



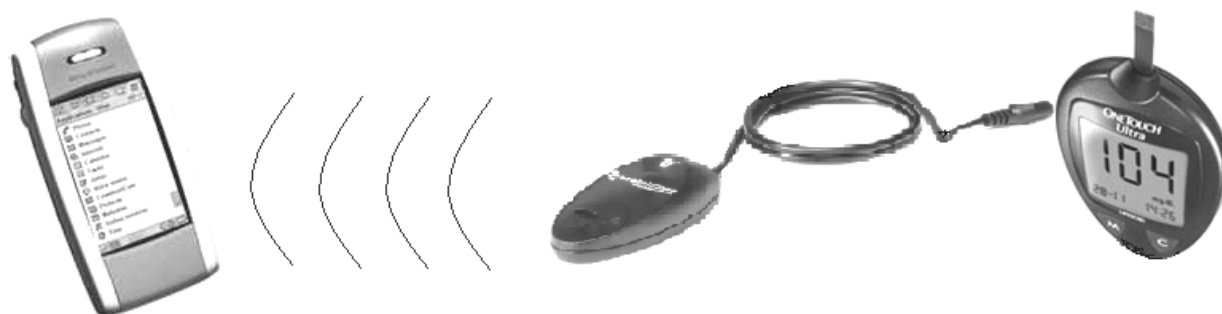
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας
& Τεχνολογίας Υλικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ ΜΕΤΑΞΥ
ΕΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΑΚΧΑΡΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΟΣ
ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ – ΕΡΕΥΝΑ ΜΕΤΡΗΤΩΝ
ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΩΣΗΣ**



Κωνσταντίνος Π. Περάκης

Επιβλέπων : Δημήτριος – Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003

.....
Κωνσταντίνος Π. Περάκης

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

Copyright © Κωνσταντίνος Π. Περάκης, 2003.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης είναι μια χρόνια πάθηση, αποτέλεσμα της μικρής παραγωγής ή της ανικανότητας σωστής χρησιμοποίησης της ορμόνης ινσουλίνη. Μάλιστα, μαζί με την υπέρταση, αποτελούν τις συχνότερες μη μεταδοτικές νόσους στις αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπλέον, τα συνολικά ετήσια οικονομικά κόστη για το διαβήτη ανέρχονται παγκοσμίως σε αρκετά δισεκατομμύρια δολάρια, κόστη τα οποία απειλούν να καταστρέψουν τη δυνατότητα του δημόσιου τομέα να παρέχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο υγειονομικής περίθαλψης για τις μελλοντικές γενιές

Μελέτες έχουν δείξει ότι ο τακτικός έλεγχος της γλυκόζης αίματος μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά τις συνέπειες του διαβήτη. Παράλληλα, οι τηλεματικές τεχνολογίες εφαρμόζονται ευρέως στο χώρο της υγείας, με την ανάπτυξη συστημάτων παροχής και υποστήριξης υπηρεσιών υγείας. Είναι ξεκάθαρο λοιπόν πως είναι απαραίτητοι νέοι τρόποι αντιμετώπισης του διαβήτη, που θα επιτρέπουν μεγάλη αξιοποίηση των αναπτυσσόμενων τεχνολογιών των κινητών επικοινωνιών και των φορητών υπολογιστών και ιατρικών συσκευών, κάθε στιγμή και οπουδήποτε.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιοποίηση των τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G mobile networks) για την εγκατάσταση ασύρματης ζεύξης μεταξύ ενός οργάνου μέτρησης της γλυκόζης του αίματος και ενός κινητού τηλεφώνου, δηλαδή η δημιουργία ενός προσωπικού ή τοπικού δικτύου μικρής εμβέλειας για τη μεταφορά των ιατρικών δεδομένων. Η διαβίβαση των δεδομένων (των αποτελεσμάτων των μετρήσεων) θα πρέπει να είναι αυτόματη, χωρίς καμία ανθρώπινη επέμβαση, προκειμένου να αποφευχθεί η σκόπιμη λανθασμένη εισαγωγή (εσκεμμένη παραποίηση) στοιχείων, κυρίως από τους νέους σε ηλικία ασθενείς.

Για το σκοπό αυτό έγινε αναλυτική μελέτη των μετρητών γλυκόζης που κυκλοφορούν στην αγορά και των τεχνολογιών – προτύπων που θα επέτρεπαν την εγκατάσταση της ζεύξης και την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, ενώ διεξήχθη και αξιολόγηση και έλεγχος της λειτουργίας της διάταξης, τα αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στο κεφάλαιο 5.

Λέξεις κλειδιά

Bluetooth, GSM, HiperLAN, HomeRF, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IrDA, RFID, RS232, Αισθητήρες γλυκόζης, Γλυκόζη, Διαβήτης, Κινητές επικοινωνίες τρίτης γενιάς, Κινητό τηλέφωνο, Μετρητές γλυκόζης, Μετρητές σακχάρου, Μη επεμβατικοί μετρητές γλυκόζης, Προσωπικά δίκτυα, Σάκχαρο, Συνεχής παρακολούθηση γλυκόζης, Τοπικά δίκτυα.

Abstract

Saccharine Diabetes is a chronic disease, result of the small production or disability of proper utilization of the hormone insulin. Along with hypertension, they constitute the more frequent non-contagious illnesses in the nascent countries. Moreover, the overall annual economic costs for diabetes amount worldwide in several billions dollars, costs which threaten to subvert the potentiality of the civil department to provide a satisfactory level of healthcare for the future generations.

Studies have indicated that the regular control of blood glucose can considerably delay the consequences of diabetes. At the same time, the telematics technologies are widely applied in the health area with the growth of rendering systems and support of healthcare services systems. It is therefore evident that new ways of confrontation of diabetes are essential, which will allow big exploitation of the developing technologies of mobile communications and portable computers and medical appliances, anytime and anywhere.

The objective of the present diploma thesis is the utilization of the third generation mobile communications technologies (3G mobile networks) for the installation of a wireless link between a system for measuring blood glucose and a mobile phone, that is the creation of a short range personal or local area network for the transmission of medical data. The conveyance of the data (the results of the measurements) should be automatic, with no human intervention, so that the deliberate erroneous import (deliberate falsification) of data, mainly from the young in age patients is avoided.

Thus, an analytical study of glucose meters in the market and of the technologies - standards that would allow the installation of the link and the communication between the devices was conducted, while an evaluation and control of the operation of the layout were also carried out, the results of which are illustrated in chapter 5.

Keywords

Bluetooth, GSM, HiperLAN, HomeRF, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IrDA, RFID, RS232, Glucose sensors, Glucose, Diabetes, 3G mobile networks, Mobile phone, Glucose meters, Blood sugar meters, Non-invasive glucose meters, Personal Area Networks (PANs), Blood sugar, Continuous glucose monitoring, Local Area Networks (LANs),

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του εργαστηρίου της βιοϊατρικής τεχνολογίας. Η εκκίνηση της διπλωματικής εργασίας τοποθετείται χρονικά το Μάρτιο του 2003 και η ολοκλήρωση της το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους.

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αφορά στη σύγκριση των μετρητών γλυκόζης που κυκλοφορούν στην αγορά, στη σύγκριση των τεχνολογιών ασύρματης διαδίκτυωσης συσκευών, στη δημιουργία ενός προσωπικού ή τοπικού δικτύου μικρής εμβέλειας για την αυτόματη μεταφορά των ιατρικών δεδομένων και στην αξιολόγηση του συστήματος.

Αισθάνομαι σε αυτό το σημείο την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή και Επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κ. Δημήτριο Κουτσούρη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα σύγχρονο και αναπτυσσόμενο αντικείμενο όπως είναι αυτό της βιοϊατρικής τεχνολογίας και ειδικότερα της τηλεϊατρικής και για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ερευνητή Δ. Γιώργο Κόννη καθώς και τον κ. Κοζάκη Διονύσιο της εταιρίας Data Control, των οποίων η συμβολή στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική. Η συνεργασία μαζί τους υπήρξε ιδιαίτερα διδακτική.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αγάπη και την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου διαδρομής, καθώς και τους φίλους μου οι οποίοι υπήρξαν καθημερινά αρωγοί και συμπαραστάτες σε όλη αυτή την πορεία.

Κωνσταντίνος Περάκης

Σεπτέμβριος 2003

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	3
ABSTRACT.....	4
KEYWORDS	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΑΚΧΑΡΩΔΗΣ ΔΙΑΒΗΤΗΣ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ..... 13

1.1 Εισαγωγή.....	14
1.2 Στατιστικά και Οικονομικά Μεγέθη.....	15
1.3 Περιγραφή του προβλήματος.....	17
1.4 Στόχος – Δομή της εργασίας.....	18
1.5 Αναφορές.....	19
1.6 Χρήσιμοι Δικτυακοί Τόποι.....	20
1.7 Περιοδικά σχετικά με το διαβήτη.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΝΕΟΤΕΡΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΣΑΚΧΑΡΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ..... 22

2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Johnson & Johnson - LifeScan.....	24
2.2.1 FastTake.....	24
2.2.2 InDuo.....	24
2.2.3 OneTouch Basic & OneTouch Basic Plus.....	25
2.2.4 OneTouch Profile.....	25
2.2.5 OneTouch Ultra.....	26
2.2.6 OneTouch UltraSmart.....	26
2.2.7 SureStep & SureStep Plus.....	27
2.2.8 SmartScan.....	28

2.3 Roche Diagnostics	29
2.3.1 Accu-Chek Active	29
2.3.2 Accu-Chek Advantage	29
2.3.3 Accu-Chek Compact.....	30
2.3.4 Accu-Chek Complete.....	30
2.3.5 Glucotrend 2.....	31
2.3.6 Glucotrend Premium.....	31
2.3.7 Accutrend Sensor	31
2.3.8 Άλλοι Μετρητές.....	32
2.4 Bayer Diagnostics	33
2.4.1 Glucomatic Esprit 2	33
2.4.2 Glucometer DEX 2.....	33
2.4.3 Glucometer Elite.....	34
2.4.4 Glucometer Elite XL.....	34
2.5 Abbott – MediSense	35
2.5.1 Precision QID	35
2.5.2 Precision Xtra	35
2.5.3 Sof-Tact.....	36
2.6 Home Diagnostics Incorporated	37
2.6.1 Prestige IQ	37
2.6.2 Prestige LX.....	37
2.6.3 Diascan-S	37
2.7 TheraSense.....	38
2.7.1 FreeStyle Tracker.....	38
2.7.2 FreeStyle	39
2.8 Amira Medical – At-Last	39
2.9 Cascade Medical.....	40
2.10 ReliOn – ReliOn Monitor	40
2.11 Λοιποί Μετρητές.....	40
2.12 Μη επεμβατικοί μετρητές γλυκόζης	41
2.12.1 Cygnus – GlucoWatch Biographer	41
2.12.2 Gluco Day.....	42
2.12.3 Sontra Medical.....	43
2.13 Έλεγχος σε Εναλλακτικά Σημεία – Πανάκεια ή.....	47
2.14 Αναφορές	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ & ΜΙΚΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΙΜΑΤΟΣ..... 52

3.1 Εισαγωγή	53
3.2 Κατηγοριοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών.....	54
3.3 Στοιχεία βιοαισθητήρων.....	55
3.4 Χαρακτηριστικά & προδιαγραφές βιοαισθητήρων	55
3.5 Βαθμονόμηση.....	56
3.5.1 Μέθοδος βαθμονόμησης δύο σημείων	56
3.5.2 Μέθοδος βαθμονόμησης ενός σημείου.....	56
3.6 Συστήματα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης	57
3.6.1 1 ^ο Σύστημα – Lutgers & Hullegie, 2000 (Μικροδιάλυση)	57
3.6.2 2 ^ο Σύστημα – Petrou, Moser & Jobst, 2002 (Μικροδιάλυση)	58
3.6.3 3 ^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 1999 (Αισθητήρες συγκράτησης)	60
3.6.4 4 ^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 2000.....	60
3.6.5 5 ^ο Σύστημα – Moser, Jobst & Urban, 2002.....	61
3.6.6 6 ^ο Σύστημα – Shankaran, Uehara & Kato, 2003.....	62
3.6.7 7 ^ο Σύστημα – Wu , Wang, Dong & Wang, 2000	63
3.6.8 8 ^ο Σύστημα – Patel , Li & Karan, 2002	63
3.6.9 9 ^ο Σύστημα – Pandey et. al, 2003	64
3.6.10 10 ^ο Σύστημα – Tiessen et. Al, 2001 (Μέθοδος υπερδιήθησης)	64
3.6.11 11 ^ο Σύστημα – Cheng, Wang & Yang, 2001(Χωρητική ανίχνευση)	65
3.6.12 12 ^ο Σύστημα – Brynda et. al, 2002 (Οπτικοί βιοαισθητήρες)	66
3.7 Τεχνολογία RFID	67
3.8 Παθητική ηλεκτρομαγνητική εκπομπή σε χωρητικούς αισθητήρες	69
3.9 Περίληψη	70
3.10 Αναφορές	71
3.11 Ενδιαφέρουσες δημοσιεύσεις:.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ - ΠΡΟΤΥΠΩΝ

ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 74

4.1 Bluetooth.....	76
4.1.1 Εισαγωγή.....	76
4.1.2 Τοπολογία δικτύου Bluetooth	77

4.1.3 Αρχιτεκτονική του Bluetooth – Στοιβά Πρωτοκόλλων	79
4.1.3.1 RF	80
4.1.3.2 Baseband	81
4.1.3.3 LMP	86
4.1.3.4 HCI	86
4.1.3.5 L2CAP	88
4.1.3.6 RFCOMM	89
4.1.3.7 SDP	90
4.1.3.8 Λοιπά Πρωτόκολλα	91
4.1.4. Προφίλ	92
4.1.5 Διαδικασία Εγκατάστασης Σύνδεσης	95
4.1.6 Εφαρμογές – Σενάρια χρήσης	96
4.1.7 Οικονομικά Μεγέθη: Παρόν & Μέλλον	97
4.1.8 Αναφορές	98
4.1.9 Χρήσιμες Δημοσιεύσεις:	99
4.2 HiperLANs (High Performance Radio Local Area Networks)	100
4.2.1 Εισαγωγή	100
4.2.2 HiperLAN 1 (High Performance Radio Local Area Network Type 1)	100
4.2.2.1 Σύνοψη για το HiperLAN 1	100
4.2.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του HiperLAN 1	100
4.2.2.3 Φυσικό στρώμα	101
4.2.2.4 Στρώμα CAC	101
4.2.3 HiperLAN 2 (High Performance Radio Local Area Network Type 2)	101
4.2.3.1 Σύνοψη	101
4.2.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά	102
4.2.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά	103
4.2.3.4 Αρχιτεκτονική του HiperLAN 2	104
4.2.3.5 Εφαρμογές	105
4.2.3.6 Περίληψη	106
4.2.3.7 Σύγκριση με το IEEE 802.11	106
4.2.3.8 Σύγκριση με το Bluetooth	106
4.2.4 Αναφορές	107
4.3 Home RF	108
4.3.1 Εισαγωγή	108
4.3.2 Αρχιτεκτονική του SWAP	108

4.3.3 Τεχνική Προδιαγραφή του Home RF	110
4.3.4 Ασφάλεια στο Home RF	110
4.3.5 Υλοποιήσεις του Home RF	111
4.3.6 Σύγκριση Home RF – Bluetooth – IEEE 802.11	112
4.3.7 Αναφορές	112
4.4 IEEE 802.15	113
4.4.1 Εισαγωγή.....	113
4.4.2 Ομάδα Μελέτης WPAN – Ομάδα Εργασίας IEEE 802.15.....	113
4.4.3 Ομάδες Καθήκοντος (Task Groups)	113
4.4.3.1 TG1	115
4.4.3.2 TG2	116
4.4.3.3 TG3	117
4.4.3.3.1 TG3a.....	118
4.4.3.4 TG4	118
4.4.4 Σύγκριση με το IEEE 802.11.....	120
4.4.5 Σύγκριση με τα HomeRF και Bluetooth	121
4.4.6 Αναφορές	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΖΕΥΞΗΣ..... 123

5.1 Επιλογή μετρητή	124
5.2 Επιλογή διασύνδεσης	124
5.3 Επιλογή κινητού τηλεφώνου	125
5.4 Το πρόβλημα & η αντιμετώπιση (RS232 → Bluetooth).....	126
5.5 Μετατροπέας RS232 → Bluetooth.....	127
5.6 Πειραματική διάταξη - Αποτελέσματα.....	128
5.7 Συμπεράσματα - Μελλοντικές προκλήσεις.....	129
5.8 Αναφορές	129

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ - ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ..... 130

Πίνακας Σχημάτων

Αριθμός	Περιγραφή Σχήματος	Σελίδα
Σχήμα 2.1	Υποδερμική τοποθέτηση αισθητήριων οργάνων	42
Σχήμα 3.1	Αρχή Αμπερομετρικών Ενζυμικών Βιοαισθητήρων	54
Σχήμα 3.2	1 ^ο Σύστημα – Lutgers & Hullegie, 2000 (Μέθοδος μικροδιάλυσης)	58
Σχήμα 3.3	2 ^ο Σύστημα – Petrou, Moser & Jobst, 2002 (Μέθοδος Μικροδιάλυσης)	59
Σχήμα 3.4	3 ^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 1999 (Αισθητήρες συγκράτησης)	60
Σχήμα 3.5	4 ^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 2000 (Αμπερομετρικός καθορισμός)	61
Σχήμα 3.6	5 ^ο Σύστημα – Moser et. Al, 2002	62
Σχήμα 3.7	6 ^ο Σύστημα – Tiessen et. Al, 2001 (Μέθοδος υπερδιήθησης)	65
Σχήμα 3.8	7 ^ο Σύστημα – Cheng, Wang & Yang, 2001 (Χωρητική ανίχνευση)	66
Σχήμα 3.9	Αναπαράσταση λειτουργίας της τεχνολογίας RFID	68
Σχήμα 3.10	Παθητική ηλεκτρομαγνητική εκπομπή σε χωρητικούς αισθητήρες	69
Σχήμα 4.1	Σενάριο Αναπήδησης Συχνότητας	77
Σχήμα 4.2	Δίκτυο scatternet	78
Σχήμα 4.3	Σχηματισμός Piconet	78
Σχήμα 4.4	Αρχιτεκτονική του Bluetooth	79
Σχήμα 4.5	Στοιβά πρωτοκόλλων του Bluetooth	79
Σχήμα 4.6	Δομή πακέτου Baseband	83
Σχήμα 4.7	Κλειδιά πιστοποίησης αυθεντικότητας & κρυπτογράφησης	85
Σχήμα 4.8	Επεξεργασία μονάδων Baseband PDU	85
Σχήμα 4.9	Επικοινωνία μέσω Bluetooth	87
Σχήμα 4.10	Εφαρμογή στρώματος L2CAP	89
Σχήμα 4.11	Μοντέλο αίτησης - απόκρισης	90
Σχήμα 4.12	Στοιβά υποστηριζόμενων προφίλ στο Bluetooth	92
Σχήμα 4.13	Προφίλ Συγχρονισμού, Headset και Πρόσβασης σε LAN	95
Σχήμα 4.14	Αποστολή Επιχειρησιακής κάρτας μέσω Bluetooth	96
Σχήμα 4.15	Σενάρια χρήσης Bluetooth	96
Σχήμα 4.16	Τυπική τοπολογία δικτύου HiperLAN2	102
Σχήμα 4.17	Αρχιτεκτονική προτύπων BRAN	104

Σχήμα 4.18	Δυνατές επιλογές σύνδεσης με SWAP	109
Σχήμα 4.19 α	Δικτυακά στρώματα του HomeRF	110
Σχήμα 4.19 β	Πλαίσιο SWAP	110
Σχήμα 4.20	Σύγκριση Bluetooth, Home RF & IEEE 802.11b	112
Σχήμα 4.21	Ομάδες καθήκοντος IEEE 802.15	114
Σχήμα 4.22	Στρώματα PHY, MAC & LLC του IEEE 802.15	114
Σχήμα 4.23	Αντιστοίχιση αρχιτεκτονικών P802 - Bluetooth	115
Σχήμα 4.24	Πλαίσιο πρωτοκόλλου MAC	117
Σχήμα 4.25	Διατιθέμενα κανάλια μετάδοσης	119
Σχήμα 4.26	Αρχιτεκτονική προτύπου IEEE 802.15	120
Σχήμα 4.27	Εφαρμογές του IEEE 802.15	120
Σχήμα 5.1	Sony Ericsson P800	125
Σχήμα 5.2	Sony Ericsson Bluetooth Headset, Car Handsfree & Handsfree	126
Σχήμα 5.3	Πειραματική διάταξη	128
Σχήμα 5.4	Εμφάνιση αποτελεσμάτων στην οθόνη του P800	129

Πίνακας Πινάκων

Αριθμός Πίνακα	Περιγραφή Πίνακα	Σελίδα
Πίνακας 1.1	Συγκεντρωτικά στοιχεία Ευρωπαϊκής ζώνης	15
Πίνακας 1.2	Συγκεντρωτικά στοιχεία Ηνωμένων Πολιτειών	16
Πίνακας 1.3	Άμεσες οικονομικές δαπάνες το 2002 στις Η.Π.Α	16
Πίνακας 2.1	Νεότεροι μετρητές σακχάρου αίματος	44-46
Πίνακας 4.1	Χαρακτηριστικά του στρώματος PHY του IEEE 802.15	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

ΣΑΚΧΑΡΩΔΗΣ ΔΙΑΒΗΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Ο Σακχαρώδης Διαβήτης είναι μια χρόνια πάθηση, αποτέλεσμα της μικρής παραγωγής ή της ανικανότητας σωστής χρησιμοποίησης της ορμόνης ινσουλίνη, η οποία είναι υπεύθυνη για την καύση-μετατροπή των τροφών (ζάχαρης, αμύλου και άλλων) σε ενέργεια για τις καθημερινές δραστηριότητες. Όταν δεν επαρκεί η ινσουλίνη, οι τροφές, κυρίως οι υδατάνθρακες, δηλαδή τα σάκχαρα (μια πολύ χρήσιμη ενεργειακή πρώτη ύλη), συσσωρεύονται στο αίμα και δεν μπαίνουν μέσα στα κύτταρα. Αυτή η δυσλειτουργία της ινσουλίνης έχει ως αποτέλεσμα τα επίπεδα της γλυκόζης να είναι εκτός φυσιολογικών ορίων, με πολλές συνέπειες τόσο άμεσες όσο και μακροχρόνιες. Αν και η αιτία είναι ακόμη άγνωστη, έχει αποδειχθεί ότι γενετικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η παχυσαρκία και η έλλειψη άσκησης παίζουν σημαντικό ρόλο.

Ο διαβήτης και η υπέρταση είναι οι συχνότερες μη μεταδοτικές νόσοι στις αναπτυσσόμενες χώρες, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αλλαγή τρόπου ζωής και διατροφής τα τελευταία χρόνια στις χώρες αυτές. Ο αρρύθμιστος διαβήτης αποτελεί την 5η αιτία θανάτων ανάμεσα σε όλα τα νοσήματα και πρέπει να τονισθεί ότι δεν είναι ο διαβήτης η αιτία των θανάτων, αλλά οι επιπλοκές της μακράς πορείας της νόσου, κυρίως αυτές από καρδιακά και εγκεφαλικά επεισόδια.

Μελέτες της ομάδας Diabetes Control and Complications Trial (DCCT) έδειξαν ότι ο τακτικός έλεγχος της γλυκόζης αίματος μπορεί να καθυστερήσει σημαντικά τις συνέπειες του διαβήτη, όπως είναι οι καρδιαγγειακές παθήσεις, η αμφιβλιστροειδοπάθεια, η νεφροπάθεια, οι νευροπάθειες ή ακόμα και ο πρόωρος θάνατος. Με σκοπό την πρόληψη των συνεπειών από τις μη ελεγχόμενες μεταβολές στα επίπεδα της γλυκόζης αίματος ο διαβητικός πρέπει να παρακολουθείται από ομάδα ειδικών (ιατρούς, νοσοκόμες, διαιτολόγους). Η κατάλληλη φαρμακευτική αγωγή εξαρτάται μεταξύ άλλων και από τον τύπο του διαβήτη. Υπάρχουν δύο τύποι διαβήτη, ανάλογα με την ποσότητα της ινσουλίνης που παράγεται: ο διαβήτης Τύπου 1 και ο διαβήτης Τύπου 2 (χωρίς να συμπεριλαμβάνεται ο Σακχαρώδης Διαβήτης Εγκυμοσύνης).

Οι ασθενείς με διαβήτη Τύπου 1 (ή ινσουλινο-εξαρτώμενο, ή νεανικό διαβήτη) συνήθως χαρακτηρίζονται από ανικανότητα παραγωγής ινσουλίνης και αποτελούν το 5-10% του συνόλου των διαβητικών. Η ανικανότητα παραγωγής οφείλεται στην καταστροφή των πανγκρεατικών κυττάρων βήτα, των μόνων κυττάρων στο ανθρώπινο σώμα που είναι ικανά για την παραγωγή ινσουλίνης, από το ίδιο το ανοσοποιητικό σύστημα του ασθενούς. Αν και καθένας μπορεί να εμφανίσει διαβήτη Τύπου 1, συνήθως εμφανίζεται σε παιδιά και νεαρής ηλικίας άτομα. Οι Τύπου 1 διαβητικοί χρειάζονται πολλαπλές ενέσεις ινσουλίνης ή συνεχή υποδόρια έγχυση ινσουλίνης προκειμένου να ελέγξουν τα επίπεδα της γλυκόζης στο αίμα τους.

Στην περίπτωση των διαβητικών Τύπου 2 (που παλαιότερα καλείτω μη ινσουλινο-εξαρτώμενος διαβήτης), το πάγκρεας δεν παράγει ικανοποιητική ποσότητα ινσουλίνης, ή η δράση αυτής είναι περιορισμένη. Καθώς η ανάγκη για ινσουλίνη αυξάνεται, το πάγκρεας σταδιακά χάνει την ικανότητα παραγωγής αυτής. Συνήθως οι διαβητικού Τύπου 2 είναι υπέρβαρα άτομα ηλικίας μεγαλύτερης των 45 ετών. Ωστόσο, ως συνέπεια της αύξησης του βάρους των νέων ατόμων, ο αριθμός των παιδιών και νεαρών ατόμων με διαβήτη Τύπου 2 αυξάνεται συνεχώς. Επιπλέον, είναι γνωστή η κληρονομική προδιάθεση για την εμφάνιση του σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2, ωστόσο τα υπεύθυνα για τη νόσο γονίδια δεν έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα. Ο διαβήτης Τύπου 2 είναι η πιο κοινή μορφή διαβήτη και αντιπροσωπεύει το 90 – 95% του συνόλου των διαβητικών. Όμως η εκγύμναση, η απώλεια του υπερβολικού βάρους και η ισοροπημένη διατροφή μπορούν να συντελέσουν στον έλεγχο αυτού.

1.2 Στατιστικά και Οικονομικά Μεγέθη

Η International Diabetes Federation (IDF) εκτιμά ότι παγκοσμίως τουλάχιστον 155,000,000 άτομα έχουν διαβήτη, αριθμός κατά 30 εκατομμύρια μεγαλύτερος συγκρινόμενος με το 1995. Ο αριθμός αυτός είναι μεγαλύτερος από το πληθυσμό της Αργεντινής, της Αυστραλίας, της Νότιας Αφρικής και της Σαουδικής Αραβίας μαζί. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το 2025 ο αριθμός των διαβητικών θα ξεπερνά τους 300 εκατομμύρια, αριθμός μεγαλύτερος από τον πληθυσμό των Η.Π.Α. Η IDF εκτιμά ότι τουλάχιστον 15,000,000 άτομα πάσχουν από διαβήτη Τύπου 1, και τουλάχιστον 140,000,000 άτομα από διαβήτη Τύπου 2.

Σε σχέση ειδικότερα με την κατάσταση στην Ευρώπη, και εδώ η κατάσταση δεν είναι θετική, αφού υπάρχει τα τελευταία χρόνια μια δραματική αύξηση της ασθένειας. Σχεδόν το 5%, ή αλλιώς 22,5 εκατομμύρια, είναι διαβητικοί, όπως φαίνεται και στα ακόλουθα συγκεντρωτικά στοιχεία

Ευρωπαϊκή Ζώνη	
Συνολικός Πληθυσμός	654.9 εκατομμύρια
Ενήλικες (Ηλικιακή ομάδα 20-79)	462.7 εκατομμύρια
Σύνολο Διαβητικών (Ηλικιακή ομάδα 20-79)	22.5 εκατομμύρια
Ποσοστό επί του πληθυσμού (Ηλικιακή ομάδα 20-79)	4.9 %
Διαβητικοί Τύπου 1 (Όλες οι ηλικιακές ομάδες)	1.27 εκατομμύρια
Ποσοστό επί του πληθυσμού (Όλες οι ηλικιακές ομάδες)	0.19 %

Πίνακας 1.1 Συγκεντρωτικά στοιχεία Ευρωπαϊκής ζώνης (Πηγή: International Diabetes Federation)

Ανάλογο είναι και το ποσοστό των ατόμων που πάσχουν από Σακχαρώδη Διαβήτη στην Ελλάδα, που υπολογίζεται ότι ανέρχεται στις 700.000 από μελέτες που έχουν γίνει σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας. Αν σκεφθεί δε κανείς ότι το ήμισυ των ασθενών μένουν αδιάγνωστοι και ότι άλλοι τόσοι ενώ έχουν φυσιολογικό νησικό σάκχαρο εμφανίζουν μεταγευματική υπεργλυκαιμία τότε αυτόματα το πρόβλημα του αριθμού των διαβητικών διπλασιάζεται.

Αλλά και στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα στατιστικά και οικονομικά μεγέθη είναι εξίσου απογοητευτικά: προσεγγιστικά, περίπου το 6.2% του συνολικού πληθυσμού (17 εκατομμύρια άνθρωποι) πάσχει από διαβήτη. Αναλυτικότερα, τα στατιστικά στοιχεία είναι συγκεντρωμένα στον πίνακα 1.2.

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	
Σύνολο διαβητικών (Όλες οι ηλικιακές ομάδες)	17 εκατομμύρια (6.2% του πληθυσμού)
Σύνολο διαβητικών κάτω των 20 ετών	151.000 (0.19% της ηλικιακής ομάδας)
Σύνολο διαβητικών άνω των 20 ετών	16.9 εκατομμύρια (8.6% της ηλικιακής ομάδας)
Σύνολο διαβητικών άνω των 65 ετών	7 εκατομμύρια (20.1% της ηλικιακής ομάδας)

Πίνακας 1.2 Συγκεντρωτικά στοιχεία Ηνωμένων Πολιτειών (Πηγή: American Diabetes Association)

Επιπλέον, το συνολικό ετήσιο οικονομικό κόστος για το διαβήτη το έτος 2002 υπολογίστηκε στα 132 δισεκατομμύρια δολάρια, ή αλλιώς το ένα στα 10 δολάρια που ξοδεύτηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες για υγειονομική περίθαλψη. Οι άμεσες δαπάνες για το διαβήτη το 2002 άγγιξαν τα \$ 91.9 δισεκατομμύρια, δηλαδή υπερδιπλασιάστηκαν σε χρονικό διάστημα 5 ετών (το 1997 έφταναν τα \$ 44 δισεκατομμύρια), αντιπροσωπεύοντας το 19% των συνολικών δαπανών προσωπικής υγειονομικής περίθαλψης (αν και μόνο το 4.2% του πληθυσμού των Η.Π.Α έχει διαγνωθεί ότι πάσχει από διαβήτη) και περιελάμβαναν τα ακόλουθα:

Φροντίδα για το διαβήτη	\$ 23.2 δισεκατομμύρια
Χρόνιες επιπλοκές σχετιζόμενες με το διαβήτη	\$ 24.6 δισεκατομμύρια
Επικράτηση γενικών παθολογικών καταστάσεων	\$ 44.1 δισεκατομμύρια
Συνολικό άμεσο κόστος	\$ 91.9 δισεκατομμύρια

Πίνακας 1.3 Άμεσες οικονομικές δαπάνες το 2002 στις Η.Π.Α (Πηγή: American Diabetes Association)

Οι έμμεσες δαπάνες (χαμένες εργατο-ώρες, περιορισμένη δραστηριότητα, μόνιμη ανικανότητα, θνησιμότητα) ήταν εξίσου μεγάλες καθώς υπολογίστηκαν στα \$ 39.8 δισεκατομμύρια.

1.3 Περιγραφή του προβλήματος

Το κόστος αυτό απειλεί να καταστρέψει τη δυνατότητα του δημόσιου τομέα να παρέχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο υγειονομικής περίθαλψης για τις μελλοντικές γενιές. Κατά συνέπεια, η μείωση του κόστους υγειονομικής περίθαλψης για τα χρόνια νοσήματα και ειδικότερα για το διαβήτη είναι ουσιαστική για την ευημερία μεγάλου ποσοστού του πληθυσμού.

Οι σύγχρονες εξελίξεις στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής επιτρέπουν την ανάπτυξη συστημάτων με δυνατότητες μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων πάνω από δίκτυα κινητών επικοινωνιών με αξιοπιστία, ακρίβεια και ασφάλεια. Επιπλέον, το κόστος τέτοιων συστημάτων έχει μειωθεί σημαντικά ενώ το μέγεθος και ο όγκος τέτοιων συσκευών ολοένα μειώνεται. Παράλληλα, οι τηλεματικές τεχνολογίες ολοένα και περισσότερο εφαρμόζονται στο χώρο της υγείας με την ανάπτυξη συστημάτων παροχής και υποστήριξης υπηρεσιών υγείας.

Είναι ξεκάθαρο λοιπόν πως είναι απαραίτητοι νέοι τρόποι αντιμετώπισης του διαβήτη, που θα επιτρέπουν μεγάλη αξιοποίηση των αναπτυσσόμενων τεχνολογιών των κινητών επικοινωνιών και των φορητών υπολογιστών και ιατρικών συσκευών, κάθε στιγμή και οπουδήποτε.

Αν επιπροσθέτως ληφθεί υπόψιν και το γεγονός ότι ορισμένες ηλικιακές ομάδες (μικρά παιδιά ή ηλικιωμένα άτομα), λόγω της ηλικίας τους (τα μεν πρώτα) ή λόγω της ψυχο-πνευματικής τους κατάστασης (τα δεύτερα), δεν έχουν κατανοήσει ή αρνούνται να κατανοήσουν πλήρως τη σοβαρότητα της νόσου και τη σπουδαιότητα των ακριβών και σωστών μετρήσεων του επιπέδου γλυκόζης στο αίμα, με αποτέλεσμα πολλές φορές να παραπαιούν χωρίς ενδοιασμούς τις μετρήσεις που κάνουν οι ίδιοι και να τις προσαρμόζουν στα φυσιολογικά επίπεδα με σκοπό να εξασφαλίσουν ελαστικότερη θεραπεία και διατροφή, γίνεται εμφανής η ανάγκη ανάπτυξης ενός συστήματος με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, ενός συστήματος δηλαδή στο οποίο η παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα θα είναι περιορισμένη στο ελάχιστο δυνατόν, ει δυνατόν εκμηδενισμένη.

Ο διαβήτης είναι μια σοβαρή κατάσταση που απαιτεί σωστή και δομημένη παρακολούθηση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αποτελεσματική αντιμετώπιση. Με την κατάλληλη καθημερινή προσοχή και φροντίδα τα παιδιά που πάσχουν από διαβήτη μπορούν να ζήσουν μια φυσιολογική ζωή, να συμμετέχουν ενεργά σε όλες τις εκδηλώσεις και να διασκεδάζουν. Παράλληλα, γίνεται ευρέως αποδεκτό ότι ο εντατικός έλεγχος μπορεί να μειώσει τις επιπλοκές της νόσου. Η πρόκληση βέβαια είναι αυτό να γίνεται με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

1.4 Στόχος – Δομή της εργασίας

Στόχος συνεπώς της παρούσας εργασίας είναι η αξιοποίηση των τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G mobile networks) για την εγκατάσταση ασύρματης ζεύξης μεταξύ ενός οργάνου παρακολούθησης της γλυκόζης του αίματος και ενός κινητού τηλεφώνου, δηλαδή η δημιουργία ενός προσωπικού ή τοπικού δικτύου μικρής εμβέλειας για την αυτόματη μεταφορά των ιατρικών δεδομένων. Επιπλέον ζητούμενο είναι η επίτευξη ασφαλούς και αξιόπιστης ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των δύο συσκευών. Η διαβίβαση των δεδομένων (των αποτελεσμάτων των μετρήσεων) θα πρέπει να είναι αυτόματη, χωρίς καμία ανθρώπινη επέμβαση, προκειμένου να αποφευχθεί η σκόπιμα λανθασμένη εισαγωγή (εσκεμμένη παραποίηση) στοιχείων, κυρίως από τους νέους σε ηλικία ασθενείς.

Για το σκοπό αυτό έγινε αναλυτική μελέτη των μετρητών γλυκόζης που κυκλοφορούν στην αγορά, των τεχνολογιών – προτύπων που θα επέτρεπαν την εγκατάσταση της ζεύξης και την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, καθώς και των κινητών τηλεφώνων που θα παρείχαν τα μέσα (υποστήριξη επιλεγμένης τεχνολογίας) για την επικοινωνία.

Ακόμη, έγινε μελέτη των αισθητήρων και των μικροσυστημάτων συνεχούς παρακολούθησης της γλυκόζης του αίματος, που αν και για την ώρα αντιμετωπίζουν κάποιες τεχνικές δυσκολίες και δεν μπορούν να ανταποκριθούν πλήρως στις ζητούμενες ανάγκες, αναμφισβήτητα με το που ξεπεραστούν οι δυσκολίες αυτές θα γνωρίσουν ευρεία αποδοχή και θα αποτελέσουν το μέλλον των συστημάτων παρακολούθησης γλυκόζης στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα συστήματα που παρουσιάζονται είναι ως επί το πλείστον εμφυτεύσιμα, εξασφαλίζοντας όμως την ελάχιστη δυνατή ενόχληση για τους ασθενείς.

Μετά τη σύγκριση και την επιλογή της καταλληλότερης για την προκειμένη περίπτωση τεχνολογίας, έγινε αξιολόγηση και έλεγχος της λειτουργίας της διάταξης, τα αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στο κεφάλαιο 5.

Η προτεινόμενη διάταξη θα παρέχει την δυνατότητα χρήσης της ενώ ο ασθενής είναι εν κινήσει προκειμένου να του δίνονται συμβουλές και υποστήριξη από το γιατρό του σε περίπτωση ανάγκης. Μελλοντικά, η διάταξη αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρότυπο, οπότε αλλάζοντας τον τύπο των βιοσημάτων θα βρίσκει εφαρμογή και σε διάφορα άλλα σοβαρά χρόνια νοσήματα, όπως την υπέρταση, παθήσεις καρδιάς, πνευμονικά νοσήματα κ.ά. Το σύστημα αυτό θα είναι εύκολα επεκτάσιμο και θα μπορεί να κάνει χρήση των τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών 3G για την αυτόματη μετάδοση των μετρήσεων από το κινητό στον προσωπικό γιατρό ή σε κάποιο σύστημα διαχείρισης.

1.5 Αναφορές

A.D.A (American Diabetes Association)

<http://www.diabetes.org/>

IDF (International Diabetes Federation)

<http://www.idf.org>

Ελληνική Διαβητολογική Εταιρία

<http://www.mednet.gr>

Δ.Ε.Β.Ε (Διαβητολογική Εταιρία Βορείου Ελλάδος)

<http://www.ngda.gr> - <http://www.ngda.gr/Guide.htm>

ADA. Economic Costs of Diabetes in the U.S. in 2002. Diabetes Care 26(3):917-932, 2003

Scott Ramsey, Kent H. Summers, Stephanie A. Leong, Howard G. Birnbaum, Jason E. Kemner, Paul Greenberg. Productivity and Medical Costs of Diabetes in a Large Employer Population. Diabetes Care 25:23-29, 2002

1.6 Χρήσιμοι Δικτυακοί Τόποι

- Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας
<http://www.ypyp.gr>
- Ε.ΚΕ.ΔΙ (Εθνικό Κέντρο Έρευνας, Πρόληψης και Θεραπείας του Σακχαρώδη Διαβήτη και των Επιπλοκών του)
<http://www.hndc.gr>
- Π.Ε.Ν.ΔΙ (Πανεπιστημιακή Ένωση για το Νεανικό Διαβήτη)
<http://www.elodi.gr/nea/>
- Π.Ε.Α.Ν.Δ (Πανελλήνια Ένωση Αγώνος κατά του Νεανικού Διαβήτη)
http://www.jdrf.org.gr/index_gr.html
- Ε.ΔΙ.ΔΕ (Ένωση Διαβητικών Δυτικής Ελλάδας)
<http://edide0.tripod.com/diabetes.html>
- Greek Diabetes
<http://www.artonweb.gr/greekdiabetes/main.htm>
- E.A.S.D (European Association for the Study of Diabetes)
<http://www.easd.org>
- Canadian Diabetes Association
<http://www.diabetes.ca>
- British Diabetic Association
<http://www.diabetes.org.uk>
- Diabetes Mall
<http://www.diabetes.com/>

1.7 Περιοδικά σχετικά με το διαβήτη

- Diabetes Forecast (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/DiabetesForecast/>
- Diabetes (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/Diabetes/>
- Diabetes Care (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/DiabetesCare/>
- Diabetes Spectrum (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/DiabetesSpectrum/>
- Diabetes Reviews (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/DiabetesReviews/>
- Clinical Diabetes (Published By A.D.A)
<http://www.diabetes.org/ClinicalDiabetes/>
- Diabetes Interview
<http://www.diabetesworld.com>
- Diabetes Self-Management
<http://www.diabetes-self-mgmt>
- KWD Magazine
<http://www3.sk.sympatico.ca/macdia/kwd.html>
- Pediatric Diabetes
<http://journals.munksgaard.dk/pediatricdiabetes/>
- Voice Of The Diabetic
<http://204.245.133.32/voice.htm>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΝΕΟΤΕΡΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΣΑΚΧΑΡΟΥ ΑΙΜΑΤΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο έλεγχος του σακχαρώδη διαβήτη και οι μετρήσεις που γίνονται, είτε από τους γιατρούς και το νοσηλευτικό προσωπικό, είτε από τα ίδια τα άτομα με σακχαρώδη διαβήτη, αποτελούν το θεμέλιο λίθο πάνω στον οποίο οικοδομείται η θεραπεία του. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας βοηθούν να εκτιμήσουμε την αποτελεσματικότητα της θεραπείας και εάν χρειάζεται να κάνουμε τις απαραίτητες αλλαγές με σκοπό πάντα την καλύτερη δυνατή ρύθμιση και φυσικά την αποφυγή των επιπλοκών.

Μέχρι τα τέλη του 1970 η εξέταση ρουτίνας ήταν η μέτρηση του σακχάρου στα ούρα από το ίδιο το άτομο με σακχαρώδη διαβήτη, ενώ η μέτρηση του σακχάρου στο αίμα γινόταν μόνο στα μικροβιολογικά εργαστήρια. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε ένα αριθμό από συσκευές μέτρησης σακχάρου αίματος με εκτεταμένες ευκολίες και δυνατότητες. Όσον αφορά το ποιος είναι ο καλύτερος, αυτό εξαρτάται για τον καθένα ανάλογα με την ηλικία και τις ανάγκες του. Τα χαρακτηριστικά των νέων μετρητών που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι τα εξής:

- Έχουν δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή για ανάγνωση και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων με γραφικές απεικονίσεις
- Διαθέτουν μεγαλύτερη μνήμη (τουλάχιστον 100 μετρήσεις)
- Υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης σε εναλλακτικά σημεία
- Υπάρχει η δυνατότητα αναρρόφησης σταγόνας αίματος
- Υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης κετόνης αίματος
- Απαιτούν μικρότερη ποσότητα αίματος
- Απαιτούν μικρότερο χρόνο μέτρησης
- Είναι μικρότεροι σε μέγεθος
- Είναι περισσότερο ακριβείς
- Έχουν μικρότερο κόστος

Στις παραγράφους που ακολουθούν είναι συγκεντρωμένοι οι νεότεροι των μετρητών σακχάρου αίματος που κυκλοφορούν στην αγορά, ταξινομημένοι βάση των εταιριών παραγωγής αυτών, ενώ για κάθε έναν από αυτούς γίνεται μια ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών του. Επιπλέον, γίνεται και μία παρουσίαση των μετρητών σακχάρου δεύτερης γενιάς, ή αλλιώς μετρητών του μέλλοντος, οι οποίοι κάνουν χρήση των τελευταίων τεχνολογικών επιτευγμάτων, καθιστώντας την όλη διαδικασία πρακτικά ανώδυνη, ώντας μη επεμβατικοί.

2.2 Johnson & Johnson - LifeScan

2.2.1 FastTake ^{[001],[002]}

Ο μετρητής OneTouch FastTake ήταν ο πρώτος μετρητής γλυκόζης αίματος της LifeScan ο οποίος χρησιμοποίησε ηλεκτρονικές ταινίες μέτρησης και ο οποίος ανταγωνίζεται άξια μετρητές άλλων εταιριών που χρησιμοποιούν παρεμφερείς ταινίες, όπως ο Glucometer DEX, ο Glucometer Elite και ο Precision QID.



Είναι από τους πιο γρήγορους μετρητές της αγοράς καθώς απαιτεί μόλις 15 sec για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων, ενώ είναι ελάχιστα απαιτητικός και σε όγκο αίματος, καθώς χρειάζεται σταγόνα 1,5 μικρόλιτρα. Επιπλέον, είναι εγκεκριμένος και για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, το οποίο τον κατατάσσει στους πρακτικά ανώδυνους μετρητές. Μια σημαντική διαφορά του σε σχέση με άλλους μετρητές, είναι ότι όπως και οι Glucometer DEX και Glucometer Elite είναι βαθμονομημένος σε ορό γλυκόζης και όχι σε πλήρες αίμα.

