

Σχεδιασμός πρωτοκόλλου
προσδιορισμού θέσης για RFID

Δελής Άγγελος Ιωάννης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας 2006



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

Αριθ. Εισ.: 5048/1
Ημερ. Εισ.: 20-09-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΗΥΤΔ
2006
ΔΕΛ

Σχεδιασμός πρωτοκόλου προσδιορισμού θέσης για RFID

Δελής Άγγελος Ιωάννης

Διπλωματική εργασία για την απόκτηση του Διπλώματος του μηχανικού
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Επιβλέπων Καθηγητής : Σταμούλης Γεώργιος

Εξεταστική επιτροπή : Σταμούλης Γεώργιος
Δημητρόπουλος Παναγιώτης

Στη μητέρα μου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Γεώργιο Σταμούλη για την καθοδήγηση και υποστηρίξη του σε ολόκληρη την διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναλαμβάνοντας να επιβλέπει την παρούσα εργασία όταν ήταν ακόμη μια ιδέα αλλά και καθ'όλη την διάρκεια της συγγραφής της.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου που με την ακλόνητη πίστη τους με βοήθησαν να φτάσω μέχρι αυτό το σημείο.

ABSTRACT

Σκοπός μας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης RFID tags, στο οποίο θα χρησιμοποιούμε την μέση τιμή της ισχύος του σήματος μεταξύ αναγνώστη και tag σε ένα πλήθος τέτοιων ζευγών ώστε να προσδιορίσουμε την ακριβή θέση του tag.

Ειδικότερα, καθώς στα υπάρχοντα RFID συστήματα δεν μπορούμε να λάβουμε άμεσα την τιμή αυτή, μια και η λειτουργία αυτή δεν υποστηρίζεται από το υλικό μπορούμε να υπολογίσουμε μία εκτίμηση της με βάση τον μέσο ρυθμό επιτυχίας στην επικοινωνία μας με το tag. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εκτιμήσεις υπολογίζουμε τις αντίστοιχες αποστάσεις για τα ζεύγη αναγνωστών-tag που προαναφέραμε και μέσω αυτών προσδιορίζουμε την ακριβή θέση του tag. Επίσης περιγράφουμε μια σειρά από διαδικασίες που εξασφαλίζουν την προσαρμογή και καλή λειτουργία του συστήματος σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

- 1.1 Κίνητρα για την ανάπτυξη του συστήματος.
- 1.2 Η δομή του κειμένου.

Τα συστήματα RFID

- 2.1 Τι είναι το RFID
- 2.2 Τύποι RFID
- 2.3 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα RFID

Passive transponders

- 3.1 Low frequency (LF) passive RFID
- 3.2 High frequency (HF) passive RFID
- 3.3 Ultra high frequency (UHF) passive RFID

RFID standards

- 4.1 Σκοπός και παγκόσμιες οργανώσεις τυποποίησης
- 4.2 ISO
- 4.3 EPC Global

Singulation Protocol

- 5.1 Tree-walking singulation protocols
- 5.2 ALOHA protocol

Μοντελοποίηση του ρυθμού επιτυχίας

- 6.1 Εκτιμώντας την πιθανότητα επιτυχούς απάντησης
- 6.2 Μοντελοποίηση του ρυθμού επιτυχίας σε ένα σύστημα επαγωγικής ζεύξης.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος

7.1 Η δομή.

7.2 Η λειτουργία του συστήματος

7.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά

Εκτίμηση της απόστασης βάσει του ρυθμού επιτυχίας

8.1 Τα μαθηματικά χαρακτηριστικά του προβλήματος

8.2 Η ανάγκη για προσαρμοστικότητα

8.3 Η λύση μέσω Νευρωνικών Δικτύων

Μεταβαίνοντας από την εκτίμηση της απόστασης σε αυτή της θέσης

9.1 Η διάταξη προσδιορισμού στίγματος.

9.2 Η εκτίμηση της εμπιστοσύνης

9.3 Η παραγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Αποτελέσματα

10.1 Σύνοψη

Παράρτημα

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα για την ανάπτυξη του συστήματος.

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία RFID έχει καταλάβει σημαντική θέση σαν λύση για το μαρκάρισμα και την ταυτοποίηση αντικειμένων, με σκοπό την αυτόματοποιημένη αναγνώρισή τους. Η τεχνολογία αυτή παρέχει συναφή λειτουργικότητα με καθερομένες τεχνολογίες όπως το barcode αλλά προσφέρει και κάποια σημαντικά επιπλέον πλεονεκτήματα. Αυτά είναι εν ολίγοις ή δυνατότητα εγγραφής, η ύπαρξη μνήμης και η λειτουργία ανεξαρτήτου οπτικής επαφής. Επίσης χάρη σε προχωρημένες τεχνικές κατασκευής το κόστος της έχει πέσει σε επίπεδα που επιτρέπουν την μαζική εφαρμογή της.

Ωστόσο η δυνατότητα των συστημάτων RFID να λειτουργούν και χωρίς οπτική επαφή μπορεί να μειώσει την πρακτικότητα της παρεχομένης πληροφορίας. Τα συστήματα RFID μπορούν να μας πληροφορίσουν για το κατά πόσο κάτι είναι εντός της ακτίνας λειτουργίας τους αλλά δεν μπορούν να προσδιορίσουν την ακριβή του θέση. Αυτό μπορεί να μοιάζει ασήμαντο αλλά θα μπορούσε να αποτελέσει μείζων πρόβλημα υπο κατάλληλες συνθήκες. Για παράδειγμα ή λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος με ακτίνα ~10m σε μια πολυπληθή αποθήκη δεν μας διευκολύνει ιδιαίτερα στον εντοπισμό αντικειμένων. Το ζήτημα αυτό μπορούμε να επιλύσουμε με την λειτουργία ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης που εκτελείται πάνω από το σύστημα RFID.

1.2 Η δομή του κειμένου.

Αρχικά παρουσιάζουμε αναλυτικά την τεχνολογία RFID καθώς και τα standards τα οποία ρυθμίζουν τις παραμέτρους λειτουργίας της.

