

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ
ΡΟΥΧΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΠΤΩΣΗΣ /
ΑΚΙΝΗΣΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αθανάσιου Φεύγα

Βόλος Ιούλιος 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6701/1
Ημερ. Εισ.: 15-01-2009
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
005.4
ΦΕΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ
ΡΟΥΧΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΠΤΩΣΗΣ /
ΑΚΙΝΗΣΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Αθανάσιου Φεύγα

Τριμελής Επιτροπή

Επιβλέπων

Λάλης Σπυρίδων
Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Μέλη

Σταμούλης Γεώργιος
Καθηγητής Π.Θ.

Ευθυβουλίδης Γεώργιος
Λέκτορας Π.Θ.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας Επ. Καθηγητή Σπυρίδωνα Λάλη για την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της, και τα μέλη της επιτροπής Καθηγητή Σταμούλη Γεώργιο και Λέκτορα Ευθυβουλίδη Γεώργιο για τις συμβουλές τους. Θερμά ευχαριστώ, στον Καθηγητή Ηλία Χούστη και το Κέντρο Έρευνας, Τεχνολογίας και Ανάπτυξης Θεσσαλίας (Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ) για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν χρηματοδοτώντας την εργασία μου μέσω του προγράμματος «Σχεδιασμός και Αρχιτεκτονική e-Textile Πλατφόρμας» της Κοινοπραξίας Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης στον Τομέα της Κλωστοϋφαντουργίας. Τέλος, ευχαριστώ την Επ. Καθηγήτρια Τσομπανοπούλου Παναγιώτα και τον κ Εμμανουήλ Κουτσομπέλια, με του οποίους συνεργάστηκα στο προαναφερθέν πρόγραμμα, για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Περίληψη

Τα ηλεκτρονικά υφάσματα είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της τεχνολογικής έρευνας σήμερα, με πλήθος εφαρμογών στην βιομηχανία, την ιατρική, την ασφάλεια και αλλού. Αποτελούν ένα νέο πεδίο για τις επιστήμες της φυσικής, των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής, αφού απαιτούν την ανάπτυξη νέων υλικών και μεθόδων κατασκευής ηλεκτρονικών, αλλά και νέων μεθόδων αλληλεπίδρασης με τον περιβάλλον. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η μελέτη του χώρου του ηλεκτρονικών υφασμάτων, εστιάζοντας στις κυριότερες σχετικές τεχνολογίες υλικού και λογισμικού, η σχεδίαση και η κατασκευή μιας πλατφόρμας ανάπτυξης πρωτότυπων εφαρμογών για ηλεκτρονικά υφάσματα, και τέλος η ανάπτυξη μιας εφαρμογής ανίχνευσης πτώσης με την χρήση της πλατφόρμας.

Περιεχόμενα

1	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	11
1.1	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	11
1.1.1	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες	12
1.1.2	Πιεζοαντιστατικοί αισθητήρες	13
1.1.3	Ηλεκτρόδια	14
1.1.4	Ηλεκτρονικά στοιχεία από πλαστικό	15
1.1.5	Οπτικές ίνες και αισθητήρες	16
1.1.6	Πηγές ενέργειας	16
1.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ	18
1.2.1	Υπολογιστικοί κόμβοι	19
1.2.2	Διασύνδεση υπολογιστικών κόμβων	21
1.2.3	Πρωτόκολλα επικοινωνίας	22
1.2.4	Ασύρματη επικοινωνία	23
1.2.5	Κλιμάκωση και ανοχή σε βλάβες	24
1.3	ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΙΤΥΞΗΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	26
1.3.1	Μοντέλα προγραμματισμού	26
1.3.2	Λογισμικό για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	28
1.3.3	Μοντελοποίηση	28
1.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	30
2	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ	31
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
2.2	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	31
2.2.1	Αισθητήρες	34
2.2.2	Κεντρική μονάδα	36
2.2.2.1	Μικροελεκτήρες	38
2.2.2.2	Επικοινωνία	40
2.2.2.3	Παροχή ισχύος	43
2.3	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	44
2.3.1	Λογισμικό επαναπρογραμματισμού	44
2.4	ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ, ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΘΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	49
2.4.1	Λογισμικό δοκιμών	49
2.4.2	Έλεγχος απόδοσης και κατανάλωσης	50
2.4.3	Έλεγχος ορθής λειτουργίας	52
3	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΤΩΣΗΣ / ΑΚΙΝΗΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ	55
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	55
3.2	ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΙΑ ΠΤΩΣΗ	56
3.2.1	Η επιτάχυνση	56
3.2.2	Κατανοώντας την πτώση	59
3.2.3	Σχετικές εργασίες	60
3.3	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	61
3.3.1	Κατασκευή Πρωτοτύπου ενδύματος	62
3.3.2	Λογισμικό	63
3.3.3	Αλγόριθμος αναγνώρισης πτώσης	65
3.3.4	Επαλήθευση της εφαρμογής αναγνώρισης πτώσης	66
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	69
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	71
	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	71
	BIOTEX	71
	CONTEXT	72
	PROETEX	72
	STELLA	72
	MyHeart	72
	OFSETH	73
	MERMOTH	73

<i>ELEKSEN</i>	73
<i>Fibretronic</i>	74
<i>Textronics</i>	74
<i>Smartex</i>	75
<i>Sensatex</i>	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	77
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	83
ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΟΥ BOOTLOADER.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	85
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΤΩΣΗΣ	85
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	89

1 Τεχνολογίες Ηλεκτρονικών Υφασμάτων

Ο γενικός όρος «τεχνικά υφάσματα» απευθύνεται σε προϊόντα της υφαντουργίας που έχουν ειδικές ιδιότητες ώστε να ενδείκνυται η χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές της βιομηχανίας, της ιατρικής, της αεροναυπηγικής κλπ.

Ο όρος «ηλεκτρονικά υφάσματα» (electronic textiles) ή «έξυπνα υφάσματα» (smart textiles) χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των τεχνικών υφασμάτων που ενσωματώνουν διάφορα ηλεκτρονικά, αισθητήρες (sensors), επεξεργαστές (processors) και ενεργοποιητές (actuators), με απώτερο σκοπό την υποστήριξη μιας νέας γενιάς εφαρμογών. Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι τα ηλεκτρονικά υφάσματα που προορίζονται για είδη ένδυσης, τα λεγόμενα «έξυπνα ρούχα», όπου μια επιπλέον απαίτηση είναι η ενσωμάτωση της παραπάνω λειτουργικότητας χωρίς να ελαττώνεται το επίπεδο άνεσης για τον ανθρώπινο οργανισμό.

1.1 Βασικά στοιχεία ηλεκτρονικών υφασμάτων

Τα επιμέρους στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρονικών υφασμάτων και ρούχων πρέπει να έχουν μικρό βάρος, να στρεβλώνουν και να μπορούν εύκολα να παραχθούν σε μεγέθη και σχήματα κατάλληλα για ράψιμο πάνω σε ρούχα ή ακόμα και σε μορφή ίνας κατάλληλη για (βιομηχανική) ύφανση. Επίσης, πρέπει να αντέχουν στην

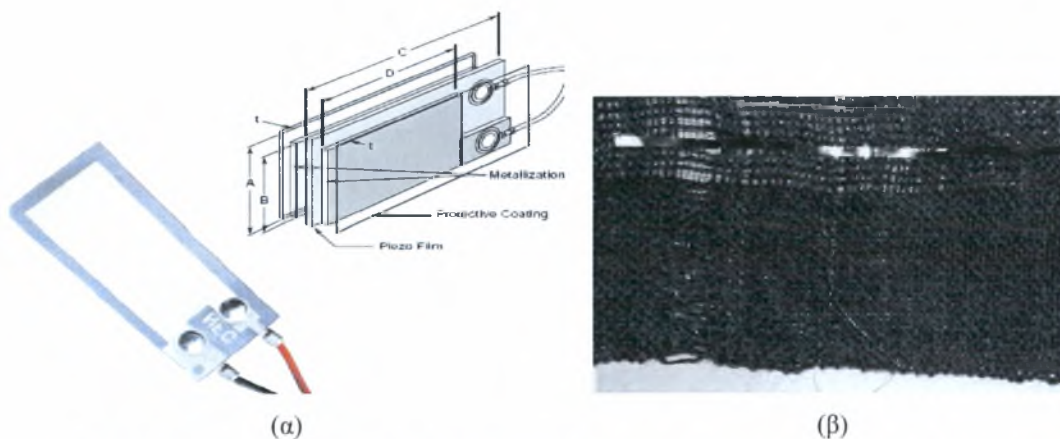
καθημερινή χρήση ενός κανονικού υφάσματος, για παράδειγμα το περιστασιακό βρέξιμο, ή ιδανικά, ακόμα και το συχνό πλύσιμο με απορρυπαντικό.

Οι προσπάθειες που γίνονται σε αυτόν τον τομέα αφορούν τον συνδυασμό από υπάρχοντα υλικά αλλά και την κατασκευή νέων υλικών με καλύτερες ιδιότητες. Παρακάτω περιγράφονται οι πιο ενδεικτικές τεχνολογίες ηλεκτρονικών στοιχείων που ερευνώνται και αναπτύσσονται στις μέρες μας.

1.1.1 Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά δημιουργούν ηλεκτρικό φορτίο όταν δέχονται μηχανική πίεση, και το φορτίο αυτό μεταβάλλεται με την μεταβολή της πίεσης. Επίσης, εμφανίζουν και την αντίστροφη ιδιότητα, δηλαδή, παραμορφώνονται όταν τα διαπεράσει ηλεκτρικό ρεύμα.

Υλικά που εμφανίζουν τέτοια συμπεριφορά είναι συνήθως κεραμικά και πολυμερή αλλά και ορυκτά, όπως ο χαλαζίας. Από τα πιο γνωστά είναι το κεραμικό zirconate titanate (PZT) και το πολυμερές polyvinylidene fluoride (PVDF) το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή αισθητήρων που μπορεί να ενσωματωθούν σε ηλεκτρονικά υφάσματα. Ένας αισθητήρας από PVDF της Measurement Specialties (Εικόνα 1) έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την ανίχνευση καρδιακού παλμού, πίεσης του αίματος και συχνότητας αναπνοής καθώς και για την ανίχνευση των κινήσεων των δακτύλων κατά την πληκτρολόγηση [53] [34].



Εικόνα 1 (α) Πρωτότυπος πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας, (β) ενσωματωμένος σε ύφασμα

Σημαντικό μειονέκτημα για την ενσωμάτωση πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων με την μορφή φιλμ σε ενδύματα, είναι η μείωση της άνεσης του ενδύματος. Για τον λόγο αυτό ερευνάται η κατασκευή αισθητήρων από PVDF με την μορφή ινών [17].

1.1.2 Πιεζοαντιστατικοί αισθητήρες

Τα πιεζοαντιστατικά υλικά μεταβάλλουν την αντίστασή τους όταν υπόκεινται σε μηχανική πίεση. Για την κατασκευή πιεζοαντιστατικών αισθητήρων χρησιμοποιείται πυρίτιο (Si) αλλά και διάφορα πολυμερή όπως τα polypropylene (PPy) και polyaniline (Pani) [17]. Η πλειοψηφία των υλικών από πολυμερή περιέχουν μόρια άνθρακα (Carbon Loaded Rubbers - CLR) τα οποία, όταν τους ασκηθεί πίεση, ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα νοητό αγωγό.

Η αποτελεσματικότητα της χρήσης πιεζοαντιστατικών αισθητήρων από πολυμερή σε εφαρμογές ηλεκτρονικών υφασμάτων έχει αποτελέσει (μεταξύ των άλλων) αντικείμενο έρευνας [1] [15] [33] [45] [46]. Στα πλαίσια αυτών των ερευνητικών δραστηριοτήτων τα πιεζοαντιστατικά πολυμερή έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της θέσης και της κίνησης σημείων σώματος (κορμός, ώμος, χέρι) [1] [15], καθώς και την παρακολούθηση ζωτικών λειτουργιών όπως η αναπνοή [33][45].

Στις παραπάνω προσπάθειες οι αισθητήρες τοποθετούνται σε ενδύματα που εφαρμόζουν στο σώμα (Εικόνα 2), ώστε οι στρεβλώσεις του υφάσματος να ανταποκρίνονται πιστότερα στις κινήσεις του σώματος. Αυτή όμως η μέθοδος ενσωμάτωσης περιορίζει σε ένα βαθμό την άνεση του ενδύματος.

Με σκοπό να βελτιωθεί η αίσθηση άνεσης, διερευνάται η αποτελεσματικότητα της χρήσης αισθητήρων από PPy σε υπόστρωμα από αφρό πολυουρεθάνης [32]. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται καταγραφή της μεταβολής της αντίστασης κατά την άσκηση πίεσης στον αφρό. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί πειραματικά για την ανίχνευση της κίνησης του διαφράγματος, του ώμου και του χεριού.

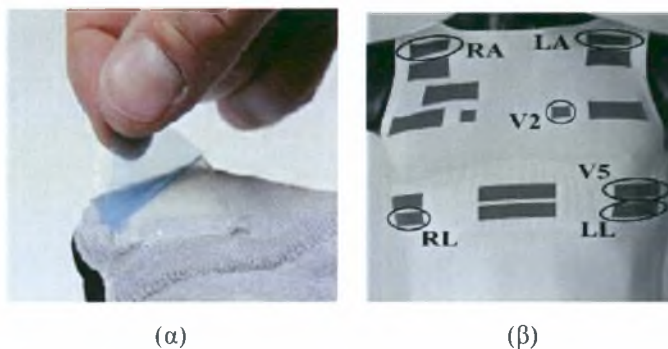


Εικόνα 2 Πρωτότυποι πιεζοαντιστατικοί αισθητήρες ενσωματωμένοι σε ρούχο.

Τέλος η Peratech¹ ανέπτυξε την τεχνολογία Quantum Tunneling Composite με βάση την κβαντική μηχανική. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί πολυμερή που περιέχουν μόρια μετάλλου τα οποία με εφαρμογή πίεσης μπορεί να έρθουν πολύ κοντά το ένα στο άλλο (όχι όμως σε επαφή μεταξύ τους), μειώνοντας την αντίσταση του υλικού εκθετικά. Η Peratech κατασκευάζει διακόπτες (για τον έλεγχο ηλεκτρονικών συσκευών, π.χ., mp3 players) και αισθητήρες πίεσης (force sensors) για ηλεκτρονικά υφάσματα. Τα πλεονεκτήματα των προϊόντων της είναι η δυνατότητα παραγωγής τους σε οποιοδήποτε σχήμα και μέγεθος, το χαμηλό κόστος, η εύκολη διασύνδεσή τους με υπάρχοντα ηλεκτρονικά και η δυνατότητα πλύσης τους.

1.1.3 Ηλεκτρόδια

Τα ηλεκτρόδια έχουν εξαιρετική σημασία για την ανίχνευση ζωτικών βιολογικών λειτουργιών, όπως ο καρδιακός παλμός. Τα συμβατικά ηλεκτρόδια κατασκευάζονται από Ag/AgCl και κατά την χρήση τους εφαρμόζεται ζελέ που αυξάνει την αγωγιμότητα μεταξύ του δέρματος και του ηλεκτροδίου. Η καθημερινή χρήση τους σε ρούχα είναι πρακτικά αδύνατη λόγω της πολύπλοκης διαδικασίας προσκόλλησης τους (απ' ευθείας) στο ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 3 (α) Πρωτότυπο υφασμάτινο ηλεκτρόδιο, και (β) πρωτότυπο ρούχο με υφασμένα ηλεκτρόδια σε διάφορα σημεία

Για να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα, έχουν κατασκευαστεί υφασμάτινα ηλεκτρόδια με νήμα από ανοξειδωτο ασάλι συνεστραμμένο με νήμα από βισκόζη [16] [46]. Για την αύξηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε μια ειδική μεμβράνη από την ST&D Belfast² (Εικόνα 3(α)). Μια άλλη προσέγγιση [33] [45] είναι η κατασκευή ηλεκτροδίων από ειδικό ανοξειδωτο νήμα της Bekintex³, τα οποία υφάνθηκαν σε συγκεκριμένες περιοχές του ρούχου που αντιστοιχούν στα κατάλληλα σημεία μέτρησης του ανθρώπινου σώματος (Εικόνα 3(β)).

¹ <http://www.peratech.co.uk>

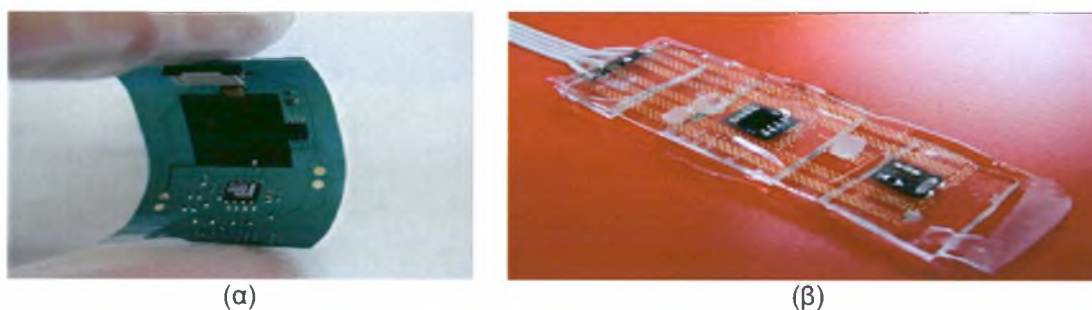
² <http://www.std-ltd.com>

³ <http://www.bekintex.com>

1.1.4 Ηλεκτρονικά στοιχεία από πλαστικό

Η χρήση πλαστικού είναι ιδιαίτερα ενδεδειγμένη λόγω της ευκαμψίας και ελαστικότητας του. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πλαστικά ηλεκτρονικά έχουν τις ρίζες τους πίσω στην δεκαετία του 1960. Σήμερα αυτός ο τομέας γνωρίζει μια πρωτοφανή ανάκαμψη, μεταξύ άλλων, λόγω των ιδιαίτερα σημαντικών προοπτικών εφαρμογής στα ηλεκτρονικά υφάσματα.

Οι ερευνητικές προσπάθειες [18] επικεντρώνονται κυρίως στην κατασκευή εύκαμπτων και ελαστικών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Για την κατασκευή εύκαμπτων ηλεκτρονικών χρησιμοποιείται συνήθως ένα υπόστρωμα από polyamide και αγωγοί από χαλκό (Εικόνα 4(α)), ενώ για την κατασκευή ελαστικών ηλεκτρονικών χρησιμοποιούνται σιλικόνη και πολυουρεθάνη.



Εικόνα 4 (α) Εύκαμπτο τυπωμένο κύκλωμα, και (β) πρωτότυπο ελαστικό θερμομέτρο

Στην δεύτερη περίπτωση, τα ηλεκτρονικά είναι κυριολεκτικά ενσωματωμένα στο ελαστικό υλικό. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο, συνήθως χαλκό ή χρυσό, και έχουν διάταξη πέταλου επιτρέποντας την έντονη παραμόρφωση του κυκλώματος (έως και 200%) χωρίς να προκαλούνται προβλήματα λειτουργίας. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το ελαστικό θερμομέτρο [5] (Εικόνα 4(β)) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος STELLA⁴.



Εικόνα 5 (α) Πρωτότυπη εύκαμπτη οθόνη, και (β) παράδειγμα χρήσης

⁴ <http://www.stella-project.com>

Από τα πιο εντυπωσιακά αποτελέσματα της έρευνας σε αυτό τον τομέα είναι οι εύκαμπτες πλαστικές οθόνες, που μετά από μακρόχρονες προσπάθειες έχουν φτάσει πλέον σε επίπεδο τελικού προϊόντος. Συγκεκριμένα, η εταιρία Plastic Logic⁵ πρόκειται να αρχίσει την εμπορική παραγωγή των πρώτων εύκαμπτων πλαστικών οθονών το 2008 (Εικόνα 5).

1.1.5 Οπτικές ίνες και αισθητήρες

Οι οπτικές ίνες είναι μια δημοφιλής τεχνολογία για την ταχεία μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, π.χ., για μητροπολιτικά και υπεραστικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Στο πλαίσιο των ηλεκτρονικών υφασμάτων, η χρήση τους ως γραμμές μεταφοράς δεδομένων περιορίζεται σημαντικά από το κόστος και το μέγεθος των μετατροπέων από οπτικό σε ηλεκτρικό σήμα (και το αντίστροφο).

Μια άλλη εφαρμογή των οπτικών ινών, με μεγαλύτερη πρακτική σημασία για τον τομέα των έξυπνων υφασμάτων, είναι η κατασκευή αισθητήρων. Σε αυτή την περίπτωση, το φαινόμενο προς ανίχνευση προκαλεί μεταβολή σε κάποια από τις ιδιότητες του φωτός (π.χ., μήκος κύματος, φάση) η οποία εντοπίζεται με την βοήθεια οπτικών ινών.

Για παράδειγμα, στο Ινστιτούτο Georgia Tech των Η.Π.Α., δημιουργήθηκε ένα δίκτυο από οπτικές ίνες για την ανίχνευση του σημείου εισόδου σε τραύματα από πυροβόλο όπλο (ταυτόχρονα με ένα δίκτυο από μεταλλικές ίνες και αισθητήρες για την παρακολούθηση ζωτικών λειτουργιών των στρατιωτών) (Wearable Motherboard⁶) [50]. Την εμπορική εκμετάλλευση του συστήματος έχει αναλάβει η εταιρία Sensatex⁷.

Η χρήση αισθητήρων από οπτικές ίνες εξετάζεται και για την μέτρηση διαφόρων βιολογικών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία του σώματος, η συχνότητα αναπνοής, η πίεση, οι τιμές Ph του δέρματος, και το επίπεδο του οξυγόνου στο αίμα [43].

1.1.6 Πηγές ενέργειας

Ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη τις ηλεκτρονικού υφάσματος είναι η τροφοδοσία του με ρεύμα.

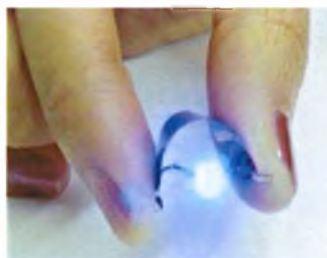
Η πλέον συνηθισμένη προσέγγιση τροφοδοσίας είναι οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Για μια ακόμα φορά, το πρόβλημα που τίθεται είναι το μέγεθος και ο βαθμός ενσωμάτωσης στο

⁵ <http://www.plasticlogic.com/>

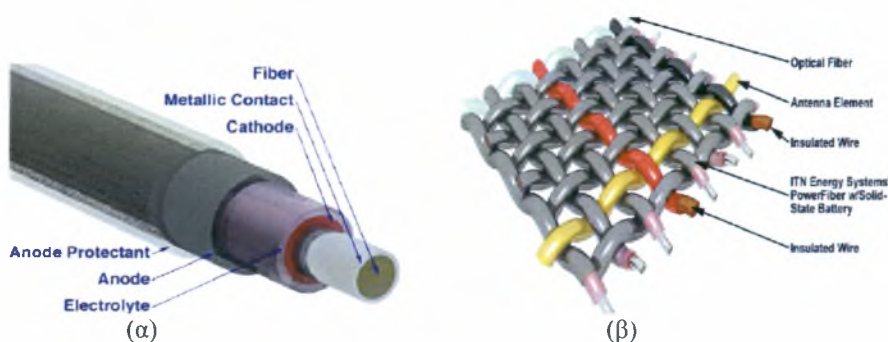
⁶ <http://www.smartshirt.gatech.edu/gtwm.html>

⁷ <http://www.sensatex.com>

ύφασμα. Για αυτό το λόγο, ένα ιδιαίτερα σημαντικό αντικείμενο έρευνας είναι η κατασκευή λεπτών εύκαμπτων μπαταριών ώστε να είναι δυνατή η πλήρης ενσωμάτωσή τους σε ηλεκτρονικά υφάσματα [6]. Υπάρχουν ήδη κάποια προϊόντα διαθέσιμα στο εμπόριο. Οι εταιρίες Front Edge Solutions⁸ και Infinite Power Solutions⁹ κατασκευάζουν μπαταρίες λιθίου με την μορφή λεπτού φιλμ που μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί / προσαρμοστεί σε ένα ύφασμα (Εικόνα 6). Η εταιρεία ITN¹⁰, ερευνά την κατασκευή επαναφορτιζόμενων μπαταριών με την μορφή νήματος (Εικόνα 7). Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται PowerFibers και φαίνεται να πλεονεκτεί σε σχέση με τις τεχνολογίες επίπεδου φιλμ γιατί παρουσιάζει καλύτερη μηχανική συμπεριφορά.



Εικόνα 6 Μπαταρία σε μορφή φιλμ από την Front Edge Solutions



Εικόνα 7 Μπαταρία σε (α) μορφή νήματος της ITN, και σε (β) πλέγμα

Ιδανικά, οι μπαταρίες ενός ηλεκτρονικού υφάσματος θα πρέπει συνεχώς να φορτίζονται αυτόνομα, χωρίς κάποια ανθρώπινη παρέμβαση, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία του συστήματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια φωτοβολταϊκών στοιχείων ή χρησιμοποιώντας πιεζοηλεκτρικές, θερμοηλεκτρικές και κινητικές γεννήτριες. Τα επιπλέον στοιχεία τροφοδοσίας πρέπει βέβαια με την σειρά τους να ενσωματωθούν με κατάλληλο τρόπο στο ηλεκτρονικό ύφασμα / ρούχο ώστε να μην επηρεάζουν την άνεση και χρηστικότητα του.

⁸ <http://www.frontedgetechnology.com/>

⁹ <http://www.infinitepowersolutions.com/>

¹⁰ <http://www.itnes.com/>

Για παράδειγμα, οι πιεζοηλεκτρικοί εναλλάκτες (transducers) μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Στην περίπτωση των ηλεκτρονικών ρούχων, μπορεί να τοποθετηθούν πάνω σε διάφορες αρθρώσεις του σώματος ή ακόμα και στις σόλες των παπουτσιών [24].

Η μετατροπή κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική μπορεί να γίνει και με τεχνικές όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στα ρολόγια χειρός (π.χ., Kinetic¹¹ της Seiko), όπου ένας μαγνήτης περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα με την κίνηση του χεριού. Επίσης, η Seiko έχει κατασκευάσει ρολόγια που διαθέτουν μηχανισμό για την μετατροπή της θερμότητας που αποβάλλει το ανθρώπινο σώμα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας αποτελεί ρεαλιστική λύση για την φόρτιση μπαταριών που βρίσκονται ενσωματωμένες σε ηλεκτρονικά υφάσματα [17] [24]. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από εύκαμπτα πολυμερή αποτέλεσαν αντικείμενο εργασίας του ερευνητικού προγράμματος SOLTEX¹² (2002-2005). Σήμερα υπάρχουν στην αγορά φωτοβολταϊκά στοιχεία από την Konarka¹³, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά υφάσματα.

1.2 Επεξεργασία και επικοινωνία

Σε συνδυασμό με τα στοιχεία που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, τα ηλεκτρονικά υφάσματα / ρούχα πρέπει, συνήθως, να πραγματοποιούν κάποιες στοιχειώδεις λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων, ελέγχου και επικοινωνίας. Η ικανοποίηση αυτών των λειτουργιών θα πρέπει να επιτυγχάνεται με μικρό κόστος και μέγεθος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν σοβαροί περιορισμοί σε επεξεργαστική ισχύ, μνήμη και ενεργειακή αυτονομία.

Θεωρητικά, ένα μέρος της υπολογιστικής δυνατότητας θα μπορούσε να υλοποιηθεί «μέσα» στο ύφασμα, συνδυάζοντας στοιχειώδεις λειτουργίες σε επίπεδο των νημάτων. Η έρευνα στο συγκεκριμένο χώρο σχετίζεται με την κατασκευή νήματος από πολυμερή τα οποία παρουσιάζουν ιδιότητες ημιαγωγών, προς το παρόν χωρίς άμεσα χρήσιμα αποτελέσματα [17] [25]. Εναλλακτικά, η επιθυμητή υπολογιστική δυνατότητα μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας μικροσκοπικούς υπολογιστές (ή «κόμβους») που τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία μέσα ή πάνω στο ύφασμα. Η ενότητα αυτή εξετάζει την δεύτερη προσέγγιση που είναι η πιο ενδεδειγμένη για την γρήγορη και ευέλικτη ανάπτυξη πρωτοτύπων εφαρμογών. Τα πιο σημαντικά ζητήματα ενός ηλεκτρονικού υφάσματος, σε

¹¹ <http://www.seikousa.com/Technology/TechDetails.aspx?technologyId=2>

¹² <http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?!=en&COD=PA/09>

¹³ <http://www.konarkatech.com/>

αυτή την περίπτωση, είναι: (α) ο τύπος και η θέση των υπολογιστικών κόμβων πάνω στο ύφασμα / ρούχο, (β) η φυσική τοπολογία διασύνδεσης τους, και (γ) το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ τους καθώς και με τα υπόλοιπα στοιχεία του υφάσματος, π.χ., αισθητήρες.

1.2.1 Υπολογιστικοί κόμβοι

Η επιλογή του τύπου των κόμβων που θα τοποθετηθούν στο ύφασμα για την παροχή της επιθυμητής επεξεργασίας και επικοινωνίας επηρεάζει και αυτή, ως ένα βαθμό, τον βαθμό ενσωμάτωσης τους στο ύφασμα αλλά και την μαζική (βιομηχανική) παραγωγή ηλεκτρονικών υφασμάτων (γενικής χρήσης) χαμηλού κόστους.