Κρίνεται αρκετά κατάλληλος και για μικρά παιδιά, καθώς είναι πολύ απλός στη χρήση, δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών, ενώ οι αρκετά μικρές του διαστάσεις και το μικρό του βάρος τον καθιστούν πολύ βολικό στη μεταφορά.

Τέλος, διαθέτει μνήμη 150 μετρήσεων, έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσω 14 ημερών, ενώ μπορεί να συνδεθεί και με υπολογιστή για τη διαχείριση των δεδομένων των μετρήσεων μέσω του λογισμικού OneTouch Diabetes Management.

2.2.2 InDuo ^{[003],[004]}

Η συσκευή InDuo είναι η μοναδική συσκευή με διπλό ρόλο, καθώς εκτός από μετρητής γλυκόζης αίματος είναι και χορηγός ινσουλίνης. Ο μετρητής γλυκόζης χρησιμοποιεί τις ίδιες ταινίες μέτρησης με τον OneTouch Ultra, είναι εγκεκριμένος για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, ενώ απαιτεί ελάχιστο όγκο αίματος (1 μικρόλιτρο) και είναι από τους πιο γρήγορους της αγοράς (εμφάνιση αποτελεσμάτων σε μόλις 5 sec)



Ο χορηγός ινσουλίνης είναι το ίδιο τεχνολογικά προηγμένος όσο η συσκευή Novo Nordisk Inpeno, ενώ διαθέτει μνήμη για την ποσότητα της τελευταίας χορήγησης ινσουλίνης καθώς και την ώρα από την τελευταία χορήγηση.

Η συσκευή διαθέτει μνήμη 150 μετρήσεων καθώς και τη δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων 14 και 30 ημερών. Η διαχείριση των δεδομένων σε προσωπικό υπολογιστή μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του λογισμικού InTouch.

Τα ως άνω τεχνικά χαρακτηριστικά του, δηλαδή η ταχύτητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων, η αξιοπιστία αυτών, ο πολύ μικρός απαιτούμενος όγκος αίματος, καθώς και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών μέτρησης, των κατατάσσουν ανάμεσα στους κορυφαίους μετρητές της αγοράς.

2.2.3 OneTouch Basic & OneTouch Basic Plus [005],[006],[007]

Οι μετρητές OneTouch Basic και OneTouch Basic Plus είναι δύο από τους πιο απλούς μετρητές της σειράς OneTouch της LifeScan, με τον δεύτερο να είναι λίγο πιο προηγμένος τεχνολογικά από τον πρώτο. Έτσι, ο Plus διαθέτει μνήμη 75 μετρήσεων χωρίς τη δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων, διαθέτει θύρα για επεξεργασία των δεδομένων σε υπολογιστή με τη βοήθεια του λογισμικού OneTouch Diabetes Management, ενώ εξακολουθεί να είναι πολύ αργός (εμφάνιση αποτελεσμάτων μέτρησης σε 45 sec).



Οι μετρητές αυτοί δεν έχουν υιοθετήσει την τεχνολογία των ηλεκτρονικών ταινιών μέτρησης, ούτε διαθέτουν την ενσωματωμένη δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων που έχει για παράδειγμα ο OneTouch Profile. Σαν υπέρ τους έχουν την μεγάλη απλότητα χρήσης (δε χρειάζονται προγραμματισμό) και το ελαφρά ελαττωμένο κόστος χρήσης. Παρόλα αυτά, η πολύ μεγάλη ποσότητα αίματος που απαιτούν για τη διεξαγωγή της μέτρησης (10 μικρόλιτρα) τους καθιστούν απαγορευτικούς για συχνή χρήση.

2.2.4 OneTouch Profile [008],[009],[010]

Ο μετρητής σακχάρου OneTouch Profile αν και δεν υποστηρίζει την τεχνολογία των ηλεκτρονικών ταινιών μέτρησης, διαθέτει αρκετά εξεζητημένη ενσωματωμένη δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων. Υστερεί όμως στην απαιτούμενη ποσότητα αίματος για τη μέτρηση (περί τα 3,5 μικρόλιτρα), ενώ είναι και αυτός αρκετά αργός (εμφάνιση αποτελεσμάτων στα 45 sec).



Παρόλα αυτά, είναι ένας από τους πιο εύχρηστους και ευφείς μετρητές της αγοράς. Διαθέτει 250 μνήμες μετρήσεων, με δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού των μέσων όρων των μετρήσεων ανά 14 και 30 ημέρες, καταγράφει σε κάθε μέτρηση τον τύπο και τη δοσολογία της ινσουλίνης και

βγάζει τον μέσο όρο όσο αφορά στις καθημερινές δραστηριότητες. Επιπλέον διαθέτει σειριακή θύρα για σύνδεση με υπολογιστή για διαχείριση των δεδομένων των μετρήσεων με το λογισμικό OneTouch Diabetes Management.

Εμφανίζει προειδοποιητικά μηνύματα όταν τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα είναι είτε υψηλά είτε χαμηλά, ενώ γίνεται και μέτρηση των υδατανθράκων μετά από κάθε τεστ. Διαθέτει την ικανότητα αυτόματης προειδοποίησης όταν ο μετρητής θέλει καθάρισμα, ανιχνεύει πιθανά λάθη στο δείγμα του αίματος, ενώ επιπλέον ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί χαρακτηριστικά ανάλογα με τις ανάγκες. Τέλος, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει σε 19 γλώσσες.

2.2.5 OneTouch Ultra ^{[011],[012],[013]}

Ο μετρητής OneTouch Ultra είναι ένας από τους κορυφαίους της σειράς OneTouch της LifeScan, καθώς είναι ταχύτερος (δίνει τα αποτελέσματα της μέτρησης σε 5 sec), είναι πολύ πιο ανώδυνος από πολλούς μετρητές λόγω του ότι και υποστηρίζει τον έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία αλλά και χρειάζεται πολύ μικρό δείγμα αίματος για την παραγωγή αποτελεσμάτων (1 μικρόλιτρο), ενώ είναι και πολύ απλός στη χρήση.



Ο μετρητής είναι μικρών διαστάσεων και πολύ ελαφρύς και άρα βολικός στη μεταφορά, ενώ δεν απαιτείται καθάρισμός αυτού. Διαθέτει μνήμη 150 μετρήσεων και δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων ανά 14 και 30 ημέρες. Υποστηρίζεται η σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή και η διαχείριση των δεδομένων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του λογισμικού InTouch. Οι ταινίες μέτρησης που χρησιμοποιεί δεν διατρέχουν τον κίνδυνο μόλυνσης από επαφή, ενώ υπάρχει και οπτική ένδειξη για το αν έχει αναρροφηθεί ικανοποιητική ποσότητα αίματος ή όχι.

2.2.6 OneTouch UltraSmart ^{[014],[015]}

Ο μετρητής OneTouch UltraSmart είναι μια πιο εξελιγμένη έκδοση του πολύ επιτυχημένου OneTouch Ultra, παρέχοντας ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες διαχείρισης των δεδομένων. Ο μετρητής κάνει πολύ καλή εκμετάλλευση της μεγάλης οθόνης και της πολύ μεγάλης μνήμης αυτού (3000 μετρήσεις), δίνοντας τη δυνατότητα δημιουργίας εκτενών γραφικών παραστάσεων και ανάλυσης των δεδομένων.



Όπως και ο OneTouch Ultra, έτσι και αυτός είναι από τους ταχύτερους της αγοράς, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε μόλις 5 sec, ενώ και ο απαιτούμενος όγκος

Κωνσταντίνος Π. Περάκης – Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών 26

αίματος είναι εξ' ίσου μικρός, ίσως με 1 μικρόλιτρο. Επιπλέον είναι και αυτός πολύ βολικός στη μεταφορά, καθώς οι διαστάσεις του δεν είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές του OneTouch Ultra, ενώ ούτε εδώ διατρέχεται ο κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών από επαφή.

Αν και μη απαραίτητη, λόγω της ενσωματωμένης δυνατότητας διαχείρισης των δεδομένων, παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης του μετρητή με υπολογιστή. Επιπλέον, και αυτός ο μετρητής δίνει τη δυνατότητα ελέγχου σε εναλλακτικά σημεία, λαμβάνοντάς το υπόψιν κατά τη διαδικασία της μέτρησης.

Τα προαναφερθέντα τεχνικά χαρακτηριστικά και η πολύ μεγάλη ευκολία χρήσης τόσο από μεγάλους όσο και από μικρούς, τον κατατάσσουν ως έναν από τους κορυφαίους μετρητές γλυκόζης αίματος της αγοράς.

2.2.7 SureStep & SureStep Plus ^{[016],[017],[018]}

Οι μετρητές SureStep και SureStep Plus (με το δεύτερο να είναι ελαφρώς πιο εξελιγμένος τεχνολογικά από τον πρώτο) είναι δύο απλοί στη χρήση μετρητές, χωρίς να διαθέτουν κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που να τους ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους. Διαθέτουν 150 μνήμες μετρήσεων, με δυνατότητα υπολογισμού μέσω όρων των μετρήσεων ανά 14 και 30 ημέρες, η διάρκεια εμφάνισης των αποτελεσμάτων κυμαίνεται από 15 έως 45 sec, ενώ γίνεται και εκτενής έλεγχος λαθών για την επιβεβαίωση της εγκυρότητας των μετρήσεων.



Οι ταινίες μέτρησης που χρησιμοποιούν διαθέτουν οπτική ένδειξη για την επιβεβαίωση της καταλληλότητας της ποσότητας της αναρροφούμενης σταγόνας, ενώ δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης αυτών. Οι ταινίες SureStep κάνουν την μετατροπή του αίματος σε ορό γλυκόζης και τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με αυτά μικροβιολογικού εργαστηρίου, όμως για την παραγωγή των αποτελεσμάτων απαιτείται μεγάλος όγκος αίματος.

2.2.8 SmartScan ^{[019],[020]}

Ο μετρητής SmartScan είναι απλά ένας μικρός και εύκολος στη χρήση μετρητής, μικρών διαστάσεων, ο οποίος δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο τεχνικό χαρακτηριστικό σε σχέση με τους υπόλοιπους μετρητές της LifeScan. Διαθέτει μνήμη 150 μετρήσεων και έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσου όρου ανά 14 ημέρες.



Οι ταινίες που χρησιμοποιεί απαιτούν σταγόνα αίματος 2,5 μικρόλιτρα, δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης αυτών, ενώ τα αποτελέσματα της μέτρησης εμφανίζονται σε 15 sec. Επιπλέον, οι ταινίες αυτές είναι ταινίες μέτρησης ορού γλυκόζης και όχι πλήρους αίματος. Τέλος, υποστηρίζεται η μεταφορά των δεδομένων σε υπολογιστή με χρήση ενός Προσαρμοστή LifeScan.

Τόσο οι ως άνω μετρητές της εταιρίας Johnson & Johnson όσο και οι μετρητές των άλλων εταιριών που ακολουθούν, παρατίθενται συγκεντρωτικά στον πίνακα 2.1 προς το τέλος του κεφαλαίου, όπου γίνεται μία σύντομη αλλά ουσιαστική αναφορά των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του κάθε μετρητή.

2.3 Roche Diagnostics

2.3.1 Accu-Chek Active [021],[022]

Ο μετρητής Accu-Chek Active είναι ένας από τους πιο εξελιγμένους μετρητές της Roche. Διαθέτει μνήμη 200 μετρήσεων και έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσω ορών ανά 7 και 14 ημέρες. Είναι από τους ταχύτερους μετρητές της αγοράς καθώς τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε 5-10 sec, ενώ και η απαίτηση σε όγκο αίματος είναι ελάχιστη, 1 μικρόλιτρο.



Είναι εγκεκριμένος για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, το οποίο τον καθιστά πρακτικά ανώδυνο, ιδίως σε συνδυασμό με τον απαιτούμενο όγκο αίματος, ενώ οι ταινίες μέτρησης που χρησιμοποιεί δε διατρέχουν τον κίνδυνο μόλυνσης και διαθέτουν οπτική επιβεβαίωση για την επάρκεια της εφαρμοζόμενης σταγόνας.

Ο μετρητής αυτός δε χρησιμοποιεί την κλασική ηλεκτροχημική τεχνολογία, αλλά φωτομετρική τεχνολογία. Αυτό σημαίνει πως η μέτρηση της γλυκόζης του αίματος γίνεται μέσω της αλλαγής του χρώματος στην ταινία μέτρησης, το οποίο είναι και αυτό που επιτρέπει την οπτική επιβεβαίωση.

Ο μετρητής μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή για επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Accu-Chek Compass, ενώ επίσης μπορεί να στείλει τα δεδομένα μέσω υπέρυθρης τεχνολογίας σε PDA με χρήση του λογισμικού Accu-Chek Pocket Compass.

2.3.2 Accu-Chek Advantage [023],[024]

Ο μετρητής Accu-Chek Advantage είναι ένας πολύ εύχρηστος, μικρών διαστάσεων μετρητής, χωρίς ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά. Διαθέτει μνήμη 100 μετρήσεων χωρίς να έχει όμως τη δυνατότητα υπολογισμού μέσω ορών.



Είναι σχετικά αργός μετρητής καθώς τα αποτελέσματα της μέτρησης εμφανίζονται σε 26 sec από τη μέτρηση, ενώ και ο απαιτούμενος όγκος αίματος δεν είναι αμελητέος, καθώς φτάνει τα 3,5 μικρόλιτρα.

Υποστηρίζεται η σύνδεση με υπολογιστή και η ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του λογισμικού Accu-Chek Compass, ενώ επιπλέον υποστηρίζεται και η χρήση του συστήματος Accu-Chek Voicemate, το οποίο παρέχει ακουστικές ενημερώσεις για όσους έχουν προβλήματα όρασης.

2.3.3 Accu-Chek Compact [025],[026]

Ο μετρητής Accu-Chek Compact της Roche μοιάζει αρκετά με τους μετρητές Glucomatic Esprit και Glucometer DEX της Bayer, καθώς στη συσκευή μπορεί να ενσωματωθεί ένα (αρκετά μικρότερων διαστάσεων, διαμέτρου και μήκους μίας ίντσας) καρούλι, το οποίο φέρει 17 ταινίες μέτρησης. Κάθε καρούλι είναι ξεχωριστά κωδικοποιημένο για αυτόματη βαθμονόμηση. Προφανώς, η ενσωμάτωση του καρουλιού και του μοτέρ για την περιστροφή αυτού, αυξάνει το βάρος και τις διαστάσεις του μετρητή. Επιπλέον, είναι αναπόφευκτη η παραγωγή θορύβου καθώς και η γρηγορότερη κατανάλωση των μπαταριών.



Διαθέτει μνήμη 100 μετρήσεων και έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσω όρων, ενώ τα αποτελέσματα της μέτρησης δίνονται σε 15 sec. Ο μετρητής είναι εγκεκριμένος για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, όμως ο απαιτούμενος όγκος αίματος είναι σημαντικός, – 3,5 μικρόλιτρα – όσος και για τον Accu-Chek Advantage.

Ο μετρητής μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή για επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων με τη βοήθεια του λογισμικού Accu-Chek Compass, ενώ επίσης μπορεί να στείλει τα δεδομένα μέσω υπέρυθρης τεχνολογίας σε PDA με χρήση του λογισμικού Accu-Chek Pocket Compass.

Όπως και ο μετρητής Accu-Chek Active έτσι και ο Accu-Chek Compact κάνει χρήση φωτομετρικής και όχι ηλεκτροχημικής τεχνολογίας, το οποίο σημαίνει ότι χρειάζεται περιοδικό καθάρισμα για την ακεραιότητα των αποτελεσμάτων. Τέλος, αν και το καρούλι με τις 17 ταινίες μέτρησης καθιστά το μετρητή πολύ βολικό και εύχρηστο, αυξάνει το κόστος χρήσης αυτού.

2.3.4 Accu-Chek Complete [027],[028]

Ο μετρητής Accu-Chek Complete είναι ο πιο εξελιγμένος τεχνολογικά μετρητής γλυκόζης της Roche όσο αφορά τη διαχείριση των δεδομένων των μετρήσεων, καθώς η δυνατότητα δυναχείρισης είναι ενσωματωμένη, όπως και στον μετρητή OneTouch UltraSmart της LifeScan.



Η συσκευή διαθέτει μνήμη 1000 μετρήσεων και υποστηρίζεται η δυνατότητα αποθήκευσης πληροφοριών σχετικά με τη γλυκόζη του αίματος, τη δοσολογία ινσουλίνης και άλλων στοιχείων όπως οι υδατάνθρακες και οι κετόνες. Είναι δυνατός ο υπολογισμός μέσω όρων αλλά και η

δημιουργία γραφικών παραστάσεων. Επιπλέον είναι δυνατή η σύνδεση με υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τη βοήθεια του λογισμικού Accu-Chek Compass.

Παρόλα αυτά, ο απαιτούμενος όγκος αίματος είναι συγκριτικά μεγάλος, ίσος με 3,5 μικρόλιτρα, η ταχύτητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων είναι μέτρια, γύρω στα 25-30 sec, ενώ τα εξελεγμένα τεχνικά χαρακτηριστικά έχουν ως κόστος τις σχετικά μεγάλες διαστάσεις της συσκευής.

2.3.5 Glucotrend 2 [\[029\],\[030\],\[031\]](#)

Ο μετρητής Glucotrend 2 δεν έχει να επιδείξει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό. Διαθέτει μνήμη 125 μετρήσεων, ο απαιτούμενος όγκος αίματος είναι 3 μικρόλιτρα και η ταχύτητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων είναι ικανοποιητική, στα 10 sec.



2.3.6 Glucotrend Premium [\[032\]](#)

Ο μετρητής Glucotrend Premium είναι ελαφρώς πιο εξελεγμένος τεχνολογικά από τον Glucotrend 2. Διαθέτει μνήμη 300 μετρήσεων, έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων, ενώ και ο απαιτούμενος όγκος αίματος είναι σχετικά μικρότερος, στα 2,5 μικρόλιτρα.



2.3.7 Accutrend Sensor [\[033\]](#)

Ο μετρητής αυτός θυμίζει αρκετά το μετρητή Accu-Chek Advantage. Διαθέτει και αυτός μνήμη 100 μετρήσεων, είναι όμως αισθητά πιο αργός, με τη διαδικασία παραγωγής των αποτελεσμάτων να διαρκεί 40 sec. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να φορτωθούν σε υπολογιστή για επεξεργασία και ανάλυση, με τη βοήθεια του λογισμικού Camit.



2.3.8 Άλλοι Μετρητές ^[034]

Επιπλέον, πέραν των ως άνω μετρητών, η Roche Diagnostics είχε στη γραμμή παραγωγής της και τους μετρητές:

- Accu-Chek Easy
- Accu-Chek Instant
- Accu-Chek Simplicity
- Accu-Chek III
- Tracer
- Tracer II



2.4 Bayer Diagnostics

2.4.1 Glucomatic Esprit 2 ^[035] & 2.4.2 Glucometer DEX 2 ^{[036],[037],[038],[039]}



Οι μετρητές Glucomatic Esprit 2 και Glucometer DEX 2 της Bayer, χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία, διαθέτοντας ένα ενσωματωμένο δισκοειδές εξάρτημα που φέρει 10 ταινίες μέτρησης, καθιστώντας τους αρκετά εύχρηστους και βολικούς στη μεταφορά. Η διαδικασία αναρρόφησης της σταγόνας αίματος και μέτρησης της γλυκόζης είναι μεν αυτοματοποιημένη, είναι όμως σχετικά αργή (γύρω στα 30 sec), ενώ απαιτείται και μεγάλη ποσότητα αίματος (3-4 μικρόλιτρα).

Οι μετρητές διαθέτουν μνήμη 100 μετρήσεων, έχουν την ικανότητα υπολογισμού ειδικών μέσων όρων τεσσάρων χρονικών περιόδων στη διάρκεια μιας μέρας, καθώς και μέσο όρο δεκαπενθήμερου, ενώ διαθέτουν και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή, για διαχείριση των δεδομένων των μετρήσεων μέσω του προγράμματος WinGlucofacts.

Πέραν της αυτοματοποιημένης διαδικασίας αναρρόφησης του αίματος από την ταινία δοκιμής και εισαγωγής της ταινίας δοκιμής εντός των μετρητών, εξίσου αυτοματοποιημένη είναι και η διαδικασία βαθμονόμησης και για τις 10 μετρήσεις. Μία σημαντική όμως διαφορά των δύο αυτών μετρητών σε σχέση με άλλους μετρητές της ίδιας κατηγορίας είναι ότι η βαθμονόμηση γίνεται σε ορό γλυκόζης, και όχι σε πλήρες αίμα. Λόγω του γεγονότος αυτού, σε εργαστηριακές δοκιμές, ο μετρητής Glucometer DEX 2 έδινε αποτελέσματα κατά μέσο όρο 11.5 % υψηλότερα από αυτά που έδινε ο μετρητής One Touch Profile της Johnson & Johnson.

Επιπλέον, οι μετρητές αυτοί είναι εγκεκριμένοι για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, το οποίο καθιστά τη μέτρηση λιγότερο επώδυνη, καθώς μπορεί να γίνει μέτρηση σε σημεία με λιγότερες νευρικές απολήξεις.

2.4.3 Glucometer Elite [040],[041],[042],[043]

Ο μετρητής Glucometer Elite της Bayer είναι από τους πιο απλούς και εύχρηστους μετρητές που κυκλοφορούν. Η συσκευή δεν έχει κουμπιά. Ενεργοποιείται με την τοποθέτηση της ταινίας στην υποδοχή του μετρητή. Στη συνέχεια, γίνεται αυτόματα η αναρρόφηση της σταγόνας του αίματος από την ταινία. Χρειάζεται πολύ μικρό δείγμα αίματος (2 μικρόλιτρα) για την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων, είναι όμως σχετικά αργός (30 sec).



Έχει ελεγχθεί για μέτρηση σε εναλλακτικά σημεία, όπως και οι δύο προηγούμενοι μετρητές της Bayer, καθιστώντας τη διαδικασία πρακτικά ανώδυνη. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά όμως αυτού είναι συγκριτικά περιορισμένα, καθώς διαθέτει μνήμη 20 μόνο μετρήσεων και δεν είναι δυνατή η σύνδεση αυτού με Η/Υ.

2.4.4 Glucometer Elite XL [044],[045],[046],[047]

Ο μετρητής Glucometer Elite XL είναι η βελτιωμένη έκδοση του ως άνω μετρητή Glucometer Elite, παρουσιάζοντας την ίδια απλότητα και ευκολία στη χρήση, αλλά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Έτσι, διαθέτει μνήμη 120 μετρήσεων με δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων 14 ημερών, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή, για διαχείριση των δεδομένων με τη βοήθεια του προγράμματος WinGlucofacts XL.



Προφανώς, όπως και ο μετρητής Glucometer Elite, έτσι και ο Glucometer Elite XL ενεργοποιείται με την τοποθέτηση της ταινίας στην υποδοχή του μετρητή, η αναρρόφηση της σταγόνας του αίματος από την ταινία γίνεται αυτόματα, ο απαιτούμενος όγκος αίματος είναι 2 μικρόλιτρα και ο απαιτούμενος χρόνος για τη μέτρηση είναι 30 sec. Επιπλέον, και αυτός ο μετρητής είναι ελεγμένος για μέτρηση σε εναλλακτικά σημεία.

2.5 Abbott – MediSense

2.5.1 Precision QID [\[048\]](#),[\[049\]](#),[\[050\]](#)

Ο μετρητής Precision QID της MediSense διαθέτει μνήμη 10 μετρήσεων αλλά όχι υπολογισμό μέσων όρων, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή μέσω του λογισμικού Precision Link. Είναι αρκετά βολικός στη μεταφορά, ώντας αρκετά μικρών διαστάσεων και ζυγίζοντας κάτι λιγότερο από 40 γραμμάρια.



Δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορος, καθώς τα αποτελέσματα των δοκιμών εμφανίζονται σε 20 sec., ενώ με μέγεθος δειγμάτων 3,5 μικρόλιτρα, ταξινομείται μεταξύ των μετρητών με σχετικά μεγάλο απαιτούμενο όγκο αίματος.

Λόγω του μοναδικού σχεδιασμού χάρη στον οποίο η περιοχή δοκιμής δεν είναι η ίδια με την περιοχή εφαρμογής δειγμάτων, δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών δοκιμής από επαφή, ενώ εάν το δείγμα αίματος δεν μοιάζει να είναι αρκετό, μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερο αίμα στην ίδια ταινία μέτρησης. Η σταγόνα αίματος μπορεί να εφαρμοστεί στην ταινία μέτρησης ενώ κρέμεται από το δάκτυλο.

2.5.2 Precision Xtra [\[051\]](#),[\[052\]](#),[\[053\]](#)

Ο μετρητής Precision Xtra της MediSense είναι ο πρώτος μετρητής που ελέγχει τόσο το σάκχαρο του αίματος όσο και τις κετόνες αίματος. Παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τον μετρητή Precision QID, αν και είναι ελαφρώς μεγαλύτερος σε όγκο και χρησιμοποιεί διαφορετικές ταινίες δοκιμής.



Όσο αφορά τώρα τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού, διαθέτει μνήμη 450 μετρήσεων, υπολογίζει μέσους όρους 7, 14 και 28 ημερών, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή, μέσω του λογισμικού Precision Link.

Όπως και ο μετρητής Precision QID, ο Precision Xtra δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορος, καθώς δίνει αποτελέσματα σε 20 sec από την εισαγωγή της ταινίας, ενώ το πρόβλημα του μεγάλου όγκου αίματος εξακολουθεί να υφίσταται. Η μέτρηση των κετονών απαιτεί ακόμα μεγαλύτερη σταγόνα αίματος, καθιστώντας το αρκετά επώδυνο για μικρά παιδιά, ενώ η εξαγωγή των αποτελεσμάτων γίνεται στα 30 sec.

Ο μετρητής Precision Xtra υιοθέτησε τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του Precision QID, και έτσι:

1. Δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών δοκιμής από επαφή λόγω του ότι η περιοχή δοκιμής δεν είναι η ίδια με την περιοχή εφαρμογής δειγμάτων, ενώ εάν το δείγμα αίματος δεν μοιάζει να είναι αρκετό, μπορεί να εφαρμοστεί περισσότερο αίμα στην ίδια ταινία μέτρησης.
2. Χρησιμοποιεί πρωτοποριακές ταινίες μέτρησης οι οποίες αναρροφούν το αίμα στο θάλαμο ελέγχου, ενώ η σταγόνα αίματος μπορεί να εφαρμοστεί στην ταινία μέτρησης ενώ κρέμεται από το δάκτυλο.
3. Στην οθόνη του μετρητή θα εμφανιστεί η ένδειξη “ΛΗΓΜΕΝΗ” (“EXPIRED”) εάν φορτωθεί ληγμένη ταινία δοκιμής.

2.5.3 Sof-Tact ^{[054],[055]}

Ο μετρητής Sof-Tact της MediSense επιτρέπει τη μέτρηση της γλυκόζης του αίματος από εναλλακτικά σημεία, όπως ο βραχίονας ή η βάση του αντίχειρα, με τη χρήση μίας μόνο συσκευής. Το Sof-Tact συνδυάζει τη συσκευή τρυπήματος και το μετρητή σε μία αυτοματοποιημένη συσκευή, καθιστώντας τον τον ογκοδέστερο και ακριβότερο μετρητή της αγοράς.



Ο μετρητής αυτός διαθέτει μνήμη 450 μετρήσεων, υπολογίζει μέσους όρους 7, 14 και 28 ημερών, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή, μέσω του λογισμικού Precision Link . Απαιτείται μέτριος όγκος αίματος , 2-3 μικρόλιτρα, η λήψη των οποίων όμως από το βραχίονα δεν είναι πάντα εύκολη, ενώ η όλη διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη.

Η δοκιμή είναι ουσιαστικά ανώδυνη, ενώ η διαδικασία τρυπήματος αφήνει την αίσθηση δημιουργίας κενού. Ο μετρητής δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορος, καθώς χρειάζεται 20 sec για να δώσει αποτελέσματα, ενώ οι μεγάλες του διαστάσεις τον καθιστούν άβολο για φορητό μετρητή.

Η αρχική οργάνωση της συσκευής είναι λίγο περίπλοκη, αλλά η χρήση του μετρητή είναι αρκετά απλή. Ενώ προορίζεται για τους ανθρώπους που θέλουν δοκιμή σε εναλλακτικές περιοχές, το αίμα μπορεί να ληφθεί από ένα άκρο δακτύλου και να εφαρμοστεί στην ταινία δοκιμής. Η συσκευή απαιτεί συχνό καθαρισμό, ενώ αφήνει σημάδια ή μικρούς μώλωπες στα σημεία διάτρησης.

Ο μετρητής Sof-Tact υστερεί σε σχέση με τους υπόλοιπους μετρητές της αγοράς τόσο στην απαιτούμενη ποσότητα αίματος όσο και στο κόστος, αλλά λόγω της πλήρως αυτοματοποιημένης διαδικασίας κρίνεται ιδανικός για άτομα περιορισμένης επιδεξιότητας, για άτομα με οπτική αναπηρία, ή για άτομα τα οποία εκφοβίζονται από τη διαδικασία της μέτρησης.

2.6 Home Diagnostics Incorporated

2.6.1 Prestige IQ [056],[057]

Ο μετρητής Prestige IQ της HDI είναι ένας αρκετά βολικός και γρήγορος μετρητής σακχάρου αίματος. Διαθέτει μνήμη 365 μετρήσεων έχει την ικανότητα υπολογισμού μέσων όρων 14 και 30 ημερών, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή, για διαχείριση των δεδομένων των μετρήσεων. Επιπλέον, οι ταινίες μέτρησης που χρησιμοποιεί δεν απαιτούν μεγάλο όγκο αίματος, ενώ παράλληλα λόγω του μικρού τους κόστους τον καθιστούν έναν από τους πιο οικονομικούς μετρητές της αγοράς.



Επιπλέον, κλινικά τεστ έδειξαν ότι ο μετρητής αυτός δίνει αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα σε ικανοποιητικά γρήγορο χρονικό διάστημα, ενώ είναι και απλός στη χρήση.

2.6.2 Prestige LX [058]

Ο μετρητής Prestige LX είναι ο δεύτερος μετρητής της HDI, ο οποίος είναι μεν το ίδιο βολικός και απλός στη χρήση όπως και ο Prestige IQ, είναι όμως τεχνολογικά κατώτερος από αυτόν. Διαθέτει μνήμη 365 μετρήσεων, αλλά δεν έχει την ικανότητα υπολογισμού μέσων όρων, ενώ δεν διαθέτει ούτε θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή. Βεβαίως είναι και αυτός το ίδιο οικονομικός, καθώς χρησιμοποιεί τις ίδιες ταινίες μέτρησης. Επιπλέον, τόσο η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του όσο και η ευκολία χρήσης του είναι κλινικά αποδεδειγμένα.



2.6.3 Diascan-S [059]

Ο μετρητής Diascan-S είναι ένας λειτουργικά πολύ περιορισμένος μετρητής της HDI, ο οποίος έχει μνήμη μόλις 10 μετρήσεων χωρίς τη δυνατότητα υπολογισμού μέσων όρων, ενώ είναι και εξαιρετικά αργός, καθώς τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε 90 sec. Διαθέτει όμως ένα πολύ ικανοποιητικό εύρος τιμών (10 έως 600).

2.7 TheraSense

2.7.1 FreeStyle Tracker [060],[061]

Ο FreeStyle Tracker δεν είναι απλά άλλος ένας μετρητής σακχάρου αίματος, αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης του διαβήτη. Έτσι, είναι το πρώτο σύστημα παρακολούθησης γλυκόζης βασισμένο σε PDA (Personal Digital Assistant), συνδυάζοντας εξεζητημένη ενσωματωμένη δυνατότητα διαχείρισης των δεδομένων των μετρήσεων και τα χαρακτηριστικά του πολύ καλού FreeStyle της TheraSense.



Είναι και αυτός σχεδιασμένος για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, με την απαιτούμενη σταγόνα αίματος να είναι στα 0,3 μικρόλιτρα, ενώ τόσο η ταχύτητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων της μέτρησης (15 sec), όσο και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων ταυτίζονται με τις αντίστοιχες του FreeStyle. Το σύστημα αυτό διαθέτει μνήμη 2500 μετρήσεων, ενώ διαθέτει και βάση δεδομένων για τα φαγητά, 2500 θέσεων (1700 αποθηκευμένες, 800 ελεύθερες).

Αποτελέσματα μετρήσεων που τυχόν έχουν παρθεί με άλλους μετρητές μπορούν να προστεθούν χειροκίνητα, ενώ επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής σχολίων και λοιπών πληροφοριών σε κάθε μέτρηση, όπως για παράδειγμα αν έχει προηγηθεί άσκηση, πληροφορίες σχετικά με χορηγηθείσα δόση ινσουλίνης, ή πληροφορίες σχετικά με την ακολουθούμενη ιατρική αγωγή.

Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα παραγωγής τριών διαφορετικών γραφικών παραστάσεων, στατιστική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και άλλων δεδομένων (γλυκόζης, ινσουλίνης και γευμάτων) καθώς και δυνατότητα φιλτραρίσματος των πληροφοριών για καλύτερη διαχείριση των δεδομένων. Τέλος, αν και όχι απαραίτητο, μπορεί να συνδεθεί μέσω σειριακής θύρας με προσωπικό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων, με τη βοήθεια του λογισμικού FreeStyle Connect Data Management.

Προφανώς όμως, η δυσκολία χρήσης είναι σχετικά μεγαλύτερη για όσους δεν είναι εξοικωμένοι με τη χρήση PDAs, ενώ λόγω των ως άνω τεχνικών χαρακτηριστικών, το μέγεθός του είναι μεγαλύτερο από αυτό των περισσότερων μετρητών και το κόστος αγοράς είναι αυξημένο, το κόστος χρήσης όμως είναι ίδιο με αυτό του FreeStyle, καθώς χρησιμοποιεί τις ίδιες ταινίες μέτρησης.

2.7.2 FreeStyle ^{[062],[063]}

Ο μετρητής FreeStyle της TheraSense, μαζί με τον FreeStyle Tracker της ίδιας εταιρίας, είναι οι δύο μετρητές που απαιτούν το μικρότερο όγκο αίματος για τη διεξαγωγή της μέτρησης σακχάρου στο αίμα, καθώς απαιτούν μόλις 0,3 μικρόλιτρα.



Λαμβάνοντας δε υπόψιν ότι και οι δύο σχεδιάστηκαν εξ αρχής για έλεγχο σε εναλλακτικά σημεία, ενδεχομένως να είναι οι δύο πιο ανώδυνοι μετρητές της αγοράς. Η ταχύτητα του FreeStyle είναι ικανοποιητική, καθώς δίνει αποτελέσματα σε 15 sec, ενώ διαθέτει μνήμη 250 μετρήσεων και έχει τη δυνατότητα υπολογισμού μέσου όρου ανά 14 ημέρες. Επιπλέον υποστηρίζεται η διαχείριση των δεδομένων σε προσωπικό υπολογιστή με χρήση του προγράμματος FreeStyle Connect.

Τέλος, τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι πολύ ακριβή, καθώς η παρεμβολή από άλλες ουσίες του αίματος όπως η βιταμίνη C είναι περιορισμένη στο ελάχιστο.

2.8 Amira Medical

At-Last ^[064]

Ο μετρητής At-Last της Amira Medical επιτρέπει τη μέτρηση της γλυκόζης του αίματος από εναλλακτικά σημεία, όπως ο βραχίονας. Λόγω όμως σχεδιασμού, εν αντιθέση με το μετρητή Sof-Tact της MediSense, η μέτρηση δεν μπορεί να γίνει και από τα δάκτυλα. Ο μετρητής αυτός είναι σχετικά γρήγορος (τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε 15 sec), αν και η διαδικασία αναρρόφησης της σταγόνας είναι αρκετά αργή (30 sec). Απαιτείται μέτρια ποσότητα αίματος (2 μικρόλιτρα), ενώ είναι συγκριτικά πιο πολύπλοκος στη χρήση. Διαθέτει μνήμη 10 μετρήσεων, υπολογίζει μέσο όρο 14 ημερών, ενώ διαθέτει και θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή.



Η διαδικασία διάτρησης είναι μεν ανώδυνη, όμως όπως και ο μετρητής Sof-Tact, αφήνει μικρά σημάδια στα σημεία διάτρησης. Επίσης, το γεγονός ότι απαιτεί ειδικές βελόνες διάτρησης, τον καθιστά αρκετά ακριβό, είναι όμως αρκετά βολικός στη μεταφορά, καθώς έχει ενσωματωμένα όλα τα απαραίτητα όργανα. Η Amira Medical έχει σταματήσει να παράγει το μετρητή At-Last.

2.9 Cascade Medical

CheckMate & CheckMate Plus ^[065]



Η συσκευή CheckMate Plus συνδυάζει μετρητή γλυκόζης αίματος και συσκευή διάτρησης του δέρματος σε μια μικρών διαστάσεων, ελαφριά και βολική για μεταφορά συσκευασία.

Παρά τις μικρές του διαστάσεις, διαθέτει πλούσια τεχνικά χαρακτηριστικά. Διαθέτει μνήμη 255 μετρήσεων με δυνατότητα υπολογισμού μέσου όρου, η βαθμονόμηση γίνεται αυτόματα, ενώ διαθέτει και τέσσερις συναγερμούς υπενθύμισης για νέα μέτρηση. Επιπλέον, διαθέτει σειριακή θύρα δεδομένων για σύνδεση με υπολογιστή.

Παρόλα αυτά, είναι από τους πιο αργούς μετρητές της αγοράς καθώς η εμφάνιση των αποτελεσμάτων διαρκεί 60 sec, ενώ ο οπλισμός της συσκευής διάτρησης απαιτεί πίεση 2 Kg, το οποίο ενδεχομένως να είναι πολύ άβολο για μικρά παιδιά.

2.10 ReliOn

ReliOn Monitor ^{[066],[067]}



Η συσκευή ReliOn Monitor δεν προσφέρει κανένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, αλλά αυτό που την κάνει ιδιαίτερα ελκυστική είναι το κόστος χρήσης αυτής και των ταινιών μέτρησης που χρησιμοποιεί. Διαθέτει μνήμη 10 μετρήσεων, χωρίς την ικανότητα υπολογισμού μέσων όρων, ενώ τα αποτελέσματα της μέτρησης εμφανίζονται στην οθόνη εντός 20 δευτερολέπτων. Επίσης, απαιτεί αρκετά μεγάλο όγκο αίματος (4 μικρόλιτρα), ενώ δεν έχει την ικανότητα σύνδεσης με υπολογιστή.

2.11 Λοιποί Μετρητές ^[059]

Πέραν των προαναφερθέντων μετρητών, η εταιρία Chronimed Inc. έχει κυκλοφορήσει το μετρητή Supreme BG Meter, ο οποίος όμως διαθέτει πολύ περιορισμένη κλίμακα μετρήσεων (40-400) και είναι πολύ αργός (55 sec.), η εταιρία Polymer Technology Incorporated το μετρητή Glucose Alert με μνήμη 100 μετρήσεων και ταχύτητα αποτελεσμάτων 50 sec, ενώ η εταιρία LNX Corporation παρήγαγε τους μετρητές Duet και InCharge, των οποίων όμως σταμάτησε την παραγωγή.

2.12 Μη επεμβατικοί μετρητές γλυκόζης

Όλα τα όργανα μέτρησης γλυκόζης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι όργανα που απαιτούν διάτρηση του δέρματος από ειδικές βελόνες για το σχηματισμό της σταγόνας του αίματος. Πέραν αυτών όμως, έχουν αναπτυχθεί και όργανα ελάχιστα ή ακόμα και μη επεμβατικά, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

2.12.1 Cygnus

GlucoWatch Biographer [\[068\]](#), [\[069\]](#), [\[070\]](#), [\[071\]](#)

Η συσκευή αυτή είναι η πρώτη από τις τρεις της κατηγορίας των ελάχιστα επεμβατικών συστημάτων παρακολούθησης γλυκόζης. Δεν ενδείκνυται – ακόμα τουλάχιστον – για αντικατάσταση των υπαρχόντων μετρητών, αλλά για ταυτόχρονη χρήση με αυτούς, ενώ η χρήση του συνίσταται μόνο σε ενήλικες.



Το Glucowatch φοριέται σαν κανονικό ρολόι χειρός και μπορεί να παρέχει μετρήσεις γλυκόζης αίματος ανά 20 λεπτά της ώρας επί 12 ώρες. Η συσκευή προσελκύει τη γλυκόζη έξω από το σώμα, όπου και τη μετράει. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζεται ανεπαίσθητο ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μεταξύ δύο πόλων της συσκευής. Τα μόρια της γλυκόζης, τα οποία δεν διαθέτουν ηλεκτρικό φορτίο, παρασύρονται από αυτήν την ιοντική ροή και φθάνουν στην κάθοδο, όπου και μετρώνται με την παραδοσιακή μέθοδο της οξειδάσης της γλυκόζης. Απαιτείται ειδικό αυτοκόλλητο ανά 12ωρο καθώς επίσης και μια μέτρηση ανά 12ωρο με τον παραδοσιακό τρόπο με σακχαρόμετρο, προκειμένου να "ρυθμιστεί" το GlucoWatch.

Το GlucoWatch έχει τη δυνατότητα συγγραφής ηλεκτρονικού ημερολογίου καταγραφής 400 προσδιορισμών της γλυκόζης του αίματος, ενώ διαθέτει συναγερμό για τις πολύ υψηλές ή τις χαμηλές τιμές γλυκόζης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να φορτωθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και να επεξεργαστούν με το λογισμικό GlucoWatch Analyzer.

Στα προβλήματα της λειτουργίας του συγκαταλλέγονται η εικοσάλεπτη καθυστέρηση στην ανάγνωση σε σχέση με τους κοινούς μετρητές, καθώς και το γεγονός ότι επηρεάζεται από μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας, την υπερβολική εφίδρωση, τον ηλεκτρικό θόρυβο, υψηλά ηλεκτρικά πεδία, βραχυκυκλώματα, που προκαλούν αναστολή μέχρι και 26% των προσδιορισμών. Οι ανεπιθύμητες ενέργειες περιλαμβάνουν ελαφρό ερεθισμό του δέρματος, οίδημα και ερύθημα. Οι τιμές μάλιστα μπορεί να αποκλίνουν έως και 30% από τις πραγματικές.

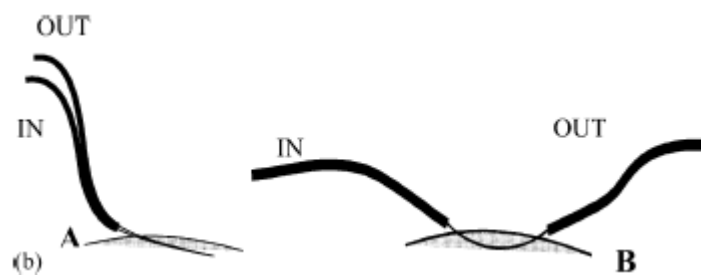
2.12.2 Gluco Day^[072]

Το δεύτερο όργανο της κατηγορίας αυτής, των μερικώς επεμβατικών συστημάτων, είναι το Gluco Day, η λειτουργία του οποίου θυμίζει αρκετά τη λειτουργία του GlucoWatch. Βεβαίως, η συσκευή αυτή είναι προγενέστερη του GlucoWatch καθώς έχει αναπτυχθεί εδώ και δύο χρόνια και είναι ικανή να μετράει τα υποδερμικά επίπεδα της γλυκόζης ανά 3 λεπτά. Τα όργανα της κατηγορίας των μερικώς εμφυτεύσιμων οργάνων έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία κάποιων ημερών και εν συνεχεία αντικατάστασή τους από τον ίδιο τον ασθενή.

Η συσκευή αυτή περιλαμβάνει μια ειδικά εξελιγμένη μικρο-περισταλτική αντλία, μια μικρογραφία κελιού – αποτελούμενο από ένα ηλεκτρόδιο από πλάτινα και ένα σύστημα μεμβράνης τριών στρωμάτων - το οποίο περικλείει τον βιοαισθητήρα γλυκόζης, ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα με ένα χαμηλής κατανάλωσης μικροεπεξεργαστή, καθώς και έναν αισθητήρα πίεσης ρευστών.

Πειραματικά αποτελέσματα έδωσαν γραμμική απόκριση έως τα 30 mM για in vivo συγκεντρώσεις γλυκόζης, η αναφερόμενη στη γλυκόζη αίματος ευαισθησία βρέθηκε καλύτερη από 0,1 mM, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε στα 0,9697. Τέλος, σε θερμοκρασία δωματίου, η σταθερότητα της μεμβράνης ήταν άριστη, το οποίο και εξασφαλίζει πολύ καλές επιδόσεις του συστήματος για χρονικό διάστημα ίσο με 6 μήνες από την πρώτη χρήση.

