τους. Ένα τέτοιο έγγραφο περιγραφής αποκτούν οι εφαρμογές-πελάτες του UPnP έπειτα από μια διαδικασία ανακάλυψης υπηρεσιών. Ένα σημείο ελέγχου είναι μια ξεχωριστή οντότητα λογισμικού που εκτελεί λειτουργίες όπως

- ανάκτηση εγγράφου περιγραφής μιας συσκευής
- ανάκτηση εγγράφου περιγραφής μιας υπηρεσίας
- κλήση μεθόδου μιας υπηρεσίας (method invocation)
- κ.ά.

Είναι αναμενόμενο ότι για να μπορούν οι συσκευές να λειτουργούν σαν ομότιμες κάθε συσκευή θα πρέπει να διαθέτει ένα τουλάχιστο σημείο ελέγχου.

Το UPnP αποτελείται από διάφορα υποσυστήματα από τα οποία επιφορτισμένο με την ανακάλυψη υπηρεσιών είναι το SSDP (Simple Service Discovery Protocol) [30]. Για την ανακάλυψη υπηρεσιών το SSDP χρησιμοποιεί μηνύματα των οποίων το περιεχόμενο ακολουθεί το συντακτικό και τις επικεφαλίδες του πρωτοκόλλου HTTP αλλά με ορισμένες επεκτάσεις οι οποίες δεν ακολουθούν το πρότυπο του πρωτοκόλλου. Οι επεκτάσεις αυτές ονομάζονται HTTPMU και HTTPU όταν αφορούν μηνύματα multicast ή unicast αντίστοιχα. Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται η στοίβα πρωτοκόλλων που συμμετέχουν στη διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών και η συσχέτιση του SSDP με αυτά.

Το SSDP αποτελείται από το πρόγραμμα-πελάτη (SSDP-client) και το πρόγραμμα-εξυπηρετητή (SSDP-server). Οι εφαρμογές που θέλουν να κάνουν μια αναζήτηση για υπηρεσίες στέλνουν μέσω του SSDP-client ένα πακέτο UDP multicast σε μια προκαθορισμένη



Σχήμα 3.3: Στοιβά χρησιμοποιούμενων πρωτοκόλλων στο UPnP για ανακάλυψη υπηρεσιών

διεύθυνση και αριθμό θύρας (port number) στην οποία υποχρεωτικά ακούν για μηνύματα οι SSDP-servers. Εάν οι υπηρεσίες που διαθέτει ένας SSDP-server ανταποκρίνονται στην αίτηση, τότε απαντάει με ένα unicast μήνυμα προς τον πελάτη που έκανε την αίτηση αναφέροντας τα στοιχεία της υπηρεσίας. Οι αρμοδιότητες του SSDP περιορίζονται στην ανακάλυψη των υπηρεσιών, ενώ για την περιγραφή, τη διασύνδεση και τις λοιπές λειτουργίες υπάρχουν άλλα υποσυστήματα τα οποία του UPnP τα οποία είναι υπεύθυνα, όπως το GENA, το SOAP κλπ.

3.2.4 Salutation

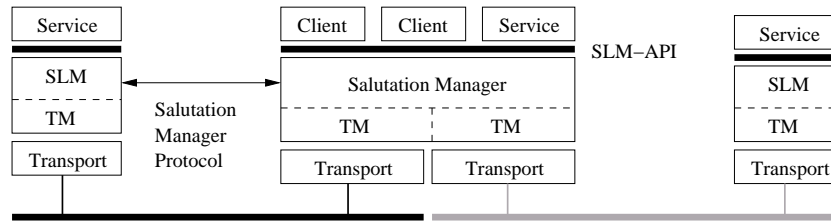
Το Salutation [15] είναι ακόμα ένα αρχιτεκτονικό σχήμα για ανακάλυψη υπηρεσιών το οποίο σχεδιάστηκε από μια ομάδα εταιριών, το Salutation Consortium².

Το Salutation είναι ανεξάρτητο πλατφόρμας και πρωτόκολλου επικοινωνίας και λειτουργεί πάνω από οποιοδήποτε δίκτυο, π.χ. TCP/IP, Bluetooth, IR³ κλπ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4 η αρχιτεκτονική ορίζει την οντότητα *Salutation Manager (SLM)* η οποία λειτουργεί σαν μεσάζοντας ανάμεσα σε υπηρεσίες, εφαρμογές και συσκευές τις οποίες συνολικά ονομάζει *δικτυωμένες οντότητες (Networked Entities)*. Μια δικτυωμένη οντότητα μπορεί να είναι παροχέας υπηρεσιών και ονομάζεται περιγραφικά και συνοπτικά σαν *Υπηρεσία - Service*, η οποία εγγράφει τις δυνατότητές τις (capabilities) σε ένα SLM. Επίσης μπορεί να είναι ένας χρήστης υπηρεσιών και ονομάζεται *Πελάτης - Client*. Ένας πελάτης ανακαλύπτει και χρησιμοποιεί Υπηρεσίες μέσω επίσης ενός SLM. Μια δικτυωμένη οντότητα μπορεί να είναι είτε Υπηρεσία, είτε Πελάτης είτε και τα δύο.

Το Salutation προσφέρει μια διεπαφή προγραμματισμού ανεξάρτητη από το πρω-

²<http://www.salutation.org>

³Infrared - Επικοινωνία με υπέρυθρες ακτινοβολίες



Σχήμα 3.4: Μοντέλο του Salutation Manager

τόκολλο επικοινωνίας (transport independent API) η οποία ονομάζεται *SLM-API* και η οποία χρησιμοποιείται από τις Υπηρεσίες και τους Πελάτες. Για να επιτελέσει το έργο του σαν μεσάζοντας το SLM, επικοινωνεί με άλλους Salutation Managers μέσω του πρωτοκόλλου Salutation Manager Protocol, το οποίο καθορίζεται στην αρχιτεκτονική του SLM. Όπως προαναφέραμε το Salutation είναι ανεξάρτητο από το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα ενδιάμεσο επίπεδο ανάμεσα στους Salutation Managers και στο υποκείμενο δίκτυο το οποίο φροντίζει για την επικοινωνία, το *Transport Manager (TM)*. Για κάθε τύπο δικτύου υπάρχει μια διαφορετική υλοποίηση η οποία λαμβάνει υπόψιν την τεχνολογία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Στα προηγούμενα πρωτόκολλα που εξετάσαμε χρησιμοποιείται συνήθως κάποια τεχνική broadcast, ανάλογα και με τον τύπο του υποκείμενου δικτύου. Στο Salutation υπάρχει κάποια αφαιρετική διεπαφή (method call) στο SLM-API για ανακάλυψη άλλων SLM και εναπόκειται στο επίπεδο TM η υλοποίηση ανάλογα με το είδος του δικτύου και τους μηχανισμούς που προσφέρει για broadcasting, ανακάλυψη συσκευών κλπ. Αφότου ανακαλυφθούν άλλες οντότητες SLM, ο τοπικός Salutation Manager κάνει ερωτήσεις σε καθένα από αυτούς για να εντοπίσει την υπηρεσία για την οποία αναζητάει.

3.2.5 Λοιπά πρωτόκολλα/συστήματα

Το EDUTELLA [48] είναι ακόμα ένα σύστημα με διομότιμη αρχιτεκτονική (peer-to-peer) για ανακάλυψη υπηρεσιών. Ενώ τα προηγούμενα πρωτόκολλα και συστήματα που μελετήσαμε εστιάζουν σε τομείς όπως η διαλειτουργικότητα, η αποδοτική λειτουργία στο θέμα της ταχύτητας και της χρήσης του δικτύου, η χρήση υπαρκτών τεχνολογιών κ.ά. το EDUTELLA προσπαθεί να εστιάσει κυρίως στον τομέα της ανακάλυψης υπηρεσιών με βάση τα σημασιολογικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών και κατά πόσο ανταποκρίνονται ή ταιριάζουν στα ζητούμενα κριτήρια-ζητούμενα μιας αναζήτησης. Για να πετύχει τα παραπάνω το EDUTELLA χρησιμοποιεί RDF περιγραφές των υπηρεσιών σαν μεταδεδομένα, όμως στις σχετικές δημοσιεύσεις που υπάρχουν για το EDUTELLA δεν περιγράφεται συγκεκριμένα με

ποιο τρόπο ή ποια κριτήρια πετυχαίνουν οι συγγραφείς την ικανοποίηση των ερωτημάτων με σημασιολογικά κριτήρια. Για το καθαρά τεχνικό τμήμα του EDUTELLA, την επικοινωνία και την ανακάλυψη μεταξύ υπηρεσιών και πελατών, χρησιμοποιεί το framework JXTA [46]. Το JXTA κατασκευάστηκε από την εταιρία Sun Microsystems και είναι μια συλλογή από πρωτόκολλα. Παρέχει στις εφαρμογές που θέλουν να το χρησιμοποιήσουν ένα σύνολο από προγραμματιστικές διεπαφές (APIs) για την κατασκευή διομήτιμων δικτύων και ακόμα παρέχει και βιβλιοθήκη με την υλοποίηση των πρωτοκόλλων αυτών σε γλώσσα Java. Ουσιαστικά είναι μια πλατφόρμα για την κατασκευή διομήτιμων δικτύων, όμως ο καθορισμός των πρωτοκόλλων είναι τέτοιος ώστε επιτρέπει υλοποίηση και σε άλλες γλώσσες εκτός της Java καθώς και λειτουργία πάνω από πολλά διαφορετικά ήδη δικτύων, διότι στις πρότυπες προδιαγραφές (specification) δεν κάνει καμιά υπόθεση σχετικά με το είδος του δικτύου ή την πλατφόρμα (γλώσσα προγραμματισμού, λειτουργικό σύστημα) που υλοποιεί τα πρωτόκολλα.

Ένα ακόμα σύστημα που αναπτύχθηκε στο Berkeley στα πλαίσια του project Ninja [62] είναι το Ninja Service Discovery Service (SDS) [20]. Ο στόχος του SDS είναι ένα κλιμακώσιμο (scalable) σύστημα, ανεκτικό σε λάθη (fault tolerant) και ασφαλές στην αποθήκευση πληροφορίας, το οποίο να προσφέρει υπηρεσίες καταλόγου (directory services) σε υπηρεσίες και σε πελάτες που το χρησιμοποιούν. Όμοια με τα παραπάνω συστήματα/πρωτόκολλα που μελετήσαμε, οι κυριότερες οντότητες που συμμετέχουν στο SDS είναι οι *πελάτες*, οι *υπηρεσίες* και οι *εξυπηρετητές SDS (SDS servers)*. Οι εξυπηρετητές SDS καταγράφουν και διαχειρίζονται πληροφορίες για τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών και αναλαμβάνουν να εξυπηρετούν ερωτήσεις αναζήτησης υπηρεσιών από την πλευρά των πελατών. Για να επιτύχει ανεκτικότητα σε λάθη, το σύστημα στηρίζεται στη συχνή αναμετάδοση "διαφημιστικών" μηνυμάτων και την ανανέωση μιας προσωρινής λανθάνουσας μνήμης (cache) αντί στην προσεκτική συντήρηση και διαχείριση της συνεπούς κατάστασης του συστήματος (consistent state). Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα δεν εξασφαλίζει αυστηρές απαιτήσεις συνέπειας αλλά βασίζεται στη σταδιακή ενημέρωση των εξυπηρετητών SDS. Εάν λόγω προβλημάτων δεν αποστέλλονται τα "διαφημιστικά" μηνύματα για την ανανέωση των προσωρινών μνημών, τότε απλά λήγει η ισχύς των αντίστοιχων εγγραφών στους εξυπηρετητές και διαγράφονται, ενώ επαναπροστίθενται μόλις το σύστημα επανέλθει σε φυσιολογική λειτουργία. Όπως γίνεται βέβαια αντιληπτό, για να επιτύχει το σύστημα ανοχή σε λάθη γίνεται μια υπερβολική χρήση του δικτύου και μια αρκετά μεγάλη σπατάλη εύρους δικτύου (bandwidth). Για να επιτύχει τον έτερο σκοπό του το SDS, δηλαδή την ασφάλεια έναντι κακόβουλων χρηστών οι οποίοι ενδέχεται να παρακολουθούν ή και να προσπαθούν να αλλοιώσουν τα μηνύματα που στέλλονται, χρησιμοποιεί κρυπτογραφία για την αποστολή των μηνυμάτων.

Τέλος, υπάρχει το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών JSDP, το οποίο είναι μέρος

του συστήματος JESA [50]. Το σύστημα αυτό είναι κατασκευασμένο σε Java και στην παρούσα υλοποίηση στοχεύει μόνο σε δίκτυα πάνω από TCP/IP. Χαρακτηριστικά του είναι το μικρό μέγεθος, το οποίο του επιτρέπει τη λειτουργία ακόμα και σε ενσωματωμένα (embedded) συστήματα και η αρχιτεκτονική του η οποία είναι ένα μείγμα τόσο από τεχνικές άμεσης ανακάλυψης (immediate discovery) για μικρά κυρίως δίκτυα, όσο και με τη χρήση μεσαζόντων για μεγαλύτερα δίκτυα.

3.2.6 Αποτίμηση των πρωτοκόλλων

Στις εργασίες [47] [10] [51] [44] γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των περισσότερων από τα παραπάνω συστήματα και μια μικρή αποτίμηση των αρχιτεκτονικών τους, όμως οι εργασίες αυτές εστιάζουν λίγο ή καθόλου στην απόδοση των συστημάτων και περισσότερο στη σύγκριση χαρακτηριστικών όπως η ασφάλεια, η κλιμακωσιμότητα και η ανοχή σε λάθη που προσφέρουν τα συστήματα αυτά.

Αποτιμώντας τα παραπάνω συστήματα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν κάποια βασικά αρχιτεκτονικά μοντέλα και κάποιες βασικές οντότητες, που εμφανίζονται σχεδόν σε όλα τα πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών που έχουν αναπτυχθεί.

- Οι *Υπηρεσίες* είναι εφαρμογές, που συνοδεύονται από κάποιες πληροφορίες τις οποίες χρειάζονται οι πελάτες για να μπορέσουν να επικοινωνήσουν μαζί τους ανάλογα με το υποκείμενο δίκτυο και πλατφόρμα (π.χ. διεύθυνση, αριθμός θυρίδας) και διαθέτουν ένα σύνολο από διεπαφές επικοινωνίας μέσω των οποίων κάποιες άλλες εφαρμογές πελάτες μπορούν να επικοινωνήσουν μαζί τους και να τους ζητήσουν να εκτελέσουν εκ μέρους τους κάποιες λειτουργίες ή υπολογισμούς.

Συνήθως συσχετίζονται με μια λίστα από χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις δυνατότητες αυτής της υπηρεσίας ή/και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της που την ξεχωρίζουν από ομοειδείς υπηρεσίες. Αυτή η λίστα από χαρακτηριστικά μπορεί να ποικίλλει, από ελάχιστες (ή και καθόλου) λέξεις στις οποίες γίνεται μια απλή λεξικογραφική σύγκριση έως πλούσιες περιγραφές RDF των σημασιολογικών χαρακτηριστικών της υπηρεσίας αυτής. Η λίστα αυτή συνήθως ανακτάται από τις εφαρμογές-πελάτες κατά την ανακάλυψη των υπηρεσιών.

Αυτή η λίστα από χαρακτηριστικά ενδέχεται να περιλαμβάνει και την διεπαφή επικοινωνίας που διαθέτει η υπηρεσία προς τους πελάτες. Στις περισσότερες περιπτώσεις αφορά στην καταγραφή μόνο των χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν μια υπηρεσία από μια άλλη *ίδιου* τύπου, καθώς ο τύπος μιας υπηρεσίας καθορίζει ουσιαστικά και τη διαθέσιμη διεπαφή της με την οποία μπορούν οι πελάτες να την προσπελά-

νουν. Ουσιαστικά δηλαδή αυτό που ονομάζουμε *τύπος* της υπηρεσίας είναι εμμέσως μια "συντομογραφία" ενός συνόλου διεπαφών επικοινωνίας που διαθέτει μια εφαρμογή προς χρήση από άλλες εφαρμογές-πελάτες και το οποίο σύνολο έχει εκ των προτέρων καθοριστεί. Για παράδειγμα, ο τύπος (κατηγορία) της υπηρεσίας θα μπορούσε να είναι "υπηρεσία εκτύπωσης" με στιγμιότυπα αυτής της κλάσης υπηρεσιών τους διαθέσιμους εκτυπωτές σε ένα σύστημα και τις υποκατηγορίες "εκτυπωτής laser", "εκτυπωτής έκχυσης μελάνης (inkjet)" οι οποίες σαν εξειδίκευση της παραπάνω κατηγορίας πιθανόν να εισάγουν και διαφορετική διεπαφή επικοινωνίας. Επειδή φυσικά ο ορισμός αυτός ποικίλλει ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα, ενδέχεται τα χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας να είναι ενσωματωμένα/κωδικοποιημένα στον τύπο της υπηρεσίας, για παράδειγμα "εκτυπωτής laser", εμμέσως δηλαδή το ίδιο το όνομα της υπηρεσίας ή της κατηγορίας της υπηρεσίας να εισάγει κάποιας μορφής εξειδίκευση. Από αυτό το πλαίσιο διαφοροποιούνται τα συστήματα τα οποία υποστηρίζουν μεταφορά εκτελέσιμου κώδικα μεταξύ των εφαρμογών κατά την ώρα της εκτέλεσης (at run time) -όπως π.χ. το Jini- καθώς είναι δυνατό η υπηρεσία να μη διαθέτει κάποια διεπαφή επικοινωνίας αλλά τμήμα εκτελέσιμου κώδικα, μέσω του οποίου να μπορεί να προσπελαστεί και να χρησιμοποιηθεί δυναμικά κατά την ώρα της εκτέλεσης και χωρίς οι πελάτες να έχουν άλλες πληροφορίες για αυτήν.

- Οι *Πελάτες* είναι εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούν τις εφαρμογές-υπηρεσίες, δηλαδή επικοινωνούν μαζί τους μέσω του προκαθορισμένου συνόλου διεπαφών ώστε να ζητήσουν την εκτέλεση κάποιων λειτουργιών ή υπολογισμών. Χρησιμοποιούν κάποια τεχνική -η οποία εξαρτάται από το σύστημα/πρωτόκολλο που εξετάζουμε κάθε φορά- για να ανακαλύψουν τις διατιθέμενες υπηρεσίες και κατόπιν να ξεχωρίσουν αυτές που τους ενδιαφέρουν ανάλογα με τις ανάγκες τους χρησιμοποιώντας τη λίστα από χαρακτηριστικά που ανακτούν κατά το στάδιο της ανακάλυψης. Η πιο συνηθισμένη τεχνική όμως, είναι να καθορίζουν οι πελάτες κατά το στάδιο της ανακάλυψης εκτός τον τύπο της αναζητούμενης υπηρεσίας και μια λίστα από κριτήρια/χαρακτηριστικά τα οποία επιθυμούν να διαθέτει η υπηρεσία και η διήθηση (filtering) να γίνεται από το ίδιο το σύστημα/πρωτόκολλο.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιλογή εάν μια υπηρεσία πληροί τα κριτήρια είναι από μόνος του πεδίο εκτεταμένης έρευνας. Όπως έχουμε προαναφέρει, σε μερικά συστήματα (όπως π.χ. στο Bluetooth) η σύγκριση μεταξύ κριτηρίων αναζήτησης και χαρακτηριστικών (attributes) των υπηρεσιών γίνεται με απλή λεξικογραφική σύγκριση ενώ υπάρχουν άλλα συστήματα τα οποία εστιάζουν περισσότερο στο να παρέχουν στους πελάτες μια υπηρεσία η οποία ταιριάζει όσο το δυνατό περισσότερο στις απαι-

τήσεις τους, όχι μόνο με λεξικογραφικά αλλά και σημασιολογικά κριτήρια. Εάν για παράδειγμα ένας πελάτης αναζητάει μια οθόνη που υποστηρίζει υπηρεσία απεικόνισης (δηλαδή μπορεί να στείλει σε αυτήν κατάλληλα δεδομένα και να τα οπτικοποιήσει) και δεν υπάρχει διαθέσιμη κάποια οθόνη, ένα έξυπνο σύστημα θα μπορούσε να βρει μια άλλη παραπλήσια υπηρεσία απεικόνισης η οποία είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες του, π.χ. σε μια τηλεόραση ή σε ένα υπολογιστή χειρός.

- Στις περισσότερες αρχιτεκτονικές, εμφανίζεται και κάποια ενδιάμεση οντότητα *Μεσολαβητής* η οποία χρησιμοποιείται για καλύτερη απόδοση του συστήματος. Στην οντότητα αυτή εγγράφονται οι Υπηρεσίες δηλώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητά τους και τις δυνατότητές τους και σε αυτή την οντότητα απευθύνονται οι ερωτήσεις των πελατών προς αναζήτηση της κατάλληλης υπηρεσίας.

Η ύπαρξη αυτής της ενδιάμεσης οντότητας συντελεί αφενός στην καλύτερη εξυπηρέτηση υπηρεσιών και πελατών, καθώς χρειάζεται να επικοινωνούν μόνο με μια οντότητα και όχι με πολλές και, αφετέρου, αυξημένη ταχύτητα ανακάλυψης αλλά και εξοικονόμηση πόρων του δικτύου καθώς δεν απαιτούνται multicast μηνύματα (μηνύματα πολλών αποδεκτών).

Στην εργασία [21] εκτός από τις παραπάνω βασικές οντότητες διακρίνονται περαιτέρω ρόλοι, τους οποίους στα περισσότερα συστήματα τους βλέπουμε να υπάρχουν συνήθως συγχωνευμένοι μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα:

- Χρήστης της υπηρεσίας. Η οντότητα την οποία συνήθως κατονομάζουμε σαν Πελάτη (Client).
- Διαχειριστής της υπηρεσίας. Η οντότητα η οποία συνήθως κατονομάζεται σαν Μεσολαβητής (Mediator, Proxy, Service Manager etc)
- Παροχέας της υπηρεσίας. Η οντότητα που προσφέρει την υπηρεσία, ή αυτό που απλώς ονομάζουμε Υπηρεσία (Service, Service Provider)
- Περιγραφή της υπηρεσίας. Μπορεί να κυμαίνεται από σύνθετα έγγραφα που περιγράφουν τις λειτουργίες και τις δυνατότητες της υπηρεσίας, έως μια απλή λίστα από λεξικογραφικούς προσδιορισμούς, αριθμούς που εμπεριέχουν κωδικοποιημένη την περιγραφή της υπηρεσίας ή απλά το όνομα της υπηρεσίας, το οποίο σαν πρότυπο ορίζει το είδος και τις δυνατότητες της υπηρεσίας.
- Αποθήκευση της υπηρεσίας. Πρόκειται για λειτουργία που επιτελεί συνήθως ο διαχειριστής της υπηρεσίας ή ο ίδιος ο παροχέας. Για λόγους απόδοσης χρησιμοποιείται μια

προσωρινή μνήμη (cache) στην οποία αποθηκεύονται οι διαθέσιμες υπηρεσίες -για την ακρίβεια, αποθηκεύονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την επικοινωνία μαζί τους- και οι περιγραφές των δυνατοτήτων τους ώστε να απαντώνται εύκολα και γρήγορα οι αναζητήσεις των πελατών.

Ένα κρίσιμο σημείο στα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν Μεσολαβητές, είναι ο τρόπος με τον οποίο οι Πελάτες και οι Υπηρεσίες ενημερώνονται για την ύπαρξή του, αλλά και τη διαχείριση/διατήρηση της συνέπειας στην αποθήκευση των περιγραφών των διαθέσιμων υπηρεσιών.

Σε συστήματα / αρχιτεκτονικές στα οποία υπάρχει η δυνατότητα για αποστολή μαζικών μηνυμάτων (multicast) χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι οι οποίοι σύμφωνα με το [21], διακρίνονται

- στο μοντέλο προώθησης της πληροφορίας (*push*) από τους παροχείς ή τους διαχειριστές (μεσολαβητές) μέσω μηνυμάτων που "διαφημίζουν" την ύπαρξή των υπηρεσιών. Διαφορετικά ονομάζεται και *notification model*.
- στο μοντέλο αναζήτησης της πληροφορίας (*pull*) από τους χρήστες, κατά το οποίο οι ενδιαφερόμενοι στέλνουν μαζικά μηνύματα αναζήτησης και στα οποία απαντάνε οι διαχειριστές των υπηρεσιών (ή ίδιοι οι παροχείς, όταν δεν υπάρχουν διαχειριστές) το οποίο ονομάζεται και σαν *polling model*.

Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται στην ίδια μορφή και όταν δεν υπάρχει Μεσολαβητής, αλλά τότε τα μηνύματα απευθύνονται ή αποστέλλονται απευθείας από τις Υπηρεσίες και τους Πελάτες με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός μηνυμάτων και μεγαλύτερη επιβάρυνση του δικτύου.

Σε συστήματα / αρχιτεκτονικές στα οποία δεν υπάρχει η δυνατότητα για αποστολή μαζικών μηνυμάτων (multicast) τότε υπάρχουν περισσότερες δυσκολίες. Ένας απλός τρόπος να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό είναι η εκ των προτέρων ρύθμιση/ενημέρωση του συστήματος από το χρήστη ή τον διαχειριστή, το οποίο όμως οδηγεί σε συστήματα στα οποία δεν είναι εύκολη/δυνατή η κλιμακωσιμότητα (*scalability*) και η δυναμική δικτύωση (*ad hoc networking*). Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτούνται πολύπλοκες υλοποιήσεις με τη χρήση αλγόριθμων αποστολής μαζικών μηνυμάτων με τη χρήση απλών μηνυμάτων (*multicast algorithms using unicast messages*) ή/και με τεχνικές δρομολόγησης μέσω απλών κόμβων για αποστολή μηνυμάτων.

3.2.7 Στρατηγικές ανακάλυψης

Στην εργασία [7] γίνεται μια ανάλυση και μοντελοποίηση των διαφορετικών στρατηγικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανακάλυψη υπηρεσιών σε δυναμικά, αυτο-οργανωνόμενα δίκτυα και προτείνονται 2 διαφορετικές στρατηγικές, οι οποίες προσομοιώθηκαν και έγιναν πειραματικές μετρήσεις για να αξιολογηθεί η απόδοση και η αποτελεσματικότητά τους

- *Δημοσίευση-προς-όλους, Ερώτηση-προς-όλους (post-to-all, query-to-all)*. Σε αυτή τη στρατηγική οι υπηρεσίες δημοσιεύουν σε όλους τους κόμβους τη διαθεσιμότητά τους και οι Πελάτες απευθύνουν προς όλους τους κόμβους τις ερωτήσεις αναζήτησης. Όπως γίνεται φανερό αυτή η στρατηγική είναι απαιτητική και σπάταλη σε πόρους (υπολογιστική ισχύ, δίκτυο) ενώ δεν παρουσιάζει κάποια τάση να εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά της τοπολογίας του δικτύου, της φύσης των εφαρμογών κλπ ώστε να επιτύχει κάποια προσαρμοστικότητα και ευελιξία.
- *Σταδιακή δημοσίευση/ερώτηση (incremental post/query)*. Σε αυτή τη στρατηγική, η δημοσίευση/ερώτηση για την ύπαρξη των υπηρεσιών γίνεται σταδιακά προς τους υπάρχοντες κόμβους, σε διαφορετικά στάδια. Δηλαδή αρχικά η δημοσίευση/ερώτηση γίνεται σε ένα υποσύνολο των διαθέσιμων κόμβων και σταδιακά και στους υπόλοιπους, όπου ο αριθμός των σταδίων αυτών (δηλαδή ο ρυθμός αύξησης των κόμβων στους οποίους απευθύνεται) μπορεί να ποικίλλει. Διακρίνουμε δύο υποπερίπτώσεις
 - ▶ *Σταδιακή δημοσίευση, ερώτηση προς όλους* Σε αυτή την υποπερίπτωση η δημοσίευση των υπηρεσιών γίνεται σταδιακά, αλλά οι ερωτήσεις απευθύνονται προς όλους τους κόμβους.
 - ▶ *Δημοσίευση προς όλους, σταδιακή ερώτηση* Σε αυτή την υποπερίπτωση η δημοσίευση των υπηρεσιών γίνεται προς όλους τους κόμβους, αλλά οι ερωτήσεις γίνονται σταδιακά.

Έγιναν μετρήσεις σε αυτές τις στρατηγικές, όπου τα κριτήρια ήταν:

- Η επιτυχία ανακάλυψης, σαν ο λόγος του πλήθους των περιπτώσεων που ανακαλύφθηκε η αναζητούμενη υπηρεσία ως προς το πλήθος των πειραμάτων που έγιναν
- Η ταχύτητα ανακάλυψης, με μέτρο την καθυστέρηση έως ότου ανακαλυφθεί η αναζητούμενη υπηρεσία
- Το κόστος ανακάλυψης, με μέτρο τον αριθμό των μηνυμάτων (δημοσίευσης/αναζήτησης) που απαιτεί κάθε στρατηγική

και οι μετρήσεις έδειξαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η πρώτη στρατηγική έχει πάντα το μεγαλύτερο (ή το πολύ ίσο) κόστος με τις υπόλοιπες, οπότε χρησιμοποιείται σαν σημείο αναφοράς για την απόδοση των υπόλοιπων, ενώ το κόστος είναι παραπλήσιο όταν δεν υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα από κόμβους ή μονοπάτια επικοινωνίας για επιτυχή ανακάλυψη της αναζητούμενης υπηρεσίας. Καλύτερη απόδοση ως προς το κόστος εμφανίζει η τρίτη στρατηγική, της σταδιακής ερώτησης των κόμβων όπου, όσο αυξάνει το πλήθος των διατιθέμενων υπηρεσιών η επιτυχία και η ταχύτητα ανακάλυψης παραμένουν περίπου ίδια, αλλά το κόστος μειώνεται έως και πέντε φορές (για τις μετρήσεις που έγιναν). Η επιτυχία ανακάλυψης δεν δείχνει να επηρεάζεται πάρα πολύ και εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διατιθέμενων υπηρεσιών και φυσικά αυξάνει όσο αυξάνει και η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών. Σαν συμπέρασμα από την εργασία αυτή προκύπτει ότι η χρήση μιας στρατηγικής με ερωτήσεις προς επιλεγμένους κόμβους σε ένα πρώτο στάδιο, έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα ως προς το κόστος χωρίς να έχει σημαντικές (έως και καθόλου μερικές φορές) επιπτώσεις στην επιτυχία και την ταχύτητα ανακάλυψης.

3.3 Ανακάλυψη υπηρεσιών στο Bluetooth

Είδαμε παραπάνω την σχετική εργασία πάνω σε πρωτόκολλα ανακάλυψης υπηρεσιών και τις αρχιτεκτονικές/τεχνολογίες οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί ώστε να βγάλουμε πιο ασφαλή συμπεράσματα για την σχεδίαση και την υλοποίηση που χρησιμοποιήθηκε στο Bluetooth SDP, καθώς επίσης πιθανούς τρόπους βελτίωσής του.

Στην παρούσα ενότητα μελετάμε άλλες ερευνητικές εργασίες που είχαν σαν σκοπό να βελτιώσουν το Bluetooth SDP αυτό καθ' εαυτό ή άλλα εγγενή προβλήματα και ιδιαιτερότητες του Bluetooth, τα οποία όπως είδαμε στις ενότητες 2.5, 2.4.3 επηρεάζουν συνολικά την απόδοση και τις δυνατότητες του. Ακόμα, σύμφωνα με το επιχειρήμα της προσέγγισης άκρο-προς-άκρο (end-to-end argument) [52] για τη λύση ενός προβλήματος απαιτούνται επεμβάσεις στο επίπεδο στο οποίο εμφανίζεται το πρόβλημα, όμως στις περιπτώσεις που επιζητούμε βελτίωση της ταχύτητας -όπως στη δική μας περίπτωση- θα πρέπει να εξετάζονται και τρόποι εκμετάλλευσης των υποκείμενων επιπέδων/δικτύων/τεχνολογιών.

3.3.1 Βελτιώσεις της συνδεσιμότητας στο Bluetooth

Στην εργασία [32] γίνεται μια αποτίμηση των χαρακτηριστικών του Bluetooth και επισημαίνονται κάποια σημεία-κλειδιά τα οποία επιδέχονται έρευνας και βελτίωσης. Έτσι λοιπόν επισημαίνεται ότι οι συσκευές-κόμβοι σε ένα μικροδίκτυο (piconet) Bluetooth είναι συνήθως

ισοδύναμες συσκευές σε ότι αφορά τις δυνατότητές τους και ο διαχωρισμός τους σε συσκευές κύριες και υποτελείς γίνεται με βάση το ρόλο που καλούνται να διαδραματίσουν σε ένα σενάριο αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Αναλογιζόμενοι όμως την αδυναμία μιας συσκευής να συμμετέχει σαν υποτελής συσκευή σε περισσότερα του ενός μικροδίκτυα και ακόμα τη δυνατότητα να συμμετέχει μόνο σε ένα μικροδίκτυο σαν κύρια συσκευή, βλέπουμε ότι δημιουργούνται προβλήματα συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών τα οποία δεν οφείλονται στις συσκευές αλλά στον τρόπο χρήσης τους και αλληλεπίδρασης με άλλες συσκευές, το οποίο φυσικά δεν είναι επιθυμητό. Το πρόβλημα αυτό καλούνται εν μέρει να λύσουν άλλες εργασίες οι οποίες ασχολούνται με αλγόριθμους δρομολόγησης σε ασύρματα δίκτυα [13] [40].

Στην εργασία [42] παρουσιάζεται μια μελέτη της συνδεσιμότητας μεταξύ συσκευών Bluetooth και κυρίως για τις διαδικασίες και το χρόνο που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση μεταξύ τους. Ο στόχος της εργασίας ήταν κυρίως για την βελτίωση της απόδοσης σε αλγόριθμους δρομολόγησης, όμως έχει προφανείς επιπτώσεις και σε όλα τα πρωτόκολλα που λειτουργούν πάνω από το Bluetooth. Η εργασία συμπεραίνει το μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την πραγματοποίηση μιας σύνδεσης και προτείνεται ότι για τη βελτίωση της συνδεσιμότητας με βάση το ισχύον πρότυπο του Bluetooth θα απαιτούνταν να αυξηθεί ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία ανίχνευσης για αίτηση σύνδεσης (page scan) εις βάρος της διαδικασίας ανίχνευσης για αναζήτηση συσκευών (inquiry scan), το οποίο όμως θα είχε σαν επακόλουθο την ανικανότητα ανακάλυψης αυτής της συσκευής (non-discoverable mode, βλ. ενότητα 2.3.2) και ακόμα αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Επειδή αυτές οι λύσεις δεν είναι αποδεκτές, προτείνεται οι αλγόριθμοι δρομολόγησης να αποφεύγουν να ανοίγουν νέες συνδέσεις και να επαναχρησιμοποιούν όσο είναι δυνατό κάποιες υπάρχουσες συνδέσεις.

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2 ένα μεγάλο πρόβλημα για την επικοινωνία μέσα στα μικροδίκτυα Bluetooth, είναι η αυστηρή τοπολογία αστέρα η οποία δεν επιτρέπει στις υποτελείς συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους παρά μόνο μέσω της κύριας συσκευής. Αυτό εκτός τις προφανείς επιπτώσεις επικοινωνίας, έχει επιπτώσεις τόσο στο διαθέσιμο εύρος (bandwidth) του δικτύου όσο και στην ενέργεια που καταναλώνει η κύρια συσκευή καθώς από αυτήν περνάει όλη η επικοινωνία μεταξύ των άλλων συσκευών. Στην εργασία [16] περιγράφεται μια λύση για το παραπάνω πρόβλημα, σύμφωνα με την οποία κάποιες χρονοθυρίδες (time-slots) εκπομπής δεδομένων δεσμεύονται από την κύρια συσκευή για την απευθείας επικοινωνία των υποτελών συσκευών μεταξύ τους. Η λύση αυτή προσομοιώθηκε και αξιολογήθηκε ως προς τις επιπτώσεις που έχει σε ταχύτητα εκπομπής, χωρητικότητα δικτύου και καταλισκόμενη ενέργεια και δείχθηκε η βελτίωση σε όλους τους τομείς έναντι της κλασικής επικοινωνίας του Bluetooth. Δυστυχώς η υλοποίηση αυτής της λύσης έγινε μόνο σε προ-

σομοίωση και δεν υπάρχει κάποια υλοποίηση για χρήση από εφαρμογές σε περιβάλλοντα Bluetooth.

3.3.2 Βελτιώσεις της Ανακάλυψης Συσκευών στο Bluetooth

Στην ερευνητική εργασία [18] προτείνονται δυο διαφορετικές τεχνικές για την επιτάχυνση της διαδικασίας ανακάλυψης μεταξύ συσκευών Bluetooth. Στις τεχνικές αυτές προτείνεται για κάποια συσκευή η οποία προσπαθεί να ανακαλύψει τις συσκευές που βρίσκονται εμβέλεια, να συνδέεται στις συσκευές που ήδη γνωρίζει και να ενημερώνεται από αυτές για τις υπόλοιπες συσκευές τις οποίες έχουν ήδη ανακαλύψει.

- Στην πρώτη τεχνική -η οποία ονομάζεται στην εργασία "ολικής ανακάλυψης"- προτείνεται ένα χρονικό όριο στην κλασική διαδικασία ανακάλυψης του Bluetooth και κατόπιν σύνδεση σε όλες τις συσκευές οι οποίες ανακαλύφθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα, προκειμένου να ενημερωθούν από αυτές για άλλες συσκευές οι οποίες πιθανόν βρίσκονται σε εμβέλεια αλλά δεν απάντησαν κατά τη διαδικασία της ανακάλυψης.
- Στη δεύτερη τεχνική -η οποία ονομάζεται "σταδιακής ανακάλυψης"- προτείνεται εναλλαγή ανάμεσα σε διαδικασίες ανακάλυψης και σύνδεσης στις συσκευές μόλις αυτές ανακαλυφθούν. Μόλις μια συσκευή απαντάει κατά τη διαδικασία ανακάλυψης, ανοίγεται μια σύνδεση με αυτήν προκειμένου να ενημερώσει για τις συσκευές τις οποίες ήδη γνωρίζει.

Από τις μετρήσεις που έγιναν στις δύο αυτές μεθόδους από τους ερευνητές της εργασίας πάνω σε πραγματικές συσκευές, βρέθηκε ότι η πρώτη τεχνική είναι πιο αποδοτική όταν βρίσκονται πολλές συσκευές σε εμβέλεια και όταν το σύστημα απαιτεί μια πιο πλήρη εικόνα για τις διαθέσιμες συσκευές, ενώ η δεύτερη τεχνική είναι προτιμότερη όταν δεν υπάρχουν πολλές συσκευές σε εμβέλεια (λιγότερες από 5) ή το σύστημα δεν ενδιαφέρεται για μια συνολική άποψη των διαθέσιμων συσκευών αλλά απαιτεί μια γρήγορη ανταπόκριση από ένα υποσύνολο των συσκευών.

Στην εργασία [63] ακολουθείται μια διαφορετική προσέγγιση για τη βελτίωση του απαιτούμενου χρόνου σύνδεσης μεταξύ δύο συσκευών Bluetooth, κατά την οποία προτείνεται η χρήση της τεχνολογίας IrDA [2] για την ανακάλυψη των συσκευών μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές της εργασίας αυτής προτείνουν την αποφυγή της χρονοβόρας διαδικασίας ανακάλυψης του Bluetooth (inquiry) και προτείνουν τη χρήση της τεχνολογίας IrDA για την ανακάλυψη των συσκευών και ανταλλαγή στοιχείων σχετικά με τις διευθύνσεις τους, έτσι ώστε να μπορεί κατόπιν να ακολουθήσει η διαδικασία σύνδεσης. Επειδή

στην τεχνολογία IrDA ο χρόνος που απαιτείται για την ανακάλυψη είναι της τάξης των 1.12 sec, σύμφωνα με την έρευνα, δηλαδή αρκετά μικρότερος από τον απαιτούμενο χρόνο στο Bluetooth, της τάξης των 10.24 sec για μια αξιόπιστη αναζήτηση (ενότητα 2.3.2) βλέπουμε ότι η μέθοδος αυτή εισάγει μια εμφανώς μεγάλη βελτίωση στην ταχύτητα της σύνδεσης όταν πρέπει να προηγηθεί ανακάλυψη των συσκευών. Όμως, η μέθοδος που προτείνει η εν λόγω έρευνα είναι μειωμένης χρηστικότητας και αποτελεί χρήσιμη λύση μόνο σε εξειδικευμένα σενάρια χρήσης, καθότι αφενός απαιτεί εξοπλισμό πέραν του απαραίτητου (IrDA) οπότε αυξάνει το κόστος και αφετέρου επειδή προσθέτει και όλα τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας IrDA, από τα οποία πιο σημαντικά είναι η μικρή εμβέλεια και η μειωμένη συνδεσιμότητα μόνο όταν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, το οποίο εκμηδενίζει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιεί το Bluetooth.

Στην εργασία [8] γίνεται μια αποτίμηση της διαδικασίας ανακάλυψης συσκευών Bluetooth μεταξύ τους με σκοπό την καλύτερη δρομολόγηση μεταξύ των συσκευών. Μέσα από προσομείωση της διαδικασίας ανακάλυψης έδειξαν ότι σε περιβάλλον με πολλές συσκευές, περίπου 60, για να υπάρχει μια εγγύηση ότι όλες οι συσκευές θα ανακαλύψουν το μεγαλύτερο ποσοστό από τις υπόλοιπες συσκευές (> 90%) απαιτείται χρονικό διάστημα της τάξης των 18 sec το οποίο είναι πολύ μεγάλο. Έδειξαν δηλαδή τη στατιστική αδυναμία να υπάρχει μια πλήρης γνώση των γειτονικών συσκευών και ακόμα περισσότερο, την αδυναμία να υπάρχει μια κάποια σχετική συνέπεια του συστήματος αλλά και ταχεία "αντίδραση" του σε αλλαγές, για παράδειγμα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου υπάρχει πληθώρα συσκευών οι οποίες αλλάζουν συνεχώς, διότι χρονικό διάστημα της τάξης των 18 sec είναι σχεδόν απαγορευτικό για την ομαλή λειτουργία του συστήματος, καθότι για να υπάρχει συνεχής ενημέρωση θα έπρεπε το σύστημα να εκτελεί διαρκώς αναζήτηση για άλλες συσκευές, το οποίο όμως όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2 θα είχε ολέθριες επιπτώσεις στην συνδεσιμότητα των συσκευών. Αντίθετα, μέσω της εργασίας οι συγγραφείς έδειξαν ότι με μια διαδικασία ανακάλυψης της τάξης των 6 sec, δηλαδή το 1/3 του χρόνου, μπορεί να ανακαλυφθεί ποσοστό από συσκευές ικανό να εξασφαλίσει ότι οι περισσότερες συσκευές γνωρίζουν αρκετές "γειτονικές" συσκευές ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν συνδεδεμένα υποδίκτυα τα οποία τελικά μέσω της δρομολόγησης να μπορούν να εξασφαλίσουν την επικοινωνία όλων των συσκευών μεταξύ τους.

3.3.3 Βελτιώσεις του Πρωτοκόλλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών στο Bluetooth

Στην εργασία [5] προτείνεται ένα μοντέλο για βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας ανακάλυψης υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας την κύρια συσκευή σε ρόλο μεσάζοντα. Πιο συγκεκριμένα

κριμένα, οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι εφόσον οι υποτελείς συσκευές στο ίδιο μικροδίκτυο δε μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους λόγω των περιορισμών που επιβάλλει το Bluetooth και επειδή οποιαδήποτε επικοινωνία μεταξύ τους πρέπει υποχρεωτικά να περάσει μέσω της κύριας συσκευής, τότε ένα πιο αποδοτικό μοντέλο θα ήταν να μην επικοινωνούν καθόλου μεταξύ τους αλλά για οποιαδήποτε αναζήτηση υπηρεσιών σε συσκευές μέσα στο δικό τους μικροδίκτυο να απευθύνονται στην κύρια συσκευή, η οποία θα αναλαμβάνει να μαζεύει και να διατηρεί ένα κατάλογο των διατιθέμενων υπηρεσιών από τις υποτελείς συσκευές. Στην εργασία έγινε και πειραματική αποτίμηση της μεθόδου αυτής μέσω προσομοίωσης και αποδείχθηκε η εμφανής βελτίωση στην ταχύτητα της ανακάλυψης αλλά και η μείωση της απαιτούμενης επικοινωνίας έναντι του συμβατικού μοντέλου του Bluetooth, στο μεγαλύτερο ποσοστό των πειραμάτων που έγιναν.

Στις εργασίες [4] [3] έχει γίνει μια προσπάθεια να βελτιωθεί το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών του Bluetooth προσθέτοντας τη δυνατότητα για ανακάλυψη υπηρεσιών όχι μόνο με λεξικογραφική σύγκριση των χαρακτηριστικών της υπηρεσίας αλλά με σημασιολογικά κριτήρια. Για να το επιτύχουν αυτό οι συγγραφείς στέλνουν σε κάθε αίτηση όχι μόνο απλές λεξικογραφικές περιγραφές μιας υπηρεσίας όπως γίνεται στο υπάρχον Bluetooth, αλλά ολόκληρες περιγραφές RDF, όπως επίσης οι αιτήσεις ανακάλυψης. Επίσης υπάρχει ένα ξεχωριστό υποσύστημα επιφορτισμένο με το σημασιολογικό ταίριασμα των αιτήσεων με τις περιγραφές των υπηρεσιών. Στην εργασία δεν υπάρχει κάποια περιγραφή ερωτημάτων ή κάποιο σενάριο αλληλεπίδρασης στο οποίο να γίνεται χρήση και εκμετάλλευση αυτών των παραπάνω δυνατοτήτων και δεν αναλύεται διεξοδικά ο τρόπος που επιτυγχάνεται το ταίριασμα αυτό, καθώς ο κύριος σκοπός της εργασίας αποσκοπεί σε μια αποτίμηση της επιβάρυνσης που προσθέτει στο υπάρχον πρωτόκολλο. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι δεν υπάρχει πολύ περισσότερο υπολογιστικό κόστος από ότι στο κλασσικό πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών και ότι θα ήταν εφικτή μια τέτοια προσθήκη. Στους στόχους της εργασίας είναι και μια μελλοντική αποτίμησή του σε πραγματικές συνθήκες και όχι μόνο μέσω προσομοίωσης.

Στην εργασία [56] προτείνονται κάποιες άλλες μέθοδοι για βελτιστοποίηση της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από δίκτυα Bluetooth. Η πρώτη μέθοδος που προτείνεται είναι να γίνουν αλλαγές στις παραμέτρους που καθορίζουν το διάστημα το οποίο διαρκεί η διαδικασία σάρωσης για αναζήτηση συσκευών (inquiry scan) ώστε να διαρκεί περισσότερη ώρα και να υπάρχουν περισσότερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια αναζήτησης για συσκευές. Επειδή όμως η επικοινωνία πάνω από Bluetooth και ακόμα περισσότερο η αναζήτηση συσκευών είναι ενεργοδόρες διαδικασίες, προτείνεται ακόμα μια λύση η οποία προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των συσκευών προκειμένου να υπάρχει βελτίωση χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας. Η πρόταση της εργασίας αυ-

τής είναι να περιοριστεί ο χρόνος αναζήτησης για κάθε συσκευή μόλις στα 2.56 sec, δηλαδή στο χρόνο που απαιτείται για να γίνει σάρωση σε ένα "τραίνο" συχνοτήτων (βλ. ενότητα 2.3.2) και κατόπιν από τις συσκευές που θα έχουν ανακαλυφθεί να επιλέγονται μερικές με τις οποίες να δημιουργείται σύνδεση. Μέσω της σύνδεσης αυτής μπορεί να γίνεται διάχυση της πληροφορίας για τις υπόλοιπες συσκευές οι οποίες υπάρχουν στην εγγύς περιοχή, χωρίς να χρειάζεται να γίνει μια εκτενής αναζήτηση. Το μοντέλο αυτό είναι μεν πιο σύνθετο από το μοντέλο που ακολουθεί το Bluetooth, όμως λόγω της σημαντικά λιγότερης χρονικής καθυστέρησης που απαιτείται για να ανοίξει μια καινούρια σύνδεση (βλ. ενότητα 2.3.6) σε σχέση με το χρόνο για μια αξιόπιστη αναζήτηση συσκευών (βλ. ενότητα 2.3.2) κρίνεται πιο αποδοτικό.