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις: (1) οι κόμβοι είναι ειδικά σχεδιασμένοι και τοποθετημένοι για να ανταποκρίνονται (βέλτιστα) στις εξειδικευμένες απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης εφαρμογής [45], και (2) επιλέγονται κόμβοι γενικής χρήσης που τοποθετούνται και προγραμματίζονται ανάλογα με την επιθυμητή λειτουργικότητα [9] [58]. Σε κάθε περίπτωση, η τροφοδοσία των κόμβων επιβάλλει την παρουσία ηλεκτρικών πηγών και κατάλληλου δικτύου μεταφοράς, ενώ η ορθολογική (οικονομική) διαχείριση των αποθεμάτων ενέργειας αποτελεί σημαντική παράμετρο που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού [8] [9].

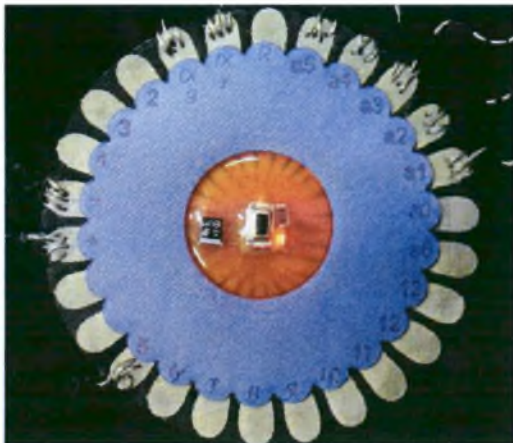
Ειδικά σχεδιασμένοι κόμβοι [45], μπορεί να χρησιμοποιηθούν αν η εφαρμογή απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα στην επεξεργασία των δεδομένων, όπως για παράδειγμα για την λήψη ηλεκτροκαρδιογραφήματος ή την παρακολούθηση του ρυθμού της αναπνοής.



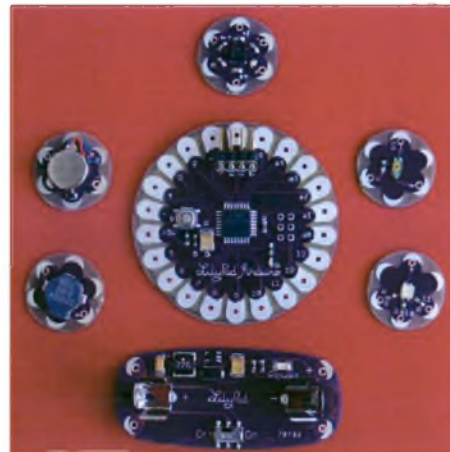
Εικόνα 8 (α) Συσκευή εισόδου στο σύστημα με δύο διακόπτες και (β) κόμβος ελέγχου

Ενδεικτικό παράδειγμα της δεύτερης προσέγγισης, είναι το σύστημα των e-Tags [9]. Τα e-Tags έχουν μέγεθος 1x1 ίντσες και είναι κατασκευασμένα με συμβατικές πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Οι κόμβοι με την απλούστερη λειτουργικότητα (κυρίως για την δειγματοληψία από αισθητήρες) διαθέτουν μικροελεγκτές Microchip PIC16LF819 (Εικόνα 8(α)), ενώ οι κόμβοι που είναι επιφορτισμένοι με τον έλεγχο του συστήματος και την

επεξεργασία των δεδομένων (κόμβοι ελέγχου), χρησιμοποιούν μικροελεγκτές Microchip PIC18LF242 με περισσότερες δυνατότητες (Εικόνα 8(β)). Για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων e-Tags χρησιμοποιείται I2C, διότι υποστηρίζεται εγγενώς από τους μικροελεγκτές PIC, χρησιμοποιεί μικρό αριθμό γραμμών μεταφοράς (τέσσερις) και προσφέρει ικανοποιητικό ρυθμό μεταγωγής δεδομένων. Η επικοινωνία μεταξύ του ηλεκτρονικού υφάσματος που ενσωματώνει e-Tags και του «έξω» κόσμου είναι σειριακή (RS-232). Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω συμβατικών γραμμών μεταφοράς διανομής, ενώ η εξομάλυνσή της επιτυγχάνεται μέσω του regulator TC55 της Microchip¹⁴.



(α)



(β)

Εικόνα 9 (α) LilyPad και (β) εμπορική έκδοση του LilyPad

Το LilyPad¹⁵ [30] αποτελεί ένα ακόμα παράδειγμα χρήσης κόμβων γενικού σκοπού για την κατασκευή πρωτότυπων εφαρμογών. Αντίθετα με τα e-Tags, στο LilyPad χρησιμοποιείται αγωγίμο ύφασμα (Εικόνα 9(α)) αντί του συμβατικού PCB για την κατασκευή του κυκλώματος. Το LilyPad διαθέτει ένα κεντρικό κόμβο που έχει δυνατότητα επεξεργασίας, (διαθέτει μικροελεγκτή ATmega168V¹⁶) ενώ οι κόμβοι αισθητήρων, ενδεικτικών λυχνιών, ενεργοποιητών (actuators) και τροφοδοσίας δεν έχουν υπολογιστικές δυνατότητες και συνδέονται απ' ευθείας με τον κεντρικό κόμβο. Πρόσφατα αναπτύχθηκε και μια εμπορική έκδοση του LilyPad (Εικόνα 9(β)) για εκπαιδευτικούς, ερευνητικούς και ψυχαγωγικούς λόγους, η οποία είναι κατασκευασμένη σε συμβατικό PCB.

¹⁴ <http://www.microchip.com/>

¹⁵ <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLilyPad>

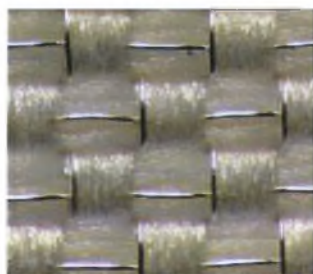
¹⁶ <http://www.atmel.com/>

1.2.2 Διασύνδεση υπολογιστικών κόμβων

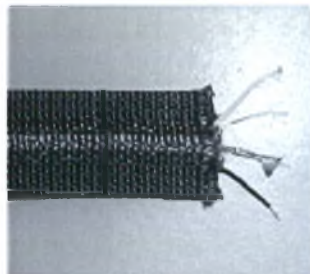
Μια από τις σημαντικότερες αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν κατά την σχεδίαση ενός ηλεκτρονικού υφάσματος είναι ο τύπος των γραμμών μεταφοράς ενέργειας και δεδομένων καθώς αυτό καθορίζει την δυνατότητα συνένωσης των γραμμών για τον σχηματισμό της επιθυμητής τοπολογίας και επηρεάζει την προσάρτηση των επιμέρους στοιχείων πάνω στις γραμμές μεταφοράς, και την επικοινωνία των στοιχείων μεταξύ τους σε ψηλότερο επίπεδο.

Όπως όλα τα στοιχεία ενός ηλεκτρονικού υφάσματος, έτσι και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να ενσωματωθούν στο ύφασμα έτσι ώστε να μην επηρεάζουν την συμπεριφορά και την αίσθηση άνεσής του. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό συνοψίζονται, σύμφωνα με το [22], ως εξής: (1) ύφανση (ολόκληρου ή τμήματος του υφάσματος) με χρήση αγώγιμου νήματος, (2) επίστρωση μέταλλου ή αγώγιμου υφάσματος πάνω σε ύφασμα από μονωτικό υλικό, (3) επίστρωση του αγωγού με ψεκασμό (ink-jet) πάνω στην μονωτική επιφάνεια του υφάσματος, (4) εκ των υστέρων συρραφή αγώγιμου νήματος σε μη αγώγιμο ύφασμα. Στην πρώτη περίπτωση, το νήμα μπορεί να είναι: (α) ένα λεπτό μεταλλικό (πιθανώς μονωμένο) σύρμα που εναλλάσσεται με ένα μονωτικό νήμα κατά την ύφανση, (β) ένα λεπτό μεταλλικό σύρμα συνεστραμμένο γύρω από πολυμερές νήμα, (γ) ένα νήμα που περιέχει μέσα του λεπτές ίνες μετάλλου, (δ) ένα νήμα από πολυμερές επιστρωμένο με μέταλλο.

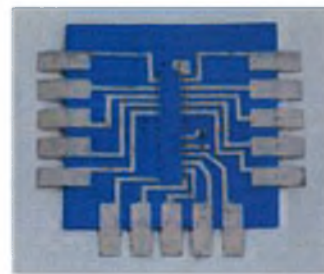
Στην Εικόνα 10(α) απεικονίζεται πρωτότυπο υφάσματα για την κατασκευή των οποίου χρησιμοποιήθηκε μονωμένο (με polyesterimide) επάργυρο σύρμα από χαλκό της Elektro-Feindraht AG¹⁷ [22]. Όμοια στην Εικόνα 10(β) παρουσιάζεται ύφασμα στο οποίο έχουν ενσωματωθεί μονωμένα σύρματα από χαλκό [7]. Τέλος στην Εικόνα 10(γ) απεικονίζονται γραμμές μεταφοράς και ακροδέκτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων από αγώγιμο ύφασμα ZELT¹⁸. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του LilyPad [29].



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 10 Πρωτότυπα υφάσματα με ενσωματωμένες γραμμές μεταφοράς

¹⁷ <http://www.textile-wire.ch/>

¹⁸ <http://www.lessemf.com/fabric.html>

Ένα θέμα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι η συνένωση δύο γραμμών για τον σχηματισμό ενός κατάλληλου δικτύου μεταφοράς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Παρόμοιο ζήτημα είναι και αυτό της συνένωσης κομματιών ηλεκτρονικού υφάσματος (π.χ., συγκόλληση του μανικιού στην μπλούζα) [58].

Γενικότερα, οι τεχνικές ενσωμάτωσης των γραμμών μεταφοράς στο ηλεκτρονικό ύφασμα, η αντοχή και αξιοπιστία τους, και η ευκολία συνένωσης τους καθώς και σύνδεσης τους με άλλα στοιχεία του υφάσματος (αισθητήρες, διακόπτες, πηγές ενέργειας) εξακολουθούν να αποτελούν αντικείμενο μελέτης, κυρίως σε επίπεδο υλικών [7] [9] [21] [22].



Εικόνα 11 Καλωδιωταινίες της (α) Textronics και (β) Elektro-Feindraht AG

Εναλλακτική προσέγγιση της ενσωμάτωσης αγωγίμων γραμμών στο ύφασμα αποτελεί η χρήση ξεχωριστών καλωδιωταινιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι υφασμάτινες καλωδιωταινίες από πολυμερή με δυνατότητα προσαρμογής σε υφάσματα (Εικόνα 11, (α) και (β), αντίστοιχα), από τις οι εταιρείες Elektro-Feindraht AG¹⁹ και Textronics²⁰.

Ένα ακόμα ζήτημα είναι η διασύνδεση των επιμέρους στοιχείων (αισθητήρων, κόμβων κλπ.) με τις γραμμές μεταφοράς. Γενικά, διακρίνονται δύο κατηγορίες μεθόδων αντιμετώπισης: (1) οι τεχνικές συγκόλλησης [22] [58] [29] που παρουσιάζουν πολλά κοινά στοιχεία με τις τεχνικές συνένωσης των γραμμών μεταφοράς, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως, και (2) η χρήση μηχανικών συνδετήρων γενικής χρήσης [9] ή ειδικές κατασκευές²¹.

1.2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Σε συνδυασμό με την επιλογή της τεχνολογίας για την υλοποίηση των γραμμών μεταφοράς σε φυσικό επίπεδο, πρέπει να γίνει η επιλογή του τύπου του σήματος που στέλνουν τα διάφορα στοιχεία πάνω από αυτές [58].

¹⁹ <http://www.textile-wire.ch/>

²⁰ <http://www.textronicsinc.com>

²¹ Textro-Interconnects™ Textronics™ Inc.

Η χρήση αναλογικού σήματος απλοποιεί την διασύνδεση των αισθητήρων, οι οποίοι συνήθως, παράγουν απ' ευθείας αναλογικό σήμα, αλλά εισάγει το πρόβλημα της παραμόρφωσης του σήματος κατά την μεταφορά εξαιτίας του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου. Αυτό ισχύει κυρίως όταν πολλές γραμμές επικοινωνίας βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους ή όταν το ύφασμα ενσωματώνει κεραίες για ασύρματη επικοινωνία που μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές. Η χρήση ψηφιακής επικοινωνίας περιορίζει σημαντικά αυτό το πρόβλημα, αυξάνει όμως το κόστος και την πολυπλοκότητα της υλοποίησης γιατί απαιτεί την τοποθέτηση ενός μετατροπέα, αναλογικού σε ψηφιακό σήμα, καθώς και ενός στοιχείου ψηφιακής επικοινωνίας κοντά σε κάθε αισθητήρα ή ομάδα αισθητήρων.

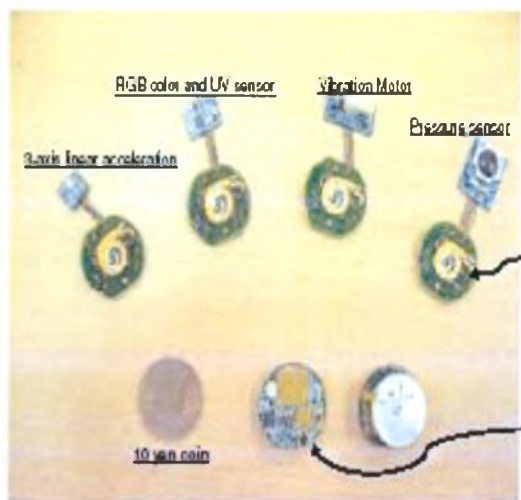
Στην περίπτωση της ψηφιακής επικοινωνίας, η επιλογή της τεχνολογίας διαύλου (πρωτοκόλλου) που θα χρησιμοποιηθεί για την διασύνδεση των στοιχείων εξαρτάται από τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, το είδος και την τοπολογία της καλωδίωσης, και την πολυπλοκότητα των διατάξεων αποστολής/λήψης που πρέπει να τοποθετηθούν στους κόμβους [9].

Άλλα κριτήρια για την επιλογή της τεχνολογίας / πρωτοκόλλου είναι η δυνατότητα παροχής τροφοδοσίας και η κλιμάκωση για μεγάλο αριθμό κόμβων (σε συνάρτηση με την τοπολογία). Σημαντικό ρόλο παίζει και η πιθανή απαίτηση για επεκτασιμότητα, δηλαδή η ευκολία με την οποία μπορεί να προστεθούν και να αφαιρεθούν κόμβοι, χωρίς να πρέπει να γίνουν αλλαγές στους υπόλοιπους.

1.2.4 Ασύρματη επικοινωνία

Μια ακόμα δυνατότητα διασύνδεσης των επιμέρους στοιχείων ενός ηλεκτρονικού υφάσματος, εκτός από την χρήση συρμάτων και καλωδίων, είναι η ασύρματη επικοινωνία. Εδώ υπάρχουν πολλά κοινά στοιχεία με τα «κλασικά» ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που έχουν ερευνηθεί κυρίως στο πλαίσιο εφαρμογών παρακολούθησης του περιβάλλοντος.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι το σύστημα των Cookies [27]. Κάθε κόμβος (Cookie) διαθέτει επιταχυνσίμετρο, πυξίδα και αισθητήρα φωτός, ενώ το μέγεθος του είναι αρκετά μικρό, όσο ένα μικρό κέρμα, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε μέρος ενός ρούχου ή ακόμα και να φορεθεί σε διάφορα μέρη του σώματος χωρίς να παρενοχλεί ιδιαίτερα τον χρήστη.



Εικόνα 12 Το σύστημα των Cookies

Επιπλέον κάθε κόμβος μπορεί να επεκταθεί με άλλους αισθητήρες. Στην Εικόνα 12 απεικονίζονται διάφοροι κόμβοι με επιπρόσθετους αισθητήρες επιτάχυνσης τριών διαστάσεων, υπέρυθρου φωτός, δόνησης και πίεσης. Οι κόμβοι επικοινωνούν ασύρματα (μέσω bluetooth) με ένα φορητό τερματικό (Muffin) με επεξεργαστή ARM και λειτουργικό σύστημα embedded linux.

Το βασικό πλεονέκτημα της ασύρματης επικοινωνίας, σε σχέση με ένα ενσύρματο σύστημα, είναι η μεγάλη ευελιξία στην τοποθέτηση των κόμβων σε διάφορα μέρη του ρουχισμού, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για τον σχεδιασμό και υλοποίηση μιας βασικής υποδομής. Επιπλέον, κάποιος κόμβος μπορεί να προσαρτηθούν και σε μέρη του ανθρώπινου σώματος που δεν καλύπτονται από κάποιο ένδυμα, όπως π.χ., στον καρπό ή ακόμα και στα δάκτυλα του χεριού με την μορφή κάποιου αντίστοιχου αξεσουάρ όπως ένα ρολόι ή ένα δαχτυλίδι, αντίστοιχα. Κυριότερο μειονέκτημα της ασύρματης επικοινωνίας είναι η μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας και η μικρότερη αξιοπιστία.

1.2.5 Κλιμάκωση και ανοχή σε βλάβες

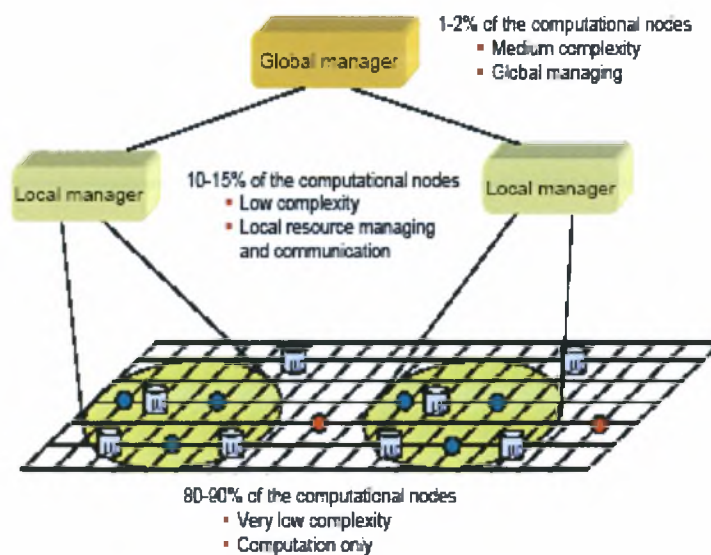
Η δυνατότητα ανοχής σε σφάλματα που μπορεί να προέλθουν από σκίσιμο του υφάσματος, με συνέπεια την ρήξη των γραμμών μεταφοράς ή ακόμα και την βλάβη κάποιων κόμβων, αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της θέσης των κόμβων πάνω στο ύφασμα αλλά και της τοπολογίας διασύνδεσης τους. Ενδεικτική μελέτη του προβλήματος, αποτελεί η εργασία [57].

Ένα ακόμα ζήτημα είναι η κλιμάκωση του συστήματος για μεγάλο αριθμό κόμβων – αισθητήρων. Το πρόβλημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη πρακτική σημασία καθώς στο μέλλον ένα

ηλεκτρονικό ύφασμα, π.χ., ρούχο, μπορεί να εμπεριέχει δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες (απλούς) αισθητήρες ή/και κόμβους επεξεργασίας. Η πιο κλασική προσέγγιση είναι η υιοθέτηση μιας ιεραρχικής δομής, όπου στο πιο χαμηλό επίπεδο βρίσκονται πολλοί κόμβοι αισθητήρων και απλής επεξεργασίας ενώ σε πιο ψηλά επίπεδα βρίσκονται ολοένα λιγότεροι κόμβοι που αναλαμβάνουν να εκτελέσουν πιο εξελιγμένες μορφές επεξεργασίας.

Στο [12] προτείνεται το μοντέλο του colloidal computing, σύμφωνα με το οποίο, διάφοροι υπολογιστικοί κόμβοι βρίσκονται διάσπαρτοι μέσα σε ένα φθινό και αναξιόπιστο μέσο επικοινωνίας (Εικόνα 13). Οι nano-nodes, που αποτελούν και την πλειονότητα των κόμβων του συστήματος, είναι οι απλούστερες μονάδες επεξεργασίας και εκτελούν το μικρότερο τμήμα μιας εφαρμογής, όπως π.χ., η δειγματοληψία αισθητήρων και η διενέργεια απλών υπολογισμών (filtering). Οι κόμβοι αυτοί συνδυάζονται σε συστάδες (clusters) ανάλογα με την επιθυμητή λειτουργικότητα. Στο επόμενο επίπεδο βρίσκονται οι micro-nodes που έχουν περισσότερες υπολογιστικές δυνατότητες και είναι επιφορτισμένοι με την διαχείριση των συστάδων. Τέλος, στο ανώτατο επίπεδο υπάρχουν οι macro-nodes που έχουν την γενική εποπτεία του συστήματος και συντονίζουν τους τοπικούς διαχειριστές συστάδων.

Η ανοχή σε βλάβη ενός nano-node επιτυγχάνεται με την ανάθεση της επεξεργασίας που εκτελούσε σε ένα άλλο κόμβο, υπό τον έλεγχο του micro-node που διαχειρίζεται την συστάδα. Σε περίπτωση που μια ολόκληρη περιοχή παρουσιάσει σφάλμα, τότε η επεξεργασία για την οποία ήταν υπεύθυνη «μεταναστεύει» ολόκληρη, υπό τον έλεγχο του αντίστοιχου γενικού διαχειριστή macro-node.



Εικόνα 13 Αρχιτεκτονική συστήματος

Τέλος, η πιο απλή προσέγγιση από πλευράς οργάνωσης είναι να χρησιμοποιηθεί ένας μοναδικός υπολογιστικός κόμβος, ο οποίος επεξεργάζεται τα αναλογικά σήματα που δέχεται από όλους τους αισθητήρες του υφάσματος. Τα προφανή μειονεκτήματα είναι η ύπαρξη ενός μοναδικού σημείου βλάβης καθώς και η προβληματική κλιμάκωση για μεγάλο αριθμό αισθητήρων, τόσο σε επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων (ρυθμός, όγκος) όσο και σε επίπεδο δικτύωσης (μεγάλος αριθμός γραμμών μεταφοράς με απώληση στο ίδιο σημείο και περιορισμένη χωρητικότητα μέσου μετάδοσης στην περίπτωση ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης, αντίστοιχα).

1.3 Ζητήματα ανάπτυξης λογισμικού

Όπως στις περισσότερες εφαρμογές της πληροφορικής, ένα ολοένα και πιο σημαντικό θέμα στον τομέα των ηλεκτρονικών υφασμάτων και ρούχων είναι η αποδοτική υποστήριξη του προγραμματισμού της επιθυμητής λειτουργικότητας. Εξίσου σημαντικό ζήτημα είναι η μοντελοποίηση και προσομοίωση μέρους ή ολόκληρου του συστήματος για την καλύτερη λήψη «συνολικών» αποφάσεων σχετικά με την τοποθέτηση ή/και ενεργοποίηση αισθητήρων και κόμβων, καθώς και τον τύπο και την κατανομή της επεξεργασίας που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργικότητας και την βέλτιστη εκμετάλλευση της ενέργειας που είναι διαθέσιμη στο σύστημα.

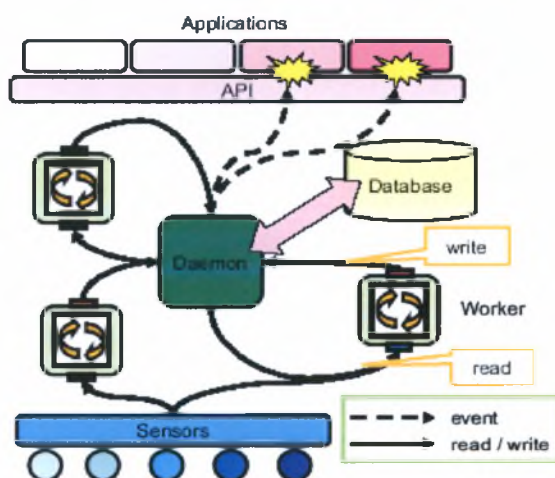
1.3.1 Μοντέλα προγραμματισμού

Από προγραμματιστικής άποψης (υψηλού επιπέδου), ένα ηλεκτρονικό ύφασμα είναι ένα δίκτυο από ενσωματωμένους κόμβους αισθητήρων με ιδιαίτερα περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας (σε σύγκριση με ένα συμβατικό υπολογιστή ή ακόμα και έναν υπολογιστή χειρός). Ο ρόλος της εφαρμογής είναι να παραμετροποιεί τους κόμβους ανάλογα με τις απαιτήσεις της, να λαμβάνει τις αντίστοιχες μετρήσεις από τους αισθητήρες, και να τις χρησιμοποιεί για να εξάγει κάποια συμπεράσματα, π.χ., για την τρέχουσα κατάσταση του ατόμου που φορά το ρούχο, και να ενεργεί ανάλογα, π.χ., να δίνει/στέλνει κάποια ειδοποίηση.

Στα περισσότερα συστήματα, οι εφαρμογές υλοποιούνται με διαφορετικό και ιδιαίτερα εξειδικευμένο τρόπο, σε στενή σχέση με μια συγκεκριμένη πλατφόρμα, ανάλογα με τα επιμέρους στοιχεία που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της και την οργάνωση τους σε φυσικό επίπεδο. Η ανάπτυξη εφαρμογών για τα e-Tags και το LilyPad αποτελούν χαρακτηριστικά παράδειγμα. Οι εφαρμογές επίδειξης (demos) των e-Tags είναι γραμμένες σε assembly, για τους συγκεκριμένους μικροελεγκτές PIC που διαθέτουν, ενώ για την μεταφορά

του κώδικα χρησιμοποιείται ο Microchip ICD2 debugger/programmer²² [10]. Παρόμοια, η ανάπτυξη εφαρμογών για το LilyPad γίνεται σε C (avr-gcc compiler) με την χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος ανοικτού κώδικα Arduino [30]. Η μεταφορά του κώδικα από το περιβάλλον ανάπτυξης στον μικροελεκτή γίνεται με την χρήση bootloader (που διατίθεται προεγκατεστημένος) μέσω θύρας USB.

Μια ενδεικτική προσπάθεια για την υποστήριξη ενός πιο αφαιρετικού μοντέλου υψηλού επιπέδου είναι το Cinnamon, που έχει χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την πλατφόρμα των Cookies [27]. Το συγκεκριμένο σύστημα (Εικόνα 14) αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα λογισμικού, τους εργάτες (workers), τον δαίμονα (daemon) και την βάση δεδομένων (database). Κάθε εργάτης εκτελείται ως ανεξάρτητο νήμα και αποστολή του είναι να επεξεργάζεται τα δεδομένα που λαμβάνει από τους διάφορους αισθητήρες και να τα συνθέτει σε πληροφορία υψηλού επιπέδου. Η ροή πληροφορίας μεταξύ των εργατών και της βάσης δεδομένων ελέγχεται μέσω μιας ουράς FIFO που εξυπηρετείται από τον δαίμονα. Επίσης, ο δαίμονας παρέχει στις εφαρμογές δύο διαφορετικούς μηχανισμούς πρόσβασης στην πληροφορία της βάσης, ένα με υποβολή επερωτήσεων για την παραλαβή αποτελεσμάτων και ένα με υποβολή συνδρομών για την πληροφόρηση αλλαγών μέσω ειδοποίησης, αντίστοιχα.



Εικόνα 14 Η δομή του Cinnamon

Το Cinnamon είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C και εκτελείται πάνω σε έναν μικρό υπολογιστή χειρός. Η διαχείριση των δεδομένων γίνεται μέσω του SQLite που είναι ένα σχεσιακό σύστημα βάσεων δεδομένων ειδικά σχεδιασμένο για ενσωματωμένα συστήματα.

²²http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en010046

1.3.2 Λογισμικό για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Το πιο διαδεδομένο περιβάλλον εκτέλεσης για ενσωματωμένους ασύρματους κόμβους αισθητήρων είναι το TinyOS [49], το οποίο υποστηρίζει ένα προγραμματιστικό μοντέλο καθοδηγούμενο από γεγονότα (event driven), ενώ οι εφαρμογές γράφονται στη γλώσσα NesC (μια παραλλαγή της C). Το Mate είναι ένα σύστημα που έχει υλοποιηθεί πάνω από το TinyOS και το οποίο προσφέρει λειτουργίες αυτόματης διάδοσης και μετανάστευσης του κώδικα μιας εφαρμογής μέσα σε ένα δίκτυο κόμβων [49]. Μια ακόμα, ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, προσέγγιση είναι η αφαιρετική θεώρηση ενός δικτύου αισθητήρων ως μια βάση δεδομένων από την οποία μπορεί η εφαρμογή ανά πάσα στιγμή να «τραβάει» τα δεδομένα που την ενδιαφέρουν μέσω κατάλληλων ερωτημάτων SQL που παραμένουν ενεργά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα [48].

Βέβαια, ανάλογα με την φυσική πλατφόρμα που εξετάζεται, μπορεί να υπάρχουν και σημαντικές διαφορές μεταξύ ενός ηλεκτρονικού υφάσματος που φέρει αισθητήρες και ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, όπως: (α) η δομημένη σε αντίθεση με την αδόμητη επικοινωνία, (β) η ενσύρματη σε αντίθεση με την ασύρματη δικτύωση, (γ) ο σχετικά περιορισμένος σε αντίθεση με έναν δυνητικά τεράστιο φυσικό χώρο και άρα αριθμό αισθητήρων π.χ., ένα κομμάτι υφάσματος σε σχέση με ένα δάσος, και (δ) τα φυσικά μεγέθη / φαινόμενα προς εντοπισμό και ο τύπος των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Συνεπώς, η μεταφορά τεχνολογίας από τον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στον τομέα των ηλεκτρονικών υφασμάτων απαιτεί προσεκτική μελέτη των υποθέσεων εργασίας και κατάλληλη προσαρμογή των σχεδιαστικών αποφάσεων και υλοποιήσεων στις αναμενόμενες συνθήκες λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού υφάσματος.