Κατόπιν παρουσιάζουμε μια αφαίρεση της φυσικής λειτουργίας τους μέσω και της οποίας προσομοιώνουμε τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους που μας είναι αναγκαία για τον σχεδιασμό του συστήματός μας. Εν συνεχεία παρουσιάζουμε την αρχιτεκτονική του συστήματός μας και προχωράμε στην ανάλυτική παρουσίαση των ζητημάτων που επιλύονται από κάθε τμήμα του.

2 Τα συστήματα RFID

2.1 Τι είναι το RFID

Η τεχνολογία των RFID δεν είναι νέα και χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο σε πολυάριθμες εφαρμογές σε όλο τον κόσμο. Αρχικά, εφαρμόζονταν κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου για να προσδιορίσει και να ταυτοποιήσει αεροπλάνα, ως φίλικα ή εχθρικά. Τα RFID χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα για τον ίδιο σκοπό.

Το κύριο κομμάτι αυτής της τεχνολογίας είναι ο transponder ή tag, που στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από ένα τσιπ και μια κεραία τα οποία τοποθετούνται επάνω σε ένα υπόστρωμα (substrate). Το τσιπ αποτελείται από έναν επεξεργαστή, μνήμη και συσκευή αποστολής ραδιοσημάτων. Αυτοί οι αναμεταδότες επικοινωνούν μέσω της ραδιοσυχνότητας με έναν αναγνώστη(reader), ο οποίος έχει δική του κεραία. Οι readers μπορούν να συνδεθούν μέσω καλώδιωσης ή ασύρματα σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Οι transponders είναι επίσης γνωστοί ως smart ή radio tags. Η μνήμη ποικίλει, ανάλογα με τον κατασκευαστή, από μερικούς χαρακτήρες ως μερικά kilobyte.

Οι transponders μπορούν είτε να διαβαστούν μόνο (R/O) και προγραμματίζονται εκ των πρότερων με έναν συγκεκριμένο προσδιορισμό ή μπορούν να διαβαστούν και να γραφτούν (R/W) για τις εφαρμογές που απαιτούν τα στοιχεία να αποθηκεύονται στον αναμεταδότη και να μπορούν να ενημερώνονται δυναμικά. Μια άλλη μορφή αναμεταδότη είναι να γράφεται μία φορά και να διαβάζεται πολλές φορές (WORM). Αυτό επιτρέπει να γράφεται ένας αριθμός αναγνώρισης στον transponder μία φορά. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται στη μνήμη και δεν μπορούν να αλλάξουν αλλά ο transponder μπορεί να διαβαστεί πολλές φορές.

2.2 Τύποι RFID

Οι δύο πιο κοινοί τύποι τεχνολογιών RFID είναι οι Active και οι Passive. Οι Active transponders τροφοδοτούνται μόνοι τους και είναι γενικά ακριβότεροι από τους Passive. Η ύπαρξη τροφοδοσίας επιτρέπει στο tag να έχει μεγαλύτερη απόσταση επικοινωνίας και συνήθως μεγαλύτερη μνήμη. Η πιο κοινή εφαρμογή για τα Active RFID είναι για τη συλλογή των τελών διοδίων των εθνικών οδών.

Όσον αφορά στους Passive transponders, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι με ή χωρίς τσιπ, δεν έχουν καμία εσωτερική πηγή ενέργειας κι επομένως απαιτούν εξωτερική ενέργεια για να λειτουργήσουν. Ο transponder τροφοδοτείται από το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που εκπέμπει ο Reader. Το σήμα που φτάνει στον transponder φορτίζει έναν πυκνωτή, ο οποίος στη συνέχεια θα δώσει την ενέργεια που απαιτείται για την επικοινωνία με τον reader.

Μερικές από τις πιο κοινές χρήσεις των Passive transponders είναι για animal identification, waste management, security and access control, work-in-process, asset tracking και electronic commerce.

2.3 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα RFID

Είτε μιλάμε για Active ή Passive RFID, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τα οφέλη είναι τα ίδια.

- Οι transponders μπορούν να διαβαστούν από απόσταση και από οποιοδήποτε προσανατολισμό, κατά συνέπεια δεν απαιτούν οπτική επαφή για να διαβαστούν.
- Οι transponders έχουν την δυνατότητα να διαβαστούν και να γραφτούν, κι έτσι τα δεδομένα αλλάζουν δυναμικά οποιαδήποτε στιγμή.

- Μεγάλος αριθμός από transponders μπορούν να διαβαστούν αμέσως, μαζικά και πολύ γρήγορα.
- Τα RFID Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε μη μεταλλικό προϊόν. Αυτό επιτρέπει στο tag να λειτουργεί και σε αντίξοο περιβάλλον και να παρέχει ένα μόνιμο προσδιορισμό για την ύπαρξη του προϊόντος.

Σήμερα, οι περισσότερες εφαρμογές περιλαμβάνουν Passive transponders. Για αυτόν τον λόγο, βασιστήκαμε σε Passive RFID. Υπάρχουν διαφορετικές ζώνες συχνότητας μέσα στις οποίες οι Passive transponders λειτουργούν.

Τα RFID χαμηλής (low frequency) και υψηλής συχνότητας (high frequency) λειτουργούν βασισμένα στην αρχή της επαγωγικής συζεύξης. Δηλαδή η ενέργεια μεταφέρεται από τον reader στο tag μέσω του κοινού μαγνητικού πεδίου. Το ποσό της μεταφερμένης ενέργειας είναι ανάλογο προς το μέγεθος των κεραιών εκπομπής και λήψης καθώς επίσης και στην δυνατότητα των tags να λειτουργήσουν – συντονιστούν στη συχνότητα εκπομπής. Η συχνότητα συντονισμού του tag είναι η περιοχή στην οποία η σύνθετη αντίσταση ελαχιστοποιείται και επιτρέπει τη μέγιστη ροή στο κύκλωμα. Η συχνότητα συντονισμού υπολογίζεται ως συνάρτηση της αυτεπαγωγής και της αντίστασης του κυκλώματος του Tag. Η ποιότητα ενός συντονισμένου (resonant) κυκλώματος μετριέται από τον παράγοντα Q. Όσο υψηλότερος ο παράγοντας Q, τόσο υψηλότερο το ποσό ενεργειακής απορρόφησης.