Στην εργασία [34] το παραπάνω μοντέλο επεκτείνεται ακόμα περισσότερο και οι συγγραφείς προτείνουν ένα μοντέλο παρόμοιο με αυτό που αναπτύξαμε και υλοποιήσαμε και εμείς στην παρούσα εργασία (βλ. ενότητα 4.1), παράλληλα με τη δική μας εργασία. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται ένα μοντέλο από συνεργαζόμενες συσκευές οι οποίες δρουν σαν μεσάζοντες και συγκεντρώνουν πληροφορίες για τις διατιθέμενες υπηρεσίες από άλλες συσκευές, όμοια με τις αντίστοιχες οντότητες *μεσάζοντες* τις οποίες είδαμε παραπάνω ότι υπάρχουν σε αρκετά άλλα παρόμοια πρωτόκολλα/συστήματα. Οι συγγραφείς προτείνουν μια διαδικασία εκλογής μεταξύ των συσκευών, ώστε να καθορίζουν μεταξύ τους ποιά συσκευή θα επιφορτίζεται με το ρόλο του μεσάζοντα. Την εργασία αυτή θα την αναλύσουμε εκτενέστερα στις ενότητες 4.2.1, 4.1 καθώς σχετίζεται άμεσα με τη δική μας εργασία οπότε χρησιμεύει σαν βάση για να αποτιμήσουμε και να συγκρίνουμε τις δικές μας προτάσεις και τη δική μας υλοποίηση, καθώς και τα σημεία όπου εμείς ή οι συγγραφείς επέλεξαν διαφορετικές μεθόδους.

Επεκτάσεις στο Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών του Bluetooth

Με βάση τα συμπεράσματα από την σχεδίαση του Bluetooth (βλ. ενότητα 2.5 και του Πρωτόκολλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών του Bluetooth (βλ. ενότητες 2.4.3, 2.5) και μελετώντας τη σχετική ερευνητική εργασία που έχει αναπτυχθεί γύρω από τον τον τομέα της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από δίκτυα (βλ. ενότητα 3), αναπτύξαμε κάποιες περαιτέρω προτάσεις για τη βελτίωση της διαδικασίας αναζήτησης υπηρεσιών πάνω από Bluetooth.

Οι προτάσεις μας αυτές είναι ένας συνδυασμός από τεχνικές/αρχιτεκτονικές οι οποίες υπάρχουν σε άλλα συστήματα και πιστεύουμε ότι μπορούν να εφαρμοστούν και στο Bluetooth, αλλά και βελτιώσεις οι οποίες εκμεταλλεύονται την φύση του Bluetooth και προσφέρουν μια πιο σφαιρική αντιμετώπιση του πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών, όχι μόνο στο επίπεδο εφαρμογών αλλά και σε υποκείμενα επίπεδα, όπως είναι η ανακάλυψη των συσκευών.

4.1 Η μεθοδολογία της σχεδίασής μας

Για να βελτιώσουμε το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών του Bluetooth θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε δύο διαφορετικές μεθοδολογίες.

Η πρώτη μεθοδολογία, της *προσέγγισης από πάνω -προς- κάτω (top -to- bottom approach)* θα ήταν να μελετήσουμε το πρόβλημα της ανακάλυψης υπηρεσιών γενικότερα, να σχεδιάσουμε κάποιο πρωτόκολλο εξ'αρχής ή να προτείνουμε κάποια εναλλακτική σχεδίαση βασισμένη σε κάποιο γνωστό, δοκιμασμένο σύστημα και κατόπιν να υλοποιήσουμε την εκδοχή αυτή πάνω από Bluetooth. Η μεθοδολογία αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι θα είχε

γενικότερη σχεδίαση, ανεξάρτητη του Bluetooth, οπότε θα μπορούσε να βρει εφαρμογή και σε άλλα συστήματα με λίγες ή περισσότερες τροποποιήσεις. Όμως έχει το σημαντικό μειονέκτημα ότι πιθανότατα δε θα λάμβανε υπόψιν τις σχεδιαστικές ιδιαιτερότητες και λεπτομέρειες του Bluetooth με αποτέλεσμα να μην το εκμεταλλεύεται στο έπακρο.

Η δεύτερη μεθοδολογία, της προσέγγισης από κάτω -προς- πάνω (*bottom -to- top approach*) θα ήταν να στηρίξουμε τη γενικότερη σχεδίαση και υλοποίηση του συστήματός μας στην πλατφόρμα του Bluetooth, αλλά με μια αρκετά γενική σχεδίαση ώστε να μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες πλατφόρμες με κάποιες προσθήκες ή αλλαγές. Η προσέγγιση αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι θα εκμεταλλεύεται τις ιδιαιτερότητες του Bluetooth, πράγμα πολύ κρίσιμο στην περίπτωση μας όπου θέλουμε να βελτιώσουμε την απόδοση σε διάφορους τομείς, αλλά φέρει και το μειονέκτημα-κίνδυνο η σχεδίαση να είναι προσανατολισμένη υπερβολικά στην πλατφόρμα Bluetooth με αποτέλεσμα να χαθεί η γενικότητα της σχεδίασης αλλά και η υλοποίηση να μην είναι επεκτάσιμη και σε άλλες πλατφόρμες.

Για την εργασία αυτή προτιμήσαμε τη δεύτερη μεθοδολογία, δηλαδή της προσέγγισης από κάτω-προς-πάνω. Οι λόγοι που μας οδήγησαν σε μια τέτοια σχεδίαση ήταν ότι όπως αναφέρεται και στην εργασία [52] για το επιχείρημα άκρο -προς- άκρο (*end -to- end argument*), σε μια εφαρμογή/εργασία όπου έχει σαν σκοπό την βελτίωση της απόδοσης σε διάφορους τομείς (ταχύτητα, κατανάλωση εύρους δικτύου, ασφάλεια κλπ) πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και τα χαμηλότερα επίπεδα από αυτά στα οποία δραστηριοποιείται η εφαρμογή/εργασία αυτή, καθότι καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την απόδοση -οπότε δεν υπάρχει η πολυτέλεια να αγνοούνται- αλλά και είναι πιθανόν κάποια εργασία να επαναλαμβάνεται -άσκοπα- σε περισσότερα επίπεδα οπότε μια γενικότερη θεώρηση των επιπέδων αυτών αποσοβεί τέτοιους κινδύνους.

Διάφορα ζητήματα τα οποία έπρεπε να λάβουμε υπόψιν κατά τη σχεδίαση μας ήταν:

- Στην περίπτωση της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από Bluetooth, σημαντικό τμήμα της διαδικασίας αυτής για μια συσκευή είναι η ανακάλυψη αρχικά των γειτονικών συσκευών της και έπειτα η ανακάλυψη των υπηρεσιών σε αυτές τις συσκευές. Οπότε το ενδιαφέρον της εργασίας μας θα έπρεπε να επικεντρωθεί και στην βελτίωση της διαδικασίας ανακάλυψης των συσκευών.
- Έπειτα από το στάδιο της ανακάλυψης των γειτονικών συσκευών, σημαντικό ρόλο παίζει η σύνδεση με τις υπόλοιπες συσκευές καθώς είδαμε ότι υπάρχουν διάφορα προβλήματα συνδεσιμότητας στο Bluetooth (βλ. ενότητα 2.5), οπότε η σχεδίαση θα έπρεπε να αντιμετωπίζει το πρόβλημα της συνδεσιμότητας μεταξύ συσκευών.
- Εκτός από την αντιμετώπιση των επιμέρους προβλημάτων ανακάλυψης και συνδεσι-

μότητας των συσκευών, μια γενικότερη άποψη θα επέβαλλε την προσπάθεια περιορισμού τους, δηλαδή προσπάθεια ώστε κατά το δυνατόν να μη χρειάζεται να γίνεται η ανακάλυψη των γειτονικών συσκευών ή σύνδεση με αυτές.

- Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι το μηχανισμό ανακάλυψης υπηρεσιών τον χρησιμοποιούν εκτός από το χρήστη και προγράμματα, όπως εφαρμογές ή άλλες υπηρεσίες. Ένας χρήστης πιθανότατα είναι διατεθειμένος να περιμένει ένα χρονικό διάστημα μερικών δευτερολέπτων ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία της ανακάλυψης, όμως για ένα πρόγραμμα αυτό μπορεί να αποτελεί καθοριστική -και ανεπίτρεπτη- τροχοπέδη για την ομαλή λειτουργία του. Ακόμα περισσότερο, στην ίδια συσκευή είναι δυνατόν -και μάλιστα πολύ πιθανό- να υπάρχουν πολλές εφαρμογές/υπηρεσίες οι οποίες αναζητούν για άλλες υπηρεσίες χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο αυτό.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω ζητήματα αλλά και την υπάρχουσα ερευνητική εργασία, καταλήξαμε στις παρακάτω δύο προτάσεις-επεκτάσεις του Πρωτοκόλλου Ανακάλυψης Υπηρεσιών.

4.2 Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών

Είναι κοινός τόπος στις περισσότερες εργασίες, να υπάρχει ένας μηχανισμός *ομαδοποίησης* (*aggregation*) τόσο των αιτήσεων προς ανακάλυψη υπηρεσιών, όσο και των απαντήσεων προς τους πελάτες. Σε άλλα πρωτόκολλα υπάρχει κάποιος μεσάζωντας ο οποίος αναλαμβάνει να συγκεντρώνει είτε αιτήσεις αναζήτησης, είτε αποτελέσματα αναζητήσεων, είτε περιγραφές υπηρεσιών ώστε τελικά να μη χρειάζεται για *κάθε* αναζήτηση, είτε πρόκειται για αναζήτηση συσκευών είτε για αναζήτηση υπηρεσιών, να επικοινωνεί η τοπική συσκευή με όλες τις υπόλοιπες.

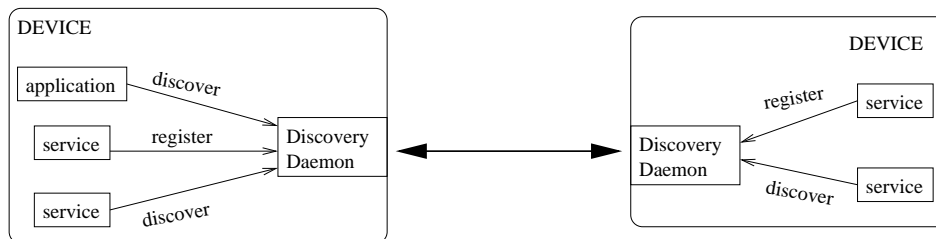
Εάν διαφορετικές υπηρεσίες στην ίδια συσκευή εκτελούν αναζητήσεις, αυτό δε θα πρέπει να έχει σαν αποτέλεσμα κάθε φορά να εκκινείται μια καινούρια διαδικασία αναζήτησης και επίσης θα πρέπει τα αποτελέσματα από διαφορετικές αναζητήσεις να αποθηκεύονται προσωρινά, σε περίπτωση που χρειαστούν από κάποια άλλη εφαρμογή στην ίδια συσκευή. Το παραπάνω ισχύει σε επίπεδο συσκευής, ώστε να υπάρχει επαναχρησιμοποίηση από τις τοπικές εφαρμογές και υπηρεσίες αλλά και σε επίπεδο δικτύου ώστε να υπάρχει επαναχρησιμοποίηση του μηχανισμού από διαφορετικές συσκευές.

Σε επίπεδο συσκευής, ως πιο κατάλληλη τεχνική κρίναμε την ύπαρξη μιας κεντρικής εφαρμογής (*daemon*) σε κάθε συσκευή, επιφορτισμένης να αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση

των αναζητήσεων, ώστε να υπάρχει κεντρικός συντονισμός για τις αναζητήσεις εκ μέρους πολλών εφαρμογών αλλά και προσωρινή αποθήκευση των αποτελεσμάτων για πιθανή επαναχρησιμοποίησή τους. Οι τοπικοί πελάτες μπορούν να επικοινωνούν με την εφαρμογή daemon και να εκτελούν τις παρακάτω λειτουργίες:

- *Εγγραφή τοπικής υπηρεσίας*
- *Διαγραφή τοπικής υπηρεσίας*
- *Αίτηση προς αναζήτηση κάποιας υπηρεσίας*
- *Αίτηση προς αναζήτηση και απαρίθμηση όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών*

Για την ικανοποίηση των αιτήσεων αναζήτησης η εφαρμογή συνδέεται με την αντίστοιχη εφαρμογή daemon σε άλλες συσκευές τις οποίες ανακαλύπτει χρησιμοποιώντας το μηχανισμό ανακάλυψης συσκευών του Bluetooth, και ανακτά μια λίστα από τις υπηρεσίες οι οποίες είναι καταγεγραμμένες στη συσκευή αυτή. Στην εικόνα 4.1 φαίνονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην αρχιτεκτονική του συστήματος σε επίπεδο συσκευής.

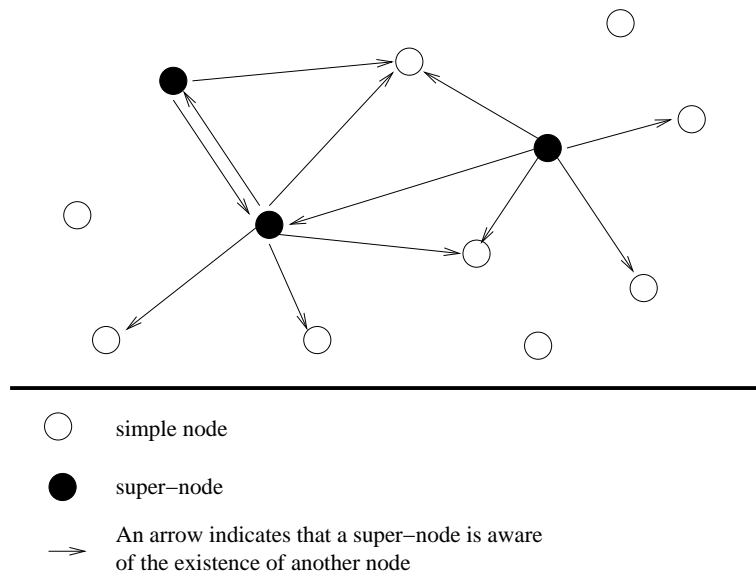


Σχήμα 4.1: Αλληλεπίδραση μεταξύ υποσυστημάτων στο προτεινόμενο πρωτόκολλο.

Για το επίπεδο δικτύου, ως πιο κατάλληλη κρίναμε την αρχιτεκτονική των υπερ-κόμβων (βλ. ενότητα 3.1.1.3) καθώς επιτρέπει στο σύστημα να δημιουργήσει μια τέτοια ομαδοποίηση χωρίς όμως να την επιβάλλει, χωρίς να καταστρατηγείται η αυτονομία των κόμβων και χωρίς η οργάνωση αυτή να κάνει υποθέσεις για τη διαθεσιμότητα των κόμβων το οποίο θα είχε επιπτώσεις στην ανοχή του συστήματος σε λάθη. Επειδή όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 1 τα σενάρια χρήσης χαρακτηρίζονται από έντονη τοπικότητα, πιστεύουμε ότι μια υλοποίηση η οποία θα χρησιμοποιεί τη χρήση μεσαζώντων μπορεί να εκμεταλλευτεί καλύτερα αυτή την τοπικότητα.

Με τη χρήση της αρχιτεκτονικής υπερ-κόμβων, ορισμένοι από τους απλούς κόμβους αναλαμβάνουν να διαδραματίζουν το ρόλο του μεσάζοντα και να αποθηκεύουν πληροφορίες για την ύπαρξη άλλων συσκευών σε εμβέλεια, καθώς και για τις υπηρεσίες

που προσφέρουν αυτές οι συσκευές. Οι υπερ-κόμβοι εκτελούν περιοδικές αναζητήσεις ανά περιόδους διάρκειας *UPDATE_INTERVAL* για απαρίθμηση όλων των διαθέσιμων συσκευών/υπηρεσιών σε εμβέλεια και διατηρούν μια προσωρινή μνήμη με αυτές τις πληροφορίες όπου κάθε τέτοια εγγραφή σχετίζεται με μια χρονοετικέτα (timestamp) η οποία χαρακτηρίζει πόσο πρόσφατα ανακαλύφθηκε η υπηρεσία/συσκευή. Όσο η υπηρεσία/συσκευή εξακολουθεί να βρίσκεται σε εμβέλεια η χρονοετικέτα ενημερώνεται, ενώ με το πέρας κάποιου συγκεκριμένου χρονικού ορίου *RECORD_EXPIRY_TIMEOUT* οι εγγραφές διαγράφονται σαν παρωχημένες ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο υπερ-κόμβος θα παρέχει κατά το δυνατόν συνεπείς πληροφορίες. Φυσικά, στα πλαίσια ενός δυναμικού καταναμημένου συστήματος η συνέπεια των πληροφοριών αποτελεί από μόνο του πεδίο έρευνας και είναι αποδεδειγμένο ότι οι όποιες εγγυήσεις μπορούν να περιοριστούν σε συγκεκριμένα χρονικά περιθώρια συνέπειας, ποτέ όμως δε μπορεί να εξασφαλισθεί απόλυτη συνέπεια καθώς συσκευές μπορούν να προστίθενται ή να εγκαταλείπουν συνεχώς ένα τέτοιο σύστημα.



Σχήμα 4.2: Τοπολογία δικτύου με βάση το προτεινόμενο πρωτοκόλλο.

Στην εικόνα 4.2 φαίνεται σχηματικά η μορφή της τοπολογίας του -εικονικού- δικτύου που σχηματίζεται με τη χρήση της αρχιτεκτονικής υπερ-κόμβων, με βάση την γνώση που έχει κάθε κόμβος(συσκευή) για την ύπαρξη άλλων κόμβων. Κάθε κόμβος γνωρίζει ένα υποσύνολο από τους υπάρχοντες σε κάποια ακτίνα γύρω του αλλά στο σχήμα απεικονίζουμε μόνο για τους υπερ-κόμβους τις πιθανές "συνδέσεις" (γνώση ύπαρξης) χάριν απλοποίησης του σχήματος. Το Πρωτόκολλο Ανακάλυψης χρησιμοποιούν για να ενημερώνονται και οι απλοί κόμβοι αλλά και οι υπερ-κόμβοι για τις συσκευές που υπάρχουν σε εμβέλεια.

Οι κόμβοι αποφασίζουν δυναμικά εάν θα παρέχουν μια υπηρεσία υπερ-κόμβου και

μπορούν να εναλλάσσουν ρόλους κατά βούληση, καθώς οι υπόλοιποι κόμβοι δεν "βασίζονται" σε αυτούς. Εάν διαπιστώνουν ότι υπάρχουν πολλοί υπερ-κόμβοι σε εμβέλεια, τότε μπορούν να επιλέγουν να μειώσουν τα διαστήματα περιοδικής ανανέωσης ή και να αναστείλουν τελείως τη λειτουργία υπερ-κόμβου ενώ άλλες φορές πάλι, εάν διαπιστώσουν ότι δεν υπάρχει κάποιος υπερ-κόμβος σε εμβέλεια μπορούν να προσφέρουν οι ίδιοι την υπηρεσία αυτή. Ομοίως με το μηχανισμό υπερ-κόμβων στα συστήματα ανταλλαγής αρχείων, οι κόμβοι θα μπορούσαν να κρίνουν με "έξυπνα" κριτήρια εάν μπορούν/πρέπει να γίνουν υπερ-κόμβοι, με βάση την υπολογιστική ισχύ του κόμβου, αν έχει πολλές ή λίγες τοπικές υπηρεσίες (εάν έχει πολλές υπηρεσίες, θα είναι ήδη μεγάλος ο φόρτος του από τις αιτήσεις σύνδεσης) κ.ά. Επίσης, πολύ σημαντικό κριτήριο είναι εάν ένας κόμβος ήδη συμμετέχει σε κάποιο μικροδίκτυο και ποιος είναι ο ρόλος του σε αυτό, καθώς μια συσκευή-υποτελής δε θα είχε νόημα να είναι υπερ-κόμβος διότι δε θα είχαν οι άλλες συσκευές τη δυνατότητα να συνδεθούν σε αυτή. Για τον ίδιο λόγο, ένα σημαντικό κριτήριο για να γίνει ή όχι μια συσκευή υπερ-κόμβος θα ήταν εάν υποστήριζε υπηρεσίες ή όχι. Ιδανικά, ένας υπερ-κόμβος δε θα διέθετε υπηρεσίες ή θα διέθετε πολύ λίγες.

Στη δική μας υλοποίηση, για να μπορούμε να ελέγξουμε και να μετρήσουμε πειραματικά τις επιδόσεις του συστήματος δε μπορούσαμε να βασιστούμε σε μια δυναμική και άρα τυχαία -εν μέρει- συμπεριφορά, οπότε καθορίζαμε μέσω εντολών πότε κάποιος κόμβος μεταλλασσόταν σε υπερ-κόμβο και αντίστροφα.

Οπότε συνοπτικά, τα βήματα που εκτελούν οι απλοί κόμβοι συνοψίζονται στην παρακάτω διαδικασία:

- Κάθε πελάτης που θέλει να εκτελέσει μια αναζήτηση κάποιας υπηρεσίας επικοινωνεί με την τοπική εφαρμογή (daemon) και κάνει μια αίτηση με την ερώτησή του.
- Η τοπική εφαρμογή (daemon) διατηρεί μια λανθάνουσα μνήμη όπου αποθηκεύει διευθύνσεις υπερ-κόμβων τους οποίους ανακάλυψε πρόσφατα. Δοκιμάζει να ρωτήσει πρώτα αυτούς για τις αναζητούμενες υπηρεσίες. Φυσικά, εάν η ίδια εφαρμογή εκτελεί και ρόλο υπερ-κόμβου τότε αν έχει πληροφορίες για τις αναζητούμενες υπηρεσίες τις επιστρέφει άμεσα.
- Εάν δεν διαθέτουν πληροφορίες οι υπερ-κόμβοι, τότε ο πελάτης προχωράει σε μια αναζήτηση συσκευών.
- Από τις συσκευές που ανακαλύπτει, εξετάζει αρχικά εάν ανακάλυψε κάποιες συσκευές η οποίες είναι υπερ-κόμβοι και δεν συμπεριλαμβάνονται στη λανθάνουσα προσωρινή μνήμη του. Εάν υπάρχουν τότε τις προσθέτει στην προσωρινή μνήμη του και συνδέεται κατά προτεραιότητα μαζί τους προς αναζήτηση των υπηρεσιών.

4.2. Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών

- Εάν και πάλι δεν ανακαλύψει τις υπηρεσίες που αναζητάει, τότε συνδέεται με όλες τις υπόλοιπες συσκευές τις οποίες ανακάλυψε και εκτελεί το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών. Δε χρειάζεται να συνδεθεί με τις συσκευές στις οποίες διαπίστωσε μέσω των υπερ-κόμβων ότι δεν υπάρχει διαθέσιμη η υπηρεσία που αναζητεί, οπότε εξοικονομεί χρόνο από περιττές συνδέσεις.

Οι λειτουργίες που εκτελούν οι υπερ-κόμβοι επιπλέον από τους απλούς κόμβους είναι οι εξής:

- Περιοδικά εκτελούν αναζήτηση συσκευών και ενημερώνουν μια προσωρινή λανθάνουσα μνήμη με τις διαθέσιμες συσκευές και τις υπηρεσίες τους. Όσες εγγραφές διαπιστωθεί ότι δεν έχουν ενημερωθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, διαγράφονται.
- Στις συνδέσεις που συνάπτονται μαζί τους, εκτός από τις δικές τους υπηρεσίες είναι σε θέση (εάν τους ζητηθεί) να επιστρέψουν και τις υπηρεσίες άλλων συσκευών για τις οποίες γνωρίζουν πληροφορίες.

Τα παραπάνω ισχύουν για την αναζήτηση κάποιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, όμως στην περίπτωση του ερωτήματος της απαρίθμησης όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών είναι επιβεβλημένο ο κόμβος που την εκτελεί να προβεί σε πλήρη αναζήτηση συσκευών, ώστε να υπάρχει εγγύηση ότι θα βρεθεί το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό από τις διαθέσιμες υπηρεσίες, καθώς όπως αναφέραμε παραπάνω δεν υπάρχει κάποια εγγύηση ότι οι τυχόν υπερ-κόμβοι θα έχουν πληροφορίες για όλες τις διαθέσιμες συσκευές και μάλιστα σε ένα δυναμικό, συχνά μεταβαλλόμενο περιβάλλον είναι σχεδόν σίγουρο ότι οι υπερ-κόμβοι δεν θα διαθέτουν αξιόπιστη κατάσταση του συστήματος. Επειδή όμως οι κόμβοι δεν μπορούν να γνωρίζουν για τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται, προκειμένου να επιτυγχάνουν πάντα το μέγιστο δυνατό ποσοστό επιτυχίας ανακάλυψης (ακόμα και εις βάρος του χρόνου που χρειάζεται για την ανακάλυψη) είναι επιβεβλημένο πάντα όταν εκτελούν απαρίθμηση των συσκευών να κάνουν πλήρη αναζήτηση συσκευών, όπως κάνει δηλαδή και το Bluetooth SDP. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στο ερώτημα της πλήρους απαρίθμησης των διαθέσιμων υπηρεσιών, το πρωτόκολλό μας θα ακολουθεί σχεδόν ίδια συμπεριφορά με το πρωτόκολλο του Bluetooth οπότε αναμένουμε και παρόμοιες επιδόσεις. Η διαφορά έγκειται στο ότι η ύπαρξη των υπερ-κόμβων θα δρα βοηθητικά σε κάποιες περιπτώσεις καθώς εάν ένας υπερ-κόμβος διαθέτει πληροφορίες για κάποιες συσκευές, δε θα χρειάζεται ο κόμβος που εκτελεί την απαρίθμηση να ανοίγει σύνδεση μαζί τους.