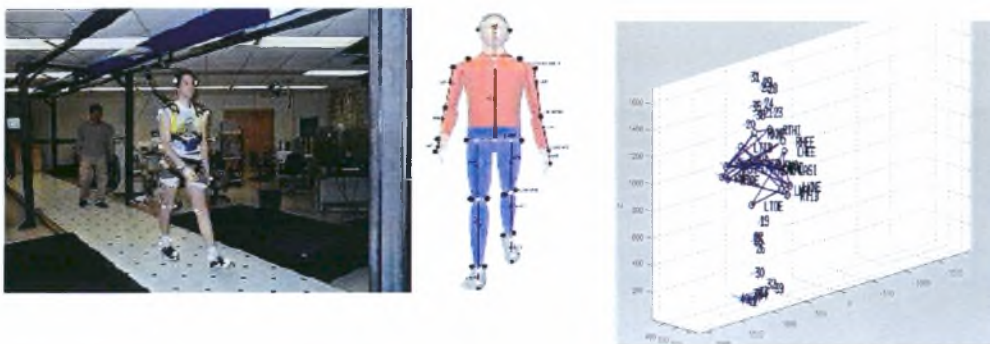
1.3.3 Μοντελοποίηση

Ανεξάρτητα από το περιβάλλον που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη λογισμικού σε ένα ηλεκτρονικό ύφασμα ή ρούχο, η σχεδίαση και κατασκευή μιας φυσικής πλατφόρμας που θα δεχτεί μια ή περισσότερες εφαρμογές παραμένει μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Τα κυριότερα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι: (α) το είδος και το πλήθος των αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν, (β) η θέση τους στο ύφασμα, (γ) η τοπολογία του δικτύου μεταφοράς δεδομένων και ενέργειας, (δ) το πρωτόκολλο επικοινωνίας, (ε) η επεξεργασία των δεδομένων των αισθητήρων, και τέλος (ζ) οι επιπτώσεις των επιλογών στην τελική λειτουργικότητα της εφαρμογής καθώς και στην ενέργεια που θα καταναλώνεται ή την ανοχή που θα επιτευχθεί για διάφορα είδη σφαλμάτων.

Τα ζητήματα αυτά μπορούν να διερευνηθούν μέσω ενός ή περισσότερων φυσικών πρωτοτύπων, και βεβαίως έναν (πολύ) μεγάλο αριθμό από πραγματικές δοκιμές, αλλά και μέσω ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης [8] [12] [26] [58]. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη μιας φυσικής υλοποίησης, προσφέροντας ταυτόχρονα αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η εύκολη επανάληψη του ίδιου ακριβώς πειράματος (π.χ., για αποσφαλμάτωση) και η γρήγορη (ασύγχρονη, π.χ., κατά την διάρκεια της νύχτας) δοκιμή πολλών διαφορετικών σεναρίων για τον εντοπισμό προβλημάτων και την διερεύνηση και βελτιστοποίηση κεντρικών σχεδιαστικών αποφάσεων.

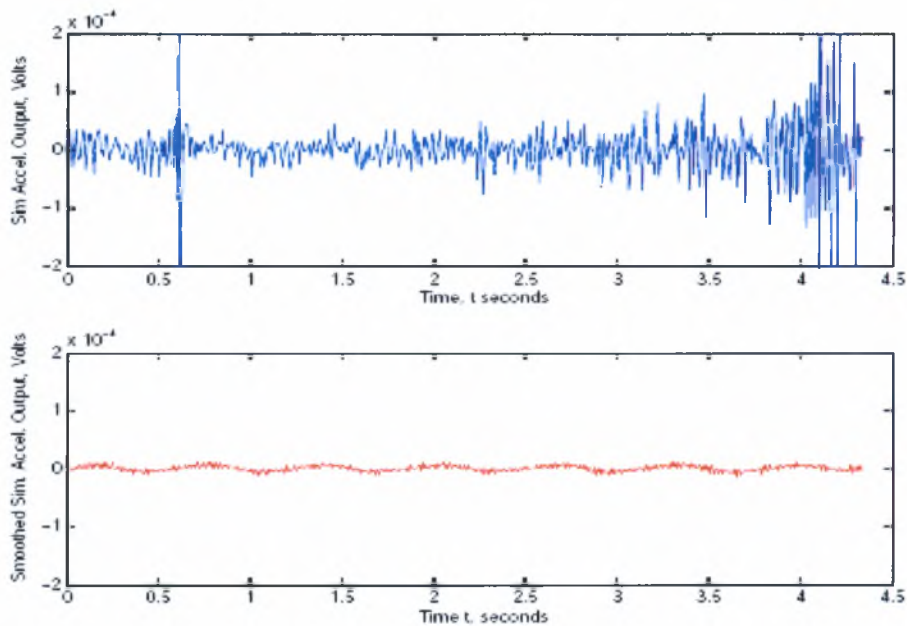
Επίσης, ο κώδικας της εφαρμογής μπορεί να δοκιμάζεται αρχικά στο περιβάλλον προσομοίωσης, και τη συνέχεια, όταν επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα, να μεταφέρεται στην φυσική πλατφόρμα του ηλεκτρονικού υφάσματος, ιδανικά με ελάχιστες τροποποιήσεις / προσαρμογές. Προφανώς, για να είναι κάτι τέτοιο εφικτό, το αφαιρετικό προγραμματιστικό μοντέλο πρέπει να μπορεί να υποστηριχθεί σε μεγάλο βαθμό από την φυσική πλατφόρμα, και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων πρέπει να αντιστοιχούν (με ικανοποιητική ακρίβεια) στην πραγματικότητα.

Για παράδειγμα, για την ανίχνευση ανθρώπινης κίνησης, η είσοδος στο μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να είναι δεδομένα που προέρχονται από καταγραφή πραγματικής κίνησης με κάμερες υψηλής ανάλυσης (Εικόνα 15). Με την σειρά τους, τα δεδομένα αυτά μπορεί να τροφοδοτήσουν μαθηματικά μοντέλα των αισθητήρων ενός ηλεκτρονικού υφάσματος, με βάση τα αποτελέσματα των οποίων (Εικόνα 16) να γίνει μια (πρώτη) εκτίμηση για την αποτελεσματικότητα της σχεδίασης, σε επίπεδο υλικού και λογισμικού [44].



(α) (β)
Εικόνα 15 (α) Καταγραφή πραγματικής κίνησης, και (β) αντίστοιχο ψηφιακό μοντέλο

Ένα περιβάλλον που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την προσομοίωση της επεξεργασίας συνθετικών αλλά και πραγματικών δεδομένων σε ένα ηλεκτρονικό ύφασμα είναι το Ptollemy II [52] [53]. Το Ptollemy II παρέχει στον σχεδιαστή του συστήματος την δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων προσομοιώσεων με χρήση μοντέλων συνεχούς και διακριτού χρόνου, μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, καθώς και συνδυασμών τους. Τα μοντέλα συνεχούς χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση φυσικών φαινομένων (π.χ., την κίνηση ενός σημείου στον χώρο), ενώ τα μοντέλα διακριτού χρόνου χρησιμεύουν κυρίως για την προσομοίωση υπολογιστικών συστημάτων.



Εικόνα 16 Έξοδος ενός προσομοιωμένου επιταχυνσιόμετρου

1.4 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη ηλεκτρονικών υφασμάτων και εφαρμογών είναι από τις πλέον δυναμικές και πολλά υποσχόμενες περιοχές τεχνολογικής έρευνας. Στο Παράρτημα Α παρατίθενται μια σειρά από αντιπροσωπευτικά ερευνητικά έργα και προϊόντα.

Τα πιο σημαντικά ερευνητικά θέματα σε αυτό τον τομέα φαίνεται να είναι: (α) η κατασκευή νέων υλικών και τεχνολογιών αισθητήρων με ικανοποιητική ακρίβεια, ανθεκτικότητα και ενσωμάτωση στο ύφασμα, (2) η σχεδίαση ευέλικτων συστημάτων επικοινωνίας και επεξεργασίας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, και (3) ο εύκολος και προβλέψιμος προγραμματισμός ενός ηλεκτρονικού υφάσματος ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα σε επίπεδο εφαρμογής.

2 Σχεδίαση και Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας

2.1 Εισαγωγή

Ένα από τα ολοένα και πιο σημαντικά ζητήματα στο τομέα των ηλεκτρονικών υφασμάτων και ρούχων είναι, η αποδοτική υποστήριξη της σχεδίασης και ανάπτυξης νέων προϊόντων και εφαρμογών. Η εύκολη και γρήγορη επαλήθευση των σχεδιαστικών επιλογών είναι παράγοντες που επηρεάζουν τόσο το κόστος, όσο και τον χρόνο παραγωγής ενός προϊόντος. Η πρωτοτυποποίηση ενός ηλεκτρονικού ενδύματος μπορεί να γίνει ακολουθώντας: είτε μια διαδικασία προσαρμοσμένη για την συγκεκριμένη εφαρμογή και τα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, είτε με την χρήση κάποιας πλατφόρμας μοντελοποίησης.

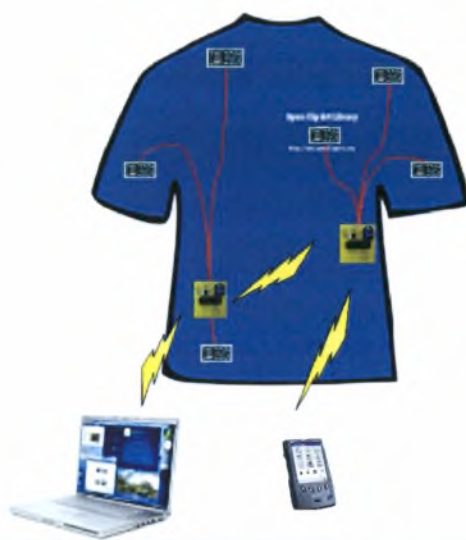
Η πλατφόρμα που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε παρέχει ένα περιβάλλον και μια μεθοδολογία ανάπτυξης πρωτότυπων εφαρμογών για ηλεκτρονικά υφάσματα.

2.2 Αρχιτεκτονική

Όπως είδαμε η προσέγγιση των e-Tags, απαιτεί μονάδα επεξεργασίας σε κάθε κόμβο αισθητήρα ή ενεργοποιητή. Το μοντέλο αυτό ενδεχομένως να λειτουργεί ικανοποιητικά για τεχνικά υφάσματα μεγάλων διαστάσεων ή σε εξειδικευμένες εφαρμογές (π.χ., περιβάλλοντα υψηλού ηλεκτρομαγνητικού θορύβου), αλλά στην περίπτωση των έξυπνων ρούχων (με δεδομένο ότι οι αποστάσεις είναι μικρές και το κόστος είναι σημαντικό) μάλλον δεν είναι

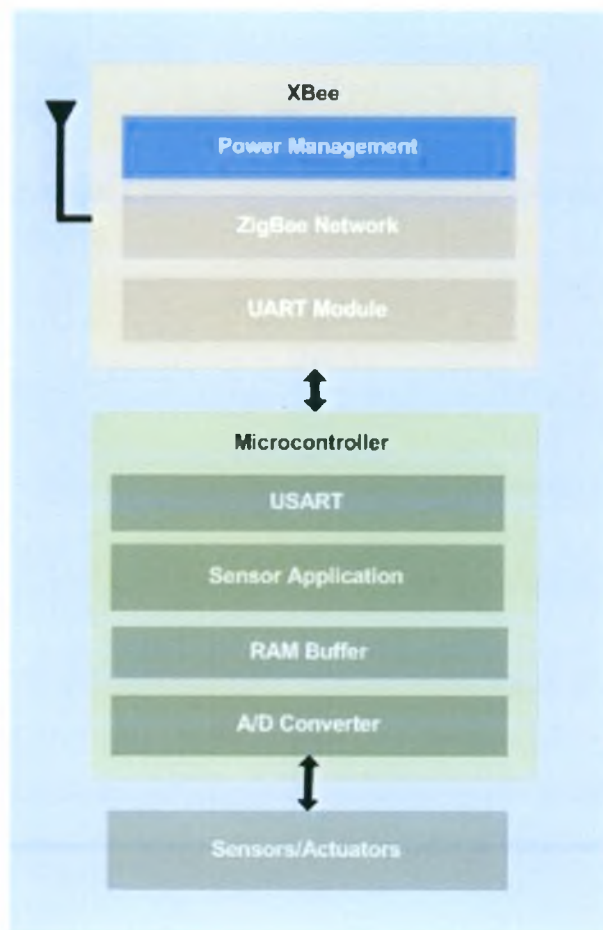
ικανοποιητικό. Επίσης, ακόμη και για την επικοινωνία με κάποιο «σταθμό βάσης» απαιτείται καλωδίωση (RS-232). Τέλος, δεν προτείνεται κάποια ευέλικτη μεθοδολογία προγραμματισμού, αφού χρησιμοποιείται assembly και για την μεταφορά του κώδικα χρησιμοποιείται ειδική συσκευή. Στην περίπτωση των Cookies (όπως και στα e-Tags) σε κάθε σημείο που απαιτείται αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται ένα Cookie, επιπλέον η ασύρματη επικοινωνία (ενώ λύνει προβλήματα σχετικά με τις γραμμές μεταφοράς) επιβαρύνει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Η διαδικασία λήψης δεδομένων από τα Cookies είναι αρκετά απλή και γίνεται μέσω του Cinnamon. Η λύση που προτείνεται από το LilyPad με ένα κεντρικό κόμβο επεξεργασίας και γύρω από αυτόν συνδεδεμένους αισθητήρες ή ενεργοποιητές φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο στα ηλεκτρονικά ρούχα, αφού μειώνει την πολυπλοκότητα και εξοικονομεί πόρους και ενέργεια. Ο προγραμματισμός του LilyPad γίνεται σε C και διευκολύνεται από τον bootloader, ενώ δεν αντιμετωπίζεται επαρκώς το πρόβλημα της εύκολης ανταλλαγής μηνυμάτων του με τον «υπόλοιπο κόσμο».

Η προτεινόμενη πλατφόρμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη πιλοτικών εφαρμογών για ηλεκτρονικά ρούχα, οπότε δεν πρέπει να ενοχλεί και να επηρεάζει την συμπεριφορά του ατόμου που τα φορά. Κατά συνέπεια το μέγεθος, το βάρος και η κατανάλωση ισχύος είναι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη κατά την σχεδίαση της. Η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, που μπορεί να είναι ένας σταθμός βάσης ή ένα άλλο ρούχο ή αξεσουάρ, αποτελεί επιθυμητή λειτουργικότητα. Η προσαρμοστικότητα και κλιμάκωση, ώστε να μπορεί να υποστηριχθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, είναι χαρακτηριστικά που η πλατφόρμα επίσης πρέπει να υποστηρίζει. Τέλος άλλη μια βασική απαίτηση είναι η διευκόλυνση της διαδικασίας προγραμματισμού.



Εικόνα 17 Η πλατφόρμα

Ταυτόχρονα και ανεξάρτητα από το LilyPad, έχοντας υπόψη τα μειονεκτήματα των e-Tags και των Cookies καθώς και τις ιδιαιτερότητες των ηλεκτρονικών ενδυμάτων, επιλέχθηκε, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17, ένα σχήμα οργάνωσης όμοιο με αυτό του LilyPad. Δηλαδή, ένα σχήμα με κόμβους επεξεργασίας στους οποίους διασυνδέονται ενσύρματα αισθητήρες ή ενεργοποιητές. Οι αισθητήρες μπορεί να τοποθετηθούν σε απόσταση από τους κόμβους, στα σημεία που εξυπηρετούν την εκάστοτε εφαρμογή. Επιπλέον η επικοινωνία των κόμβων με «εξωτερικά» συστήματα γίνεται ασύρματα, μέσω ZigBee. Η επιλογή αυτή πλεονεκτεί σε σχέση με το Bluetooth των Cookies, γιατί προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και κλιμακώνει καλύτερα.



Εικόνα 18 Οργάνωση πρωτοτύπου

Κάθε κόμβος είναι ένα σύστημα συλλογής δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες επεξεργασίας και εκτέλεσης ενεργειών. Η οργάνωση του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 18. Ο A/D converter του μικροελεκτή είναι υπεύθυνος για την λήψη δειγμάτων από τους αισθητήρες. Η εφαρμογή πραγματοποιεί την επεξεργασία των δειγμάτων και την εκτέλεση των κατάλληλων ενεργειών σε κάθε περίπτωση (π.χ., αποστολή μηνύματος ή ενεργοποίηση ενός actuator). Η μονάδα ασύρματης επικοινωνίας δίνει στο πρωτότυπο την

δυνατότητα ανταλλαγής μηνυμάτων με τον «έξω» κόσμο χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ZigBee. Η διασύνδεση της κεντρικής μονάδας και των αισθητήρων/ενεργοποιητών γίνεται με μονωμένες (PVDF) επάργυρες γραμμές, ενώ η παροχή ισχύος γίνεται από μπαταρίες.

Όπως προαναφέρθηκε, η πλατφόρμα χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής με σκοπό την αναγνώριση της πτώσης του χρήστη της και την αποστολή κατάλληλου μηνύματος σε σταθμό βάσης. Οι τιμές της επιτάχυνσης σε κατάλληλα σημεία του σώματος μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την κίνηση και την θέση του [20]. Έτσι, για την ανίχνευση της πτώσης χρησιμοποιούνται επιταχυνσιόμετρα. Επομένως οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα στάδια ανάπτυξης πλατφόρμας είναι επιταχυνσιόμετρα και γι' αυτό η περιγραφή τους γίνεται μαζί με την περιγραφή του συστήματος.

Η προσέγγιση που επιλέχθηκε, για την ανάπτυξη της πλατφόρμας, είναι η διαδοχική κατασκευή διαφορετικών πρωτοτύπων, τα οποία ενσωματώνουν σταδιακά την επιθυμητή λειτουργικότητα και τεκμηριώνουν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών του συστήματος, των αισθητήρων και της κεντρικής μονάδας (κόμβος), η περιγραφή του λογισμικού υποστήριξης και τέλος ακολουθεί ο έλεγχος απόδοσης και ορθής λειτουργίας του πρωτοτύπου.

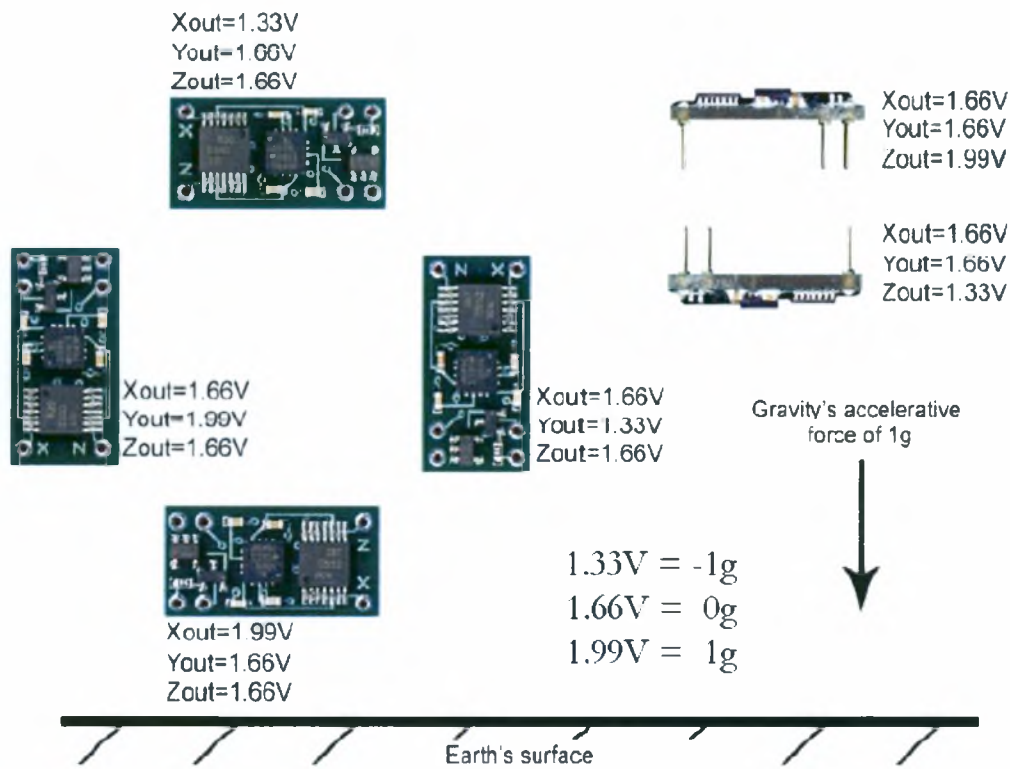
2.2.1 Αισθητήρες

Η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων απαιτεί εκτός από καλή γνώση των παραμέτρων του συστήματος και καλή κατανόηση του φαινομένου που πρόκειται να μελετηθεί. Καταλληλότεροι αισθητήρες για την ανίχνευση πτώσης όπως και για την μελέτη και άλλων ειδών κίνησης είναι τα επιταχυνσιόμετρα [20][23][31]. Για την επιλογή του κατάλληλου επιταχυνσιόμετρου θα πρέπει να συνεκτιμηθούν παράγοντες όπως το μέγεθος, η ανθεκτικότητα, η κατανάλωση ισχύος, η ευαισθησία και το εύρος τους (bandwidth). Συγκεκριμένα το εύρος τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το εύρος του φαινομένου που πρόκειται να μελετηθεί. Για το αρχικό πρωτότυπο επιλέχθηκε ο αισθητήρας ADXL330 της Analog Devices. Πρόκειται για ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων που έχει χρησιμοποιηθεί τόσο σε ερευνητικές εργασίες όσο και σε εμπορικά προϊόντα (Nintendo Wii) [2][28]. Το ADXL330 [4] ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρομηχανικών επιταχυνσιόμετρων (MEMs) διαφορικής χωρητικότητας (differential capacity), η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην αρχή ότι, η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εξαρτάται από την απόσταση των πλακών του. Τα κύρια χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Type	Voltage	Current	Axes	Sensitivity	Range	Bandwidth	Size (mm)	Survival sock
ADXL330	1.8-3.6V	180μA στα 1.8V	3	330 mV/g στα 3 Volt	±3g	Axes: x,y : 0.51600Hz z : 0.5-550Hz	4x4x1.45	10000g

Πίνακας 1 Τυπικά χαρακτηριστικά του ADXL330

Η αντίσταση εξόδου του ADXL330 είναι 32kΩ και είναι πολύ μεγαλύτερη από τα 10kΩ που δέχονται στην είσοδό τους οι A/D converters των μικροελεγκτών. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην είναι δυνατή η λήψη αξιόπιστων μετρήσεων απ' ευθείας από το επιταχυνσιόμετρο [13]. Έτσι επιλέχθηκε το κύκλωμα DE-ACCM3D [13] της Dimension Engineering το οποίο συνδυάζει κατάλληλους buffers στις εξόδους του ADXL330 για την προσαρμογή της αντίστασης και κατάλληλους πυκνωτές (10nF) για την ρύθμιση του εύρους του (bandwidth) στα 500Hz. Το DE-ACCM3D διαθέτει επίσης regulator στα 3.33Volt για την τροφοδοσία του επιταχυνσιόμετρου, η χρήση του οποίου είναι προαιρετική, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται, η ευαισθησία στο επιταχυνσιόμετρο είναι 333mV/g. Η κατανάλωση του κυκλώματος είναι 0.9mA. Στην Εικόνα 19 απεικονίζεται το DE-ACCM3D και οι εξοδοί του για διάφορες θέσεις σε σχέση με την επιφάνεια της γης, όταν για την τροφοδοσία του επιταχυνσιόμετρου χρησιμοποιείται ο ενσωματωμένος regulator (Vin=3.33Volt).



Εικόνα 19 Οι εξοδοί του DE-ACCM3D για διαφορετικές θέσεις.

Μελέτες σχετικές με την ανίχνευση πτώσης [20][23] υποστηρίζουν ότι επιταχύνσεις που αναπτύσσονται σε ορισμένες περιπτώσεις πτώσεων ξεπερνούν τα 3g. Στο ίδιο συμπέρασμα

καταλήξαμε έπειτα από πειραματισμό με δεδομένα πτώσης από την locomotion database του Carnegie Mellon University, ΗΠΑ, μέσω του περιβάλλοντος ανάλυσης δεδομένων κίνησης MoDA [44]. Για το λόγο αυτό αποκτήθηκε και το επιταχυνσιόμετρο ADXL320 [3] της Analog Devices, τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του οποίου αναφέρονται στον Πίνακα 2.

Το ADXL320 αποκτήθηκε σε κύκλωμα (DE-ACCM5G) της Dimension Engineering [14] που διαθέτει κατάλληλους buffers για την προσαρμογή της αντίστασης εξόδου (όπως και στην περίπτωση του ADXL330), αλλά δεν διαθέτει regulator, η κατανάλωσή του φτάνει τα 2mA.

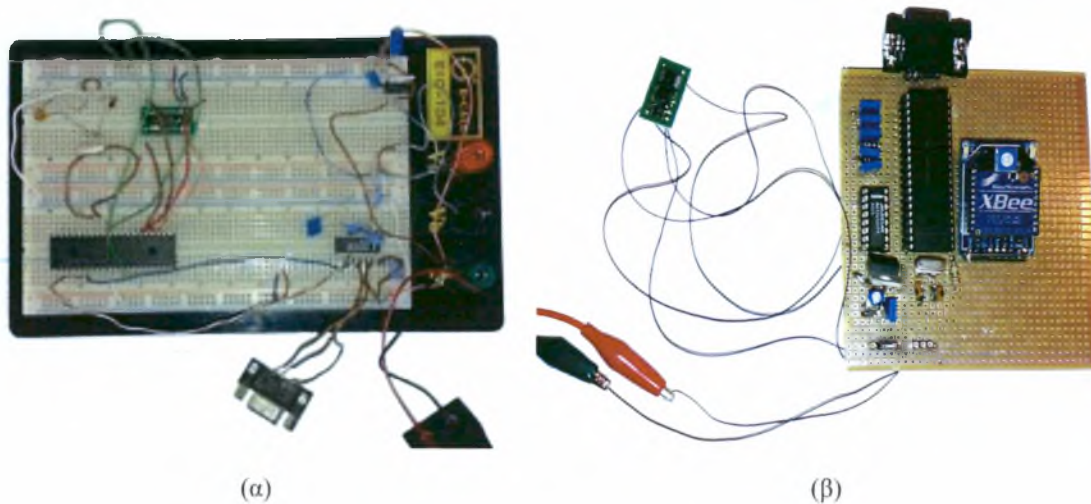
Type	Voltage	Current	Axes	Sensitivity	Range	Bandwidth	Size (mm)	Survival sock
ADXL320	2.4-5.2V	180μΑ στα 1.8V	2	174 mV/g στα 3 Volt	±5g	axes x,y 0.5-2500Hz	4x4x1.45	10000g

Πίνακας 2 Τυπικά χαρακτηριστικά του ADXL320

2.2.2 Κεντρική μονάδα

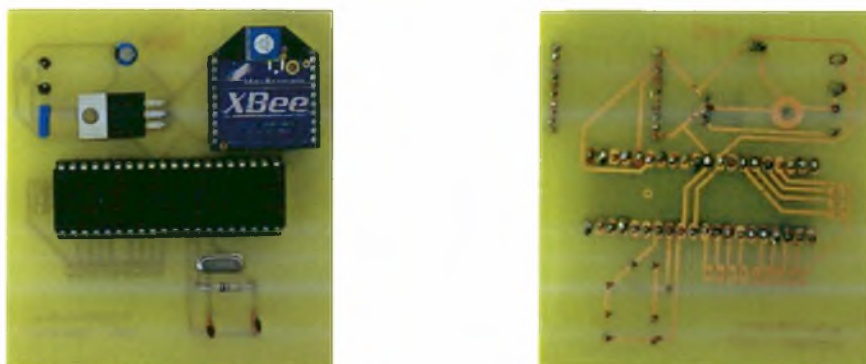
Η κεντρική μονάδα (κόμβος) είναι υπεύθυνη για την λήψη και επεξεργασία τιμών επιτάχυνσης, καθώς και την αλληλεπίδρασή του πρωτοτύπου με τον «έξω» κόσμο. Η πρώτη έκδοση (Rev 1) της κεντρικής μονάδας κατασκευάστηκε σε breadboard, (Εικόνα 20(α)) με σκοπό να αξιολογηθούν οι σχεδιαστικές επιλογές. Η λύση που επιλέχθηκε βασίζεται στον μικροελεκτή PIC18LF4550 της Microchip, που έχει την δυνατότητα να δειγματοληπτεί μέχρι και τέσσερα επιταχυνσιόμετρα τριών αξόνων. Στην έκδοση αυτή ο μικροελεκτής επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης (H/Y) μέσω σειριακής θύρας (RS-232). Για την οδήγηση της σειριακής χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο Max3232 της Maxim.

Η δεύτερη έκδοση της κεντρικής μονάδας (Rev 2) (Εικόνα 20(β)) υλοποιήθηκε σε διάτρητη πλακέτα. Για την επικοινωνία επιλέχθηκε το πρωτόκολλο ZigBee και η μονάδα Xbee της MaxStream. Η σειριακή θύρα διατηρήθηκε μόνο για λόγους απασφαλμάτωσης. Η έκδοση αυτή χρησιμοποιήθηκε ως πλατφόρμα ανάπτυξης του bootloader και των πειραμάτων επαλήθευσης του συστήματος.



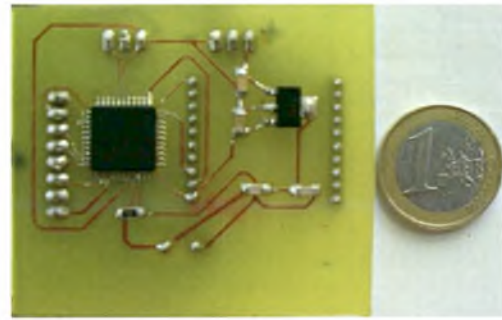
Εικόνα 20 (α) Πρώτη και (β) Δεύτερη έκδοση της κεντρικής μονάδας

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται η τρίτη έκδοση της κεντρικής μονάδας (Rev 3) που κατασκευάστηκε με την χρήση τυπωμένου κυκλώματος (PCB). Το μέγεθος της πλακέτας είναι 7x8εκ. Στην έκδοση αυτή έγινε η ανάπτυξη των αλγορίθμων αναγνώρισης πτώσης. Η στιβαρότητα του κυκλώματος επιτρέπει την ενσωμάτωσή του σε ένδυμα.