3. Passive transponders

3.1 LOW FREQUENCY (LF) PASSIVE RFID

3.1.1 Συχνότητες και εύρος ανάγνωσης (LF)

Τα Passive LF RFID έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες βιομηχανίες για πολλά έτη. Οι πιο κοινές συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 125 και 134,2 kHz.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των LF RFID είναι ότι δεν επηρεάζονται από μεταλλικές επιφάνειες. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για τον προσδιορισμό μεταλλικών αντικειμένων όπως οχήματα, εξοπλισμό, εργαλεία και εμπορεύματα σε κιβώτια μετάλλων. Το εύρος ανάγνωσης μπορεί να ποικίλει από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα ανάλογα με το μέγεθος των αναμεταδοτών και του αναγνώστη που χρησιμοποιείται.

Τα LF RFID διαπερνούν τα περισσότερα υλικά, όπως το νερό και ιστούς σωμάτων. Ο περιορισμός είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικό περιβάλλον, οι ηλεκτρικές μηχανές μπορεί να παρεμποδίσουν το σύστημα.

Λόγω του μεγέθους της κεραίας που απαιτείται, οι αναμεταδότες LF είναι χαρακτηριστικά ακριβότεροι από τους αναμεταδότες υψηλής συχνότητας. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε εφαρμογές όπου οι αναμεταδότες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

3.1.2 Οφέλη - περιορισμοί και εφαρμογές (LF)

Μερικά από τα οφέλη και τους περιορισμούς του LF RFID:

- Διαπερνούν τα περισσότερα υλικά συμπεριλαμβανομένου του νερού και των ιστών σωμάτων, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για την ταυτοποίηση ζώων

- Τα Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε μη μεταλλικά σώματα όπως παλέτες, κάρτες κ.λπ....
- Ένα LF RFID θα μπορούσε να επηρεαστεί από τον ηλεκτρικό θόρυβο που μπορεί να παραχθεί από τις μηχανές σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον.
- Υπάρχει σχετικά χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (70ms για το διάβασμα εντολής), καθώς όσο χαμηλότερη η συχνότητα τόσο πιο αργή η επικοινωνία.
- Ο αναμεταδότης είναι ακριβότερος
- Τα περισσότερα συστήματα LF μπορούν να διαβάσουν μόνο έναν αναμεταδότη τη φορά και δεν υποστηρίζουν ταυτόχρονο διάβασμα πολλαπλών αναμεταδοτών.
- Το εύρος διαβάσματος είναι από λίγα εκατοστά έως μερικά μέτρα, ανάλογα με το μέγεθος των αναμεταδοτών
- Η συχνότητα χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός.

Αυτήν την περίοδο τα περισσότερα συστήματα ελέγχου πρόσβασης είναι βασισμένα στο LF, με κάρτες ή keyfob για ασφάλεια. Μια read only κάρτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλά για ταυτοποίηση και μια read-write κάρτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διατηρήσει τις πληροφορίες πρόσβασης ή ασφάλειας.

Ο μεγαλύτερος χρήστης των LF RFID είναι η βιομηχανία αυτοκινήτων. Αυτήν την περίοδο όλα τα συστήματα ακινητοποίησης κινητήρα αυτοκινήτων (immobilisers) χρησιμοποιούν έναν transponder LF που ενσωματώνεται στο κλειδί του αυτοκινήτου σε συνεργασία με έναν reader που τοποθετείται στην ανάφλεξη. Άλλες εφαρμογές είναι η

ταυτοποίηση οχημάτων για την πρόσβαση σε μέρη εθνικών οδών και χώρων στάθμευσης.

Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τα LF RFID για work-in-process. Όταν είσαι σε θέση να παρεμβάλει έναν αναμεταδότη σε μια παλέτα ή σε ένα προϊόν, ο κατασκευαστής επιτυγχάνει εύκολα την απαιτούμενη αξιοπιστία καθώς του επιτρέπει να προσδιορίζει την πορεία του προϊόντος του καθ' όλη την διαδικασία κατασκευής του.

3.2 HIGH FREQUENCY (HF) PASSIVE RFID

2.2.1 Συχνότητες – πρότυπα - διαπερατότητα σε υλικά HF

Τα passive tags που λειτουργούν σε υψηλή συχνότητα (high frequency ή HF) λειτουργούν στα 13.56MHz που είναι μια συνολικά αποδεκτή συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε σύστημα που λειτουργεί στο HF μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως. Εντούτοις, υπάρχουν μερικές διαφορές με τους κανονισμούς στις διάφορες περιοχές του κόσμου. Αυτές οι διαφορές αναφέρονται κυρίως στην ισχύ και το εύρος ζώνης. Η Βόρεια Αμερική, ο Καναδάς και η FCC περιορίζουν την ισχύ κεραιών των readers σε τρία Watt ενώ στην Ευρώπη οι κανονισμοί επιτρέπουν τα τέσσερα Watt.

Το HF είναι επίσης η βάση πολυάριθμων προτύπων όπως το ISO 14443, 15693, 18000-3.

Με την HF, το σήμα διαπερνά εύκολα τα περισσότερα υλικά συμπεριλαμβανομένων του νερού και των ιστών σωμάτων. Επηρεάζεται όμως περισσότερο από τα μεταλλικά αντικείμενα του περιβάλλοντος αντίθετα με τη χαμηλή συχνότητα (LF).

Σε σύγκριση με την LF, τα οφέλη της HF είναι οι χαμηλότερες δαπάνες για τα tag, η μεγαλύτερη ταχύτητα επικοινωνίας και η δυνατότητα να διαβαστούν πολλές ετικέτες ταυτόχρονα.

Το μήκος της κεραίας είναι βασισμένο στο μήκος κύματος του σήματος κι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μικρότερο το μήκος κύματος. Για τον λόγο αυτό,

υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μια κεραία για ένα tag HF είναι αρκετά μικρή και μπορεί να δημιουργηθεί βάφοντας επάνω σε ένα υπόστρωμα με ένα αγώγιμο μελάνι και στη συνέχεια να τοποθετώντας το τσιπ.