Ακόμα και αν υπάρχει ένας ή περισσότεροι κόμβοι οι οποίοι λειτουργούν σαν μεσάζοντες, ένα πρόβλημα είναι ότι προκειμένου να τους ανακαλύψει ένας άλλος κόμβος πρέπει ούτως ή άλλως να "πληρώσει" το κόστος της ανακάλυψής τους, καθώς πρέπει να

κάνει αναζήτηση για συσκευές, πράγμα το οποίο είδαμε ότι είναι χρονοβόρος διαδικασία. Ακόμα περισσότερο, εάν κάνει αναζήτηση για συσκευές αλλά δεν υπάρχει τρόπος να ξεχωρίσει ποιες από αυτές λειτουργούν με την πρόσθετη υπηρεσία-μεσάζοντας, τότε ουσιαστικά δεν υπάρχει κάποιο όφελος σε σχέση με το κλασικό πρωτόκολλο του Bluetooth καθώς θα πρέπει και πάλι να ανοιχθούν συνδέσεις σειριακά με όλες τις υπόλοιπες συσκευές έως ότου ανακαλυφθεί η συσκευή-μεσάζοντας.

Σε αυτό το πρόβλημα έρχεται να δώσει λύση το πεδίο CoD (Class of Device) (βλ. ενότητα 2.3.3.1). Το πεδίο αυτό αποτελείται από 3 bytes, τα οποία μεταφέρονται κατά τη διάρκεια αναζήτησης συσκευών από την αναζητούμενη συσκευή προς την αναζητώσα, μαζί με τη διεύθυνση της. Για το πεδίο αυτό υπάρχει μια πρότυπη κωδικοποίηση [6] ώστε να μεταφέρονται με αυτό διάφορες πληροφορίες κατά τη διαδικασία της αναζήτησης και υπάρχει η πρόβλεψη για μελλοντική επέκτασή τους οπότε έχουν μείνει διαθέσιμα κάποια bits. Στην σχεδίασή μας προτείνουμε μια επέκταση της πρότυπης κωδικοποίησης ώστε να περιλαμβάνει την ένδειξη εάν μια συσκευή προσφέρει υπηρεσία μεσάζοντας. Η ένδειξη αυτή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ένα από τα δεσμευμένα bits (όπως είναι τα bits 14, 15), οπότε η επέκταση αυτή είναι συμβατή με την υπάρχουσα κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται στο Bluetooth και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί χωρίς να προκαλεί πρόβλημα ασυμβατότητας ή παρεμβολών σε άλλες συσκευές. Με τον τρόπο αυτό, μόλις ολοκληρωθεί η φάση της αναζήτησης μπορεί η αναζητώσα συσκευή να διακρίνει ποιές συσκευές προσφέρουν υπηρεσία μεσάζοντας και έτσι δε χρειάζεται να συνδεθεί με όλες τις υπόλοιπες.

Εάν ο μεσάζοντας δεν διαθέτει πληροφορίες για την αναζητούμενη υπηρεσία τότε η αναζητώσα συσκευή ακολουθεί το κλασικό πρωτόκολλο και ανοίγει συνδέσεις με τις υπόλοιπες συσκευές χωρίς φυσικά να χρειάζεται να επικοινωνεί με τις συσκευές με τις οποίες διαπίστωσε (μέσω του μεσάζοντα) ότι δε διαθέτουν την υπηρεσία, οπότε και στην περίπτωση ακόμα που δεν ανακαλύψει την υπηρεσία, εξοικονομεί χρόνο από τις άσκοπες συνδέσεις που θα έπρεπε να εκτελέσει.

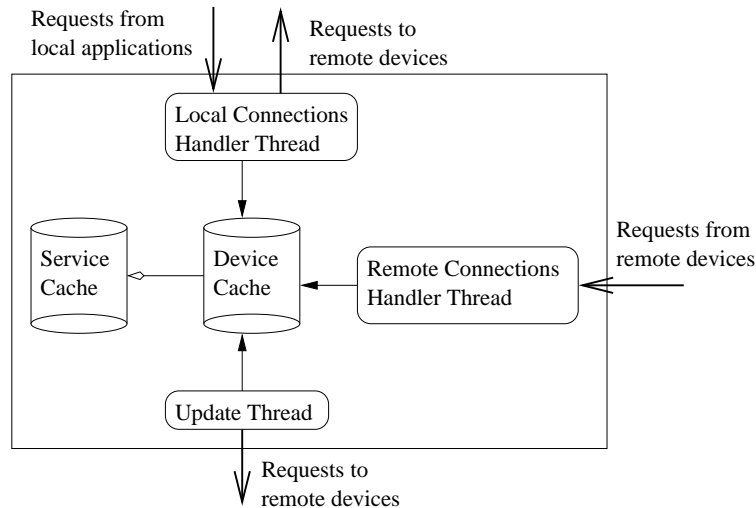
4.2.1 Υλοποίηση

Η υλοποίηση του παραπάνω μηχανισμού έγινε στη γλώσσα προγραμματισμού C, στο περιβάλλον του λειτουργικού συστήματος Linux. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές συσκευές Bluetooth ώστε η αποτίμηση του μηχανισμού να γίνει σε αληθινές συνθήκες και όχι μέσω προσομοίωσης.

Η μορφή της υλοποίησης φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 4.3. Αποτελείται από τρία διαφορετικά υπολογιστικά νήματα (threads), το Remote Connection Handler Thread το οποίο είναι υπεύθυνο να διαχειρίζεται αιτήσεις από τις άλλες συσκευές, το Local

4.2. Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών⁶³

Connections Handler Thread το οποίο διαχειρίζεται τις αιτήσεις των τοπικών εφαρμογών της συσκευής και το Update Thread το οποίο όμως ενεργοποιείται μόνο εάν η συσκευή λειτουργεί σε συμπεριφορά υπερ-κόμβου και το οποίο εκτελεί περιοδικά αναζητήσεις συσκευών, ώστε να ενημερώνεται για τις υπάρχουσες συσκευές σε εμβέλεια και τις υπηρεσίες που αυτές διαθέτουν.



Σχήμα 4.3: Υλοποίηση του βελτιωμένου πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών με τη χρήση υπερ-κόμβων

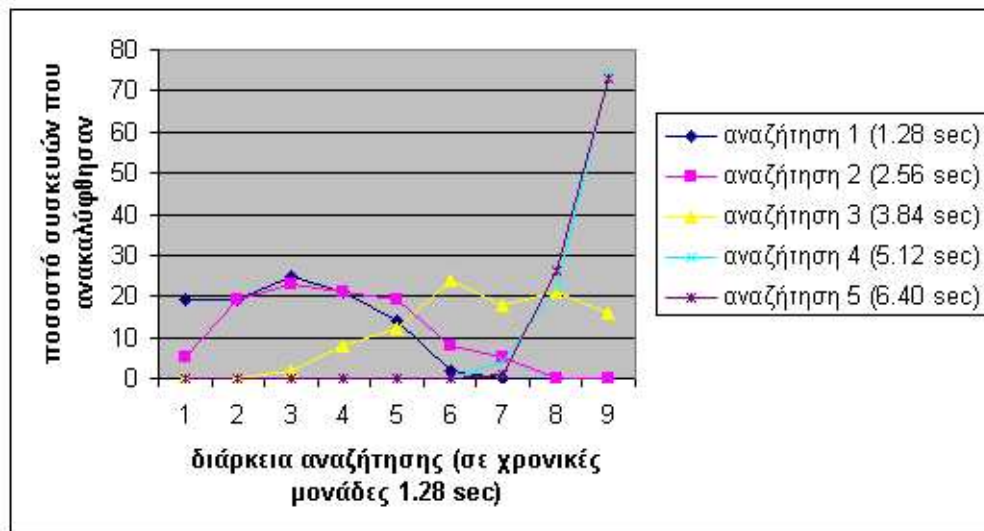
Υπάρχει ακόμα ένας κοινός αποθηκευτικός χώρος (Device Cache) όπου κρατούνται προσωρινές πληροφορίες για τις συσκευές για τις οποίες έχει γνώση η συσκευή, για τον τύπο των συσκευών (εάν είναι υπερ-κόμβοι ή όχι) και για τις διαθέσιμες υπηρεσίες τους (Service Cache). Οι εγγραφές στον προσωρινό αποθηκευτικό χώρο έχουν χρονο-ετικέτες (timestamps) σχετικά με την τελευταία χρονική στιγμή που ενημερώθηκαν, ώστε οι παρωχημένες εγγραφές να διαγράφονται περιοδικά.

4.2.2 Χρόνος αναζήτησης συσκευών

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης χρειάστηκε να πάρουμε διάφορες αποφάσεις οι οποίες καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την απόδοση του συστήματός μας. Μια σημαντική παράμετρος ήταν το χρονικό διάστημα που επιθυμούσαμε να διαρκεί μια διαδικασία ανακάλυψης συσκευών. Στην πρότυπη περιγραφή του Bluetooth υποδεικνύεται ότι μια διαδικασία ανακάλυψης χρειάζεται να διαρκεί χρονικό διάστημα 10.24 sec ($2 * 2$ frequency trains * 2.56 sec) για να είναι αρκετά αξιόπιστη, δηλαδή να επιτυγχάνει να επιστρέψει αρκετά μεγάλο ποσοστό από τις συσκευές σε εμβέλεια.

Επειδή χρειάζεται αρκετά συχνά να εκτελούνται διαδικασίες αναζήτησης συσκευών και αυτό το χρονικό διάστημα είναι πολύ μεγάλο, προσπαθήσαμε να βρούμε μέσω μετρήσεων μια "χρυσή τομή" για τη χρονική διάρκεια της αναζήτησης έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερης διάρκειας και να εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία για το σύστημά μας.

Για το λόγο αυτό προχωρήσαμε σε μετρήσεις με αρκετό πλήθος από συσκευές, όπου μετρούσαμε το ποσοστό επιτυχίας μιας συσκευής να ανακαλύψει όλες τις συσκευές σε εμβέλεια ως προς τη διάρκεια αναζήτησης. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην εικόνα 4.4



Σχήμα 4.4: Ποσοστά συσκευών που ανακαλύφθηκαν σε σχέση με τη διάρκεια της αναζήτησης

Από την πρότυπη περιγραφή του Bluetooth γνωρίζουμε ότι απαιτούνται 2.56 sec (2 χρονικές μονάδες) για να σαρωθούν πλήρως όλες οι συχνότητες σε μια ομάδα (τραίνο) συχνοτήτων από αυτές που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία της αναζήτησης συσκευών και μόνο μετά από αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να γίνει αναζήτηση στη δεύτερη ομάδα (τραίνο) συχνοτήτων.

Όπως είναι αναμενόμενο λοιπόν θεωρητικά, μέσα σε 1.28 sec (αναζήτηση 1 χρονικής μονάδας) δεν προλαβαίνει το Bluetooth να ανιχνεύσει αιτήσεις αναζήτησης ούτε καν σε ένα ολόκληρο από τα τραίνα συχνοτήτων και παρατηρούμε ότι αυτό αντικατοπτρίζεται και στα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς στο 85% των μετρήσεων δεν κατόρθωσε να ανακαλύψει ούτε τις μισές συσκευές, σε ένα ποσοστό περίπου 20% δεν ανακάλυψε καμία συσκευή, ενώ δεν κατόρθωσε ποτέ να ανακαλύψει όλες τις υπάρχουσες συσκευές.

4.2. Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών⁶⁵

Σε αναζήτηση διάρκειας 2 χρονικών μονάδων (2.56 sec) παρατηρούμε ότι αυξάνεται το ποσοστό των ανακαλυπτόμενων συσκευών σε σύγκριση με την αναζήτηση διάρκειας 1 χρονικής μονάδας αλλά εξακολουθεί σε μεγάλο ποσοστό (περίπου 70 %) να ανακαλύπτει λιγότερες από τις μισές συσκευές, ενώ και πάλι δεν κατόρθωσε ποτέ καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης να ανακαλύψει όλες τις διαθέσιμες συσκευές σε εμβέλεια. Σε διάστημα 2.56 sec σύμφωνα με το πρότυπο του Bluetooth η συσκευή σαρώνει μόνο τις μισές συχνότητες (το ένα εκ των δύο τραίνων-ομάδων συχνότητων) οπότε το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο.

Στην αναζήτηση διάρκειας 3 χρονικών μονάδων, θεωρητικά αναμένουμε καλύτερα αποτελέσματα καθώς πλέον η συσκευή σε αυτό το χρόνο σαρώνει μια ολόκληρη ομάδα συχνοτήτων και μισή ακόμα από την εναπομείνουσα. Το αποτέλεσμα αυτό αντικατοπτρίζεται και στις μετρήσεις μας όπου παρατηρούμε ότι έχει μηδενισθεί η πιθανότητα να μην ανακαλυφθούν καθόλου συσκευές, ενώ σε ένα αρκετά υψηλό ποσοστό της τάξης του 35% -σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου ήταν μηδενικό- ανακαλύπτονται όλες οι συσκευές ή σχεδόν όλες οι συσκευές.

Όπως αναμένουμε και θεωρητικά, σε 4 χρονικές μονάδες η συσκευή σαρώνει όλες τις συχνότητες που καθορίζει η διαδικασία αναζήτησης, παρατηρούμε λοιπόν μεγάλο ποσοστό επιτυχίας στην αναζήτηση διάρκειας 5.12 sec. Βλέπουμε ότι σε ένα αρκετά υψηλό ποσοστό της τάξης του 74%, ανακαλύπτονται όλες οι συσκευές σε εμβέλεια, ενώ σε καμία περίπτωση δεν είχαμε αποτυχία να εντοπιστεί τουλάχιστο το 75% των συσκευών σε εμβέλεια. Βλέπουμε λοιπόν ότι μια αναζήτηση τέτοιας διάρκειας είναι αρκετά αξιόπιστη και με μεγάλη ακρίβεια επιστρέφει το σύνολο σχεδόν των διαθέσιμων συσκευών.

Θέλοντας να αξιολογήσουμε κατά πόσον οδηγεί σε ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας μια αναζήτηση μεγαλύτερης διάρκειας, πραγματοποιήσαμε μετρήσεις διάρκειας 5 χρονικών μονάδων (6.40 sec). Παρατηρούμε σε αυτή την περίπτωση τα ποσοστά επιτυχίας είναι παραπλήσια με την προηγούμενη αναζήτηση. Σε ενδεικτικές μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε με ακόμα μεγαλύτερη διάρκεια αναζήτησης διαπιστώσαμε ότι αυξάνονται λίγο τα ποσοστά επιτυχίας και όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να δικαιολογούν το επιπλέον χρονικό κόστος. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο των παρεμβολών ή/και χαμένων πακέτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναζήτησης οπότε πρακτικά είναι εξαιρετικά απίθανο να επιτύχουμε μηδενικές απώλειες.

Από τις παραπάνω μετρήσεις συμπεραίνουμε ότι μια αναζήτηση διάρκειας 8 χρονικών μονάδων (10.24 sec) που προτείνεται από το πρότυπο του Bluetooth για μεγιστοποίηση του ποσοστού αξιοπιστίας (επιτυχίας ανακάλυψης) είναι υπερβολική, συγκριτικά με το χρονικό κόστος της, καθώς μια αναζήτηση με τη μισή μόνο διάρκεια (5.12 sec) μπορεί σε μεγάλο ποσοστό να ανακαλύψει το μεγαλύτερο ποσοστό από τις διαθέσιμες συσκευές και ως εκ τού-

του η αναζήτηση διάρκειας 5.12 sec ($4 * 1.28$ sec) κρίνεται σαν η χρυσή τομή του χρονικού κόστους έναντι της αξιοπιστίας της αναζήτησης.

4.2.3 Χρόνος σύνδεσης συσκευών

Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό το οποίο ήταν χρήσιμο να γνωρίζουμε για το Bluetooth είναι ο απαιτούμενος χρόνος για τη σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών Bluetooth. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήσαμε μετρήσεις ώστε να διαπιστώσουμε τη μέση καθυστέρηση που παρατηρείται και διαπιστώσαμε ότι η μέση καθυστέρηση *όταν επιτυγχάνει η σύνδεση* είναι της τάξης *1.5 sec* με μέση απόκλιση *0.9 sec*.

Οι χρόνοι αυτοί μπορούν να εξηγηθούν και θεωρητικά από την πρότυπη περιγραφή του Bluetooth καθώς στη διαδικασία αίτησης σύνδεσης (βλ. ενότητα 2.3.4) ακολουθείται παρόμοια διαδικασία με την διαδικασία αναζήτησης, όπου οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν/λαμβάνουν οι συμμετέχουσες συσκευές χωρίζονται σε 2 ομάδες συχνοτήτων (trains). Η εναλλαγή ανάμεσα στις δύο ομάδες συχνοτήτων που σαρώνει η συσκευή η οποία προσπαθεί να ανοίξει την σύνδεση (μελλοντική κύρια συσκευή) μπορεί να γίνει μόνο έπειτα από *1.28 sec* σύμφωνα με το πρότυπο, ώστε να εξασφαλίσει ότι θα υπάρχει πιθανότητα να συμπέσει στην κατάλληλη συχνότητα με την -μελλοντική- υποτελή συσκευή, καθότι η μελλοντική υποτελής συσκευή σαρώνει μία φορά κάθε 1.28 sec τη συχνότητα που καθορίζει ο αλγόριθμος εναλλαγής συχνοτήτων.

Σε μια τυχαία διαδικασία αίτησης σύνδεσης, είναι αναμενόμενο ότι τις μισές περίπου φορές τα ρολόγια των συσκευών θα βρίσκονται σε τέτοια σχετική θέση μεταξύ τους ώστε να τύχει να σαρώνουν συχνότητες από την ίδια ομάδα συχνοτήτων, ενώ τις άλλες μισές να τύχουν σε διαφορετική ομάδα συχνοτήτων, με αποτέλεσμα λοιπόν στη μία περίπτωση να χρειάζεται η σύνδεση χρόνο τουλάχιστο 1.28 sec ενώ στην άλλη περίπτωση χρόνο το πολύ 1.28 sec.

Το αποτέλεσμα αυτό αντικατοπτρίζεται και στις μετρήσεις, όπου διαπιστώνουμε ότι ο χρόνος κυμαίνεται γύρω στο 1.5 sec, με τυπική απόκλιση της τάξης του 0.9 sec.

4.3 Διομότιμη αρχιτεκτονική με τη χρήση κωδικοποίησης στο πεδίο CoD

Η αρχιτεκτονική που προτείναμε παραπάνω, χρησιμοποιεί και τροποποιεί το πεδίο CoD αλλά με ένα τρόπο ο οποίος είναι συμβατός με το καθορισμένο πρότυπο από το Bluetooth SIG [6]. Προχωρώντας την πρόταση αυτή ένα βήμα παραπέρα, σκεφτήκαμε ότι θα μπο-

ρούσε να χρησιμοποιηθεί το πεδίο αυτό με τη χρήση διαφορετικής κωδικοποίησης από την προτεινόμενη, προκειμένου να πετύχουμε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Βέβαια όπως γίνεται κατανοητό, με τη χρήση διαφορετικής κωδικοποίησης, η υλοποίησή μας γίνεται ασύμβατη με τις υπάρχουσες συσκευές.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 το πεδίο αυτό αποτελείται από 3 bytes. Τα 2 πρώτα bits χρησιμοποιούνται για να δείξουν το είδος κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται, οπότε μια διαφορετική κωδικοποίηση δηλώνεται εκεί με μια ένδειξη διαφορετική από την ένδειξη του προτύπου, ώστε να μη δημιουργεί προβλήματα στις άλλες συσκευές.

Τα υπόλοιπα bits χωρίζονται σε τρεις υπο-ομάδες, από τις οποίες η μία ομάδα δηλώνει την ευρύτερη κατηγορία στην οποία ανήκει η συσκευή αυτή (υπολογιστής, τηλέφωνο, περιφερειακή συσκευή κλπ), η δεύτερη εξειδικεύει περισσότερο την υποκατηγορία στην οποία ανήκει η συσκευή (για παράδειγμα, αν είναι περιφερειακή συσκευή καθορίζει εάν πρόκειται για ποντίκι, πληκτρολόγιο, ακουστικά κλπ) ενώ στην τρίτη ομάδα υποδηλώνονται οι υπηρεσίες τις οποίες διαθέτει η συσκευή.

Κάθε bit στην ομάδα αυτή αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη κατηγορία υπηρεσιών, από μια πολύ γενική λίστα η οποία καθορίζεται στην πρότυπη κωδικοποίηση του πεδίου. Ουσιαστικά η κωδικοποίηση αυτή καθορίζει και μια οντολογία των πιθανών υπηρεσιών που υπάρχουν ή μπορεί να υπάρχουν σε ένα δίκτυο προσωπικής περιοχής Bluetooth.

Υπάρχει γενικά η παραδοχή ότι το πεδίο αυτό προσφέρει λίγα bits διαθέσιμα προς αξιοποίηση, καθώς ο πρωταρχικός σκοπός του δεν ήταν η απευθείας ανακάλυψη των υπηρεσιών μιας συσκευής, αλλά η απλή ένδειξη για τον τύπο της συσκευής, καθότι μην ξεχνάμε ότι ένας από τους τομείς εφαρμογής του Bluetooth είναι η διασύνδεση περιφερειακών μεταξύ τους. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε μια εναλλακτική κωδικοποίηση δε θα χρειαζόταν να υποδηλώνουμε το είδος της συσκευής, όπως γίνεται τώρα στο Bluetooth, καθώς δεν κρίνουμε ότι είναι τόσο σημαντική πληροφορία. Εξάλλου, για τις εφαρμογές/υπηρεσίες που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες μιας απομακρυσμένης συσκευής δεν έχει σημασία το είδος της συσκευής όσο οι ίδιες οι υπηρεσίες. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία που μπορεί να δεχτεί ένα ρεύμα δεδομένων προς αποθήκευση ή επεξεργασία, δεν έχει ιδιαίτερη σημασία αν τα δεδομένα αυτά θα προερχόταν από ένα πληκτρολόγιο ή από μια άλλη εφαρμογή, αρκεί το είδος της υπηρεσίας που θα προσέφερε να ήταν το ίδιο και να υποστήριζαν το ίδιο πρωτόκολλο για την επικοινωνία μεταξύ τους.

Το συνολικό μέγεθος του πεδίου αυτού είναι 24 bits και 2 από αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να δηλώσουν τον κωδικό της κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται, οπότε μένουν 22 bits πλήρως αξιοποιήσιμα τα οποία δεν είναι επαρκή για να κωδικοποιηθούν σε αυτά αρκετές πληροφορίες οι οποίες να δίνουν επακριβή προσδιορισμό για όλες τις πιθανές υπηρεσίες που μπορεί προσφέρει μια συσκευή. Η πιθανή πλήρης οντολογία από υπηρεσίες

θα είναι εν γένει πολύ μεγάλη, χωρίς και πάλι να μπορεί να προβλέψει όσες πιθανόν αναπτυχθούν μελλοντικά, ενώ και ο αριθμός των υπηρεσιών που προσφέρει μια συσκευή μπορεί να είναι απεριόριστος, εάν για παράδειγμα πρόκειται για ένα υπολογιστή γενικού σκοπού. Οπότε, οποιαδήποτε κωδικοποίηση και αν προτεινόταν αυτή θα μπορούσε να δίνει μόνο γενικές περιγραφές των διαθέσιμων υπηρεσιών όπως γίνεται και τώρα στο Bluetooth και το μόνο που θα διέφερε ίσως θα ήταν η οντολογία, η οποία θα μπορούσε να είναι πιο πλούσια και να περιλαμβάνει μια μεγαλύτερη και πιο ενημερωμένη λίστα από υπηρεσίες. Ακόμα και αν επεκτείναμε το υπάρχων μοντέλο και διαθέταμε από ένα bit του πεδίου CoD για κάθε γενική κατηγορία υπηρεσιών, θα μπορούσαμε να υποδηλώσουμε την ύπαρξη (ή μη ύπαρξη) έως 22 διαφορετικών υπηρεσιών, δηλαδή δεν υπάρχει ένα τόσο σημαντικό κέρδος το οποίο να δικαιολογεί το κόστος και την αναστάτωση που θα επέφερε μια τέτοια αλλαγή.