Εικόνα 21. 3^η έκδοση κεντρικής μονάδας σε τυπωμένο κύκλωμα

Τέλος, κατασκευάστηκε μια ακόμα έκδοση της κεντρικής μονάδας (Rev 4) (Εικόνα 22) με την χρήση στοιχείων επιφανειακής στήριξης (SMDs) και διαστάσεις 4.5x5.5εκ. Στόχος της υλοποίησης αυτής ήταν να μειώσει το μέγεθος της κεντρικής μονάδας ώστε να μην επηρεάζει την διεξαγωγή πειραμάτων αλλά και να δείξει ότι υπάρχουν πολλά περιθώρια για περαιτέρω μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών σε ένα τελικό προϊόν.



Εικόνα 22 4^η έκδοση κεντρικής μονάδας με χρήση στοιχείων επιφανειακής στήριξης

Λεπτομέρειες για την διαδικασία κατασκευής των εκδόσεων 3 και 4 της κεντρικής μονάδας δίδονται στο Παράρτημα Β. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναλυτική περιγραφή των επιμέρους στοιχείων της.

2.2.2.1 Μικροελεκτής

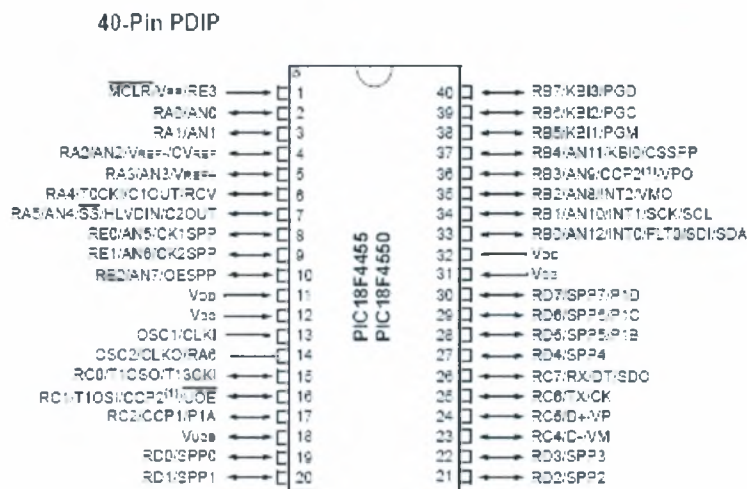
Η επιλογή του κατάλληλου μικροεπεξεργαστή για μια ενσωματωμένη εφαρμογή θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως, η υπολογιστική του ικανότητα, τα περιφερειακά, το μέγεθος της μνήμης, τον αριθμό των αναλογικών καναλιών εισόδου που διαθέτει (A/D channels) και βέβαια την κατανάλωση ισχύος. Ο μικροελεκτής που επιλέχθηκε για το πρωτότυπο είναι ο PIC18LF4550 (Εικόνα 23) της Microchip. Πρόκειται για ένα μικροεπεξεργαστή 8-bit τεχνολογίας RISK που διαθέτει ένα σημαντικό αριθμό περιφερειακών και η συχνότητα χρονισμού του μπορεί να φτάσει τα 48MHz (12MIPS). Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του PIC18LF4550 [39] παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Operating Frequency	Program memory	Data Memory	Data EEPROM Memory	I/O Ports	Timers	10-bit A/D	EUSART	SPI	I2C	COMPARATORS
31kHz-48MHz	32Kb	2Kb	256bytes	35	4	13	Y	Y	Y	2

Πίνακας 3. Τυπικά χαρακτηριστικά του μικροελεκτή PIC18LF4550

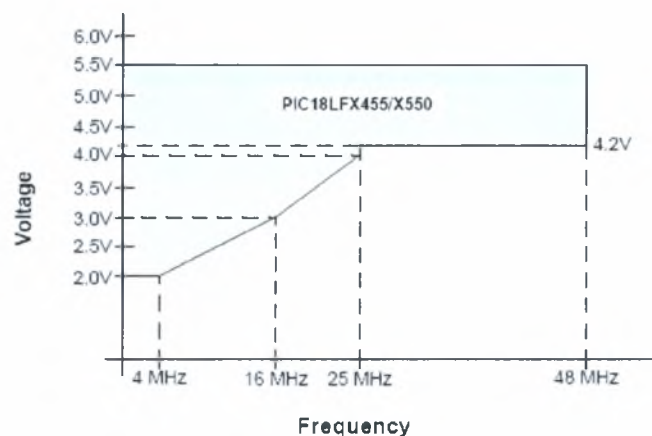
Ο μικροελεκτής διαθέτει τρία ξεχωριστά τμήματα μνήμης, δύο για δεδομένα (Data Memory, Data EEPROM Memory) και ένα για εντολές (Program Memory). Η Program Memory έχει μέγεθος 32Kb και μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι 16,384 εντολές μίας λέξης (κάθε εντολή είναι 2 bytes). Η Data Memory έχει μέγεθος 2Kb από τα οποία τα πρώτα 96 (General Purpose Registers - GPR) και τα τελευταία 160 bytes (Special Function Registers - SFR) αποτελούν την Access Ram. Οι καταχωρητές γενικού σκοπού (GPR) χρησιμοποιούνται για την

αποθήκευση των συχνότερα προσπελάσιμων μεταβλητών, ενώ οι ειδικοί καταχωρητές (SFR) για την αποθήκευση τιμών σχετικών με την λειτουργία του μικροελεκτή και των περιφερειακών του. Όλοι οι καταχωρητές είναι προσπελάσιμοι σε ένα κύκλο ρολογιού. Η Data και η Program memory χρησιμοποιούν διαφορετικούς διαύλους (αρχιτεκτονική Harvard) πράγμα που επιτρέπει την ταυτόχρονη προσπέλασή τους. Η Data EEPROM έχει μέγεθος 256bytes και χρησιμοποιείται για την μακροχρόνια αποθήκευση δεδομένων.



Εικόνα 23 Διάγραμμα ακροδεκτών του PIC18F4550

Ο PIC18F4550 μπορεί να χρονιστεί σε συχνότητες από 31kHz έως 48MHz, με την συχνότητα λειτουργίας του να εξαρτάται από την τάση τροφοδοσίας σύμφωνα με την γραφική παράσταση της Εικόνα 24. Επίσης διαθέτει τρεις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας, (Run, Idle και Sleep), για εξοικονόμηση ενέργειας. Στην κατάσταση Run λειτουργούν τόσο η CPU όσο και τα περιφερειακά, στην κατάσταση Idle λειτουργούν μόνο τα περιφερειακά και στην Sleep δεν λειτουργεί τίποτε από τα παραπάνω.



Εικόνα 24. Συχνότητα λειτουργίας σε συνάρτηση με την τάση τροφοδοσίας

Ο μικροελεγκτής διαθέτει ένα 10-bit A/D converter με 13 εισόδους και μια μονάδα σειριακής επικοινωνίας EUSART (Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). Η EUSART χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του μικροελεγκτή σε όλες τις εκδόσεις της κεντρικής μονάδας. Η ταχύτητα της σειριακής επικοινωνίας S εξαρτάται από την συχνότητα λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή (F_{osc}) σύμφωνα με την σχέση:

$$S = \frac{F_{osc}}{k * (n + 1)}$$

όπου τα n, k (με $k = 4, 16, 64$) καθορίζονται από τον προγραμματιστή και

ορίζουν την ταχύτητα, της σειριακής επικοινωνίας, στην επιθυμητή τιμή. Για παράδειγμα, όταν η συχνότητα λειτουργίας του μικροελεγκτή είναι 4, 8 και 12MHz, τότε οι μέγιστες ταχύτητες σειριακής επικοινωνίας που μπορεί να επιτευχθούν είναι 19200, 38400 και 57600 bps αντίστοιχα.

Στην έκδοση 1 (Rev 1) της κεντρικής μονάδας έγιναν πειράματα χρονίζοντας τον μικροελεγκτή στα 4, 8 και 12MHz, ενώ στις επόμενες εκδόσεις η συχνότητα επιλέχθηκε να είναι 12MHz. Η συχνότητα των 12MHz παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή της ταχύτητας επικοινωνίας²³, βελτιώνει την απόδοση και δεν επιβαρύνει την κατανάλωση σε βαθμό απαγορευτικό για το πρωτότυπο²⁴.

Ο PIC18LF4550 υπάρχει διαθέσιμος σε συσκευασίες 40-Pin PDIP, 44-Pin TQFP και 44-Pin QFN με διαστάσεις 48x14.4x6mm, 12x12x2mm και 8x8x2mm αντίστοιχα. Στις εκδόσεις 1, 2 και 3 χρησιμοποιήθηκε ο PIC18LF4550 στην συσκευασία 40-Pin PDIP ενώ στην έκδοση 4 στην συσκευασία 44-Pin TQFP.

2.2.2.2 Επικοινωνία

Όπως προαναφέρθηκε, η κεντρική μονάδα από την έκδοση 2 και μετά έχει δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας λειτουργεί στα 2.4GHz, ακολουθεί το πρότυπο ZigBee και διατίθεται από την MaxStream με την εμπορική επωνυμία Xbee (Εικόνα 25(α), (β)). Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του [36].

Το ZigBee πλεονεκτεί άλλων πρωτοκόλλων για προσωπικά δίκτυα όπως το Bluetooth διότι έχει μεγάλη εμβέλεια, χαμηλή κατανάλωση ισχύος και υποστηρίζει μεγάλο αριθμό συσκευών. Το τελευταίο επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών με έξυπνα ρούχα που να επικοινωνούν και να συνεργάζονται.

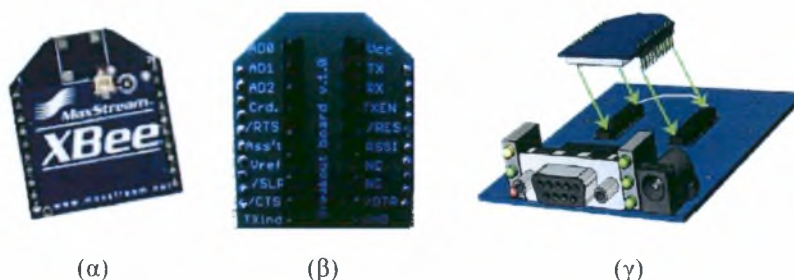
²³ Η ταχύτητα επικοινωνίας μπορεί να λάβει τιμές από 2400 μέχρι 57600bps.

²⁴ Βλέπε παράγραφο 4.2

Indoor ranger	Outdoor range line of sight	Transmit power output	RF Data rate	Serial Interface data rate	Supply Voltage	Op. current (Transmit)	Op. current (Receive/Idle)	Dimensions
30m	100m	1mW	250 Kbps	1.2-115,2 kbps	2.8-3.4V	45mA @3.3V	50mA @3.3V	2.438cm x 2.761cm

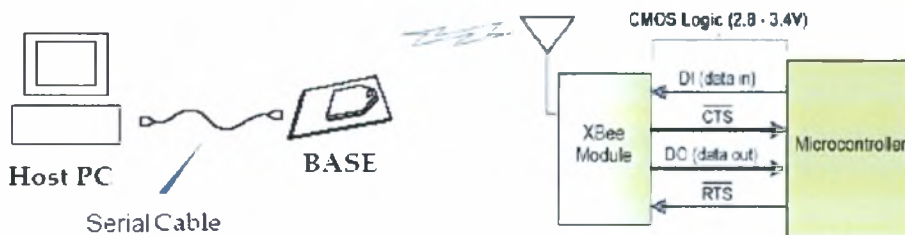
Πίνακας 4. Τυπικά χαρακτηριστικά του XBee

Η MaxStream διαθέτει κυκλώματα διεπαφής (interface boards) (Εικόνα 25γ) για τη διασύνδεση των ασύρματων μονάδων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, μέσω σειριακής ή USB θύρας, μετατρέποντάς τους έτσι σε σταθμούς βάσης για ασύρματα δίκτυα. Στην παρούσα φάση ανάπτυξης της πλατφόρμας, ως σταθμός βάσης χρησιμοποιείται ένας Η/Υ που διασυνδέεται μέσω σειριακής θύρας με ένα τέτοιο κύκλωμα.



Εικόνα 25. (α) XBee, (β) Ακροδέκτες του Xbee, (γ) κύκλωμα διεπαφής

Το Xbee διασυνδέεται με τον μικροελεκτή της κεντρικής μονάδας μέσω ασύγχρονης σειριακής θύρας (UART) (Εικόνα 26). Τα δεδομένα συσσωρεύονται στον buffer εισόδου του και αποστέλλονται στον αέρα, είτε όταν αυτός γεμίσει (100 χαρακτήρες), είτε όταν παρέλθει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Packetization timeout), είτε όταν δοθεί συγκεκριμένη εντολή γι' αυτό.



Εικόνα 26 Σειριακή επικοινωνία

Η κατανάλωση του Xbee (Πίνακας 4) όταν στέλνει δεδομένα είναι 45mA (στα 3.3V), ενώ όταν λαμβάνει δεδομένα ή βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας ανεβαίνει στα 50mA (στα 3.3V). Για την μείωση της κατανάλωσης υποστηρίζει καταστάσεις λήθης (Sleep modes), στις

οποιές η κατανάλωση πέφτει κάτω από τα 50μΑ. Στον Πίνακα 6 διακρίνονται οι καταστάσεις λήθης και οι διαφορές τους.

Sleep Mode Setting	Transition into sleep Mode	Transition out of Sleep Mode	Characteristics	Power Consumption
Pin Hibernate (SM = 1)	Assert (high) Sleep_RQ (pin 9)	De-assert (low) Sleep_RQ	Pin/Host-controlled Lowest Power Wake up time:13.2ms	< 101 μΑ @3.3
Pin Doze (SM = 2)	Assert (high) Sleep_RQ (pin 9)	De-assert (low) Sleep_RQ	Pin/Host-controlled Fastest wake-up Wake up time: 2ms	< 83 μΑ @3.3V
Cyclic Sleep (SM = 4)	Automatic transition to Sleep Mode as defined by the SM (Sleep Mode) and ST (Time before Sleep) parameters.	Transition occurs after the cyclic sleep time interval elapses. The time interval is defined by the SP (Cyclic Sleep Period) parameter.	RF module wakes in pre-determined time intervals to detect if RF data is present Wake up time: 2ms	< 100 μΑ when sleeping @3.3V
Cyclic Sleep with Pin wake-up (SM = 5)	Automatic transition to Sleep Mode as defined by the SM (Sleep Mode) and ST (Time before Sleep) parameters.	Transition occurs after the cyclic sleep time interval elapses. The time interval is defined by the SP (Cyclic Sleep Period) parameter.	RF module wakes in pre-determined time intervals to detect if RF data is present Or the module will wake when a low is detected in Sleep_RQ Wake up time: 2ms	< 100 μΑ when sleeping @3.3V

Πίνακας 5 Καταστάσεις λήθης

Στην 3^η έκδοση του πρωτοτύπου (Rev 3) γίνεται χρήση της κυκλικής λήθης (SM=4). Η ασύρματη υπομονάδα (End Device) «ξυπνά» κάθε 4 δευτερόλεπτα (Sleep Period) και ελέγχει την ύπαρξη δεδομένων στο συντονιστή (coordinator Xbee), που είναι συνδεδεμένος με τον σταθμό βάσης. Αν δεν υπάρχουν δεδομένα επιστρέφει σε κατάσταση λήθης, διαφορετικά λαμβάνει τα δεδομένα και αναμένει για νέα δραστηριότητα για χρονικό διάστημα πέντε δευτερολέπτων (Time before Sleep), πριν επιστρέψει ξανά σε κατάσταση λήθης. Ο χρόνος που απαιτείται για την αφύπνιση από την κατάσταση λήθης είναι 2msec. Ο συντονιστής μένει πάντοτε σε λειτουργία και διατηρεί ένα μήνυμα προς την ασύρματη υπομονάδα 2.5 φορές τον χρόνο λήθης SP (δηλαδή 10sec) αναμένοντας την αφύπνισή της. Αν η τελευταία δεν ζητήσει το μήνυμα μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα τότε ο συντονιστής το απορρίπτει.

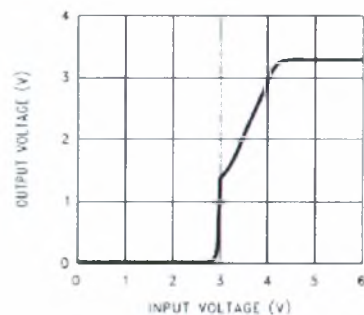
Στην τέταρτη έκδοση (Rev 4) γίνεται χρήση της κυκλικής λήθης με τα (Cyclic Sleep with Pin Wake-up) (SM=5) η οποία λειτουργεί όπως η κυκλική λήθη (SM=4) και επιπλέον η ασύρματη υπομονάδα θα μπορεί να εκκινηθεί με ένα σκανδαλισμό (edge-trigger) από τον μικροελεκτή της κεντρικής μονάδας στον ένατο ακροδέκτη (Sleep_RQ). Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη σε μια εφαρμογή ανίχνευσης πτώσης, όπου θα πρέπει να σταλεί σήμα για βοήθεια αμέσως μετά τον εντοπισμό της πτώσης.

2.2.2.3 Παροχή ισχύος

Η τάση λειτουργίας του μικροελεκτή μπορεί να λάβει τιμές από 2 ως 5 Volt, ενώ η τάση λειτουργίας της ασύρματης υπομονάδας (Xbee) από 2.8 ως 3.4 Volt. Έχοντας υπόψη αυτούς του περιορισμούς η τάση λειτουργίας του πρωτοτύπου ρυθμίσθηκε στα 3.3Volt. Η παροχή ισχύος στην έκδοση 1 του πρωτοτύπου έγινε από εργαστηριακό τροφοδοτικό, ενώ στις επόμενες εκδόσεις έγινε από μπαταρίες 6Volt, PX28L της εταιρίας Duracell. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες έχουν μικρό μέγεθος (μήκος 2.52cm, διάμετρος 1.3cm) και το φορτίο τους (128mAh) εξασφαλίζει ικανοποιητικό χρόνο λειτουργίας για το πρωτότυπο²⁵ (Εικόνα 27(α)). Για την εξομάλυνση της τάσης στα 3.3V χρησιμοποιήθηκε ο σταθεροποιητής LM2937-3.3 [40] της National Semiconductor. Ο συγκεκριμένος σταθεροποιητής μπορεί να παρέχει μέχρι 500mA στο κύκλωμα. Στην Εικόνα 27(β) παρουσιάζεται η τάση εξόδου του σταθεροποιητή σε σχέση με την τάση εισόδου του.



(α)



(β)

Εικόνα 27 (α) Η μπαταρία PX28L της εταιρίας Duracell.
(β) Η τάση εξόδου του LM2937-3.3 σε συνάρτηση με την τάση εισόδου.

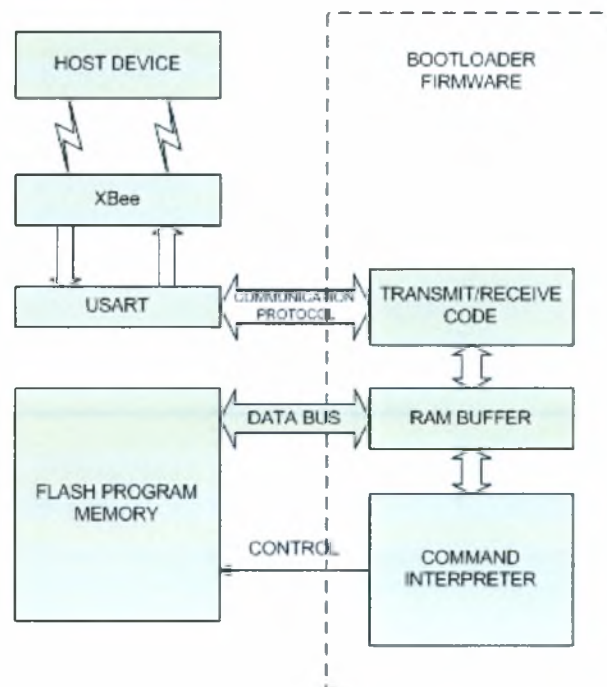
²⁵ Βλέπε παράγραφο 2.4

2.3 Λογισμικό υποστήριξης συστήματος

Το λογισμικό για ένα έξυπνο ρούχο μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες. Στην μια ανήκουν τα προγράμματα υποστήριξης του έξυπνου ρούχου που σχετίζονται με λειτουργίες όπως ο επαναπρογραμματισμός του, η διαχείριση της διαθέσιμης ενέργειας και η συνεργασία μεταξύ ρούχων. Στην δεύτερη ανήκουν οι «φορετές» εφαρμογές που αλληλεπιδρούν απ' ευθείας με τον χρήστη όπως για παράδειγμα η αναγνώριση πτώσης. Παρακάτω περιγράφεται η υλοποίηση μιας τυπικής πλατφόρμας επαναπρογραμματισμού για έξυπνα ρούχα.

2.3.1 Λογισμικό επαναπρογραμματισμού

Μια από τις βασικές σχεδιαστικές απαιτήσεις της πλατφόρμας είναι η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της, δηλαδή η δυνατότητα φόρτωσης διαφορετικών προγραμμάτων στον μικροελεκτή της κεντρικής μονάδας. Ο σκοπός που εξυπηρετεί αυτή η απαίτηση είναι διπλός, πρώτα να απαλείψει την ανάγκη χρήσης εξωτερικού προγραμματιστή (π.χ. PICSTAR-PLUS) κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και έπειτα να παρέχει δυνατότητα αναβάθμισης του λογισμικού του έξυπνου ρούχου κατά την λειτουργία του.

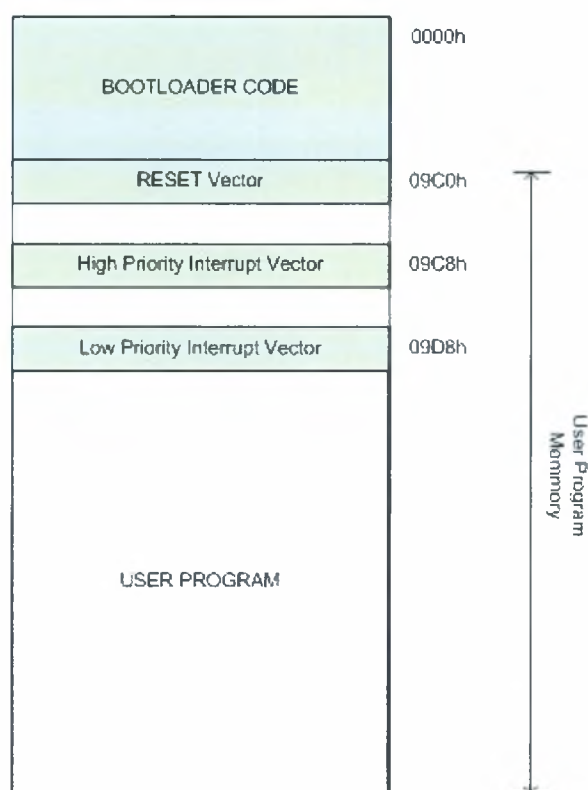


Εικόνα 28. Αρχιτεκτονική bootloader

Το σύνολο εντολών (instruction set) του μικροελεκτή της κεντρικής μονάδας (PIC18LF4550) περιλαμβάνει εντολές για ανάγνωση και εγγραφή της Flash Program Memory [39]. Η

δυνατότητα αυτή επιτρέπει την ανάπτυξη λογισμικού (bootloader) που μπορεί να φορτώνει και να εκτελεί κώδικα στον μικροελεκτή.

Για την ικανοποίηση της απαίτησης επαναπρογραμματισμού του μικροελεκτή αναπτύχθηκε κατάλληλο λογισμικό (bootloader), η σχεδίαση και το πρωτόκολλο επικοινωνίας του οποίου, βασίζονται στις υποδείξεις της κατασκευάστριας εταιρίας Microchip [40][47]. Η ελάχιστη λειτουργικότητα που θα πρέπει να εξασφαλίζει ένας bootloader περιλαμβάνει την ανάγνωση, τη διαγραφή και την εγγραφή σε επιλεγμένα τμήματα της Program memory, τη μεταφορά του instruction pointer στην αρχή του προγράμματος εφαρμογής και την επαναχαρτογράφηση των interrupt vectors.



Εικόνα 29. Χάρτης Program Memory

Η αρχιτεκτονική του bootloader συνοψίζεται στην Εικόνα 28. Η μεταφορά του κώδικα από την πλατφόρμα ανάπτυξης στον μικροελεκτή γίνεται ασύρματα μέσω του XBee. Ο μηχανισμός αποστολής / λήψης δεδομένων είναι υπεύθυνος για την υλοποίηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας και την ενθυλάκωση των πακέτων που αποστέλλονται στον σταθμό βάσης. Ο μεταφραστής εντολών είναι μια μηχανή καταστάσεων που ελέγχει τις εντολές που λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης και εκτελεί τις αντίστοιχες ενέργειες. Βασική μέριμνα κατά την ανάπτυξη του bootloader είναι να διατηρηθεί το μέγεθός του στο μικρότερο δυνατό. Κατά συνέπεια υλοποιεί την ελάχιστη δυνατή λειτουργικότητα,

αφήνοντας στην πλατφόρμα προγραμματισμού την υλοποίηση των πιο πολύπλοκων εργασιών.

Ο κώδικας του bootloader καταλαμβάνει τα πρώτα 2480 bytes της μνήμης (Εικόνα 29) και είναι προστατευμένος από τυχαία εγγραφή του από τα προγράμματα χρήστη. Κατά συνέπεια είναι αναγκαία η επαναχαρτογράφηση του RESET και των interrupt vectors έξω από το μπλοκ του bootloader πράγμα που εισάγει μικρή καθυστέρηση στα προγράμματα χρήστη.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας, είναι απλό και εύκολο να υλοποιηθεί. Η δομή ενός πακέτου είναι:

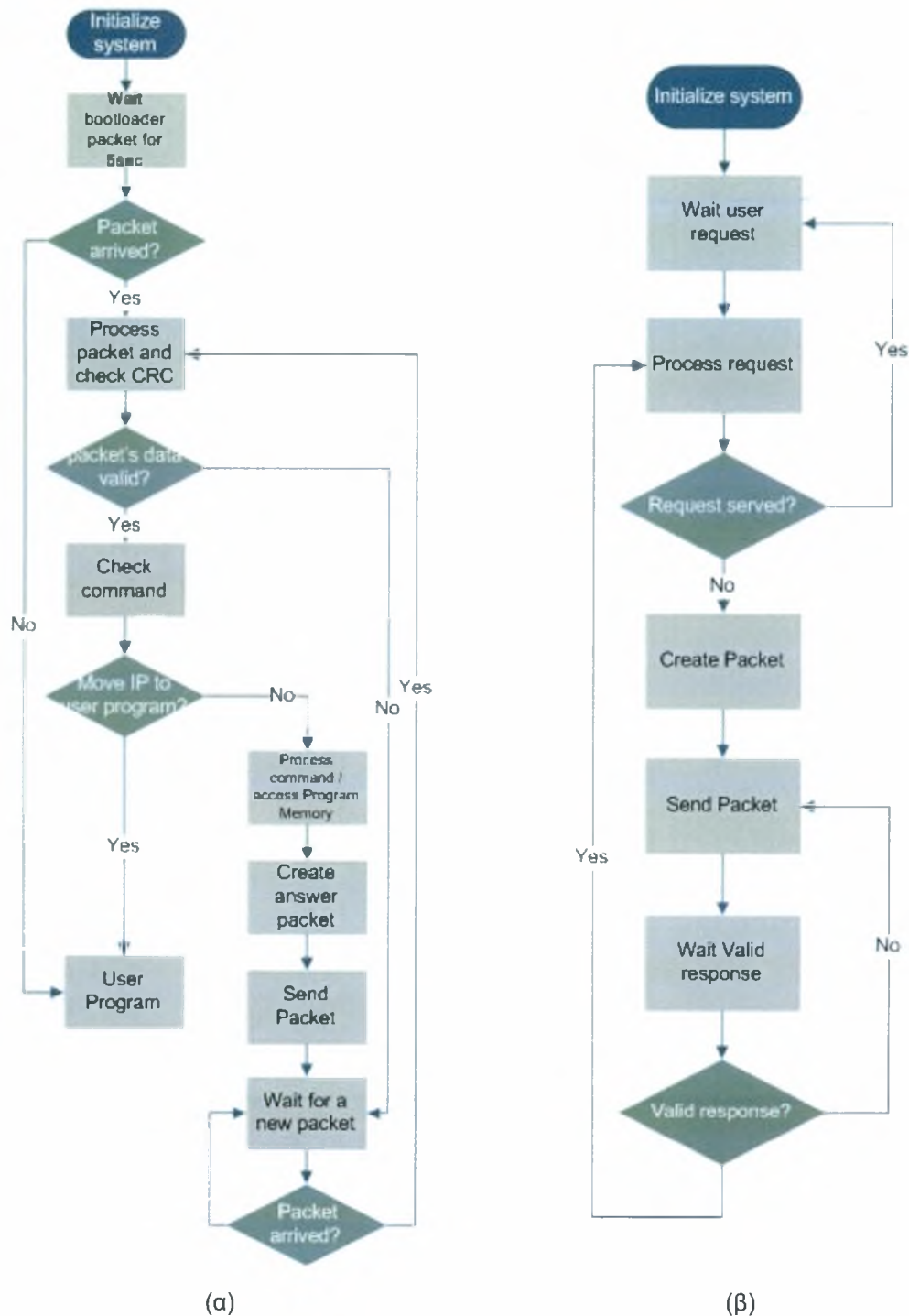
<STX> [<DATA><DATA><DATA>...] <CHK><ETX>

Η αρχή του πακέτου σημαίνεται από ένα χαρακτήρα <STX> που ακολουθείται από το ωφέλιμο φορτίο του (payload), το μέγεθος του οποίου μπορεί να φτάσει τα 255 bytes. Το ωφέλιμο φορτίο μεταφέρει μια εντολή του σταθμού βάσης προς τον μικροελεκτή και τα συσχετιζόμενα με αυτή δεδομένα (αν υπάρχουν), ή μια απόκριση και του μικροελεκτή προς τον σταθμό βάσης και τα συσχετιζόμενα με αυτή δεδομένα. Αναλυτική περιγραφή των εντολών και των αποκρίσεων υπάρχει στον Πίνακα 11 του Παραρτήματος Γ. Στη συνέχεια παρεμβάλλεται το άθροισμα ελέγχου που αντιστοιχεί στο συμπλήρωμα ως προς δύο του τελευταίου σημαντικού ψηφίου του αθροίσματος του ωφέλιμου φορτίου, ενώ το τέλος του πακέτου σημαίνεται από ένα χαρακτήρα <ETX>. Στην περίπτωση που στο ωφέλιμο φορτίο τυγχάνει να υπάρχει χαρακτήρας που ταυτίζεται με κάποιον από τους χαρακτήρες ελέγχου (<STX>, <ETX> ή <DLE>) τότε σ' αυτόν προτάσσεται ο χαρακτήρας <DLE> αίροντας την ειδική σημασία του. Οι τιμές των χαρακτήρων ελέγχου παρατίθενται στον Πίνακα 12 του Παραρτήματος Γ.