Ο τρόπος τοποθέτησης των αισθητηρίων οργάνων υποδερμικά, μπορεί να αναπαρασταθεί σχηματικά ως ακολούθως:



Σχήμα 2.1 Υποδερμική τοποθέτηση αισθητηρίων οργάνων

2.12.3 Sontra Medical

SonoPrep & Symphony Diabetes Management System ^[073]
















Το σύστημα Symphony Diabetes Management™ είναι το δεύτερο μη εμφυτεύσιμο – μη επεμβατικό σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της γλυκόζης του αίματος. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρία μέρη: την φορητή κονσόλα SonoPrep όπως αυτή απεικονίζεται στο αριστερό μέρος της φωτογραφίας, η οποία χρησιμοποιείται για να διαπερνάει το δέρμα, και από έναν αισθητήρα, ο οποίος όταν φορεθεί από τον ασθενή μπορεί να ανιχνεύει τα επίπεδα γλυκόζης και να μεταδίδει ασύρματα την πληροφορία στον μετρητή, με τα δύο αυτά όργανα να απεικονίζονται στο δεξιό μέρος της φωτογραφίας.






Η συσκευή SonoPrep δε χρησιμοποιείται μόνο για την 24ωρη παρακολούθηση του διαβήτη αλλά σε όσες ιατρικές ή φαρμακευτικές εφαρμογές χρειάζεται να διαπερασθεί το δέρμα με μη επεμβατικό τρόπο. Για αυτό το σκοπό γίνεται χρήση υπερήχων μικρής διάρκειας (ίσης με 15 sec) συχνότητας 55 KHz, οι οποίοι δημιουργούν κανάλια για το πέρασμα αναλυτών και λοιπών μορίων, με την αποδιοργάνωση των λιποειδών στρωμάτων.

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο του σώματος, αφού προηγουμένως στο ίδιο σημείο έχει γίνει χρήση της συσκευής SonoPrep προκειμένου να διαπερασθεί το δέρμα. Ο αισθητήρας αυτός περιέχει ένα μέσο ωσμωτικής εξαγωγής - το οποίο δεν προκαλεί ερεθισμό του δέρματος - για τη συνεχή εξαγωγή υγρών και την αναρρόφηση των αναλυτών εντός του αισθητήρα. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια μαθηματικών αλγορίθμων, γίνεται ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε γλυκόζη.

Μετά από δύο φάσεις κλινικών δοκιμών σε ανθρώπους για την ανάλυση της γλυκόζης του αίματος, επαληθεύτηκε η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της γλυκόζης, καθώς η συσκευή SonoPrep μπορούσε να διαπεράσει το δέρμα για έως 24 ώρες. Ο «πράκτορας ωσμωτικής εξαγωγής» ο οποίος εφαρμόστηκε στο δέρμα διευκόλυνε τη διάχυση της γλυκόζης διαμέσου του δέρματος, το οποίο επέτρεψε τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της γλυκόζης κάθε 3,8 sec.

Εταιρία	Μετρητής	Σύνδεση με H/Y & Πρόγραμμα	Λειτουργίες Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα	Φωτό
Bayer	Glucomatic Esprit	WinGlucofacts & WinGlucopro	Σταγόνα 3 μl Μνήμη 100 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία	
Bayer	Glucometer Elite	Όχι	Σταγόνα 2 μl Μνήμη 20 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία	
Bayer	Glucometer Elite XL	WinGlucofacts XL	Σταγόνα 2 μl Μνήμη 120 μετρήσεων Εξαιρετικό για παιδιά	
Bayer	Glucometer DEX	WinGlucofacts	Σταγόνα 3 μl Μνήμη 100 μετρήσεων Μεγάλη ευκολία χρήσης	
Abbott - MediSense	Precision Xtra	Precision Link	Μέτρηση σακχάρου & κετονών Μνήμη 450 μετρήσεων Δεν ∃ κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών	
Abbott - MediSense	Precision QID & Precision QID Pen	Precision Link	Μνήμη 10 μετρήσεων Δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών	
Abbott - MediSense	Precision Sof-Tact	Precision Link	Μνήμη 450 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Μικρή δυσκολία χρήσης (-) Πολύ μεγάλος & ακριβός	
Roche - Accu-Chek	Accu-Chek – Active System	Accu-Chek Compass Software &	Σταγόνα 1 μl / Πολύ γρήγορο (5 sec) Μνήμη 200 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Δεν ∃ κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών	
Roche - Accu-Chek	Accu-Chek – Advantage System	Accu-Chek Pocket Compass Software &	Μνήμη 100 μετρήσεων Δεν ∃ κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών Μεγάλη ευκολία χρήσης	
Roche - Accu-Chek	Accu-Chek – Compact System	Diabetes Assistant Program &	Σταγόνα 3,5 μl Μνήμη 100 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Ενσωματωμένες ταινίες	
Roche - Accu-Chek	Accu-Chek – Complete System	Acculink Modem	Μνήμη 1000 μετρήσεων Δεν ∃ κίνδυνος μόλυνσης των ταινιών Ενσωματωμένη διαχείριση δεδομένων	
Roche - Accu-Chek	Accu-Chek Easy	Όχι	Αποσύρεται	
	Accu-Chek Instant		Αποσύρεται	
	Accu-Chek Simplicity		Αποσύρεται	
	Accu-Chek III		Αποσύρεται	
	Tracer		Αποσύρεται	
Roche	Accutrend Sensor	Camit	Μεγάλη ποσότητα αίματος (5 μl) Μνήμη 100 μετρήσεων Αργό (40 sec)	
Roche	Glucotrend 2	Όχι	Σταγόνα 3 μl Μνήμη 125 μετρήσεων Αποτελέσματα σε 10 sec	
Roche	Glucotrend Premium	Camit	Σταγόνα 2.5 μl Μνήμη 300 μετρήσεων	

Johnson & Johnson Lifescan	One Touch Ultra	InTouch	Σταγόνα 1 μl Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Πολύ γρήγορο (5 sec) Μνήμη 150 μετρήσεων Μεγάλη ευκολία χρήσης (παιδιά)	
Johnson & Johnson Lifescan	One Touch Ultra Smart	Ναι (Επόμενη έκδοση) (λογισμικού)	Σταγόνα 1 μl Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Πολύ γρήγορο (5 sec) Μνήμη 3000 μετρήσεων Ενσωματωμένη διαχείριση δεδομένων Μεγάλη ευκολία χρήσης (παιδιά)	
Johnson & Johnson Lifescan	One Touch Basic & One Touch Basic Plus	OneTouch Diabetes Management Software	Μνήμη 75 μετρήσεων Εντοπισμός πιθανών λαθών Αρκετά αργό Όχι βολικό για παιδιά	
Johnson & Johnson Lifescan	One Touch Profile	OneTouch Diabetes Management Software	Μνήμη 250 μετρήσεων & M.O Εντοπισμός πιθανών λαθών Σχετικά αργό Μεγαλύτερη ποσότητα αίματος	
Johnson & Johnson Lifescan	SureStep & SureStep Plus	OneTouch Diabetes Management Software	Μνήμη 150 μετρήσεων & M.O Παρέχει μικροβιολογικά αποτελέσματα Εντοπισμός πιθανών λαθών Όχι βολικό για παιδιά	
Johnson & Johnson Lifescan	FastTake	OneTouch Diabetes Management Software	Σταγόνα 1,5 μl Μνήμη 150 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Αρκετά γρήγορο (15 sec)	
Johnson & Johnson Lifescan	SmartScan	Diabetes Management Software	Σταγόνα 2,5 μl Μνήμη 150 μετρήσεων Αρκετά γρήγορος	
Johnson & Johnson Lifescan	InDuo	InTouch	Glucose meter & Insulin doser Σταγόνα 1 μl Μνήμη 150 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Πολύ γρήγορο – πολύ εύχρηστο	
Therasense	Freestyle	FreeStyle Connect Data Management Software	Σταγόνα 0.3 μl Αρκετά γρήγορο (15 sec) Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία	
Therasense	Tracker	FreeStyle Connect Data Management Software	Σταγόνα 0.3 μl Μνήμη 2500 μετρήσεων Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία Ενσωματωμένη διαχείριση δεδομένων Μικρή δυσκολία χρήσης (-)	
Cascade Medical	Checkmate & Checkmate Plus	Ναι (Data Port)	Μνήμη 255 μετρήσεων Πολύ αργό (60 sec) Όχι βολικό για παιδιά	
Home Diagnostics Incorporated	Prestige IQ	Ναι (Data Port)	Μνήμη 365 μετρήσεων Αρκετά οικονομικό Αρκετά γρήγορο & βολικό	
Home Diagnostics Incorporated	Prestige LX	Όχι	Μνήμη 365 μετρήσεων Αρκετά οικονομικό Περιορισμένη λειτουργικότητα	
Home Diagnostics Incorporated	Diascan-S	Όχι	Μνήμη 10 μετρήσεων Πολύ αργό (90 sec)	-----

Amira	AtLast	Ναι (Data Port)	Σχετική δυσκολία χρήσης, κυρίως για παιδιά Έλεγχος σε εναλλακτικά σημεία αλλά αφήνει σημάδια Ακριβότερα «αναλλώσιμα»	
ReliOn	ReliOn Monitor	Όχι	Σταγόνα 4 μl Μνήμη 10 μετρήσεων Το πιο φθηνό στην αγορά	
LNX Corp.	Duet	Όχι	Αποσύρεται	----
LNX Corp.	InCharge	Όχι	Αποσύρεται	----
Polymer Technology Incorporated	Glucose Alert	Όχι	Μνήμη 100 μετρήσεων Περιορισμένη κλίμακα μετρήσεων Αρκετά αργό (55 sec)	----
Chronimed	Supreme BG Meter	----	Περιορισμένη κλίμακα μετρήσεων Αρκετά αργό (55 sec)	----
Non-Invasive Blood Glucose Meters				
Cygnus	Glucowatch Biographer	GlucoWatch Analyzer	Σύγχρονη χρήση με μετρητές – Όχι αντικατάσταση αυτών. Μόνο για ενήλικες. Μέτρηση ανά 20 λεπτά επί 12 ώρες. Καθυστερεί 20 λεπτά στην ανάγνωση Επιρρεάζεται από μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας, την υπερβολική εφίδρωση, τον ηλεκτρικό θόρυβο, υψηλά ηλεκτρικά πεδία, βραχυκυκλώματα, που προκαλούν αναστολή μέχρι και 26% των προσδιορισμών. Ελαφρύς ερεθισμός του δέρματος. Απόκλιση έως και 30 %.	
Sontra Medical	SonoPrep - Symphony Diabetes Management System		Υπέρηχοι χαμηλής συχνότητας αφαιρούν ανώδυνα μικροσκοπικό κομμάτι της επιδερμίδας καθιστώντας το με αυτό τον τρόπο διαπερατό από τη γλυκόζη. Το σύστημα αποτελείται από τη συσκευή διείσδυσης (Hand Piece) και από έναν αισθητήρα (sensor-patch) το οποίο μπορεί να ανιχνεύει τα επίπεδα γλυκόζης και να τα μεταδίδει ασύρματα στο μετρητή (Meter). Πειραματικά αποτελέσματα: Υπολογισμός συγκέντρωσης γλυκόζης κάθε 3.8 sec.	
Cell Robotics International	Lasette Plus	Όχι	Χρήση ακτινών λέιζερ μήκους κύματος 2.94 μm (Erbium YAG) για την ανώδυνη διείσδυση του δέρματος και την αφαίρεση μικρής σταγόνας αίματος. Δεν αντικαθιστά το μετρητή, απλά τις βελόνες τρυπήματος.	

Πίνακας 2.1 Νεότεροι μετρητές σακχάρου αίματος

2.13 Έλεγχος σε Εναλλακτικά Σημεία – Πανάκεια ή...

Η μέτρηση του σακχάρου αίματος γινόταν κατεξοχήν από τα δάχτυλα του χεριού, διαδικασία η οποία όσο μικρή και αν είναι η απαιτούμενη ποσότητα αίματος, είναι για πολλούς αρκετά επώδυνη. Κάποια νεότερα συστήματα μέτρησης γλυκόζης υποστηρίζουν τη λήψη αίματος από εναλλακτικά σημεία στα οποία καταλήγουν λιγότερες νευρικές απολήξεις, όπως είναι το αντιβράχιο, ο βραχίονας, και οι μυς του θέναρος, προσφέροντας στους ασθενείς τη δυνατότητα λιγότερο επώδυνης μέτρησης.

Ένα ζήτημα που τίθεται είναι το κατά πόσον οι μετρήσεις από το δάκτυλο και από εναλλακτικά σημεία συμβαδίζουν. Οι μελέτες δείχνουν ότι τα επίπεδα γλυκόζης αίματος είναι παρόμοια μεταξύ των δακτύλων και των υπολοίπων σημείων του σώματος σε κατάσταση ηρεμίας. Όταν όμως χορηγείται ένα φορτίο γλυκόζης, φαίνεται ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των παραπάνω αναφερθέντων σημείων, η οποία οφείλεται στις διαφορές που παρουσιάζουν οι περιοχές αυτές στην αιμάτωση.

Για το σκοπό αυτό διεξήχθη μία μελέτη, στην οποία έλαβαν μέρος συνολικά 190 ασθενείς (30% των οποίων είχαν διαβήτη τύπου 1 και το υπόλοιπο 70% διαβήτη τύπου 2) και οι οποίοι μετρούσαν τα ποσοστά γλυκόζης στο αίμα τους τόσο από το δάκτυλο όσο και από το βραχίονα δέκα φορές τη μέρα για χρονικό διάστημα 10 ημερών με το σύστημα TheraSense FreeStyle ^[074]. Ο όγκος των δεδομένων χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες: πριν το γεύμα, 1 ώρα μετά το γεύμα, 2 ώρες μετά το γεύμα και πριν τον ύπνο. Τα πειραματικά αποτελέσματα της δεύτερης κατηγορίας (1 ώρα μετά το γεύμα) έδειξαν ότι οι ασθενείς που μετρούν τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα τους εκείνη τη χρονική περίοδο θα πρέπει να αναμένουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων από το δάκτυλο και αυτών από το βραχίονα. Όμως μόνο τα πρώτα προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα πραγματικά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα και έτσι η μέτρηση εκείνες τις ώρες πρέπει να γίνεται μόνο από το δάκτυλο.

Αντιθέτως, οι μετρήσεις στο θέναρ αποδεικνύονται βάση μελετών μία καλή εναλλακτική έναντι των μετρήσεων από το δάκτυλο ^[075]. Έτσι, διεξήχθη μία μελέτη η οποία συνέκρινε τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το δάκτυλο και το θέναρ κατά τη διάρκεια αυξομειώσεων των επιπέδων γλυκόζης, αρκετά γρήγορων ώστε να επιφέρουν αλλαγές στα επίπεδα γλυκόζης μεταξύ του βραχίονα και του δακτύλου. Οι αυξομειώσεις αυτές της συγκέντρωσης της γλυκόζης προήλθαν από εισαγωγή γλυκόζης στοματικά και με ενδοφλέβιες ενέσεις ινσουλίνης αντίστοιχα. Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση διαφόρων οργάνων (Freestyle, SostSense, OneTouch Ultra) και από τα δείγματα που πάρθηκαν από τις τρεις περιοχές (δάκτυλο, θέναρ και βραχίονα) διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει μια ασφαλή εναλλακτική λύση τόσο σε περιπτώσεις σταθερής συγκέντρωσης γλυκόζης στο αίμα, όσο και ταχέως μεταβαλλόμενης.

2.14 Αναφορές

- [001]: <http://www.lifescan.com/products/meters/fasttake.html>
- [002]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_235.htm
- [003]: <http://www.lifescan.com/products/meters/induo.html>
- [004]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_291.htm
- [005]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/otbasic.html>
- [006]: <http://www.lifescan.com/products/meters/basic.html>
- [007]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_160.htm
- [008]: <http://www.lifescan.com/products/meters/profile.html>
- [009]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/otprofile.html>
- [010]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_180.htm
- [011]: <http://www.lifescan.com/products/meters/ultra.html>
- [012]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/ultra.html>
- [013]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_290.htm
- [014]: <http://www.lifescan.com/products/meters/ultrasmart.html>
- [015]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_292.htm
- [016]: <http://www.lifescan.com/products/meters/surestep.html>
- [017]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/ssplus.html>
- [018]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_200.htm
- [019]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/smartsan.html>
- [020]: <http://www.lifescan.com/hellas/products/smarts.html>
- [021]: <http://www.accu-chek.com/products/main.cfm?pid=1010>
- [022]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_105.htm
- [023]: <http://www.accu-chek.com/products/main.cfm?pid=1020>
- [024]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_100.htm
- [025]: <http://www.accu-chek.com/products/main.cfm?pid=1030>
- [026]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_106.htm

- [027]: <http://www.accu-chek.com/products/main.cfm?pid=1040>
- [028]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_240.htm
- [029]: <http://www.rochediagnostics.fr/filtres/diabetic/m-glu033a.htm>
- [030]: <http://www.rochediagnostics.fr/produits/diabete/protect/p-kit2.htm>
- [031]: <http://www.rochediagnostics.fr/produits/diabete/protect/p-glu033.htm>
- [032]: <http://www.rochediagnostics.fr/produits/diabete/protect/p-glu022.htm>
- [033]: http://www.diabetes.co.za/products/accutrend_sensor.htm
- [034]: <http://www.accu-chek.com/products/main.cfm?pid=1060>
- [035]: http://www.diagnostics.bayer.gr/products.asp?cat_id=12&product_id=44
- [036]: <http://www.glucometerdex.com>
- [037]: <http://www.bayerdiag.com/products/pages/self/glucometerdex.html>
- [038]: <http://www.bayercarediabetes.com/prodserv/products/glucDEX2/index.asp>
- [039]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_230.htm
- [040]: http://www.diagnostics.bayer.gr/products.asp?cat_id=12&product_id=42
- [041]: <http://www.bayerdiag.com/products/pages/self/glucometerelite.html>
- [042]: <http://www.bayercarediabetes.com/prodserv/products/glucElite/index.asp>
- [043]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_140.htm
- [044]: <http://www.glucometerelitexl.com>
- [045]: <http://www.bayercarediabetes.com/prodserv/products/glucEliteXL/index.asp>
- [046]: <http://www.bayerdiag.com/products/pages/self/glucometerelitexl.html>
- [047]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_141.htm
- [048]: <http://www.medisense.at/precision.htm>
- [049]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_190.htm
- [050]: <http://www.glucerna-precision.com/servlet/nutrio?page=223&cat=0>
- [051]: <http://www.medisense.at/xtra.htm>
- [052]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_191.htm
- [053]: <http://www.glucerna-precision.com/servlet/nutrio?page=224&cat=0>
- [054]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_192.htm

- [055]: <http://www.glucerna-precision.com/servlet/nutrio?page=221&cat=0>
- [056]: <http://www.homediagnosticsinc.com/products-2.asp>
- [057]: <http://www.homediagnosticsinc.com/products-studies.asp>
- [058]: <http://www.homediagnosticsinc.com/products-3.asp>
- [059]: <http://www.childrenwithdiabetes.com/> - Products Database
- [060]: <http://www.therasense.com/tracker/index.htm>
- [061]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_281.htm
- [062]: <http://www.therasense.com/freestyle/index.htm>
- [063]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_280.htm
- [064]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_260.htm
- [065]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_220.htm
- [066]: <http://www.wsff.com/reion/index.html>
- [067]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_0i_300.htm
- [068]: <http://www.glucowatch.com/uk/default.html>
- [069]: http://www.childrenwithdiabetes.com/d_06_e30.htm
- [070]: http://www.iatronet.gr/HTMLpages/Nea/nea_mas12.html
- [071]: M.J. Tierney , J.A. Tamada , R.O. Potts , L. Jovanovic , S. Garg , Cygnus Research Team. Clinical evaluation of the GlucoWatch® biographer: a continual, non-invasive glucose monitor for patients with diabetes. Biosensors & Bioelectronics 16 (2001) 621–629
- [072]: A. Poscia , M. Mascini , D. Moscone , M. Luzzana , G. Caramenti , P. Cremonesi , F. Valgimigli , C. Bongiovanni , M. Varalli. A microdialysis technique for continuous subcutaneous glucose monitoring in diabetic patients. Biosensors and Bioelectronics 00 (2002) 1_8
- [073]: <http://www.sontra.com/>

[074]: Debra M. Lee , Sandra E. Weinert , Earl E. Miller. A study of forearm versus finger stick glucose monitoring. Diabetes Technology & Therapeutics Volume 4, Issue 1, 2002, Pages 13-23; discussion 45-47

[075]: K. Jungheim , T. Koschinsky. Glucose monitoring at the thenar: evaluation of upper dermal blood glucose kinetics during rapid systemic blood glucose changes. Hormone And Metabolic Research. Hormon-Und Stoffwechselforschung. Hormones Et Metabolisme Volume 34, Issue 6, June 2002, Pages 325-329

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ & ΜΙΚΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΙΜΑΤΟΣ

3.1 Εισαγωγή

Στη σύγχρονη ιατρική, παρουσιάζεται συχνά η ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση πλήθους χημικών ειδών. Ανάμεσα σε αυτά, τα πιο σημαντικά εξακολουθούν να είναι οι παράμετροι του αίματος pH και pO_2 . Παρουσιάζεται παρόλα αυτά συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για την on-line ανάλυση ηλεκτρολυτών του αίματος όπως τα K, Na και Ca καθώς και προϊόντων μεταβολισμού του αίματος όπως η γλυκόζη και τα άλατα του γαλακτικού οξέος.

Από τα διάφορα προϊόντα μεταβολισμού, η συγκέντρωση της γλυκόζης είναι αναμφισβήτητα το πιο σημαντικό, καθώς όπως έχει προαναφερθεί η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων αυτής μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του ρίσκου υπογλυκαιμικών περιόδων ^[01] (Reach and Wilson, 1992). Εξίσου σημαντική παράμετρος όμως, κυρίως σε μονάδες εντατικής θεραπείας και κατά τη διάρκεια εγχειρήσεων είναι και τα άλατα του γαλακτικού οξέος, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποδείξουν την παροχή οξυγόνου στον ασθενή, ενώ η συνεχής παρακολούθησή των μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του μεταβολικού στρες.

Οι διαφορετικές παράμετροι πρέπει να μετρούνται την ίδια χρονική στιγμή ενώ η κατανάλωση των αναλυτών όπως είναι το αίμα του ασθενούς πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο. Γίνεται εμφανής λοιπόν η ανάγκη κατασκευής συστημάτων πολύ μικρών διαστάσεων με ενσωματωμένους μικροαισθητήρες. Η χρήση τεχνικών μικρομηχανικών κατασκευών δίνει τη δυνατότητα μείωσης του απαιτούμενου όγκου αίματος, διεξαγωγής ανάλυσης πολλών παραμέτρων - συστατικών ταυτόχρονα, ενώ σε συνδυασμό με την παράλληλη μείωση του κόστους καθιστά δυνατή τη μαζική παραγωγή τέτοιων συστημάτων.

Η προσπάθεια ανάπτυξης αισθητήρων γλυκόζης που να λειτουργούν in vivo δεν είναι καινούργια· αντιθέτως μετράει δύο δεκαετίες έως τώρα ^[02]. Συγκεκριμένα, από τότε που οι Clark και Lyson (μόλις το 1962) εισήγαγαν την αρχική ιδέα για παρατήρηση των επιπέδων της γλυκόζης στον ανθρώπινο οργανισμό, έχει εξερευνηθεί μια μεγάλη πληθώρα προσεγγίσεων στην ανάπτυξη αισθητήρων γλυκόζης ^[03]. Έχουν περιγραφεί διάφοροι ενζυματικοί ηλεκτροχημικοί αισθητήρες οι οποίοι παρουσιάζουν λειτουργική ευστάθεια για περισσότερα από 2 χρόνια in vitro· παρόλα αυτά η λειτουργικότητά τους in vivo είναι περιορισμένη λόγω διάφορων βιο-ασυμβατοτήτων, οι οποίες εκφράζονται συνήθως ως φλεγμονή του περιβάλλοντος ιστού ή αντίδραση του ανοσοποιητικού ^[02].

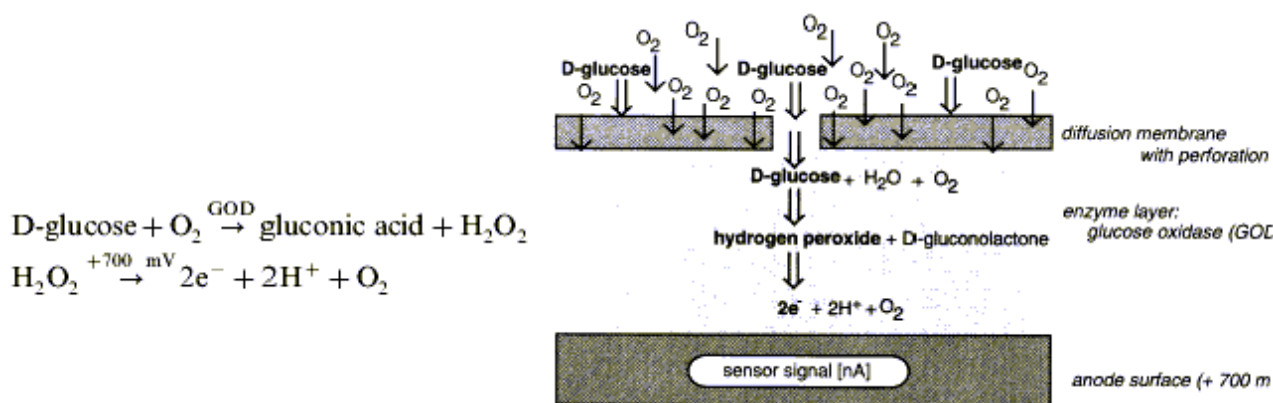
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα μικροσυστήματα και αισθητήρες που έχουν προταθεί την τελευταία πενταετία (από το 1998 έως σήμερα), καθώς και πιθανοί τρόποι (ασύρματης φυσικά) επικοινωνίας των μικροσυστημάτων αυτών με π.χ. κινητά τηλέφωνα (Παράγραφοι 3.7 & 3.8)

3.2 Κατηγοριοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών

Οι προσεγγίσεις κατασκευής τέτοιων συστημάτων για συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων της γλυκόζης μπορούν να ενταχθούν σε δύο κατηγορίες: είτε ο αισθητήρας σχεδιάζεται για άμεση εισαγωγή στο σώμα του ασθενούς, είτε συνδέεται σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο probe δειγματοληψίας για άντληση των ουσιών και ανάλυση έξω από το σώμα [04].

Στη δεύτερη περίπτωση, το probe δειγματοληψίας συνήθως αποτελείται από μία μεμβράνη μη διαπερατή από ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος, όπως είναι οι πρωτεΐνες, η οποία ωστόσο επιτρέπει τη μετακίνηση - άντληση ουσιών με μικρό μοριακό βάρος από το περιβάλλον μέσο (αίμα ή ιστούς) προς το υγρό που ρέει εντός της μεμβράνης (υγρό διάχυσης). Επειδή μάλιστα η μεμβράνη αποκλείει κύτταρα και μεγάλα μόρια αποκτιέται μία καθαρή μήτρα για τη μέτρηση με το βιοαισθητήρα. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο παρακάμπτονται και οι αυστηροί περιορισμοί που αφορούν τη στείρωση και τη διαρροή συστατικών του βιοαισθητήρα στο σώμα [05]. Μεμβράνες μικροδιάλυσης συνδεόμενες με βιοαισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη συνεχή παρακολούθηση ενός ή και περισσοτέρων αναλυτών, τόσο in vitro όσο και in vivo και τα πειραματικά αποτελέσματα υπέδειξαν την καταλληλότητα της τεχνικής μικροδιάλυσης για συνεχή δειγματοληψία αναλυτών· το κύριο μάλιστα πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι μπορούν να αποφευχθούν προβλήματα τα οποία συνδέονται με τη βιοσυμβατότητα του αισθητήρα [04].

Η πλειοψηφία παρόλα αυτά των συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση της γλυκόζης βασίζονται στην αρχή των εμφυτεύσιμων αμπερομετρικών ενζυμικών βιοαισθητήρων. Σε αυτού του τύπου τους βιοαισθητήρες η γλυκόζη οξειδώνεται εν τη παρουσία του ενζύμου GOD που δρα ως καταλύτης, και το υπεροξειδίο του υδρογόνου που προκύπτει από τη αντίδραση αυτή (H_2O_2) οξειδώνεται ηλεκτροχημικά σε μία τάση πόλωσης +700 mV, από ένα τροποποιημένο πολαρογραφικό ηλεκτρόδιο [02]. Οι δύο αντιδράσεις οξειδωσης που περιγράφονται παραπάνω δίνονται γραφικά και σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 3.1 Αρχή Αμπερομετρικών Ενζυμικών Βιοαισθητήρων

Είναι έκδηλο βέβαια το ενδιαφέρον κατασκευής βιοαισθητήρων γλυκόζης πρώτης γενιάς, αισθητήρων δηλαδή που θα μετρούν τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα με ποσοτικοποίηση του H_2O_2 . Δυστυχώς, η ηλεκτρική υπέρταση η αναγκαία για τον καθορισμό του υπεροξειδίου του υδρογόνου στα στέρεα ηλεκτρόδια είναι απαγορευτικά υψηλή· αυτό γιατί αναγωγικά μέσα όπως είναι το ασκορβικό οξύ και το ουρικό οξύ, τα οποία είναι παρόντα στα πραγματικά δείγματα παρεμβάλουν στην ποσοτικοποίηση του H_2O_2 και εισάγουν απροσδιοριστίες ^[03].

3.3 Στοιχεία βιοαισθητήρων

Εν γένει, ένας βιοαισθητήρας αποτελείται από δύο στοιχεία, το βιο-επιλογέα και το μετατροπέα. Ο επιλογέας αναγνωρίζει τον αναλυτή που μας ενδιαφέρει και αντιδρά, ενώ ο μετατροπέας καταγράφει τη βιοχημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα ^[05]. Κατά προτίμηση, πρέπει τα δύο αυτά στοιχεία να είναι τοποθετημένα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και για αυτό το λόγο τα ένζυμα ακινητοποιούνται συνήθως στο υπό λειτουργία ηλεκτρόδιο.

3.4 Χαρακτηριστικά & προδιαγραφές βιοαισθητήρων

Οι εμφυτεύσιμοι βιοαισθητήρες, ή ακόμα και αυτοί που λειτουργούν σε άμεσα συνδεδεμένα (online) συστήματα για τη συνεχή παρακολούθηση σημαντικών φυσιολογικών – βιολογικών ειδών (αναλυτών του αίματος, ηλεκτρολυτών ή ακόμα και παραμέτρων όπως το pH) πρέπει να διαθέτουν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και να τηρούν κάποιες βασικές προδιαγραφές· πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία καθώς και μακροχρόνια σταθερότητα, να είναι απαλλαγμένοι από τυχόν παρεμβολές και να έχουν ταχεία απόκριση και μικρή υστέρηση, η οποία τυχόν να προκαλείται από μεταβολές στις συγκεντρώσεις του υποστρώματος ^[06].

Όσον αφορά τώρα τους αμπερομετρικούς ενζυμικούς βιοαισθητήρες, αυτοί πρέπει να πληρούν πιο αυστηρές και λεπτομερείς προδιαγραφές ^[06]. Πρέπει για παράδειγμα οι διαστάσεις του σώματος του αισθητήρα να είναι κατάλληλα ελαχιστοποιημένες και στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει τα γυμνά ηλεκτρόδια να προστατεύονται από μερικές 'έξυπνες' μεμβράνες, το πάχος και η πυκνότητα των οποίων πρέπει να είναι βελτιστοποιημένα ώστε να επιτυγχάνονται η απαιτούμενη σταθερότητα και τα επιθυμητά επίπεδα ρεύματος. Ακόμα, θα πρέπει οι μεμβράνες αυτές να είναι βιοσυμβατές και να απορρίπτουν παρεμβολές από ηλεκτροενεργά είδη στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Επιπλέον, στα συστήματα ανάλυσης πολλών συστατικών, θα πρέπει να αποφεύγεται η παρεμβολή μεταξύ των διαφόρων αισθητήρων, η οποία είναι αποτέλεσμα της εκπομπής ενζυματικών προϊόντων αντίδρασης από έναν αισθητήρα και της ανίχνευσης των προϊόντων αυτών από έναν άλλο αισθητήρα ^[01].

3.5 Βαθμονόμηση

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα είναι η βαθμονόμηση του χρησιμοποιούμενου συστήματος, ειδικά εάν αυτό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο, για παράδειγμα σαν συναγερμός για υπογλυκαιμία. Το σήμα που παράγεται από τον αισθητήρα είναι ένα ρεύμα (σε nA), το οποίο πρέπει να μετασχηματιστεί σε πραγματικό χρόνο σε εκτίμηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης. Επιπλέον, καθώς η ευαισθησία του αισθητήρα είναι διαφορετική αναλόγως με τον αν η εκτίμηση γίνεται εντός (in vivo) ή εκτός (in vitro) οργανισμού, η βαθμονόμηση του αισθητήρα για in vivo μετρήσεις είναι υποχρεωτική.

3.5.1 Μέθοδος βαθμονόμησης δύο σημείων

Κατά τη διάρκεια αύξησης της συγκέντρωσης της γλυκόζης του αίματος, G , από G_1 σε G_2 , το ρεύμα I του αισθητήρα αυξάνεται από I_1 σε I_2 ^[07]. Η ευαισθησία του αισθητήρα S ορίζεται τότε ως το πηλίκο $S = (I_2 - I_1) / (G_2 - G_1)$. Ο καθορισμός της ευαισθησίας S του αισθητήρα καθώς και ενός ρεύματος I_0 το οποίο μπορεί να υπολογιστεί από εμπειρικά δεδομένα ως $I_0 = I_1 - (S * G_1)$, καλείται διαδικασία βαθμονόμησης 2 σημείων. Η συγκέντρωση της γλυκόζης τότε δίνεται από το πηλίκο $G(t) = \{I(t) - I_0\} / S$. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι τα μεγέθη S και I_0 είναι αρνητικά συσχετισμένα, με την τιμή του ρεύματος I_0 να είναι κάποιες φορές αρνητική. Όπως υποδεικνύεται από θεωρητική ανάλυση, το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την επίδραση στον καθορισμό τόσο της συγκέντρωσης της γλυκόζης όσο και της εξόδου του αισθητήρα, μετρητικών αβεβαιοτήτων – σφαλμάτων.

3.5.2 Μέθοδος βαθμονόμησης ενός σημείου

Μία δεύτερη μέθοδος βαθμονόμησης ενός τέτοιου συστήματος, είναι η μέθοδος βαθμονόμησης ενός σημείου (one-point calibration method) ^[08]. Η μέθοδος αυτή, προϋποθέτει ότι το ρεύμα I_0 , το οποίο στην προηγούμενη μέθοδο υπολογιζόταν, θεωρείται αμελητέο, οπότε και η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα είναι απλά το πηλίκο : $G(t) = I(t) / S$ όπου και πάλι S είναι η ευαισθησία του αισθητήρα. Μάλιστα, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το ρεύμα I_0 μπορεί πράγματι να θεωρηθεί αμελητέο, δηλαδή να χρησιμοποιηθεί στην πράξη η μέθοδος βαθμονόμησης ενός σημείου καθώς είναι πιο φιλική προς το χρήστη, ώντας πιο απλή, ενώ παράλληλα η μέθοδος βαθμονόμησης δύο σημείων είναι και πιο χρονοβόρα, και έχει το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιεί δύο εκτιμήσεις της συγκέντρωσης της γλυκόζης και της εξόδου του αισθητήρα, με την κάθε μία να προσθέτει στο συνολικό σφάλμα μέτρησης.

Από την άλλη μεριά, μία μελέτη η οποία είχε ως σκοπό να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ του ρεύματος αυτού I_0 με τη βαθμονόμηση και την ακρίβεια των μετρήσεων, επεσήμανε την αύξηση του ρεύματος με την πάροδο του χρόνου ^[10]. Τηλεμετρικοί αισθητήρες εμφυτεύτηκαν υποδερμικά σε κουνέλια και παρακολουθείται η έξοδος αυτών για χρονικό διάστημα 5 εβδομάδων. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το ρεύμα I_0 αυξάνεται και μάλιστα σημαντικά μεταξύ της τρίτης και της πέμπτης εβδομάδας (αύξηση έως και κατά μία τάξη μεγέθους). Συνεπώς εάν αυτή η αύξηση δεν ανιχνευθεί και η τιμή του I_0 θεωρηθεί σταθερή, η μέθοδος βαθμονόμησης ενός σημείου μπορεί να αποτύχει να δώσει μια σωστή εκτίμηση ενός οξέος υπογλυκαιμικού επεισοδίου.

3.6 Συστήματα συνεχούς παρακολούθησης γλυκόζης

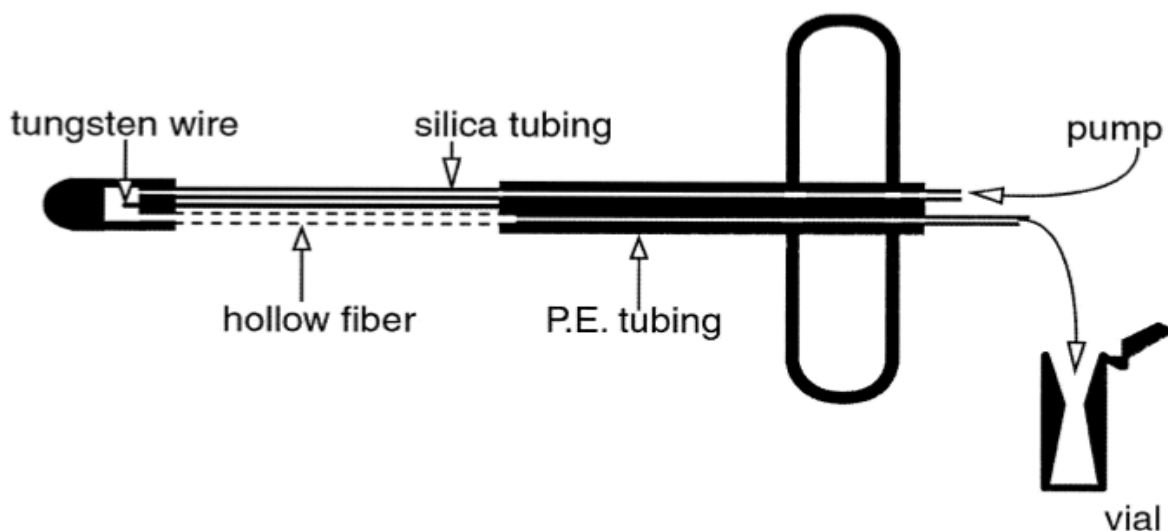
Στις ακόλουθες παραγράφους περιγράφονται διάφορα συστήματα (εμφυτεύσιμα και μη) συνεχούς παρακολούθησης της γλυκόζης αίματος. Γίνεται αναφορά των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε τεχνολογικής προσέγγισης, καθώς και των εργαστηριακών αποτελεσμάτων και παρατηρήσεων.

Έχει γίνει προσπάθεια κάλυψης του ευρύτερου δυνατού φάσματος των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών, χωρίς παράλα αυτά ανούσια και κουραστική εμβάθυνση σε τεχνικές λεπτομέρειες. Όπως προαναφέρθηκε, τα διάφορα μικροσυστήματα και οι αισθητήρες που παρουσιάζονται έχουν προταθεί μόλις την τελευταία πενταετία (από το 1998 έως σήμερα), αν και οι προσπάθειες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων είχαν αποδώσει καρπούς πολύ πριν το 1998.

Αν και αρκετά από αυτά επιδεικνύουν ικανοποιητική σταθερότητα και δίνουν αποτελέσματα που προσεγγίζουν τα εργαστηριακά, παράλα αυτά κανένα από τα παρακάτω δεν έχει γνωρίσει εμπορική επιτυχία. Υπάρχουν ακόμα αρκετές τεχνικές δυσκολίες οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν έως ότου κάποιο ή κάποια από τα παρακάτω συστήματα μπορέσει να γίνει ευρέως διαθέσιμο.

3.6.1 1^ο Σύστημα – Lutgers & Hullegie, 2000 (Μικροδιάλυση) ^{[10],[11]}

Το σύστημα του οποίου η σχηματική αναπαράσταση δίνεται παρακάτω (Σχήμα 3.2), χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της γλυκόζης σε υποδόριο λιπώδη ιστό με τη μέθοδο της μικροδιάλυσης (dialysis := διάλυση υλικών σε διάλυμα), η οποία διήρκησε τρεις εβδομάδες και εφαρμόστηκε σε ασθενείς με διαβήτη τύπου 1.



Σχήμα 3.2. 1^ο Σύστημα – Lutgers & Hullegie, 2000 (Μέθοδος μικροδιάλυσης)

Η μέθοδος της μικροδιάλυσης υποδόριου λιπώδη ιστού μπορεί να παρέχει μια ευκαιρία για τη συνεχή μέτρηση της γλυκόζης όταν η συσκευή συνδεθεί σε έναν αισθητήρα γλυκόζης. Έγινε λοιπόν αξιολόγηση του κατά πόσον τα probes της μικροδιάλυσης είναι ικανά για τη μέτρηση της γλυκόζης, καθώς αυτά εισήχθησαν κατά ζεύγη στο υποδόριο λίπος ασθενών με διαβήτη τύπου 1 και παρέμειναν στην αρχική τους θέση για τρεις εβδομάδες.

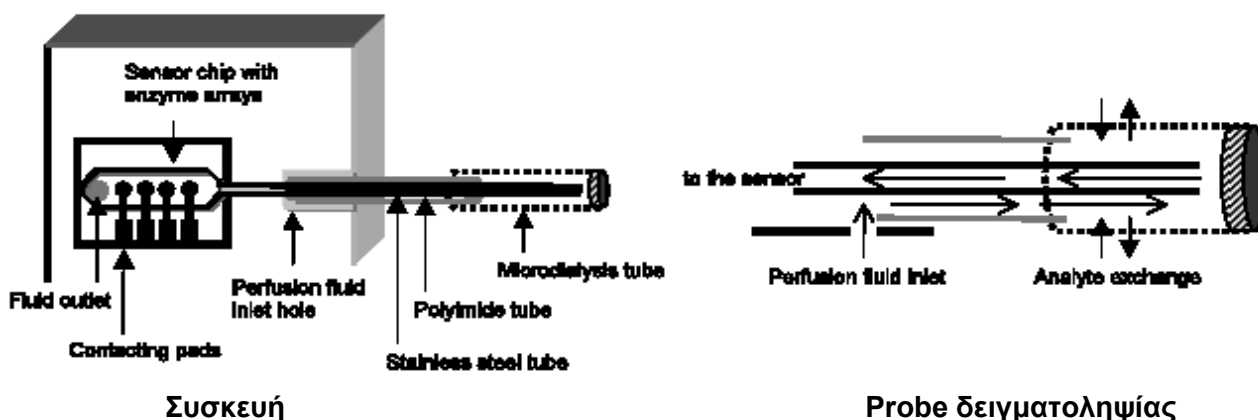
Αν και 5 από τα 16 probes απέτυχαν να λειτουργήσουν επιτυχώς για ολόκληρο το διάστημα των 21 ημερών λόγω παρεμπόδισης της κυκλοφορίας των υγρών εντός της συσκευής μικροδιάλυσης, τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρατεταμένη διατήρηση των probes μικροδιάλυσης εντός του σώματος (in vivo) βελτιώνει την ανάκτηση της γλυκόζης (οι μετρούμενες συγκεντρώσεις πλησιάζουν περισσότερο τις πραγματικές) και μειώνει τη διακύμανση των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, παρατηρήθηκαν και οι επιδράσεις οξείας υπεργλυκεμίας και υπερισουλιναιμίας στις μετρήσεις της γλυκόζης με την ως άνω μέθοδο. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών έδειξαν ότι στους ασθενείς με διαβήτη τύπου 1 η ανάκτηση της γλυκόζης σε λιπώδη ιστό συγκρινόμενη με φλεβικό αίμα δε μειώνεται κατά τη διάρκεια των οξέων αυτών περιστατικών, ενώ υπάρχει μια σχετική χρονική καθυστέρηση στην παρατήρηση της αύξησης της συγκέντρωσης της γλυκόζης, η οποία οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στη μετακίνηση του υγρού από τη μεμβράνη διάλυσης στο φιαλίδιο συλλογής.

3.6.2 2^ο Σύστημα – Petrou, Moser & Jobst, 2002 (Μικροδιάλυση) ^{[04], [12]}

Το σύστημα που περιγράφεται και απεικονίζεται στο σχήμα 3.3 είναι ένα μικροσύστημα συνεχούς δειγματοληψίας και παρακολούθησης της γλυκόζης. Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα σύστημα δειγματοληψίας το οποίο χρησιμοποιεί τη μέθοδο της μικροδιάλυσης και το οποίο ενσωματώνεται στο κανάλι ροής ενός μικρομηχανικά κατασκευασμένου ενζυμικού αισθητήρα. Ο

αισθητήρας είναι κατασκευασμένος με τεχνολογία λεπτής στρωμάτωσης και συναρμολογημένος σε ένα PCB το οποίο παρέχει τα μέσα τόσο για τις ηλεκτρικές συνδέσεις όσο και τις διασυνδέσεις των ρευστών. Το probe μικροδιάλυσης κατασκευάστηκε από πολυ-ακρίλο-κυανιούχα ίνα, και επιδείκνυε υψηλή αποδοτικότητα δειγματοληψίας με κατάλληλη επιλογή του ποσοστού ροής του διαχυόμενου υγρού.