Όμως, μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι σε συνηθισμένα σενάρια χρήσης υπάρχουν αρκετές συσκευές οι οποίες προσφέρουν μόνο μία υπηρεσία, ή ότι μόνο μία υπηρεσία είναι η βασική. Για παράδειγμα, όταν το σενάριο χρήσης συμπεριλαμβάνει περιφερειακές συσκευές, το πιθανότερο είναι ότι αυτές οι συσκευές θα προσφέρουν μόνο μία υπηρεσία. Οπότε αφού έτσι και αλλιώς δε μπορούμε να περιγράψουμε λεπτομερώς όλες τις πιθανές υπηρεσίες, θα μπορούσαμε να περιγράψουμε μία υπηρεσία εκτενώς δίνοντας περισσότερες πληροφορίες για αυτήν και να δεσμεύσουμε 1-2 bits σαν ένδειξη εάν υπάρχουν κι άλλες υπηρεσίες διαθέσιμες, ώστε οι πιθανές ενδιαφερόμενες συσκευές να ανοίξουν L2CAP σύνδεση και να μάθουν περισσότερες πληροφορίες. Στην παρούσα υλοποίηση του Bluetooth είναι κοινή περίπτωση μετά την ανακάλυψη μία συσκευή να πρέπει να ανοίξει L2CAP σύνδεση για να πάρει περισσότερες πληροφορίες για τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες, οπότε η πρότασή μας δεν εισάγει κάποιο καινούριο επιβάρυνση στη συνολική διαδικασία, όμως σε ειδικές περιπτώσεις χρήσης θα είχε μεγάλη επίπτωση στη βελτίωση της ταχύτητας ανακάλυψης, αφού κατευθείαν με μια διαδικασία αναζήτησης συσκευών θα μπορούσε μια συσκευή να ανακαλύψει μερικές ή και το σύνολο των συσκευών που έχουν τις υπηρεσίες τις οποίες αναζητάει.

Στην εργασία [34] προτείνεται ένας τρόπος κωδικοποίησης με τον οποίο μπορούμε να περάσουμε *πλήρη* πληροφορία για *μία* υπηρεσία. Οι συγγραφείς προτείνουν ότι αν κωδικοποιούμε τις πληροφορίες για την υπηρεσία με μια λεξικογραφική αναπαράσταση και υποθέσουμε ότι οι πληροφορίες αυτές θα συγκρίνονται μόνο κατά το χρόνο της αίτησης και δε θα χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία, μπορούμε να εφαρμόσουμε μια διαδικασία hashing πάνω στην πληροφορία αυτή ώστε να τη συμπυκνώσουμε σε 22 bits. Η διαδικασία αυτή δε χρειάζεται να πληροί κάποιες εγγυήσεις ασφάλειας, παρά μόνο να προσφέρει μικρή πιθανότητα συγκρούσεων (collision free algorithm) οπότε προτείνουν τη χρήση κάποιου από τους γνωστούς hashing αλγόριθμους όπως MD5, SHA1, MAA [54] κλπ. Με τον τρόπο αυτό προ-

τείνουν οι συγγραφείς ότι μια συσκευή που αναζητάει συγκεκριμένα περιφερειακά ή συγκεκριμένες υπηρεσίες, μπορεί να τις ανακαλύπτει μόνο με μια διαδικασία αναζήτησης συσκευών (inquiry) χωρίς το υπόλοιπο κόστος του πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών.

Ένα σημαντικό πρόβλημα με αυτή την προσέγγιση είναι ότι μπορεί να απαντάει μόνο σε ερωτήματα του τύπου "*Βρες την υπηρεσία A*" (για παράδειγμα "*Βρες τον εκτυπωτή "DSL-PRINTER-LASER1"*") αλλά όχι όμως σε ερωτήματα του τύπου "*Βρες μια υπηρεσία τύπου B*" (για παράδειγμα "*Βρες ένα laser εκτυπωτή*" ή "*Βρες όλους τους διαθέσιμους εκτυπωτές*").

Η δική μας πρόταση είναι ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική κωδικοποίηση συνολικά στα bits του πεδίου Class of Device έτσι ώστε η πληροφορία που εξάγεται από τα bits αυτά να είναι πιο πλούσια από ότι στην εργασία που περιγράψαμε παραπάνω ώστε να μπορεί καταρχήν να βελτιστοποιήσει τη διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών και ακόμα περισσότερο, να προσφέρει τη δυνατότητα κατά τη διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών για ερωτήματα όπως αυτά που περιγράψαμε.

Χρησιμοποιώντας κάποιο αλγόριθμο προθέματος (prefix algorithm) [14] θα μπορούσε κάποιος να καθορίσει εκτός από το είδος της υπηρεσίας που υποστηρίζει μια συσκευή της, την ακριβή θέση στην οποία βρίσκεται σε μια ιεραρχική-δενδρική οντολογία. Στην κωδικοποίηση που χρησιμοποιεί το Bluetooth, έχει φτιαχτεί μια πολύ γενική οντολογία για την περιγραφή/κατηγοριοποίηση των συσκευών που υπάρχουν (ή πιθανόν να υπάρξουν) και των υπηρεσιών τους[6]. Θα μπορούσε να αναπτυχθεί λοιπόν μια πιο πλούσια οντολογία η οποία να περιλαμβάνει μια πιο ενδεδειγμένη κατηγοριοποίηση όλων των γνωστών υπηρεσιών, πάνω στην οποία να προσδιορίζει με τη χρήση του CoD η συσκευή ποια υπηρεσία προσφέρει. Από τα 22 διαθέσιμα bits θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το 1 για να υποδηλώσει την ύπαρξη ή μη περισσότερων διαθέσιμων υπηρεσιών (εκτός αυτής που ήδη περιγράφεται), 1 bit για να υποδηλώσει εάν η συσκευή υποστηρίζει λειτουργία υπερ-κόμβου (ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επέκταση που περιγράψαμε παραπάνω) και τέλος θα έμεναν προς αξιοποίηση 20 bits. Με τη χρήση ενός αλγόριθμου προθέματος θα μπορούσε να υποδηλώσει την ακριβή θέση της υπηρεσίας σε μια δενδρική μορφή, η οποία δομή ανάλογα και με την οντολογία που θα μπορούσε να σχεδιαστεί θα μπορούσε να αναπαραστήσει πληροφορία της τάξης του 2^{20} το οποίο είναι ένα σεβαστό μέγεθος που επιτρέπει μια πολύ αναλυτική καταγραφή από τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Με αυτό τον τρόπο κωδικοποίησης, προχωράμε ένα βήμα παραπέρα από την πρόταση της εργασίας [34] καθώς δίνουμε τη δυνατότητα όχι μόνο να συμπεραίνουμε για την ύπαρξη ή όχι μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας αλλά και να προσδιορίζουμε επακριβώς τον τύπο της (είδος προγόνων σε μια δενδρική ιεραρχία).

Στην παρούσα εργασία δεν καταγράψαμε μια τέτοια καινούρια οντολογία η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο Bluetooth, καθώς κάτι τέτοιο θα ξέφευγε από τα πλαίσια της εργασίας μας, όμως στην ενότητα 5 παρουσιάζουμε μια εκτίμηση για την επίδοσή της,

με βάση τις επιδόσεις του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών (inquiry).

Κεφάλαιο 5

Πειραματική αποτίμηση

5.1 Σενάρια χρήσης

Για να μελετήσουμε την απόδοση του συστήματός μας σε πραγματικό περιβάλλον και ρεαλιστικές συνθήκες, σκιαγραφήσαμε κάποια σενάρια τα οποία προέρχονται από την καθημερινή πρακτική και αντικατοπτρίζουν υπαρκτές συνθήκες. Ταυτόχρονα προσπαθήσαμε ώστε τα σενάρια αυτά να μην εισάγουν τεχνητές και κατασκευασμένες συνθήκες, για να μην υπάρχει ο κίνδυνος/υπόνοια ότι αναδεικνύουν τα προτερήματα και υποβαθμίζουν τα πιθανά προβλήματα της σχεδίασης μας.

Υποθέτουμε ότι σε κάθε συσκευή υπάρχει ένας αριθμός από υπηρεσίες. Σε ένα τυπικό περιβάλλον είναι αναμενόμενο να υπάρχουν συσκευές, όπως για παράδειγμα επιτραπέζιοι υπολογιστές, οι οποίες θα διαθέτουν αρκετές υπηρεσίες, ενώ θα υπάρχουν και συσκευές οι οποίες διαθέτουν μόνο λίγες υπηρεσίες, για παράδειγμα ένας εκτυπωτής. Για τα σενάρια που αναπτύξαμε, υποθέτουμε ότι κάθε συσκευή διαθέτει τουλάχιστο από μία υπηρεσία για να έχει νόημα η συμμετοχή της στα σενάρια αυτά.

Με βάση τις παρατηρήσεις που κάναμε στο κεφάλαιο 1 για τις συνήθεις καθημερινές αλληλεπιδράσεις με τέτοια συστήματα, καταλήξαμε στα παρακάτω σενάρια εφαρμογών:

- Στατικό περιβάλλον

Σε ένα στατικό περιβάλλον, υποθέτουμε ότι υπάρχουν κάποιες συσκευές για εύλογο χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε έχουν γίνει κάποιες αλληλεπιδράσεις και αναζητήσεις μεταξύ των συσκευών, έτσι ώστε τελικά το σύστημα έχει έρθει σε μια σταθερή κατάσταση κατά την οποία οι συσκευές γνωρίζουν αρκετές από τις γειτονικές τους συσκευές και τις υπηρεσίες που αυτές προσφέρουν.

Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ένα τυπικό περιβάλλον γραφείου, στο οποίο υπάρχει ένα σύνολο από συσκευές (υπολογιστές, εκτυπωτές, οθόνες, κλπ) το οποίο είναι σχετικά σταθερό και συνήθως δεν υπάρχουν συχνές δραστικές αλλαγές, ενώ και οι τυχόν προσθήκες ή μειώσεις στο σύνολο αυτό είναι πρόσκαιρες και μετά από λίγο το σύστημα ενσωματώνει τις αλλαγές, δηλαδή μαθαίνει για την ύπαρξη ή εξαφάνιση των συσκευών και των υπηρεσιών τους και προσαρμόζεται κατάλληλα. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον ένας χρήστης θα είναι πιο απαιτητικός από την απόδοση του συστήματος συνολικά, καθώς περιμένει ότι το σύστημα (δικτυωμένες συσκευές) "προσαρμόζεται" σε αυτές τις συνθήκες και αν δεν υπάρχουν αλλαγές θα πρέπει η απόδοση (όπως ταχύτητα απόκρισης, καθυστέρηση, κατανάλωση εύρους δικτύου κλπ) να κυμαίνεται σε σταθερά και προβλέψιμα επίπεδα.

Για αυτό το λόγο, δε θα ήταν ένας χρήστης ευχαριστημένος από το σύστημά του και μια υπηρεσία δε θα λειτουργούσε υπό τις συνθήκες που θα μπορούσε, εάν για παράδειγμα ένας εκτυπωτής ο οποίος είναι σταθερός μέσα σε ένα περιβάλλον γραφείου θα πρέπει να ανακαλύπτεται εξ αρχής *κάθε* φορά που πρέπει να γίνει μια εκτύπωση.

- Δυναμικό περιβάλλον

Δυναμικό περιβάλλον θεωρούμε το περιβάλλον στο οποίο μπορούν ανά πάσα στιγμή να γίνουν ραγδαίες αλλαγές και να προστίθενται/αφαιρούνται συσκευές και υπηρεσίες. Σαν παράδειγμα ένας χρήστης μπορεί να έχει ένα σύνολο από συσκευές και να εισέρχεται σε ένα ξένο περιβάλλον στο οποίο ήδη υπάρχει ένα άλλο σύνολο από συσκευές, ή απλά να περπατάει στο δρόμο και να έρχεται σε εμβέλεια με συσκευές άλλων χρηστών ή δημόσιες υποδομές.

Σε ένα δυναμικό περιβάλλον είναι φυσιολογικό να μην έχουμε τόσο καλή απόδοση (ταχύτητα, κατανάλωση δικτύου κλπ) όσο σε ένα στατικό περιβάλλον αλλά επιθυμητό χαρακτηριστικό από το πρωτόκολλό μας είναι να μην επιβαρύνει επιπλέον το υπάρχον πρωτόκολλο και να συμπεριφέρεται στη χειρότερη περίπτωση με απόδοση αντίστοιχη του πρωτοκόλλου ανακάλυψης υπηρεσιών του Bluetooth.

- Υβριδικό περιβάλλον

Υβριδικό περιβάλλον θεωρούμε το περιβάλλον στο οποίο η πλειοψηφία των συσκευών είναι οργανωμένες σε μικρές ομάδες-πυρήνες οι οποίες αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους. Η σύνθεση των ομάδων δεν αλλάζει συχνά, οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι παραμένει σταθερή όπως στο στατικό περιβάλλον που αναφέραμε παραπάνω.

Το υβριδικό περιβάλλον πιστεύουμε ότι είναι το πιο αντιπροσωπευτικό για την συνήθη χρήση των δικτύων προσωπικής περιοχής. Οι συσκευές που έχει πάνω του ένας χρήστης, οι συσκευές που βρίσκονται σε ένα γραφείο, σε ένα σπίτι, στο αυτοκίνητο, σε σημεία δημόσιας πρόσβασης αποτελούν συνήθως μια σταθερή ομάδα η οποία δεν αλλάζει συχνά σύνθεση και της οποίας οι συσκευές αλληλεπιδρούν με άλλες τέτοιες σταθερές ομάδες με τις οποίες έρχονται πρόσκαιρα σε εμβέλεια και κατόπιν πάλι απομακρύνονται όχι μεμονωμένα αλλά όλες μαζί. Αυτή η συμπεριφορά παρουσιάζει μεγάλη τοπικότητα ως προς την επικοινωνία και την τρόπο που έρχονται σε εμβέλεια οι συσκευές οπότε περιμένουμε πως παρόλο που πρόκειται για ένα δυναμικό περιβάλλον θα παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από το καθαρά δυναμικό σενάριο καθώς το πρωτόκολλο που προτείναμε μπορεί να εκμεταλλεύεται αυτή την τοπικότητα.

Σε όλα τα περιβάλλοντα, τα ερωτήματα τα οποία υποβάλλαμε στους μηχανισμούς ανακάλυψης υπηρεσιών προκειμένου να αξιολογήσουμε τις επιδόσεις τους ήταν

- Αίτηση προς το μηχανισμό ανακάλυψης υπηρεσιών να βρει *μία συγκεκριμένη* υπηρεσία η οποία είναι διαθέσιμη στο σύστημα
- Αίτηση προς το μηχανισμό ανακάλυψης υπηρεσιών να βρει και να απαριθμήσει *όλες* τις διαθέσιμες υπηρεσίες του συστήματος

5.2 Πειραματικό περιβάλλον

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήσαμε επιτραπέζιους υπολογιστές, στους οποίους προσαρτήσαμε υποσυστήματα Bluetooth USB μέσω των οποίων προσομοιώσαμε την ύπαρξη διαφορετικών συσκευών Bluetooth. Σε κάθε υπολογιστή, λειτουργούσε ένας αριθμός από εικονικές υπηρεσίες οι οποίες εμφανίζονταν στο Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών να προσφέρουν κάποιες υπηρεσίες αλλά στην πραγματικότητα δεν υπήρχε υλοποιημένη κάποια λειτουργικότητα σε αυτές. Επίσης, σε κάθε υπολογιστή λειτουργούσαν οι αντίστοιχες εφαρμογές που υλοποιούσαν το τροποποιημένο μας Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών. Λόγω περιορισμένων δυνατοτήτων σε υλικό δεν μας δόθηκε η ευκαιρία να πραγματοποιήσουμε πειράματα με πολύ μεγάλο αριθμό από συσκευές Bluetooth. Τα πειράματα που παρουσιάζουμε παρακάτω πραγματοποιήθηκαν με 8 συσκευές Bluetooth, οι οποίες προέρχονταν από διάφορες εταιρίες. Όλες οι συσκευές εκτός από μία περιείχαν chip-set από την εταιρία CSR, με διαφορετικές όμως εκδόσεις ενσωματωμένου κώδικα (firmware).

Τα παραπάνω κρίναμε σκόπιμο να τα αναφέρουμε καθότι στις μετρήσεις που ακολουθούν εμφανίζονται οι συσκευές σαν ξεχωριστές οντότητες, ενώ στην πραγματικότητα δεν

ήταν ξεχωριστές οντότητες αλλά . Παρόλο που θα μπορούσε να επηρεάζεται η αντικειμενικότητα των μετρήσεων λόγω του υπολογιστικού φόρτου και της επιπλέον επιδάρυνσης στους υπολογιστές, δεν παρατηρήσαμε στα πειράματα να επηρεάζονται με κάποιο τρόπο οι μετρήσεις καθώς οι υπολογιστές που χρησιμοποιήθηκαν είναι σύγχρονοι σταθμοί εργασίας με μεγάλη υπολογιστική ισχύ ενώ και οι εφαρμογές που έτρεχαν σε αυτούς δεν είχαν μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη ή/και υπολογιστική ισχύ καθώς όπως είπαμε επρόκειτο για ειδικές υπηρεσίες.

Οι υπολογιστές χρησιμοποιούσαν το λειτουργικό σύστημα Linux, ενώ σε όλους τους υπολογιστές χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα-οδηγός (driver) BlueZ [12] το οποίο είναι το επίσημο υποστηριζόμενο πρόγραμμα οδήγησης για Bluetooth του λειτουργικού συστήματος Linux. Το BlueZ προτιμήθηκε επίσης επειδή είναι πρόγραμμα ανοικτού και ελεύθερου πηγαίου κώδικα και τυγχάνει ευρείας και ενεργής υποστήριξης από την κοινότητα των προγραμματιστών για το Bluetooth. Στα συστήματά μας ήταν εγκατεστημένη η έκδοση BlueZ 2.3

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συσκευές Bluetooth οι οποίες χρησιμοποιήσαμε δεν ήταν όλες ακριβώς ίδιες καθώς προερχόταν από διάφορες εταιρίες αλλά βασιζόταν όμως στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα Bluetooth από την εταιρία CSR (Cambridge Silicon Radio)[19]. Οι εκδόσεις του ενσωματωμένου προγράμματος οδήγησης (firmware) στα παραπάνω συστήματα διέφεραν, από την έκδοση 14.3 στα παλιότερα έως 16.4 στα πιο σύγχρονα. Οι διαφορικές αυτές εκδόσεις δεν έχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους στις υποστηριζόμενες δυνατότητες, παρατηρήσαμε όμως κατά τη διαδικασία των πειραμάτων και των μετρήσεων διαφορές στην αξιοπιστία καθώς -όπως είναι φυσικό- τα πιο σύγχρονα συστήματα είχαν πιο σταθερή λειτουργία ενώ τα παλιότερα παρουσίαζαν ορισμένες φορές δυσλειτουργίες. Μερικές φορές, ιδιαίτερα έπειτα από πολλά επαναλαμβανόμενα πειράματα, σταματούσαν οι συσκευές να ανταποκρίνονται και έπρεπε να γίνει επανεκκίνησή τους, το οποίο δυσχέραινε κατά πολύ τα πειράματα.

5.2.1 Μετρούμενες παράμετροι

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 3.2.7, οι παράμετροι τις οποίες μετράμε βασίζονται σε αυτές που προτείνονται στην εργασία [7] δηλαδή είναι :

- Η επιτυχία ανακάλυψης, σαν ποσοστό (λόγος) του πλήθους των περιπτώσεων που ανακαλύφθηκε επιτυχώς η αναζητούμενη υπηρεσία ως προς το συνολικό πλήθος των πειραμάτων που έγιναν και υπήρχε η υπηρεσία αυτή διαθέσιμη. Μετρώντας το ποσοστό αυτό, ουσιαστικά μετράμε την αξιοπιστία του συστήματός μας καθώς μπορούμε

να κρίνουμε εάν το πρωτόκολλο λειτουργεί ικανοποιητικά ως προς τον πρωταρχικό σκοπό του, ο οποίος είναι φυσικά να επιτυγχάνει την ανακάλυψη της υπηρεσίας.

- Η ταχύτητα ανακάλυψης, με μέτρο την μέση καθυστέρηση έως ότου ανακαλυφθεί η αναζητούμενη υπηρεσία, όταν αυτή ανακαλύπτεται. Επίσης για να αξιολογηθεί καλύτερα η ταχύτητα της ανακάλυψης μετράμε και την τυπική της απόκλιση από το μέσο χρόνο.
- Το κόστος ανακάλυψης, με μέτρο τον αριθμό των μηνυμάτων (δημοσίευσης / αναζήτησης) που απαιτεί κάθε μέθοδος. Πόσες διαδικασίες αναζήτησης πρέπει να γίνουν, πόσες συνδέσεις να ανοίξουν και πόση ποσότητα πληροφορίας να μεταδοθεί. Επειδή αυτή η πειραματική παράμετρος δεν είναι εύκολο να μετρηθεί, για κάθε μεθοδολογία που ακολουθήσαμε παραθέτουμε μια ανάλυση με το κόστος προσεγγιστικά το οποίο υπολογίζουμε ότι θα παρουσιάζει.

Τις παραπάνω μετρήσεις τις πραγματοποιούσαμε κάθε φορά, ακριβώς ίδιες, στα τρία -εικονικά- περιβάλλοντα που αναλύσαμε παραπάνω, το *στατικό*, το *δυναμικό* και το *υβριδικό*. Στο στατικό φροντίσαμε ώστε οι συσκευές/υπηρεσίες να υπάρχουν για αρκετή ώρα αδιατάρακτες (χωρίς να προσθέτουμε/αφαιρούμε συσκευές/υπηρεσίες) οπότε είχε "εξαπλωθεί" η γνώση για την ύπαρξη κάθε μίας από αυτές. Στο δυναμικό φροντίσαμε να έρχονται όλες οι συσκευές σε εμβέλεια απότομα και για να εξασφαλίσουμε μια τέτοια λειτουργία την "προσομοιώσαμε" ενεργοποιώντας όλες τις συσκευές ταυτόχρονα. Στο υβριδικό περιβάλλον φροντίσαμε ώστε οι συσκευές που αποφασίσαμε πως θα αποτελούν μέλη της ίδιας ομάδας να αποκτήσουν γνώση για την ύπαρξη των άλλων συσκευών της ίδιας ομάδας, όμοια με το στατικό περιβάλλον, αλλά να λαμβάνουν υπόψιν τις συσκευές κάποιας άλλης ομάδας μόνο όταν με κατάλληλο τρόπο δίναμε εντολή στην εφαρμογή υποδάθρου (daemon) που εκτελεί το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών. Με αυτό τον τρόπο προσομοιώναμε την κατάσταση όπου διαφορετικές -στατικές- ομάδες έρχονται σε εμβέλεια.

Για τις ανάγκες των μετρήσεων ώστε να έχουμε μέτρο σύγκρισης σε σχέση με την απόδοση της αρχιτεκτονικής πάνω στην οποία είναι δομημένο το Bluetooth SDP, χρησιμοποιήσαμε στις μετρήσεις μια δική μας υλοποίηση ενός μηχανισμού ανακάλυψης υπηρεσιών που χρησιμοποιεί την ίδια ακριβώς αρχιτεκτονική και μεθοδολογία με το Bluetooth SDP.

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε, το βελτιωμένο πρωτόκολλο με τη χρήση υπερκόμβων μετρήθηκε στα προσομοιωμένα "στατικά", "δυναμικά" και "υβριδικά" περιβάλλοντα, ενώ το Bluetooth SDP μετρήθηκε μόνο για το δυναμικό περιβάλλον. Ο λόγος είναι ότι ενώ το δικό μας πρωτόκολλο χρησιμοποιεί λανθάνουσα προσωρινή μνήμη για την αποθήκευση διευθύνσεων συσκευών και υπηρεσιών οπότε εκμεταλλεύεται την περίπτωση του στα-

τικού περιβάλλοντος, το οποίο και ήταν ένας από τους αρχικούς μας στόχους, το Bluetooth SDP δεν χρησιμοποιεί τέτοιες τεχνικές, οπότε ακόμα και στο στατικό περιβάλλον όπου όλες οι συσκευές μένουν αδιατάρακτες επί μακρύν χρονικό διάστημα σε κάθε αναζήτηση εκτελεί κάθε φορά καινούρια αναζήτηση συσκευών σαν να βρίσκεται μονίμως σε ένα "δυναμικό" περιβάλλον.