Αφού εκκινηθεί ο μικροελεκτή, ο bootloader (Εικόνα 30(α)) αναμένει για διάστημα 5 δευτερολέπτων για την λήψη πακέτου από τον σταθμό πρόσβασης. Αν παρέλθει αυτό το χρονικό διάστημα και δεν λάβει κανένα πακέτο, μεταφέρει τον instruction pointer στην αρχή του κώδικα εφαρμογής. Στην περίπτωση που λάβει κάποιο πακέτο εντός των 5 δευτερολέπτων, ο μηχανισμός λήψης το αποθυλακώνει και ελέγχει την ορθότητα του τμήματος δεδομένων. Έπειτα ο μεταφραστής εντολών επεξεργάζεται την εντολή και εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες. Αν πρόκειται για την εντολή μεταφοράς σε κώδικα χρήστη, μεταφέρει τον Instruction Pointer στον κώδικα εφαρμογής. Διαφορετικά, στην περίπτωση των εντολών πρόσβασης²⁶ στην Program Memory, εκτελεί την αντίστοιχη διαδικασία πρόσβασης και στη συνέχεια δημιουργεί και αποστέλλει στο σταθμό βάσης ένα πακέτο απάντησης,

²⁶ Πρόσβαση μπορεί να είναι ανάγνωση, διαγραφή ή εγγραφή της Program Memory

σύμφωνα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Μετά την αποστολή του πακέτου ο bootloader εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής για την λήψη νέου πακέτου.

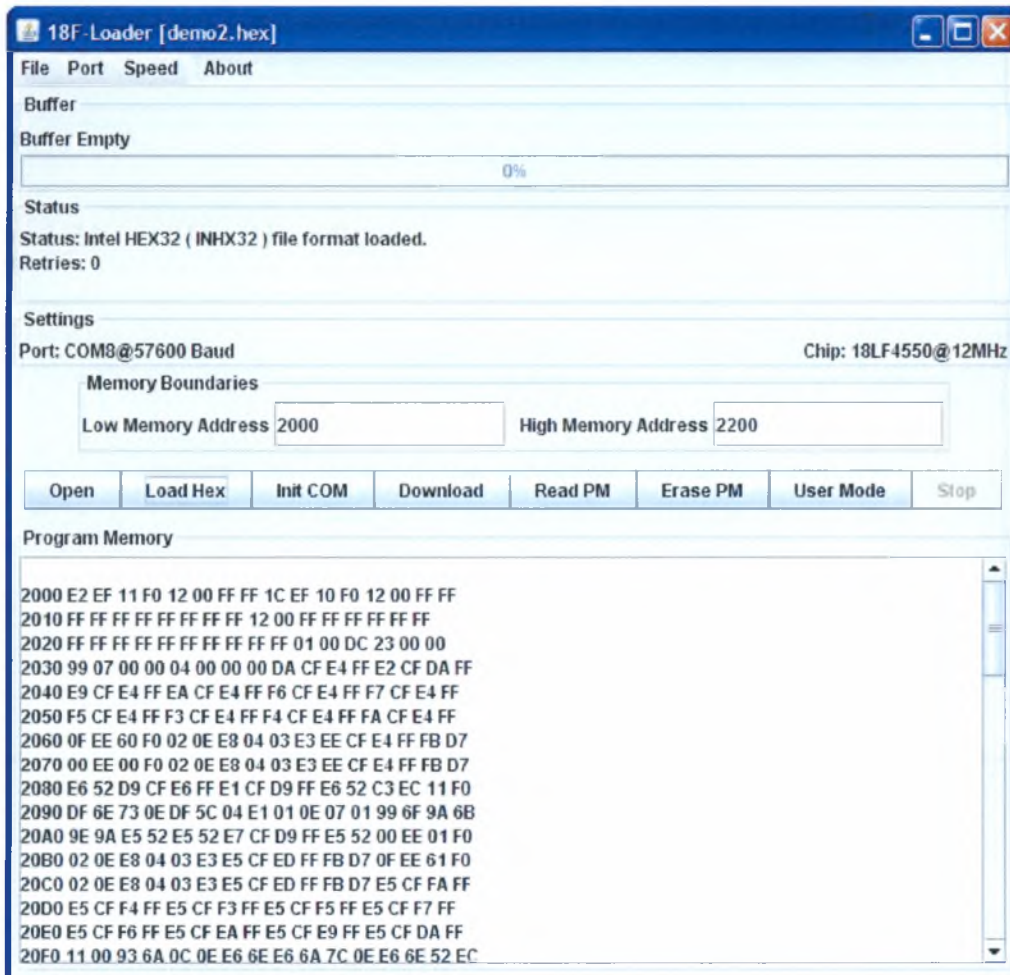


Εικόνα 30 (α) Διάγραμμα bootloader, (β) διάγραμμα πλατφόρμας διαχείρισης

Από την πλευρά του σταθμού πρόσβασης απαιτείται μια κατάλληλη πλατφόρμα (Εικόνα 30(β)) για την διαχείριση της διαδικασίας προγραμματισμού. Η πλατφόρμα ελέγχει την

είσοδο του χρήστη και εκτελεί την αντίστοιχη ενέργεια. Σχηματίζει δηλαδή τα κατάλληλα πακέτα εντολών και τα αποστέλλει στο έξυπνο ρούχο.

Κατά την διαδικασία μεταφοράς ενός προγράμματος χρήστη στο έξυπνο ρούχο, η πλατφόρμα φορτώνει και αποκωδικοποιεί το αρχείο δεκαεξαδικού κώδικα (INHX32²⁷). Στην συνέχεια τεμαχίζει τον κώδικα σε τμήματα των 16 bytes, ενθυλακώνει και αποστέλλει τα κατάλληλα πακέτα. Αν κάποιο πακέτο χαθεί εκτελεί επανεκπομπή. Ανάλογα στην ανάγνωση και διαγραφή της Program Memory, λαμβάνει το κάτω και άνω όριο της μνήμης, που πρόκειται να διαβαστεί ή να διαγραφεί. Ενθυλακώνει και αποστέλλει τα αντίστοιχα πακέτα εντολών, εκτελώντας επανεκπομπή σε περίπτωση απώλειας. Τέλος η παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και με την εντολή για μετάβαση του Instruction pointer στην περιοχή εφαρμογής.



Εικόνα 31. Διεπαφή πλατφόρμας προγραμματισμού

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται η διεπαφή της πλατφόρμας. Μέσω αυτής είναι δυνατή η ρύθμιση των παραμέτρων επικοινωνίας (σειριακή θύρα, ταχύτητα), η επιλογή του αρχείου

²⁷ Η δεκαεξαδική κωδικοποίηση (INHX) αναπαριστά πλήρως ένα δυαδικό εκτελέσιμο αρχείο (binary object file) με χαρακτήρες ASCII. Αναπτύχθηκε από την Intel και χρησιμοποιείται στο προγραμματισμό ολοκληρωμένων.

δεκαεξαδικού κώδικα, η επισκόπηση και η διαγραφή επιλεγμένου τμήματος της Program Memory και τέλος η επιλογή για μετάβαση του Instruction Pointer.

Η ανάπτυξη του bootloader έγινε σε γλώσσα C στο περιβάλλον ανάπτυξης MPLAB v7.60 της Microchip, ενώ της πλατφόρμας διαχείρισης σε Java 1.6.0. Κατά την ανάπτυξη εφαρμογών για μικροελεγκτές που διαθέτουν τον bootloader θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μεταφορά του Reset και των interrupt vectors μετά τον bootloader, πραγματοποιώντας τις απαραίτητες αλλαγές στον κώδικα και στις παραμέτρους του Linker.

2.4 Έλεγχος απόδοσης, κατανάλωσης και ορθής λειτουργίας

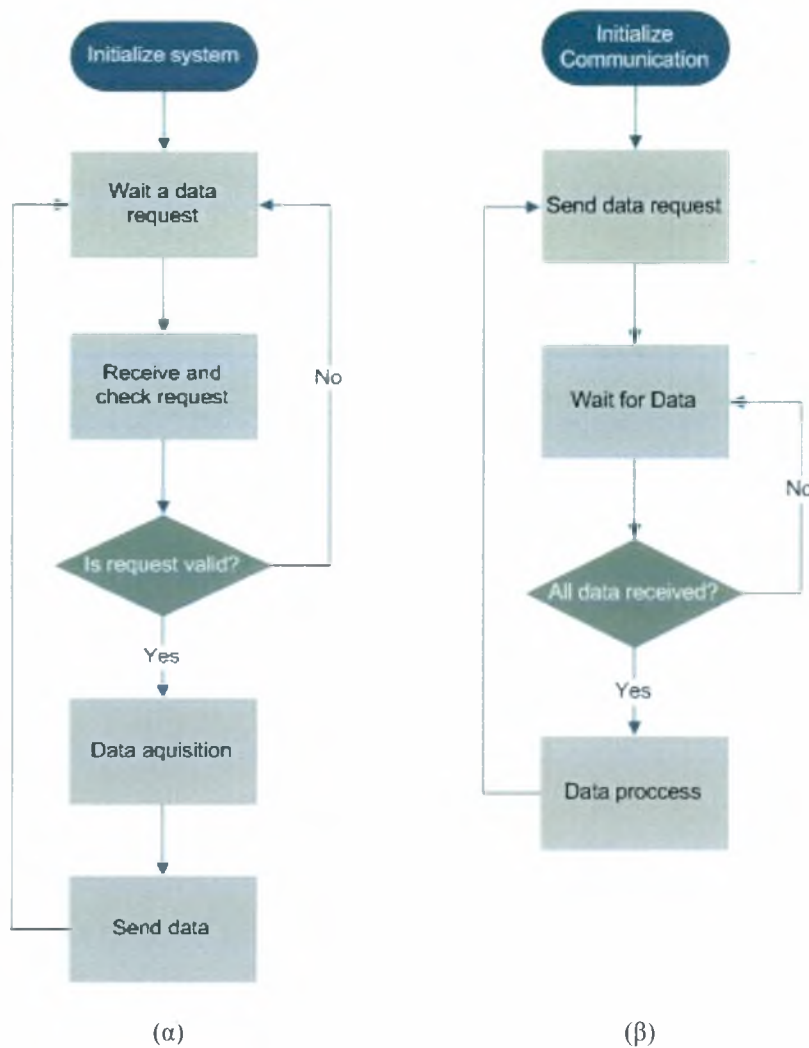
Για την εκτίμηση της απόδοσης του πρωτοτύπου πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από πειράματα στα οποία μετρήθηκε η κατανάλωση ενέργειας και έγινε έλεγχος της ορθής λειτουργίας του, δηλαδή της λήψης ορθών τιμών επιτάχυνσης από τους αισθητήρες.

2.4.1 Λογισμικό δοκιμών

Για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας και της απόδοσης της πλατφόρμας αναπτύχθηκε λογισμικό για τον μικροελεγκτή του πρωτοτύπου και τον σταθμό βάσης. Το λογισμικό δειγματοληπτεί τα επιταχυνσιόμετρα και αποστέλλει τα δείγματα σε ένα H/Y.

Ο μικροελεγκτής (Εικόνα 32(α)) αναμένει αίτηση αποστολής δειγμάτων από τον σταθμό βάσης. Όταν φτάσει ένα μήνυμα στην υπομονάδα σειριακής επικοινωνίας (EUSART) δημιουργείται ένα interrupt και η ρουτίνα χειρισμού ελέγχει αν πρόκειται για αίτηση λήψης και αποστολής μετρήσεων. Αν το μήνυμα είναι έγκυρο, ο μικροελεγκτής λαμβάνει 840 δείγματα (1680 bytes) γεμίζοντας την διαθέσιμη μνήμη (Data Memory). Έπειτα αποστέλλει τα δεδομένα μέσω της EUSART στο Xbee και από εκεί στον σταθμό βάσης. Αφού τελειώσει η αποστολή των δεδομένων εισέρχεται εκ' νέου σε κατάσταση αναμονής αίτησης.

Ο σταθμός βάσης (Εικόνα 32(β)) αποστέλλει αίτηση για λήψη δεδομένων και αναμένει την παραλαβή τους. Μετά την ολοκλήρωση λήψης των δεδομένων τα αποθηκεύει και αποστέλλει νέα αίτηση λήψης αν απαιτείται. Η ανάπτυξη του λογισμικού για τον μικροελεγκτή έγινε σε C, ενώ για τον H/Y σε Matlab.



Εικόνα 32.(α) Διάγραμμα ροής λογισμικού μικροελεκτή, (β) διάγραμμα στον Η/Υ

2.4.2 Έλεγχος απόδοσης και κατανάλωσης

Η ένταση του ρεύματος μετρήθηκε με το πολύμετρο 34401A της Agilent χρησιμοποιώντας ακρίβεια 5 δεκαδικών ψηφίων. Η λήψη τιμών από το αμπερόμετρο έγινε με ρυθμό δύο τιμές ανά δευτερόλεπτο. Τα πειράματα έγιναν με την χρήση του λογισμικού δοκιμών που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο ή με μικρές τροποποιήσεις του. Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ένα επιταχυνσιόμετρο (κύκλωμα DE-ACCM3D) συνδεδεμένο στην κεντρική μονάδα. Η κατανάλωση του DE-ACCM3D σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 0.9mA ²⁸. Σε όλα τα πειράματα μετρήθηκε η συνολική τιμή του ρεύματος (κεντρική μονάδα + επιταχυνσιόμετρο).

²⁸ Η τιμή αυτή επιβεβαιώθηκε έπειτα από μετρήσεις.

Αρχικά εκτιμήθηκε η κατανάλωση ρεύματος σε σχέση με την συχνότητα του ρολογιού του μικροελεκτή. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα στην πρώτη έκδοση του πρωτότυπου, για τρεις διαφορετικές συχνότητες ρολογιού: 4, 8 και 12MHz. Πρέπει να επισημανθεί ότι αυξάνοντας την συχνότητα του ρολογιού αυξάνεται η ταχύτητα της σειριακής²⁹ επικοινωνίας. Κάθε πείραμα περιλάμβανε την αποστολή 200 διαδοχικών αιτήσεων και την λήψη των αντίστοιχων δειγμάτων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

CPU clock	Serial port baud rate	Current (mean)	Bytes received	Time
4MHz	19200bps	7,267mA	336000bytes	209.74sec
8MHz	38400bps	8,877mA	336000bytes	106.65sec
12MHz	57600bps	10,503mA	336000bytes	72.57sec

Πίνακας 6 Οι μέσες τιμές ρεύματος για διαφορετικές συχνότητες μικροελεκτή

Ο υπολογισμός του χρόνου που μεσολαβεί από την αποστολή μιας αίτησης λήψης δειγμάτων μέχρι την λήψη όλων των τιμών της απάντησης έγινε με την χρήση των stopwatch timers του Matlab: tic – toc. Ο tic τοποθετήθηκε πριν την κλήση της συνάρτησης αποστολής αίτησης και ο toc μετά την κλήση της συνάρτησης που επιστρέφει τα δείγματα. Οι χρόνοι που εμφανίζονται στον Πίνακα 6 αποτελούν τα αθροίσματα των επιμέρους χρόνων, που επέστρεψαν οι stopwatch timers για κάθε μία από τις 200 επαναλήψεις κάθε πειράματος. Συμπεραίνουμε ότι η συχνότητα του ρολογιού του μικροελεκτή είναι μέγεθος που επηρεάζει τόσο την κατανάλωση όσο και την απόδοση του συστήματος.

Για την σύγκριση της κατανάλωσης μεταξύ των εκδόσεων 1, 3 και 4 της πλατφόρμας πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετρήσεις όταν: α) οι πλατφόρμες βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας (Idle)³⁰, β) όταν δειγματοληπτούν συνεχώς ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων χωρίς να αποστέλλουν τα δείγματα, και γ) όταν δειγματοληπτούν συνεχώς και αποστέλλουν τα δείγματα στο σταθμό βάσης. Στην τελευταία περίπτωση δεν υπάρχει αναμονή για μήνυμα λήψης από τον σταθμό βάσης, αλλά δεδομένα αποστέλλονται μόλις γεμίσει το buffer (1680 bytes) στην Data Memory του μικροελεκτή. Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.2.2.2, το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας Xbee στην τρίτη έκδοση του προτύπου (Rev 3) χρησιμοποιεί την δυνατότητα κυκλικής λήθης για εξοικονόμηση ενέργειας. Ως εκ τούτου, στα πειράματα (α) και (β) που δεν υπάρχει καθόλου επικοινωνία το Xbee βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας, ενώ στο πείραμα (γ) που η επικοινωνία είναι συχνή βρίσκεται συνεχώς σε λειτουργία. Στην τέταρτη έκδοση της

²⁹ 19200, 38400 και 57600bps για τα 4, 8 και 12MHz αντίστοιχα.

³⁰ Στην κατάσταση αυτή δεν εκμεταλεύονται οι δυνατότητες χαμηλής κατανάλωσης του μικροελεκτή π.χ σβήσιμο CPU ή περιφερειακών.

πλατφόρμας η τροφοδοσία του επιταχυνσιόμετρου έγινε μέσω καναλιού εξόδου του μικροελεκτή. Κατά συνέπεια στην κατάσταση αδράνειας το επιταχυνσιόμετρο καταναλώνει μηδενική ισχύ. Οι μέσες τιμές του ρεύματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

	Idle	A/D	A/D + communication
Rev 1 – serial cable Communication	10,17mA	10,46mA	10,62mA
Rev 3 – RF communication	6,87mA	7,53mA	59,04mA
Rev 4 – RF Communication	5,36mA	6,76mA	58,09mA

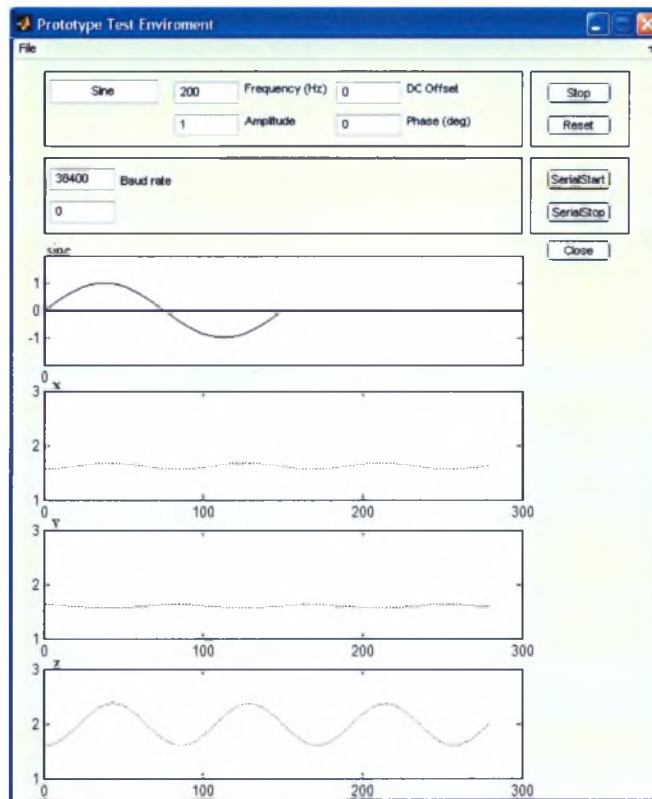
Πίνακας 7 Οι μέσες τιμές του ρεύματος για διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας

Οι μετρήσεις του Πίνακα 7 αποτελούν ένδειξη για τα όρια στα οποία κυμαίνεται η κατανάλωση των πρωτοτύπων η οποία, όπως είναι αναμενόμενο, αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση της ασύρματης επικοινωνίας. Η δυνατότητα απενεργοποίησης της CPU και των περιφερειακών του μικροελεκτή της κεντρικής μονάδας δίνει περιθώρια για περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης ανάλογα με την εφαρμογή.

Για την αξιολόγηση της αυτονομίας την πλατφόρμας μετρήθηκε ο χρόνος λειτουργίας της τρίτης έκδοσης (Rev 3) με μπαταρία Duracell PX28L, α) στην περίπτωση που το πρωτότυπο λαμβάνει συνεχώς δείγματα και τα αποστέλλει στον σταθμό βάσης (το Xbee είναι πάντα σε λειτουργία) και β) όταν το πρωτότυπο βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (το Xbee λειτουργεί με κυκλική λήθη SM=4 και SP=5sec). Στην πρώτη περίπτωση το πρωτότυπο λειτούργησε συνεχώς για 1,5 ώρα και στην δεύτερη για 18 ώρες.

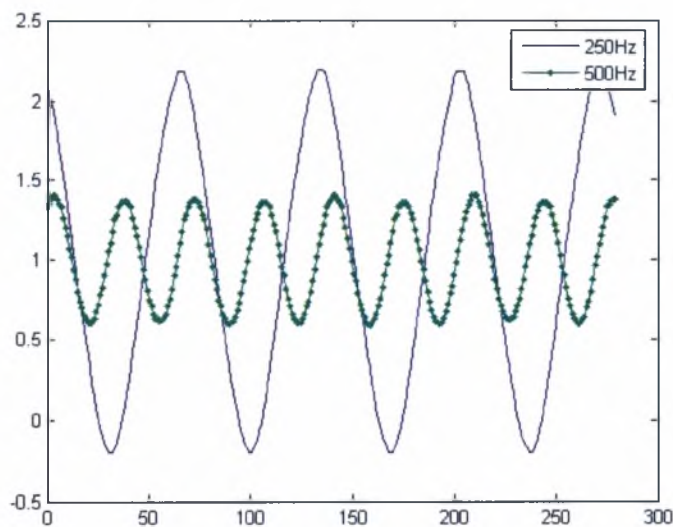
2.4.3 Έλεγχος ορθής λειτουργίας

Πριν την παραπέρα ανάπτυξη εφαρμογών κρίθηκε αναγκαία η επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του πρωτοτύπου. Για τον σκοπό αυτό ένα επιταχυνσιόμετρο στερεώθηκε στην επιφάνεια ενός ηχείου, με τον άξονα z κάθετο στην επιφάνεια του ηχείου. Για διαφορετικούς ήχους παρατηρήθηκαν οι μεταβολές στην επιτάχυνση της μεμβράνης του ηχείου. Παρόμοια πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί και σε άλλες ερευνητικές εργασίες [19]. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2 του πρωτοτύπου με συχνότητα δειγματοληψίας του επιταχυνσιόμετρου να είναι 17,5KHz.



Εικόνα 33 Εφαρμογή επιβεβαίωσης ορθής λειτουργίας

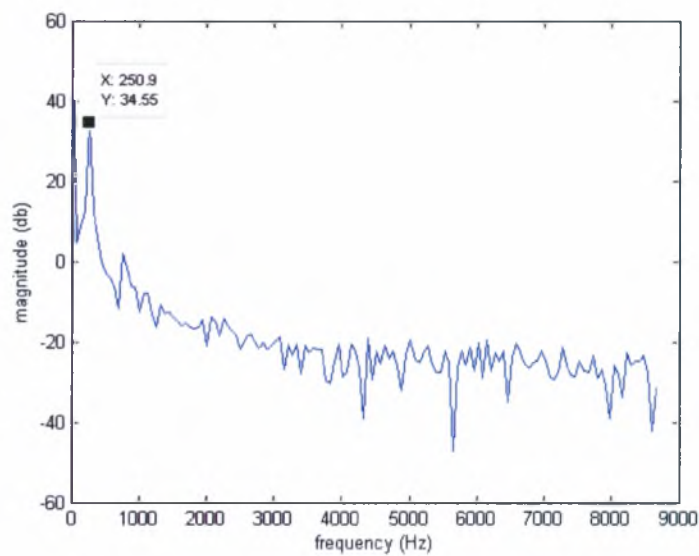
Για τις ανάγκες του πειράματος αναπτύχθηκε εφαρμογή (Εικόνα 33) σε Matlab [35] που έχει την δυνατότητα να παράγει ημίτονα διαφορετικής συχνότητας με την χρήση της κάρτας ήχου του Η/Υ. Παράλληλα η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να λαμβάνει, να αναπαριστά και να αποθηκεύει μετρήσεις από το πρωτότυπο σύμφωνα με το σχήμα που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.4.1.



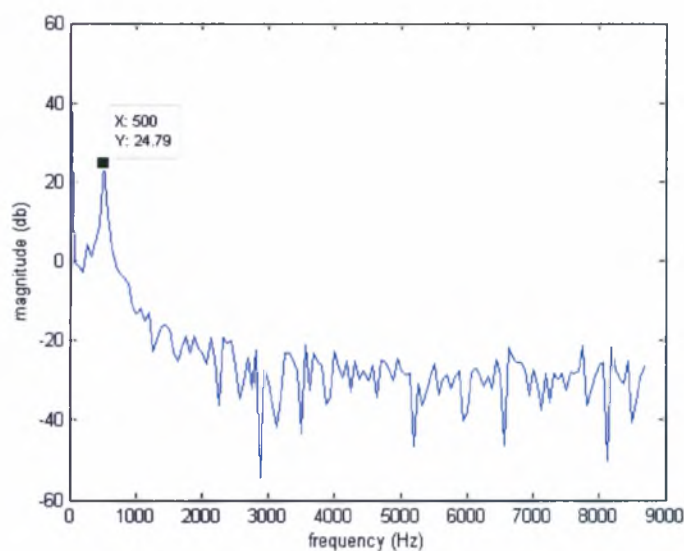
Εικόνα 34 Τιμές επιτάχυνσης για σήμα στα 250 και 500 Hz

Στην Εικόνα 34, συγκρίνονται οι τιμές της επιτάχυνσης που λαμβάνονται για τον άξονα z, όταν το σήμα που αποστέλλεται στο ηχείο είναι ημίτονο στα 250 και 500Hz. Παρατηρούμε ότι μια περίοδο του σήματος που αντιστοιχεί στα 250Hz αντιστοιχούν δύο περιόδους του σήματος που αντιστοιχεί στα 500Hz

Στη συνέχεια τα ληφθέντα σήματα μετασχηματίζονται από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας με την βοήθεια του μετασχηματισμού Fourier διακριτού χρόνου (DFT) (Εικόνα 36 και Εικόνα 35) . Όπως διαπιστώνεται από τις γραφικές παραστάσεις, οι βασικές συχνότητες των ληφθέντων σημάτων είναι τα 250 και 500Hz αντίστοιχα.



Εικόνα 35 Fourier σήματος που αντιστοιχεί στο σήμα 250Hz



Εικόνα 36 Fourier σήματος που αντιστοιχεί στο σήμα 500Hz

3 Ανίχνευση πτώσης / ακινησίας με την χρήση του πρωτοτύπου

3.1 Εισαγωγή

Μια σημαντική κατηγορία εφαρμογών που σχετίζονται με τα έξυπνα ρούχα αποτελεί η αναγνώριση της φυσικής δραστηριότητας του ατόμου που τα φορά. Ένα έξυπνο ρούχο θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες για την κίνηση και την θέση του σώματος καθώς και την φυσική του κατάσταση (π.χ., θερμοκρασία, καρδιακός παλμός, αναπνοή). Η συλλογή των πληροφοριών αυτών γίνεται μέσω αισθητήρων που ενσωματώνει. Για παράδειγμα τα επιταχυνσιόμετρα και τα γυροσκόπια μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την κίνηση του σώματος, τα θερμόμετρα για την θερμοκρασία του και οι πιεζοαντιστατικοί αισθητήρες για την αναπνοή και τον καρδιακό παλμό. Η επεξεργασία των πληροφοριών και η εξαγωγή συμπερασμάτων μπορεί να γίνει είτε αποκλειστικά «πάνω» στο έξυπνο ρούχο, είτε σε ένα σταθμό βάσης που θα βρίσκεται σε επικοινωνία με αυτό είτε με συνδυασμό των παραπάνω.

Οι τραυματισμοί που προκαλούνται από πτώσεις είναι ένα από συνηθέστερα προβλήματα κυρίως της τρίτης ηλικίας και συνήθως έχουν σημαντική επίπτωση στην ποιότητα ζωής του ηλικιωμένου και των γύρω του. Μεγάλα ποσά δαπανούνται κάθε χρόνο για την νοσηλεία και την αποκατάσταση τέτοιων περιστατικών. Οι περισσότερες πτώσεις συμβαίνουν εντός ή πλησίον του περιβάλλοντος διαβίωσης του ηλικιωμένου. Ο φόβος μιας νέας πτώσης είναι από τους συνηθέστερους λόγους, που υγιή πολλές φορές άτομα, εγκαταλείπουν το σπίτι τους για να βρεθούν σε ένα εποπτευόμενο περιβάλλον.