Τα Tag που παράγονται με τα τσιπ HF έχουν λιγότερο από 0.1mm πάχος και είναι διαθέσιμα με κεραίες διαφορετικών μεγεθών . Όσο μεγαλύτερη η κεραία, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που δεσμεύεται και τόσο μεγαλύτερη η απόσταση επικοινωνίας με τον αναγνώστη. Τα μικρότερα μεγέθη των Tag μπορεί να είναι ευκολότερο να συσκευαστούν σε ένα προϊόν, αλλά μειονεκτούν με τη μείωση της διαθέσιμης απόστασης επικοινωνίας.

3.2.2 Anti-Collision – οφέλη - περιορισμοί – εφαρμογές HF

Όσο υψηλότερη η συχνότητα, τόσο υψηλότερος ο ρυθμός αποστολής δεδομένων και τόσο γρηγορότερη η επικοινωνία μεταξύ του αναγνώστη με το tag. Αυτή η αύξηση στην ταχύτητα επιτρέπει στον αναγνώστη να επικοινωνήσει με πολλά tags ταυτόχρονα. Η διαδικασία της επικοινωνίας με πολλά tags προϋποθέτει την ύπαρξη μιας πολιτικής επίλησης συγκρούσεων (Anti-Collision) και χάρη σε αυτή στο HF ένας αναγνώστης μπορεί να διαβάσει μέχρι 50 tag ανά δευτερόλεπτο.

Μερικά ακόμη από τα οφέλη και τους περιορισμούς των HF RFID:

- Διαπερνά τα περισσότερα υλικά εύκολα συμπεριλαμβανομένου του νερού και των ιστών σωμάτων
- Δεν είναι τόσο αποτελεσματικό όσο το LF παρουσία μετάλλου ή νερού
- Τα Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μη μεταλλικά στοιχεία όπως οι ετικέτες, παλέτες, keyfobs, κάρτες κ.λπ....
- Το HF επηρεάζεται από ηλεκτρικό θόρυβο που παράγεται από τις μηχανές σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον

- Έχει υψηλότερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (20ms για το διάβασμα εντολής), καθώς όσο υψηλότερη η συχνότητα, τόσο γρηγορότερη η επικοινωνία
- Οι αναμεταδότες είναι πιο φτηνοί
- Ο αναγνώστης μπορεί να επικοινωνήσει με πολλές ετικέτες ταυτόχρονα
- Η ακτίνα ανάγνωσης είναι μικρότερη από ένα μέτρο.
- Οι ετικέτες έχουν μεγαλύτερη ικανότητα μνήμης
- Η συχνότητα έχει αναγνωριστεί και χρησιμοποιείται παγκοσμίως (χωρίς κανένα περιορισμό)
- Ύπαρξη προτύπων: ISO 15693, 14443, 18000-3

Αν και τα περισσότερα συστήματα ελέγχου πρόσβασης είναι σήμερα βασισμένα στο LF, το HF επιλέγεται για τα νέα συστήματα ελέγχου και ασφαλούς πρόσβασης. Η πρόσθετη μνήμη επιτρέπει βελτιωμένη ασφάλεια και την ενσωμάτωση βιομετρικής ως τμήμα των χαρακτηριστικών ασφάλειας.

Οι Contact-less Smart Cards ή RFID cards πιθανότατα θα γίνουν η επόμενη γενεά των πιστωτικών καρτών. Οι επιχειρήσεις πιστωτικών καρτών εξετάζουν το HF RFID βασισμένο στα πρότυπα του ISO 14443. Η επέκταση αυτών των νέων καρτών θα αρχίσει στα επόμενα χρόνια, μόλις τα λιανικά τερματικά αναβαθμιστούν για να υποστηρίξουν τις λειτουργίες των RFID. Ένας από τους κύριους λόγους για την αλλαγή στις Contact-less Smart Cards είναι πρώτιστα η ταχύτητα και η συνέπεια στην απόδοση που συνδέονται με τα RFID. Όταν μια ετικέτα ενσωματώνεται σε μια κάρτα η ετικέτα προστατεύεται ολοκληρωτικά από το εξωτερικό περιβάλλον. Όσον αφορά στους αναγνώστες, μπορούν επίσης να ενσωματωθούν και να προστατευθούν από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο

δεύτερος λόγος για την αλλαγή σε RFID είναι η πρόσθετη μνήμη που οι ετικέτες μπορούν να παρέχουν. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ασφάλεια και προστασία σε ζητήματα μυστικότητας. Χρησιμοποιώντας κάποιες βιομετρικές μεθόδους και εξατομικευμένους αριθμούς πρόσβασης, επιτυγχάνεται τελικά σημαντικά υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας.

Στον Καναδά, η Shell χρησιμοποιεί αυτήν την περίοδο το HF RFID μέσω του προγράμματος Easy Pay. Αυτό το πρόγραμμα επιτρέπει στους πελάτες να πληρώνουν αυτοματοποιημένα στις αντλίες. Στο Χογκ Κογκ, περισσότεροι από εννέα εκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν την κάρτα Octopus για να έχουν πρόσβαση στο δημόσιο σύστημα μεταφορών τους. Πρόσφατα, στην Ολλανδία έχουν εισαγάγει ένα Contact-less σύστημα έξυπνων καρτών, με βάση το ISO 14443, για την πληρωμή και την πρόσβαση στο σύστημα μεταφορών (TLS). Αυτό επιτρέπει στους ταξιδιώτες TLS να κινούνται σε τραίνα, μετρό και λεωφορεία μέσα στην Ολλανδία χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο, Contact-less RFID εισιτήριο.

Πολυάριθμες αθλητικές ομάδες και αθλητικά γεγονότα χρησιμοποιούν το HF RFID για την πρόσβαση και την πληρωμή. Τα περισσότερα χιονοδρομικά κέντρα στην Ευρώπη χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία για λόγους ευκολίας αλλά και για την πρόληψη από την απάτη. Το Παγκόσμιο Κύπελλο του 2006 στη Γερμανία χρησιμοποιεί εισιτήρια με ενσωματωμένα HF inlays.

Το HF είναι επίσης μια λύση για την ταυτοποίηση προϊόντων, όπως cases και pallets. Η απόσταση της επικοινωνίας του HF περιορίζει τον τύπο εφαρμογών για αποθήκες εμπορευμάτων ή διοικητικής μερίμνας. Για το λιανικό εμπόριο ή για τις εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλες αποστάσεις επικοινωνίας, το HF είναι μια πολύ καλή λύση.