Σχήμα 3.3. 2^ο Σύστημα – Petrou, Moser & Jobst, 2002 (Μέθοδος Μικροδιάλυσης)

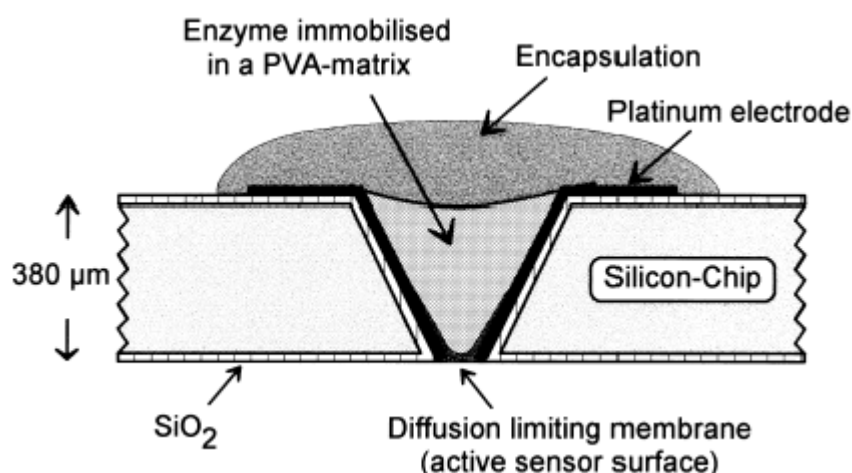
Ο συνδυασμός του probe δειγματοληψίας και του αισθητήρα σε μία συσκευή όπως η παραπάνω, μπορεί να αποτελέσει τη λύση για δύο προβλήματα που αντιμετωπίζουν λοιπά συστήματα με διαχωρισμένα τα δύο όργανα: τον κίνδυνο απώλειας δείγματος και τον αυξημένο χρόνο απόκρισης λόγω του συγκριτικά μεγάλου “νεκρού” όγκου του συστήματος.

Όσο αφορά τα πειραματικά in-vitro αποτελέσματα, για ποσοστά ροής μεταξύ 0.2 και 1 μl/min ο χρόνος απόκρισης κυμαινόταν από 1.5 έως 3 λεπτά. Η γραμμικότητα της συσκευής ήταν ικανοποιητική για ένα αρκετά μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων γλυκόζης (30 mM), ενώ οι παρεμβολές από άλλες ηλεκτρο-ενεργές ουσίες ήταν πρακτικά αμελητέες. Επιπλέον, η συσκευή επέδειξε εξαιρετική σταθερότητα υπό συνθήκες πενταήμερης αδιάκοπης λειτουργίας και η διακύμανση της ευαισθησίας αυτής ήταν μικρότερη του 3% για διάστημα 15 ημερών.

Το σύστημα αυτό εν συνεχεία επεκτάθηκε για την ταυτόχρονη παρατήρηση δύο αναλυτών, της γλυκόζης και άλατος του γαλακτικού οξέος, δυνατότητα η οποία του δίνεται καθώς υπάρχουν περισσότερα του ενός ηλεκτρόδια ανά αισθητήρια ψηφίδα (έως πέντε). Έτσι χωρίς αλλαγή στη διαδικασία κατασκευής του συστήματος, πειραματικά in vitro αποτελέσματα έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο αισθητήρων ήταν πρακτικά αμελητέα, ενώ η ανάκτηση και για τους δύο αναλυτές ήταν μεγαλύτερη του 95% όταν ο ρυθμός ροής του διαχεόμενου υγρού ήταν μικρότερος του 0.5 μl/min. Με αυτό το ρυθμό ροής, ο χρόνος απόκρισης της συσκευής δεν ξεπερνούσε τα 2.4 λεπτά. Η γραμμική απόκριση της συσκευής εκτεινόταν στα 30 mM συγκέντρωση γλυκόζης και 15 mM συγκέντρωση άλατος του γαλακτικού οξέος, ενώ η επίδραση από ηλεκτρο-ενεργές ουσίες όπως το ασκορβικό οξύ ή το ουρικό οξύ ήταν ελάχιστη.

3.6.3 3^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 1999 (Αισθητήρες συγκράτησης) ^[13]

Ένα άλλο μικροσύστημα ανίχνευσης άλατος του γαλακτικού οξέος και γλυκόζης βασίζεται σε ενζυματικούς αισθητήρες συγκράτησης – περιορισμού, βασισμένους στην τεχνολογία πυριτίου. Πρόκειται για ένα τσιπ πυριτίου στο οποίο έχει ολοκληρωθεί μία δι-ενζυμική ψηφίδα με αισθητήρες γλυκόζης και άλατος του γαλακτικού οξέος. Στην τεχνολογία συγκράτησης, οι μετατροπείς από πυρίτιο είναι εφοδιασμένοι με ειδικά σχεδιασμένες κοιλότητες για τις μεμβράνες και τα βιολογικά συστατικά, τα οποία αφού τοποθετηθούν εκεί παραμένουν στη θέση τους χάρη στην κάλυψη της κοιλότητας (encapsulation), διαδικασία η οποία απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω.



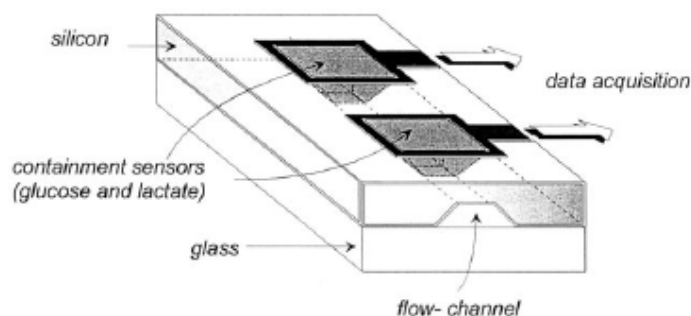
Σχήμα 3.4. 3^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 1999 (Αισθητήρες συγκράτησης)

Ο αισθητήρας του άλατος του γαλακτικού οξέος παρουσιάζει ικανοποιητική σταθερότητα και γραμμική απόκριση μεγαλύτερη των 10 mM, ενώ ο αισθητήρας γλυκόζης έχει βελτιστοποιηθεί για εύρος γραμμικών μετρήσεων που ξεπερνάει τα 30 mM. Επιπλέον, δεν παρουσιάστηκαν φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο αισθητήρων.

Στην κατηγορία των αμπερομετρικών βιοαισθητήρων κατατάσσονται τα ακόλουθα 6 μικροσυστήματα:

3.6.4 4^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 2000 ^[01]

Το ακόλουθο σύστημα είναι και αυτό ένα μικροσύστημα ανίχνευσης τόσο γλυκόζης όσο και άλατος του γαλακτικού οξέος (L-lactate). Το σύστημα αυτό βασίζεται σε ένα μικρομηχανικά κατασκευασμένο πολυ-ενζυμικό αισθητήριο τσιπ πυριτίου, με κανάλια ροής τα οποία ενσωματώνονται στην ψηφίδα. Ο αμπερομετρικός καθορισμός του άλατος του γαλακτικού οξέος και της γλυκόζης επετεύχθει μέσω της ενζυματικής οξειδωσης των αναλυτών από τα αντίστοιχα ένζυμα, LOD (Lactate Oxidase) και GOD (Glucose Oxidase).



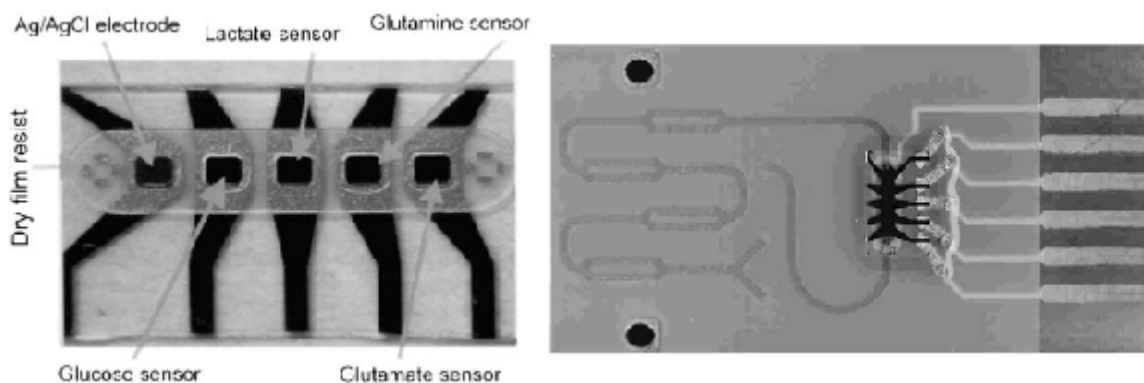
Σχήμα 3.5. 4^ο Σύστημα – Perdomo et. Al, 2000 (Αμπερομετρικός καθορισμός)

Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των αισθητήρων ήταν πρακτικά αμελητέα καθώς και ότι το γραμμικό εύρος των μετρήσεων τόσο για τη γλυκόζη όσο και για το άλας του γαλακτικού οξέος ήταν ικανοποιητικά μεγάλο για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές. Ως αποτέλεσμα της μικρομηχανικής κατασκευής του συστήματος, η κατανάλωση των αναλυτών μπορούσε να περιορισθεί στα μερικά nmol ανά λεπτό. Το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με ένα ακροσωλήνιο (probe) μικροδιάλυσης, του οποίου η ανάκτηση ήταν ίση με 45% για το άλας του γαλακτικού οξέος και 37% για τη γλυκόζη σε πειραματικά διαλύματα, με ποσοστό ροής ίσο με 3 μl / min, τα οποία ποσοστά όμως έφταναν το 90% για χαμηλότερα ποσοστά ροής, ίσα με 0,5 μl / min. Μετρήσεις έχουν διεξαχθεί σε ορό ανθρώπινου αίματος, ενώ και η μακροχρόνια σταθερότητα του συστήματος κρίνεται αποδεκτή.

3.6.5 5^ο Σύστημα – Moser, Jobst & Urban, 2002 ^[14]

Ένα άλλο μικροσύστημα που υλοποιήθηκε σε διάταξη μικροαισθητήρων, είναι ικανό για την ταυτόχρονη μέτρηση τόσο της γλυκόζης όσο και άλλων αναλυτών όπως η γλουταμίνη και το άλας του γαλακτικού οξέος (glutamine, lactate). Το μικροσύστημα αυτό αποτελείται από μια ψηφίδα από γυαλί με ενσωματωμένη τη διάταξη των βιοαισθητήρων, καθώς και από ένα κατώτατο μέρος, μία βάση, η οποία αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο από χρυσό, ένα αεροστεγές σφράγισμα 300 μικρομέτρων και τις ηλεκτρικές γραμμές διασύνδεσης. Η συσκευή ροής έχει ένα συνολικό εσωτερικό όγκο ίσο με 2.1 μικρόλιτρα, ο οποίος όμως φτάνει τα 6 μl όταν αυτή ενσωματωθεί σε έναν αναμίκτη στην ψηφίδα.

Οι βιοαισθητήρες οι οποίοι παρουσίαζαν μεγάλης χρονικής διάρκειας ευστάθεια και δεν παρουσίαζαν φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ τους κατασκευάστηκαν με τροποποίηση των ηλεκτροχημικών μετατροπών και χρησιμοποίηση ενζυμικών μεμβρανών. Σχηματικά, η διάταξη των βιοαισθητήρων και το ολοκληρωμένο μικροσύστημα είχαν ως ακολούθως:



Σχήμα 3.6. 5^ο Σύστημα – Moser et. Al, 2002

3.6.6 6^ο Σύστημα – Shankaran, Uehara & Kato, 2003 ^[03]

Ένας ακόμη αμπερομετρικός βιοαισθητήρας γλυκόζης που έχει κατασκευασθεί, στηρίζεται στην ακινητοποίηση της οξειδάσης της γλυκόζης (Glucose Oxidase, GOD) σε ένα διασκορπισμένο σε χαλκό κolloειδές σύνθετο κεραμικού – γραφίτη, (copper dispersed sol - gel derived ceramic - graphite composite). Ο χαλκός σε αυτό το σύνθετο προσφέρει εξαιρετική ηλεκτρο-καταλυτική δραστηριότητα ενάντια τόσο στην αναγωγή (στα $-0,2\text{ V}$) όσο και στην οξείδωση (στα $+0,45\text{ V}$) του υπεροξειδίου του υδρογόνου, το οποίο απελευθερώνεται κατά την ενζυματική αντίδραση, καθιστώντας δυνατό τον προσδιορισμό της γλυκόζης.

Από πειραματικά αποτελέσματα παρατηρήθηκε γραμμική απόκριση στη γλυκόζη, στην κλίμακα συγκεντρώσεων από $2.7 \cdot 10^{-5}$ έως $4 \cdot 10^{-3}\text{ M}$ με συντελεστή συσχέτισης ίσο με 0.9987, και στην κλίμακα συγκεντρώσεων από $4 \cdot 10^{-5}$ έως $5.6 \cdot 10^{-3}\text{ M}$ με συντελεστή συσχέτισης ίσο με 0.9989, με την ηλεκτροκαταλυτική αναγωγή και οξείδωση αντίστοιχα. Δεν παρατηρήθηκαν παρεμβολές στη μέτρηση της γλυκόζης ούτε από το ασκορβικό οξύ ούτε από το ουρικό οξύ κατά την καταλυτική αναγωγή στα 0.2 V κατά την ηλεκτροκαταλυτική οξείδωση όμως στα 0.45 V χρησιμοποιήθηκε μια μεμβράνη από Nafion η οποία επικάλυψε την επιφάνεια του ηλεκτροδίου για την εξουδετέρωση αυτών των παρεμβολών.

Ο αισθητήρας αυτός είναι αρκετά απλός, επιδεικνύει μεγάλη σταθερότητα και άριστη ευαισθησία και επιλεκτικότητα στον προσδιορισμό της γλυκόζης, ενώ στα προτερήματά του συγκαταλέγονται και η ταχεία απόκριση, η ευκολία κατασκευής του και η δυνατότητα μακρόχρονης λειτουργίας αυτού.

Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία αυτή των κolloειδών διαλυμάτων παρουσιάζεται ως πολλά υποσχόμενη κατασκευαστική διαδικασία αποτελεσματικών βιοαισθητήρων. Οι ενδιαφέρουσες ιδιότητες των υλικών των κolloειδών διαλυμάτων όπως είναι η ευκολία της

επεξεργασίας αυτών, η αρμονική παρουσία πόρων, η αποτελεσματική ακινητοποίηση των καταλυτών και/ή των ενζύμων, η χημική αδράνεια, η οπτική διαφάνεια, η φυσική ακαμψία και η μηχανική σταθερότητα, ευνοούν το σχεδιασμό βιοαισθητήρων με βελτιωμένες ηλεκτροχημικές ιδιότητες. Αυτά τα υλικά είναι επιπλέον βιοσυμβατά και μπορούν εύκολα να υιοθετηθούν σε in vivo συνθήκες, ενώ τα παραπροϊόντα που προκύπτουν είναι συνήθως αλκοόλες, τα οποία είναι πτητικά σε θερμοκρασία δωματίου.

3.6.7 7^ο Σύστημα - Wu , Wang, Dong & Wang, 2000 ^[15]

Ο συγκεκριμένος αμπερομετρικός βιοαισθητήρας γλυκόζης που έχει αναπτυχθεί, βασίστηκε σε μεμβράνη λιπιδίων. Αυτό το πρότυπο της βιολογικής μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε για να παρέχει ένα βιολογικό περιβάλλον στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου, ενώ παράλληλα ήταν ικανό να μειώσει πολύ την παρεμβολή και να αποκλείσει αποτελεσματικά υδρόφιλα ηλεκτροενεργά συστατικά από το να έρθουν σε επαφή με την εξεταζόμενη επιφάνεια. Ως μεσολαβητικό διάλυμα αντίδρασης επιλέχθηκε το TTF λόγω της μεγάλης αποδοτικότητάς του στη μεταφορά ηλεκτρονίων, το οποίο και ενσωματώθηκε σταθερά στη μεμβράνη. Η ακινητοποίηση της GOD επιτεύχθηκε με χρήση κολλοειδούς διαλύματος το οποίο επικάλυπτε τη μεμβράνη.

Ο χρόνος απόκρισης του βιοαισθητήρα ήταν μικρότερος από 20 sec, το γραμμικό πεδίο τιμών έφτανε μέχρι τα 10 mmol l⁻¹ έχοντας ως όριο τα 2·10⁻⁵ mol l⁻¹, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης ήταν ίσος με 0.9932. Βάση πειραματικών αποτελεσμάτων, ο αισθητήρας επέδειξε αρκετά καλή σταθερότητα, ικανότητα αναπαραγωγής και ευασθησία.

Στην κατηγορία των αμπερομετρικών αισθητήρων εντάσσονται και τα επόμενα δύο συστήματα που έχουν αναπτυχθεί:

3.6.8 8^ο Σύστημα - Patel , Li & Karan, 2002 ^[16]

Το σύστημα αυτό αφορά αμπερομετρικούς αισθητήρες γλυκόζης, βασισμένους σε ferrocene, οι οποίοι περιέχουν πολυμερικά συστήματα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Στηρίζεται στο σχηματισμό ενός οξειδοαναγωγικού μεσολαβητικού διαλύματος αντίδρασης, το οποίο περιέχει πολυβινυλοferrocene, η οποία έχει ακινητοποιηθεί σε μόρια πηκτωμάτων χαλαζία.

Τα ηλεκτρόδια από άνθρακα που προετοιμάστηκαν με αυτό το πολυμερικό μεσολαβητικό διάλυμα μελετήθηκαν για τη σταθερότητά τους σε υδάτινα μέσα για ένα μήνα και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο τέλος της περιόδου είχε διατηρηθεί το 70% της αρχικής δραστηριότητας. Μια σταθερής κατάστασης αμπερομετρική μέτρηση αυτού του ηλεκτροδίου, με περιεχόμενα τόσο αυτό

το μεσολαβητικό διάλυμα όσο και οξειδάση γλυκόζης, σε διαφορετικά δυναμικά, παρουσίασε γραμμική σχέση σε ανυψούμενη συγκέντρωση γλυκόζης.

3.6.9 9^ο Σύστημα – Pandey et. al, 2003 ^[17]

Το τελευταίο προς παρουσίαση σύστημα αμπερομετρικού βιοαισθητήρα γλυκόζης, βασίζεται στο υλικό ORMOSIL, ένα οργανικά τροποποιημένο γυαλί, με συμπληκνωμένη ferrocene, το οποίο ενσωματώθηκε σε ηλεκτρόδιο από γραφίτη και το οποίο συμπεριφέρεται ως άριστος ηλεκτροκαταλύτης για την οξειδωση της ενζυματικά αναγόμενης οξειδάσης της γλυκόζης.

Η ηλεκτροχημική συμπεριφορά του βιοαισθητήρα εξετάστηκε με κυκλική βολταμετρία και αμπερομετρικές μετρήσεις. Η αρχική αμπερομετρική απόκριση στην ανίχνευση γλυκόζης μετρήθηκε ίση με 145 mA σε 15% συγκέντρωση του ORMOSIL, η οποία μειώθηκε στα 20 mA σε 5% συγκέντρωση του ίδιου. Η συγκέντρωση της GOD κρατήθηκε σταθερή και στις δύο μετρήσεις. Βρέθηκε έτσι μια γραμμική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης σε ORMOSIL και του ηλεκτροκαταλυτικού σήματος. Ο βιοαισθητήρας αυτός παρουσίασε άριστη ευαισθησία και γραμμικότητα, καθώς και πολύ καλούς χρόνους απόκρισης.

3.6.10 10^ο Σύστημα – Tiessen et. Al, 2001 (Μέθοδος υπερδιήθησης) ^[18]

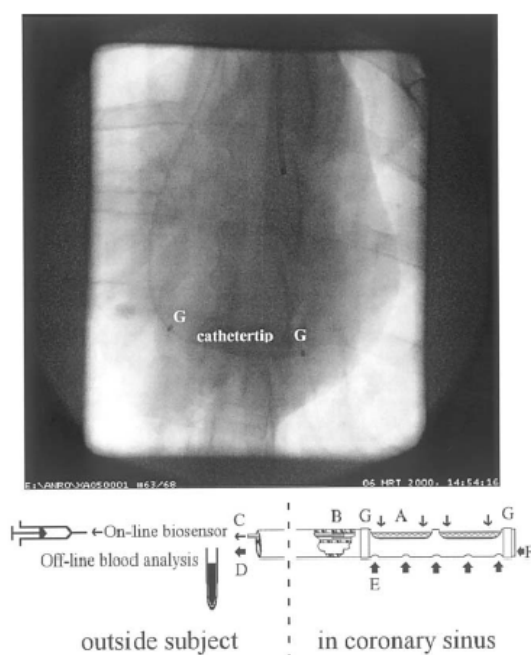
Το ακόλουθο σύστημα που έχει αναπτυχθεί και το οποίο βρίσκει εφαρμογή στην πολύ σημαντική πρόωρη διάγνωση ισχαιμίας του μυοκαρδίου, είναι ένας υπερδιηθητικός καθετήρας για την παρακολούθηση τόσο της γλυκόζης όσο και του φλεβικού γαλακτικού οξέως, καθώς οι μεταβολές αυτών των παραμέτρων στην καρδιακή φλεβική εκροή είναι πολύ σημαντικές. Το σύστημα αυτό ολοκληρώνει μια υπερδιηθητική μεμβράνη σε έναν καρδιακό καθετήρα για συνεχή δειγματοληψία.

Η ανεπαρκής μυοκαρδιακή διάχυση, συχνά οδηγεί σε αμετάκλητες ζημιές του μυοκαρδίου. Προτού οι βλάβες αυτές καταστούν αμετάκλητες, ιστοί περνούν από αερόβιο σε αναερόβιο μεταβολισμό το οποίο χαρακτηρίζεται από αυξημένη παραγωγή γαλακτικού οξέως. Οι συνήθεις χρησιμοποιούμενοι δείκτες για την ισχαιμία του μυοκαρδίου, όπως είναι οι ουσίες troponine & creatine kinase, δεν απελευθερώνονται παρά μετά τον θάνατο των κυττάρων, οπότε η παρακολούθηση αυτών δεν επαρκεί για την πρόληψη της ισχαιμίας.

Η μέτρηση του γαλακτικού οξέως όμως, μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη, καθώς το ισχαιμικό μυοκάρδιο παράγει συγκριτικά μεγαλύτερες ποσότητες αυτού, αναλόγως με την ένταση της ισχαιμίας. Μεγάλες μεταβολές συγκέντρωσης μπορούν να παρατηρηθούν σε διάστημα μερικών λεπτών, τόσο κατά την αρχή όσο και στο τέλος της ισχαιμίας. Συνεπώς, η έμφραξη του

μυοκαρδίου μπορεί να παρατηρηθεί από την μέτρηση της εκροής του γαλακτικού οξέως στη στεφανιαία φλέβα.

Πειραματική ανάλυση της υπερδιήθησης, η οποία όμως έλαβε χώρα εκτός του σώματος, έδωσε χρόνο υστέρησης γύρω στα 24λεπτά. Επιπλέον, μυοκαρδιακό στρες το οποίο προκλήθηκε από έγχυση της ουσίας dobutamine, αύξησε τα επίπεδα λακτόζης αλλά όχι και τα επίπεδα γαλακτικού οξέος. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και μια ακτινογραφία του υπερδιηθητικού καθετήρα εντός του φλεβικού καναλιού της στεφανιαίας, φαίνονται παρακάτω:



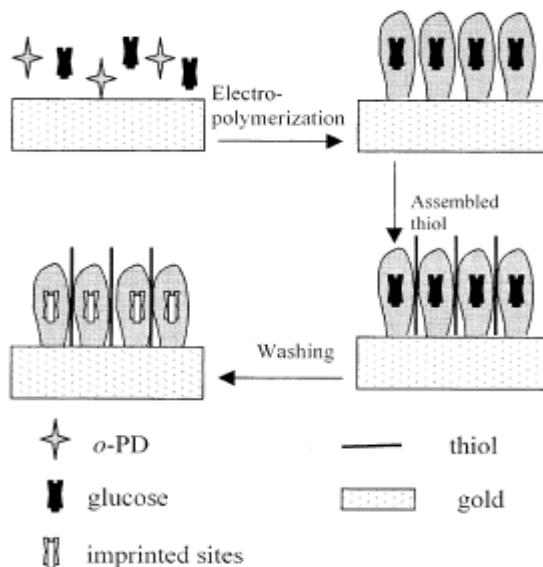
Σχήμα 3.7. 6^ο Σύστημα – Tiessen et. Al, 2001 (Μέθοδος υπερδιήθησης)

3.6.11 11^ο Σύστημα–Cheng, Wang & Yang, 2001(Χωρητική ανίχνευση) [19]

Μία άλλη τεχνική που αναπτύχθηκε για την παρακολούθηση των επιπέδων της γλυκόζης, βασίστηκε στη χωρητική ανίχνευση και υλοποιήθηκε με χρήση μοριακά αποτυπωμένων πολυμερών.

Το ευαίσθητο στρώμα παρήχθη από ηλεκτρο-πολυμερισμό της ο-φενυλενεδιαμίνης πάνω σε ένα χρυσό ηλεκτρόδιο εν τη παρουσία γλυκόζης. Η διαδικασία του ηλεκτροπολυμερισμού παρακολουθείται από χωρητικές μετρήσεις. Χωρητική μείωση μπορούσε να επιτευχθεί μετά από έγχυση γλυκόζης, ενώ παρόμοια κατασκευή του ηλεκτροδίου αλλά με ασκορβικό οξύ ή φρουκτόζη παρουσίαζε μικρή απόκριση εν συγκρίση με τη γλυκόζη. Επιπλέον, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το αποτυπωμένο πολυμερικό στρώμα επιδείκνυε υψηλή επιλεκτικότητα στη γλυκόζη όταν η επιφάνεια του ηλεκτροδίου είχε καλές μονωτικές ιδιότητες.

Η μοριακή αποτύπωση είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική όσον αφορά τη σύνθεση τεχνητών αισθητηρίων οργάνων. Ακόμα και πολύ μικρά μόρια χωρίς καμία απολύτως λειτουργικότητα, μπορούν να ανιχνευθούν με υψηλή επιλεκτικότητα, στην οποία περίπτωση τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι πολυμερή. Σχηματικά, η συγκεκριμένη διαδικασία είχε ως ακολούθως:



Σχήμα 3.8. 7^ο Σύστημα – Cheng, Wang & Yang, 2001 (Χωρητική ανίχνευση)

3.6.12 12^ο Σύστημα - Brynda et. al, 2002 (Οπτικοί βιοαισθητήρες) [20, [21]

Μία τελευταία κατηγορία αισθητήρων, η τεχνολογία των οποίων είναι ακόμα υπό ανάπτυξη, είναι οι οπτικοί βιοαισθητήρες. Την τελευταία δεκαετία έχουν αναπτυχθεί τέτοιοι βιοαισθητήρες, οι οποίοι βασίζονται στην αλληλεπίδραση των παροδικών κυμάτων στις επιφάνειες των διαφόρων οπτικών μετατροπέων με ένα αναλυθέν μέσο. Η σύνδεση των μοριακών αναλυτών από το εξεταζόμενο μέσο σε συγκεκριμένα βιο-αισθητήρια όργανα, ακινητοποιημένα στην επιφάνεια των μετατροπέων, προκαλεί ανιχνεύσιμες αλλαγές στην οπτική των τελευταίων. Μάλιστα, οι βιοαισθητήρες είναι ικανοί για πραγματικού χρόνου αναγνώριση, χωρίς την προσθήκη αντιδραστηρίων.

Από την άλλη μεριά όμως, αυτή η άμεση ανίχνευση δεν είναι ικανή να διαχωρίσει την απόκριση των αισθητήρων που προκαλείται από τη σύνδεση των αναλυτών σε συγκεκριμένους δέκτες από μία μη συγκεκριμένη απόκριση που προκαλείται από τη σύνδεση άλλων ενώσεων στην επιφάνεια των αισθητήρων. Αυτή η μη συγκεκριμένη απόκριση είναι συχνή και ιδιαίτερα φορτική όταν πρόκειται για μετρήσεις σε σύνθετα βιολογικά ρευστά, όπως είναι ο ορός αίματος, το πλάσμα αίματος ή το πλήρες αίμα. Έτσι, η ανίχνευση είναι δυνατή μόνο στις περιπτώσεις όπου η απόκριση σε ένα συγκεκριμένο αναλυτή είναι πολύ υψηλή σε σχέση με τις μη συγκεκριμένες αποκρίσεις, με την πρώτη να είναι ανάλογη με τη μάζα που επικάθεται στην επιφάνεια του αισθητήρα εξαιτίας της σύνδεσης των αναλυτών.

3.7 Τεχνολογία RFID [22]

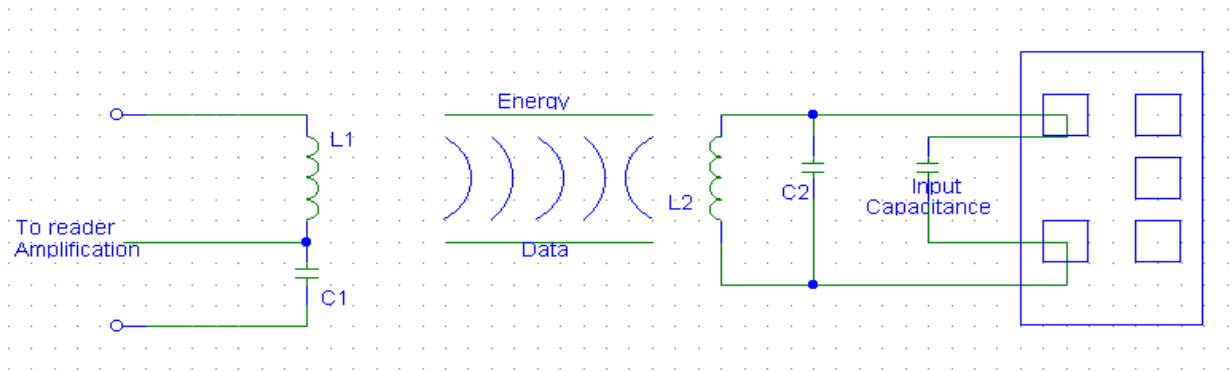
Η επικοινωνία των αισθητήρων με τα κινητά για την μεταφορά των καταγεγραμμένων ιατρικών δεδομένων μπορεί να γίνει με τη χρήση της παθητικής τηλεμετρίας (τεχνολογία RFID – Radio Frequency Identification Data). Η τεχνολογία αυτή είναι η μόνη η οποία δεν απαιτεί ισχύ για τη μετάδοση των δεδομένων. Κατ'αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων των αισθητήρων όπως επίσης και η εξάλειψη των οθονών και των καλωδίων, καθώς αυτά αντικαθίστανται από την ασύρματη τεχνολογία.

Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται στην συχνότητα των 125 KHz η οποία είναι σχεδόν μαγνητική, έχοντας ως αποτέλεσμα η αλληλεπίδραση με άλλες παρούσες RF συσκευές να είναι πολύ χαμηλή και να μην διαταράσσονται τα χαμηλού επιπέδου σήματα. Επιπλέον, η τοπική επεξεργασία δεδομένων καθίσταται εφικτή με τη χρήση νέας γενιάς, πολύ ισχυρών, 16 bit και πολύ χαμηλής κατανάλωσης ισχύος επεξεργαστών.

Τα συστήματα RFID αποτελούνται από ένα σύστημα ανάγνωσης, ένα σύστημα εκπομπής και ένα κεντρικό σύστημα. Το σύστημα ανάγνωσης περιλαμβάνει έναν εκπομπό ραδιοφωνικών συχνοτήτων, μία μονάδα ελέγχου, μία κεραία και μια σειριακή διεπαφή δεδομένων με το κεντρικό σύστημα. Το κεντρικό σύστημα αναλαμβάνει την επεξεργασία της πληροφορίας που λαμβάνει από το σύστημα ανάγνωσης. Το σύστημα εκπομπής RFID περιλαμβάνει μία συντονισμένη κεραία και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Η τεχνολογία RFID κυρίως δρα ως ακολούθως: Όταν το σύστημα εκπομπής RFID βρεθεί στο μαγνητικό πεδίο της διάταξης ανάγνωσης, έχουμε δημιουργία τάσης στο σύστημα εκπομπής στη συχνότητα συντονισμού αυτού, η οποία τάση τροφοδοτεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα. Εάν η τάση αυτή είναι αρκετά υψηλή, το ολοκληρωμένο διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας και λαμβάνει χώρα μεταφορά δεδομένων από τη μνήμη στην κεραία.

Το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3.9) αποτελεί μια σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας της τεχνολογίας RFID:



Σχήμα 3.9. Αναπαράσταση λειτουργίας της τεχνολογίας RFID

Μία χαμηλού κόστους μέθοδος για την υλοποίηση ενός πομπού RFID είναι δυνατή με τη χρήση ενός flip chip bonder για την επισύναψη των ψηφίδων με ανισοτροπικά αγώγιμα φιλμ (Anisotropic Conductive Films – ACF) σε ελαστικό PET υπόστρωμα. Η τεχνολογία flip chip παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι η μικρή αντίσταση διασύνδεσης, η πολύ μικρή παρασιτική χωρητικότητα, η μικρή επαγωγή καθώς και η υψηλή πυκνότητα.

Η χρήση των ανισοτροπικών αγώγιμων αυτοκόλλητων (Anisotropic Conductive Adhesives – ACA's) μπορεί να αποτελέσει μια αρκετά φθηνή και οικολογική διαδικασία ένωσης, επιτρέποντας έτσι μαζική παραγωγή. Δύο τύποι ACA's είναι διαθέσιμοι: Οι ανισοτροπικές αγώγιμες πάστες (Anisotropic Conductive Pastes – ACP's) και τα ανισοτροπικά αγώγιμα φιλμ (Anisotropic Conductive Films – ACF's).

Τα PET φιλμ (Polyethelene Terephthalate Films) χρησιμοποιούνται ευρέως ως χαμηλού κόστους ελαστικά υποστρώματα, και προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως καλή αντίσταση απόσπασης, καλή χημική αντίσταση, πολύ καλή ελαστικότητα και χαμηλή απορρόφηση υγρασίας.

Για την αξιολόγηση αυτής της μεθόδου διεξήχθησαν πειράματα, με τα δείγματα να έχουν κατασκευαστεί από την ένωση ψηφίδων με ACF πάνω σε φιλμ PET, με χάλκινη καλωδίωση. Το πάχος του PET φιλμ ήταν 50 μ. Το πάχος της μη επικαλυπτόμενης χάλκινης καλωδίωσης ήταν 25 μ. Οι προς εξέταση ψηφίδες πυριτίου είχαν εμβαδόν $1380 * 1410 \mu^2$. και είχαν δύο χρυσές προεξοχές με διαστάσεις $185*165 \mu^2$ και πάχος 20 μ.

Η αξιοπιστία των δειγμάτων μελετήθηκε υποβάλλοντας τα δείγματα σε τεστ συνεχούς υγρασίας και κυκλικής εναλλαγής της θερμοκρασίας. Η αντίσταση επαφής σημείωνε μια συνεχή αύξηση κατά τη διάρκεια του τεστ, αλλά σε γενικές γραμμές τα δείγματα απέδωσαν αρκετά ικανοποιητικά. Συνεπώς, η τεχνολογία flip chip σύνδεσης με θερμοπλαστικά ACF's έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει μια αρκετά αξιόπιστη μέθοδο για εφαρμογές RFID.

3.8 ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΣΕ ΧΩΡΗΤΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ [23]

Πέραν της τεχνολογίας RFID, έχει αναπτυχθεί η θεωρία μιας παθητικής ηλεκτρομαγνητικής διεπαφής, αποκλειστικά για χωρητικούς αισθητήρες, η οποία ξεπερνά τα προβλήματα των συνήθων αισθητήρων πυριτίου, δηλαδή της χαμηλής αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δεσμού μεταξύ της δομής του αισθητήρα και του πακέτου, του θερμικού στρες μεταξύ του πακέτου και του αισθητήρα το οποίο μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων, καθώς και του κόστους του πακεταρίσματος του αισθητήρα. Η διεπαφή αυτή αποτελείται από μια δομή πυριτίου με ένα χωρητικό αισθητήρα, ο οποίος τοποθετείται σε ένα ειδικό πακέτο το οποίο περικλείει τον πομπό και τα κυκλώματα μέτρησης. Επιπλέον, μια ειδική ελαστική σχισμή εξασφαλίζει τη σταθερή μηχανική θέση της δομής του αισθητήρα.

Σχηματικά, η δομή του αισθητήρα και η αρχή λειτουργίας της ηλεκτρομαγνητικής διεπαφής φαίνονται παρακάτω:

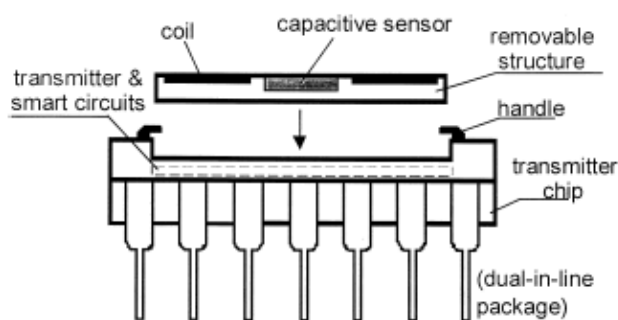


Fig. 1. The shape of the final sensor with non-contact interface.

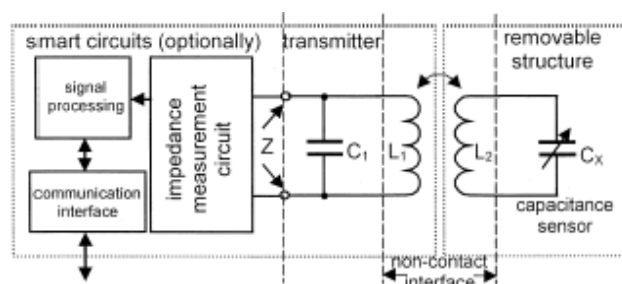


Fig. 2. Principle of electromagnetic interface operation.

Σχήμα 3.10. Παθητική ηλεκτρομαγνητική εκπομπή σε χωρητικούς αισθητήρες

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της διάταξης, είναι ότι μόνο ένα επιπλέον στοιχείο, η επαγωγή, πρέπει να ενσωματωθεί στη δομή του αισθητήρα, ότι η δομή αυτή δε χρειάζεται συντήρηση ή κάθε είδους μηχανική ή χημική προστασία, και ότι μια χαμηλού κόστους δομή μπορεί να αντικατασταθεί από μια άλλη, κρατώντας τον ίδιο πομπό.

Πειραματικά αποτελέσματα απέδειξαν ότι η διεπαφή αυτή μπορεί να λειτουργήσει επιτυχώς γύρω από τη συχνότητα των 11 MHz με μια ευαισθησία της τάξης των 15 Ω/pF, για το εύρος 0-22 pF.

3.9 Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρατέθηκαν διάφορες τεχνικές κατασκευής μικροσυστημάτων και αισθητήρων γλυκόζης, οι οποίοι είτε εμφυτεύονται άμεσα στο σώμα του ασθενούς, είτε συνδέονται σε κάποιο probe δειγματοληψίας. Έγινε αναφορά των τεχνικών τους χαρακτηριστικών, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε τεχνολογικής προσέγγισης, καθώς και των εργαστηριακών αποτελεσμάτων και παρατηρήσεων, ενώ παρουσιάστηκαν και τα προβλήματα που παρουσιάζουν οι κατασκευαστικές αυτές τεχνικές. Παρουσιάστηκαν επιπλέον δύο δυνατοί τρόποι ασύρματης επικοινωνίας των μικροσυστημάτων αυτών με κινητά τηλέφωνα.

Παρά τις μεγάλες προόδους όμως που έχουν σημειωθεί τα τελευταία 40 χρόνια στην παρακολούθηση της γλυκόζης, είτε αυτή λαμβάνει μέρος εντός είτε εκτός οργανισμού, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να κατασκευαστούν απλοί και ταυτόχρονα ακριβείς αισθητήρες, με βελτιωμένα αναλυτικά χαρακτηριστικά ^[03]. Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κάποιο αξιόπιστο και ακριβές εμφυτεύσιμο σύστημα για μακρόχρονη χρήση σε ασθενείς με διαβήτη ^[24]. Επιπλέον, τα περισσότερα συστήματα επιτρέπουν μόνο αναδρομική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Είναι σίγουρο πάντως ότι η επιτυχής αντιμετώπιση των όποιων δυσκολιών θα σημάνει μία σημαντική βελτίωση στη θεραπεία του διαβήτη.

3.10 Αναφορές

- [01] : J. Perdomo , H. Hinkers , C. Sundermeier , W. Seifert , O. Martinez Morell , M. Knoll. Miniaturized real-time monitoring system for L-lactate and glucose using microfabricated multi-enzyme sensors. *Biosensors & Bioelectronics* 15 (2000) 515–522
- [02]: P.U. Abel , T. von Woedtke. Biosensors for in vivo glucose measurement: can we cross the experimental stage. *Biosensors and Bioelectronics* 17 (2002) 1059_/1070
- [03]: D. Ravi Shankaran, N. Uehara, T. Kato. A metal dispersed sol-gel biocomposite amperometric glucose biosensor. *Biosensors and Bioelectronics* 18 (2003) 721_/728
- [04] : P.S. Petrou, I. Moser, G. Jobst. BioMEMS device with integrated microdialysis probe and biosensor array. *Biosensors and Bioelectronics* 17 (2002) 859_/865
- [05] : M.M. Rhemrev-Boom , J. Korf , K. Venema , G. Urban , P. Vadgama. A versatile biosensor device for continuous biomedical monitoring. *Biosensors & Bioelectronics* 16 (2001) 839–847
- [06] : Taek Dong Chung , Ran-A Jeong , Sun Kil Kang , Hee Chan Kim. Reproducible fabrication of miniaturized glucose sensors: preparation of sensing membranes for continuous monitoring. *Biosensors & Bioelectronics* 16 (2001) 1079–1087
- [07]: C. Choleau , J.C. Klein , G. Reach , B. Aussedat , V. Demaria-Pesce , G.S. Wilson , R. Gifford , W.K. Ward. Calibration of a subcutaneous amperometric glucose sensor. Part 1. Effect of measurement uncertainties on the determination of sensor sensitivity and background current. *Biosensors and Bioelectronics* 17 (2002) 641_/646
- [08]: C. Choleau , J.C. Klein , G. Reach , B. Aussedat , V. Demaria-Pesce , G.S. Wilson , R. Gifford , W.K. Ward. Calibration of a subcutaneous amperometric glucose sensor implanted for 7 days in diabetic patients. Part 2. Superiority of the one-point calibration method. *Biosensors and Bioelectronics* 17 (2002) 647_/654
- [09]: W. Kenneth Ward , Michael D. Wood , James E. Troupe. Rise in background current over time in a subcutaneous glucose sensor in the rabbit: relevance to calibration and accuracy. *Biosensors & Bioelectronics* 15 (2000) 53–61

- [10]: H.L. Lutgers , L.M. Hullegie , K. Hoogenberg , W.J. Sluiter , R.P.F. Dullaart , K.J. Wientjes , A.J.M. Schoonen. Microdialysis measurement of glucose in subcutaneous adipose tissue up to three weeks in Type 1 diabetic patients. *The Netherlands Journal of Medicine* 2000;57:7–12
- [11]: L.M. Hullegie , H.L. Lutgers , R.P.F. Dullaart , W.J. Sluiter , K.J. Wientjes , A.J.M. Schoonen , K. Hoogenberg. Effects of glucose and insulin levels on adipose tissue glucose measurement by microdialysis probes retained for three weeks in Type 1 diabetic patients. *The Netherlands Journal of Medicine* 2000;57:13–19
- [12]: P.S. Petrou , I. Moser , G. Jobst. Microdevice with integrated dialysis probe and biosensor array for continuous multi-analyte monitoring. *Biosensors and Bioelectronics* 18 (2003) 613_619
- [13]: J. Perdomo , C. Sundermeier , H. Hinkers , O. Martinez Morell , W. Seifert , M. Knoll. Containment sensors for the determination of L-lactate and glucose. *Biosensors & Bioelectronics* 14 (1999) 27–32
- [14]: Isabella Moser , Gerhard Jobst , Gerald A. Urban. Biosensor arrays for simultaneous measurement of glucose, lactate, glutamate, and glutamine. *Biosensors & Bioelectronics* 17 (2002) 297–302
- [15]: Zhengyan Wu , Bingquan Wang , Shaojun Dong , Erkang Wang. Amperometric glucose biosensor based on lipid film. *Biosensors & Bioelectronics* 15 (2000) 143–147
- [16]: H. Patel , X. Li , H. I. Karan. Amperometric glucose sensors based on ferrocene containing polymeric electron transfer systems - /a preliminary report. *Biosensors and Bioelectronics* 00 (2002) 1_/4
- [17]: P.C. Pandey , S. Upadhyay, N.K. Shukla, S. Sharma. Studies on the electrochemical performance of glucose biosensor based on ferrocene encapsulated ORMOSIL and glucose oxidase modified graphite paste electrode. *Biosensors and Bioelectronics* 00 (2003) 1_/12
- [18]: Renger G. Tiessen , Rene´ A. Tio , Arend Hoekstra , Kor Venema , Jakob Korf. An ultrafiltration catheter for monitoring of venous lactate and glucose around myocardial ischemia. *Biosensors & Bioelectronics* 16 (2001) 159–167
- [19]: Zhiliang Cheng, Erkang Wang, Xiurong Yang. Capacitive detection of glucose using molecularly imprinted polymers. *Biosensors & Bioelectronics* 16 (2001) 179–185

[20]: E. Brynda , M. Houska , A. Brandenburg , A. Wikerstal. Optical biosensors for real-time measurement of analytes in blood plasma. Biosensors and Bioelectronics 17 (2002) 665_ /675

[21] : T. Koschinsky, L. Heinemann. Sensors for glucose monitoring: technical and clinical aspects. Diabetes/Metabolism Research And Reviews Volume 17, Issue 2, March - April 2001, Pages 113-123

[22]: L. Frisk , J. Jarvinen , R. Ristolainen. Chip on flex attachmentwith thermoplastic ACF for RFID applications. Microelectronics reliability 42 (2002) 1559-1562

[23]: R.S. Jachowicz , G. Wojtowicz , J. Weremczuk. A non-contact passive electromagnetic transmitter to any capacitive sensor — design, theory, and model tests. Sensors and Actuators 85 2000 402–408

[24] : W. Kerner. Implantable glucose sensors: present status and future developments. Experimental And Clinical Endocrinology & Diabetes: Official Journal, German Society Of Endocrinology [And] German Diabetes Association. Volume 109, Supplement 2, 2001, Pages S341-S346

3.11 Ενδιαφέρουσες δημοσιεύσεις:

G. Freckmann, B. Kalatz, B. Pfeiffer, U. Hoss, C. Haug. Recent advances in continuous glucose monitoring. Experimental And Clinical Endocrinology & Diabetes: Official Journal, German Society Of Endocrinology [And] German Diabetes Association. Volume 109, Supplement 2, 2001, Pages S347-S357

Muriel Metzger, Gil Leibowitz, Julio Wainstein, Benjamin Glaser, Itamar Raz. Reproducibility of glucose measurements using the glucose sensor. Diabetes Care Volume 25, Issue 7, July 2002, Pages 1185-1191

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ - ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

**BLUETOOTH
HIPERLAN
HOMERF
IEEE 802.15**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία αρκετά λεπτομερής ανάλυση και σύγκριση τεσσάρων τεχνολογιών - προτύπων ασύρματων προσωπικών και τοπικών δικτύων (WPAN και WLAN), των: Bluetooth, HiperLAN, HomeRF και IEEE802.15. Προφανώς αυτές δεν είναι οι μόνες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης συσκευών, αλλά είναι οι πιο κοντινές όσον αφορά τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης υλοποίησης. Έτσι, έχουν παραληφθεί τεχνολογίες όπως το πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο είναι πολύ πιο πολύπλοκο από όσο απαιτείται και έχει αρκετά αυξημένο κόστος και μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, το IEEE 802.11 έχει και το μειονέκτημα ότι επιτρέπει σε «παθητικές» συσκευές στο δίκτυο (συσκευές σκλάβοι όπως θα ορισθούν στο Bluetooth) να επικοινωνούν μεταξύ τους, το οποίο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι άχρηστο, αν όχι ενοχλητικό. Παρόλα αυτά, δεν έχουν παραληφθεί οι συγκρίσεις με αυτό το πρότυπο, οι οποίες θα βοηθήσουν στην επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας για την επικοινωνία με τους μετρητές γλυκόζης. Άλλα δύο πρότυπα που έχουν παραληφθεί είναι το πρότυπο DECT και το πρότυπο IrDA. Το πρώτο αν και τυγχάνει μεγάλης εκτίμησης όσον αφορά την ασύρματη φωνητική επικοινωνία δεν επαρκεί για τις ανάγκες ασύρματης ανταλλαγής δεδομένων και αντικειμένων, ενώ και ο ρυθμός μετάδοσης αυτού είναι πολύ μικρός για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, ενώ το δεύτερο απαιτεί καθαρό, χωρίς εμπόδια οπτικό μονοπάτι για την επικοινωνία των συσκευών, το οποίο θα είναι αρκετά περιοριστικό για ενδο-οικιακές εφαρμογές.