Αντικείμενο εργασίας είναι η κατασκευή ενός πρωτοτύπου που θα έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει την πτώση ενός ατόμου και να αποστέλλει κατάλληλη ειδοποίηση σε ένα σταθμό βάσης, που μπορεί να είναι ένα κινητό τηλέφωνο, ένα PDA ή ένας Η/Υ. Ο σταθμός βάσης με την σειρά του θα καλεί σε βοήθεια μια προεπιλεγμένη υπηρεσία (π.χ., ΕΚΑΒ).

3.2 Αναγνωρίζοντας μια πτώση

Η ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης πτώσης είναι αντικείμενο αρκετών ερευνητικών εργασιών [11][20][23][37][51]. Κοινό γνώρισμα όλων αυτών των προσπαθειών είναι ότι το άτομο θα πρέπει να φέρει πάνω του κάποιο είδος συσκευής (προσαρμοσμένη π.χ., σε ζώνη). Με δεδομένο ότι η συσκευή ανίχνευσης πτώσης θα πρέπει να φέρεται καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και να μην ενοχλεί τον χρήστη της, καθιστά, την ανίχνευση πτώσης μια από τις κατεξοχήν εφαρμογές για τα ηλεκτρονικά ρούχα.

Η πτώση είναι μια απότομη μεταβολή στην κίνηση και την θέση του σώματος που έπεται μιας φυσιολογικής κίνησης (π.χ., βάδισμα, τρέξιμο) και συνήθως προηγείται μιας περιόδου ηρεμίας (όταν το άτομο βρίσκεται πεσμένο). Οι τιμές της επιτάχυνσης σε κατάλληλα σημεία του σώματος μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την κίνησή του [20]. Για την ανίχνευση της πτώσης θα χρησιμοποιηθούν επιταχυνσιόμετρα.

3.2.1 Η επιτάχυνση

Επιτάχυνση είναι το φυσικό μέγεθος που εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας ενός σώματος (δηλαδή το πόσο γρήγορα αλλάζει την ταχύτητά του, σε μία τυχαία χρονική στιγμή). Η επιτάχυνση μετράται σε m/sec^2 ή σε g όπου 1g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της θάλασσας και ισούται με $9.81 m/sec^2$.

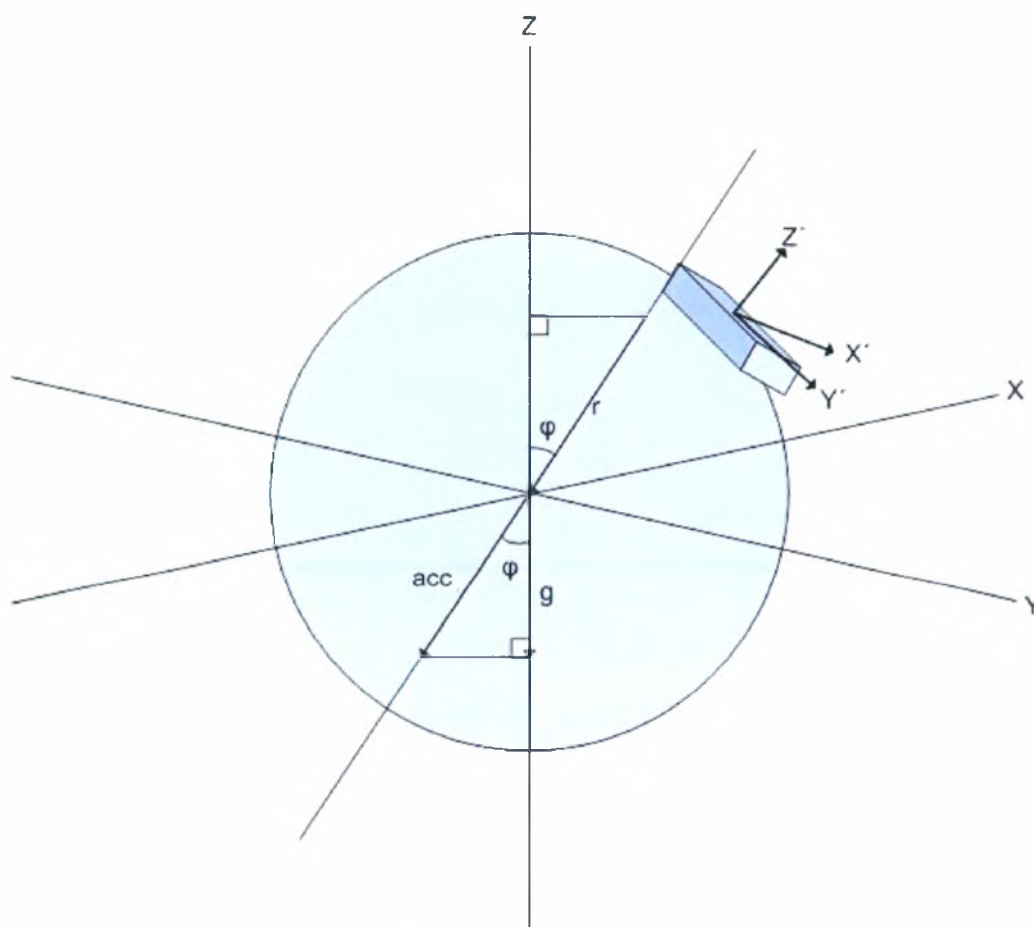
Η επιτάχυνση που μετράται από ένα επιταχυνσιόμετρο, τοποθετημένο σε κάποιο σημείο του ανθρώπινου σώματος, είναι συνισταμένη των επιταχύνσεων που οφείλονται α) στην βαρύτητα της γης, β) στην κίνηση του σώματος, γ) στις εξωτερικές πιέσεις (π.χ. ζώνη ασφαλείας) ή σε αλλοιώσεις στην στήριξη του επιταχυνσιόμετρου και γ) στον θόρυβο που τυχόν εισάγει το σύστημα μέτρησης. Οι δύο πρώτες δύο συνιστώσες μπορεί να δώσουν πληροφορίες για την θέση και την κίνηση του σώματος ενώ οι δύο τελευταίες είναι θόρυβος [37]. Ο θόρυβος που οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες μπορεί να εξαλειφθεί με κατάλληλη

επιλογή της θέσης και προσεκτική στερέωση του επιταχυνσιόμετρου, ενώ ο θόρυβος που εισάγει το σύστημα δειγματοληψίας μπορεί να μειωθεί με την κατάλληλη σχεδίαση και επιλογή του εξοπλισμού. Σε κάθε περίπτωση για την απομάκρυνση του θορύβου μπορεί να χρησιμοποιηθούν φίλτρα ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Η συνιστώσα της επιτάχυνσης που οφείλεται στην βαρύτητα μεταβάλλεται σε κάθε άξονα καθώς το επιταχυνσιόμετρο κινείται στον τρισδιάστατο χώρο. Αν θεωρήσουμε το επιταχυνσιόμετρο της Εικόνας 42 ακίνητο στο χώρο τότε επιτάχυνσή του κατά τον άξονα Z' είναι:

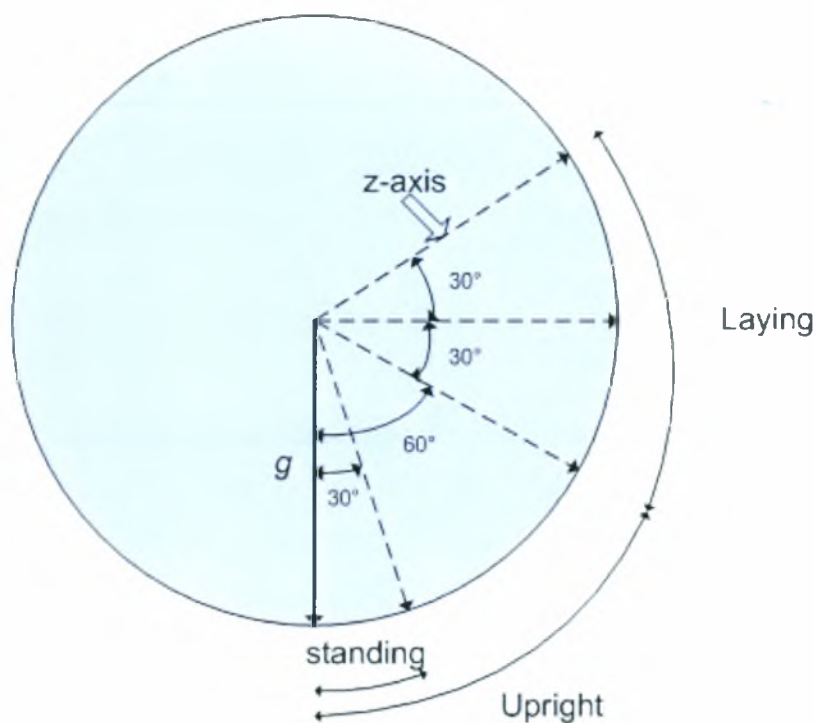
$$acc = g \cos(\phi)$$

Όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και ϕ η γωνία μεταξύ του άξονα Z' και της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η συνιστώσα της επιτάχυνσης της βαρύτητας acc λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$, με -1 όταν έχει αντίθετη κατεύθυνση από την βαρύτητα και 1 όταν έχει την ίδια με αυτή.



Εικόνα 37 Συνιστώσα επιτάχυνσης βαρύτητας

Η γωνία ϕ (tilt angle) που σχηματίζει η συνιστώσα της επιτάχυνσης λόγω βαρύτητας με το διάνυσμα της επιτάχυνσης της βαρύτητας μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον προσανατολισμό του επιταχυνσιόμετρου. Έτσι με την χρήση κατάλληλα τοποθετημένων επιταχυνσιόμετρων είναι δυνατός ο προσδιορισμός της στάσης του σώματος. Στην Εικόνα 38 δίδονται οι τιμές της γωνίας ϕ για διαφορετικές στάσεις του ανθρώπινου σώματος [11].



Εικόνα 38 Η γωνία ϕ μεταξύ του άξονα z και της επιτάχυνσης της βαρύτητας

Η συνιστώσα της επιτάχυνσης που οφείλεται στην κίνηση είναι μηδέν σε κατάσταση ηρεμίας και μεταβάλλεται καθώς το σώμα κινείται. Η τιμή της εξαρτάται από την ένταση της κίνησης, από την θέση και τον προσανατολισμό του επιταχυνσιόμετρου πάνω στο ανθρώπινο σώμα.

Όπως προαναφέρθηκε, η επιτάχυνση σε κάθε άξονα (αν αφαιρεθεί ο θόρυβος) είναι το άθροισμα της επιτάχυνσης λόγω της βαρύτητας και λόγω της κίνησης. Δηλαδή:

$$X = X_g + X_m$$

$$Y = Y_g + Y_m$$

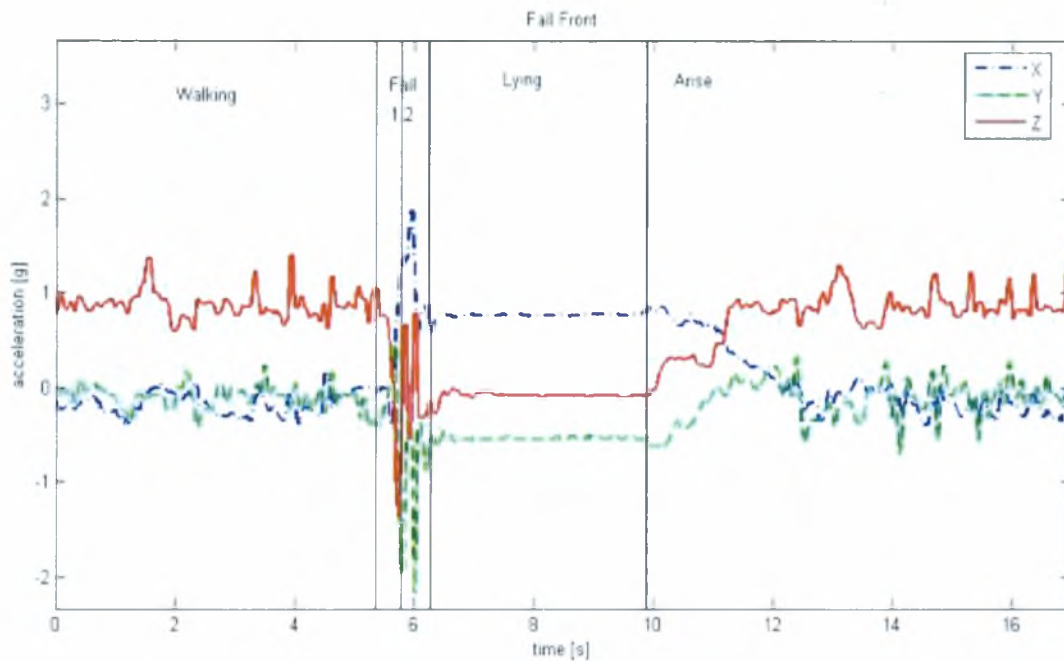
$$Z = Z_g + Z_m$$

Το μέτρο της επιτάχυνσης στο σημείο που είναι τοποθετημένο το επιταχυνσιόμετρο είναι:

$$\rho = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

3.2.2 Κατανοώντας την πτώση

Όπως προαναφέρθηκε, πτώση είναι μια βίαιη μεταβολή στην θέση και την κίνηση του σώματος. Η πτώση ακολουθεί μια φυσιολογική κίνηση (π.χ. βάδισμα, τρέξιμο) ή στάση (π.χ. ορθή) και συνήθως προηγείται μιας περιόδου ηρεμίας, όταν το σώμα βρίσκεται πεσμένο.



Εικόνα 39 Η μεταβολή της επιτάχυνσης κατά την πτώση.

Στην Εικόνα 39 παρουσιάζεται η μεταβολή της επιτάχυνσης σε μια τυπική περίπτωση πτώσης προς τα εμπρός. Τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί από επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων τοποθετημένο στην σπονδυλική στήλη στο ύψος της μέσης. Το επιταχυνσιόμετρο έχει τοποθετηθεί με τον άξονα z κάθετο στην επιφάνεια της γης έτσι ώστε σε κατάσταση ηρεμίας οι έξοδοί του να είναι 1g για τον άξονα z και 0g για τους x, y.

Κατά την έναρξη μιας πτώσης υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα (Εικόνα 39 (Fall-1)) κατά το οποίο το σώμα εκτελεί ελεύθερη πτώση αυξάνοντας την ταχύτητα του γραμμικά, εξ' αιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η πρόσκρουση με το έδαφος (impact) (Εικόνα 39 (Fall-2)) δημιουργεί αντιστροφή στο διάνυσμα της επιτάχυνσης κατά την διεύθυνση της πτώσης. Ακολουθεί περίοδος ηρεμίας, κατά την οποία ο προσανατολισμός του σώματος σε σχέση με την επιφάνεια της γης αλλάζει, γεγονός που προκαλεί ανάλογη μεταβολή της επιτάχυνσης που μετράται λόγω της βαρύτητας. Τέλος η προσπάθεια η αποκατάστασης προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή στην επιτάχυνση επαναφέροντάς την στα προ της πτώσης επίπεδα.

3.2.3 Σχετικές εργασίες

Ένας αρκετά σημαντικός αριθμός ερευνητικών εργασιών σχετικές με την ανίχνευση πτώσης έχουν εκδοθεί τα τελευταία χρόνια. Παράλληλα κυκλοφορούν στην αγορά και κάποια προϊόντα από παρόχους υπηρεσιών υγείας. Παρακάτω περιγράφονται κάποιες αντιπροσωπευτικές εργασίες και προϊόντα.

Το SPEEDY [51] είναι ένα σύστημα για την ανίχνευση πτώσης τοποθετημένο σε ρολόι χειρός. Για την ανίχνευση μια πτώσης προτείνει ένα αλγόριθμο τριών βημάτων. Πρώτη προϋπόθεση για να αναφερθεί ένα γεγονός ως πτώση είναι να εντοπιστεί κίνηση προς το έδαφος με μεγάλη ταχύτητα, κατόπιν εντός τριών δευτερολέπτων θα πρέπει να ανιχνευθεί πρόσκρουση. Μετά την πρόσκρουση το σύστημα καταγράφει την δραστηριότητα για 60 δευτερόλεπτα, αν σ' αυτό το διάστημα επέλθει αδράνεια για 40 δευτερόλεπτα τουλάχιστον, τότε αναφέρεται πτώση. Κατά την διάρκεια των δοκιμών του διαπιστώθηκε ότι δεν δίνει λάθος συναγερμούς και αναγνωρίζει με επιτυχία 100% πτώσεις προς τα εμπρός, ωστόσο οι επιδόσεις του σε πτώσεις προς τα πίσω και πλάγια είναι χαμηλές, 58% και 45% αντίστοιχα.

Το σύστημα ανίχνευσης πτώσης που προτείνεται στα [11] και [37] χρησιμοποιεί επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων τοποθετημένο στην μέση. Με την χρήση κατάλληλου ψηφιακού φίλτρου (FIR) επιτυγχάνει τον διαχωρισμό των συνιστωσών της επιτάχυνσης λόγω βαρύτητας και λόγω κίνησης. Η μέθοδος που εισηγείται συνυπολογίζει παραμέτρους όπως, η αύξηση του μέτρου της συνιστώσας της επιτάχυνσης λόγω κίνησης, η μεταβολή του προσανατολισμού (με βάση την συνιστώσα λόγω της βαρύτητας) και η ένδειξη δραστηριότητας μετά από μια πρόσκρουση.

Στο [55] η ανίχνευση της πτώσης γίνεται με επιταχυνσιόμετρο τοποθετημένο πίσω από το λοβό του αυτιού με τον άξονα z κάθετο στην επιφάνεια της γης. Για να αναφερθεί ένα γεγονός ως πτώση θα πρέπει η συνισταμένη επιταχύνσεων στους άξονες x και y να είναι μεγαλύτερη από 2g και η συνισταμένη των ταχυτήτων πριν την πρόσκρουση να είναι μεγαλύτερη από 0.7m/sec. Επίσης πτώση αναφέρεται σε κάθε περίπτωση που το άθροισμα της επιτάχυνσης σε όλους τους άξονες είναι μεγαλύτερο από 6g.

Για την ανίχνευση πτώσης στο [23] χρησιμοποιείται πρωτότυπο που στηρίζεται στη πλατφόρμα των Mica2Dot Motes με TinyOS και ενσωματώνει δύο επιταχυνσιόμετρα ADXL210E. Για τις ανάγκες των πειραμάτων το πρωτότυπο προσαρμόζεται στην μέση με μία ζώνη. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης πτώσης που προτείνεται βασίζεται αρχικά στον προσδιορισμό πρόσκρουσης και κατόπιν σε εκτίμηση του προσανατολισμού του σώματος,

για χρονικό διάστημα ένα λεπτό πριν την πρόσκρουση μέχρι και δύο λεπτά μετά από αυτή. Αν σε αυτό το χρονικό διάστημα εντοπιστεί αλλαγή του προσανατολισμού τότε αναφέρεται πτώση. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη και τις περιπτώσεις που μετά από μια αρχική πρόσκρουση ανιχνεύονται και επόμενες σε διάστημα δύο δευτερολέπτων από την αρχική (π.χ., πτώση από σκάλα).

Οι προηγούμενες εργασίες χρησιμοποιούν αναλυτικές μεθόδους, οι οποίες εξετάζουν μια σειρά από προκαθορισμένα όρια (thresholds) για μεγέθη όπως, το μετρό της επιτάχυνσης, η ταχύτητα και ο προσανατολισμός του σώματος, προκειμένου να εξακριβώσουν αν μια συμπεριφορά είναι πτώση ή όχι. Στην [54] προτείνεται μια διαφορετική μεθοδολογία που βασίζεται στην μηχανική μάθηση και συγκεκριμένα στις μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης SVM (Support Vector Machines).

Η HealthWatch³¹ διαθέτει στην αγορά έναν ανιχνευτή πτώσης με διαστάσεις 7.5x5.3x2.8. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί προστατεύεται από δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Το σύστημα επιχειρεί, αρχικά, να ανιχνεύσει μεταβολή στο προσανατολισμό του σώματος, αν η μεταβολή συνοδεύεται και από εντοπισμό πρόσκρουσης, τότε παρακολουθεί την δραστηριότητα για 15 δευτερόλεπτα. Αν, στο χρονικό αυτό διάστημα, δεν μεταβληθεί ο προσανατολισμός του σώματος αναφέρει πτώση.

Ένα ακόμη σύστημα διατίθεται στην αγορά από την Chubb³², το οποίο αναφέρει πτώση όταν βρεθεί σε θέση που να σχηματίζει γωνία μεγαλύτερη των 60° με μια κάθετη στην επιφάνεια της γης.

3.3 Αναγνώριση πτώσης με την πλατφόρμα ηλεκτρονικών υφασμάτων

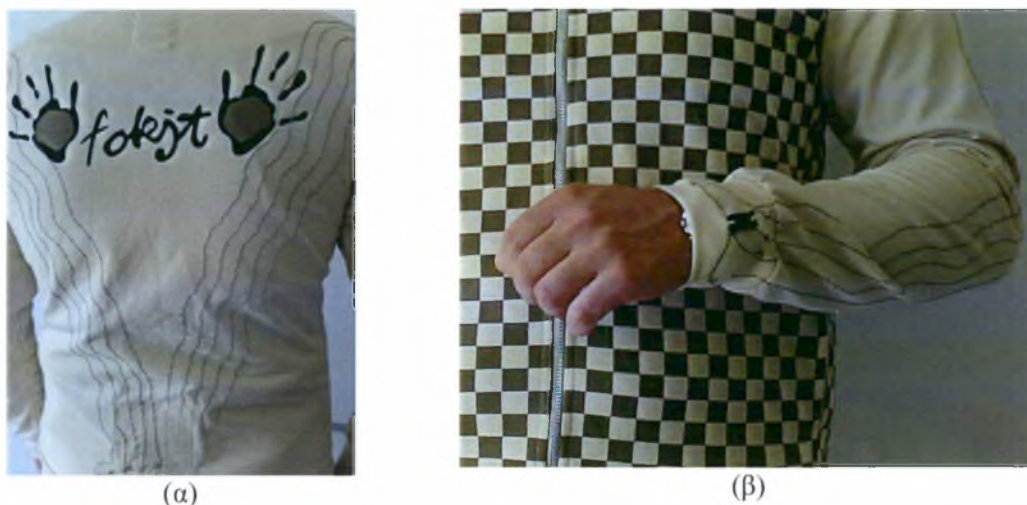
Η ανίχνευση πτώσης είναι μια εφαρμογή μεγάλης σημασίας τόσο ευπαθής ομάδες του πληθυσμού (π.χ. άτομα μεγάλης ηλικίας) όσο και για ομάδες που ασκούν δραστηριότητες υψηλού κινδύνου (π.χ. ορειβάτες, πυροσβέστες). Η συσκευή ανίχνευσης δεν πρέπει να επηρεάζει την φυσιολογική δραστηριότητα του χρήστη της, αφού η ανάγκη παρακολούθησης καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του 24ώρου. Επίσης η λειτουργία της θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο αδιαφανής. Όλα αυτά καθιστούν την ανίχνευση πτώσης μια από τις πιο αντιπροσωπευτικές εφαρμογές για τα ηλεκτρονικά ρούχα.

³¹ <http://www.health-watch.com/falldetector.html>

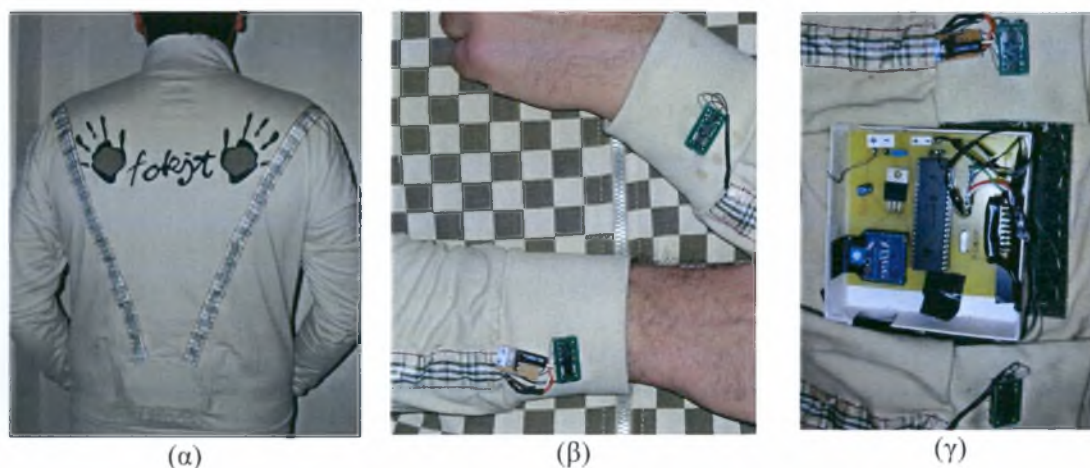
³² <http://www.chubbcommunitycare.co.uk/products/info/intellilink-fall-detector>

3.3.1 Κατασκευή Πρωτότυπου ενδύματος

Η πλατφόρμα ηλεκτρονικών υφασμάτων, που περιγράφηκε στο 2^ο Κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή πρωτότυπου ενδύματος που έχει την δυνατότητα να συλλέγει πληροφορίες για την κίνηση του χρήστη του και να εντοπίζει τυχόν πτώση. Για την κατασκευή του πρωτότυπου ενδύματος χρησιμοποιήθηκε η 3^η έκδοση της κεντρικής μονάδας και τρία επιταχυνσιόμετρα.



Εικόνα 40 Πλατφόρμα με αγώγιμο νήμα



Εικόνα 41 Πλατφόρμα αναγνώρισης πτώσης

Η κεντρική μονάδα και ένα επιταχυνσιόμετρο τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος του ενδύματος στην σπονδυλική στήλη λίγο πάνω από την μέση (Εικόνα 41(α),(γ)). Τα άλλα δύο επιταχυνσιόμετρα τοποθετήθηκαν στους καρπούς (Εικόνα 41(β)). Για την τοποθέτηση των επιταχυνσιόμετρων χρησιμοποιήθηκαν βάσεις ολοκληρωμένων, οι οποίες στερεώθηκαν με κλωστή πάνω στο ένδυμα (Εικόνα 40β) . Η μπαταρία για την τροφοδοσία του πρωτότυπου τοποθετήθηκε δίπλα από την κεντρική μονάδα και ένας διακόπτης λειτουργίας στο δεξί χέρι (Εικόνα 41(β)). Για την διασύνδεση της κεντρικής μονάδας με τα επιταχυνσιόμετρα αρχικά

χρησιμοποιήθηκε αγώγιμο νήμα από επάργυρο νάιλον (Εικόνα 40). Η αντίσταση του νήματος, η οποία σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 42Ohm/m, δεν παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται καθώς το νήμα τανύζει ή χαλαρώνει. Η τάση που μετρήθηκε στους ακροδέκτες του A/D converter ήταν διαφορετική από την τάση εξόδου των επιταχυνσιόμετρων και μεταβάλλονταν καθώς το νήμα χαλαρώνει ή τάνυζε ακολουθώντας την κίνηση του σώματος. Επομένως το αγώγιμο νήμα μπορεί να είναι κατάλληλο για την τροφοδοσία φωτοδιόδων, όπως χρησιμοποιείται στο LilyPad [30], αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δειγματοληψία αισθητήρων. Έτσι το αγώγιμο νήμα αντικαταστάθηκε από μονωμένες επάργυρες γραμμές (Εικόνα 41).

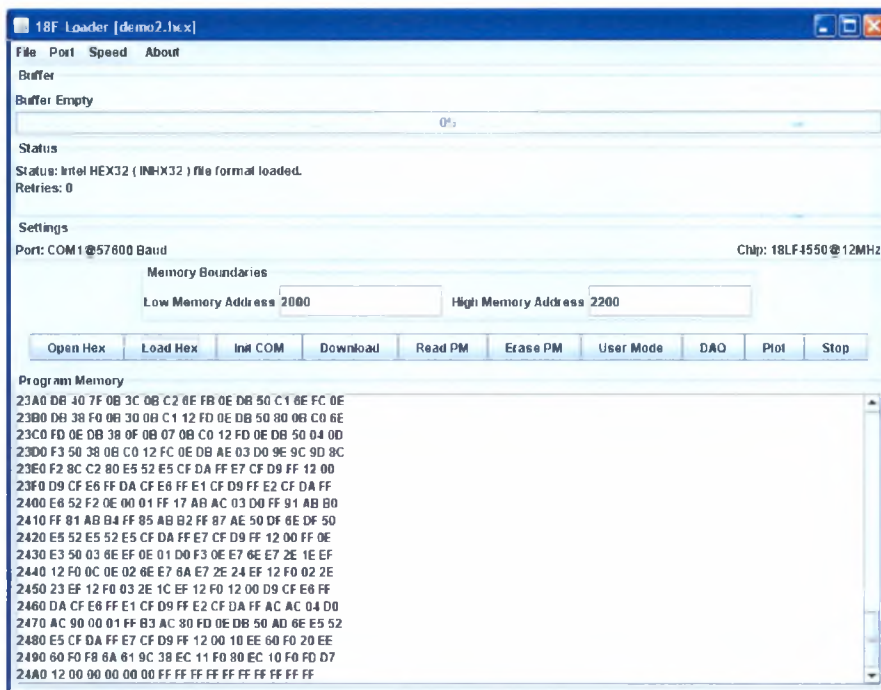
Η κεντρική μονάδα τοποθετήθηκε πάνω από την μέση διότι σε εκείνο το σημείο επηρεάζει λιγότερο την κίνηση. Στο ίδιο σημείο τοποθετήθηκε και ένα επιταχυνσιόμετρο με τον άξονα z κάθετο στην επιφάνεια της γης. Η επιλογή αυτή έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε σχετικές ερευνητικές εργασίες [11][37][54][23] και μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον προσανατολισμό του σώματος. Η επιλογή των καρτών έγινε, όχι μόνο γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της πτώσης όπως στο [51] αλλά και για ληφθούν πληροφορίες για την κίνηση / ακινησία και την προσπάθεια αποκατάστασης μετά από απ' αυτή.