Το High Frequency RFID είναι η ιδανική λύση για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλού κόστους ταυτοποίηση και την ικανότητα να διαβάζονται μαζικά πολλά tags σε απόσταση μέχρι ένα μέτρο.

3.3 ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) PASSIVE RFID

3.3.1 Συχνότητες - εύρος ανάγνωσης - Anti-Collision UHF

Η Ultra High Frequency αναφέρεται στο φάσμα ραδιοσυχνότητας από 300 MHz ως 3 GHz. Η τεχνολογία RFID έχει αναπτυχθεί σε διαφορετικές περιοχές αυτής της ζώνης και συγκεκριμένα στα 433 MHz, 860 - 956 MHz και στα 2,45 GHz. Η ζώνη 860 - 956 MHz έχει προσελκύσει τις περισσότερες επενδύσεις και αναμένεται να πρωταγωνιστήσει στην αγορά των UHF RFID.

Το UHF έρχεται να μπει στην αγορά RFID απέναντι στην καθιερωμένη υψηλή συχνότητα (13,56 MHz) και τις τεχνολογίες χαμηλής συχνότητας (125-134.2 kHz). Το HF είναι μια δυναμική τεχνολογία, που ανταποκρίνεται θετικά στις διοικητικές εφαρμογές αντικειμένων, αλλά αποτυγχάνει όταν τα tags που διαβάζονται έχουν απόσταση πέραν του ενός μέτρου από τον reader. Οι UHF προμηθευτές στοχεύουν στην αγορά αλυσίδων ανεφοδιασμού όπου απαιτούνται μεγαλύτερες αποστάσεις ανάμεσα σε reader και tag.

Τα UHF RFID διαφέρουν από τα συστήματα υψηλής συχνότητας σε διάφορους τομείς. Αρχικά η UHF λειτουργεί, στη σειρά 860-956 MHz που επιτρέπει πύο μικρές κεραίες και μεγαλύτερες αποστάσεις διαβασματος. Η επικοινωνία reader – tag επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία backscatter. Με αυτήν την μέθοδο, το tag επικοινωνεί με τον αναγνώστη μέσω της διαμόρφωσης του λαμβανόμενου σήματος και στην συνέχεια την επανεκπομπή του πίσω στον αναγνώστη. Αυτή η μέθοδος δεν είναι πλήρως διαφορετική από αυτή της Inductive-coupling που χρησιμοποιείται στα συστήματα HF. Επιπλέον, το anti collision επιτυγχάνεται στο UHF χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο βασισμένο στη ραδιοφωνική αναμετάδοση bits, σε αντιδιαστολή με το πρωτόκολλο HF που λειτουργεί βασισμένο στην έννοια των time slots. Αυτό επιτρέπει να διαβάζεται υψηλότερος αριθμός tags ταυτόχρονα στη UHF. Συγκεκριμένα 200 tags σε αντιδιαστολή με τα 50 tags στα συστήματα με HF.

3.3.2 Διαπερατότητα σε υλικά – πρότυπα - οφέλη - περιορισμοί – εφαρμογές UHF

Αν και η UHF RFID λύνει μερικές ανεπάρκειες του HF RFID, έχει κάποιους περιορισμούς. Τα σημερινά UHF συστήματα δεν λειτουργούν παρουσία υγρών ενώ τα HF και το LF λειτουργούν αρκετά καλά σε τέτοια περιβάλλοντα. Το μέταλλο δυσκολεύει οποιαδήποτε εφαρμογή RFID, και την UHF. Επιπλέον, η μεγαλύτερη απόσταση διαβάσματος γίνεται μειονέκτημα στις εφαρμογές όπως η τραπεζική (banking) και access control.

Μια από τις σημαντικότερες αιτίες που εμποδίζουν την ευρεία διάδοση των UHF RFID είναι η έλλειψη παγκοσμίως αποδεκτών προτύπων και κανονισμών. Στη σημερινή παγκόσμια οικονομία, το διεπιχειρωτικό εμπόριο απαιτεί τα αγαθά να είναι παγκοσμίως αναγνωρισμένα. Αυτή την περίοδο, η συχνότητα, η ισχύς και οι κανονισμοί για την ασφάλεια προσδιορίζονται διαφορετικά στις διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Στη Βόρεια Αμερική η UHF λειτουργεί στα 902 - 928 MHz. Στην Ευρώπη η UHF δουλεύει στα 860 - 868 MHz ενώ η Ιαπωνία χρησιμοποιεί τα 950 - 956 MHz.

Μερικά οφέλη και περιορισμοί του UHF RFID:

- Παρέχει μεγαλύτερες αποστάσεις διαβάσματος, γύρω στα 3 έως 6 μέτρα
- Τα tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε στερεά μη μεταλλικά στοιχεία όπως οι ετικέτες, παλέτες, κάρτες κ.λπ....
- Ο υψηλός ρυθμός αποστολής και η γρηγορότερη anti collision πολιτική διευκολύνουν την ύπαρξη υψηλότερων αριθμών διαβασματος. θεωρητικά ο αριθμός των 800 διαβασμάτων/δευτερόλεπτο είναι επιτεύξιμος αλλά για πρακτικούς λόγους ο αριθμός πέφτει στα 200.
- Οι UHF αναμεταδότες κοστίζουν λιγότερο έναντι των HF λόγω της χαμηλότερης μνήμης και της απλούστερης διαδικασίας κατασκευής.

- Η χαμηλή μνήμη των tags, καθώς η πλειονότητα των διαθέσιμων αυτήν την περίοδο UHF tags δεν έχουν user memory και φέρουν μόνο έναν 96 bit serial number.
- Η έλλειψη γενικών προτύπων και κανονισμών. Η προσπάθεια είναι σε εξέλιξη για να καθιερωθεί ένα ομοιόμορφο, τυποποιημένο και αποδεκτό σε όλες τις περιοχές του κόσμου standard.
- Η απόδοση πέφτει από την ύπαρξη υγρών και μετάλλων.
- Υπάρχει συσσώρευση στη ζώνη συχνότητας στα 860-960 MHz αφού λειτουργεί η ISM (Industrial, Scientific, Medical) ζώνη, κάνοντας την μια από τις πιο θορυβώδεις περιοχές του φάσματος.