4.1 Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth πήρε το όνομά της από το βασιλιά της Δανίας (940 – 981 AC) και Βίκινγκ, Harald Blåtand “Bluetooth” II. Ο Harald Blåtand ένωσε τη Δανία και τη Νορβηγία οι οποίες ήταν υπό τον έλεγχό του, εξ ου και η έμπνευση για το όνομα: ένωση/σύνδεση συσκευών μέσω Bluetooth. Το Bluetooth αναμένεται να γίνει η ταχύτερα υιοθετημένη τεχνολογία στην ιστορία των τηλεπικοινωνιών, ενώ αναμένεται στο κοντινό μέλλον να γίνει το πρότυπο εκατομμυρίων ηλεκτρονικών συσκευών (κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών και άλλων).

4.1.1 Εισαγωγή

Η Ομάδα Ειδικού Ενδιαφέροντος (Special Interest Group) του Bluetooth σχηματίστηκε το Φεβρουάριο του 1998 από τις εταιρίες Ericsson, IBM, Intel, Nokia και Toshiba και η εργασία αυτής κοινοποιήθηκε στις 26 Ιουλίου του 1999, με την προδιαγραφή να υπερβαίνει τις 1500 σελίδες. Σκοπός αυτής δεν ήταν μόνο η ανάπτυξη μιας τεχνολογίας αντικατάστασης καλωδίων, αλλά η ανάπτυξη μιας προδιαγραφής η οποία θα διευκολύνει την ασύρματη διασύνδεση συσκευών προσφέροντας ελευθερία κίνησης, απλότητα, αξιοπιστία, πολλαπλή χρησιμότητα, προσαρμοστικότητα και ασφάλεια στην επικοινωνία.

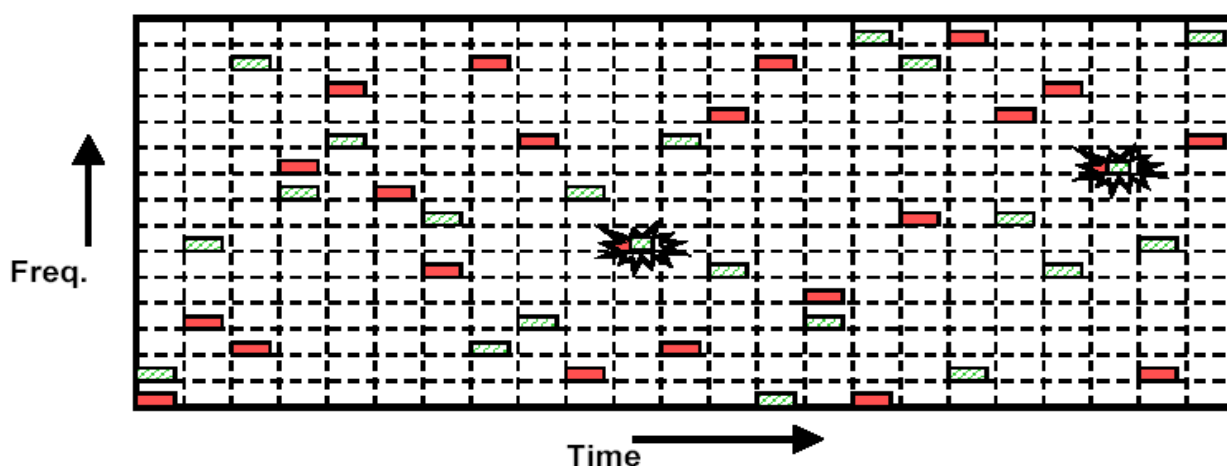
Η αρχική ιδέα ήταν της Ericsson και ο αρχικός σκοπός ήταν η δημιουργία ενός προτύπου το οποίο θα αντικαταστούσε τα καλώδια, παίρνοντας την πληροφορία η οποία κανονικά θα διαδιδόταν διαμέσου του καλωδίου και εκπέμποντάς την σε μία συγκεκριμένη συχνότητα σε έναν δέκτη. Όμως, το αναμενόμενο μικρό κόστος των chip Bluetooth και η πολύ μικρή κατανάλωση ισχύος, επεσήμαναν τη δυνατότητα χρησιμοποίησής του σε πλειάδα εφαρμογών. Αυτή τη δυνατότητα διέκριναν πολλές εταιρίες πρωτοπόρες στους χώρους των τηλεπικοινωνιών, των υπολογιστών και των δικτύων και επένδυσαν στην ανάπτυξη του Bluetooth. Ανάμεσά τους, εκτός των προαναφερθέντων συμπεριλαμβάνονται και η 3Com, η Microsoft, η Motorola και άλλες.

Το Bluetooth λειτουργεί στην ISM ζώνη των 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 720 kbps. Στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες το προσφερόμενο φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται σε 79 κανάλια, τα οποία αποδίδονται στη ζώνη 2.402 - 2.480 GHz και τα οποία απέχουν 1 MHz μεταξύ τους. Στη Γαλλία το προσφερόμενο φάσμα συχνοτήτων είναι αρκετά περιορισμένο (μόλις 26 MHz) και χωρίζεται σε 23 κανάλια RF τα οποία απέχουν μεταξύ τους επίσης 1 MHz. Το Bluetooth μπορεί να εγκαταστήσει μια ασφαλή και αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών που απέχουν 10 m μεταξύ τους χωρίς απαραίτητα να τις συνδέει οπτικός δρόμος.

4.1.2 Τοπολογία δικτύου Bluetooth

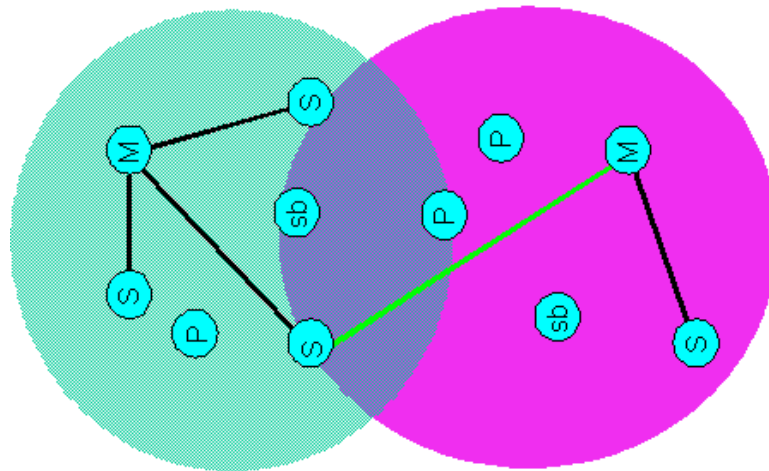
Ένα δίκτυο Bluetooth αποτελείται από έναν αριθμό συσκευών, κάθε μία εκ των οποίων μπορεί να λειτουργεί είτε ως αφέντης (master) είτε ως σκλάβος (slave) και οι οποίες είναι συμμετρικές, δηλαδή μπορούν να είναι είτε αφέντες είτε σκλάβοι στο ίδιο δίκτυο. Αφέντης καλείται η συσκευή η οποία εκκινά τη σύνδεση και σκλάβοι οι υπόλοιπες συσκευές, με τις οποίες συνδέεται ο αφέντης. Η διασύνδεση αυτή των συσκευών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός δικτύου Bluetooth το οποίο καλείται πικο-δίκτυο (piconet). Σε κάθε τέτοιο δίκτυο, μία μόνο συσκευή μπορεί να δρα ως αφέντης και είναι αυτή η οποία ρυθμίζει το ρολόι και καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι πομποδέκτες αναπηδούν από ένα κανάλι σε άλλο (αναπήδηση συχνότητας). Κάθε αφέντης σε ένα πικο-δίκτυο μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα σε 7 ενεργούς ή 200 ανενεργούς σκλάβους. Προφανώς, στην απλούστερη περίπτωση ένας αφέντης συνδέεται με έναν σκλάβο. Κάθε πικο-δίκτυο έχει μέγιστη χωρητικότητα (1 Msymbol/s) και μοναδική ταυτότητα αναπήδησης (hopping ID).

Ένα σενάριο αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping) απεικονίζεται στο σχήμα 4.1. Στο σενάριο αυτό απεικονίζονται και δύο «μπλοκαρίσματα» μετάδοσης (οι δύο συσκευές προσπαθούν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή στην ίδια συχνότητα), ενώ το σφάλμα που προκαλείται από αυτές διορθώνεται από τους αλγορίθμους Διόρθωσης Λαθών (FEC).



Σχήμα 4.1. Σενάριο Αναπήδησης Συχνότητας

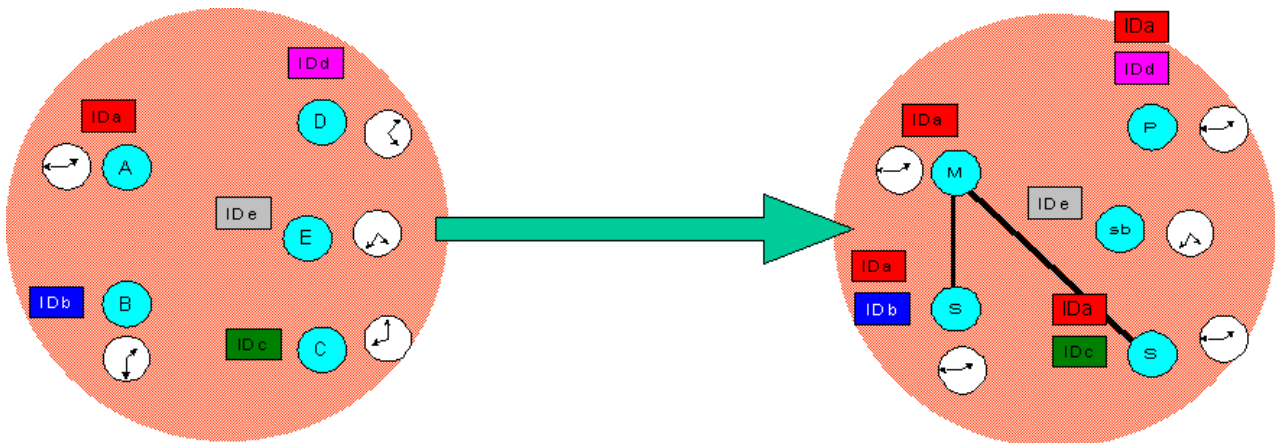
Η σύνδεση πολλών piconets οι οποίες μοιράζονται κοινές συσκευές master ή slave έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ευρύτερου δικτύου το οποίο καλείται scatternet και το οποίο διατηρεί τις ιδιότητες των piconets. Για τη συμμετοχή μιας συσκευής σε διάφορα piconets, απαραίτητη είναι η πολυπλεξία χρόνου. Το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 4.2) απεικονίζει ένα δίκτυο scatternet το οποίο αποτελείται από δύο piconets, κάθε ένα εκ των οποίων έχει από έναν αφέντη (M:Master) ο οποίος συνδέεται με σκλάβους (S:Slaves) (ένας από αυτούς συνδέεται και στους δύο αφέντες) καθώς και ανενεργές συσκευές (P:Parket) και συσκευές που δεν έχουν ακόμα ενταχθεί στο υποδίκτυο, (SB:Stand By)



Σχήμα 4.2. Δίκτυο scatternet

Πικο-δίκτυο

Όλες οι συσκευές που ανήκουν σε ένα πικο-δίκτυο εκτελούν μαζί την αναπήδηση συχνότητας. Για το σχηματισμό του δικτύου, ο αφέντης δίνει στους σκλάβους τη δική του ταυτότητα (device ID) των 48 bit **IDa** η οποία καθορίζει τον τρόπο αναπήδησης, καθώς και το δικό του ρολόι \leftrightarrow , το οποίο καθορίζει τη φάση στον τρόπο αναπήδησης. Οι συσκευές που δεν ανήκουν στο δίκτυο είναι σε κατάσταση αναμονής **sb**, ενώ στις υπόλοιπες η διευθυνσιοδότηση εξαρτάται από το αν είναι ενεργές ή όχι: στον αφέντη **M** και στους σκλάβους **S** δίνεται μία διεύθυνση ενεργού μέλους (Active Member Address – AMA) των 3 bit, ενώ στις ανενεργές συσκευές **P** δίνεται μία διεύθυνση σταθμευμένου μέλους (Parked Member Address – PMA) των 3 bit. Αυτά φαίνονται παραστατικότερα στο ακόλουθο σχήμα:

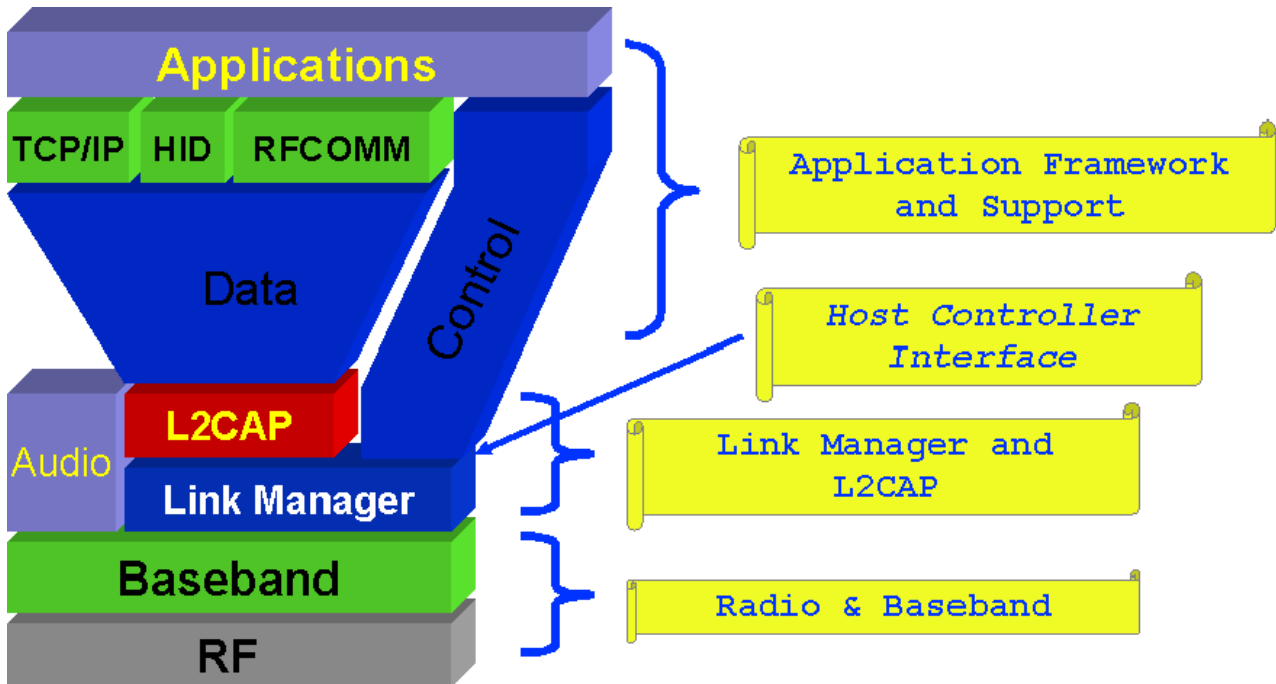


Σχήμα 4.3. Σχηματισμός Piconet

Οι συσκευές B και C γίνονται σκλάβοι και αποκτούν τόσο την ταυτότητα του αφέντη όσο και το ρολόι του, ενώ διατηρούν παράλληλα και τη δική τους ταυτότητα. Η συσκευή D επίσης διατηρεί την ταυτότητά της, λαμβάνει μία διεύθυνση σταθμευμένου μέλους και συντονίζεται με το ρολόι του αφέντη, ενώ η συσκευή E είναι εν αναμονή και διατηρεί τα δικά της χαρακτηριστικά (ταυτότητα και ρολόι).

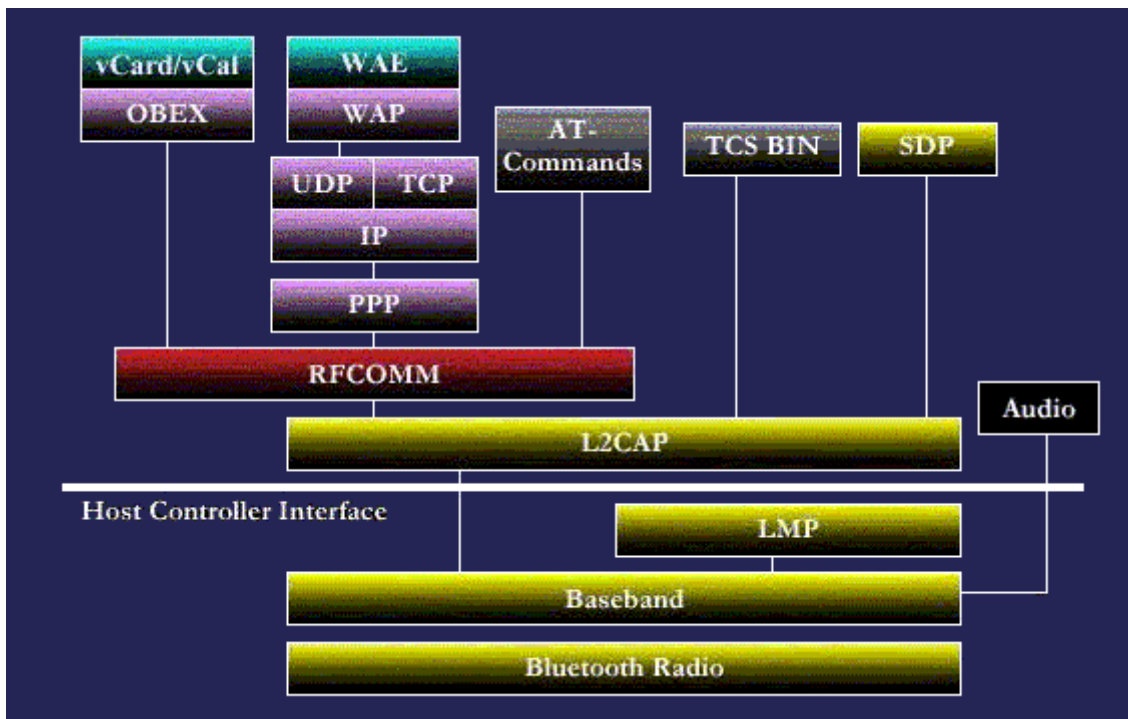
4.1.3 Αρχιτεκτονική του Bluetooth – Στοιβά Πρωτοκόλλων

Η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας αυτής έχει ως ακολούθως:



Σχήμα 4.4. Αρχιτεκτονική του Bluetooth

και η στοιβά πρωτοκόλλων αυτής απεικονίζεται στο σχήμα 4.5 :



Σχήμα 4.5. Στοιβά πρωτοκόλλων του Bluetooth

Στις ακόλουθες παραγράφους εξετάζεται αναλυτικά κάθε στρώμα της αρχιτεκτονικής του Bluetooth και γίνεται ανάλυση των πρωτοκόλλων, όπως αυτά παρουσιάζονται παραπάνω:

4.1.3.1 RF

Το RF είναι το κατώτερο επίπεδο της προδιαγραφής του Bluetooth. Αυτό το επίπεδο καθορίζει τις απαιτήσεις των πομποδεκτών Bluetooth οι οποίοι λειτουργούν στην ISM ζώνη 2.402 - 2.480 GHz. Σε μερικές χώρες όπως η Γαλλία αυτό το εύρος συχνοτήτων είναι προσωρινά μειωμένο και χρησιμοποιείται σύστημα 23 ανατηρήσεων. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά του επιπέδου αυτού συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Αναπήδηση συχνότητας
 - $2.402 + k$ MHz, $k=0, \dots, 78$ (79 κανάλια, 1 MHz απόσταση μεταξύ τους)
 - Μπορούν να γίνουν έως και 1600 ανατηρήσεις ανά δευτερόλεπτο.
- Διαμόρφωση (Μετατροπή των bit σε σύμβολα)
 - GFSK (BT = 0.5, $0.28 < h < 0.35$ όπου το h εκφράζει το δείκτη διαμόρφωσης)
Συγκεκριμένα, μία θετική απόκλιση συχνότητας αναπαριστά ένα δυαδικό άσσο ενώ μία αρνητική απόκλιση συχνότητας αναπαριστά ένα δυαδικό μηδέν.
 - 1 Msymbol/s
- Ισχύς μετάδοσης
 - Από 0 έως 20 dBm με έλεγχο ισχύος
Συγκεκριμένα, κάθε συσκευή ταξινομείται σε τρεις κλάσεις ισχύος: κλάσεις 1, 2 και 3.
 - Κλάση 1 : Συσκευές μεγάλης εμβέλειας (~100 m) με μέγιστη ισχύ εξόδου 20 dBm
 - Κλάση 2 : Συσκευές κανονικής εμβέλειας (~10 m) με μέγιστη ισχύ εξόδου 4 dBm
 - Κλάση 3 : Συσκευές μικρής εμβέλειας (~10 cm) με μέγιστη ισχύ εξόδου 0 dBm
- Ευαισθησία δέκτη
 - -70 dBm με BER 0.1%
- Μέγιστο χρησιμοποιήσιμο επίπεδο
 - Το μέγιστο χρησιμοποιήσιμο επίπεδο εισαγωγής στο οποίο θα λειτουργεί ο δέκτης θα είναι καλύτερο από -20 dBm, ενώ ο BER θα είναι μικρότερος από ή ίσος με 0.1%
- Δείκτης Ισχύος Σήματος στο Δέκτη (Receiver Signal Strength Indicator – RSSI)
Ένας πομποδέκτης ο οποίος επιθυμεί να λάβει μέρος σε μία ζεύξη ελεγχόμενης ισχύος, πρέπει να είναι σε θέση να μετράει τη δική του ισχύ λαμβανόμενου σήματος και να καθορίζει εάν ο εκπομπός στο άλλο άκρο της ζεύξης πρέπει να αυξήσει ή να μειώσει το επίπεδο της ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος.

4.1.3.2 Baseband

Το Baseband είναι το φυσικό στρώμα του Bluetooth. Βρίσκεται ακριβώς πάνω από το στρώμα RF στη στοίβα του bluetooth, όπως αυτό φαίνεται και στα σχήματα 4.4 και 4.5. Πέραν των υπηρεσιών που παρέχει, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η διόρθωση λάθους, η επιλογή αναπήδησης και η ασφάλεια του bluetooth, το στρώμα αυτό αναλαμβάνει τη διαχείριση των φυσικών καναλιών και των συνδέσεων. Το πρωτόκολλο baseband καθορίζει την προδιαγραφή για τον Ελεγκτή Ζεύξης (Link Controller – LC) του Bluetooth, ο οποίος συνεργάζεται με τον Διαχειριστή της Ζεύξης (Link Manager) για την πραγματοποίηση ρουτινών χαμηλών επιπέδων, όπως τη διασύνδεση ζεύξεων και τον έλεγχο ισχύος. Διαχειρίζεται επίσης ασύγχρονες και σύγχρονες συνδέσεις, χειρίζεται πακέτα και στέλνει μηνύματα paging και inquiry για να αναζητήσει ή και να αποκτήσει πρόσβαση σε συσκευές Bluetooth που βρίσκονται στην περιοχή.

Ο πομποδέκτης baseband εφαρμόζει ένα σχέδιο Διπλής Υποδιαίρεσης Χρόνου (Time Division Duplex - TDD), το οποίο σημαίνει ότι εναλλακτικά εκπέμπει και δέχεται δεδομένα με σύγχρονο τρόπο (**συγχρονισμός**). Το κανάλι διαιρείται σε χρονοσχισμές (διάρκειας 625 μs έκαστη), όπου κάθε σχισμή αντιστοιχεί σε μια RF συχνότητα αναπήδησης, ενώ διαδοχικές αναπηδήσεις αντιστοιχούν σε διαφορετικές RF συχνότητες αναπήδησης. Οι χρονοσχισμές είναι αριθμημένες σύμφωνα με το ρολόι του αφέντη του πικο-δικτύου.

Το στρώμα αυτό χειρίζεται δύο τύπους ζεύξεων: Σύγχρονες Με Σύνδεση (Synchronous Connection-Oriented - SCO) και Ασύγχρονες Χωρίς Σύνδεση (Asynchronous Connection-Less - ACL). Η ζεύξη SCO είναι μια συμμετρική, από σημείο σε σημείο ζεύξη, μεταξύ του αφέντη και ενός σκλάβου στο piconet. Ο αφέντης διατηρεί τη ζεύξη SCO με τη χρησιμοποίηση δεσμευμένων σχισμών σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο αφέντης μπορεί να υποστηρίξει μέχρι τρεις ταυτόχρονες συνδέσεις SCO ενώ οι σκλάβοι μπορούν να υποστηρίξουν δύο ή τρεις τέτοιες συνδέσεις. Τα πακέτα SCO χρησιμοποιούνται για φωνητική μετάδοση (64 kbps) και δεν αναμεταδίδονται ποτέ

Η ζεύξη ACL είναι μια ζεύξη από σημείο σε πολλαπλά σημεία μεταξύ του αφέντη και όλων των σκλάβων που συμμετέχουν στο piconet. Στις σχισμές οι οποίες δεν δεσμεύονται για συνδέσεις SCO, ο αφέντης μπορεί να εγκαταστήσει μια σύνδεση ACL σε μια ανα-σχισμή βάση με οποιοδήποτε σκλάβο, συμπεριλαμβανομένου και του σκλάβου που τυχόν δεσμεύεται ήδη με μια σύνδεση SCO. Μόνο μία σύνδεση ACL μπορεί να υπάρξει. Για τα περισσότερα πακέτα ACL εφαρμόζεται αναμετάδοση.

Διευθυνσιοδότηση

Τέσσερις δυνατοί τύποι διευθύνσεων μπορούν να εκχωρηθούν σε συσκευές Bluetooth:

- **BD_ADDR:** Bluetooth Device Address. (Διεύθυνση Συσκευής Bluetooth)
Σε κάθε πομποδέκτη Bluetooth διατίθεται μια μοναδική διεύθυνση συσκευής των 48 bit. Αυτή διαιρείται σε ένα πεδίο LAP των 24 bit, ένα πεδίο NAP των 16 bit και ένα πεδίο UAP των 8 bit.
- **AM_ADDR:** Active Member Address (Διεύθυνση Ενεργού Μέλους)
Είναι ένας αριθμός 3 bit. Ισχύει μόνο εφ' όσον ο σκλάβος είναι ενεργός στο κανάλι. Μερικές φορές καλείται επίσης διεύθυνση MAC μιας μονάδας Bluetooth.
- **PM_ADDR:** Parked Member Address (Διεύθυνση Σταθμευμένου Μέλους)
Είναι μια διεύθυνση μελών 8 bit που διαχωρίζει τους σταθμευμένους σκλάβους και ισχύει μόνο εφ' όσον οι σκλάβος είναι σταθμευμένοι.
- **AR_ADDR:** Access Request Address (Διεύθυνση Αίτησης Πρόσβασης)
Αυτή χρησιμοποιείται από το σταθμευμένο σκλάβο για να καθορίσει τη μισή σχισμή στο παράθυρο πρόσβασης που του επιτρέπεται για την αποστολή στον αφέντη μηνυμάτων αίτησης πρόσβασης. Ισχύει μόνο εφ' όσον ο σκλάβος είναι σταθμευμένος και δεν είναι απαραίτητως μοναδική.

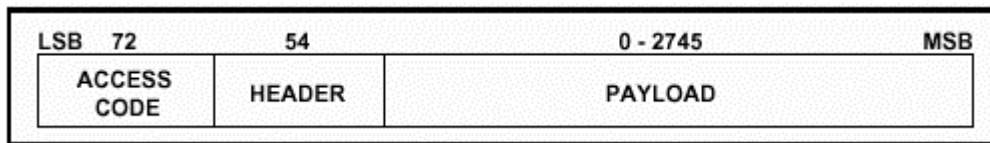
Πακέτα

Όλος ο όγκος των δεδομένων στο κανάλι του piconet μεταβιβάζεται σε πακέτα. Για το στρώμα baseband του συστήματος Bluetooth καθορίζονται 13 διαφορετικοί τύποι πακέτων και όλα τα υψηλότερα στρώματα χρησιμοποιούν αυτά τα πακέτα για να συνθέσουν PDUs υψηλότερων επιπέδων. Κάθε πακέτο περιέχει τρία πεδία: τον κωδικό πρόσβασης (68/72 bit), την επικεφαλίδα (54 bit), και το ωφέλιμο φορτίο (0-2745 bit).

- Ο κωδικός πρόσβασης χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό της χρονομέτρησης, την αντιστάθμιση του όφσσετ, και για τις υπηρεσίες paging και inquiry. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι κωδικών πρόσβασης: Κωδικός Πρόσβασης Καναλιών (CAC), Κωδικός Πρόσβασης Συσκευών (DAC) και Κωδικός Πρόσβασης Έρευνας (IAC). Ο Κωδικός Πρόσβασης Καναλιών προσδιορίζει ένα μοναδικό piconet ενώ οι DAC και IAC χρησιμοποιούνται για τις υπηρεσίες paging και inquiry αντίστοιχα.
- Η επικεφαλίδα περιέχει τις πληροφορίες για την αναγνώριση πακέτων, την αρίθμηση αυτών, τον έλεγχο ροής, τη διεύθυνση του σκλάβου και τον έλεγχο λαθών στην επικεφαλίδα.

- Το ωφέλιμο φορτίο των πακέτων μπορεί να περιέχει είτε πεδίο φωνής, είτε πεδίο δεδομένων είτε και τα δύο. Εάν έχει πεδίο δεδομένων θα περιέχει επίσης μια επικεφαλίδα ωφέλιμου φορτίου.

Η δομή ενός πακέτου baseband είναι όπως στο σχήμα 4.6



Σχήμα 4.6. Δομή πακέτου Baseband

Καταστάσεις Λειτουργίας

Ο ελεγκτής Bluetooth έχει δύο βασικές καταστάσεις λειτουργίας : την Αναμονή και τη Σύνδεση. Η Αναμονή είναι η προκαθορισμένη κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος σε μία μονάδα Bluetooth. Τρέχει μόνο το εγγενές ρολόι και δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση με οποιαδήποτε συσκευή. Στην κατάσταση της Σύνδεσης, ο αφέντης και ο σκλάβος μπορούν να ανταλλάξουν πακέτα, χρησιμοποιώντας τον Κωδικό Πρόσβασης Καναλιών CAC και το ρολόι Bluetooth του αφέντη.

Καταστάσεις Σύνδεσης

Μια συσκευή Bluetooth σε κατάσταση σύνδεσης μπορεί να είναι σε οποιοδήποτε από τις τέσσερις ακόλουθες καταστάσεις: Active (Ενεργή), Hold (Συγκράτησης), Sniff (Ανίχνευσης) και Park (Στάθμευσης).

- **Active:** Σε αυτήν την κατάσταση η μονάδα Bluetooth συμμετέχει ενεργά στο κανάλι. Ο αφέντης σχεδιάζει τη μετάδοση με βάση τη ζήτηση κυκλοφορίας προς και από τους διαφορετικούς σκλάβους. Επιπλέον, υποστηρίζει τακτικές μεταδόσεις για να κρατήσει τους σκλάβους συγχρονισμένους στο κανάλι. Εάν ένας ενεργός σκλάβος δεν διευθυνσιοδοτηθεί, μπορεί να "κοιμηθεί" μέχρι την επόμενη νέα μετάδοση από τον αφέντη.
- **Sniff:** Οι συσκευές που συγχρονίζονται σε ένα piconet μπορούν να εισαχθούν σε καταστάσεις εξοικονόμησης ισχύος, στις οποίες η δραστηριότητα των συσκευών μειώνεται. Στην κατάσταση Ανίχνευσης, ένας σκλάβος "ακούει" το piconet σε μειωμένο ρυθμό, μειώνοντας κατά συνέπεια τον κύκλο καθήκοντος (duty-cycle) αυτού. Το διάστημα Ανίχνευσης είναι προγραμματίσιμο και εξαρτάται από την εφαρμογή. Έχει τον υψηλότερο κύκλο καθήκοντος από τους τρεις τρόπους εξοικονόμησης ισχύος (Ανίχνευσης, Συγκράτησης, Στάθμευσης).

- Hold: Ο αφέντης μπορεί να θέσει τους σκλάβους σε κατάσταση Συγκράτησης, όπου τρέχει μόνο ένα εσωτερικό χρονόμετρο. Οι σκλάβοι μπορούν επίσης να απαιτήσουν να τεθούν σε κατάσταση Συγκράτησης. Με την έξοδο των μονάδων από την κατάσταση Συγκράτησης, η μεταφορά δεδομένων επανεκκινά αμέσως. Έχει το δεύτερο μικρότερο κύκλο καθήκοντος από τους 3 τρόπους εξοικονόμησης ισχύος.
- Park: Στην κατάσταση Στάθμευσης, μια συσκευή είναι ακόμα συγχρονισμένη στο piconet αλλά δεν συμμετέχει στην κυκλοφορία. Οι σταθμευμένες συσκευές έχουν παραχωρήσει τις MAC διευθύνσεις τους και περιστασιακά ακούνε την κυκλοφορία του αφέντη για να επανασυγχρονιστούν και να ελέγξουν τα μεταδιδόμενα μηνύματα. Έχει το χαμηλότερο κύκλο καθήκοντος από τους 3 τρόπους εξοικονόμησης ισχύος.

Λοιπές λειτουργίες

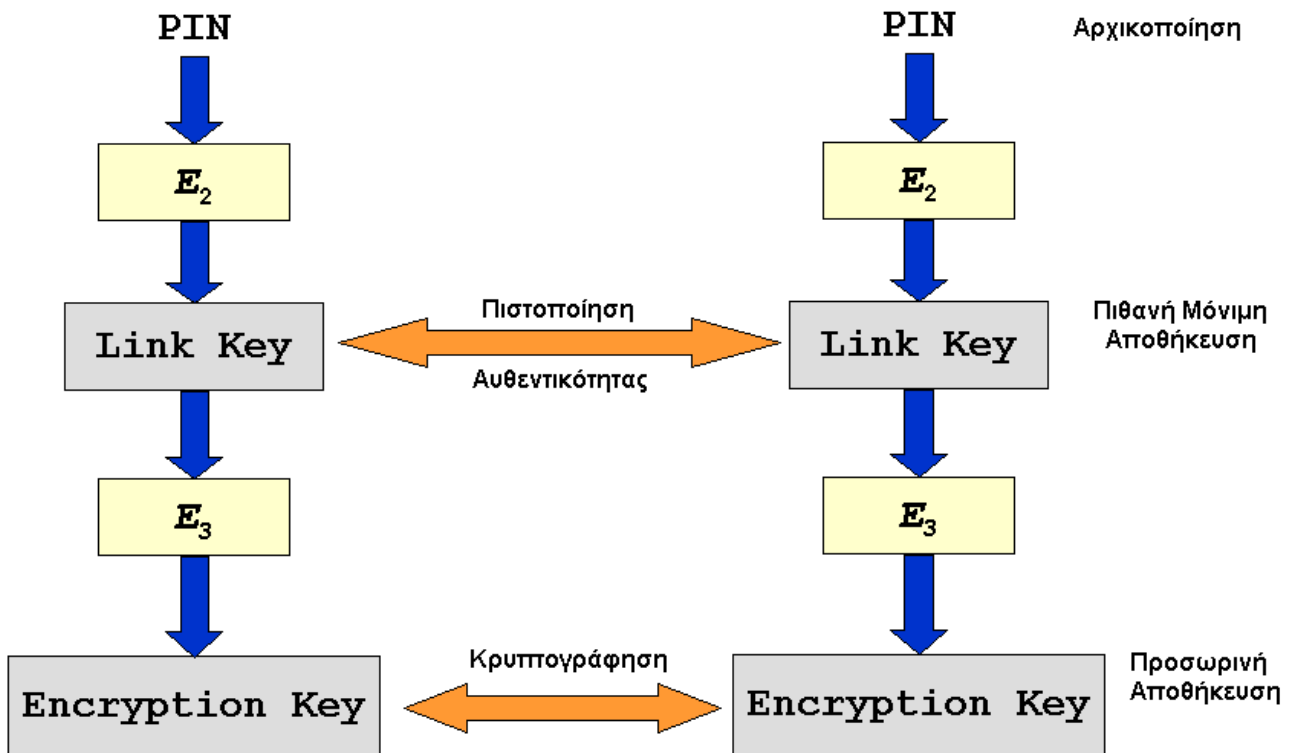
Εκτός των άλλων λειτουργιών, το στρώμα αυτό αναλαμβάνει και τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Διόρθωση λαθών (FEC, ARQ)
- Έλεγχο ροής (Ουρά αναμονής FIFO)
- Συγχρονισμό
- Ασφάλεια

Ασφάλεια

Η ασφάλεια στην επικοινωνία επιτυγχάνεται με την πιστοποίηση αυθεντικότητας και την κρυπτογράφηση των πληροφοριών. Για αυτήν την βασική ασφάλεια απαραίτητη είναι μια δημόσια διεύθυνση η οποία είναι μοναδική για κάθε συσκευή (BD_ADDR), δύο μυστικά κλειδιά (κλειδί πιστοποίησης αυθεντικότητας και κλειδί κρυπτογράφησης) και μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Μια συσκευή κάνει την πιστοποίηση με την έκδοση μιας πρόκλησης, στην οποία η άλλη συσκευή πρέπει να στείλει μια απάντηση, η οποία θα βασίζεται στην πρόκληση, στην BD_ADDR και σε ένα κλειδί σύνδεσης κοινό μεταξύ τους. Μετά από την πιστοποίηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κρυπτογράφηση για την επικοινωνία.

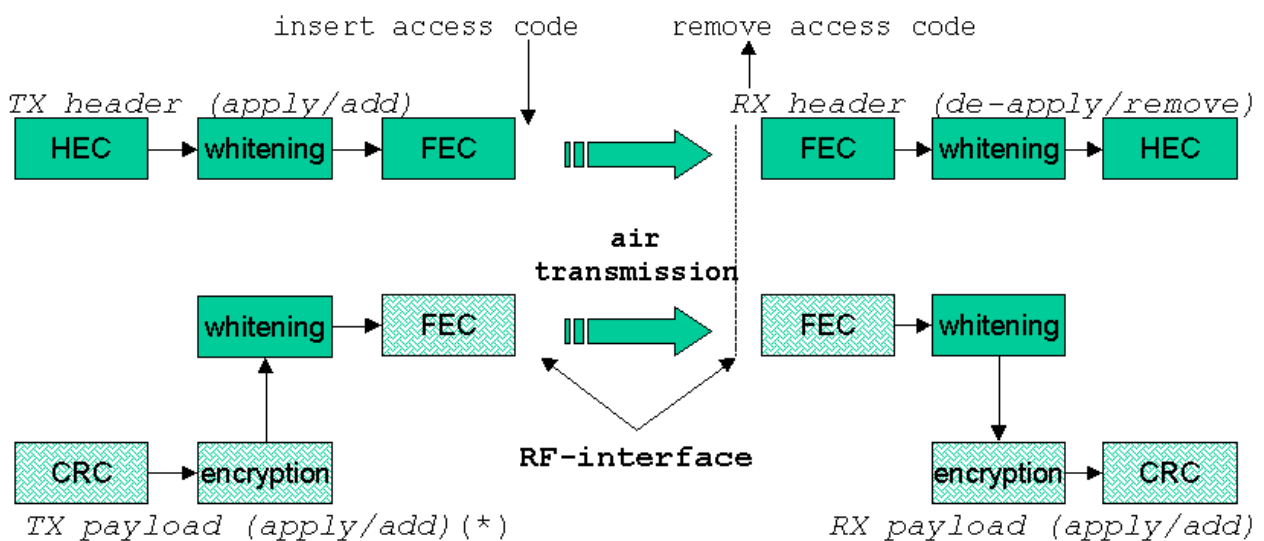
Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η δημιουργία και χρήση των παραπάνω κλειδιών. Άπαξ και γίνει η αρχικοποίηση, δηλαδή η εισαγωγή του PIN από το χρήστη, γίνεται η πιστοποίηση αυθεντικότητας με χρήση του αντίστοιχου κλειδιού και εν συνεχεία ακολουθεί η κρυπτογράφηση των μεταδιδόμενων δεδομένων πάλι με χρήση του κατάλληλου κλειδιού



Σχήμα 4.7. Κλειδιά πιστοποίησης αυθεντικότητας & κρυπτογράφησης

Επεξεργασία Baseband PDU

Στο σχήμα 4.8 απεικονίζεται η επεξεργασία των μονάδων δεδομένων του πρωτοκόλλου baseband, όπου και φαίνονται βασικές διαδικασίες που έχουν περιγραφεί παραπάνω όπως η διόρθωση λαθών (FEC) και η διαδικασία κρυπτογράφησης των δεδομένων. Η μετάδοση του «ωφέλιμου φορτίου» (payload) του μεταδιδόμενου μηνύματος γίνεται αμέσως μετά τη μετάδοση της επικεφαλίδας (header). Οι συντμήσεις TX και RX συμβολίζουν τη μετάδοση και τη λήψη των ποσοτήτων αντίστοιχα.



Σχήμα 4.8. Επεξεργασία μονάδων Baseband PDU

4.1.3.3 LMP

Το Πρωτόκολλο Διαχειριστή της Ζεύξης (Link Manager Protocol) χρησιμοποιείται από διαχειριστές της ζεύξης από οποιαδήποτε πλευρά, είτε αυτή του πομπού είτε αυτή του δέκτη, για το σχηματισμό, την εγκατάσταση και τον έλεγχο της ζεύξης. Οι Διαχειριστές Ζεύξης εκτελούν επιπλέον πιστοποιήσεις αυθεντικότητας ενώ ανακαλύπτουν και άλλους απομακρυσμένους LMs και επικοινωνούν με αυτούς μέσω του πρωτοκόλλου (LMP). Για να εκτελέσει το ρόλο του φορέα παροχής υπηρεσιών, ο LM χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του ελλοχεύοντος ελεγκτή συνδέσεων (LC).