3.3.2 Λογισμικό

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφηκε η λειτουργία του bootloader που αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες αναβάθμισης του λογισμικού της κεντρικής μονάδας. Το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε εφαρμογή με ηλεκτρονικά υφάσματα, είτε στο στάδιο της ανάπτυξης, (για την φόρτωση κώδικα χωρίς την χρήση εξωτερικού προγραμματιστή) είτε στο στάδιο λειτουργίας, (για την αναβάθμιση του λογισμικού).

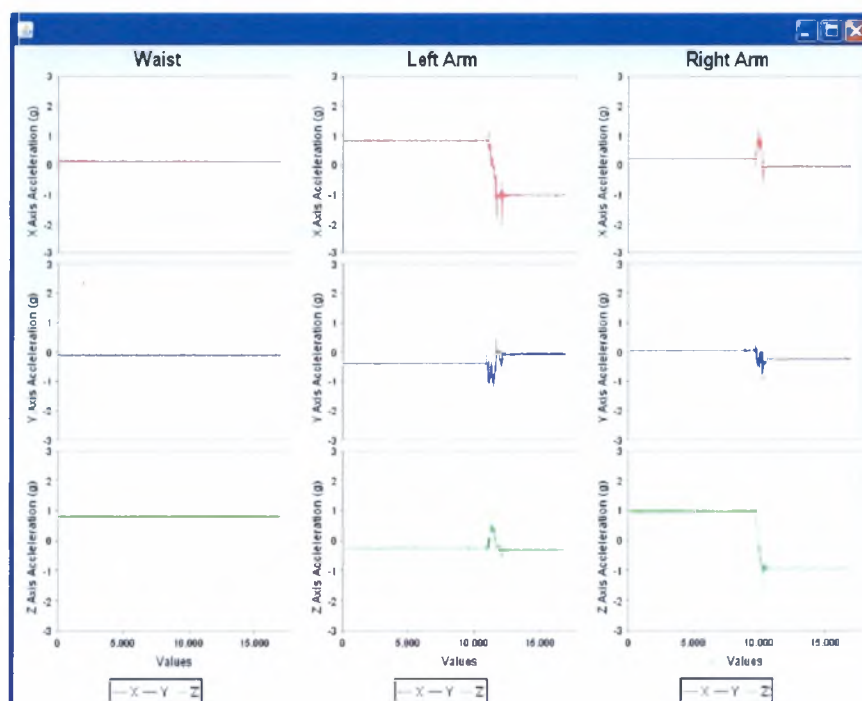
Κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής ανίχνευσης πτώσης διαπιστώθηκε ότι απαιτείται ένα ευέλικτο σχήμα για την λήψη και αναπαράσταση τιμών από τα επιταχυνσιόμετρα. Η σχεδίαση του αλγορίθμου βασίζεται στην μελέτη των τιμών της επιτάχυνσης και της μεταβολής τους. Η δοκιμή λειτουργίας του αλγορίθμου, πριν μεταφερθεί στο πρωτότυπο ένδυμα, επίσης, απαιτεί τιμές της επιτάχυνσης. Για τον σκοπό αυτό το λογισμικό του bootloader επεκτάθηκε κατάλληλα. Έτσι κατασκευάστηκε ένα ολοκληρωμένο εργαλείο (Εικόνα 42) που συνοδεύει το πρωτότυπο ένδυμα και παρέχει στον προγραμματιστή την δυνατότητα να αναβαθμίζει το λογισμικό του ενδύματος, να λαμβάνει τιμές από τα

επιταχυνσιόμετρα, να τις αναπαριστά (Εικόνα 43) και να τις αποθηκεύει μέσα από ένα ενιαίο περιβάλλον.



Εικόνα 42 Εργαλείο ανάπτυξης πλατφόρμας

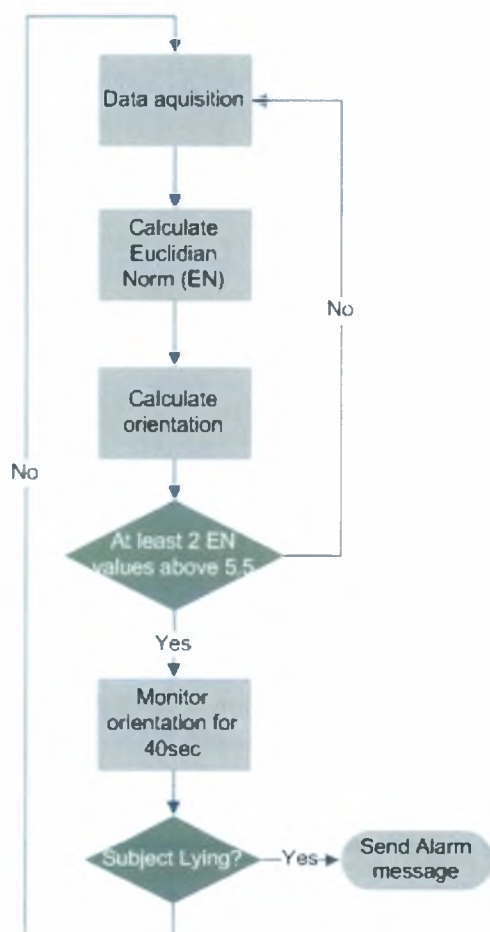
Η χρήση, επομένως, της πλατφόρμας είναι διπλή, αρχικά να συλλέξει δεδομένα από πτώσεις που θα χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό και την επαλήθευση του αλγορίθμου και έπειτα να ενσωματώσει τον αλγόριθμο και να αναφέρει πτώσεις.



Εικόνα 43 Γραφικές παραστάσεις επιταχύνσεων

3.3.3 Αλγόριθμος αναγνώρισης πτώσης

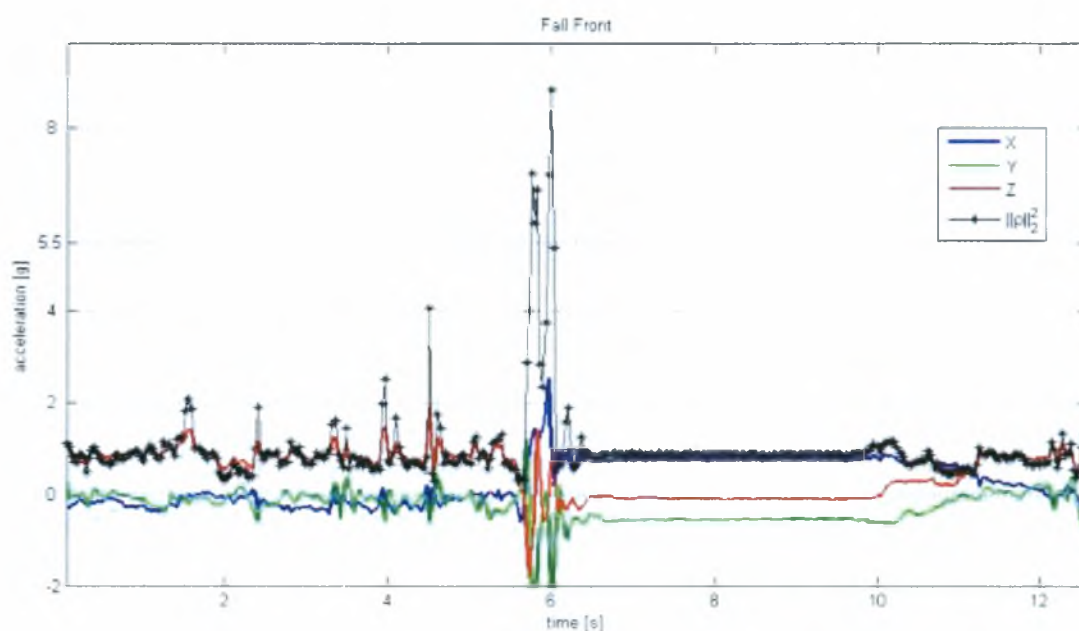
Σύμφωνα με το [11] η συχνότητα των κινήσεων του ανθρώπινου σώματος δεν ξεπερνά τα 20Hz, έτσι η συχνότητα δειγματοληψίας των επιταχυνσιόμετρων ορίστηκε στα 50Hz. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης εφαρμόζεται σε δεδομένα που δειγματοληπτούνται σε διαστήματα (παράθυρα) του ενός δευτερολέπτου. Σχετική ερευνητική εργασία [37], έπειτα από σειρά πειραμάτων, έδειξε ότι το ιδανικό μέγεθος παραθύρου σε προβλήματα κατηγοριοποίησης ανθρώπινων κινήσεων βρίσκεται μεταξύ των 0.8 και 1.4 δευτερολέπτων. Η τρέχουσα έκδοση του αλγορίθμου αναγνώρισης πτώσης χρησιμοποιεί, δεδομένα από το επιταχυνσιόμετρο που βρίσκεται τοποθετημένο στην μέση.



Εικόνα 44 Αλγόριθμος αναγνώρισης πτώσης.

Ο αλγόριθμος υπολογίζει, για κάθε σημείο του παραθύρου, το τετράγωνο της ευκλείδειας νόρμας της επιτάχυνσης στους τρεις άξονες ($\rho^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$) (Εικόνα 45). Αν τουλάχιστον δύο τιμές του ρ^2 , που έχουν απόσταση μικρότερη από 10 μεταξύ τους, ξεπεράσουν το όριο $th = 5.5$, τότε υπάρχει ένδειξη για πτώση. Η τιμή του ορίου καθορίστηκε έπειτα από μελέτη δεδομένων από πτώσεις. Για να αποκλειστεί το ενδεχόμενο

να μην ανιχνευτεί μια πτώση που δίνει μόνο δύο τιμές μεγαλύτερες του th και οι οποίες τυγχάνουν σε διαδοχικά παράθυρα, υπολογίζεται η απόσταση της τελευταίας τιμής κάθε παραθύρου που ξεπερνά το th από την πρώτη του επομένου. Σε κάθε παράθυρο ο αλγόριθμος αποφασίζει για τον προσανατολισμό του σώματος με βάση τις τιμές της επιτάχυνσης στον άξονα Z . Στην περίπτωση που υπάρχει ένδειξη πτώσης και ταυτόχρονα μεταβολή του προσανατολισμού του σώματος, από ορθή στάση σε οριζόντια, για περισσότερο από 40 δευτερόλεπτα τότε αναφέρει το συμβάν ως πτώση. Μια πιο λεπτομερή περιγραφή του αλγορίθμου, με την μορφή ψευδοκώδικα, δίδεται στο Παράρτημα Δ.



Εικόνα 45 Η ευκλείδεια νόρμα της επιτάχυνσης

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης πτώσης μπορεί να τροποποιηθεί, ώστε να λαμβάνει υπόψη και τα δεδομένα από τα επιταχυνσιόμετρα στους καρπούς των χεριών για να ενισχύσει την απόφαση για την ακινησία μετά την πτώση. Στην περίπτωση αυτή τα επιταχυνσιόμετρα στα χέρια δεν χρειάζεται να βρίσκονται συνεχώς σε λειτουργία, παρά μόνο όταν ανιχνεύονται τιμές της επιτάχυνσης που υπερβαίνουν το όριο th .

3.3.4 Επαλήθευση της εφαρμογής αναγνώρισης πτώσης

Για την επαλήθευση της εφαρμογής ανίχνευσης πτώσης έγινε μια σειρά πειραμάτων (Πίνακας 8), στα οποία συμμετείχαν τρεις ενήλικες άνδρες με ηλικία μεταξύ 24 και 32 ετών. Τα πειράματα περιλάμβαναν μια σειρά από καθημερινές κινήσεις και πτώσεις που εκτελέστηκαν διαδοχικά η μία μετά την άλλη, με την πλατφόρμα να βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Οι πτώσεις πραγματοποιήθηκαν πάνω σε στρώμα.

Κινήσεις	
1	Κάθισμα σε / έγερση από καρέκλα
2	Κλίση σε / έγερση από κρεβάτι
3	Περπάτημα κανονικό / γρήγορο
4	Ανάβαση / κατάβαση σκαλοπατιών
5	Πτώση Εμπρός (ακινησία)
6	Πτώση Εμπρός (περπάτημα)
7	Πτώση Πίσω (πλάτη ορθή)
8	Πτώση Πίσω (πλάτη οριζόντια)
9	Πλάγια Πτώση

Πίνακας 8 Σειρά πειραμάτων

Το πρωτότυπο δεν ανέφερε ως πτώση καμιά από τις καθημερινές κινήσεις και ανίχνευσε με επιτυχία όλες τις πτώσεις εκτός από την περίπτωση της πτώσης προς τα πίσω με την πλάτη να παραμένει ορθή. Το τελευταίο είναι αναμενόμενο, αφού όταν η πλάτη παραμένει ορθή δεν αλλάζει ο προσανατολισμός του κορμού του σώματος που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για αναφορά πτώσης από τον αλγόριθμο.

4 Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

Ο τομέας των ηλεκτρονικών υφασμάτων είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της τεχνολογίας. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη νέων υλικών, και τεχνικών κατασκευής αισθητήρων, ενεργοποιητών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Η ενσωμάτωσή τους στα ρούχα, η επικοινωνία, ο προγραμματισμός τους και η αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον αποτελούν επίσης σημαντικά ερευνητικά ζητήματα.

Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκε μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη πρωτότυπων εφαρμογών σε ηλεκτρονικά υφάσματα. Η πλατφόρμα χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής ανίχνευσης πτώσης πάνω σε ένδυμα.

Η ελαχιστοποίηση και η διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνουν οι κόμβοι, η επικοινωνία / συνεργασία μεταξύ κόμβων που βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικά ρούχα, καθώς και διευκόλυνση της διαδικασίας προγραμματισμού με ένα μοντέλο υψηλού επιπέδου είναι ζητήματα που δεν αντιμετωπίστηκαν στην παρούσα εργασία και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής εργασίας.

Η υλοποίηση και η σύγκριση αλγορίθμων ανίχνευσης πτώσης από προηγούμενες ερευνητικές εργασίες, η βελτίωση του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε στην πλατφόρμα, καθώς και η μελέτη και άλλων κινήσεων του ανθρώπινου σώματος με την χρήση της είναι τομείς που επίσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον για μελλοντική εργασία.

Παράρτημα Α

Ενδεικτικά ερευνητικά προγράμματα και προϊόντα

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες με την συμμετοχή πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων και εταιριών, για την ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών (όπως π.χ., ενσωματωμένα συστήματα, μικροηλεκτρομηχανικοί αισθητήρες, οργανικά ηλεκτρονικά) και την διερεύνηση νέων τεχνικών κατασκευής ηλεκτρονικών υφασμάτων. Παράλληλα, ήδη κυκλοφορούν στην αγορά τα πρώτα έξυπνα ρούχα που ενσωματώνουν αισθητήρες και έχουν την δυνατότητα να συνεργάζονται με κινητά τηλέφωνα, συσκευές αναπαραγωγής ήχου κλπ.

Ακολουθεί μια ιδιαίτερα συνοπτική περιγραφή των πιο ενδεικτικών ερευνητικών και αναπτυξιακών προγραμμάτων για ηλεκτρονικά υφάσματα [38] [42], καθώς και κάποιων αντιπροσωπευτικών προϊόντων που έχουν κατασκευαστεί από εταιρείες του χώρου.

BIOTEX³³

Στόχος του έργου BIOTEX είναι η κατασκευή υφασμάτων για την παρακολούθηση των ζωτικών λειτουργιών και την έγκαιρη διάγνωση ασθενειών. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η κατασκευή βιοχημικών αισθητήρων για την παρακολούθηση των υγρών που εκκρίνονται από το ανθρώπινο σώμα και η εξεύρεση τεχνικών για την ενσωμάτωσή τους σε ρούχα και την διασύνδεσή τους με μονάδες επεξεργασίας (signal processing). Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 3.108.000 ευρώ για τρία χρόνια.

³³ <http://www.biotex-eu.com>

CONTEXT³⁴

Το έργο CONTEXT διερευνά την κατασκευή ενός συστήματος αισθητήρων όπου δεν απαιτείται η άμεση επαφή με το ανθρώπινο σώμα. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν μυϊκά και καρδιακά ηλεκτρικά σήματα, ενώ η δειγματοληψία και η προ-επεξεργασία τους γίνεται από μονάδες επεξεργασίας συνδεδεμένες στο ύφασμα. Η μεταφορά δεδομένων και ενέργειας γίνεται μέσω αγωγίμου νήματος. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 3.713.462 ευρώ για δυόμισι χρόνια.

PROETEX³⁵

Το έργο PROETEX έχει σαν στόχο την κατασκευή μιας ειδικής φόρμας για διασώστες, π.χ., πυροσβέστες, η οποία ενσωματώνει αισθητήρες, ενεργοποιητές (actuators) συσκευές επικοινωνίας και συσσωρευτές ενέργειας. Η φόρμα έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί την δραστηριότητα και τις ζωτικές λειτουργίες του φορέα (καρδιακό παλμό, αναπνοή, εφίδρωση, θερμοκρασία, ηλεκτρολύτες, επίπεδα άγχους), να παράγει ενέργεια (με φωτοβολταϊκά, θερμοηλεκτρικά συστήματα) και να την αποθηκεύει, και να έχει δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 12.792.242 ευρώ για τέσσερα χρόνια.

STELLA³⁶

Το έργο STELLA εστιάζει στην κατασκευή ελαστικών ηλεκτρονικών που μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε ενδύματα χωρίς να επηρεάζουν την αίσθηση και την άνεση. Μεταξύ άλλων, ερευνάται η δημιουργία νέων ελαστικών υποστρωμάτων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών συναρμολόγησης και συγκόλλησης ελαστικών ηλεκτρονικών πάνω στα ελαστικά υποστρώματα. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 13.157.716 ευρώ για τέσσερα χρόνια.

MyHeart³⁷

Στόχος του έργου MyHeart είναι η ανάπτυξη ηλεκτρονικών ενδυμάτων που θα βοηθήσουν στην πρόληψη και έγκαιρη διάγνωση καρδιακών παθήσεων. Στα πλαίσια του έργου κατασκευάστηκαν ενδύματα και καλύμματα στρώματος για την ανίχνευση του καρδιακού

³⁴ <http://www.context-project.org>

³⁵ <http://www.proetex.org>

³⁶ <http://www.stella-project.com>

³⁷ <http://www.hitech-projects.com/euprojects/myheart/>

παλμού, της αναπνοής και κάποιων κινήσεων του κορμού του σώματος. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 16.000.000 ευρώ για τέσσερα χρόνια.

OFSETH³⁸

Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση συμβατικών αισθητήρων και τεχνικών διασύνδεσης είναι απαγορευτική σε ορισμένες ιατρικές εφαρμογές π.χ., σε ασθενείς που εισέρχονται σε MRI. Στόχος του έργου OFSETH είναι η κατασκευή οπτικών αισθητήρων και η ενσωμάτωσή τους σε έξυπνα ρούχα. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 3.500.000 ευρώ για τρία χρόνια.

MERMOTH³⁹

Η δοκιμή διαφόρων τεχνικών κατασκευής ενδυμάτων για ιατρικές εφαρμογές αποτέλεσε αντικείμενο εργασίας του προγράμματος MERMOTH. Στο πλαίσιο του έργου δοκιμάστηκαν τεχνικές ύφανσης και πλεξίματος για την ενσωμάτωση αισθητήρων και ενεργοποιητών σε ρουχισμό, τεχνικές επεξεργασίας σήματος καθώς και τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Το τελικό παραδοτέο ήταν ένα πρωτότυπο ένδυμα για την παρακολούθηση του καρδιακού παλμού, της αναπνοής και της σωματικής δραστηριότητας του φορέα. Η διάρκεια του έργου ήταν δύο χρόνια (ολοκληρώθηκε το 2006) και ο προϋπολογισμός του 1.700.000 ευρώ.

ELEKSEN⁴⁰

Στον τομέα των καταναλωτικών προϊόντων η εταιρία ELEKSEN κατασκευάζει χειριστήρια για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ., κινητά τηλέφωνα, iPod®) ενσωματωμένα σε ενδύματα, τσάντες και αξεσουάρ πολλών επώνυμων κατασκευαστών, όπως O'NEILL, MARK'S & SPENSER, NORRONA, BELKIN, G-TECH (Εικόνα 46(α)).



(α)



(β)

Εικόνα 46 (α) Τσάντα με χειριστήρια ήχου, (β) αισθητήρες πίεσης της ELKSEN

³⁸ <http://www.ofseth.org>

³⁹ http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP6_PROJ&ACTION=D&DOC=I&CAT=PROJ&QUERY=1183975611548&RCN=72234

⁴⁰ <http://www.eleksen.com>

Η τεχνολογία της ELEKSEN βασίζεται σε αισθητήρες πίεσης (Εικόνα 46(β)) που τοποθετούνται στο υπόστρωμα του ενδύματος. Η μετατροπή της εξόδου του αισθητήρα στην αντίστοιχη εντολή προς την ηλεκτρονική συσκευή (π.χ., αύξηση έντασης ήχου) γίνεται από προγραμματιζόμενο σύστημα ελέγχου.

Fibretronic⁴¹

Η Fibretronic είναι μια ακόμη εταιρία που κατασκευάζει χειριστήρια, καλώδια για μεταφορά σήματος και ισχύος, εύκαμπτους αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης και φωτός, λύσεις ασύρματης δικτύωσης, συστήματα φωτισμού και απεικόνισης με LEDs. Προϊόντα της Fibretronic συναντώνται σε γνωστά ρούχα και αξεσουάρ, όπως π.χ. της O'NEILL (Εικόνα 47(α)), της Levi's (Εικόνα 47(β)) και της Reusch.



(α)



(β)

Εικόνα 47 (α) Γάντια O'NEILL, (β) παντελόνι Levi's με χειριστήρια ελέγχου iPod

Τα προϊόντα της Fibretronics δεν απευθύνονται μόνο σε κατασκευαστές ενδυμάτων αλλά και σε κατασκευαστές προϊόντων υγείας, καθισμάτων οχημάτων, χαλιών κ.α..

Textronics⁴²

Η Textronics αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κατασκευαστές αισθητήρων, ελαστικών αγωγών μεταφοράς δεδομένων και ισχύος, και διακοπών για εφαρμογές σε έξυπνα υφάσματα.



(α)



(β)

Εικόνα 48 (α) Αισθητήρες, (β) συνθετικό νήμα της Textronics

⁴¹ <http://fibretronic.com/>

⁴² <http://www.textronicsinc.com/>

Οι αισθητήρες Textro-Sensors™ (Εικόνα 48(α)) ανιχνεύουν τον καρδιακό παλμό και την συχνότητα αναπνοής από την ποσότητα του φωτός που διαπερνά το ύφασμα σε σχέση με την ποσότητα που αντανακλάται από αυτό, καθώς το ύφασμα τεντώνεται και επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, παρακολουθώντας την κίνηση του στήθους. Ένα διαφορετικό προϊόν είναι το συνθετικό νήμα Textro-Yarns™ (Εικόνα 48(β)) που μπορεί να κατασκευαστεί έτσι ώστε να παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα και ελαστικότητα, κατάλληλο για την κατασκευή γραμμών μεταφοράς δεδομένων και ενέργειας, ηλεκτροδίων, κεραίων, ασπίδων ηλεκτρομαγνητικής προστασίας, συστημάτων θέρμανσης κλπ. Η εταιρεία κατασκευάζει επίσης τα πολυμερή Textro-polymer™, η αγωγιμότητά των οποίων μεταβάλλεται καθώς τεντώνονται, τα οποία είναι κατάλληλα για την υλοποίηση αισθητήρων κίνησης, συστημάτων ανίχνευσης για καθίσματα και στρώματα κλπ.



Εικόνα 49 (α) Ζώνη στήθους, (β) αντρικό ένδυμα, (γ) γυναικείο ένδυμα της NuMetrex

Ενώ η Textronics διαθέτει τα προϊόντα της σε τρίτους κατασκευαστές, ταυτόχρονα έχει προχωρήσει και η ίδια στην παραγωγή τελικών προϊόντων και αξεσουάρ για την παρακολούθηση του καρδιακού παλμού υπό το εμπορικό σήμα NuMetrex⁴³. Ενδεικτικά προϊόντα απεικονίζονται στην Εικόνα 49 .

Smartex⁴⁴

Η εταιρεία Smartex έχει κατασκευάσει το πρωτότυπο σύστημα WEALTHY για την λήψη ηλεκτροκαρδιογραφήματος και την παρακολούθηση της αναπνοής, της θερμοκρασίας, της κίνησης και της θέσης του σώματος του ασθενούς (Εικόνα 50).

⁴³ <http://www.numetrex.com/>

⁴⁴ <http://www.smartex.it>



(α)



(β)

Εικόνα 50 (α) Πρωτότυπο ένδυμα και (β) φορητή συσκευή παρακολούθησης

Το πρωτότυπο ένδυμα ενσωματώνει διάφορους αισθητήρες και αγώγιμες ίνες υφασμένες μαζί με ελαστικό νήμα. Συγκεκριμένα, διαθέτει έξι υφασμάτινα ηλεκτρόδια ηλεκτροκαρδιογραφήματος, τέσσερα υφασμάτινα ηλεκτρόδια εμπέδησης (πιεζοαντιστατικά), εννέα μονωμένες συνδέσεις στο ύφασμα και δύο αισθητήρες θερμοκρασίας, ενώ υποστηρίζεται και ένα φορητό σύστημα παρακολούθησης.

Sensatex⁴⁵

Ένα ακόμα προϊόν που αποσκοπεί στην παρακολούθηση της κίνησης και την συλλογή ενδείξεων της φυσιολογίας του ανθρώπινου σώματος (π.χ., θερμοκρασία, καρδιακός ρυθμός, αναπνοή) βρίσκεται στο στάδιο των δοκιμών από την Sensatex. Η συγκεκριμένη εταιρεία παράγει υφασμένα και πλεκτά ενδύματα που ενσωματώνουν ένα δίκτυο αισθητήρων το οποίο συνδέεται με μια εξωτερική συσκευή δειγματοληψίας μέσω ενός υφασμάτινου συνδετήρα. Η συσκευή μπορεί να στείλει τα δεδομένα σε ένα σταθμό βάσης μέσω ασύρματης σύνδεσης (Bluetooth ή ZigBee).

⁴⁵ <http://www.sensatex.com>

Παράρτημα Β

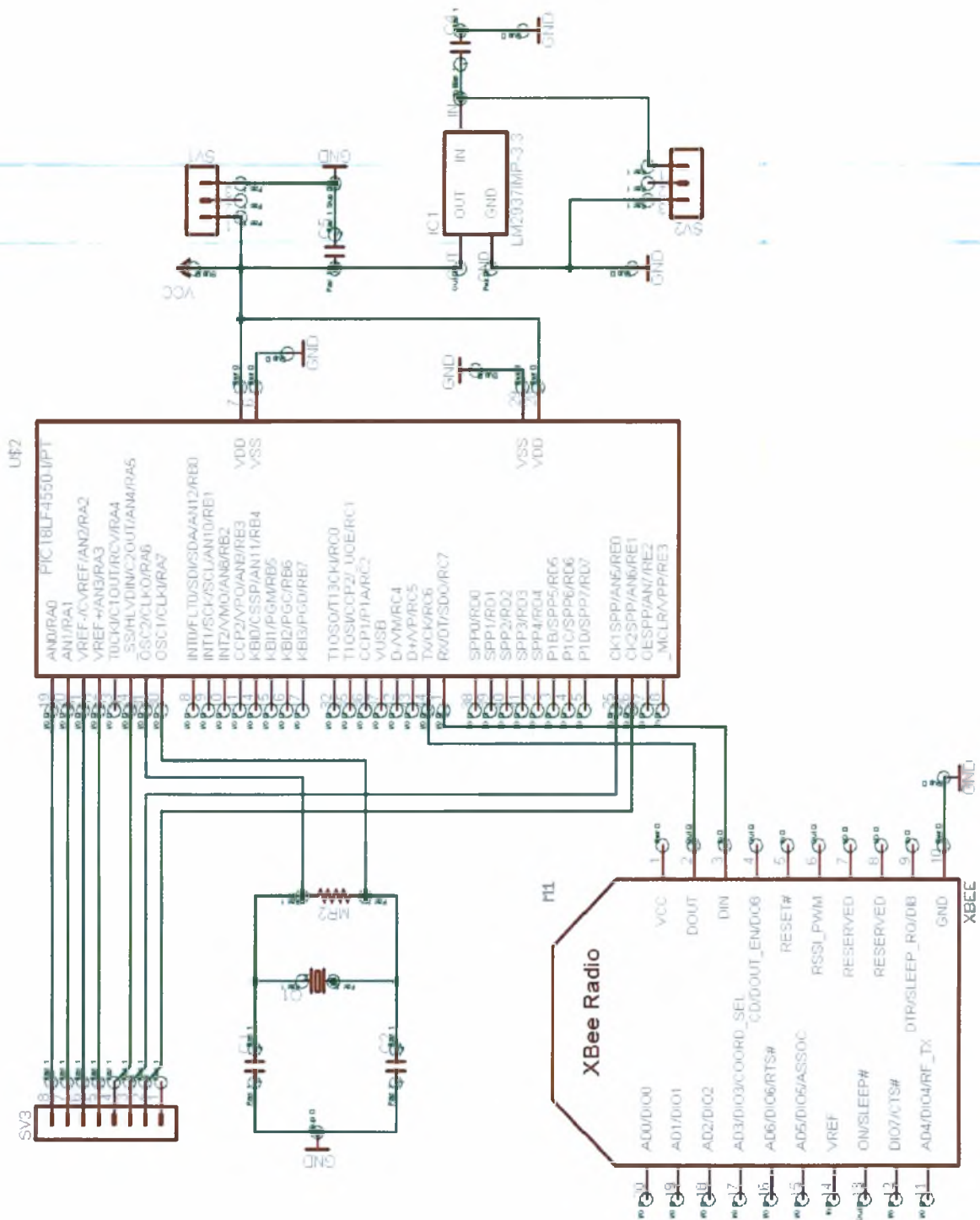
Στο παρόν παράρτημα περιγράφονται οι κυκλωματικές διατάξεις των εκδόσεων 3 και 4 (Rev 3, 4) και δίδονται πληροφορίες για τα υλικά και την διαδικασία κατασκευής τους.