5.3 Πειραματικά αποτελέσματα

5.3.1 Εκτιμώμενο κόστος

Όπως περιγράφεται και στις εργασίες [11] [43] η κατανάλωση ενέργειας στο Bluetooth είναι άμεσα συνυφασμένη με την εκπομπή/λήψη δεδομένων καθώς και τη διαδικασία αναζήτησης συσκευών και λιγότερο με τους υπολογισμούς που πιθανόν χρειάζεται να κάνει μια συσκευή, καθώς η εκπομπή δεδομένων είναι ενεργοδώρα κατά πολύ περισσότερο από την κατάσταση όπου χρησιμοποιείται μόνο ο επεξεργαστής της συσκευής.

Σύμφωνα με τις ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας, έχουν καταλήξει ότι κρίσιμο παράγοντα αποτελεί το μέγεθος των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω ραδιο-συχνοτήτων, οι διαδικασίες αναζήτησης/ανίχνευσης συσκευών και γενικά όλες οι επικοινωνίες, τις οποίες και πρέπει να περιορίσουμε προκειμένου να εξοικονομήσουμε μέρος της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Παρακάτω αναλύουμε το κόστος που αναμένουμε για κάθε πρωτόκολλο από τα παραπάνω, ανάλογα με το είδος του περιβάλλοντος/σεναρίου στο οποίο υποθέτουμε ότι θα λειτουργούσε. Παραθέτουμε το εκτιμώμενο μέσο κόστος, το μέγιστο και το ελάχιστο για κάθε περίπτωση για τις δύο περιπτώσεις ερωτήσεων που μετρήσαμε και στην ενότητα πειραματικά και κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ τους για να διαπιστώσουμε την επιδάρυνση ή την βελτίωση στη χρήση του δικτύου και κατά συνέπεια και στην καταναλισκόμενη ενέργεια από τη χρήση των προτεινόμενων πρωτοκόλλων.

Παρακάτω υποθέτουμε ένα σύστημα όπου υπάρχουν N διαθέσιμες συσκευές σε εμβέλεια, μία συσκευή η οποία αναζητάει υπηρεσίες ή/και εκτελεί απαρίθμηση υπηρεσιών. Επίσης, έστω η συσκευή στην οποία θα ανακαλύψει η συσκευή την υπηρεσία που αναζητάει αν ψάχνει για συγκεκριμένη υπηρεσία και τέλος υποθέτουμε ότι το κόστος μεταφοράς δεδομένων από κάθε συσκευή είναι ίδιο για όλες τις συσκευές, οπότε στο κόστος για το άνοιγμα μιας φυσικής σύνδεσης συμπεριλαμβάνουμε και το κόστος για τη μεταφορά των υπηρεσιών. Συμβολίζουμε με C_i το κόστος για μια αναζήτηση συσκευών (inquiry) και C_c το κόστος για το άνοιγμα μιας σύνδεσης. Όπως είδαμε στην ενότητα 4.2.2 ο χρόνος που χρειάζεται για μια αναζήτηση συσκευών είναι τουλάχιστο 5.12 sec εάν θέλουμε να είναι αρκετά αξιόπιστη

και να μας επιστρέψει με μεγάλη πιθανότητα το σύνολο των διαθέσιμων συσκευών. Ακόμα, στην ενότητα 4.2.3 είδαμε ότι ο μέσος απαιτούμενος χρόνος για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση είναι περίπου 1.5 sec με μέση απόκλιση 0.9 sec. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι αυτός ο χρόνος αφορά στον μέσο χρόνο όταν *επιτυγχάνει* η σύνδεση. Όταν αποτυγχάνει η σύνδεση, για οποιοδήποτε λόγο, αυτός ο χρόνος μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερος. Η σύνδεση μπορεί να αποτύχει για πολλούς λόγους, όπως για παράδειγμα επειδή επιχειρείται σύνδεση σε αριθμό θύρας όπου δεν υπάρχει κάποια υπηρεσία να ανταποκριθεί, επειδή η συσκευή είναι απασχολημένη εκτελώντας αναζήτηση συσκευών ή επειδή είναι ήδη υποτελής συσκευή σε κάποιο άλλο μικροδίκτυο, επειδή υπάρχει έντονος θόρυβος (παρεμβολές) κλπ. Το πρόγραμμα-οδηγός (driver) μας δίνει τη δυνατότητα να καθορίσουμε ένα χρονικό περιθώριο (timeout) έπειτα από το οποίο να σταματάει τη διαδικασία της σύνδεσης. Παρόλο που το προκαθορισμένο χρονικό περιθώριο στο BlueZ είναι αρκετά μεγάλο, έχοντας παρατηρήσει ότι ο μέσος χρόνος σύνδεσης (όταν επιτυγχάνει η σύνδεση) είναι 1.5 sec και με πολύ μικρή τυπική απόκλιση της τάξης 0.9 sec, μπορούμε να καθορίσουμε ένα χρονικό περιθώριο όπου θα σταματάει η διαδικασία της σύνδεσης της τάξης των 3-4 sec έτσι ώστε ακόμα και όταν δεν πετυχαίνει η σύνδεση να μην έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις.

5.3.1.1 Bluetooth SDP

Το Bluetooth SDP είτε βρίσκεται σε δυναμικό περιβάλλον είτε σε στατικό, για κάθε αναζήτηση υπηρεσίας ή απαρίθμηση υπηρεσιών εκτελεί μια καινούρια αναζήτηση συσκευών. Επίσης, για κάθε μία από τις συσκευές που βρίσκει ανοίγει μια καινούρια σύνδεση και παίρνει μια λίστα με τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Οπότε αν η συσκευή εκτελεί :

- αναζήτηση συγκεκριμένης υπηρεσίας, το κόστος είναι $C_i + K * C_c$ με $K \in [1, N]$
- απαρίθμηση υπηρεσιών, το κόστος είναι $C_i + N * C_c$

5.3.1.2 Επέκταση με τη χρήση υπερ-κόμβων

Στην περίπτωση που το βελτιωμένο πρωτόκολλο τρέχει σε ένα πολύ δυναμικό περιβάλλον όπου πιθανόν ο υπερ-κόμβος να μην έχει προλάβει να ανακαλύψει καμία συσκευή, το κόστος εξομοιώνεται με το αντίστοιχο κόστος του Bluetooth SDP.

Γενικά, το κέρδος από τη χρήση του υπερ-κόμβου είναι στο ότι έχει ήδη ανακαλύψει και μαζέψει πληροφορίες για ένα αριθμό F από άλλες συσκευές, οπότε η συσκευή που εκτελεί την αναζήτηση γλιτώνει $F * C_c$ ενώ εάν η ερώτηση ήταν για αναζήτηση υπηρεσίας και βρήκε σχετικές πληροφορίες στον υπερ-κόμβο (οπότε δε χρειαστεί να κάνει ούτε αναζήτηση

συσκευών) το συνολικό κόστος περιορίζεται σε C_c δηλαδή το κόστος σύνδεσης σε μια συσκευή.

Φυσικά, το κόστος για αυτό το όφελος σε κάποιους κόμβους είναι ότι οι υπερ-κόμβοι είναι υποχρεωμένοι να εκτελούν περιοδικά κάποιες αναζητήσεις συσκευών ώστε να έχουν συνεπή γνώση των συσκευών σε εμβέλεια. Αυτό θα μπορούσε να είναι παράμετρος του συστήματος, το οποίο ο χρήστης να το αλλάζει κατά βούληση εάν υπάρχει λόγος. Για παράδειγμα, σε ένα στατικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα ένα γραφείο, θα μπορούσε ο χρήστης να καθορίζει πολύ μεγάλα διαστήματα περιοδικής ανανέωσης καθώς θα γνώριζε ότι δεν αλλάζει συχνά και δραστικά η σύνθεση των διαθέσιμων συσκευών. Αντίθετα, σε ένα πιο δυναμικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα όταν ο χρήστης περπατάει στο δρόμο, θα μπορούσε ο χρήστης να υποδεικνύει αυτή την παράμετρο στο σύστημα με αποτέλεσμα να μειώνονται τα διαστήματα μεταξύ των περιοδικών ανανεώσεων και φυσικά η κατανάλωση ενέργειας.

5.3.1.3 Επέκταση με τη χρήση υπερ-κόμβων και κωδικοποίηση στο CoD

Σε αυτή την επέκταση, το βέλτιστο και το χειρίστο κόστος είναι ίδιο με την παραπάνω περίπτωση, ενώ σε μια μέση περίπτωση όπου δε θα χρειάζεται να ανοίγονται συνδέσεις για την ανάκτηση των πληροφοριών, αλλά θα αρκεί η κωδικοποίηση στο CoD τότε το συνολικό κόστος περιορίζεται σε C_i για απαρίθμηση και για αναζήτηση συσκευών. Το "κρυφό" όφελος από αυτή τη μέθοδο είναι ότι δεν διαταράσσεται σημαντικά η συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών, καθώς με το να αποφεύγουν οι συσκευές να ανοίγουν συνδέσεις μεταξύ τους δε δημιουργούνται μικροδίκτυα, τα οποία θα είχαν σαν αποτέλεσμα να μην μπορούν οι υποτελείς συσκευές να επικοινωνήσουν με συσκευές έξω από το μικροδίκτυό τους.

5.3.2 Πρόταση 1 - Χρήση υπερ-κόμβων

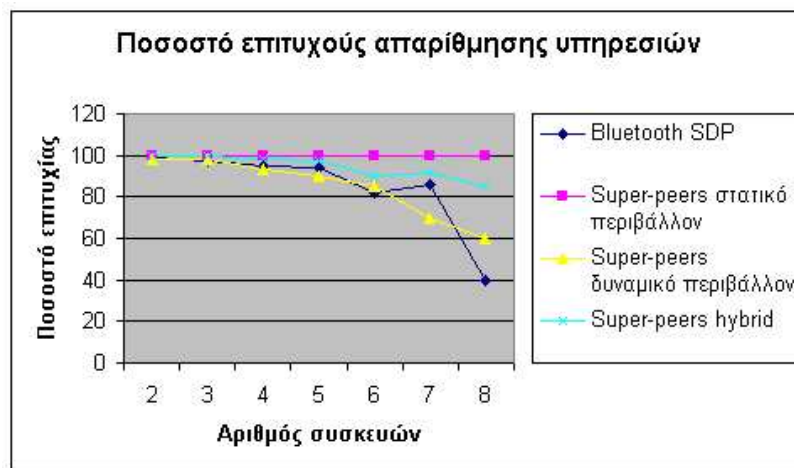
Στην γραφική παράσταση 5.1 βλέπουμε τις πειραματικές μετρήσεις του ποσοστού επιτυχίας του μηχανισμού που υλοποιήσαμε σε σύγκριση με το Bluetooth SDP. Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνει ο αριθμός των συσκευών σε εμβέλεια στο σύστημά μας το ποσοστό επιτυχούς ανακάλυψης μειώνεται σταδιακά. Το γεγονός αυτό είναι σε άμεση συνάφεια με τη δυσκολία του μηχανισμού ανακάλυψης συσκευών του Bluetooth να ανακαλύψει όλες τις διαθέσιμες συσκευές, καθώς αυξάνει ο αριθμός των συσκευών.

Παρατηρούμε ότι σε στατικό περιβάλλον ο βελτιωμένος μηχανισμός μας με τη χρήση υπερ-κόμβων παρουσιάζει αξιοσημείωτη επιτυχία καθώς επιτυγχάνει σε όλα τα πειράματα, ανεξαρτήτως του αριθμού των διαθέσιμων συσκευών, να ανακαλύψει όλες τις διαθέσιμες

υπηρεσίες. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς σε ένα στατικό περιβάλλον οι υπερ-κόμβοι σταδιακά ενημερώνονται για όλες τις υπάρχουσες υπηρεσίες σε εμβέλεια, οπότε στις αιτήσεις των υπόλοιπων συσκευών μπορούν άμεσα να επιστρέψουν μια πλήρη λίστα με τις διαθέσιμες υπηρεσίες.

Αντιθέτως, σε ένα δυναμικό περιβάλλον παρατηρούμε ότι η απόδοσή του μειώνεται πάρα πολύ σε σχέση με το στατικό περιβάλλον και ακολουθεί τις επιδόσεις του Bluetooth SDP. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι σε ένα δυναμικό περιβάλλον οι υπερ-κόμβοι δεν είναι ενήμεροι για τις διαθέσιμες υπηρεσίες σε εμβέλεια.

Στο υβριδικό περιβάλλον που συντίθεται από στατικές ομάδες, παρατηρούμε ότι η απόδοση κυμαίνεται σε παραπλήσια μεγέθη με το στατικό περιβάλλον, με το ποσοστό ανακάλυψης να φθίνει καθώς αυξάνει ο αριθμός των συσκευών αλλά όχι τόσο πολύ όσο στο δυναμικό περιβάλλον. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς όταν ανακαλύπτονται οι υπερ-κόμβοι, ανακαλύπτονται έμμεσα και όλες οι συσκευές που αυτοί γνωρίζουν.



Σχήμα 5.1: Ποσοστό επιτυχίας για την ανακάλυψη από μία συσκευή όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών

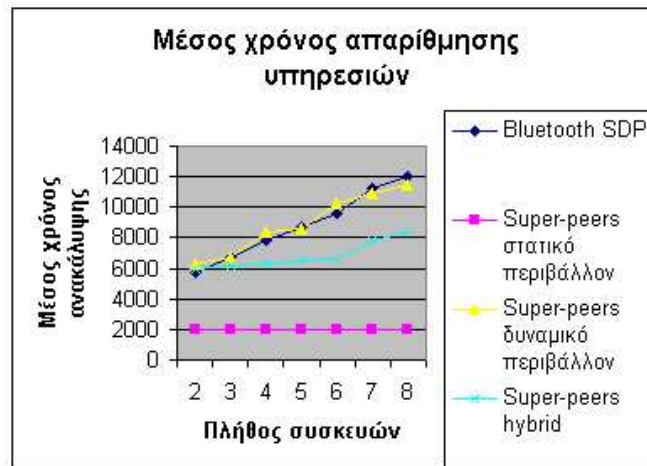
Στη γραφική παράσταση 5.2 παρατηρούμε τους αντίστοιχους χρόνους που σημειώσαν στην ερώτηση απαρίθμησης των υπηρεσιών τα παραπάνω συστήματα. Παρατηρούμε ότι η υλοποίηση με τη χρήση υπερ-κόμβων επιτυγχάνει πολύ μικρό χρόνο σε σχέση με το SDP, δηλαδή περίπου 2 sec με τυπική απόκλιση περίπου 1 sec. Με βάση τις μετρήσεις στην ενότητα 4.2.1 βλέπουμε ότι ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί σε λίγο περισσότερο από το μέσο χρόνο μιας σύνδεσης, το οποίο στο στατικό περιβάλλον είναι αναμενόμενο καθώς η διεύθυνση του υπερ-κόμβου έπειτα από σύντομο χρονικό διάστημα αποθηκεύεται από τις συσκευές και συνδέονται μαζί του χωρίς να χρειάζεται η πραγματοποίηση διαδικασίας ανα-

κάλυψης συσκευών του Bluetooth. Αντίστοιχα, βλέπουμε ότι οι χρόνοι του βελτιωμένου πρωτοκόλλου συμβαδίζουν με το SDP στην περίπτωση του δυναμικού περιβάλλοντος καθώς δε βοηθάει η χρήση των υπερ-κόμβων. Επειδή στην περίπτωση αυτή χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μια ανακάλυψη συσκευών, οι χρόνοι κατευθείαν εκτοξεύονται στο τριπλάσιο από τον αντίστοιχο του βελτιωμένου πρωτοκόλλου. Επίσης παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνει ο αριθμός των διαθέσιμων συσκευών στο σύστημα, αυξάνει και ο μέσος χρόνος για να πραγματοποιηθεί η απαρίθμηση, το οποίο είναι αναμενόμενο αφού η συσκευή θα πρέπει να ανοίξει περισσότερες συνδέσεις.

Στο ενδιάμεσο, υβριδικό μοντέλο παρατηρούμε ότι ο χρόνος για να ανακαλυφθούν όλες οι συσκευές είναι περισσότερος από το στατικό μοντέλο αλλά δεν αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό σε σχέση με το δυναμικό μοντέλο καθώς αρκεί -όπως προείπαμε- να ανακαλυφθούν οι υπερ-κόμβοι ώστε να ανακαλυφθούν όλες οι συσκευές. Υπάρχουν και μερικές περιπτώσεις όπου δεν ανακαλύπτονται και γι' αυτό το λόγο οι χρόνοι που εμφανίζονται έχουν αυξητικές τάσεις με την αύξηση του αριθμού των συσκευών. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι επειδή επιβάλλαμε στις ομάδες να είναι άγνωστες μεταξύ τους και να ανακαλύπτονται μόνο όταν τις "φέρουμε σε εμβέλεια" -με τον τρόπο που εξηγήσαμε- οι χρόνοι εμφανίζονται αισθητά αυξημένοι σε σχέση με το στατικό μοντέλο και μάλιστα ξεκινάνε περίπου από τα 6 sec που είναι περίπου ο απαιτούμενος χρόνος για να πραγματοποιηθεί μια αναζήτηση συσκευών και μια σύνδεση. Η υπόθεση αυτή που ακολουθήσαμε στις μετρήσεις μας δεν επιτρέπει στο πρωτόκολλο να αποθηκεύσει διευθύνσεις από συσκευές άλλων ομάδων, ενώ εάν το επιτρέπαμε τότε το πρωτόκολλο θα παρουσίαζε ακόμα καλύτερες επιδόσεις. Με τις υποθέσεις δηλαδή που κάναμε, υποχρεώναμε το πρωτόκολλο να εκτελεί πάντα αναζήτηση συσκευών, ενώ σε ρεαλιστικές συνθήκες ίσως αυτό να μην ήταν απαραίτητο.

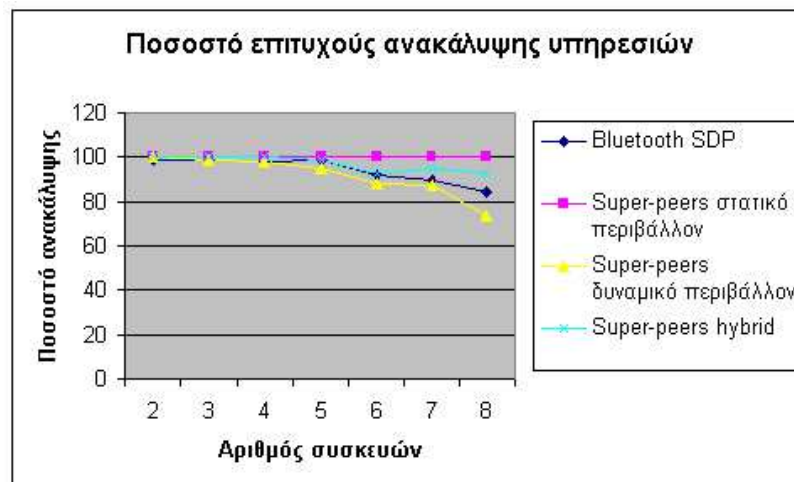
Στη γραφική παράσταση 5.3 παρατηρούμε τα ποσοστά επιτυχούς ανακάλυψης στην περίπτωση που μια συσκευή αναζητάει μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Όπως και στην περίπτωση της πλήρους απαρίθμησης, βλέπουμε ότι το βελτιωμένο πρωτόκολλο επιτυγχάνει ανεξαρτήτως του πλήθους των συσκευών στο σύστημα να εντοπίσει την αναζητούμενη υπηρεσία. Αυτό είναι αναμενόμενο, διότι σταδιακά οι υπερ-κόμβοι ενημερώνονται για την ύπαρξη όλων των υπηρεσιών οπότε σε κάθε σύνδεση από άλλες συσκευές μπορούν να δώσουν ακριβείς πληροφορίες. Παρατηρούμε επίσης ότι το μεν πρωτόκολλο του Bluetooth έχει χειρότερη απόδοση όσο αυξάνει το πλήθος των συσκευών, αλλά και το βελτιωμένο πρωτόκολλο παρουσιάζει άσχημη απόδοση σε παραπλήσια ποσοστά. Αυτό είναι φυσικό, καθώς στο δυναμικό περιβάλλον οι υπερ-κόμβοι δεν διαθέτουν συνήθως έγκυρες πληροφορίες για τις διαθέσιμες υπηρεσίες του συστήματος οπότε δεν συμβάλλουν στη βελτίωση της επιτυχούς ανακάλυψης.

Στο υβριδικό μοντέλο παρατηρούμε ότι τα ποσοστά ανακάλυψης είναι περίπου εν-



Σχήμα 5.2: Μέσος χρόνος καθυστέρησης για την ανακάλυψη από μία συσκευή όλων των διαθέσιμων υπηρεσιών του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών

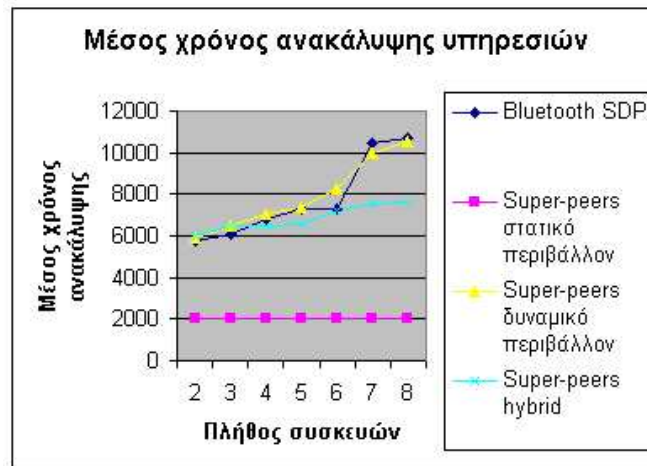
διάμεσα από το στατικό και το δυναμικό μοντέλο. Είναι μεν ελαφρώς χειρότερα από το στατικό μοντέλο -αφού στο στατικό έχουμε ανακάλυψη 100%- αλλά δεν είναι τόσο χαμηλά τα ποσοστά όσο στο δυναμικό μοντέλο το οποίο προσεγγίζει την -κακή- απόδοση του Bluetooth SDP. Αυτό οφείλεται στο ότι μέσω του υπερ-κόμβου της αντίστοιχης ομάδας αρκετά συχνά καταφέρνει να ανακαλύψει κάποιες συσκευές τις οποίες ειδαίλλως δε θα ανακάλυπτε.



Σχήμα 5.3: Ποσοστό επιτυχίας για την ανακάλυψη από μία συσκευή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών

Ο μέσος χρόνος για την ανακάλυψη μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας παρουσιάζεται στη γραφική παράσταση 5.4. Βλέπουμε ότι στην περίπτωση του στατικού περιβάλλοντος, η υλο-

ποίηση με τη χρήση υπερ-κόμβων εμφανίζει πολύ καλές επιδόσεις από άποψη καθυστέρησης καθώς χρειάζεται κατά μέσο όρο για να ανακαλύψει μια υπηρεσία, όσο χρόνο χρειάζεται για να ανοίξει μια σύνδεση (και να μεταφέρει τις αντίστοιχες πληροφορίες) με τον υπερ-κόμβο. Σε αντιδιαστολή, στην περίπτωση του δυναμικού περιβάλλοντος όπου δεν συμβάλλει σχεδόν καθόλου η αρχιτεκτονική των υπερ-κόμβων, παρατηρούμε ότι ο χρόνος απάντησης αυξάνει πάρα πολύ καθώς αυξάνει ο αριθμός των συσκευών σε εμβέλεια, ενώ ακολουθεί περίπου την απόδοση του Bluetooth SDP.



Σχήμα 5.4: Μέσος χρόνος καθυστέρησης για την ανακάλυψη από μία συσκευή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας του συστήματος, σε σχέση με τον συνολικό αριθμό συσκευών

Οι χρόνοι που παρατηρούμε πιστεύουμε ότι αποδεικνύουν τη βελτιστοποίηση που επιτυγχάνεται σε σχέση με το πρωτόκολλο του Bluetooth, κυρίως υπό συνθήκες στατικού περιβάλλοντος όπου η χρήση των υπερ-κόμβων βοηθάει συμβάλλει στη μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την εκτέλεση των διαφόρων ερωτημάτων και αυξάνει τα ποσοστά επιτυχούς ανακάλυψης.