Το πρωτόκολλο LMP αποτελείται ουσιαστικά από διάφορες Μονάδες Στοιχείων Πρωτοκόλλου (Protocol Data Units - PDU), που στέλνονται από μια συσκευή σε άλλη, όπως αυτό καθορίζεται από το AM_ADDR στην επικεφαλίδα των πακέτων. Οι LM PDUs στέλνονται πάντα ως πακέτα μονής σχισμής και συνεπώς η επικεφαλίδα είναι ένα byte. Οι PDUs μπορεί να είναι είτε υποχρεωτικές M (Mandatory) είτε προαιρετικές O (Optional). Μερικές από αυτές είναι και οι ακόλουθες:

- Πιστοποίηση Αυθεντικότητας.
- Κρυπτογράφηση
- Αποσύνδεση. Η σύνδεση μπορεί να τερματιστεί είτε από τον αφέντη είτε από το σκλάβο.
- Έλεγχος Ισχύος
- Επίβλεψη Ζεύξης
- Εγκατάσταση Σύνδεσης
- Χειρισμός Λαθών

4.1.3.4 HCI

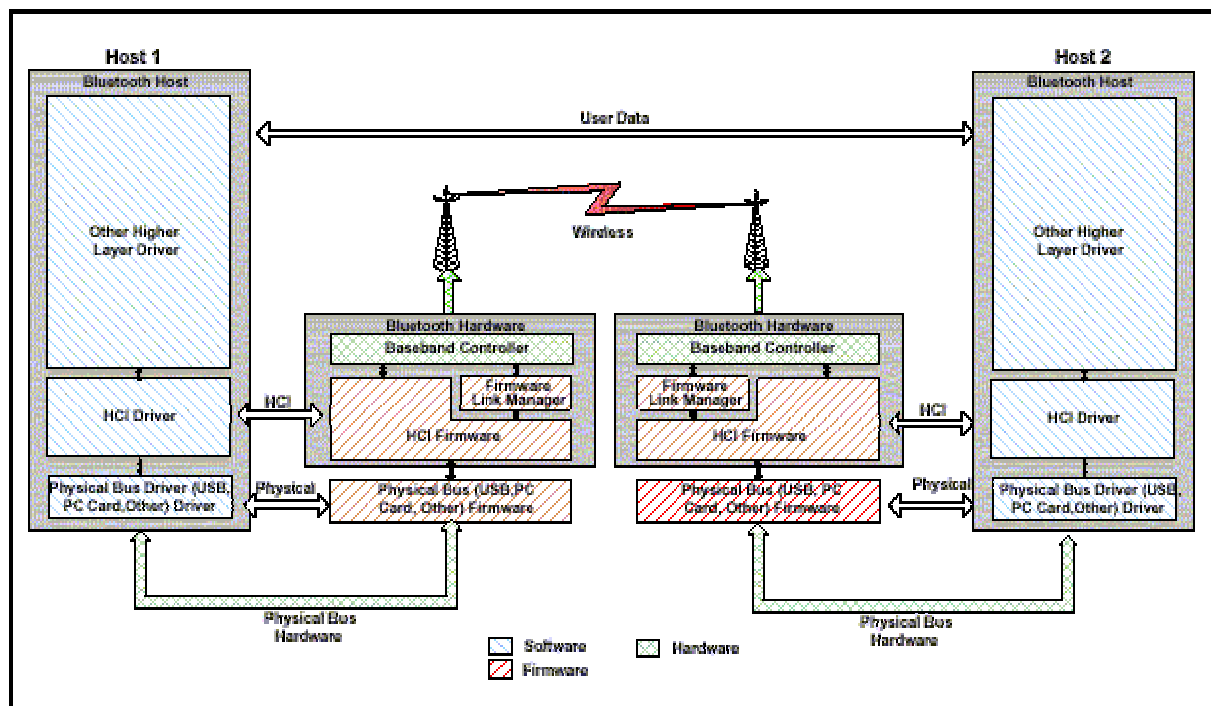
Το HCI παρέχει μία διεπαφή εντολών στους BBLC και LM καθώς και πρόσβαση στους καταλόγους ελέγχου και κατάστασης του hardware. Βασικά αυτή η διεπαφή παρέχει μία ομοιόμορφη μέθοδο πρόσβασης στις δυνατότητες του Bluetooth Baseband. Με τον όρο Host θα αναφερόμαστε εδώ στη Μονάδα Λογισμικού HCI και όχι σε κάποιο hardware και έτσι θα χρησιμοποιείται και στη συνέχεια.

Λειτουργικά, το HCI μπορεί να διασπαστεί σε 3 ξεχωριστά κομμάτια :

- Σταθερό τμήμα του λογισμικού HCI (HCI Firmware)
Το HCI Firmware βρίσκεται στον Host Controller (την καθαυτή hardware συσκευή Bluetooth) και υλοποιεί τις εντολές HCI για το hardware του Bluetooth, κάνοντας χρήση εντολών baseband, εντολών διαχειριστή ζεύξης, καταλόγων κατάστασης του hardware και καταλόγων ελέγχου.

- Πρόγραμμα οδήγησης HCI (HCI Driver)
Το πρόγραμμα οδήγησης HCI βρίσκεται στον Host (δηλαδή τη μονάδα λογισμικού). Ο Host λαμβάνει ασύγχρονες ειδοποιήσεις γεγονότων HCI και όταν ανακαλύψει ότι ένα γεγονός έχει λάβει χώρα, αναλύει με τη βοήθεια του προγράμματος οδήγησης το λαμβανόμενο πακέτο για να καθορίσει ποιο γεγονός συνέβη.
- Στρώμα Μεταφοράς του Ελεγκτή του Host (Host Controller Transport Layer)
Το Στρώμα Μεταφοράς του Host Controller χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του HCI Firmware με το HCI Driver καθώς προσδιορίζει τα διάφορα στρώματα που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ των δύο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα διαφορετικά στρώματα, εκ των οποίων 3 έχουν καθοριστεί αρχικά για το Bluetooth:τα USB, UART και RS232. Ο Host πρέπει να λαμβάνει ασύγχρονες ειδοποιήσεις γεγονότων HCI, ανεξάρτητα από το στρώμα μεταφοράς που έχει χρησιμοποιηθεί

Το παρακάτω σχήμα αναλύει παραστατικά την αρχιτεκτονική του HCI, δείχνοντας τα κομμάτια στα οποία μπορεί να διασπασθεί το τελευταίο. Στις μονάδες λογισμικού των δύο host διακρίνονται τα δύο προγράμματα οδήγησης (Host Drivers), στις μονάδες hardware των δύο συσκευών Bluetooth διακρίνονται τα τμήματα HCI Firmware καθώς και οι δύο Baseband Controllers, ενώ παριστάνονται και οι τρόποι επικοινωνίας των δύο συσκευών Bluetooth μεταξύ τους (ασύρματα) και των HCI Firmware με τους HCI Drivers μέσω του στρώματος μεταφοράς (HCTL).



Σχήμα 4.9. Επικοινωνία μέσω Bluetooth

Εντολές HCI

Ανάμεσα στην πληθώρα των εντολών HCI συμπεριλαμβάνονται και οι ακόλουθες, για τις οποίες δίνεται μία συνοπτική περιγραφή.

- Εντολές Ελέγχου Συνδέσεων HCI (HCI Link Control Commands), οι οποίες παρέχουν στον Host τη δυνατότητα να ελέγχει τις συνδέσεις του στρώματος ζεύξης με άλλες συσκευές Bluetooth. Όταν χρησιμοποιούνται οι εντολές ελέγχου συνδέσεων, ο LM ελέγχει πώς καθιερώνονται και διατηρούνται τα δίκτυα piconets και scatternets του Bluetooth.
- Εντολές Πολιτικής/Τακτικής HCI (HCI Policy Commands), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον επηρεασμό της συμπεριφοράς τοπικών και απομακρυσμένων LM. Αυτές οι εντολές παρέχουν στον Host μεθόδους επηρώσης όσον αφορά τον τρόπο διαχείρισης του piconet από τον LM.
- Εντολές Ελέγχου του Host, Εντολές Baseband, Ενημερωτικές Εντολές, καθώς και Εντολές Θέσης, οι οποίες παρέχουν στον Host πρόσβαση σε διάφορους καταλόγους στον HC.

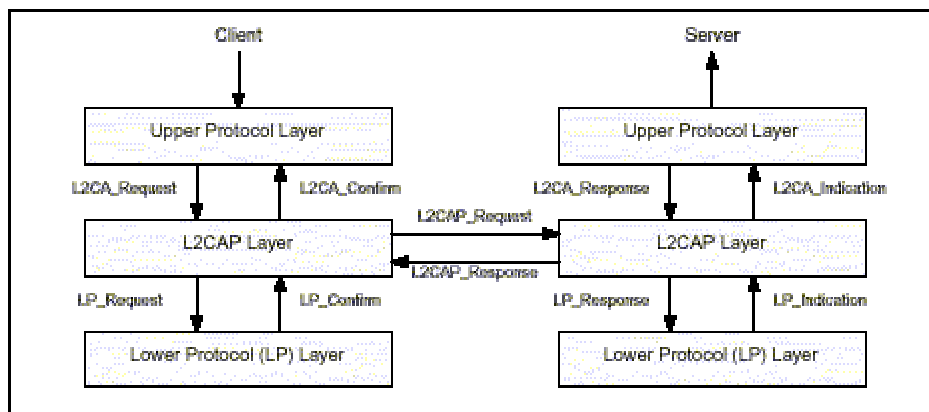
4.1.3.5 L2CAP

Το Πρωτόκολλο Ελέγχου και Προσαρμογής της Λογικής Ζεύξης (Logical Link Control and Adaptation Protocol) βρίσκεται πάνω από το πρωτόκολλο BaseBand και εντάσσεται/ανήκει στο στρώμα ζεύξης δεδομένων. Παρέχει υπηρεσίες δεδομένων τόσο με όσο και χωρίς σύνδεση σε πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων ενώ υποστηρίζει πολυπλεξία πρωτοκόλλων υψηλού επιπέδου, κατάτμηση και επανασυρμολόγηση πακέτων καθώς και μεταβίβαση πληροφοριών QoS. Εφόσον το πρωτόκολλο Baseband δεν υποστηρίζει κάποιο πεδίο “τύπου” το οποίο να αναγνωρίζει τα ανωτέρου επιπέδου πρωτόκολλα, πρέπει το L2CAP να είναι σε θέση να διακρίνει μεταξύ των πρωτοκόλλων ανωτέρων στρωμάτων όπως το SDP, το RFCOMM, και το πρωτόκολλο Ελέγχου Τηλεφωνίας.

Τα πακέτα δεδομένων που καθορίζονται από το πρωτόκολλο Baseband είναι περιορισμένου μεγέθους. Η εξαγωγή μιας Μέγιστης Μονάδας Μετάδοσης (Maximum Transmission Unit - MTU) η οποία θα συνδέεται με το μέγιστο φορτίο Baseband (341 bytes για πακέτα DH5) περιορίζει την αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης για πρωτόκολλα υψηλότερων στρωμάτων τα οποία σχεδιάζονται για να χρησιμοποιούν μεγαλύτερα πακέτα. Τα μεγάλα πακέτα L2CAP πρέπει να τεμαχίζονται σε πολλά μικρότερα πακέτα Baseband πριν από τη μετάδοσή τους. Ομοίως, τα πολλαπλά λαμβανόμενα πακέτα Baseband μπορούν να επανασυναρμολογηθούν σε ένα ενιαίο μεγαλύτερο πακέτο L2CAP μετά από έναν απλό έλεγχο ακεραιότητας. Έτσι, το L2CAP επιτρέπει

στα πρωτόκολλα και τις εφαρμογές υψηλότερων επιπέδων να εκπέμπουν και να παραλαμβάνουν πακέτα δεδομένων μήκους έως και 64 kilobyte.

Το ακόλουθο σχήμα διευκρινίζει τα γεγονότα και τις ενέργειες που εκτελούνται από μια εφαρμογή του στρώματος L2CAP. Ο Πελάτης (Client) και ο Εξυπηρετητής (Server) αντιπροσωπεύουν απλά τον εκκινών της Αίτησης (και αποδέκτη της Απόκρισης) και τον αποδέκτη της Αίτησης (και εκκινών της Απόκρισης) αντίστοιχα. Ένας Πελάτης επιπέδου εφαρμογής και θα έστελνε και θα δεχόταν Αιτήσεις. Οι Επιβεβαιώσεις (Confirmations) και οι Ενδείξεις (Indications) είναι οι αντίστοιχες απαντήσεις στις Αιτήσεις και τις Αποκρίσεις αντίστοιχα.



Σχήμα 4.10. Εφαρμογή στρώματος L2CAP

4.1.3.6 RFCOMM

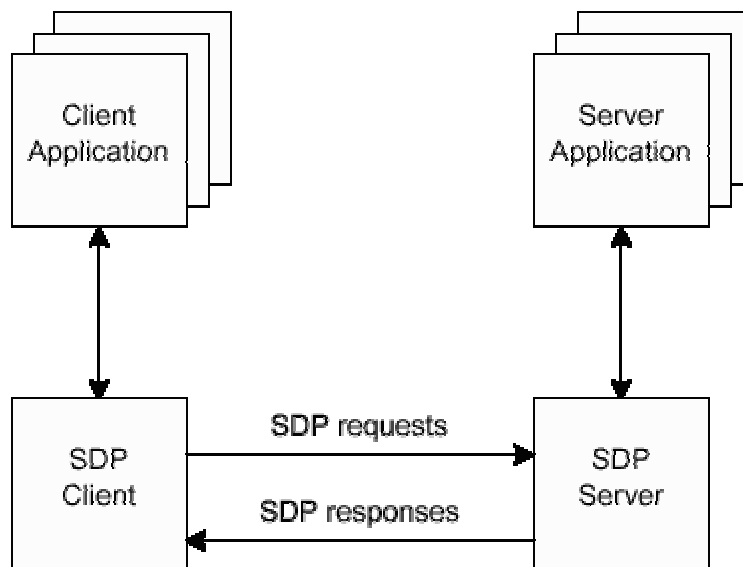
Το πρωτόκολλο RFCOMM είναι ένα απλό πρωτόκολλο μεταφοράς, το οποίο βασίζεται σε ένα υποσύνολο του προτύπου του ETSI, TS 07.10 και το οποίο εξασφαλίζει την προσομοίωση σειριακών θυρών RS232 πάνω από το πρωτόκολλο L2CAP. Πέραν του προτύπου TS 07.10, προστίθεται και μία συγκεκριμένη επέκταση υπό τη μορφή υποχρεωτικού σχεδίου ελέγχου ροής.

Το πρωτόκολλο RFCOMM υποστηρίζει μέχρι 60 ταυτόχρονες συνδέσεις μεταξύ δύο συσκευών Bluetooth. Ο αριθμός των συνδέσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα σε μια συσκευή Bluetooth εξαρτάται από την υλοποίηση. Για τους σκοπούς του RFCOMM, μια πλήρης πορεία επικοινωνίας περιλαμβάνει δύο εφαρμογές που τρέχουν σε διαφορετικές συσκευές (σημεία τέλους της επικοινωνίας, όπως είναι οι υπολογιστές και οι εκτυπωτές) με ένα επικοινωνιακό κομμάτι/τμήμα μεταξύ τους (όπως είναι το modem).

4.1.3.7 SDP

Το Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Υπηρεσιών (Service Discovery Protocol) είναι ένα απλό πρωτόκολλο το οποίο παρέχει τα μέσα στις εφαρμογές για να ανακαλύψουν ποιες υπηρεσίες παρέχονται από μια συσκευή Bluetooth. Επιτρέπει επιπλέον στις εφαρμογές να καθορίσουν τα χαρακτηριστικά αυτών των διαθέσιμων υπηρεσιών· δεν καθορίζει παρόλα αυτά μεθόδους πρόσβασης σε αυτές τις υπηρεσίες. Άπαξ και οι υπηρεσίες ανακαλυφθούν, μπορούν να προσεγγισθούν ποικιλοτρόπως, ανάλογα με την υπηρεσία.

Το SDP χρησιμοποιεί ένα μοντέλο αίτησης/απόκρισης όπου κάθε συναλλαγή αποτελείται από μια PDU αίτησης και μία PDU απόκρισης. Στην περίπτωση που το SDP χρησιμοποιείται με το πρωτόκολλο μεταφοράς L2CAP του Bluetooth, ένας πελάτης θα πρέπει να περιμένει να λάβει απόκριση σε κάθε αίτηση προτού εκδώσει νέα αίτηση στην ίδια σύνδεση L2CAP. Αυτός ο περιορισμός παρέχει μια απλή μορφή ελέγχου ροής. Πέραν όμως των δύο αυτών PDU, υπάρχει και μια τρίτη, η PDU λάθους, την οποία στέλνει ο εξυπηρετητής στην περίπτωση που κρίνει ότι για τον οποιονδήποτε λόγο δεν μπορεί να στείλει PDU απόκρισης. Το μοντέλο αίτησης απόκρισης δίνεται σχηματικά παρακάτω (Σχήμα 4.11):



Σχήμα 4.11. Μοντέλο αίτησης - απόκρισης

Κάθε SDP PDU αποτελείται από μια επικεφαλίδα PDU η οποία ακολουθείται από συγκεκριμένες PDU παραμέτρους. Η επικεφαλίδα περιέχει τρία πεδία:

- Το πεδίο **PDU ID** προσδιορίζει τον τύπο του PDU, δηλαδή την έννοιά του και τις συγκεκριμένες παραμέτρους αυτού
- Το πεδίο **TransactionID** προσδιορίζει μοναδικά τις αιτήσεις PDU και χρησιμοποιείται για το ταίριασμα των αποκρίσεων PDU στις αιτήσεις PDU
- Το πεδίο **ParameterLength** καθορίζει το μήκος (σε bytes) όλων των παραμέτρων που περιλαμβάνονται στο PDU

Το πρωτόκολλο SDP μπορεί να λειτουργήσει τόσο πάνω από αξιόπιστες όσο και πάνω από αναξιόπιστες μεταφορές πακέτων, εφόσον πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Σε περιβάλλοντα Bluetooth απαιτείται ένα συγκεκριμένο Πρωτόκολλο Ανακαλύψης Υπηρεσιών, καθώς το σύνολο των υπηρεσιών που είναι διαθέσιμες αλλάζει δυναμικά βάση της RF εγγύτητας των συσκευών εν κινήσει, διαδικασία η οποία είναι ποιοτικά διαφορετική από την ανακάλυψη υπηρεσιών σε παραδοσιακά βασισμένα σε δίκτυα περιβάλλοντα. Το SDP που καθορίζεται στην προδιαγραφή Bluetooth απευθύνεται στα μοναδικά δυναμικά χαρακτηριστικά αυτού του περιβάλλοντος.

4.1.3.8 Λοιπά Πρωτόκολλα

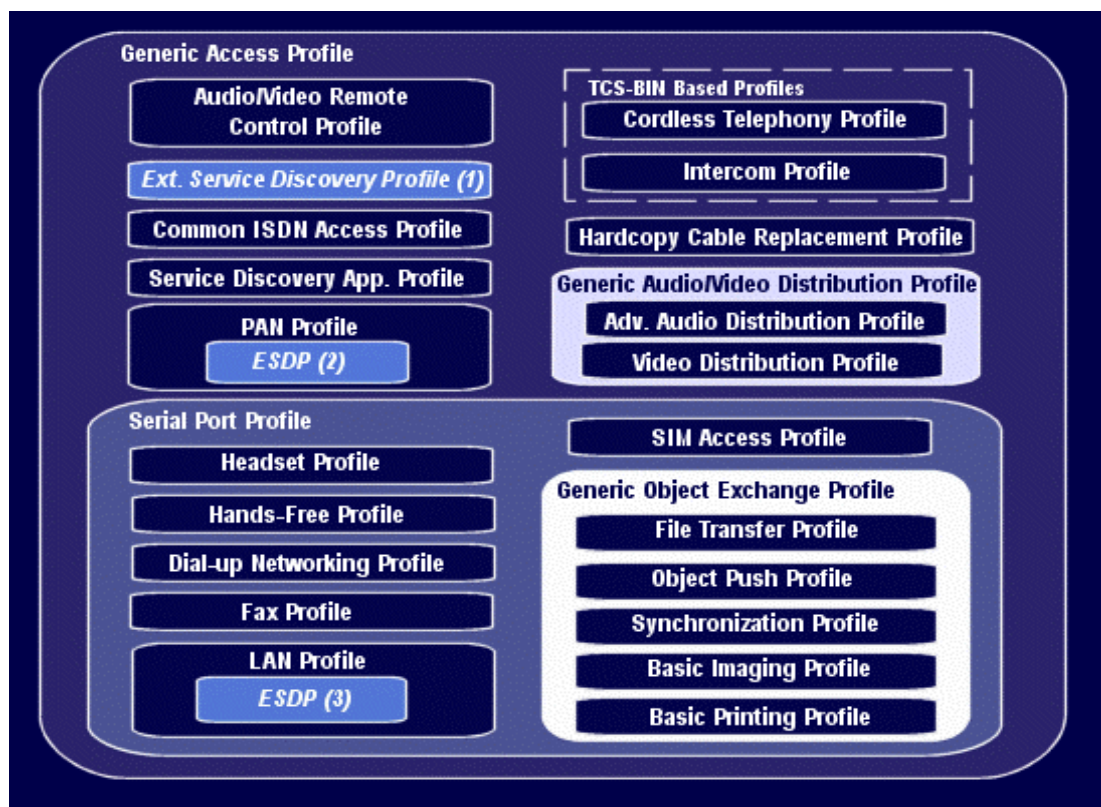
- Πρωτόκολλο Ελέγχου Τηλεφωνίας (Telephony Control Protocol - TCP): Καθορίζει τη σήμανση του ελέγχου κλήσης για την καθιέρωση της κλήσης (φωνητικών και μη δεδομένων) μεταξύ συσκευών Bluetooth. Οι εντολές AT παρέχουν τα μέσα για τον έλεγχο κινητού τηλεφώνου ή modem.
- Πρωτόκολλο Ανταλλαγής Αντικειμένων (Object Exchange - OBEX): Είναι ένα πρωτόκολλο συνόδου που παρέχει τα μέσα για απλή και αυθόρμητη μεταφορά αντικειμένων και δεδομένων, ώντας ανεξάρτητο από το μηχανισμό μεταφοράς.
- Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol - TCP) / Πρωτόκολλο Δεδομενογραφημάτων Χρήστη (User Datagram Protocol - UDP) / Πρωτόκολλο Ίντερνετ (Internet Protocol - IP): καθορίζονται για να λειτουργούν σε μονάδες Bluetooth, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν με άλλες μονάδες που συνδέονται, παραδείγματος χάριν, με το Διαδίκτυο.
- Πρωτόκολλο από Σημείο σε Σημείο (Point to Point Protocol - PPP): Σχεδιάστηκε για τη λειτουργία πάνω από το RFCOMM με σκοπό να ολοκληρώνει τις από σημείο σε σημείο συνδέσεις. Πρέπει να χρησιμοποιεί τους σειριακούς μηχανισμούς του για να μετατρέπει τη ροή των πακέτων δεδομένων σε σειριακή ροή δεδομένων.
- Πρωτόκολλο Ασύρματης Εφαρμογής (Wireless Application Protocol - WAP): μπορεί να βρίσκεται πάνω από το RFCOMM (βασισμένο στο προφίλ πρόσβασης σε LAN) ή πάνω από το L2CAP, με το δεύτερο να φαντάζει ως η προτιμότερη λύση για WAP πάνω από Bluetooth

4.1.4. Προφίλ

Η Ομάδα Ειδικού Ενδιαφέροντος του Bluetooth έχει καθορίσει διάφορα μοντέλα χρήσης για την τεχνολογία αυτή. Αυτά περιγράφουν τις κύριες εφαρμογές Bluetooth και τις προοριζόμενες συσκευές, π.χ. το συγχρονισμό μεταξύ μιας φορητής συσκευής και ενός PC, και την ασύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας ένα κινητό τηλέφωνο ή έναν ασύρματο μόντεμ.

Τα προφίλ ορίζουν το πώς παρέχεται η διαλειτουργική λύση για τις λειτουργίες που περιγράφονται στα μοντέλα χρήσης, ή πιο απλά καθορίζουν τα πρωτόκολλα και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των πρωτοκόλλων που υποστηρίζουν ένα συγκεκριμένο μοντέλο χρήσης. Με άλλα λόγια, τα προφίλ περιγράφουν το πώς χρησιμοποιείται η τεχνολογία, δηλαδή πώς τα διαφορετικά μέρη της προδιαγραφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκπληρώσουν μια επιθυμητή λειτουργία για μια συσκευή Bluetooth.

Κάθε συσκευή Bluetooth μπορεί να υποστηρίζει ένα ή περισσότερα προφίλ. Μερικά προφίλ εξαρτώνται από άλλα: ένα προφίλ εξαρτάται από ένα άλλο εάν επαναχρησιμοποιεί μέρη εκείνου του προφίλ, παραπέμποντας σε αυτά άμεσα ή έμμεσα. Τα προφίλ της προδιαγραφής Bluetooth v1.1 καθώς και η αλληλεξάρτηση μεταξύ αυτών παρουσιάζονται στο σχήμα 4.12. Τρία προφίλ (τα προφίλ Μεταφοράς Αρχείων, Ώθησης Αντικειμένων και Συγχρονισμού) εξαρτώνται από το Γενικό Προφίλ Ανταλλαγής Αντικειμένων. Όλα τα προφίλ εξαρτώνται από το Γενικό Προφίλ Πρόσβασης, δηλαδή το επαναχρησιμοποιούν. Η εξάρτηση αυτή απεικονίζεται στο σχήμα: ένα προφίλ εξαρτάται από αυτό στο οποίο συμπεριλαμβάνεται - άμεσα και έμμεσα.



Σχήμα 4.12. Στοιβά υποστηριζόμενων προφίλ στο Bluetooth

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μια σύντομη περιγραφή των τεσσάρων γενικών προφίλ της προδιαγραφής 1.1 καθώς και κάποιων υπολοίπων προφίλ που προσανατολίζονται στα μοντέλα χρήσης.

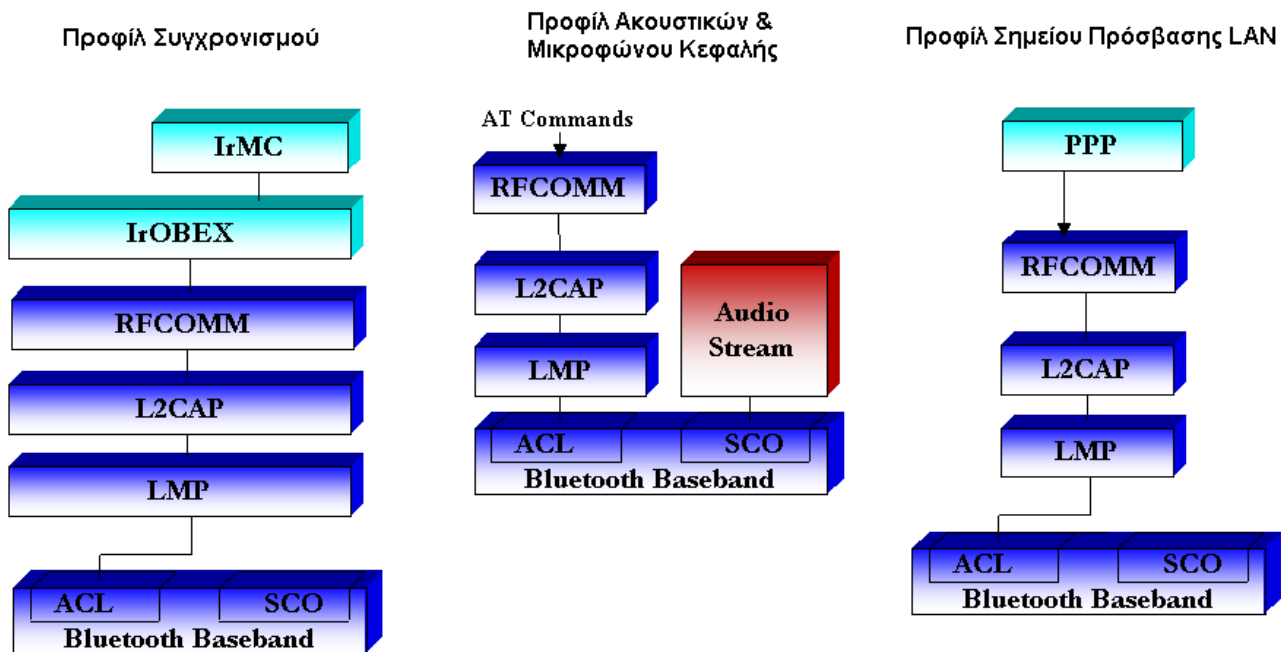
- Προφίλ Γενικής Πρόσβασης (Generic Access Profile): Καθορίζει τις γενικές διαδικασίες, τις σχετικές με την ανακάλυψη συσκευών Bluetooth και τις πτυχές διαχείρισης της ζεύξης για τη σύνδεση με τις συσκευές αυτές. Καθορίζει επίσης τις διαδικασίες τις σχετικές με τη χρήση διαφορετικών επιπέδων ασφάλειας. Επιπλέον, αυτό το προφίλ περιλαμβάνει κοινές απαιτήσεις τυποποίησης για τις παραμέτρους τις προσιτές στο επίπεδο διεπαφής με τον χρήστη. Κάθε συσκευή Bluetooth πρέπει να υποστηρίζει το προφίλ αυτό.
- Προφίλ Εφαρμογής Ανακάλυψης Υπηρεσιών (Service Discovery Application Profile): Καθορίζει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τις διαδικασίες που απαιτούνται από μια εφαρμογή σε μια συσκευή Bluetooth για την ανακάλυψη των υπηρεσιών μιας άλλης συσκευής Bluetooth.
- Προφίλ Σειριακής Θύρας (Serial Port Profile): Καθορίζει τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν οι συσκευές Bluetooth, τις απαραίτητες για την εγκατάσταση εξομοιωμένων συνδέσεων σειριακών καλωδίων, κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου RFCOMM μεταξύ δύο εφάμιλλων συσκευών.
- Προφίλ Γενικής Ανταλλαγής Αντικειμένων (Generic Object Exchange Profile): Καθορίζει τα πρωτόκολλα και τις διαδικασίες που θα χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές που απαιτούν δυνατότητες ανταλλαγής αντικειμένων. Πιθανά τέτοια σενάρια είναι ο συγχρονισμός και η μεταφορά αρχείων.
- Προφίλ Ασύρματης Τηλεφωνίας και Προφίλ Ενδοσυνεννόησης (Cordless Telephony Profile and Intercom Profile): Καθορίζουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τις διαδικασίες που απαιτούνται για διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών μονάδων τηλεφωνίας. Το Προφίλ Ασύρματης Τηλεφωνίας χρησιμοποιείται όταν το τηλέφωνο συνδέεται σε έναν σταθμό βάσης σταθερού δικτύου τηλεφωνίας μέσω Bluetooth, ενώ το Προφίλ Ενδοσυνεννόησης παρέχει τα μέσα για την αποκαλούμενη "walkie-talkie" χρήση μεταξύ τηλεφώνων Bluetooth.
- Προφίλ Διαδικτύωσης Dial Up (Dial-Up Networking Profile): Περιγράφει τη χρήση κινητών τηλεφώνων ή modem από υπολογιστή ως ασύρματο modem για τη λήψη κλήσεων, για τη σύνδεση στο διαδίκτυο ή για τη χρησιμοποίηση άλλων υπηρεσιών dial-up.

- Προφίλ Φαξ (Fax Profile): Καθορίζει πώς ένας υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα κινητό τηλέφωνο Bluetooth ή ένα modem ως ασύρματο φαξ-modem για την αποστολή και τη λήψη μηνυμάτων fax.
- Προφίλ Ακουστικών & Μικροφώνου Κεφαλής (Headset Profile): Καθορίζει τις απαιτήσεις των συσκευών Bluetooth για την υποστήριξη των ακουστικών και του μικροφώνου. Τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές.
- Προφίλ Πρόσβασης σε LAN (LAN Access Profile): Καθορίζει πως οι συσκευές Bluetooth μπορούν να έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες ενός τοπικού δικτύου χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο PPP (Από Σημείο Σε Σημείο - Point to Point Protocol) πάνω από το RFCOMM και πώς οι ίδιοι μηχανισμοί PPP χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση ενός δικτύου που αποτελείται από δύο συσκευές Bluetooth
- Προφίλ Μεταφοράς Αρχείων (File Transfer Profile): Καλύπτει τα σενάρια που επιτρέπουν στο χρήστη να κοιτάξει και να επέμβει σε αντικείμενα (αρχεία και φακέλους) στο σύστημα αρχείων μιας άλλης συσκευής Bluetooth και να μεταφέρει αντικείμενα μεταξύ δύο συσκευών Bluetooth. Οι πιο κοινές εν λόγω συσκευές είναι φορητοί υπολογιστές και PDAs.
- Προφίλ Ώθησης Αντικειμένων (Object Push Profile): Καλύπτει τα σενάρια που επιτρέπουν στους χρήστες να ωθήσουν, να τραβήξουν, και να ανταλλάξουν απλά αντικείμενα όπως οι επιχειρησιακές κάρτες μεταξύ δύο συσκευών Bluetooth όπως PCs, PDAs, και κινητά τηλέφωνα.
- Προφίλ Συγχρονισμού (Synchronization Profile): Το προφίλ συγχρονισμού καλύπτει τα ακόλουθα σενάρια: Ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών και αυτόματου συγχρονισμού των δεδομένων (π.χ. στοιχεία ημερολογίου). Ο συγχρονισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταξύ PDAs και κινητών τηλεφώνων.

Αρχικά, η προδιαγραφή Bluetooth περιελάμβανε δεκατρία προφίλ. Για να εξασφαλιστεί όμως η διαλειτουργικότητα σε πολλούς τομείς εφαρμογών, οι ομάδες εργασίας του Bluetooth SIG όρισαν και νέα. Από αυτά, το πλέον κοντινό στις δικές μας απαιτήσεις είναι το Προφίλ Ανθρώπινης Διεπαφής με τη Συσκευή (Human Interface Device Profile).

- Προφίλ Ανθρώπινης Διεπαφής με τη Συσκευή: Καθορίζει τη χρήση ασύρματων πληκτρολογίων, δεικτών, κονσολών παιχνιδιών καθώς και συσκευών ελέγχου - παρακολούθησης εξ αποστάσεως.

Τα προϊόντα Bluetooth υποστηρίζουν διαφορετικά σεντ προφίλ. Προκειμένου να υποστηρίζεται ένα συγκεκριμένο προφίλ, πρέπει να υποστηρίζονται / παρέχονται τα υποχρεωτικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτού. Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 4.13) παρουσιάζονται τρία από τα προαναφερθέντα προφίλ (Προφίλ Συγχρονισμού, Ακουστικών & Μικροφώνου Κεφαλής, Πρόσβασης σε LAN) με τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί καθένα από αυτά:



Σχήμα 4.13. Προφίλ Συγχρονισμού, Headset και Πρόσβασης σε LAN

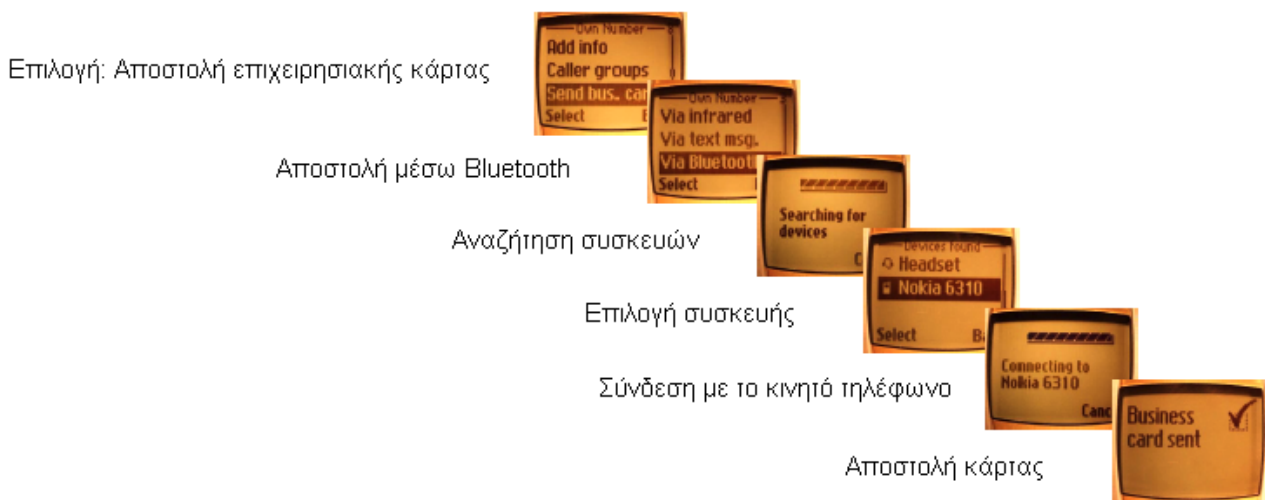
4.1.5 Διαδικασία Εγκατάστασης Σύνδεσης

Για να μπορέσουν δύο συσκευές να επικοινωνήσουν με Bluetooth, δεν αρκεί απλά να υπάρχει ένα chip εγκατεστημένο στην κάθε συσκευή, το οποίο και να είναι ενεργοποιημένο (αν και ο βασικός σχεδιασμός του Bluetooth εξασφαλίζει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος, η λειτουργικότητα μπορεί να έχει απενεργοποιηθεί (π.χ κατά την απογείωση αεροπλάνου)). Δύο πολύ βασικές λεπτομέρειες που πρέπει να προσεχθούν είναι ότι πρέπει και στις δύο συσκευές να υπάρχει το αντίστοιχο/σχετικό προφίλ και ότι οι δύο συσκευές που θέλουμε να επικοινωνήσουν έχουν ταιριαστεί μεταξύ τους.

Έτσι, για τη σύνδεση ενός κινητού τηλεφώνου με ασύρματα ακουστικά και μικρόφωνο, πρέπει και οι δύο συσκευές να υποστηρίζουν το προφίλ Headset, το οποίο είναι το μεσαίο του σχήματος 4. Για την εκτύπωση από ένα κινητό τηλέφωνο, πρέπει τόσο το κινητό όσο και ο εκτυπωτής να υποστηρίζουν το Βασικό Προφίλ Εκτύπωσης (Basic Printing Profile). Όσον αφορά το ταίριασμα, αυτό γίνεται μόνο μια φορά στην αρχή, πριν την ανταλλαγή δεδομένων, για λόγους ασφάλειας, με την ανταλλαγή προστατευμένων κλειδιών. Άπαξ και γίνει το ταίριασμα, όλες οι πληροφορίες που μεταδίδονται είναι κρυπτογραφημένες.

4.1.6 Εφαρμογές – Σενάρια χρήσης

Κάποιες από τις πιθανές εφαρμογές του Bluetooth εξετάστηκαν κατά την περιγραφή της στοίβας των πρωτοκόλλων αυτού και των προφίλ του. Έτσι, είδαμε για παράδειγμα ότι ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή αντικειμένων όπως είναι οι επιχειρησιακές κάρτες ή τα στοιχεία ημερολογίου, να χρησιμοποιηθεί ως modem για dial-up σύνδεση με το διαδίκτυο ή για αποστολή φαξ καθώς και για μια πλειάδα άλλων εφαρμογών. Η διαδικασία αποστολής επιχειρησιακών καρτών μέσω Bluetooth καθώς και τρία από τα πιθανά σενάρια χρήσης αυτού, με τα πλεονεκτήματά τους απεικονίζονται στα σχήματα 4.14 και 4.15



Σχήμα 4.14. Αποστολή Επιχειρησιακής κάρτας μέσω Bluetooth



Σχήμα 4.15. Σενάρια χρήσης Bluetooth

Φυσικά οι εφαρμογές του Bluetooth δεν περιορίζονται εδώ. Όσο η ανάγκη για αυτοματοποίηση διαδικασιών γίνεται πιο έντονη, τόσο περισσότερες και ευφυέστερες θα είναι οι υπηρεσίες που θα προσφέρουν προδιαγραφές όπως το Bluetooth. Σα μελλοντική εφαρμογή για παράδειγμα, δε θα πρέπει να αποκλείσουμε “έξυπνα” ψυγεία τα οποία θα επικοινωνούν με Bluetooth με τους προσωπικούς μας υπολογιστές, ενημερώνοντάς μας για την επάρκεια των αποθεμάτων.

4.1.7 Οικονομικά Μεγέθη: Παρόν & Μέλλον

Η αγορά ημιαγωγών Bluetooth έχει σημειώσει μεγάλη και σταθερή (ποιοτικά) πρόοδο παρά τις παγκόσμιες οικονομικές διακυμάνσεις. Οι τελικές ανά τον κόσμο αποστολές chip Bluetooth του 2002 ήταν 35,8 εκατομμύρια μονάδες, σημειώθηκε δηλαδή μια αύξηση 245% σε σχέση με το 2001. Φυσικά, καθώς το μέγεθος της αγοράς αυτής αυξάνεται και ωριμάζει, τα ποσοστά αύξησης θα μειωθούν. Υπολογίζεται ότι οι μονάδες chip Bluetooth θα εκτοξευθούν από τα 35,8 εκατομμύρια στα 575 εκατομμύρια από το 2002 ως το 2007, (πενταετής σύνθετο ετήσιο ποσοστό αύξησης 74%), ενώ εν τω μεταξύ, το εισόδημα από την αγορά πυριτίου θα ανέλθει στα \$1,7 δισεκατομμύρια το 2007.

4.1.8 Αναφορές

<http://www.bluetooth.com>

<http://www.palowireless.com/bluetooth/>

<http://www.nokia.com/>

<http://www.forum.nokia.com/main/>

- Bluetooth Technology Overview Version 1.0
- Specification For Nokia 6310 Bluetooth Applications

<http://www.ericsson.com/bluetooth/>

<http://www.motorola.com/bluetooth>

<http://www.bluetooth.toshiba.com>

Dr. Chatschik Bisdikian. Bluetooth Architecture Overview

Source: Market Research Report: Bluetooth 2003: Are PMGs Another Driver?

4.1.9 Χρήσιμες Δημοσιεύσεις:

N. Sriskanthan*, F. Tan, A. Karande. School of Computer Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, Singapore, Singapore 639798. Bluetooth based home automation system. *Microprocessors and Microsystems* 26 (2002) 281–289

Joakim Persson, Ben Smeets. Ericsson Mobile Communications AB, Ericsson Research. Bluetooth Security — An Overview. *Information Security Technical Report*, Vol 5, No. 3 (2000) 32-43.

Naveen Erasala, David C. Yen. Department of Decision Sciences and Management Information System, Miami University, Oxford, OH 45056, USA. Bluetooth technology: a strategic analysis of its role in global 3G wireless communication era. *Computer Standards & Interfaces* 24 (2002) 193–206

Bluetooth, wireless mobile computing, eBooks. *Computer Standards & Interfaces* 24 (2002) 189–191

Thomas Keil. Institute of Strategy and International Business, Helsinki University of Technology, P.O. Box 9500, FIN-02015 Hut, Finland. De-facto standardization through alliances—lessons from Bluetooth. *Telecommunications Policy* 26 (2002) 205–213

Kristina Eneroth, Allan Malm. Lund University, Sweden. Knowledge Webs and Generative Relations: A Network Approach to Developing Competencies. *European Management Journal* Vol. 19, No. 2, pp. 174–182, 2001

Yun Wu, Terence D. Todd,* and Shahram Shirani. Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster University, Hamilton, Ont., Canada. SCO link sharing in Bluetooth voice access networks. *J. Parallel Distrib. Comput.* 63 (2003) 45–57

Richard Barber. Security in a Mobile World – is Bluetooth the Answer?. *Computers & Security*, 20 (2001) 374-379

4.2 HiperLANs (High Performance Radio Local Area Networks)

4.2.1 Εισαγωγή

Η εργασία του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακής Προτυποποίησης ETSI (European Telecommunications Standardization Institute) πάνω στα ιδιωτικά και επιχειρησιακά ασύρματα δίκτυα εκπομπής και λήψης, γνωστή με το γενικό όνομα HiperLANs (High Performance Radio Local Area Networks) ξεκίνησε στα τέλη του 1991. Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής ήταν η λειτουργική προδιαγραφή EN 300 652 του HiperLAN τύπου 1. Η επόμενη έκδοση του προτύπου αυτού, το HiperLAN 2 αποτέλεσε την προσπάθεια ανάπτυξης ενός προτύπου για ασύρματα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης και η πρώτη έκδοση αυτού έγινε τον Απρίλιο του 2000.

4.2.2 HiperLAN 1 (High Performance Radio Local Area Network Type 1)

4.2.2.1 Σύνοψη για το HiperLAN 1

Το HiperLAN τύπου 1 είναι ένα πρότυπο ασύρματης εκπομπής και λήψης για δίκτυα LAN. Σκοπός του προτύπου αυτού είναι η δημιουργία εύκαμπτων ασύρματων δικτύων δεδομένων, απαλλαγμένων από την ανάγκη υπάρχουσας ενσύρματης υποδομής· μπορεί παρόλα αυτά να χρησιμοποιηθεί ως προέκταση ενσύρματων τοπικών δικτύων.

4.2.2.2 Γενικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του HiperLAN 1

Το πρότυπο HiperLAN 1 έχει σχεδιαστεί για την υψηλών ταχυτήτων (μέχρι και 20 Mbits/sec) επικοινωνία μεταξύ φορητών συσκευών στην κλίμακα των 5 GHz. Στην Ευρώπη, συσκευές που κάνουν χρήση του προτύπου αυτού μπορούν να λειτουργήσουν στην μπάντα συχνοτήτων 5.15 – 5.30 GHz, βάση της σύστασης T/R 22-06 της επιτροπής CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)/ European Radiocommunication Committee). Στην μπάντα αυτή μπορούν να εξυπηρετηθούν έως και 5 κανάλια. Τα κανάλια 0,1 και 2 είναι τα υποχρωμικά κανάλια προεπιλογής, ενώ η διαθεσιμότητα των καναλιών 3 και 4 υπόκειται στην εθνική διαχείριση. Το HiperLAN 1 είναι επίσης συμβατό με τον καθορισμό υπηρεσιών ISO/IEC 15802-1 MAC καθώς και με την προδιαγραφή γεφυρών ISO/IEC 15802-3 MAC.

Το HiperLAN 1 έχει τη δυνατότητα να παρέχει κάλυψη πέραν των περιορισμών του εύρους ενός κόμβου, ενώ υποστηρίζει και την κινητικότητα των κόμβων. Εφικτή είναι επιπλέον και η υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων.