Περιγραφή κυκλωματικών διατάξεων

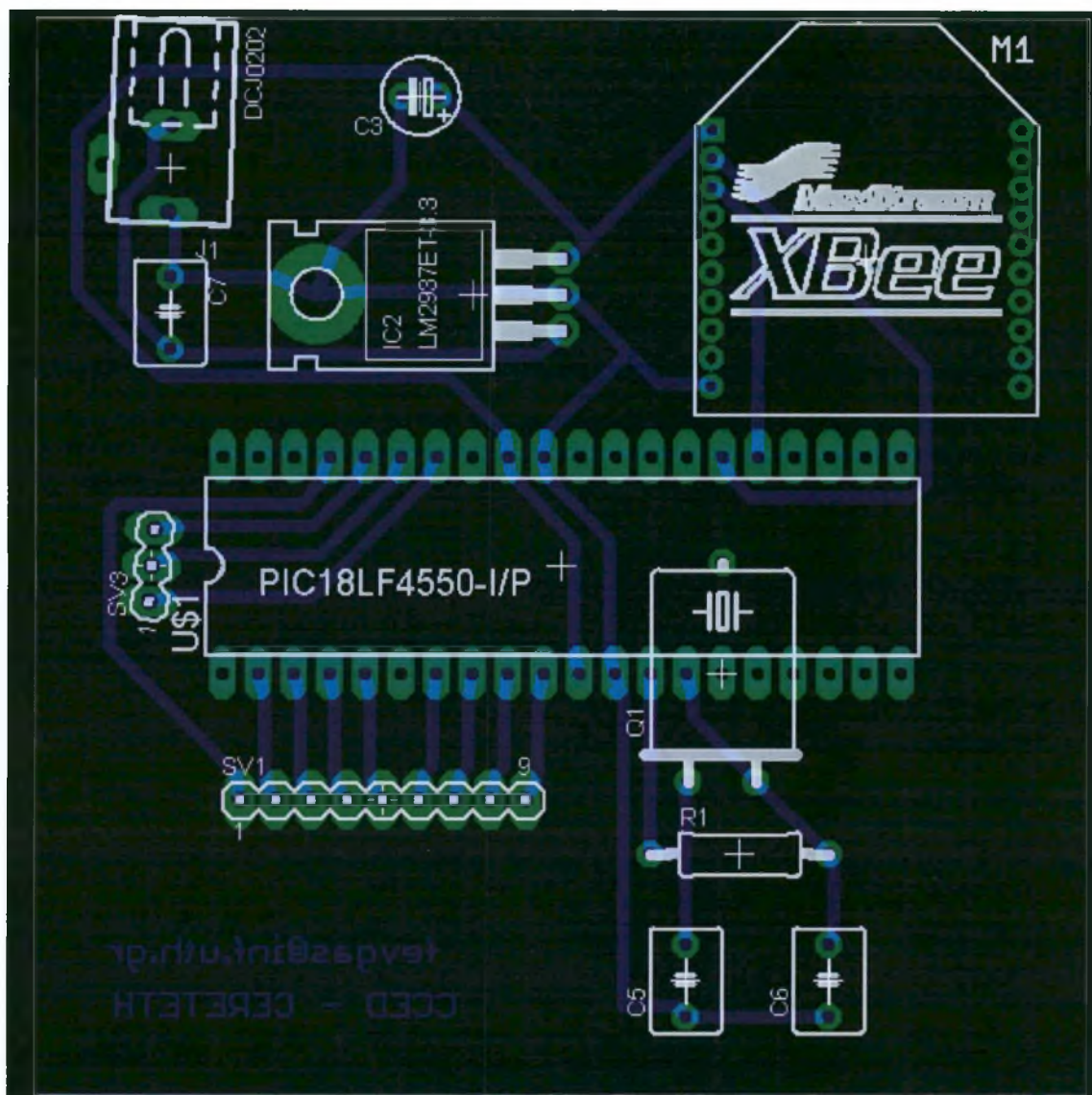
Ο σχεδιασμός των κυκλωματικών διατάξεων έγινε με την χρήση του λογισμικού Eagle 4.16 Free Edition. Τα κυκλώματα τυπώθηκαν σε διαφάνειες και για την μεταφορά τους σε φωτοευαίσθητες πλακέτες χρησιμοποιήθηκαν λυχνίες ατμών υδραργύρου (Philips, 2 x 125Watt). Η εμφάνιση έγινε σε διάλυμα NaOH και η αποχάλκωση σε διάλυμα χλωριούχου σιδήρου.

Στην Εικόνα 51 εικονίζεται η σχεδίαση του κυκλώματος (Schematic) της τρίτης έκδοσης (Rev 3) του πρωτοτύπου και στην Εικόνα 52 το τυπωμένο κύκλωμα (PCB layout) αντίστοιχα. Στον Πίνακα 9 παρέχονται πληροφορίες για τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, το κόστος των οποίων υπολογίζεται στα 60 ευρώ περίπου.

Παρόμοια, στην Εικόνα 53 εικονίζεται η σχεδίαση του κυκλώματος και στην Εικόνα 54 το τυπωμένο κύκλωμα (PCB layout) της τέταρτης έκδοσης (Rev 4). Στον Πίνακα 10 παρέχονται πληροφορίες για τα στοιχεία του κυκλώματος, τα οποία κόστισαν περίπου 50 ευρώ.



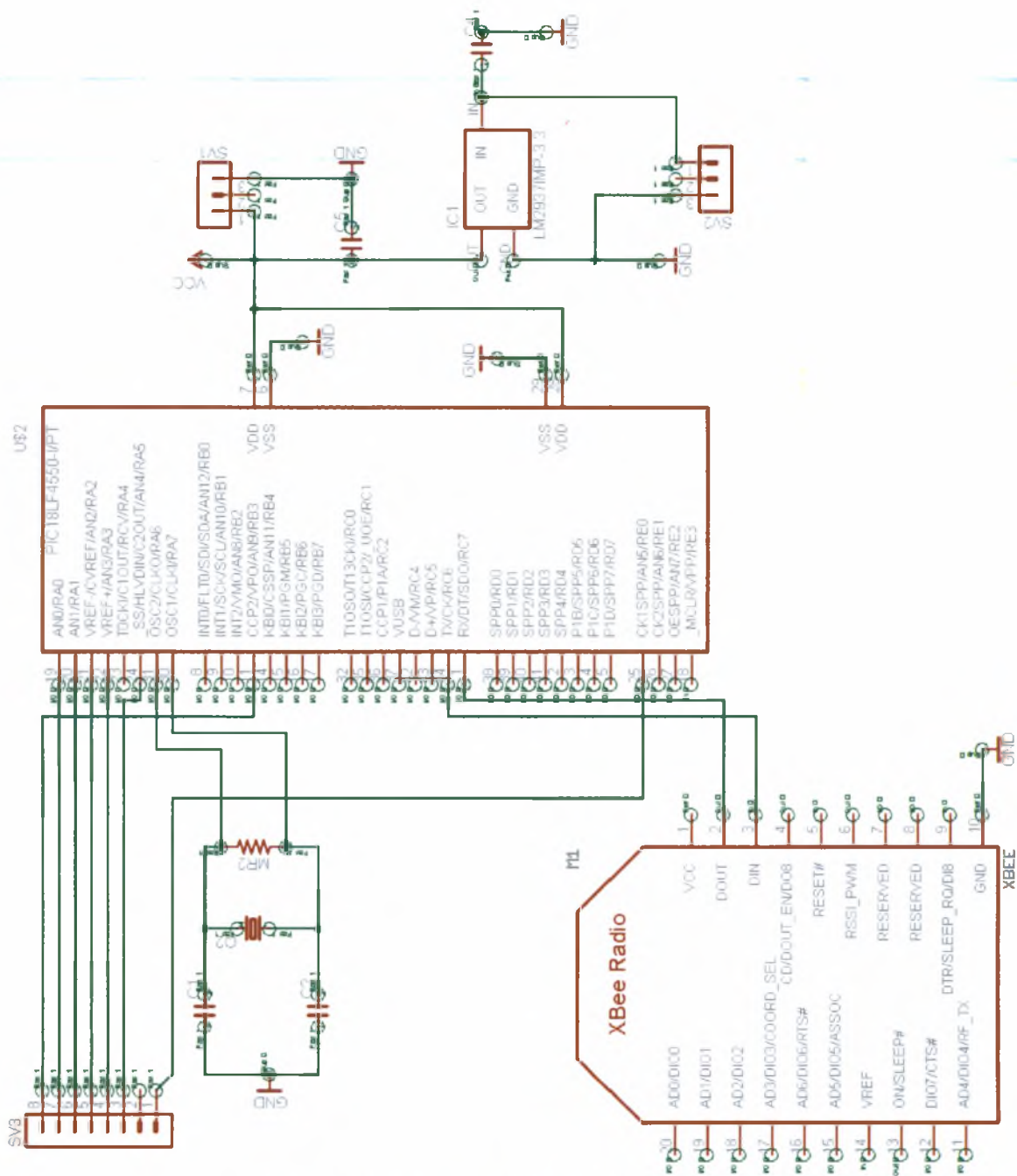
Εικόνα 51 Κυκλωματική διάταξη 3^{ης} έκδοσης (Rev 3)



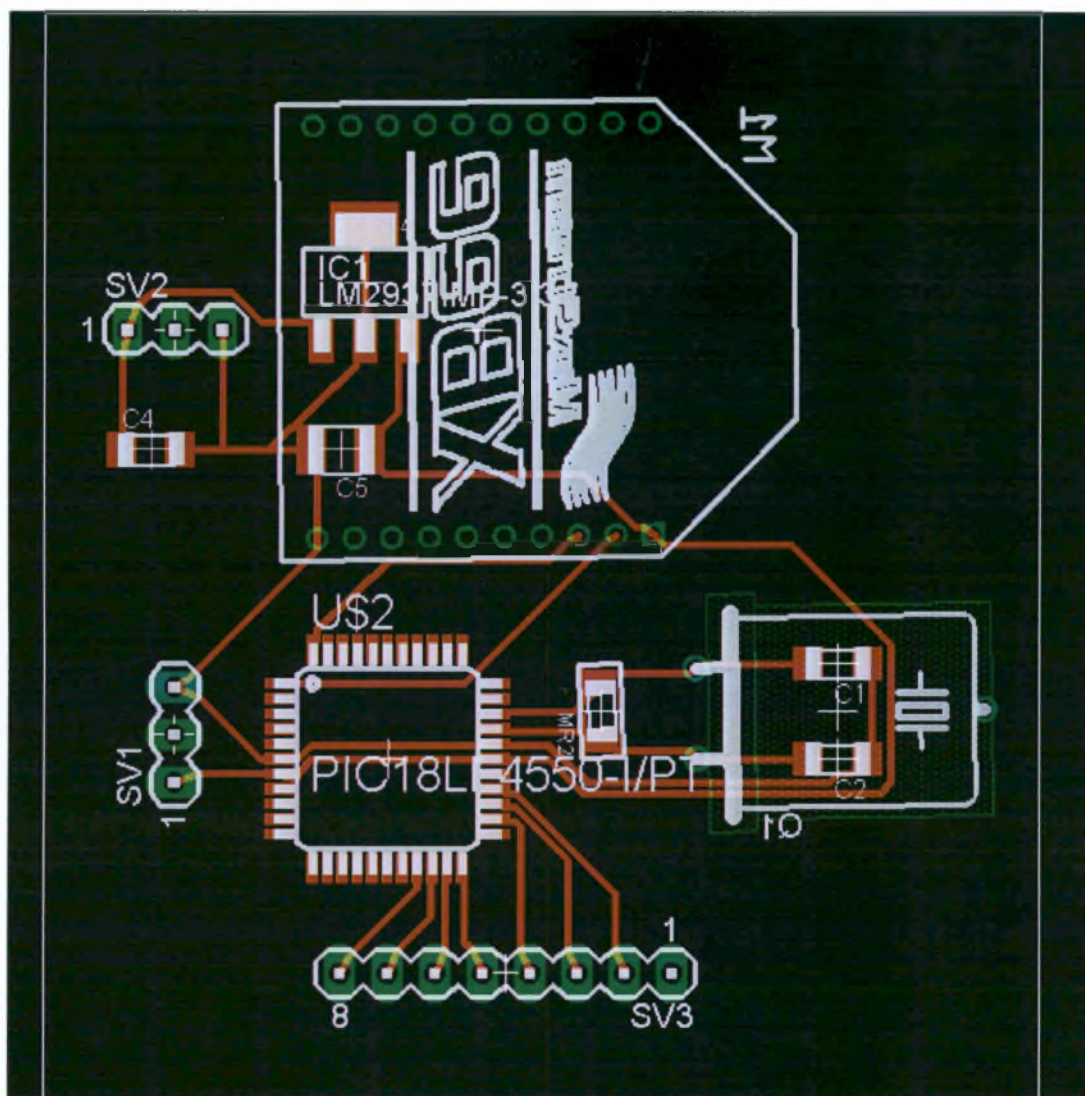
Εικόνα 52 PCB Layout (Rev 3)

Κωδ. κυκλώματος	Όνομα Κατ.	Περιγραφή	Κατασκευαστής
US1	PIC18LF4540-I/P	μικροελεγκτής 8-bit	Microchip
M1	XBEE	μονάδα Zigbee	MaxSteam
IC2	LM2937ET-3.3	σταθεροποιητής τάσης	National Semiconductors
Q1	12000H6C	κρύσταλλος 12MHz	
C5, C6	22PF 30V	πυκνωτές 22pf	Multicomp
R1	MCF 1M	αντίσταση 1MΩ	Multicomp
C3	H101	πυκνωτής 10μf	Felon
C7	0115370	πυκνωτής 100nf	Multicomp

Πίνακας 9 Υλικά Κατασκευής τρίτης έκδοσης (Rev 3)



Εικόνα 53 Κυκλωματική διάταξη 4^{ης} έκδοσης (Rev 4)



Εικόνα 54 PCB Layout (Rev 4)

Κωδ. κυκλώματος	Όνομα Κατ.	Περιγραφή	Κατασκευαστής
US2	PIC18LF4540-I/PT	μικροελεκτης 8-bit	Microchip
M1	XBEE	μονάδα Zigbee	MaxStream
IC1	LM2937IMP-3.3	σταθεροποιητης τάσης	National Semiconductors
Q1	12000H6C	κρύσταλλος 12MHz	
C1, C2	1206, 22PF, 100V	πυκνωτές 22pf	Multicomp
MR2	RC01 1206 1M	Αντίσταση 1MΩ	Phycomp
C5	1206, 10UF, 10V, X5R	πυκνωτής 10μf	AVX
C4	1206, 100NF, 50V	πυκνωτής 100nf	AVX

Πίνακας 10 Υλικά κατασκευής τέταρτης έκδοσης (Rev 4)

Παράρτημα Γ

Πρωτόκολλο Επικοινωνίας του Bootloader

Όνομα	Κωδικός	Περιγραφή	Εντολή [\langle Data \rangle ...]	Απάντηση
READ_VERSION	0x00	Ανάγνωση έκδοσης του Bootloader	[\langle 0x00 \rangle \langle 0x02 \rangle]	[\langle 0x00 \rangle \langle 0x02 \rangle \langle MINVER \rangle \langle MAJVE R \rangle]
READ_PRMEM	0x01	Ανάγνωση \langle Len \rangle bytes από την PM αρχίζοντας από την διεύθυνση ADDR.	[\langle 0x01 \rangle \langle Len \rangle \langle ADDR \rangle \langle ADDRH \rangle \langle ADDRU \rangle]	[\langle 0x01 \rangle \langle Len \rangle \langle ADDR \rangle \langle ADDRH \rangle \langle ADDRH \rangle \langle ADDRU \rangle ... \langle Len bytes of Data \rangle ...]
WRITE_PRMEM	0x02	Εγγραφή \langle Len \rangle bytes από την PM αρχίζοντας από την διεύθυνση ADDR.	[\langle 0x02 \rangle \langle Len \rangle \langle ADDR \rangle \langle ADDRH \rangle \langle ADDRU \rangle ... \langle Len bytes of Data \rangle ...]	[\langle 0x02 \rangle]
ERASE_PRMEM	0x03	Διαγραφή \langle Len \rangle Device Erase Blocks ⁴⁶ αρχίζοντας από την διεύθυνση ADDR.	[\langle 0x03 \rangle \langle Len \rangle \langle ADDR \rangle \langle ADDRH \rangle \langle ADDRU \rangle]	[\langle 0x03 \rangle]
USER_MODE	0x09	Μεταφορά του Instruction Pointer στην αρχή του προγράμματος χρήστη	[0x09]	

Πίνακας 11 Πρωτόκολλο επικοινωνίας Bootloader

⁴⁶ Για τον PIC18LF4550 το Device Erase Block είναι 64bytes

Χαρακτήρας Ελέγχου	Τιμή	Περιγραφή
<STX> (Start of Text)	0x0F	Αρχή πακέτου
<ETX> (End of Text)	0x04	Τέλος πακέτου
<DLE> (Data Link Escape)	0x05	Χαρακτήρας διαφυγής

Πίνακας 12 Χαρακτήρες Ελέγχου

Παράρτημα Δ

Περιγραφή Αλγορίθμου Αναγνώρισης Πτώσης

```
#define window 50
#define th 5.5

while (1){
    while (i<window){
        bufferx[i] = ReadADC(ADC_CH0); //set ADC input to pin 2 -- x
        buffery[i] = ReadADC(ADC_CH1); //set ADC input to pin 3 -- y
        bufferz[i] = ReadADC(ADC_CH2); // set ADC input to pin 4 -- z
        i++;
        Sleep(20);           // CPU sleep for 20ms
    }
     $\rho^2 = 0;$ 
    k = 1;
    fallcounter = 0;
    orien = 0;

    for (i=0; i< window;i++){
         $\rho^2 = \text{sqr}(\text{bufferx}[i])+\text{sqr}(\text{buffery}[i])+\text{sqr}(\text{bufferz}[i]);$ 
        fallpoint[0] = prvfallpoint - window; // consider last point
                                                // exceded threshold in
```



```

}
if (probcounter == 40){ // if after 40sec still laying down
    // arise allarm
    if ((prvstatus == 1) && (status == 0) ){
        SendMSG("Alarm Fall!!!!!!");
    }
    probflag = 0; // reset flags
    prvstatus = 1;
    status = 1;
    probcounter = 0;
}
}
porient = orient;
 $\rho^2 = 0;$ 
}
}

```

Αναφορές

1. A. Mazzoldi, D. De Rossi, F. Lorussi, E. P. Scilingo, R. Paradiso. Smart Textiles For Wearable Motion Capture Systems. AUTEX Research Journal Vol. 2, No4, December 2002. DARPA supported NICOP grand N000140110280.
2. Adam S. Champy: Elements of Motion: 3D Sensors in Intuitive Game Design, Analog Dialogue 41-04, April (2007) (<http://www.analog.com/analogdialogue>).
3. Analog Devices: ADXL320 Data Sheet, 2004 (<http://www.analog.com>).
4. Analog Devices: ADXL330 Data Sheet, 2007 (<http://www.analog.com>).
5. Axisa F., Backers I., Brosteaux D., Gonzalez M., Vanden Bulcke M., Baert K., Gevaert D. and Vanfleteren J. A new technology for elastic electronic circuits and assemblies for biomedical applications. In: Proceedings of IMAPS Nordic. 2006. pp.189-198; (17-19 September 2006; Gothenburg, Sweden.)
6. Bernd J. Neudecker, Martin H. Benson, and Brian K. Emerson. Power Fibers: Thin-Film Batteries on Fiber Substrates, ITN Energy Systems Inc., Littleton.
7. Carole Winterhalter, Justyna Teverovsky, Patricia Wilson, Jeremiah Slade, Wendy Horowitz, Edward Tierney, Vikram Sharma. Development of Electronic Textiles to Support Networks, Communications, and Medical Applications in Future U.S. Military Protective Clothing Systems. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol 9, No 3, September 2005.
8. Christopher M. Zeh, Softwear: A Flexible Design Framework For Electronic Textile Systems. Master Thesis, Virginia Tech. April 2006.
9. David Lehn, Graig Neely, Kevin Schoonover, Thomas Martin, Mark Jones. e-Tags: Textile Attached Gadgets. Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, January 2004.
10. David I. Lehn, Craig W. Neely, Kevin Schoonover: Design of a Communications Interface for E-Textile Buttons. Coursework. Virginia Tech ECE, Spring 2003.

11. Dean M. Karantonis, Michael R. Narayanan, Merryn Mathie, Nigel H Lovell, Branko G Celler. Implementetion of a Real-Time Human Movement Classifier Using a Triaxial Accelerometer for Ambulatory Monitoring. IEEE Transactions On Information Technology in Biomedicine, Vol 10, No. 1, January 2006.
12. Diana Marculescu, Radu Marculescu, Pradeep Khosia. Chanenges and Opportunities in Electronic Textiles Modeling and Optimazation. DAC 2002, ACM 1-58113-461-4/02/0006.
13. Dimension Engineering: DE-ACCM3D Buffered $\pm 3g$ Tri-axis Accelerometer, (<http://www.dimensionengineering.com/>).
14. Dimension Engineering: DE-ACCM5G Buffered $\pm 5g$ Accelerometer, (<http://www.dimensionengineering.com/>).
15. Enzo Pasquale Scilingo, Federico Lorussi, Alberto Mazzoldi, Danilo De Rossi. Strain-Sensing Fabrics for Wearable Kinaesthetic-Like Systems. IEEE Sensors Journal 2003. DARPA supported NICOP grand N000140110280.
16. Enzo Pasquale Scilingo, Angelo Gemignani, Rita Paradiso, Nicola Taccini, Brunelo Ghelarducci, Danilo De Rossi. Performance Evaluation of Sensing Fabrics for Monitoring Physiological and Biometrical Variables. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol 9, NO 3, September 2005. IST-2001-37778 (Wealthy).
17. Federico Capri, Danilo De Rossi. Electroactive Polymer-Based Devices for e-Textiles in Biomedicine. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. Vol 9, No 3, September 2005.
18. Flexible and stretchable Microsystems. Scientific Report 2006. IMEC (<http://www.imec.be/wwwinter/mediacenter/en/SR2006/681585.html>)
19. Fredrik Viksten, On the use of an accelerometer for identification of a flexible manipulator, Master Thesis, LinkÅoping University, Sweden 2001.
20. Garrett Brown, Ruzena Bajcsy, Mikael Eklund: An Accelerometer Based Fall Detector: Development, Experimentation, and Analysis, EECS/SUPERB, July 2005.
21. Gerhard Troster. SoT: System on Textile for Wearable Computing. Wearable Computing Lab ETH Zürich.
22. Ivo Locher, Tunde Kirstein, Gerhard Troster. Routing Methods Adapted to e-Textiles. 37th International Symposium on Microelectronics (IMAPS 2004).
23. Jay Chen, Karric Kwong, Dennis Chang, Jerry Luk, Ruzena Bajcs: Wearable Sensors for Reliable Fall Detection, Proc of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 2005.
24. Joseph A. Paradiso. Systems for Human-Powered Mobile Systems. MIT Media Laboratory. Proceedings of the 43rd annual conference on Design automation 2006, San Francisco, CA, USA.
25. Josephine B. Le, Vivek Subramanian. Organic Transistors on Fiber: A first step towards electronic textiles.
26. Joshua N. Edmison. Electronic Textiles for Motion Analysis. Master Thesis, Virginia Tech April 2004.

27. Kensuke Hanaoka, Ayako Takagi, Tatsuo Nakajima. A Software Infrastructure for Wearable Sensor Networks. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA '06) 0-7695-2676-4/06.
28. Kristof Van Laerhove, André Kvist Aronsen: Memorizing What You Did Last Week Towards Detailed Actigraphy With A Wearable Sensor, Distributed Computing Systems Workshops, 2007. ICDCSW 27th International Conference p47-47.
29. Leah Buechley, Michael Eisenberg. Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft. Springer-Verlag, July 2007, DOI 10.1007/s00779-007-0181-0.
30. Leah Buechley, Michael Eisenberg. The LilyPad Arduino: Toward Wearable Engineering for Everyone. IEEE CS 1536-1268/08, April – June 2008.
31. Ling Bao, Stephen S. Intille: Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, Pervasive Computing: Proc. of the 2nd Int'l Conference, Apr. 2004, pp. 1--17.
32. Lucy Dunne, Richard Tynan, Barry Smyth, G.M.P. O' Hare, Sarah Brady, Kim Lau, Dermot Diamond. Garment-Based Body Sensing Using Foam Sensors. AUIC 2006, Vol. 50.
33. M. Pacelli, G. Loriga, N. Taccini, R. Paradiso. Sensing Fabrics for Monitoring Physiological and Biomedical Variables: E-textile solutions. IST-2001-37778 (Wealthy) & IST-507816 (MyHeart) EU funding.
34. Mark Jones, Zahi Nakad, Tom Martin, Joshua Edmison. Using Piezoelectric Materials for Wearable Electronic Textiles. ISWC 2002, IEEE, 0-7695-1816/02.
35. Matlab, Data Acquisition Toolbox, function generator for the DAQ Toolbox, (<http://www.mathworks.com/>).
36. Maxstream, XBee/XBee-PRO OEM RF Modules Product Manual, 2006 Maxstream, (<http://www.maxstream.net>).
37. Merryn Mathie. Monitoring and Interpreting Human Movement Patterns Using a Triaxial Accelerometer. PhD Thesis, University of New South Wales, Australia, 2003.
38. Micro & Nanosystems Project Portfolio. Sixth Research and Development Framework Programme 2002-2006. ISBN 92-79-02729-8 EU Publications Office.
39. Microchip: PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin, High performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology, Microchip Technology Inc 2007, (<http://www.microchip.com>).
40. Microchip: PICDEM™ FS USB DEMONSTRATION BOARD USER'S GUIDE, Microchip Technology Inc 2004, (<http://www.microchip.com>).
41. National Semiconductors, LM2937-2.5, LM2937-3.3 400mA and 500mA Voltage Regulators, National Semiconductor co, 2005, (<http://www.national.com>).
42. Nicola Taccini, Giannicola Loriga, Maria Pacelli, Rita Paradiso. Smart Fabrics and Interactive Textile: state of the art and future challenges. pHealth 2007, Porto Karras, Greece.

43. OFSETH specification report on optical sensors, Annex 1 & 2, (<http://www.ofseth.org>)
44. Panagiota Tsompanopoulou. Motion Data Analysis Toolkit (MoDA). Deliverable of ThessalyTex project, 2007-2008.
45. Rita Paradiso, Danilo De Rossi. Advances in textile technologies for unobtrusive monitoring of vital parameters and movements. Proceedings of 28th IEEE EMBS Annual International Conference. New York City, USA, 2006. IST-507816 (MyHeart) EU funding.
46. Rita Paradiso, Giannicola Loriga, Nicola Taccini. A Wearable Health Care System Based on Knitted Integrated Sensors. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 9, No 3, September 2005.
47. Ross M. Fosler and Rodger Richey, A FLASH Bootloader for PIC16 and PIC18 Devices, Microchip Technology Inc 2002, (<http://www.microchip.com>).
48. Samuel R. Madden, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, Wei Hong TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks.
49. Steven Hadim, Nader Mohamed. Middleware: Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks. IEEE Distributed System On Line 1541-4922 2006 Published by the IEEE Computer Society Vol. 7, No. 3; March 2006.
50. Sungmee Park, Kenneth Mackenzie, Sundaresan Jayaraman. The Wearable Motherboard: A Framework for Personalized Mobile Information Processing (PMIP). DAC 2002, June 10-14, 2002, New Orleans, Louisiana, USA.
51. Thomas Degen, Heinz Jaeckel, Michael Rufer, Stefan Wyss. SPEEDY: A Fall Detector in a Wrist Watch. Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03) p. 184
52. Thomas Martin, Mark Jones, Joshua Edmison, Tanwir Sheikh, Zahi Nakad. Modeling and Simulating Electronic Textile Applications
53. Tomas Martin, Mark Jones, Josh Edmison, Ravi Shenoy. Towards design a framework for wearable electronic textiles. ISWD 2003.
54. Tong Zhang, Jue Wang, Liang Xu, Ping Lu. Fall Detection by Wearable Sensor and One-Class SVM Algorithm. ICIC 2006, LNCIS 345, pp 858-863 Springer-Verlag 2006.
55. U. Lindenmann, A. Hock, M. Stuber, W. Keck C. Becker. Evaluation of a fall detector based on accelerometers: a pilot study.
56. You Min Chagn, Jong Soon Lee, Kap Jin Kim. Heartbeat Monitoring Technique Based On Corona Poled PVDF Film Sensor For Smart Apparel Application. ICA 2006.
57. Zahi Nakad, Mark Jones Thomas Martin. Fault-Tolerant Networks for Electronic Textiles. The 2004 International Conference on Communications in Computing (CIC 2004), Las Vegas, June 2004.
58. Zahi S. Nakad. Architectures for e-Textiles. PhD Thesis, Virginia Tech December 2003.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091708