Πιστεύουμε ακόμα, ότι οι μετρήσεις σε δυναμικό περιβάλλον αδικούν εν μέρει την πρότασή μας, καθώς δείχνουν ίδια απόδοση με το πρωτόκολλο του Bluetooth. Ο λόγος είναι η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε στις μετρήσεις, όπου για να προσομοιώσουμε ένα πραγματικά δυναμικό περιβάλλον φροντίσαμε να ενεργοποιούνται όλες οι συσκευές σχεδόν ταυτόχρονα (δηλαδή εικονικά να έρχονται ταυτόχρονα σε εμβέλεια) για να μη δίνουμε χρόνο στον υπερ-κόμβο να μαζεύει πληροφορίες και να ενημερώνεται για την ύπαρξη άλλων συσκευών. Όμως, σε ένα πραγματικό περιβάλλον πιστεύουμε ότι το πρωτόκολλό μας και πάλι θα συνέβαλλε, ίσως όχι τόσο όσο στο στατικό περιβάλλον αλλά θα παρουσίαζε όμως καλύτερες επιδόσεις από το Bluetooth SDP καθώς οι συνθήκες δεν αλλάζουν συνήθως τόσο

απότομα και απόλυτα όσο επιβάλλαμε εμείς κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Όμοια και στο υβριδικό μοντέλο, αν και η απόδοσή του είναι εμφανώς καλύτερη από το δυναμικό μοντέλο, πιστεύουμε ότι αδικείται από τις υποθέσεις των μετρήσεων όπου οι ομάδες των συσκευών θεωρούνται άγνωστες μεταξύ τους με αποτέλεσμα να εξαναγκάζουμε πάντα το πρωτόκολλο να εκτελεί αναζήτηση συσκευών. Ο μικρός σχετικά χρόνος ανακάλυψης που κυμαίνεται κοντά στα 6-7 sec και ο μικρός ρυθμός αύξησης του χρόνου αυτού μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι υπερ-κόμβοι εκμεταλλεύονται την τοπικότητα, όπως επιθυμούσαμε, και ότι σε ένα μοντέλο το οποίο θα υπέθετε ομάδες από συσκευές οι οποίες περιοδικά έρχονται σε εμβέλεια και κατόπιν απομακρύνονται (όπως π.χ. ένας υπάλληλος ο οποίος διαθέτει κάποιες συσκευές και περιφέρεται από γραφείο σε γραφείο) θα παρουσίαζε χρόνους συγκρινόμενους με το στατικό μοντέλο.

Επίσης να σημειώσουμε ότι όλες οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν με την υπόθεση ότι αναφερόμαστε σε ένα περιβάλλον όπου οι διαθέσιμες υπηρεσίες σε κάθε συσκευή μπορούν να αλλάζουν δυναμικά. Εάν οι υπηρεσίες αυτές δεν αλλάζουν τότε θα αρκούσε να συσχετίσουμε κάθε συσκευή με μια λίστα από υπηρεσίες και να μη χρειάζεται να ανοίγουμε συνδέσεις κάθε φορά που λήγει η ισχύς μιας χρονοετικέτας μιας συσκευής/υπηρεσίας ώστε να ανακτήσουμε και πάλι την πλήρη λίστα. Θα μπορούσε αυτή η διαδικασία ανανέωσης να γίνεται πολύ πιο αραιά, οπότε και οι παραπάνω χρόνοι θα μειωνόταν πάρα πολύ καθώς θα αρκούσε κάθε φορά μια διαδικασία ανακάλυψης συσκευών.

Δοκιμάσαμε πειραματικά να αποτιμήσουμε και τη δυνατότητα ανακάλυψης (ποσοστό επιτυχίας, χρόνο καθυστέρησης) μεταξύ των συσκευών όταν όλες προσπαθούν *ταυτόχρονα* να ανακαλύψουν κάποια υπηρεσία ή προσπαθούν να απαριθμήσουν όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες σε εμβέλεια, αλλά όταν εκτελούσαν αναζήτηση συσκευών όλες μαζί δεν κατάφεραν ποτέ να ανακαλύψουν όλες τις διαθέσιμες συσκευές σε εμβέλεια και αυτό οδηγούσε γενικά το σύστημα σε αποτυχία οπότε ήταν αδύνατο να πραγματοποιήσουμε αξιόπιστες μετρήσεις με το σύνολο των συσκευών να αναζητούν όλες τις υπηρεσίες. Επειδή οι συσκευές μεταδίνουν όλες σε κατάσταση αναζήτησης συσκευών, είναι δύσκολο να ανακαλυφθούν μεταξύ τους και ακόμα επειδή αρκετές από αυτές δοκιμάζουν να ανοίξουν και συνδέσεις, οδηγούν το σύστημα σε πλήρη αποδιοργάνωση. Στο παράρτημα 5.5 παραθέτουμε περισσότερα στοιχεία για τα αποτελέσματα όταν όλες οι συσκευές προσπαθούσαν ταυτόχρονα να ανακαλύψουν όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες. Για να ανακαλύψουν όλες τις υπηρεσίες θα έπρεπε κατ' αρχήν να ανακαλύψουν όλες τις συσκευές, οπότε οι μετρήσεις που παραθέτουμε στο παράρτημα 5.5 αναφέρονται σε αναζητήσεις *συσκευών*.

5.3.3 Πρόταση 2 - Κωδικοποίηση στο πεδίο CoD

Με μετρήσεις που παρουσιάσαμε ήδη στην ενότητα 4.2.2, στη γραφική παράσταση 4.4, δείξαμε τη διακύμανση του ποσοστού επιτυχίας ανακάλυψης των συσκευών σε εμβέλεια με βάση το χρόνο αναζήτησης και δείξαμε ότι με αναζήτηση 5.12 sec (μια πλήρη αναζήτηση και στις δύο ομάδες-τραίνα συχνοτήτων) επιτυγχάνεται υψηλό ποσοστό επιτυχίας και ανακαλύπτεται σχεδόν το σύνολο των συσκευών.

Στη γραφική παράσταση 5.5 παρουσιάζουμε την κατανομή στα αντίστοιχα ποσοστά επιτυχίας όταν εκτελούν αναζήτηση συσκευών πολλές συσκευές ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας χρόνο αναζήτησης 5.12 sec.



Σχήμα 5.5: Ποσοστό επιτυχίας ανακάλυψης συσκευών όταν εκτελούν αναζήτηση συσκευών πολλές συσκευές ταυτόχρονα

Στο παράρτημα Α παραθέτουμε αναλυτικά τις επιμέρους γραφικές παραστάσεις με τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν στο ποσοστό ανακάλυψης των συσκευών.

Στην γραφική παράσταση αυτή λοιπόν παρατηρούμε ότι όταν εκτελείται αναζήτηση από μία μόνο συσκευή επιτυγχάνει να ανακαλύψει όλες τις συσκευές σε εμβέλεια σε ποσοστό 90% των πειραμάτων, το οποίο είναι αρκετά ικανοποιητικό. Με τη χρήση λοιπόν της τεχνικής που προτείναμε στην ενότητα 4.3 μια συσκευή που εκτελεί αναζήτηση συγκεκριμένης υπηρεσίας θα είχε τη δυνατότητα ήδη σε πρώιμο στάδιο να ανακαλύψει την υπηρεσία, ιδίως σε σενάρια χρήσης τα οποία περιλαμβάνουν γενικευμένη χρήση περιφερειακών συσκευών οι οποίες στην πλειοψηφία τους προσφέρουν μόνο μία υπηρεσία οπότε θα μπορούσαν να την κωδικοποιούν στο CoD.

Παρατηρούμε ακόμα ότι με την ταυτόχρονη αναζήτηση από πολλές συσκευές τα ποσοστά επιτυχίας ανακάλυψης μειώνονται, αναλογικά με τον αριθμό των συσκευών, και

φτάνουν στο σημείο όπου η ταυτόχρονη αναζήτηση εκ μέρους όλων των συσκευών να μην επιτρέπει σε καμία συσκευή να ανακαλύψει όλες τις άλλες. Αυτό είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα στο Bluetooth το οποίο γινόταν φανερό σε όλα τα πειράματα που εκτελέσαμε καθώς η ταυτόχρονη αναζήτηση από πολλές συσκευές -και πολύ περισσότερο όταν δοκίμαζαν να ανοίξουν σύνδεση μεταξύ τους- μείωνε κατακόρυφα τα ποσοστά επιτυχίας ανακάλυψης/σύνδεσης. Όπως είναι αναμενόμενο, από την πρότυπη περιγραφή (specification) του Bluetooth, όταν οι συσκευές εισέρχονται σε διαδικασία αναζήτησης συσκευών (inquiry mode) δε μπορούν ταυτόχρονα να είναι σε διαδικασία ανίχνευσης αναζήτησης (inquiry scan mode) ούτε και ανίχνευσης αίτησης σύνδεσης (page scan mode) οπότε η δυνατότητα των υπόλοιπων συσκευών να τις ανιχνεύσουν ή να συνδεθούν μαζί τους μειωνόταν δραματικά.

5.4 Σύγκριση με άλλες ερευνητικές εργασίες

Από τις ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα για τη βελτίωση του μηχανισμού ανακάλυψης υπηρεσιών στο Bluetooth, οι πιο αξιόλογες είναι οι εργασίες [34] [56] [3] [5].

Στην εργασία [5] (βλ. ενότητα 3.3.3) προτεινόταν ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής στο οποίο η κύρια συσκευή σε ένα μικροδίκτυο θα έπαιζε το ρόλο μεσάζοντα ώστε να βελτιωθεί ο η απόδοση της διαδικασίας ανακάλυψης. Το μοντέλο που προτείνουμε εμείς πιστεύουμε ότι υπερτερεί καθώς είναι γενικότερο και δεν περιορίζεται μόνο στις κύριες συσκευές των μικροδικτύων. Ακόμα, με την αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική που προτείνουμε εμείς δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός κόμβος-συντονιστής για κανένα σύνολο από συσκευές, οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα σε περίπτωση που υπάρξει απώλεια του κόμβου αυτού.

Στην εργασία [56] συμπέραναν οι συγγραφείς μέσω προσομοίωσης τα χαρακτηριστικά που ανακαλύψαμε και εμείς μέσω πραγματικών μετρήσεων, δηλαδή τη μειωμένη ανακαλυψιμότητα των συσκευών όταν αυξάνει ο αριθμός τους σε εμβέλεια, και πρότειναν ένα μηχανισμό "συνεργαζόμενη ανακάλυψης" όπου κάθε συσκευή θα κάνει μια μικρή αναζήτηση για να ανακαλύψει ένα μικρό υποσύνολο των διαθέσιμων συσκευών και κατόπιν θα συνδέεται με αυτές για να ανακτήσει τη δική τους λίστα από ανακαλυφθείσες συσκευές. Παρόμοια τεχνική ακολουθήσαμε και εμείς στην εργασία μας, καθώς αν και προσανατολισμένη περισσότερο στην βελτίωση της ανακάλυψης των υπηρεσιών, ωστόσο βελτιώνει και την ανακάλυψη των συσκευών αφού διέχεε στοιχεία και για αυτές. Επίσης σημαντική συνεισφορά μας είναι ότι υλοποιήσαμε πάνω από πραγματικές συσκευές Bluetooth το παραπάνω πρωτόκολλο και αποδείξαμε τη βελτίωση που προσφέρει.

Στην εργασία [34] οι συγγραφείς ακολούθησαν παρόμοια προσέγγιση με τη δική μας και μάλιστα η εργασία τους είναι σχετικά πρόσφατη και έγινε παράλληλα με την υλοποι-

ηση της δικής μας πρότασης. Οι συγγραφείς προτείνουν δύο επεκτάσεις στη διαδικασία της ανακάλυψης υπηρεσιών, παρόμοιες με τις δικές μας προτάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη πρόταση τους είναι η χρήση ενός κόμβου-μεσάζοντα ο οποίος θα συγκεντρώνει τις πληροφορίες για τις διαθέσιμες υπηρεσίες και θα κάνει γνωστή την ύπαρξή του χρησιμοποιώντας το πεδίο CoD. Όμως το μειονέκτημα της πρότασής τους είναι ότι η πρότασή τους *βασίζεται* στην ύπαρξη ενός κεντρικού συντονιστή και υποθέτουν ότι θα είναι πάντοτε διαθέσιμος, ενώ η προτεινόμενη από εμάς αρχιτεκτονική είναι πλήρως αποκεντρωμένη και δεν εξαρτάται από την ύπαρξη ενός συγκεκριμένου κόμβου. Οι συγγραφείς προτείνουν για την περίπτωση που δεν υπάρχει ένας τέτοιος κεντρικός κόμβος τη διενέργεια μιας διαδικασίας εκλογής νέου συντονιστή, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία αναζήτησης συσκευών και συγκεκριμένα να εκλέγεται η συσκευή με το μικρότερο ID. Όμως, έχοντας συμπεράνει από πρακτικές μετρήσεις όπως είδαμε παραπάνω πόσο χρονοβόρα είναι αυτή η διαδικασία και ακόμα τα μειωμένα ποσοστά επιτυχίας ανακάλυψης όλων των συσκευών όταν εκτελούν αναζήτηση πολλές συσκευές ταυτόχρονα, συμπεραίνουμε ότι η μεθοδολογία που προτείνουν οι συγγραφείς δεν είναι πρακτικώς αποδοτική και θα οδηγούσε το σύστημα σε περισσότερη επιβάρυνση, ιδιαίτερα εάν αυτό δεν είναι απόλυτα στατικό, όπως για παράδειγμα ένα περιβάλλον γραφείου, αλλά είναι κάπως δυναμικό και αλλάζει συχνά η σύνθεσή του οπότε θα έπρεπε να γίνεται συχνά μια διαδικασία εκλογής κόμβου-συντονιστή. Η δεύτερη πρόταση των συγγραφέων της εργασίας αυτής είναι η χρήση κωδικοποίησης στο πεδίο CoD όπως προτείναμε και εμείς. Η δική τους πρόταση όμως με τη χρήση hashing πάνω στο όνομα μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας, επιτρέπει μόνο την ανακάλυψη μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Για να μπορούν οι συσκευές να χρησιμοποιούν τις ίδιες λεξικογραφικές παραστάσεις των υπηρεσιών τις οποίες να συγκρίνουν κάνοντας hashing πάνω τους, θα πρέπει να έχουν ορισμένη μια κοινή οντολογία. Με τη χρήση της τεχνικής που προτείνουμε εμείς, μπορούμε να έχουμε μια οντολογία η οποία να περιλαμβάνει έως και 2^{20} περιγραφόμενες υπηρεσίες και ακόμα να δίνεται η δυνατότητα να γίνεται αναζήτηση όχι μόνο για μια συγκεκριμένη υπηρεσία αλλά και με βάση τις κατηγορίες που ανήκει αυτή στην οντολογία, μέσω των προγόνων της στην ιεραρχική δομή. Επίσης, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μόνο 2 πραγματικές συσκευές, με τις οποίες πραγματοποίησαν ενδεικτικές μετρήσεις σε ότι αφορά τη συνδεσιμότητα και την ανακαλυψιμότητά τους και κατόπιν γενίκευσαν τα συμπεράσματά τους με βάση αυτούς τους χρόνους. Όμως όπως διαπιστώσαμε μέσω των δικών μας μετρήσεων μια τέτοια γενίκευση δεν είναι δυνατή καθότι τα ποσοστά επιτυχίας σύνδεσης/ανακάλυψης μειώνονται δραματικά στην περίπτωση πολλών συσκευών.

Τέλος, στην εργασία [3] έγινε μια προσπάθεια να επεκταθεί το πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών του Bluetooth με τη δυνατότητα ικανοποίησης των αναζητήσεων με τη χρήση σημασιολογικών κριτηρίων. Στην εργασία αυτή δε γίνεται ρητή περιγραφή του τρόπου με

του οποίου επιτυγχάνεται αυτό παρά μόνο οι επιπτώσεις του στην απόδοση του πρωτοκόλλου, όπου περιγράφουν οι συγγραφείς ότι δεν προσθέτει σημαντική επιπλέον επιβάρυνση. Για να επιτύχουν την ικανοποίηση των αιτήσεων με σημασιολογικά κριτήρια οι συγγραφείς χρησιμοποιούν περιγραφές RDF τόσο για την περιγραφή των αιτήσεων όσο και για την περιγραφή των υπηρεσιών. Η δική μας εργασία δεν είχε σαν στόχο της την ικανοποίηση των αιτήσεων με σημασιολογικά κριτήρια αλλά πρωτίστως την βελτιστοποίηση της απόδοσης σε υπκείμενα επίπεδα και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την υλοποίηση της παραπάνω εργασίας με στόχο ένα πιο ολοκληρωμένο και αποδοτικό σύστημα.

5.5 Αποτίμηση πειραματικών αποτελεσμάτων

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε, διαπιστώσαμε ότι το σύστημα και το πρωτόκολλο που προτείναμε και υλοποιήσαμε εκμεταλλεύεται την τοπικότητα στην επικοινωνία, στην αλληλεπίδραση και στη συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών, η οποία είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα των δικτύων προσωπικής περιοχής και ειδοποιός διαφορά από άλλα μεγαλύτερα δίκτυα, με συνέπεια να έχει καλύτερη απόδοση από το υπάρχον πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το Bluetooth. Διαπιστώσαμε ότι σε όλα τα πιθανά σενάρια χρήσης στα οποία συγκρίναμε τη δική μας υλοποίηση με αυτή του Bluetooth, η πρότασή μας έχει ισάξια ή καλύτερη απόδοση ως προς τα μέτρα σύγκρισης τα οποία χρησιμοποιήσαμε. Μάλιστα, η πρότασή μας προτείνει βελτιώσεις σε επίπεδο δικτύου, σε επίπεδο εφαρμογών αλλά και σε επίπεδο συσκευής ώστε να εκμεταλλεύεται την τοπικότητα σε διάφορες εκφάνσεις της.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της πρότασής μας είναι ότι σε αντίθεση με προηγούμενες ερευνητικές εργασίες είναι αρκετά γενική ώστε να είναι εφαρμόσιμη τόσο σε δίκτυα Bluetooth όσο και σε δίκτυα διαφορετικά από το Bluetooth. Όσες από τις προηγούμενες εργασίες προτείνουν τη χρήση μεσαζώντων σε δίκτυα Bluetooth, προτείνουν σαν μεσάζοντες είτε τις συσκευές-κυρίους των μικροδικτύων, είτε σταθερά καθορισμένες συσκευές, είτε συσκευές που εκλέγονται με κάποια διαδικασία κατανεμημένων εκλογών. Το μοντέλο που προτείνουμε επεκτείνει και γενικεύει τις παραπάνω προτάσεις με αποτέλεσμα να μην εξαρτάται από τους εκάστοτε μεσάζοντες κόμβους και να μπορεί να λειτουργεί απρόσκοπτα και χωρίς μεσάζοντες ή υπό την παρουσία πολλών από αυτούς.

Μια σημαντική συμβολή της δικής μας εργασίας αποτελεί ακόμα η πειραματική μέτρηση και σύγκριση των διαφόρων τεχνικών όχι με προσομοίωση αλλά σε πραγματικές συνθήκες, με αληθινές συσκευές Bluetooth. Στην προηγούμενη ερευνητική δουλειά στον τομέα, δεν έχουν γίνει τόσο εκτενείς μετρήσεις με αληθινές συσκευές Bluetooth ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα. Υπάρχουν εργασίες οι οποίες γενικεύουν τα αποτελέσματα μετρή-

σεων ανάμεσα σε 2 συσκευές έτσι ώστε να εξάγουν συμπεράσματα για τη λειτουργία δεκάδων συσκευών. Υπάρχουν ακόμα κάποιες ερευνητικές εργασίες οι οποίες εξάγουν συμπεράσματα μόνο με τη χρήση προσομοιώσεων του Bluetooth αλλά όπως διαπιστώσαμε από αυτή την εργασία το Bluetooth λόγω των προβλημάτων συνδεσιμότητας μεταξύ των συσκευών δεν συμπεριφέρεται συνήθως τόσο ιδεατά όσο προβλέπουν οι προσομοιωτές.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε το πρόβλημα της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από δίκτυα προσωπικής περιοχής Bluetooth. Είδαμε τη σχετική ερευνητική εργασία που έχει γίνει στον τομέα αυτό όπως και γενικότερα στον τομέα της ανακάλυψης υπηρεσιών πάνω από δίκτυα και προτείναμε κάποιες επεκτάσεις στο υπάρχον πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί το Bluetooth με στόχο να βελτιώσουμε το ποσοστό επιτυχίας ανακάλυψης, την ταχύτητα ανακάλυψης και να μειώσουμε την εκπομπή δεδομένων, με άμεσο αντίκτυπο στην μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

Υλοποιήσαμε τις προτάσεις μας και δείξαμε μέσω μετρήσεων με τη χρήση πραγματικών συσκευών Bluetooth σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον, ότι οι επεκτάσεις που προτείναμε όντως συνεισφέρουν στη βελτίωση της απόδοσης όπως είχαμε θέσει στόχο εξ' αρχής. Ακόμα, συγκρίνοντας την εργασία μας με άλλες αντίστοιχες ερευνητικές εργασίες διαπιστώσαμε ότι ακολουθήσαμε μια προσέγγιση που γενικά είναι αποδεκτή από την ερευνητική κοινότητα καθώς και οι υπολοιπες εργασίες κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, ενώ διαπιστώσαμε και τα πλεονεκτήματα των δικών μας προτάσεων έναντι αρκετών από τις υπάρχουσες ερευνητικές εργασίες.

Το μοντέλο που προτείναμε, είδαμε μέσω των μετρήσεων ότι μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά κάτω από πραγματικές συνθήκες και συμπεράναμε ότι θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε δίκτυα Bluetooth με επιτυχία και να προσφέρει καλύτερες επιδόσεις ως προς τα χαρακτηριστικά που θέσαμε σαν μέτρα αξιολόγησης, όπως ταχύτητα ανακάλυψης, μέση καθυστέρηση, ποσοστό επιτυχίας ανακάλυψης, μειωμένη χρήση δικτύου κλπ. Εκμεταλλεύεται την τοπικότητα που εμφανίζουν τα δίκτυα προσωπικής περιοχής στη συνδεσιμότητα και το μοντέλο επικοινωνίας λόγω της μικρής τους εμβέλειας και της τάσης να σχηματίζουν διάσπαρτες στατικές ομάδες συσκευών. Το μοντέλο μας λοιπόν επιτυγχάνει να βελτιώσει

τους υπάρχοντες μηχανισμούς ανακάλυψης υπηρεσιών στα δίκτυα αυτά, όπως αποδείξαμε και με τις πειραματικές μετρήσεις μας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην υπάρχουσα επιστημονική βιβλιογραφία τα αντίστοιχα προτεινόμενα μοντέλα δεν συνοδεύονται από μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες, όπως στη δική μας εργασία.

Παράλληλα με την εργασία μας στον τομέα των πρωτοκόλλων ανακάλυψης υπηρεσιών, μελετήσαμε εν γένει την ανακαλυψιμότητα και τη συνδεσιμότητα των συσκευών πάνω από Bluetooth και διαπιστώσαμε τα προβλήματα που αντιμετωπίζει. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται καταρχήν στην κακή σχεδίαση του μοντέλου επικοινωνίας του Bluetooth το οποίο χρησιμοποιεί τοπολογία αστέρα για την επικοινωνία εντός των μικροδικτύων, με αποτέλεσμα ανισομερή κατανομή του φόρτου επικοινωνίας και κυρίως προβλήματα συνδεσιμότητας λόγω των περιορισμών που επιβάλλουν τα μικροδίκτυα. Επίσης, το Bluetooth δεν σχεδιάστηκε αρχικά για η δημιουργία δικτύων αλλά κυρίως για τη διασύνδεση περιφερειακών. Αυτό αντανακλά στη σχεδίαση του Bluetooth και το δυσχεραίνει στη δικτύωση, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα scatternets που είναι ένα τμήμα του Bluetooth το οποίο υπολειτουργεί και βρίσκεται σε ανώριμη τεχνολογικά φάση.