Υπάρχουν πολύπλοκοι παράγοντες που εμποδίζουν την γρηγορότερη πρόοδο στη UHF αγορά RFID. Όπως αναφέρεται πιο πάνω, η UHF τεχνολογία πάσχει από την έλλειψη προτύπων και κανονισμών. Η ISO και το EPC Global είναι οι κύριοι οργανισμοί που εργάζονται για να φτιάξουν τα πρότυπα και τις προδιαγραφές για τα UHF RFID. Εντούτοις, κατά περιόδους, αυτές οι δύο οργανώσεις φαίνεται να ακολουθούν διαφορετικές πορείες, με συνέπεια την διπλή προσπάθεια και τη σύγχυση στην αγορά. Αυτό έχει αναγκάσει μερικούς σημαντικούς προμηθευτές και χρήστες να καθυστερήσουν την είσοδό τους στην αγορά RFID. Αυτή τη στιγμή τα πρότυπα EPC έχουν καθορίσει τις προδιαγραφές για την κατηγορία 0 και την κατηγορία 1 των tags. Συγχρόνως, το 18000-6 είναι το πρότυπο του ISO για τη UHF ζώνη των 900 MHz.

Το EPC Global είναι μια σημαντική κατευθυντήρια δύναμη στο χώρο των RFID. Είναι ο διάδοχος της Auto ID Inc., που ήταν ο σύνδεσμος του ακαδημαϊκού κόσμου και της βιομηχανίας προϊόντων κατανάλωσης. Το Global όραμα της EPC είναι να προσδιορίσει κάθε στοιχείο μέσα στην αλυσίδα ανεφοδιασμού της αγοράς και τελικά να προσδιορίζει κάθε αντικείμενο με έναν μοναδικό ηλεκτρονικό κωδικό αριθμό προϊόντος (EPC). Αν και η αποστολή τους φαίνεται να είναι φιλόδοξη, αυτή τη στιγμή υπάρχουν πιλοτικά έργα εν

εξελίξει σε εφαρμογές αλυσίδων ανεφοδιασμού. Το EPC Global σχεδιάζει τις προδιαγραφές για όλες τις τεχνολογίες RFID. Εντούτοις, κατά πρώτο λόγο η εργασία της συγκεντρώνεται στη UHF σειρά. Κι αυτό επειδή το EPC Global υποστηρίζεται κυρίως από τη βιομηχανία καταναλωτικών προϊόντων. Λιανοπωλητές και κατασκευαστές όπως Wal-Mart, Gillette και Proctor & Gamble βλέπουν τα άμεσα οφέλη από τη χρησιμοποίηση RFID στις διαδικασίες διανομής των προϊόντων τους. Θεωρούν ότι το UHF λόγω του μεγαλύτερου εύρους διαβάσματος, είναι καταλληλότερο για τη διαχείριση αλυσίδων ανεφοδιασμού τύπου παλέτας και μέχρι ενός βαθμού στο case level.

Ένας από τους σημαντικότερους χρήστες RFID είναι τα υπουργεία άμυνας (DoD), που είναι από τους πρώτους χρήστες RFID στη λειτουργία τους ως βοηθήματος για την διαχείριση διαθεσίμων. Τα DoD έχουν ανανεώσει πρόσφατα τη δέσμευσή τους για την πλήρη εφαρμογή RFID στις διοικητικές μέριμνές τους. Αν και τα DoD δεν έχουν περιορίσει τις εφαρμογές RFID τους σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, αναμένεται ότι το UHF θα είναι η κυρίαρχη τεχνολογία που υιοθετείται.

Η βιομηχανία RFID είναι στα πρόθυρα μιας σημαντικής αλλαγής. Η αγορά έχει περάσει την παιδική ηλικία της και δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι αυτή η τεχνολογία πρόκειται να επαναδιαμορφώσει τον τρόπο που ζούμε. Το RFID θα προσθέσει νοημοσύνη στα αντικείμενα και αυτό θα αλλάξει τον τρόπο που οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με αυτά. Πάντως δεν υπάρχει μια τεχνολογία RFID ικανή να ανταπεξέλθει σε όλες τις εφαρμογές. Διαφορετικές τεχνολογίες RFID θα συμπληρώνουν η μια την άλλη, και κάθε μια θα λειτουργεί έτσι ώστε να συμπληρώνει την άλλη, ταιριάζοντας με κατάλληλο τρόπο τις λειτουργίες τους.

4 RFID STANDARDS

4.1 Σκοπός και παγκόσμιες οργανώσεις τυποποίησης

Ο σκοπός της τυποποίησης είναι να καθοριστεί η αποδοτικότερη πλατφόρμα μέσω της οποίας μια βιομηχανία μπορεί να λειτουργήσει με τα RFID. Υπάρχουν διάφορες οργανώσεις που ενεπλάκησαν στη σύνταξη των προτύπων για την τεχνολογία RFID. Ειδικότερα, ο διεθνής οργανισμός για την τυποποίηση (ISO) και το EPC Global έχουν αναλάβει πολλές πρωτοβουλίες για την δημιουργία τέτοιων προτύπων.

Η ISO, που προσελκύει το παγκόσμιο ενδιαφέρον, έχει ασχοληθεί με τις διαφορετικές τεχνολογίες RFID για πολλά έτη. Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας της, ήταν μέσω των διάφορων υποομάδων μικτής Τεχνικής Επιτροπής ένα (JTC1) που είναι αρμόδια για τη σύνταξη των προτύπων για την τεχνολογία πληροφοριών.

Το 1999, διάφορα πανεπιστήμια που υποστηρίχτηκαν από τη βιομηχανία καταναλωτικών προϊόντων, διαμόρφωσαν το Auto Id Center με το σκοπό να προωθηθεί η τεχνολογία RFID. Το 2003, το Auto Id Center αναδιοργανώθηκε για να δημιουργήσει το EPC Global υπο την προστασία του UCC / EAN για να διαχειριστεί την επιχειρησιακή πλευρά της αγοράς RFID. Τα πανεπιστημιακά ιδρύματα συνεχίζουν την έρευνα και την ανάπτυξή τους για το EPC Global με τα ήδη διαμορφωμένα Auto Id εργαστήρια. Το EPC Global είναι αρμόδιο για τον καθορισμό των προδιαγραφών για όλες τις πτυχές της τεχνολογίας RFID συμπεριλαμβανομένης της τυποποίησης.