Οι προδιαγραφές του HiperLAN 1 καλύπτουν το φυσικό στρώμα, PHY, και το στρώμα MAC, δηλαδή τα στρώματα 1 και 2 του μοντέλου OSI. Το στρώμα MAC περιλαμβάνει τις διοικητικές λειτουργίες του HiperLAN όπως τη διατήρηση των πληροφοριών της τοπολογίας του δικτύου, τις λειτουργίες ελέγχου συσκευών, και τις λειτουργίες ελέγχου πρόσβασης των καναλιών, CAC (Channel Access Control).

4.2.2.3 Φυσικό στρώμα

Τα μεταδιδόμενα δεδομένα περιέχουν έναν αριθμό bits χαμηλού ρυθμού, διαμορφωμένων κατά FSK, καθώς και μια ροή bit GMSK υψηλού ρυθμού, περιλαμβάνοντας μια ακολουθία συγχρονισμού/κατάρτισης των 450 bit και μπλοκ δεδομένων των 496 bit, κωδικοποιημένων κατά BCH(31,26). Ο ρυθμός σήμανσης για υψηλού ρυθμού μετάδοση φτάνει τα 23.5 Mbit/sec.

4.2.2.4 Στρώμα CAC

Ως μέθοδος πρόσβασης των καναλιών χρησιμοποιείται η EY-NPMA (Elimination Yield Non-Pre-emptive priority Multiple Access) με μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτής προαιρετικά, επιτρέποντας κανονικές ή εμπλουτισμένες εφαρμογές. Η NPMA λειτουργεί με κυκλική πρόσβαση των καναλιών, περιλαμβάνοντας σε σειρά τις φάσεις του καθορισμού προτεραιοτήτων, του ανταγωνιστικού διαχωρισμού και της μετάδοσης στοιχείων. Η υποστήριξη των εφαρμογών πολυμέσων είναι δυνατή χάρη στο μηχανισμό καθορισμού προτεραιοτήτων του EY-NPMA.

4.2.3 HiperLAN 2 (High Performance Radio Local Area Network Type 2)

4.2.3.1 Σύνοψη

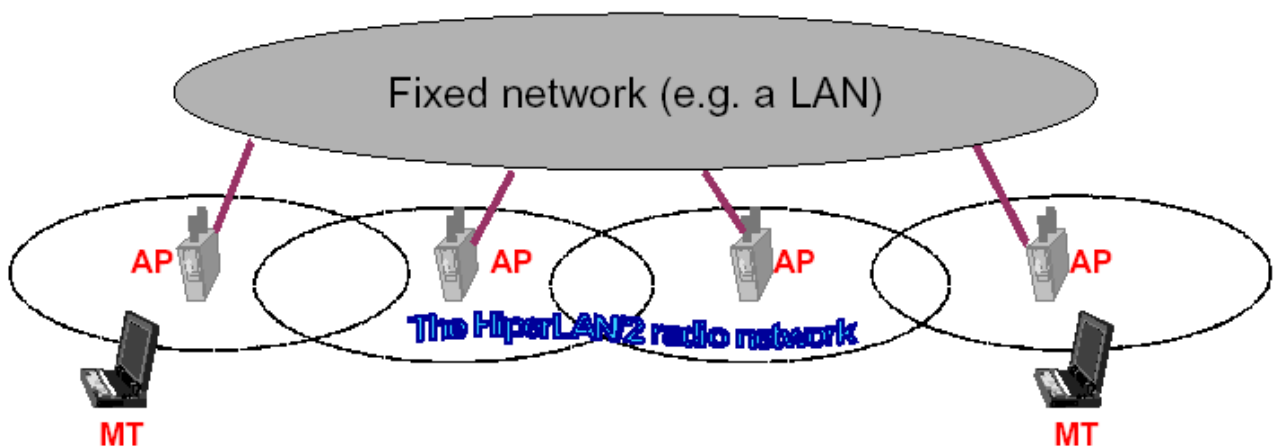
Το πρότυπο HiperLAN 2 αποτέλεσε την προσπάθεια του ερευνητικού έργου BRAN (Broadband Radio Access Networks) (Ευρείας Ζώνης Δίκτυα Ασύρματης Πρόσβασης)- το οποίο υπάγεται στο Ινστιτούτο ETSI- ανάπτυξης ενός προτύπου για υψηλής ταχύτητας ασφαλή ασύρματη πρόσβαση σε ευρείας ζώνης δίκτυα· αποτελεί δε ορόσημο στην ανάπτυξη μιας συνδυασμένης τεχνολογίας για ευρυζωνικές κυψελοειδείς περιορισμένου φάσματος επικοινωνίες και ασύρματων τοπικών δικτύων (LANs) που θα παρέχουν απόδοση συγκρίσιμη με αυτήν ενσύρματων LANs.

4.2.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά

Το HiperLAN 2 αναπτύχθηκε για την παροχή πρόσβασης υψηλής ταχύτητας (έως και 54 Mbit/s στο φυσικό στρώμα) σε μια πληθώρα δικτύων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται δίκτυα ATM καθώς και κεντρικά δίκτυα κινητών τρίτης γενιάς, για χρήση ως συμπληρωματικός μηχανισμός πρόσβασης σε συστήματα UMTS, αλλά και για ιδιωτική χρήση ως ασύρματο σύστημα LAN. Το πρότυπο αυτό επιτρέπει την αλληλοσύνδεση με σχεδόν οποιαδήποτε τεχνολογία σταθερών δικτύων, γεγονός το οποίο το καθιστά ικανό για σύνδεση για παράδειγμα κινητών ή φορητών συσκευών (π.χ φορητών υπολογιστών) σε κάποιο σταθερό σημείο πρόσβασης. Το διαθέσιμο φάσμα και για αυτό το πρότυπο, όπως και για την προγενέστερη έκδοσή του είναι στη ζώνη των 5 GHz και η τρέχουσα κατανομή του φάσματος στη ζώνη αυτή περιλαμβάνει 455 MHz στην Ευρώπη (5.15-5.35 GHz και 5.470-5.725 GHz), 300 MHz στις ΗΠΑ (5.15-5.35 GHz και 5.725-5.825 GHz), και 100 MHz στην Ιαπωνία (5.15-5.25 GHz).

Οι βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μετάδοση διαφορετικών τύπων πληροφορίας, όπως φωνής, βίντεο ή άλλων δεδομένων, το οποίο καθίσταται εφικτό λόγω της υποστήριξης διαφορετικής αλλά πάντα αποδεκτής ποιότητας υπηρεσιών (QoS) για διαφορετικές συνδέσεις.

Μία τυπική τοπολογία δικτύου HiperLAN 2 είναι αυτή που απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 4.16. Τυπική τοπολογία δικτύου HiperLAN2

Τα κινητά τερματικά επικοινωνούν με τα σημεία πρόσβασης μέσω της διεπαφής που ορίζει το πρότυπο. Ο χρήστης του κινητού τερματικού μπορεί να κινείται ελεύθερα εντός του δικτύου, το οποίο θα εξασφαλίζει βέλτιστη ποιότητα εκπομπής. Τα κινητά τερματικά επικοινωνούν με ένα σημείο πρόσβασης κάθε φορά, ενώ τα σημεία πρόσβασης φροντίζουν ώστε το ασύρματο δίκτυο να είναι αυτόματα σχηματισμένο, λαμβάνοντας υπόψη τις όποιες αλλαγές στην τοπολογία αυτού, ώστε να μην υπάρχει η ανάγκη για χειρωνακτικό προγραμματισμό των συχνοτήτων.

4.2.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το HiperLAN 2 στηρίζεται στο συνδυασμό δύο τοπολογιών δικτύωσης: μίας ειδικής και μίας κυψελοειδής. Υποστηρίζει δε δύο βασικούς τρόπους λειτουργίας: τον συγκεντρωμένο και τον άμεσο. Ο συγκεντρωμένος τρόπος χρησιμοποιείται στην κυψελοειδή τοπολογία δικτύωσης όπου κάθε ραδιο - κυψέλη ελέγχεται από ένα σημείο πρόσβασης που καλύπτει μια ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Σε αυτόν τον τρόπο, ένα κινητό τερματικό επικοινωνεί με άλλα κινητά τερματικά ή με το κεντρικό δίκτυο μέσω ενός σημείου πρόσβασης. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται κυρίως στις επιχειρησιακές εφαρμογές, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε υπαίθριους χώρους, όπου απαιτείται η κάλυψη μιας περιοχής πολύ μεγαλύτερης από μία ραδιο - κυψέλη. Ο άμεσος τρόπος χρησιμοποιείται στην ειδική τοπολογία δικτύωσης, κυρίως σε τυπικά ιδιωτικά οικογενειακά περιβάλλοντα, όπου μία ραδιο κυψέλη καλύπτει ολόκληρη την προς εξυπηρέτηση περιοχή. Σε αυτόν τον τρόπο, τα κινητά τερματικά σε ένα οικιακό δίκτυο μιας και μόνο κυψέλης μπορούν άμεσα να ανταλλάσσουν δεδομένα.

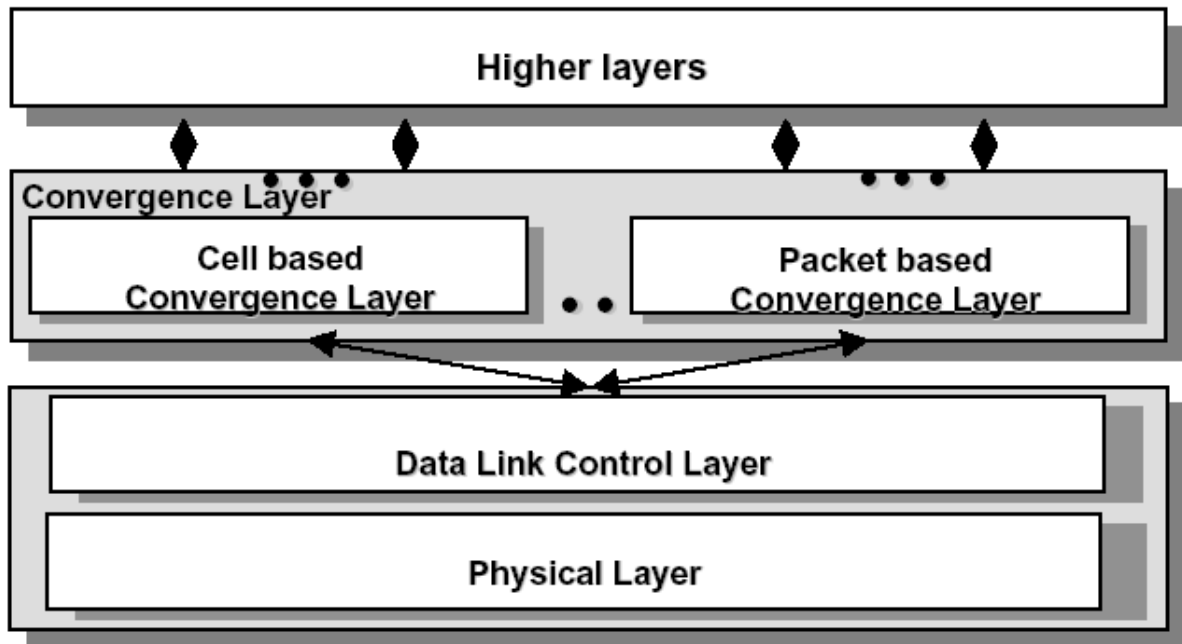
Για τη μείωση τόσο του κόστους όσο και των παρεμβολών, υποστηρίζονται οι κεραίες με τομείς (των 60° ή των 120°) ενώ καθορίζεται και ένα σετ πρωτοκόλλων για την παροχή υποστήριξης σε έναν αριθμό υπηρεσιών όπως είναι η δυναμική επιλογή συχνότητας (DFS), η προσαρμογή των ζεύξεων και ο έλεγχος ισχύος.

Οι υποστηριζόμενες λειτουργίες ασύρματης δικτύωσης επιτρέπουν την κυψελοειδή επέκταση των συστημάτων HIPERLAN/2 με πλήρη κάλυψη και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων σε μια ποικιλία περιβαλλόντων. Το σύστημα διαθέτει αυτόματα συχνότητες για επικοινωνία σε κάθε σημείο πρόσβασης. Αυτό επιτελείται από το DFS, το οποίο επιτρέπει σε διάφορους χειριστές να μοιράζονται το διαθέσιμο φάσμα αποφεύγοντας τη χρήση παρεμβαλλόντων συχνοτήτων.

Για την αντιμετώπιση της μεταβαλλόμενης ποιότητας των ασύρματων ζεύξεων, χρησιμοποιείται ένα σχέδιο προσαρμογής των ζεύξεων, το οποίο στοχεύει στη διατήρηση χαμηλού σηματοθορυβικού λόγου προκειμένου να διατηρηθεί η QoS, και την ανταλλαγή μεταξύ του εύρους των επικοινωνιών και του ρυθμού των δεδομένων. Με βάση τις μετρήσεις ποιότητας των συνδέσεων, ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων στο φυσικό στρώμα προσαρμόζεται στην τρέχουσα ποιότητα των ζεύξεων. Ο έλεγχος της εκπεμπόμενης ισχύος υποστηρίζεται τόσο στο κινητό τερματικό (uplink) όσο και στο σημείο πρόσβασης (downlink). Στο πρώτο χρησιμοποιείται κυρίως για να απλοποιήσει το σχέδιο του δέκτη του σημείου πρόσβασης με την αποφυγή του αυτόματου ελέγχου κέρδους στο σημείο πρόσβασης. Στο δεύτερο, ο κύριος στόχος είναι η ικανοποίηση ευρωπαϊκών ρυθμιστικών απαιτήσεων για τη μείωση των παρεμβολών σε άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν την ίδια μπάντα συχνοτήτων, τα 5 GHz.

4.2.3.4 Αρχιτεκτονική του HiperLAN 2

Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης HiperLAN 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλα κεντρικά δίκτυα. Αυτό είναι δυνατό λόγω της αρχιτεκτονικής που εφαρμόζεται από όλα τα πρότυπα BRAN, η οποία καθορίζει ανεξάρτητα φυσικά στρώματα PHY και στρώματα ελέγχου ζεύξης δεδομένων DLC, καθώς και ένα σύνολο συγκεκριμένων στρωμάτων σύγκλισης κεντρικών δικτύων (CL) στην κορυφή του στρώματος DLC, όπως απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 4.17. Αρχιτεκτονική προτύπων BRAN

Φυσικό στρώμα PHY

Η διαμόρφωση των σημάτων είναι κατά OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), με διάφορους συνδυασμούς διαμόρφωσης υπο-φερόντων και διόρθωσης λαθών οι οποίοι επιτρέπουν να αντιμετωπισθούν οι διάφορες διαμορφώσεις των καναλιών. Το μέγεθος του Ταχύ Μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) είναι 64, ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων υπο-φερόντων είναι 52, τα 48 από τα οποία χρησιμοποιούνται για τα δεδομένα, η απόσταση μεταξύ των καναλιών είναι 20 MHz, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 20 Msamples/s, ενώ οι υποστηριζόμενοι ρυθμοί δεδομένων είναι 6, 9, 12, 18, 27, 36 και 54 Mbit/s.

Στρώμα Ελέγχου Ζεύξης Δεδομένων DLC

Το στρώμα αυτό διευθύνεται από δύο προδιαγραφές: η πρώτη περιλαμβάνει τις βασικές λειτουργίες μεταφορών των δεδομένων που αποτελούνται από το πρωτόκολλο ελέγχου λαθών και το πρωτόκολλο (MAC). Η δεύτερη καθορίζει το υπόστρωμα ελέγχου ασύρματης ζεύξης (RLC) που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή των στοιχείων στο επίπεδο ελέγχου μεταξύ ενός σημείου πρόσβασης και ενός κινητού τερματικού.

Στρώμα Σύγκλισης CL

Το στρώμα CL έχει δύο κύριες λειτουργίες: την προσαρμογή των αιτημάτων υπηρεσιών από τα υψηλότερα στρώματα στις υπηρεσίες που προσφέρονται από το DLC και τη μετατροπή των πακέτων υψηλότερων στρωμάτων με σταθερό ή μεταβλητό μέγεθος σε καθορισμένου μεγέθους μονάδες υπηρεσιών δεδομένων DLC που χρησιμοποιούνται εντός του DLC. Τα στρώματα σύγκλισης έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογές Ethernet (βασισμένες σε IP), για κυψελωτά κεντρικά δίκτυα όπως το ATM και για τα πρωτόκολλα IEEE1394. Επιπλέον, αναμένεται να καθορίσει τη διεπαφή πρόσβασης στην 3η γενεά κινητής τηλεφωνίας, σε συνεργασία με τα πρόγραμμα UMTS™ και 3GPP™

4.2.3.5 Εφαρμογές

Το HIPERLAN/2 παρέχει μια εύκαμπτη πλατφόρμα για ποικίλες επιχειρησιακές και οικιακές εφαρμογές πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης έως και 54 Mbit/s. Σε ένα τυπικό σενάριο επιχειρησιακής εφαρμογής, ένα κινητό τερματικό μπορεί να λαμβάνει υπηρεσίες μέσω μιας σταθερής υποδομής εταιρικού/δημόσιου δικτύου. Πέραν της QoS, το δίκτυο θα παρέχει στα κινητά τερματικά υπηρεσίες ασφάλειας και διαχείρισης κινητικότητας. Άλλα παραδείγματα εφαρμογών είναι και τα ακόλουθα:

Σπίτι

Σε ένα υποδειγματικό σενάριο οικιακής εφαρμογής, μπορεί να επιτευχθεί μια χαμηλού κόστους δικτύωση για τη διασύνδεση ασύρματων ψηφιακών συσκευών, όπως τηλεοράσεις, βίντεο, φωτογραφικές μηχανές, στερεοφωνικός εξοπλισμός και υπολογιστές γραφείου. Παράλληλα, το HiperLAN2 επιτρέπει τον έξυπνο έλεγχο του εξοπλισμού πολυμέσων από οποιαδήποτε υπολογιστική συσκευή στο σπίτι χωρίς την ανάγκη καλωδίων.

Γραφείο

Με το HiperLAN 2 γίνεται δυνατή η συνεχής ανταλλαγή μεγάλου όγκου πληροφοριών μεταξύ των μελών διαφόρων προγραμμάτων και του κεντρικού υπολογιστή της επιχείρησης. Είναι επίσης δυνατή η διασύνδεση διαφόρων υπολογιστών γραφείου και τηλεοπτικών προβολέων.

Πανεπιστήμιο

Το HiperLAN2 μπορεί να επιτρέψει την ασύρματη πρόσβαση στο πανεπιστημιακό Διαδίκτυο. Καλύπτοντας ολόκληρη την πανεπιστημιούπολη, οι σπουδαστές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες όπως οι βιντεοσκοπημένες διαλέξεις, ενώ καθίσταται εφικτή και η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των σπουδαστών και των καθηγητών/ομιλητών μέσω φορητών υπολογιστών.

Αερολιμένας

Το πρότυπο αυτό μπορεί να επιτρέψει τόσο στους ταξιδιώτες όσο και τους υπαλλήλους να εργαστούν ενώ είναι εν κινήσει, χορηγώντας τους πρόσβαση στο επιχειρησιακό δίκτυο, στο Διαδίκτυο, καθώς επίσης και επιτρέποντας τους να κάνουν και να λάβουν κλήσεις πολυμέσων.

4.2.3.6 Περίληψη

Το HiperLAN 2 είναι ένα πρότυπο το οποίο εξασφαλίζει υψηλής ταχύτητας (έως και 54 Mbps) ασφαλή ασύρματη πρόσβαση σε εταιρικά τοπικά δίκτυα και κυψελωτά συστήματα τρίτης γενιάς, κινητικότητα και ποιότητα υπηρεσιών για μελλοντικές εφαρμογές όπως πολυμέσα ή βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Η αρχιτεκτονική του προτύπου αυτού είναι "εύκαμπτη" και εύκολα επεκτάσιμη, το οποίο σε συνδυασμό με την QoS σημαίνει ότι το πρότυπο αυτό δεν εισάγει πρακτικά κανέναν περιορισμό σε οποιαδήποτε είδους εφαρμογή. Λειτουργεί στο φάσμα των 5 GHz, καθώς το φάσμα των 2.4 GHz δεν μπορούσε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του εύρους ζώνης. Προφανώς, για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ένα τέτοιο πρότυπο θα ήταν πολύ "βαρύ" και πληθώρα χαρακτηριστικών θα έμενε αναξιοποίητη.

4.2.3.7 Σύγκριση με το IEEE 802.11

Και οι δύο προδιαγραφές λειτουργούν στην ίδια μπάντα συχνοτήτων, αυτή των 5 GHz και οι τεχνολογίες τους είναι παρεμφερείς. Τα φυσικά στρώματα είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Οι κύριες διαφορές εντοπίζονται στο στρώμα MAC. Το HiperLAN2 υποστηρίζει τόσο ισόχρονα όσο και ασύγχρονα δεδομένα και είναι συμβατό με δίκτυα Ethernet, IP, ATM, καθώς και δίκτυα τρίτης γενιάς, ενώ το IEEE 802.11 υποστηρίζει μόνο το Ethernet. Περιλαμβάνει επιπλέον έλεγχο της μεταδιδόμενης ισχύος (η εξοικονόμηση ισχύος συνεπάγεται αποδοτικότερη ενσωμάτωση σε φορητές συσκευές) και δυναμική επιλογή συχνότητας στο στρώμα DLC/RLC –χαρακτηριστικά τα οποία απουσιάζουν από το IEEE 802.11-, τα οποία εξασφαλίζουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα φάσματος και μικρότερες παρεμβολές με άλλα συστήματα που λειτουργούν στα 5GHz.

4.2.3.8 Σύγκριση με το Bluetooth

Τα δύο πρότυπα λειτουργούν σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών και κάνουν χρήση διαφορετικών τεχνολογιών. Το Bluetooth προσφέρει ρυθμό δεδομένων περίπου 1 Mbps στη ζώνη των 2,4 GHz και προορίζεται κυρίως για αντικατάσταση καλωδίων για διασύνδεση περιφερειακών συσκευών σε κινητά και προσωπικούς υπολογιστές σε ένα PAN (10 m), ενώ το HiperLAN2 είναι περισσότερο μία τεχνολογία αντικατάστασης καλωδίων για δίκτυα LAN (100 m) και προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης έως και 54 Mbps στη ζώνη των 5 GHz. Δεδομένου ότι δεν είναι στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, δεν τίθενται ζητήματα παρεμβολών.

4.2.4 Αναφορές

- [001] : <http://portal.etsi.org/bran/hta/Hiperlan/hiperlan1.asp>
- [002] : <http://portal.etsi.org/bran/hta/Hiperlan/hiperlan1tech.asp>
- [003] : <http://portal.etsi.org/bran/hta/Hiperlan/hiperlan2.asp>
- [004] : <http://portal.etsi.org/bran/hta/Hiperlan/hiperlan2tech.asp>
- [005] : <http://www.hiperlan2.com/>
- [006] : <http://www.hiperlan2.com/technology.asp>
- [007] : <http://www.hiperlan2.com/applications.asp>
- [008] : <http://www.hiperlan2.com/WhyHiperlan2.asp>
- [009] : <http://www.hiperlan2.com/faq.asp>
- [010] : <http://www.hiperlan.uk.com/pages/hiperlan.htm>
- [011] : <http://www.hiperlan.uk.com/pages/whatishiperlan.htm>
- [012] : <http://www.palowireless.com/hiperlan2/about.asp>
- [013] : <http://www.palowireless.com/hiperlan2/resources.asp>
- [014] : HiperLAN2 - The Broadband Radio Transmission Technology Operating in the 5 GHz Frequency Band

4.3 Home RF

4.3.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο Home RF είναι μια ανοικτή προδιαγραφή η οποία επικεντρώνεται σε ασύρματες LAN εφαρμογές. Η τεχνολογία αυτού δε διαφέρει ιδιαίτερα από αυτή του Bluetooth, παρόλα αυτά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα συγκριτικά με το τελευταίο, τα οποία θα αναφερθούν στη συνέχεια.

Το Home RF χρησιμοποιεί την υπάρχουσα βιομηχανική υποδομή των προσωπικών υπολογιστών, καθώς επίσης και το Internet, το Ethernet και το πρωτόκολο TCP-IP. Προσφέρει επιπλέον, τρόπο σύνδεσης στο PSTN (Public Switch Telephone Network) για υπηρεσίες τηλεφωνίας.

Η ομάδα εργασίας του Home RF, η οποία σχηματίστηκε το 1998, έχει αναπτύξει μια και μόνη προδιαγραφή για μια ποικιλία συσκευών. Η προδιαγραφή αυτή η οποία καλείται SWAP (Shared Wireless Access Protocol – Κοινό Πρωτόκολο Ασύρματης Πρόσβασης) επιτρέπει σε PC, περιφερειακά, ασύρματα τηλέφωνα και άλλες εμπορικές συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν φωνή και δεδομένα εντός του σπιτιού και γύρω από αυτό, χωρίς την περιπλοκότητα και το κόστος των καλωδίων, στην ISM ζώνη των 2.4 GHz. Το SWAP χρησιμοποιεί ήδη υπάρχοντα και επιτυχημένα πρωτόκολα, απλοποιώντας τα όπου απαιτείται για ενδο-οικιακή χρήση.

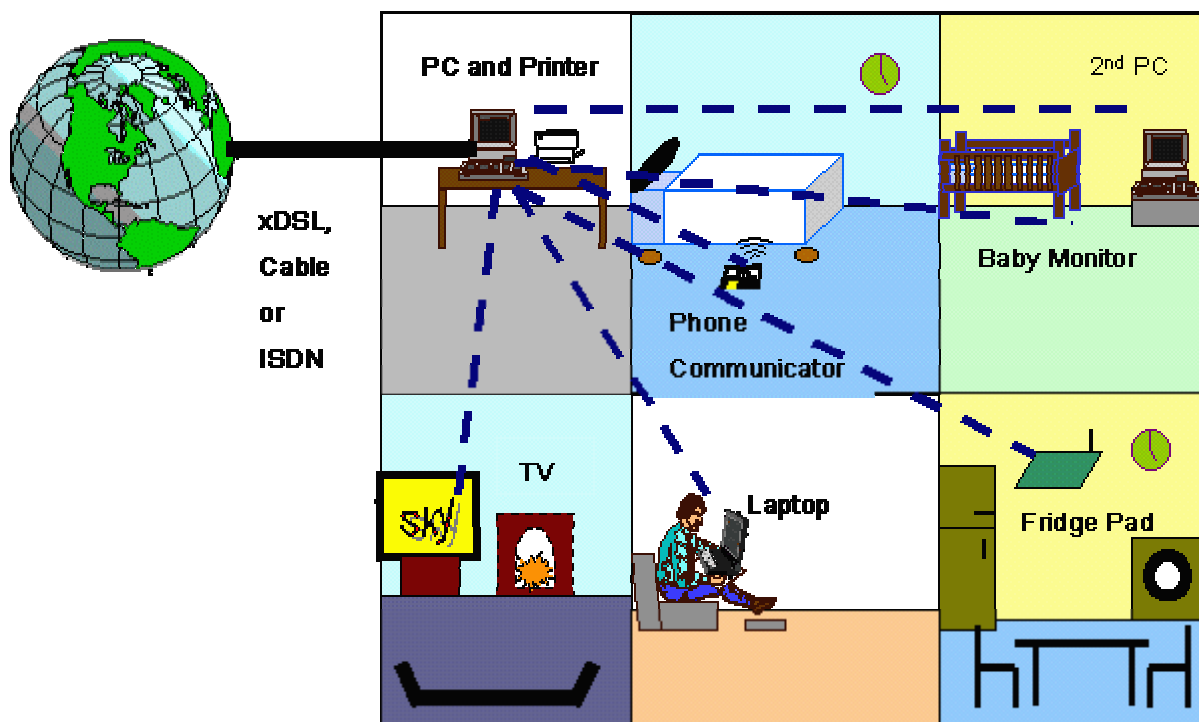
4.3.2 Αρχιτεκτονική του SWAP

Η αρχιτεκτονική του SWAP έχει ως ακολούθως:

- Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός προσωπικού υπολογιστή, ο οποίος συνδέεται σε κάποια θύρα του Internet είτε με καλωδιακό modem, είτε με xDSL, είτε τέλος με σύνδεση ISDN.
- Αφετηρία του συστήματος Home RF αποτελεί ένα σημείο ελέγχου (control point), το οποίο συνήθως συνδέεται στον κεντρικό υπολογιστή μέσω USB. Το σημείο ελέγχου δεν είναι απαραίτητα για όλες τις συσκευές, μπορεί όμως να προσφέρει αξιοσημείωτες επιλογές εξοικονόμησης ενέργειας.
- Ισόχρονοι “πελάτες”, όπως είναι για παράδειγμα τα ασύρματα τηλέφωνα είναι συνεχώς δεσμευμένα στο σημείο ελέγχου.

- Η ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών εκτελείται απευθείας μέσω του PC χωρίς ενδιάμεση δρομολόγηση μέσω του σημείου ελέγχου

Η σχέση μεταξύ του SWAP και των διαφορετικών επιλογών σύνδεσης απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 4.18. Δυνατές επιλογές σύνδεσης με SWAP

Μία πρώτη εφαρμογή του συστήματος Home RF θα μπορούσε να αποτελέσει το Internet μέσω κινητού, όπου το Home RF θα επέτρεπε την επικοινωνία μεταξύ του PC και του κινητού μέσω της λήψης και αποστολής IP πακέτων. Μία δεύτερη εφαρμογή θα μπορούσε να αποτελέσει η ασύρματη τηλεφωνία μέσω του PC. Σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσε για παράδειγμα να γίνεται συλλογή των πληροφοριών της ταυτότητας του προς κλήση ατόμου, αποστολή των δεδομένων αυτών προς τον υπολογιστή, εύρεση του ζητούμενου ατόμου και κλήση αυτού μέσω του υπολογιστή με το φθηνότερο τρόπο, ο οποίος θα μπορούσε κάλλιστα να εμπεριέχει τηλεφωνία IP. Τέλος, μία τρίτη εφαρμογή, θα μπορούσε να είναι η από κοινού χρήση πόρων μεταξύ πολλών υπολογιστών, όπως για παράδειγμα εκτυπωτών, σαρωτών, ή ακόμα και συνδέσεων στο Internet.

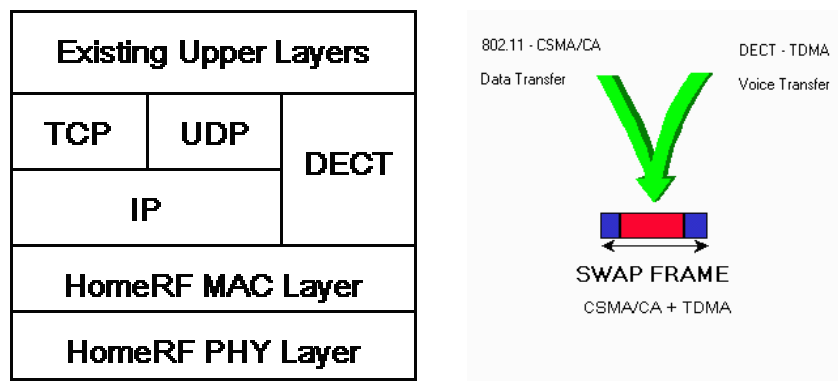
4.3.3 Τεχνική Προδιαγραφή του Home RF

Ένα δίκτυο SWAP μπορεί να αποτελείται από τριών ειδών συσκευές: ένα σημείο ελέγχου, ισόχρονες συσκευές (φωνητική επικοινωνία) και ασύγχρονες συσκευές (μεταφορά δεδομένων). Το σημείο ελέγχου παρεμβάλλεται στην επικοινωνία μεταξύ ισόχρονων συσκευών, ενώ μπορεί να παραλείπεται στην επικοινωνία μεταξύ ασύγχρονων συσκευών.

Τα δικτυακά στρώματα του Home RF απεικονίζονται στο σχήμα 4.19α:

Από αυτά, κάποια χρησιμοποιούνται αυτούσια, όπως για παράδειγμα το TCP, το UDP και το IP, ενώ κάποια, όπως το φυσικό στρώμα PHY και το στρώμα ζεύξης δεδομένων MAC έχουν τροποποιηθεί.

Το στρώμα MAC συγκεκριμένα έχει βελτιστοποιηθεί για χρήση σε περιβάλλον σπιτιού και έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει κίνηση τόσο φωνής όσο και δεδομένων, υποστηρίζοντας παράλληλα αλληλο-δραστικότητα με το PSTN κάνοντας χρήση ενός υποσυνόλου του DECT. Χρησιμοποιείται μια υπηρεσία TDMA για τη μεταφορά ισόχρονων δεδομένων και μία υπηρεσία CDMA/CA (προερχόμενη από το IEEE 802.11) για τη μεταφορά των ασύγχρονων δεδομένων (σχήμα 4.19β).



Σχήμα 4.19α. Δικτυακά στρώματα του HomeRF

Σχήμα 4.19β. Πλαίσιο SWAP

4.3.4 Ασφάλεια στο Home RF

Καθώς η ασφάλεια αποτελεί κύριο μέλημα πολλών χρηστών ασύρματης τεχνολογίας, το Home RF καθιστά την επικοινωνία το δυνατόν ασφαλέστερη.

Πρώτη μορφή ασφάλειας στο Home RF αποτελεί ένα IP δίκτυο 24 bit, το οποίο είναι συγκεκριμένο και διαφορετικό για κάθε προσωπικό υποδίκτυο. Έτσι, το IP δίκτυο εμποδίζει

συσκευές που δεν ανήκουν στο προσωπικό υποδίκτυο του χρήστη να παρεμβάλλουν και να χρησιμοποιούν δεδομένα που αποστέλλονται από κάποιο απομακρυσμένο υποδίκτυο.

Πέραν όμως του δικτύου αυτού, τα δεδομένα αποστέλλονται κωδικοποιημένα με έναν αλγόριθμο κρυπτογράφησης των 56 bit, ο οποίος σχεδιάστηκε από την Intel και ο οποίος είναι ασφαλέστερος τόσο των αλγορίθμων κρυπτογράφησης των 40 bit που είχαν προταθεί από την NSA, όσο και του αλγορίθμου A5 του οποίου κάνει χρήση το GSM.

4.3.5 Υλοποιήσεις του Home RF

Δύο υλοποιήσεις για το Home RF βρίσκονται υπό εξέταση. Η πρώτη κατατέθηκε τον Απρίλιο του 2000 από την Intel, καλείται Intel Anypoint και επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν περιφερειακά όπως σαρωτές και εκτυπωτές να ήταν συνδεδεμένα στους δικούς τους υπολογιστές, ή και να επικοινωνούν μεταξύ τους, αυξάνοντας παράλληλα την ασφάλεια στην επικοινωνία και τη μετάδοση των δεδομένων. Η δεύτερη κατατέθηκε από την Proxim το Νοέμβριο του 2000, καλείται Symphony HRF και καθιστά δυνατή τη σύνδεση έως και 10 υπολογιστών στα 1.6 Mbps εντός 50 μέτρων, επιτρέποντας στους χρήστες να μοιράζονται αρχεία, εκτυπωτές ή ακόμα και dial-up συνδέσεις.

Το σώμα μελών του γκρουπ αυτού ξεπερνάει τις 100 εταιρίες, εταιρίες από τους χώρους των επικοινωνιών, των υπολογιστών, της ηλεκτρονικής, των δικτύων, των ημιαγωγών κλπ, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται η Compaq, η Intel, η Motorola, η National Semiconductor και η Siemens.

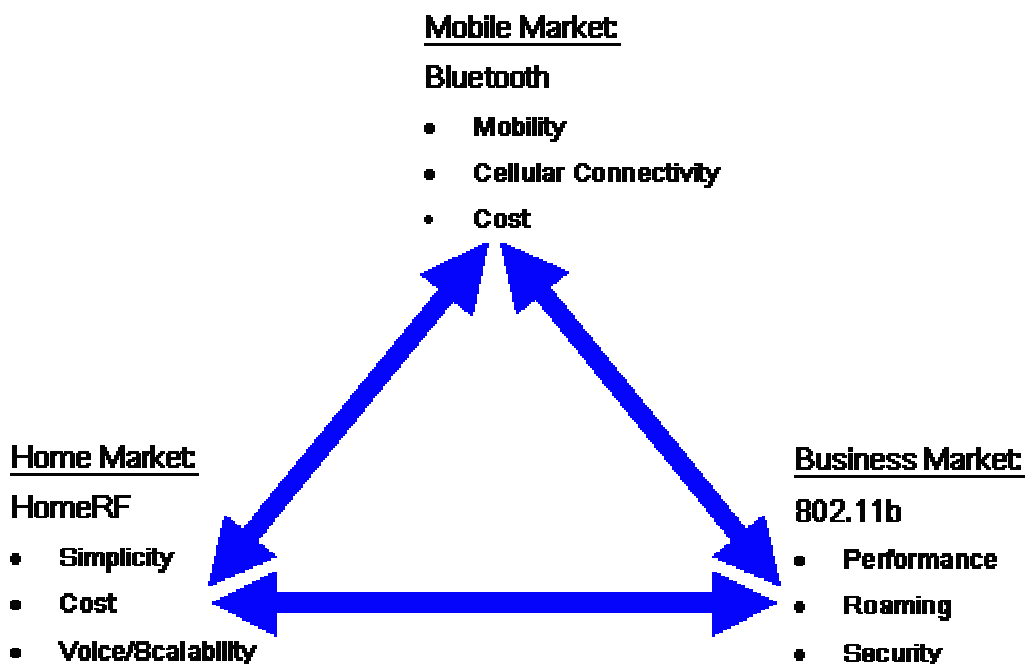
Όσο αφορά το μέλλον του Home RF, αναμένεται η νέα έκδοση του SWAP, το SWAP 2.0, το οποίο αναμένεται να υποστηρίξει Ethernet στα 10 Mbps στην ίδια μπάντα συχνοτήτων, ενώ παράλληλα θα ικανοποιεί τις ανάγκες του μειωμένου κόστους και της αποφυγής παρεμβολών, παραμένοντας συμβατό με το SWAP 1.0 και τα υπάρχοντα προϊόντα που λειτουργούν στα 1.6 Mbps. Επιπλέον, η κρυπτογράφηση των δεδομένων θα γίνεται με αλγόριθμο των 128 bit.

4.3.6 Σύγκριση Home RF – Bluetooth – IEEE 802.11

Τόσο το Bluetooth όσο και το Home RF χρησιμοποιούν αναπηδήσεις συχνότητας (frequency hopping), με το Bluetooth όμως να πραγματοποιεί 1600 αναπηδήσεις ανά δευτερόλεπτο, ενώ το Home RF πραγματοποιεί μόλις 50 αναπηδήσεις ανά sec. Και τα δύο λειτουργούν στη ζώνη των 2.4 GHz, με το Bluetooth να επιτυγχάνει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως και 721 Kbps ενώ το Home RF επιτυγχάνει ταχύτητες μετάδοσης έως και 1.6 Mbps.

Η κωδικοποίηση φωνής που παρέχεται από το Home RF είναι λιγότερο ισχυρή από αυτήν που παρέχεται από το Bluetooth, ενώ επιπλέον τα φωνητικά δεδομένα πρέπει να περάσουν από ένα κεντρικό-κομβικό σημείο, το οποίο συνεπάγεται ξεχωριστή διάταξη για τη μεταφορά αυτών από τον εκπομπό προς το δέκτη, περιπλοκότητα η οποία μπορεί να αποφευχθεί με τα άλλα πρότυπα.

Το IEEE 802.11 είναι ακριβότερο συγκρινόμενο με τα άλλα δύο, ενώ επιπλέον δεν έχει πλήρη τηλεφωνική λειτουργικότητα.



Σχήμα 4.20 Σύγκριση Bluetooth, Home RF & IEEE 802.11b

4.3.7 Αναφορές

<http://www.palowireless.com/homerf/>

4.4 IEEE 802.15

4.4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της ομάδας εργασίας του IEEE 802.15 είναι η ανάπτυξη προτύπων για δίκτυα προσωπικής περιοχής (PAN) ή για ασύρματα δίκτυα μικρών/κοντινών αποστάσεων. Αυτά τα WPANs εξετάζουν την ασύρματη δικτύωση φορητών και κινητών υπολογιστικών συσκευών όπως PCs, PDAs, περιφερειακών μονάδων, κινητών τηλεφώνων, βομβητών και άλλων ηλεκτρονικών ειδών, επιτρέποντας σε αυτές τις συσκευές να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μεταξύ τους. Ο στόχος είναι η δημοσίευση προτύπων, συνιστώμενων πρακτικών, ή οδηγιών που να έχουν μεγάλη εφαρμοσιμότητα στην αγορά και να ασχολούνται αποτελεσματικά με τα ζητήματα συνύπαρξης και διαλειτουργικότητας με άλλες ενσύρματες και ασύρματες λύσεις δικτύωσης.

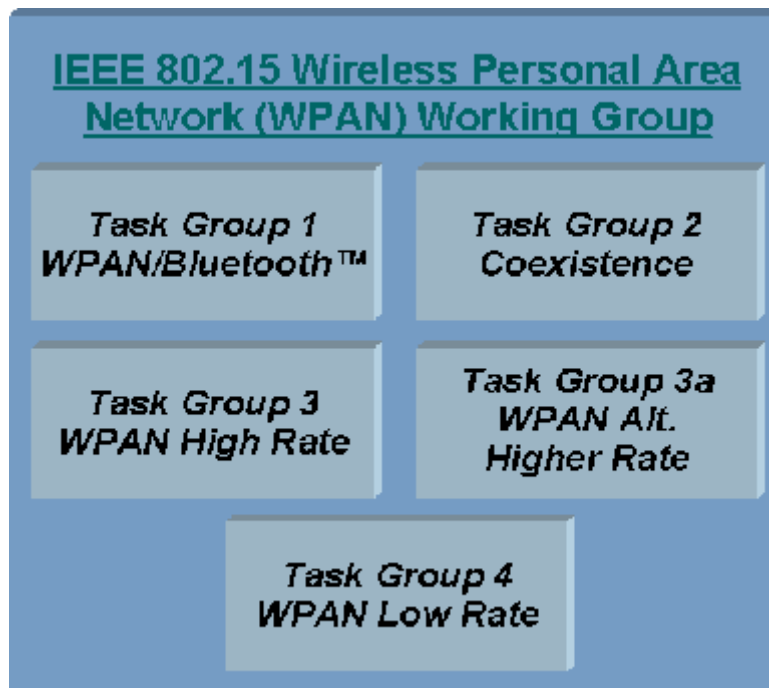
4.4.2 Ομάδα Μελέτης WPAN – Ομάδα Εργασίας IEEE 802.15

Στις 12 Μαρτίου του 1998 σχηματίστηκε από την Ομάδα Εργασίας IEEE 802.11 η Ομάδα Μελέτης WPAN, για να ερευνήσει την ανάγκη για συμπληρωματικά πρότυπα ασύρματων δικτύων, τα οποία να στοχεύουν συγκεκριμένα στην παροχή πολύ μικρής κατανάλωσης ισχύος, χαμηλής πολυπλοκότητας και ασύρματης συνδετικότητας μεταξύ συσκευών που βρίσκονται ή που εισάγονται σε μία προσωπική/ιδιωτική περιοχή λειτουργίας (Personal Operating Space - POS), μία περιοχή δηλαδή ακτίνας περίπου 10 μέτρων. Αυτό περιλαμβάνει συσκευές που μεταφέρονται, φοριούνται, ή βρίσκονται κοντά στο σώμα.

Ένα χρόνο μετά, στις 11 Μαρτίου του 1999 σχηματίστηκε η Ομάδα Εργασίας IEEE 802.15' σκοπός αυτής είναι ο καθορισμός των προδιαγραφών του φυσικού στρώματος και του στρώματος MAC για την ασύρματη συνδετικότητα με σταθερές, φορητές και κινούμενες συσκευές οι οποίες βρίσκονται ή εισάγονται σε μια POS και η επίτευξη ενός επιπέδου διαλειτουργικότητας που θα μπορούσε να επιτρέψει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ μιας συσκευής WPAN και μιας συσκευής 802.11 και ει δυνατόν συσκευών Home RF και Bluetooth.