6.1 Μελλοντική εργασία

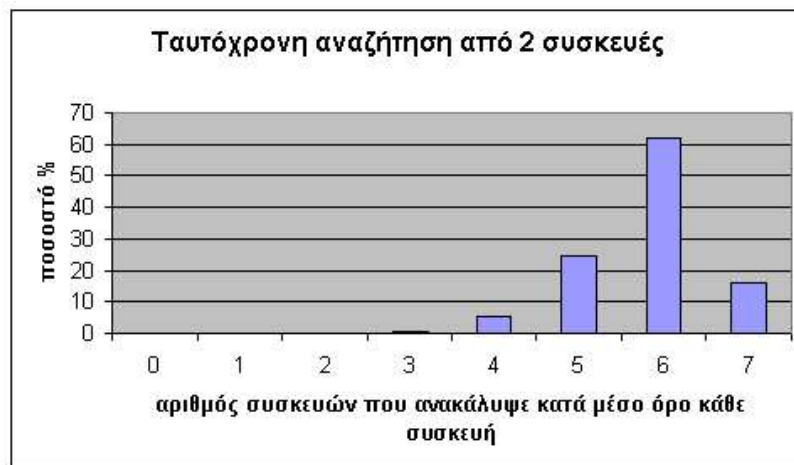
Πιθανές μελλοντικές εργασίες που θα μπορούσαν να γίνουν στο μέλλον είναι καταρχήν η περαιτέρω μελέτη της συνδεσιμότητας σε δίκτυα προσωπικής περιοχής Bluetooth και πώς αλληλοεπηρεάζονται οι συνδέσεις μεταξύ συσκευών και η δυνατότητα ανακάλυψης. Διαπιστώσαμε τα προβλήματα που υπάρχουν στο Bluetooth λόγω της αυστηρής τοπολογίας αστέρα που χρησιμοποιεί και πιστεύουμε ότι θα ήταν χρήσιμη περαιτέρω έρευνα γύρω από τεχνικές δρομολόγησης δεδομένων και επεκτάσεις/βελτιώσεις ή παρακάμψεις του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα scatternets στην παρούσα πρότυπη περιγραφή του Bluetooth.

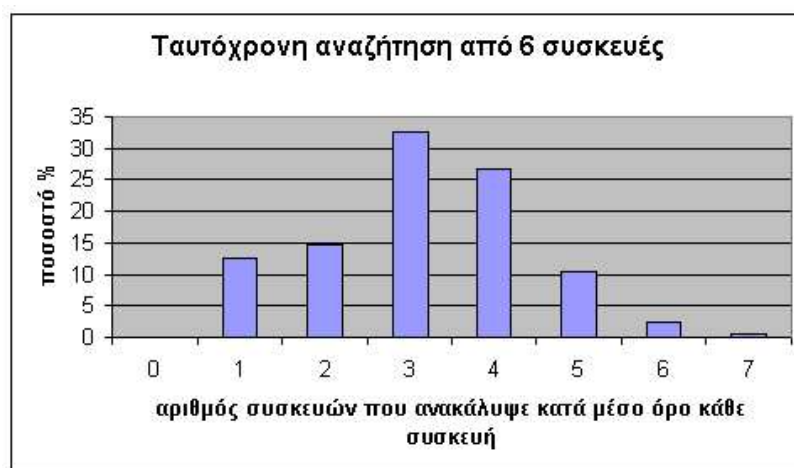
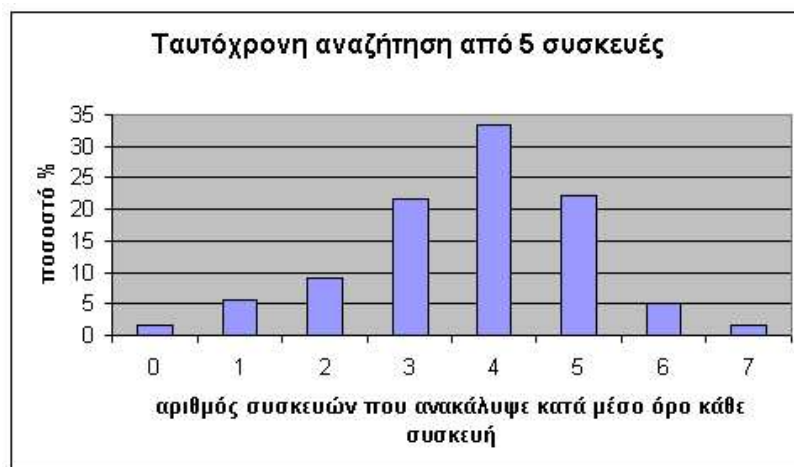
Ακόμα, εκμεταλλευόμενοι τις μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες θα μπορούσαν να γίνουν οι αντίστοιχες μετρήσεις σε προσομοιωτές ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση και να διαπιστωθεί κατά πόσο συμβαδίζουν τα αναμενόμενα θεωρητικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν στην πράξη.

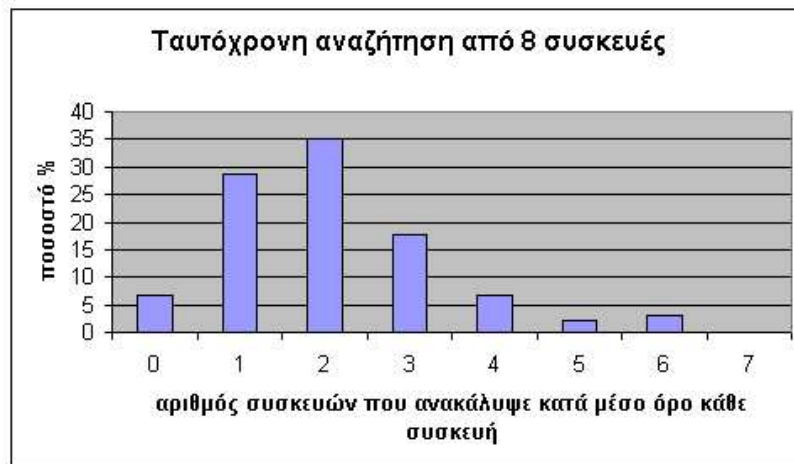
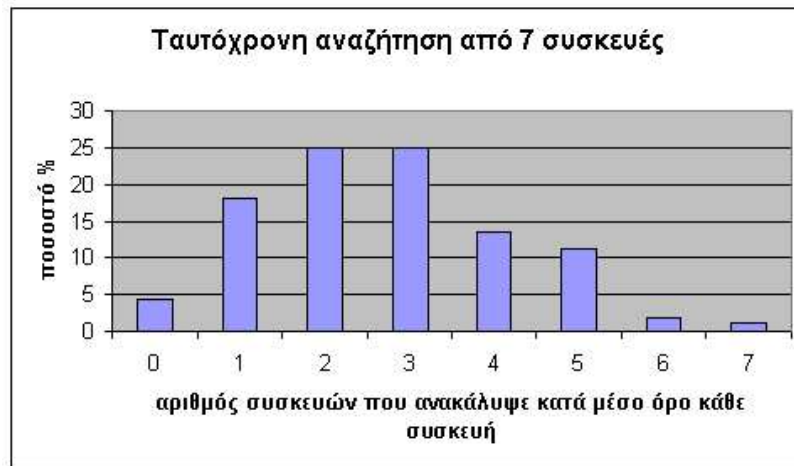
Γραφικές παραστάσεις

Εκτελέσαμε το παρακάτω πείραμα: Διαθέταμε 8 συσκευές Bluetooth και τις οποίες θέταμε σε κατάσταση αναζήτησης συσκευών, ώστε να συμπεράνουμε πώς επηρεάζεται η απόδοση στην περίπτωση όπου και οι υπόλοιπες συσκευές σε εμβέλεια επίσης προσπαθούν να ανακαλύψουν τις υπόλοιπες συσκευές.

Παρακάτω παραθέτουμε πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα της γραφικής παράστασης 5.5. Σε αυτές τις γραφικές παραστάσεις παρουσιάζουμε, πόσες συσκευές κατάφερε να ανακαλύψει κάθε συσκευή (κατά μέσο όρο) ανάλογα με το πλήθος των συσκευών που εκτελούσαν ταυτόχρονα αναζήτηση. Σε όλα τα περιβάματα υπήρχαν σε εμβέλεια όλες οι 8 συσκευές. Στην περίπτωση όπου υπήρχε μόνο μία συσκευή η οποία εκτελούσε αναζήτηση, παρατηρούμε ότι σε ποσοστό που πλησιάζει το 95% κατάφερε να ανακαλύψει όλες τις άλλες συσκευές (δηλαδή τις υπόλοιπες 7). Σε αντίθεση, όταν όλες οι συσκευές προσπαθούσαν να ανακαλύψουν όλες τις υπόλοιπες συσκευές σε εμβέλεια, επιτύγχαναν να ανακαλύψουν μόλις 1-2 από αυτές στην πλειοψηφία των πειραμάτων. Σε όλα τα υπόλοιπα -ενδιάμεσα- πειράματα παρατηρούμε τις αντίστοιχες κατανομές, από όπου συμπεραίνουμε τις σημαντικές επιπτώσεις και τη μείωση του ποσοστού επιτυχίας όσο αυξάνει ο αριθμός των συσκευών που εκτελούν αναζήτηση.







Ευρετήριο όρων

Το μεγαλύτερο ποσοστό της βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας σχετικά με το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι δημοσιευμένο στην αγγλική γλώσσα, με συνέπεια το σύνολο σχεδόν της τεχνικής ορολογίας που συναντάται στη βιβλιογραφία να αποτελείται από ξενικούς όρους των οποίων η χρήση έχει καθιερωθεί.

Στην παρούσα εργασία προσπαθήσαμε να χρησιμοποιήσουμε όπου αυτό ήταν δυνατό αντίστοιχους όρους στην ελληνική γλώσσα, αφενός για να διευκολύνουμε τον ελληνόγλωσσο αναγνώστη και αφετέρου για να συμβάλλουμε όσο είναι εφικτό από τη δική μας πλευρά στην καθιέρωση ελληνικής τεχνικής ορολογίας όπου κρίνουμε ότι είναι ελλιπής. Πολλοί από τους όρους που χρησιμοποιήσαμε έχουν ήδη καθιερωθεί στην ελληνική γλώσσα, ενώ άλλοι συναντώνται στην ελληνική βιβλιογραφία και τους προτιμήσαμε όταν κρίναμε ότι εκφράζουν το ακριβές νόημα του ξενόγλωσσου όρου. Στις περιπτώσεις όπου δεν συναντάται -ή δε θα ήταν επιστημονικά ακριβής- μονολεκτικός όρος, προτιμήσαμε περιφραστική μετάφραση ή/και συνοδεύαμε τον ελληνικό όρο από τον αντίστοιχο αγγλικό, ώστε να αποφύγουμε πιθανές παρερμηνείες.

Αγγλικός όρος	Ελληνικός όρος
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	απευθείας ακολουθία πάνω από φάσμα συχνοτήτων
FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	εναλλαγή συχνοτήτων πάνω από φάσμα συχνοτήτων
HCI (host control interface) layer	επίπεδο διεπαφής ελέγχου
L2CAP (logical link control adaptation layer)	επίπεδο λογικών καναλιών
RF (radio frequency) layer	επίπεδο ραδιοσυχνοτήτων
Voice/data access points	σημεία πρόσβασης σε ήχο/δεδομένα
ad hoc networking	δυναμική δικτύωση
application programming interface client	διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών πελάτης
clock offset	μετατόπιση ρολογιού
connection state	κατάσταση σύνδεσης
(connection) active	ενεργή σύνδεση
(connection) hold	σύνδεση σε αναμονή
(connection) park	σταθμευμένη σύνδεση
(connection) sniff	σύνδεση υπό παρακολούθηση
daemon (background process)	εφαρμογή υποβάθρου
data stream	ρεύμα δεδομένων
driver	πρόγραμμα οδηγός
firmware	ενσωματωμένο πρόγραμμα

Πίνακας Β.1: Αντιστοίχιση ελληνικών και αγγλικών τεχνικών όρων

Αγγλικός όρος	Ελληνικός όρος
frequency hopping sequence	ακολουθία εναλλαγής συχνοτήτων
frequency train	τραίνο συχνοτήτων
hardware	υλικό
industrial, scientific and medical band	βιομηχανικό, επιστημονικό και ιατρικό φάσμα συχνοτήτων
layer stack	στοίβα επιπέδων
(layer) baseband	επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου μετάδοσης
(layer) link manager	επίπεδο ελέγχου φυσικού καναλιού
limited discoverability mode	κατάσταση μειωμένης δυνατότητας ανακάλυψης
master device	κύρια συσκευή
mediator	μεσάζων
module	υποσύστημα
multicast	μαζική κοινοποίηση μηνύματος
peripheral interconnection	διασύνδεση περιφερειακών συσκευών
personal area networks	δίκτυα προσωπικής περιοχής
piconet	μικροδίκτυο
server	εξυπηρετητής
service discovery protocol	πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών
slave device	υποτελής συσκευή
software	λογισμικό
specification	πρότυπη περιγραφή
state	κατάσταση
(state) inquiry response	απάντηση σε αναζήτηση συσκευών
(state) inquiry scan	κατάσταση ανίχνευσης για αναζήτηση συσκευών
(state) inquiry	κατάσταση αναζήτησης συσκευών
(state) page scan	κατάσταση ανίχνευσης για αίτηση σύνδεσης
(state) page	κατάσταση αίτησης σύνδεσης
(state) standby	κατάσταση αναμονής
super-node, super-peer	υπερ-κόμβος
timeslot	χρονοθυρίδα
timestamp	χρονοετικέτα

Πίνακας Β.2: Αντιστοίχιση ελληνικών και αγγλικών τεχνικών όρων

Βιβλιογραφία

- [1] Project 2WEAR. <http://2wear.ics.forth.gr>.
- [2] Infrared Data Association. IrDA standard specifications. Available at: <http://www.irda.org/standards/standards.asp>.
- [3] S. Avancha, A. Joshi, and T. Finin. Semantic service discovery in Bluetooth. Available at: <http://gunther.smeal.psu.edu/13063.html>.
- [4] S. Avancha, A. Joshi, and T. Finin. Enhancing the Bluetooth service discovery protocol. Technical report, University of Maryland Baltimore County, August 2001, 2001. Available at: <http://citeseer.ist.psu.edu/avancha01enhancing.html>.
- [5] S. Balasubramanian, S.P.D. William, A. Swaminathan, A. Siromoney, and M.A. Rajam. Performance improvement studies in Bluetooth piconet formation using knowledge at the master. In *International Conference on High Performance Computing (HIPC)*, 2001. Available at: <http://www.hipc.org/public/2001/posters/p12.pdf>.
- [6] Bluetooth assigned numbers. Available at : <http://www.bluetooth.org/assigned-numbers.htm>.
- [7] Michel Barbeau and E. Kranakis. Modeling and performance analysis of service discovery strategies in ad hoc networks (extended abstract). In *Proceedings of 2003 International Conference on Wireless networks (ICWN)*, June 2003. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/587240.html>.
- [8] Stefano Basagni, Raffaele Bruno, and Chiara Petrioli. Device discovery in Bluetooth networks: A scatternet perspective. In *Proceedings of the Second International IFIP-TC6 Networking Conference, Pisa, Italy, May 19-24, 2002*, volume 2345 / 2002, pages 1087–1092, 2002.

- [9] M. Beigl and H. Gellersen. Smart-its: An embedded platform for smart objects. In *Proc. Smart Objects Conference (SOC 2003)*, May 2003.
- [10] Christian Bettstetter and Christoph Renner. A comparison of service discovery protocols and implementation of the Service Location Protocol. In *Proceedings of the EUNICE 2000, Sixth EUNICE Open European Summer School*, September 2000. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/article/bettstetter00comparison.html>.
- [11] Jan Beutel and Oliver Kasten. A minimal Bluetooth-based computing and communication platform, 2001. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/beutel01minimal.html>.
- [12] BlueZ: Official Linux Bluetooth protocol stack. <http://bluez.sourceforge.net/>.
- [13] Law C., Mehta A.K., and Siu K.Y. Performance of a new Bluetooth scatternet formation protocol. In *Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, 2001. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/472978.html>.
- [14] V. Christophides, D. Plexousakis, M. Scholl, and S. Tourtounis. On labeling schemes for the semantic web. In *12th International World Wide Web Conference (WWW'03), Budapest, Hungary*, May 2003.
- [15] Salutation Consortium. White paper: Salutation architecture overview, 1998. Available at: <http://www.salutation.org/whitepaper/>.
- [16] Carlos Cordeiro, Sachin Abhyankar, and Dharma Agrawal. A novel energy efficient communication architecture for Bluetooth ad hoc networks, 2003. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/article/cordeiro03novel.html>.
- [17] Microsoft Corporation. White paper: Understanding Universal Plug and Play, 2000. Available at: <http://www.upnp.org/resources/whitepapers.asp>.
- [18] P. Couderc and M. Becus. Fast context discovery using Bluetooth, 2003.
- [19] Cambridge Silicon Radio. <http://www.csr.com>.
- [20] Steven E. Czerwinski, Ben Y. Zhao, Todd D. Hodes, Anthony D. Joseph, and Randy H. Katz. An architecture for a secure Service Discovery Service. In *Mobile Computing and Networking*, pages 24–35, 1999. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/czerwinski99architecture.html>.

- [21] Christopher Dabrowski and Kevin Mills. Understanding consistency maintenance in service discovery architectures during communication failure, 2002. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/dabrowski02understanding.html>.
- [22] Universal Plug & Play Forum. Universal Plug and Play device architecture, 2000. <http://www.upnp.org>.
- [23] Michael J. Freedman and Radek Vingralek. Efficient peer-to-peer lookup based on a distributed trie. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS02)*, Cambridge, MA, March 2002. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/freedman02efficient.html>.
- [24] The Gnutella protocol specification v0.4. Available at : http://www.stanford.edu/class/cs244b/gnutella_protocol_0.4.pdf.
- [25] The Gnutella file-sharing protocol. Available at : <http://gnutella.wego.com>.
- [26] The Kazaa file-sharing system. Available at : <http://www.kazaa.com>.
- [27] The Morpheus file-sharing system. Available at: <http://www.musiccity.com>.
- [28] The Napster file-sharing system. Available at : <http://www.napster.com>.
- [29] Ravi Gauba and Nigel Davies. Optimizing UPnP network performance for ubiquitous computing environments.
- [30] Y. Y. Golland and et.al. Simple Service Discovery Protocol /1.0 Internet draft, 1999. Available at: <http://www.globecom.net/ietf/draft/draft-cai-ssdp-v1-01.html>.
- [31] Eugene A. Gryazin. Service discovery in Bluetooth. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/392311.html>.
- [32] Roch Guerin, Eunyong Kim, and Saswati Sarkar. Bluetooth technology: Key challenges and initial research. In *Conference on Network and Distributed Simulations, 2002*, 2002.
- [33] Erik Guttman, Charles Perkins, and Michael Day. Service Location Protocol: Version 2. Internet RFC 2608, 1999.
- [34] Sedov I., Haase M., Preuss S., Cap C., and Timmermann D. Time and energy efficient service discovery in Bluetooth. In *Proceedings of the 57th IEEE Vehicular Technology Conference*, 2003. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/570807.html>.

- [35] Adriana Iamnitchi, Ian Foster, and Daniel C. Nurmi. A peer-to-peer approach to resource discovery in grid environments.
- [36] IEEE. The 802.15 IEEE standard. Available at : <http://www.ieee802.org/15/>.
- [37] IEEE. IEEE 802.11 Standard. Available at: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>.
- [38] Per Johansson, YZ lee, Mario Gerla, and Manthos Kazantzidis. Bluetooth an enabler of personal area networking. In *IEEE Network, Special Issue in Personal Area Networks, Sept-Oct, 2001*. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/johansson01bluetooth.html>.
- [39] James Kardach. Bluetooth architecture overview, 2000. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/581518.html>.
- [40] Sethuram Balaji Kodeswaran. Using peer-to-peer data routing for infrastructure-based wireless networks. In *First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, March 2003. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/561342.html>.
- [41] Martin Leopold. Evaluation of Bluetooth communication: Simulation and experiments. Technical Report 02-03, Dept. of Computer Science, University of Copenhagen, 2002. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/leopold02evaluation.html>.
- [42] Ivana Maric. Connection establishment in the Bluetooth system. Msc thesis, State University of New Jersey, Graduate School - New Brunswick Rutgers, October 2000. Available at: <http://www.winlab.rutgers.edu/ryates/thesis/ivana-ms-final.ps>.
- [43] Sven Mattisson. Low-power considerations in the design of Bluetooth (invited talk). In *Proceedings of the 2000 international symposium on Low power electronics and design*, pages 151–154. ACM Press, 2000. Available at: <http://doi.acm.org/10.1145/344166.344561>.
- [44] Robert McGrath. Discovery and its discontents: Discovery protocols for ubiquitous computing. Technical report, Department of Computer Science University of Illinois Urbana-Champaign, March 2000. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/mcgrath00discovery.html>.
- [45] Sun Microsystems. Technical white paper: Jini architectural overview, 1999. Available at: <http://www.sun.com/jini/>.

- [46] Sun Microsystems. White paper: JXTA v2.0 Protocols Specification, 2003. Available at: http://www.jxta.org/white_papers.html.
- [47] Jay R. Moorman, John W. Lockwood, and Sung-Mo Kang. The state of service protocols, 2000. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/moorman00state.html>.
- [48] Wolfgang Nejdl, Boris Wolf, Steffen Staab, and Julien Tane. EDUTELLA: Searching and annotating resources within an RDF-based p2p network. In *International Workshop on the Semantic Web, Hawaii*, 2002. Available at: <http://semanticweb2002.aifb.uni-karlsruhe.de/inproceedings/Research/Nejdl.pdf>.
- [49] Jyrki Oraskari. Bluetooth versus WLAN IEEE 802.11x. Available at: <http://citeseer.ist.psu.edu/470221.html>.
- [50] Stephan Preuss. Jesa service discovery protocol: Efficient service discovery in ad-hoc networks. In *Networking 2002 in Pisa*, 2002.
- [51] Andry Rakotonirainy and Greg Groves. Resource discovery for pervasive environments. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/542638.html>.
- [52] Jerome H. Saltzer, David P. Reed, and David D. Clark. End-to-end arguments in system design. In *ACM Transactions on Computer Systems*, pages 277–288, Nov 1984.
- [53] Stefan Saroiu, P. Krishna Gummadi, and Steven D. Gribble. A measurement study of peer-to-peer file sharing systems, 2002.
- [54] Bruce Schneier. *Applied Cryptography: Protocols, Algorithms and Source Code in C*. John Wiley & sons, Inc., second edition, 1995.
- [55] Christian Schwingenschogl and Anton Heigl. Development of a service discovery architecture for the Bluetooth radio system. In *Proceedings EUNICE 2000, Sixth EUNICE Open European Summer School*, September 2000. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/439837.html>.
- [56] Frank Siegemund and Michael Rohs. Rendezvous layer protocols for Bluetooth-enabled smart devices. In *ARCS*, pages 256–273, 2002. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/siegemund02rendezvous.html>.
- [57] Bluetooth SIG. The official Bluetooth web site. Available at : <http://www.bluetooth.com>.

- [58] Bluetooth SIG. *Specification of the Bluetooth system: Core , version 1.1*, February 2001. Available at: <http://www.bluetooth.com/>.
- [59] Bluetooth SIG. *Specification of the Bluetooth system: Profiles , version 1.1*, February 2001. Available at: <http://www.bluetooth.com/>.
- [60] W. Stahl, S. Zurbes, K. Matheus, and J. Haartsen. Radio network performance of Bluetooth. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, New Orleans, LA*, volume 3, pages 1563–1567, June 2000.
- [61] Godfrey Tan. Interconnecting Bluetooth-like personal area networks. In *1st Annual Oxygen Workshop, Gloucester, MA, 2001*, 2001. Available at: <http://nms.lcs.mit.edu/projects/Blueware/oxygen01.pdf>.
- [62] The Ninja Team. The Ninja project, 1999. Available at: <http://ninja.cs.berkeley.edu/>.
- [63] Ryan Woodings, Derek Joos, Trevor Clifton, and Charles D. Knutson. Rapid heterogeneous connection establishment: Accelerating Bluetooth inquiry using IrDA. In *Proceedings of the Third Annual IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2002)*, 2002. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/463475.html>.
- [64] Beverly Yang and Hector Garcia-Molina. Comparing hybrid peer-to-peer systems. In *The VLDB Journal*, pages 561–570, sep 2001. Available at: <http://citeseer.nj.nec.com/yang01comparing.html>.
- [65] Beverly Yang and Hector Garcia-Molina. Efficient search in peer-to-peer networks. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, July 2002.
- [66] Beverly Yang and Hector Garcia-Molina. Improving search in peer-to-peer systems. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, July 2002.