Εκτός από το ISO και το EPC Global, υπάρχουν πολλές άλλες παγκόσμιες και περιφερειακές οργανώσεις αλλά και ρυθμιστικοί οργανισμοί που ενεπλάκησαν στην τυποποίηση των RFID, όπως το AIAG, FDA and Postal.

Σε αυτό το σημείο, αρχίζουμε να ερευνούμε τη κατάσταση της τυποποίησης στη βιομηχανία RFID με εστίαση στο ISO και το EPC.

4.2 ISO

4.2.1 ISO LF συχνότητα

Η LF συχνότητα είναι η πιο παλιά υιοθετημένη τεχνολογία RFID, η οποία έχει εφαρμοστεί πιο πολύ στις κατασκευές και τις γεωργικές εφαρμογές. Έχει γίνει πολύ λίγη δουλειά για την τυποποίηση στο χώρο χαμηλής συχνότητας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές ήταν σε κλειστές συνθήκες και σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Στον τομέα της γεωργίας, εντούτοις, το animal tracking έχει απαιτήσει κάποια τυποποίηση. Το ISO 11784 και 11785 είναι τα δύο ξεχωριστά πρότυπα στην τεχνολογία χαμηλής συχνότητας που ήταν σε χρήση για κάποιο χρονικό διάστημα για την ταυτοποίηση ζώων.

Το ISO 11784 και 11785 σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για τη ταυτοποίηση ζώων. Εν συντομία, Ο ISO 11784 καθορίζει τη δομή των δεδομένων της ετικέτας του ζώου. Σε αυτά τα πρότυπα, τα ζώα μπορούν να προσδιοριστούν από τον κώδικα χωρών και τη μοναδική εθνική ταυτότητα. Υπάρχουν επίσης παραλλαγές που χρησιμοποιούν ένα κώδικα κατασκευαστών αντί του κώδικα χωρών. Το ISO 11785 ενδιαφέρεται για τις τεχνικές πτυχές της επικοινωνίας αναγνώστη-ετικετών. Υπάρχουν διάφορες ανεπάρκειες σε αυτά τα δύο πρότυπα που έχουν αποτρέψει τη ευρεία χρήση του αλλά έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό όπου εφαρμόζεται.

Η ISO έχει εντείνει τις προσπάθειές της να αναπτύξει πρότυπα για τη χαμηλή συχνότητα. Η διαδικασία ρυθμίζεται από το SC31/ WG 4 που έχει την ευθύνη να δημιουργήσει τα πρότυπα για "τον προσδιορισμό ραδιοσυχνότητας για τη διαχείριση στοιχείων". Η 18000 σειρά καλύπτει όλες τις διαφορετικές συχνότητες. Η ISO 18000-2 οριστικοποιήθηκε και δημοσιεύθηκε το 2004. Αυτά είναι τα πρότυπα που καθορίζουν τις παραμέτρους για τις επικοινωνίες Air Interface στα 135KHz, δηλαδή τη περιοχή LF. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το EPC Global λειτουργεί παράλληλα για τη δημιουργία προτύπων και προδιαγραφών για το LF RFID

4.2.2 ISO HF συχνότητα

Μεταξύ των τεχνολογιών RFID, η υψηλή συχνότητα έχει τα καθιερωμένα και συνήθως χρησιμοποιημένα πρότυπα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα 13,56 MHz είναι η συνολικά αποδεκτή συχνότητα για RFID. Η JTC1/SC17/WG8, όποια είναι η ομάδα εργασίας για τις " Contactless κάρτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων", άρχισε τη διαδικασία τυποποίησης για το HF RFID το 1995. Αυτή οδήγησε στο ISO 15693 και 14443, τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα πρότυπα RFID μέχρι σήμερα.

Το ISO 15693 δημοσιεύθηκε το 2000 καθορίζοντας τις παραμέτρους για τις vicinity RFID cards, γενικά χρησιμοποιημένο στις εφαρμογές που απαιτούν την απόσταση διαβάσματος να είναι μεγαλύτερη από 10 εκατοστά. Οι προδιαγραφές έχουν οργανωθεί σε τρία χωριστά μέρη που καλύπτουν τα φυσικά χαρακτηριστικά, το Air Interface και το πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Το ISO 14443 είναι το πρότυπο για τις vicinity RFID cards που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές που απαιτούν την απόσταση διαβάσματος να είναι μικρότερη από 10 εκατοστά. Αυτό το πρότυπο είναι οργανωμένο με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με το 15693 καθορίζοντας παρόμοιες παραμέτρους στα διαφορετικά μέρη των προτύπων. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο προτύπων είναι η προοριζόμενη εφαρμογή τους. Το ISO14443, λόγω του μικρού εύρους διαβάσματος και της ικανότητας κρυπτογράφησης, είναι καταλληλότερο για τις εφαρμογές όπου η ασφάλεια είναι πρωταρχικός στόχος, όπως στην ηλεκτρονική πληρωμή, στη κατάθεση και στις οικονομικές συναλλαγές. Εκτός από τα δύο πρότυπα που συζητούνται, η SC17/WG8 έχει συντάξει διάφορα άλλα πρότυπα σχετικά με τη χρήση RFID.

Αν και το ISO 15693 και 14443 είναι τα καθιερωμένα πρότυπα και έχουν λειτουργήσει καλά μέχρι τώρα, μερικοί εμπειρογνώμονες της βιομηχανίας είναι της άποψης ότι δεν αντιμετωπίζουν όλα τα προβλήματα. Η ISO άρχισε μια διαδικασία υπό την προστασία της SC31 για την τυποποίηση των RFID. Το ISO 18000-3 είναι το νέο πρότυπο για το 13,56 MHz RFID. Αυτά τα πρότυπα δημοσιεύθηκαν το 2004 μετά από 3 έτη συζήτησης.

Το ISO 18000-3 είναι πιο περιεκτικό πρότυπο που έχει χτιστεί επάνω στο υπάρχον ISO 15693. Έχει δύο εκδόσεις, με την έκδοση 1 να είναι παρόμοια με το ISO 15693.