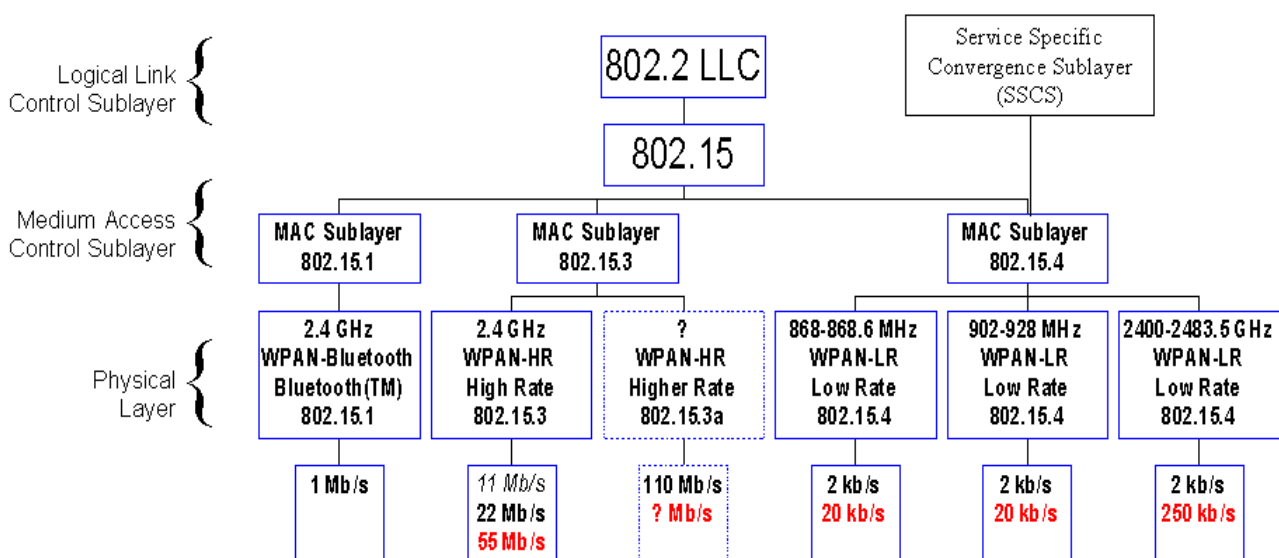
4.4.3 Ομάδες Καθήκοντος (Task Groups)

Η ομάδα εργασίας του IEEE 802.15 διαιρέθηκε σε τέσσερις βασικά ομάδες καθήκοντος (Task Groups, TGs), τις TG1, TG2, TG3 και TG4' σχηματίστηκε και μία πέμπτη ομάδα, η TG3a η οποία μελέτησε την ανάπτυξη ενός προτύπου εναλλακτικού αυτού της TG3, όπως θα εξηγηθεί και παρακάτω. Αυτές απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.21 Ομάδες καθήκοντος IEEE 802.15

Η ομάδα εργασίας του IEEE 802.15 αναπτύσσει 3 στρώματα MAC και 5 φυσικά στρώματα PHY, ενώ υπό ανάπτυξη είναι και ένα έκτο φυσικό στρώμα, αυτό που αναπτύσσεται από την ομάδα TG3a, και θα αποτελέσει μία εναλλακτική λύση υψηλότερων ρυθμών. Από τις τέσσερις ομάδες, μόνο η πρώτη (TG1) δημοσίευσε μέσα στο 2002 (τον Ιανουάριο), ενώ οι υπόλοιπες τρεις ομάδες αναμένεται να δημοσιεύσουν τα πρότυπά τους εντός του 2003. Τα φυσικά στρώματα, οι ρυθμοί αυτών, τα υποστρώματα MAC αλλά και το υπόστρωμα ελέγχου λογικής ζεύξης εικονίζονται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.22. Στρώματα PHY, MAC & LLC του IEEE 802.15

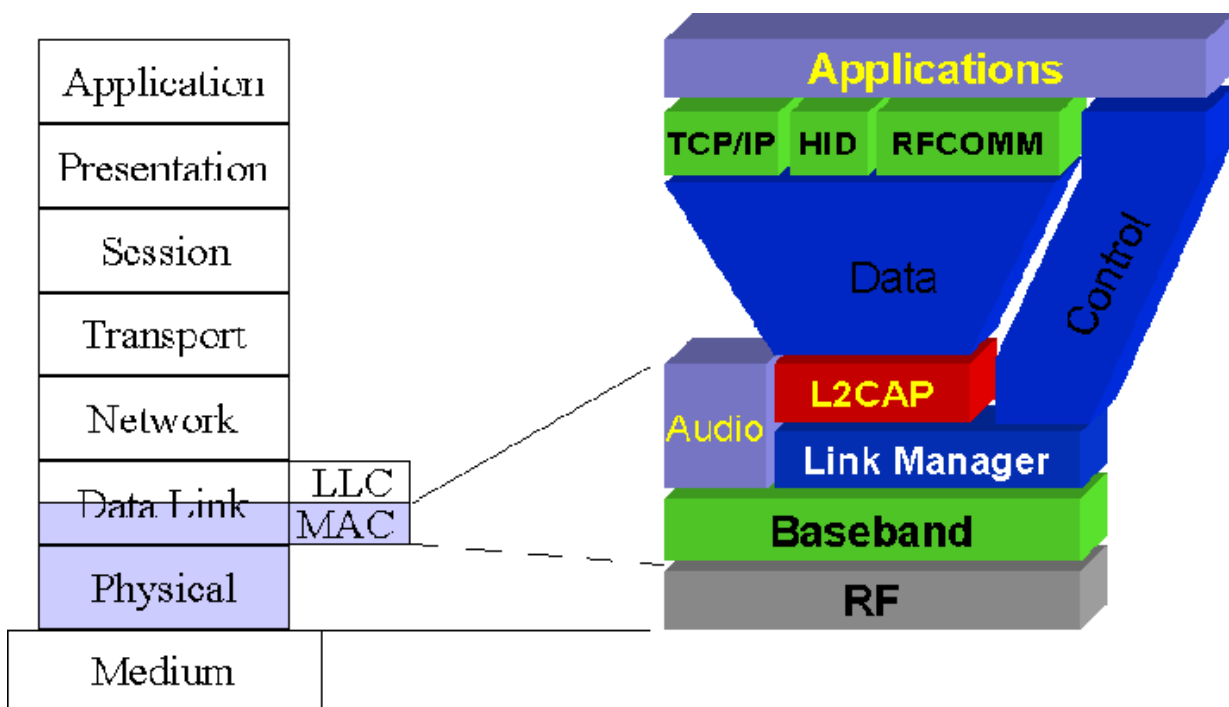
4.4.3.1 TG1

Το Bluetooth είναι μια παγκόσμια προδιαγραφή βιομηχανίας για την ασύρματη, μικρής εμβέλειας συνδετικότητα για φορητές προσωπικές συσκευές. Η ομάδα TG1 του WPAN 802.15 είχε ως σκοπό να αναθεωρήσει και να παράσχει μια τυποποιημένη προσαρμογή της προδιαγραφής Bluetooth v1.1, δηλαδή να μετατρέψει την προδιαγραφή Bluetooth σε πρότυπο IEEE (καθορισμός στρωμάτων MAC, PHY και LLC).

Η προδιαγραφή αυτή λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 720 kbps. Η προσφερόμενη ζώνη συχνοτήτων χωρίζεται σε έναν αριθμό καναλιών (συγκεκριμένα 79 κανάλια αποδίδονται στη ζώνη 2.402 - 2.480 GHz) και οι πομποδέκτες αναπηδούν από ένα κανάλι σε άλλο με ένα ψευδοτυχαίο τρόπο ο οποίος καθορίζεται από τον αφέντη (master).

Ένα πικο-δίκτυο είναι μία συλλογή συσκευών συνδεδεμένων κατά ειδικό τρόπο, εκ των οποίων μία μόνο δρα σαν αφέντης (master) η οποία ρυθμίζει το ρολόι και καθορίζει τον τρόπο αναπήδησης, και η οποία μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα σε 7 ενεργούς ή 200 ανενεργούς σκλάβους (slaves). Η σύνδεση πολλών piconets οι οποίες μοιράζονται κοινές συσκευές master ή slave έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ευρύτερου δικτύου το οποίο καλείται scatternet. Σε αυτά τα δίκτυα κάθε piconet έχει μέγιστη χωρητικότητα (720 kbps), ενώ οι συσκευές που βρίσκονται σε αυτό μπορούν να λειτουργούν και ως masters και ως slaves.

Αντιστοίχιση των αρχιτεκτονικών P802 και Bluetooth



Σχήμα 4.23. Αντιστοίχιση αρχιτεκτονικών P802 - Bluetooth

4.4.3.2 TG2

Η ομάδα TG2 αναπτύσσει Συνιστώμενες Πρακτικές για τη διευκόλυνση της συνύπαρξης των Ασύρματων Δικτύων PAN (802.15) και των Ασύρματων Δικτύων LAN (802.11). Η ομάδα αναπτύσσει ένα Πρότυπο/Μοντέλο Συνύπαρξης (μοντελοποίηση των στρωμάτων PHY και MAC) για την ποσοτικοποίηση των αμοιβαίων παρεμβολών μεταξύ ενός WLAN και ενός WPAN κάτω από διάφορες συνθήκες –π.χ WLAN σε φορητό υπολογιστή και Bluetooth σε PDA ή WLAN και Bluetooth στον ίδιο φορητό υπολογιστή-, ενώ αναπτύσσει επίσης ένα σύνολο Μηχανισμών Συνύπαρξης για τη διευκόλυνση της συνύπαρξης συσκευών WLAN και WPAN.

Το μοντέλο συνύπαρξης αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

- Μοντέλα στρώματος PHY των 802.11 και Bluetooth
- Μοντέλα στρώματος MAC των 802.11 και Bluetooth
- Μοντέλα κίνησης σε δίκτυα 802.11 και Bluetooth
- Μοντέλα καναλιών RF

Το μοντέλο αυτό δέχεται ως είσοδο την τοποθεσία των συσκευών 802.11 και Bluetooth και την κίνηση σε αυτά τα δίκτυα και δίνει ως έξοδο μείωση της απόδοσης των δικτύων και αύξηση της λανθάνουσας κατάστασης αυτών.

Ένας μηχανισμός που επιτρέπει τη συνύπαρξη συσκευών IEEE 802.15.1 με συσκευές στατικής συχνότητας στη ζώνη των 2.4 GHz όπως είναι οι συσκευές IEEE 802.11b, είναι η Προσαρμοστική Αναπήδηση Συχνότητας (Adaptive Frequency Hopping – AFH). Ο μηχανισμός αυτός αλλάζει δυναμικά την ακολουθία αναπήδησης με σκοπό να αποφύγει ή έστω να μετριάσει τις παρεμβολές που φαίνονται και από τις δύο συσκευές. Επιπλέον, ένα πολύ σημαντικό στοιχείο του AH είναι και η ταξινόμηση του καναλιού, ο καθορισμός δηλαδή της ποιότητάς του και ο χαρακτηρισμός αυτού ως καλό ή κακό για μετάδοση.

Οι τεχνικές συνεργασίας/συνύπαρξης καθορίζουν εκ των προτέρων τους κανόνες για τη διαχείριση κυκλοφορίας με την άμεση επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων· το σύστημα όμως δεν έχει καμία δυνατότητα εκμάθησης. Υποστηρίζεται η ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη πακέτων. Οι συγκρούσεις αποφεύγονται με την τεχνική TDMA, ενώ ο προγραμματισμός της κίνησης με δυναμικούς αλγορίθμους συνεπάγεται τη μεγιστοποίηση της τελευταίας.

Μία εκτίμηση των παρεμβολών γίνεται με τη διατήρηση ενός πίνακα χρησιμοποίησης συχνοτήτων στους κόμβους τόσο των masters όσο και των slaves και την ενημέρωση του πίνακα του master από τον slave. Η χρησιμοποίηση “καλών” συχνοτήτων για την επικοινωνία αφέντη – σκλάβου συνεπάγεται εξοικονόμηση ισχύος, καθώς δεν καταναλίσκεται ισχύς σε χαλασμένα κανάλια.

4.4.3.3 TG3

Η ομάδα TG3 σχηματίστηκε με σκοπό τη σύνταξη και δημοσίευση ενός νέου προτύπου για υψηλών ρυθμών (20Mbps ή μεγαλύτερων) WPANs. Πέραν του υψηλού αυτού ρυθμού, το νέο πρότυπο θα παρέχει ασφαλείς λύσεις μικρότερου κόστους και μικρότερης καταναλισκόμενης ισχύος, οι οποίες θα καλύπτουν τις ανάγκες φορητών συσκευών ψηφιακής απεικόνισης και εφαρμογών πολυμέσων. Η ολοκλήρωση του προτύπου αναμένεται εντός του 2003.

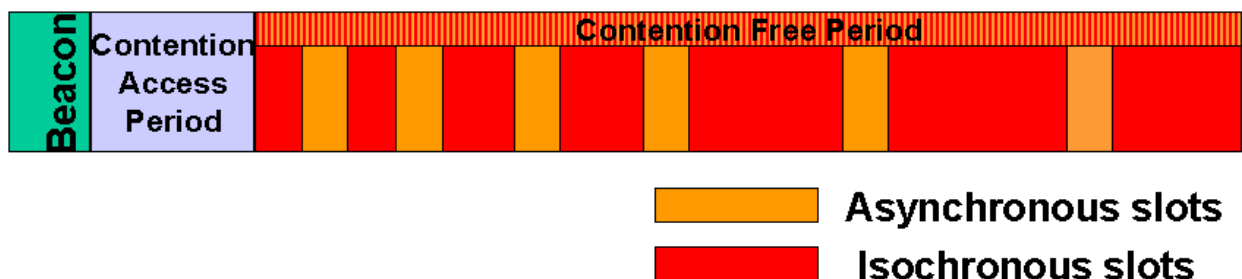
Περιβάλλον & Εφαρμογές

Το πρότυπο αυτό προορίζεται για χρήση σε δυναμικά περιβάλλοντα (κινητές συσκευές οι οποίες κινούνται εντός ενός riconet με ταχύτητες μικρότερες των 7 kph και μπορούν να εισέρχονται και να εξέρχονται αυτού), στα οποία ο χρήστης έχει τον έλεγχο όλων των συσκευών εντός του PAN. Η απαιτούμενη ακτίνα κάλυψης είναι της τάξεως των 10 m, ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης υπερβαίνει τα 20 Mbps, ενώ οι καθυστερήσεις διάδοσης δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 25 ns. Στις υποστηριζόμενες εφαρμογές συμπεριλαμβάνονται εφαρμογές πολυμέσων (ήχος και βίντεο), φορητές υπολογιστικές μονάδες (PCs, PDAs) και συσκευές ψηφιακής απεικόνισης. Για την υποστήριξη των εφαρμογών αυτών, προαπαιτούμενη είναι η δυνατότητα QoS, ενώ πρέπει να παρέχονται και υπηρεσίες ασφάλειας/πιστοποίησης.

Χαρακτηριστικά του MAC

Στα χαρακτηριστικά του MAC συμπεριλαμβάνονται η ποιότητα υπηρεσιών QoS (αρχιτεκτονική TDMA με εγγυημένες χρονοσχισμές), η ασφάλεια μετάδοσης και η πιστοποίηση αυθεντικότητας. Υποστηρίζονται επιπλέον η Δυναμική Επιλογή Καναλιών DCS και ένα τμήμα CSMA για απόκριση πραγματικού χρόνου και κατανομή καναλιών. Το πλαίσιο (ο σκελετός) του πρωτοκόλλου MAC απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω:

MAC Protocol Superframe



Σχήμα 4.24. Πλαίσιο πρωτοκόλλου MAC

Το πρώτο κομμάτι του πλαισίου χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του συγχρονισμού, ενώ το δεύτερο κομμάτι χρησιμοποιείται για την αποστολή μηνυμάτων ελέγχου, όπως είναι οι αποκρίσεις πιστοποίησης αυθεντικότητας.

Χαρακτηριστικά του PHY

Το φυσικό στρώμα λειτουργεί στη ζώνη των 2.4 GHz, με εύρος ζώνης 15 MHz RF. Διατίθενται 3 με 4 μη επικαλυπτόμενα κανάλια και υποστηρίζονται πέντε ρυθμοί μετάδοσης (11 Mbps, 22 Mbps, 33 Mbps, 44 Mbps και 55 Mbps). Ο ακόλουθος πίνακας δίνει συγκεντρωτικά τους πέντε υποστηριζόμενους ρυθμούς μετάδοσης, την ευαισθησία του δέκτη ανά ρυθμό σε dbm και τη χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση και κωδικοποίηση.

Διαμόρφωση	Κωδικοποίηση	Ρυθμός Μετάδοσης	Ευαισθησία
QPSK	TCM 8 Καταστάσεων	11 Mb/s	-82 dBm
DQPSK	Καμία	22 Mb/s	-75 dBm
16-QAM	TCM 8 Καταστάσεων	33 Mb/s	-74 dBm
32-QAM	TCM 8 Καταστάσεων	44 Mb/s	-71 dBm
64-QAM	TCM 8 Καταστάσεων	55 Mb/s	-68 dBm

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά του στρώματος PHY του IEEE 802.15

4.4.3.3.1 TG3a

Η ομάδα TG3a σχηματίστηκε με σκοπό τη σύνταξη και δημοσίευση ενός νέου προτύπου το οποίο θα παρέχει μία μεγαλύτερης ταχύτητας (110 Mbps ή μεγαλύτερης) τροποποίηση στο πρότυπο σχέδιο 802.15.3. Αυτό θα απευθύνεται σε εφαρμογές που θα απαιτούν αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης όπως είναι οι εφαρμογές πολυμέσων ή τα streaming videos. Το νέο PHY θα χρησιμοποιεί το στρώμα MAC του P802.15.3 μερικώς τροποποιημένο. Η ολοκλήρωση του νέου αυτό προτύπου αναμένεται εντός του 2004.

4.4.3.4 TG4

Η ομάδα TG4 σχηματίστηκε για τη διερεύνηση μίας χαμηλού ρυθμού μετάδοσης λύση με εξαιρετικά μικρή πολυπλοκότητα, η οποία θα εξασφάλιζε πολύ μικρή κατανάλωση ισχύος από αυτήν προήλθε και το πρότυπο 802.15.4.

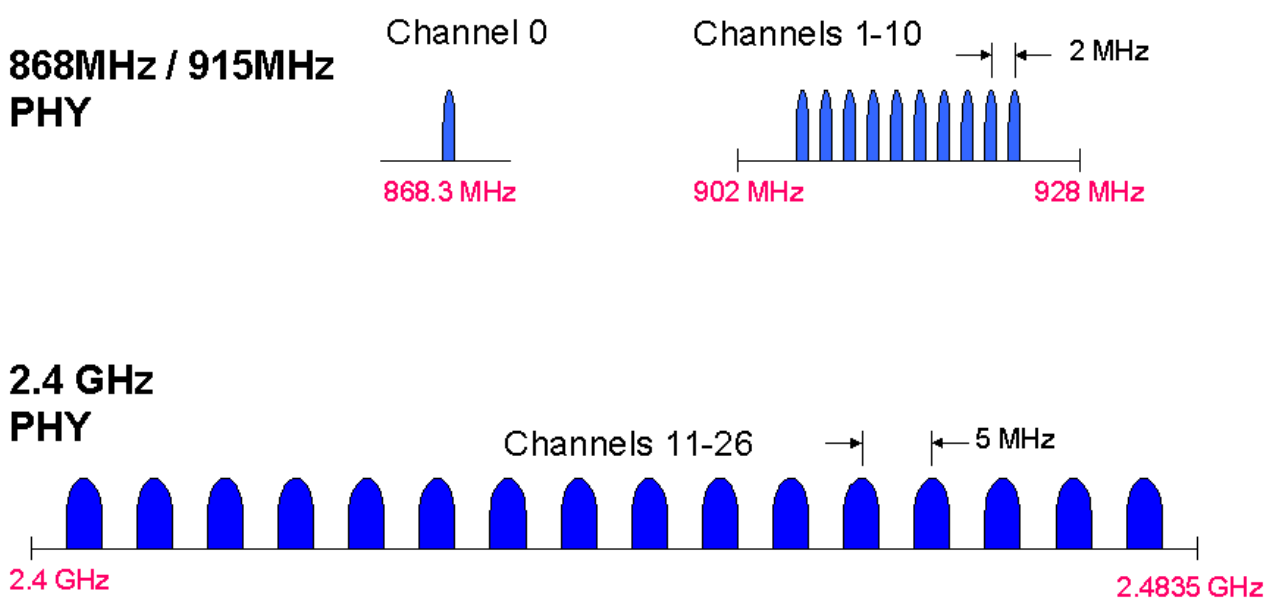
Το πρότυπο αυτό καθορίζει δύο φυσικά στρώματα: ένα κατανεμημένο φάσμα PHY άμεσης ακολουθίας στα 868 MHz / 915 MHz και ένα κατανεμημένο φάσμα PHY άμεσης ακολουθίας στα 2.4 GHz. Το PHY στα 2,4 GHz υποστηρίζει ένα ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στον αέρα της τάξεως των 250 kbps , ενώ αυτό των 868 MHz / 915 MHz υποστηρίζει δύο ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στον αέρα, των 20 kbps και των 40 kbps αντίστοιχα. Η ευαισθησία του δέκτη αγγίζει τα -85 dBm στη ζώνη των 2.4 GHz και τα -92 dBm στη ζώνη των 868/915 MHz. Το φυσικό στρώμα που επιλέγεται εξαρτάται από τοπικούς κανονισμούς και από τις προτιμήσεις των χρηστών.

Η δομή των πακέτων στο φυσικό στρώμα έχει ως ακολούθως:

- 4 byte συγχρονισμού
- 1 byte που δηλώνει την αρχή του πακέτου
- 1 byte επικεφαλίδα
- 0..127 bytes δεδομένων

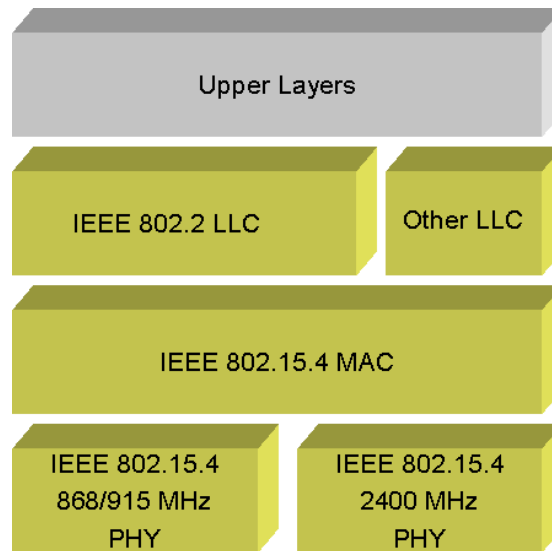
Στα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά του προτύπου συμπεριλαμβάνονται και τα ακόλουθα:

- Υποστήριξη συσκευών λανθάνουσας κατάστασης, όπως για παράδειγμα χειριστηρίων
- Πλήρες επικοινωνιακό πρωτόκολλο που εξασφαλίζει αξιοπιστία στη μεταφορά
- Πρόσβαση στο κανάλι με CSMA/CA
- Δυναμική διευθυνσιοδότηση συσκευών
- Αυτόματη καθιέρωση δικτύου από το συντονιστή
- Διαχείριση ισχύος για την εξασφάλιση μικρής καταναλισκόμενης ισχύος
- 16 κανάλια στην ISM ζώνη των 2.4 GHz, 10 κανάλια στη ζώνη των 915 MHz και ένα κανάλι στη ζώνη των 868 MHz, όπως αυτά παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω:



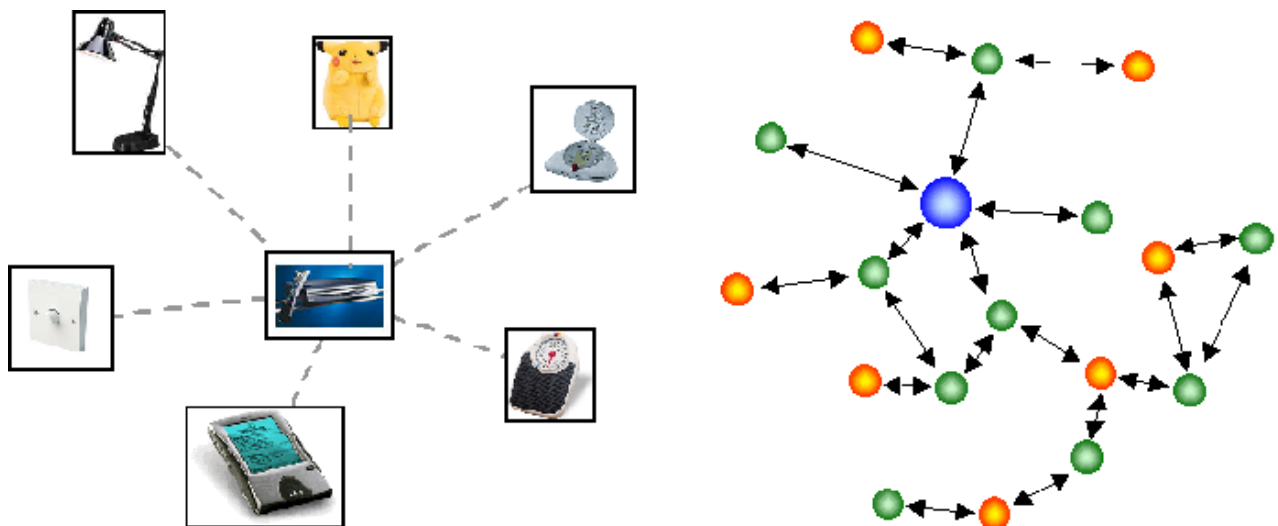
Σχήμα 4.25 Διατιθέμενα κανάλια μετάδοσης

Η αρχιτεκτονική του προτύπου αυτού γραφικά απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 4.26 Αρχιτεκτονική προτύπου IEEE 802.15

Στις πιθανές εφαρμογές αυτού συγκαταλέγονται αισθητήρες, διαλογικά παιχνίδια, τηλεχειρισμοί και ενδοοικιακή αυτοματοποίηση, ή γραφικά:



Σχήμα 4.27. Εφαρμογές του IEEE 802.15

4.4.4 Σύγκριση με το IEEE 802.11

Τα αρχικά κριτήρια σχεδιασμού του 802.11 είναι διαφορετικά από εκείνα του WPAN. Οι λειτουργικές απαιτήσεις του WPAN είναι απλούστερες, όμως υπάρχει πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον σχετικά με την κατανάλωση ισχύος, το μέγεθος, και το εφικτό κόστος των προϊόντων. Αυτό οφείλεται στην εστίαση του WPAN στις απαιτήσεις φορητών υπολογιστικών συστημάτων και περιφερειακών μονάδων. Επιπλέον, το 802.11 παρέχει ακτίνα κάλυψης περί τα 100 μέτρα και ταχύτητες που φτάνουν τα 54 Mbps, ενώ το νέο πρότυπο 802.15 προσφέρει ακτίνα κάλυψης περίπου 10 μέτρων και ταχύτητες πολύ μικρότερες αυτής του 802.11.

4.4.5 Σύγκριση με τα HomeRF και Bluetooth

Η ομάδα εργασίας του IEEE 802.15 WPAN υπάγεται σε έναν αναγνωρισμένο Οργανισμό Ανάπτυξης Προτύπων, ενώ τόσο η Ομάδα Εργασίας του HomeRF όσο και η Ομάδα Ειδικού Ενδιαφέροντος του Bluetooth είναι άτυπες ομάδες καθορισμού ασύρματων δικτύων και βασίζονται σε κοινοπραξίες. Το HomeRF θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα "πετσοκομμένο" 802.11. Το Bluetooth είναι μια νεώτερη προσθήκη στα πρότυπα ασύρματων δικτύων και προσεγγίζει καλύτερα την ικανοποίηση των απαιτήσεων των WPAN. Άλλωστε, το πρότυπο WPAN 802.15 δεν είναι κάτι διαφορετικό από μια αναθεωρημένη και τυποποιημένη προσαρμογή της προδιαγραφής Bluetooth v1.1.

4.4.6 Αναφορές

<http://www.ieee802.org/15/about.html>

<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/WPAN-FAQ.html>

http://www.palowireless.com/i802_15

Glyn Roberts. Overview of WPAN Working Group, Task Groups and Study Groups

Tom Siep. Mapping the Bluetooth Specification to IEEE P802

John Barr. IEEE 802.15 Report at BT Decvon

Tom Siep. IEEE 802.15.1 Tutorial

Steve Shellhammer. Tutorial on 802.15.2 Draft

James P. K. Gilb. Overview of Draft Standard 802.15.3

Jose Gutierrez. IEEE 802.15.4 Tutorial

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΖΕΥΞΗΣ

5.1 Επιλογή μετρητή

Για τις μετρήσεις που θέλαμε να πραγματοποιήσουμε, δεν ήταν απαραίτητη η χρησιμοποίηση ενός πολύ εξελιγμένου τεχνολογικά μετρητή, ενώ προφανώς ήταν επιθυμητά χαρακτηριστικά η ταχύτητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων, η όσο το δυνατόν πιο ανώδυνη μέτρηση, η ευκολία χρήσης του μετρητή και η ύπαρξη μιας σειριακής θύρας, η οποία χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με προσωπικό υπολογιστή. Λαμβάνοντας υπόψιν τα ζητούμενα και συγκρίνοντας τους μετρητές που έχουν ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, καταλήξαμε στη χρησιμοποίηση του μετρητή OneTouch Ultra της εταιρίας Johnson & Johnson – LifeScan.

Συνοψίζοντας τα χαρακτηριστικά του μετρητή αυτού, είναι από τους ταχύτερους μετρητές της αγοράς (εμφάνιση αποτελεσμάτων σε 5 sec.), από τους πιο ανώδυνους (υποστήριξη ελέγχου σε εναλλακτικά σημεία, σταγόνα αίματος 1 μικρόλιτρο), διαθέτει σειριακή θύρα δεδομένων, ενώ είναι και από τους πιο απλούς στη χρήση.

5.2 Επιλογή διασύνδεσης

Μετά την ανάλυση των διαφόρων τεχνολογιών η οποία προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4, καταλήξαμε στην επιλογή του Bluetooth ως της καταλληλότερης τεχνολογίας διασύνδεσης των δύο συσκευών. Το Bluetooth προσφέρει μεταξύ άλλων ελευθερία κίνησης, απλότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια στην επικοινωνία, ενώ η υπεροχή του έναντι των άλλων τεχνολογιών γίνεται φανερή από τις συγκρίσεις που έχουν προηγηθεί στις παραγράφους 4.2.3.7, 4.2.3.8, 4.3.6, 4.4.4 και 4.4.5. Έτσι, υπερέχει για παράδειγμα του HiperLAN2 το οποίο είναι πιο πολύπλοκο από όσο απαιτείται και το οποίο προορίζεται κυρίως για τοπικά και όχι προσωπικά δίκτυα, ενώ για τους ίδιους περίπου λόγους υπερέχει και του IEEE802.11. Υπερέχει επιπλέον του DECT το οποίο δεν επαρκεί για τις ανάγκες ασύρματης ανταλλαγής δεδομένων και αντικειμένων και ο ρυθμός μετάδοσης του οποίου είναι πολύ μικρός για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, ενώ υπερτερεί και του IrDA το οποίο απαιτεί καθαρό, χωρίς εμπόδια οπτικό μονοπάτι για την επικοινωνία των συσκευών. Εκτός των άλλων όμως, και μόνο το γεγονός ότι το Bluetooth είναι μια ανοικτή όπως έχει προαναφερθεί προδιαγραφή, η οποία υποστηρίζεται από εταιρίες κολοσσούς στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, της πληροφορικής, των υπολογιστών και όχι μόνο, είναι ικανό για να προδιαγράψει τις δυνατότητες της τεχνολογικής αυτής προσέγγισης και του ευοίωνου μέλλοντός της.

5.3 Επιλογή κινητού τηλεφώνου

Και αυτή η επιλογή δεν ήταν ιδιαίτερα δύσκολη. Το κινητό, εν αντιθέση με το μετρητή θα έπρεπε να είναι όσο πιο εξελιγμένο τεχνολογικά γίνεται, χωρίς να μας ενδιαφέρει η ευκολία χρήσης του, να υποστηρίζει Bluetooth, ενδεχομένως να υποστηρίζει GPRS για επέκταση της εφαρμογής (μετάδοση των δεδομένων των μετρήσεων μέσω σύντομων μηνυμάτων προς τον προσωπικό γιατρό ή τη βάση διαχείρισης) και οπωσδήποτε να μπορεί να προγραμματιστεί σε περίπτωση που οι υπάρχουσες υπηρεσίες δεν επαρκούν για την επικοινωνία των συσκευών.

Για αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήσαμε ένα από τα πιο προηγμένα τεχνολογικά κινητά τηλέφωνα της αγοράς, το P800 της εταιρίας Sony Ericsson TM :



Σχήμα 5.1 Sony Ericsson P800

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητού τηλεφώνου μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Δίκτυα GSM τριπλής ζώνης (900, 1800 και 1900 MHz)
- Υποστήριξη GPRS και HSD (Δεδομένα Υψηλής Ταχύτητας)
- Υποστήριξη WAP 2.0
- Πρόσβαση στο Internet (WML 1.3, cHTML, HTML 3.2 χωρίς frames, XML, WML scripts)
- Υποστήριξη e-mail (POP3, SMTP, IMAP4 και προβολή επισυνάψεων)
- Bluetooth
- Υπέρυθρες / IrDA
- Υποστήριξη αρχείων Word, Excel, Power Point, Acrobat κ.α
- Εσωτερική μνήμη 12 MB / Εξωτερική μνήμη 16 MB (Memory Stick Duo)
- Έγχρωμη οθόνη αφής TFT (ανάλυση 208 *320 pixels, 4096 χρώματα)
- Ενσωματωμένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (24 bit)
- Λειτουργικό σύστημα Symbian 7.0
- Personal Java, J2ME, C++
- Μηνύματα SMS, EMS, MMS

Αυτά δεν είναι τα μόνα τεχνικά χαρακτηριστικά του βεβαίως. Μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνονται ο φωνητικός έλεγχος, η αναμονή κλήσεων, η δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης, η υποστήριξη μονοφωνικών και πολυφωνικών ήχων κλήσης, η αναπαραγωγή μουσικών αρχείων (mp3, wav, midi κ.α) και αρχείων βίντεο (mp4) και πληθώρα άλλων.

Πιο συγκεκριμένα τώρα για το Bluetooth, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασύρματη επικοινωνία είτε με άλλο κινητό τηλέφωνο (η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί και με υπέρυθρες) είτε με προσωπικό υπολογιστή (με εναλλακτικές τις υπέρυθρες ή το memory stick). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για συγχρονισμό των δεδομένων (συγχρονισμός με Outlook και Lotus Notes). Ήδη υποστηριζόμενα προϊόντα με ενσωματωμένη τεχνολογία Bluetooth είναι τα Bluetooth Headset, Bluetooth Handsfree και Bluetooth Car Handsfree, τα οποία απεικονίζονται και στο σχήμα 5.2



Σχήμα5.2 Sony Ericsson Bluetooth Headset|Sony Ericsson Bluetooth Car Handsfree|Sony Ericsson Bluetooth Handsfree

Όσον αφορά τώρα την απαίτηση δυνατότητας προγραμματισμού, αυτή καλύπτεται πλήρως χάρη στο λειτουργικό σύστημα το οποίο τρέχει στο P800, το Symbian, το οποίο υποστηρίζει λογισμικό βασισμένο τόσο σε Java όσο και σε C++. Η συμβατότητα με τη Java (Personal Java TM και J2ME) παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης πρακτικών προγραμμάτων ανεπτυγμένων από τον ίδιο το χρήστη και άρα την αύξηση των υποστηριζόμενων εφαρμογών

5.4 Το πρόβλημα & η αντιμετώπιση (RS232 → Bluetooth)

Το πρόβλημα που τέθηκε αφού είχαμε στα χέρια μας τόσο το μετρητή όσο και το κινητό τηλέφωνο, ήταν το γεγονός ότι ο μετρητής (και γενικότερα κανένας μετρητής της αγοράς) δεν υποστήριζε Bluetooth. Και έτσι, οι μετρήσεις που παίρνονταν να μην αναγράφονταν στην οθόνη του μετρητή, δεν μπορούσαν όμως να μεταφερθούν (ασύρματα πάντα) στο κινητό.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τη χρησιμοποίηση ενός έτοιμου μηχανήματος μετατροπής από RS232 σε Bluetooth, δηλαδή από σειριακή μετάδοση σε ασύρματη. Ένα τέτοιο μηχάνημα παράγεται από την εταιρία Brainboxes TM, και είναι το ενδιάμεσο μηχάνημα του σχήματος 5.3, το οποίο και απεικονίζει τη συνολικά χρησιμοποιούμενη διάταξη.

5.5 Μετατροπείας RS232 → Bluetooth

Όλες τις ακόλουθες τεχνικές πληροφορίες τις πήραμε από το τεχνικό εγχειρίδιο της συσκευής RS232_Bluetooth Converter™ της Brainboxes. Ο μετατροπείας της εταιρίας αυτής επιτρέπει σε οποιοδήποτε μηχάνημα (και όχι κατά αποκλειστικότητα σε προσωπικούς υπολογιστές) το οποίο διαθέτει σειριακή έξοδο RS232, να επωφεληθεί από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία Bluetooth. Έτσι, μπορεί να συνδεθεί σε εκτυπωτές, παλμογράφους και όπως απέδειξαν και τα πειραματικά αποτελέσματα και σε μετρητές γλυκόζης.

Ο μετατροπείας αυτός είναι συμβατός με την προδιαγραφή 1.1 του Bluetooth και υποστηρίζει το προφίλ SPP (Serial Port Profile – Προφίλ Σειριακής Θύρας), το οποίο όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 4 καθορίζει τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν οι συσκευές Bluetooth, οι οποίες είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση εξομοιωμένων συνδέσεων σειριακών καλωδίων, κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου RFCOMM μεταξύ δύο εφάμιλλων συσκευών.

Επιτυγχάνει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 115.2 Kbps (ρυθμός ο οποίος υπερκαλύπτει τις ανάγκες της μετάδοσης των μετρήσεων) με τυπικό εύρος ανοικτού πεδίου μεγαλύτερου των 100 μέτρων (επίσης υπεραρκετό για τις ανάγκες μετάδοσης από τον μετρητή στο κινητό τηλέφωνο), ενώ δεν απαιτεί υποστήριξη λογισμικού Bluetooth από την πλευρά του host (μετρητή). Ο μετατροπείας συνδέεται με το μετρητή (και γενικότερα με τις συσκευές με τις σειριακές εξόδους) μέσω ενός καλωδίου 75 εκατοστών.

Η κεραία του μετατροπείας είναι εσωτερική, ενσωματωμένη στο PCB αυτού. Όσο για την ασφάλεια στη μετάδοση των δεδομένων, αυτή εξασφαλίζεται από τις διαδικασίες ταιριάσματος (bonding / pairing) με το κινητό τηλέφωνο, διαδικασίες οι οποίες έχουν ήδη περιγραφεί στο κεφάλαιο 4.

5.6 Πειραματική διάταξη - Αποτελέσματα

Η τελική συνδεσμολογία είχε ως ακολούθως:



Σχήμα 5.3 Πειραματική διάταξη

Ο μετρητής συνδέθηκε με το μετατροπέα RS232 σε Bluetooth της Brainboxes, και η σειριακή έξοδος του μετρητή γινόταν ασύρματη έξοδος του μετατροπέα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα δίκτυο Bluetooth αποτελείται από τριών ειδών συσκευές, τον αφέντη (master), τους σκλάβους (slaves) και τις σταθμευμένες (ανενεργές) συσκευές (parked). Οι συσκευές που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής δεν ανήκουν στο δίκτυο. Στην προκειμένη περίπτωση είχαμε μόνο δύο συσκευές Bluetooth, το κινητό και το μετατροπέα. Παρόλο που οποιαδήποτε από τις δύο συσκευές θα μπορούσε να λειτουργήσει ως αφέντης, επιλέχθηκε να λειτουργεί σε αυτήν την κατάσταση το κινητό, αφενός γιατί είναι πολύ πιο "έξυπνη" συσκευή από το μετατροπέα, αφετέρου γιατί αυτή η ρύθμιση μας δίνει τη δυνατότητα εγκατάστασης ενός δικτύου Bluetooth στο οποίο να συμμετέχουν περισσότεροι μετρητές γλυκόζης βλέποντας έναν master, το P800. Έτσι, το P800 ήταν αυτό που ρύθμιζε το ρολόι, καθόριζε τον τρόπο αναπήδησης συχνότητας και έδινε μια διεύθυνση ενεργού μέλους των 3 bit στο μετατροπέα και κατ' επέκταση στο κινητό.

Η διαδικασία ταιριάσματος διεξήχθη κανονικά και χρειάστηκε μόνο την πρώτη φορά, όταν στήθηκε το δίκτυο, ενώ τις επόμενες φορές χρησιμοποιείται το υπάρχων κλειδί (link key, σχήμα 4.7). Μετά το μήνυμα αναζήτησης (inquiry message) που στάλθηκε από το P800 στο μετατροπέα του οποίου η διεύθυνση ήταν άγνωστη, στάλθηκε ένα μήνυμα paging και εγκαταστάθηκε επιτυχώς η σύνδεση. Η επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών διεξάγεται ομαλά, σε ακτίνες έως 10 m, χωρίς απαραίτητα την ύπαρξη οπτικού μονοπατιού, όπως αυτό άλλωστε ορίζεται και από την ίδια την τεχνολογία.

Στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 5. 4) απεικονίζεται η έξοδος του συστήματος, δηλαδή η εμφάνιση των αποτελεσμάτων του μετρητή στην οθόνη του P800.



Σχήμα 5.4 Εμφάνιση αποτελεσμάτων στην οθόνη του P800

5.7 Συμπεράσματα – Μελλοντικές προκλήσεις

Όπως αποδείχθηκε και από τα πειραματικά αποτελέσματα της διάταξης, η επικοινωνία μεταξύ του οργάνου μέτρησης της γλυκόζης αίματος και του κινητού τηλεφώνου είναι μια διαδικασία όχι μόνο εφικτή, αλλά και αυτοματοποιημένη, με τον ανθρώπινο παράγοντα απαραίτητο μόνο στα βήματα αρχικοποίησης της διαδικασίας, δηλαδή του ταιριάσματος των δύο συσκευών. Ο έλεγχος ήταν επιτυχής και η επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών, με τη μεσολάβηση πάντα του μετατροπέα, μπορούσε να διεξαχθεί χωρίς προβλήματα.

Η επιτυχής επικοινωνία των δύο συσκευών ανοίγει τώρα το δρόμο για τη δημιουργία μιας αυτοματοποιημένης πλατφόρμας λήψης των αποτελεσμάτων από τη συσκευή μέτρησης και αποστολή αυτών μέσω του κινητού τηλεφώνου στον υπεύθυνο γιατρό, ο οποίος και θα τα αξιολογεί. Μάλιστα, όπως ήδη έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, η πλατφόρμα αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρότυπο, οπότε αλλάζοντας τον τύπο των βιοσημάτων θα βρίσκει εφαρμογή και σε διάφορα άλλα σοβαρά χρόνια νοσήματα, όπως την υπέρταση, παθήσεις καρδιάς, πνευμονικά νοσήματα κ.ά

5.8 Αναφορές

<http://www.sonyericsson.com/P800/>

RS232 – Bluetooth Converter

<http://www.brainboxes.com/downloads/datasheets/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ακρωνύμια - Συντμήσεις – Συντομογραφίες

2G : Second Generation

3G : Third Generation

ACL : Asynchronous Connection-Less

ADA : American Diabetes Association

ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation

AFH : Adaptive Frequency Hopping

AMA : Active Member Address

ARQ : Automatic Repeat reQuest

ASIC : Application Specific Integrated Circuits

ATM : Asynchronous Transfer Mode

BB : BaseBand

BBLC : Baseband Link Controller

BER : Bit Error Rate

BRAN : Broadband Radio Access Networks

CAC : Channel Access Control

CAC : Channel Access Code (Bluetooth Baseband Layer)

CEPT : Conférence Européenne des Postes et Télécommunications

European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

European Radiocommunication Committee

CL : Convergence Layer

CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access /

DAC : Device Access Code

DCA : Dynamic Channel Allocation

DCCT : Diabetes Control and Complications Trial

DCS : Dynamic Channel Selection

DFS : Dynamic Frequency Selection

DLC : Data Link Control

DECT : Digital Enhanced Cordless Telecommunication

EMS : Enhanced Messaging Service

ETSI : European Telecommunications Standardization Institute

EY-NPMA : Elimination Yield Non-Pre-emptive priority Multiple Access

FEC : Forward Error Correction

FFT : Fast Fourier Transform

FIFO : First In First Out

FSK : Frequency Shift Keying
GFSK : Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK : Gaussian Minimum Shift Keying
GOD : Glucose Oxidase
GPRS : General Packet Radio Service
GPS : Global Positioning System
GSM : Global System for Mobile communications
HCI : Host Controller Interface
HiperLAN : High PEformance Radio Local Area Network
HSD : High Speed Data
HTML : HyperText Markup Language
IAC : Inquiry Access Code
IDF : International Diabetes Federation
IEC : International Electrotechnical Commission
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP : Internet Protocol
ISM : Industrial Scientific Medical
ISO : International Standardization Organization
LAN : Local Area Network
LAP : Lower Address Portion
LC : Link Controller
LM : Link Manager
LOD : Lactate Oxidase
MAC : Medium Access Control
MMS : Multimedia Messaging Service
MTU : Maximum Transmission Unit
NAP : Non-significant Address Portion
NSA : National Security Agency
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI : Open Systems Interconnection
PAN : Personal Area Network
PC : Personal Computer (Προσωπικός Υπολογιστής)
PCB : Printed Circuit Board (:= πολυστρωματικό τυπωμένο κύκλωμα)
PDA: Personal Digital Assistant
PDU : Protocol Data Units
PMA: Parked Member Address
POS : Personal Operating Space
PPP : Point to Point Protocol

PSTN : Public Switch Telephone Network
QoS : Quality of Service
RF : Radio Frequency
RFID : Radio Frequency Identification Data
RLC : Radio Link Control
RSSI : Receiver Signal Strength Indicator
SAP : Service Access Point
SCO : Synchronous Connection-Oriented
SDP : Service Discovery Protocol
SIG : Special Interest Group
SMS : Short Message Service
SWAP : Shared Wireless Access Protocol
TCM : Trellis Coded Modulation
TCP : Transmission Control Protocol (Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης)
TDD : Time Division Duplex
TDMA : Time Division Multiple Access (Πολλαπλή Προσπέλαση με Διαίρεση Χρόνου)
TTF : TetraThiaFulvalene
UAP : Upper Address Portion
UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDP : User Datagram Protocol (Πρωτόκολλο Δεδομενογραφημάτων Χρήστη)
UMTS : Universal Mobile Telecommunication System
USB : Universal Serial Bus
WAP : Wireless Application Protocol
WLAN : Wireless Local Area Network
XML : eXtended Markup Language