4.2.3 ISO UHF συχνότητα

Κινούμενοι προς τη UHF (860 MHz-956MHz) ζώνη, βλέπουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας και τα οφέλους θα προκύψει από την δημιουργηθεία ενιαίων προτύπων. Η καθυστέρηση στην ανάπτυξη ευρέως αποδεκτών και ομοιόμορφων προτύπων είναι ένα σημαντικό εμπόδιο στις UHF επεκτάσεις των RFID. Αυτή τη στιγμή, δεν υπάρχει καμία συνολικά αποδεκτή συχνότητα μέσα στη UHF ζώνη, λόγω των περιορισμών στις διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Συνειδητοποιώντας ότι τα RFID δεν θα έχουν πρόσβαση σε μια ομοιόμορφη παγκόσμια συχνότητα στη UHF ζώνη, η βιομηχανία έχει δεχτεί το γεγονός και έχει αρχίσει να δίνει προϊόντα που είναι είτε συγκεκριμένα για την κάθε περιοχή είτε ικανά να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα στη Βόρεια Αμερική, το UHF RFID χρησιμοποιεί 915 MHz ενώ 860MHz-868MHz και 950MHz-956MHz χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και την Ιαπωνία αντίστοιχα.

Η εργασία της ISO στα 860 - 956MHz (UHF ζώνη) έχει οδηγήσει στο ISO 18000-6, το όποιο δημοσιεύθηκε το 2004. Αυτό το πρότυπο καθορίζει τις παραμέτρους για το Air Interface και την επικοινωνία. Όπως στην περίπτωση άλλων προτύπων της σειράς 18000, το μέρος 6 καλύπτει όλες τις τεχνικές πτυχές των επικοινωνιών RFID με μεγάλη λεπτομέρεια. Πάλι, η ISO και το EPC Global κινούνται σε χωριστή, εν τούτοις παράλληλη πορεία στην τυποποίηση της UHF RFID. Το EPC Global είναι πολύ κοντά στην επικύρωση και την έκδοση των UHF προτύπων του, την κατηγορία 1 G2, εν αναμονή της επίλυσης των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Είναι ευρέως αναμενόμενο ότι το EPC Global θα παρουσιάσει την κατηγορία του 1 G2 πρότυπου στο ISO για να την κάνει παγκόσμιο πρότυπο.

Η σειρά 18000 καθορίζει τις παραμέτρους του air interface για τις διαφορετικές συχνότητες στα τμήματα 2-7 και στο τμήμα 1 καλύπτει γενικές παραμέτρους που είναι

κοινές παντού. Επιπλέον έχουν οριστικοποιηθεί και δημοσιευθεί τα ISO/IEC 15961, 15962 και 15963. Το ISO/IEC 15691 καθορίζει τις παραμέτρους και τις εντολές για την επικοινωνία με προγράμματα εφαρμογών ενώ το ISO/IEC 15962 εξετάζει την επεξεργασία των στοιχείων και της παρουσιάσής τους στο tag RF και την αρχική συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από την ετικέτα RF. Το ISO/ IEC 15963 εξετάζει το μοναδικό κώδικα προσδιορισμού (UID) και περιγράφει το σχέδιο αρίθμησης για τις ετικέτες.

4.2.4 Γενικός πίνακας με όλα τα πρότυπα της ISO

ISO Standard	Title	Status
ISO 11784	Radio frequency identification of animals -- Code structure	Published standard - 1996
ISO 11785	Radio frequency identification of animals -- Technical concept	Published Standard - 1996
ISO/IEC 14443	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 15693	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Vicinity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 18001	Information Technology - AIDC Techniques - RFID for Item Management - Application Requirement Profiles	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-1	Generic Parameters for Air Interface Communication for Globally Accepted Frequencies	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-2	Parameters for Air Interface Communications below 135KHz	Published Standard 2004
ISO/IEC	Parameters for Air Interface Communications at	Published Standard

18000-3	13.56 MHz	2004
ISO/IEC 18000-4	Parameters for Air Interface Communications at 2.45GHz	Final Draft International Standard
ISO/IEC 18000-6	Parameters for Air Interface Communications at 860-930 MHz	Published Standard 2004
ISO/IEC 15961	RFID for Item Management - Data protocol: Application interface	Published Standard 2004
ISO/IEC 15962	RFID for Item Management - Protocol: Data encoding rules and logical memory functions	Published Standard 2004
ISO/IEC 15963	RFID for Item Management - Unique Identification of RF Tag	Final Draft International Standard

4.3 EPC Global

Η αποστολή του EPC Global είναι να προσδιορίσει κάθε αντικείμενο με έναν μοναδικό ηλεκτρονικό κώδικα προϊόντος (EPC). Ένα παγκόσμιο δίκτυο θα στηθεί για να ταυτοποιήσει κάθε αντικείμενο σε όλη την αλυσίδα ανεφοδιασμού. Ένα μεγάλο μέρος των πόρων έρευνας και ανάπτυξης έχει επενδυθεί στη δημιουργία της προδιαγραφής και της τυποποίησης των ετικετών EPC και της απαραίτητης υποδομής. Αν και οι προσπάθειες της Global EPC δεν περιορίζονται στο UHF, εκεί εστιάζεται η προσπάθειά της.

4.3.1 UHF Class 0 και 1

Το EPC Global μέσω του ερευνητικού του κέντρου, των Auto ID Labs, έχει καθορίσει τις προδιαγραφές για διαφορετικές κατηγορίες ετικετών EPC. Αυτήν την περίοδο, η κατηγορία 0 και η κατηγορία 1 ετικετών είναι εμπορικά διαθέσιμες. Η κατηγορία των 0

EPC tags έχουν ένα προγραμματισμένο κώδικα 96 μπιτ ενώ η κατηγορία 1 διευκολύνει τους προγραμματίσιμους κώδικες χρηστών. Το EPC Global έχει προτείνει άλλες κατηγορίες ετικετών EPC που παρέχουν μνήμη χρηστών πέρα από τον κώδικα ID. Έχει δημιουργήσει επίσης λεπτομερείς προδιαγραφές για τη δομή του κώδικα 96-bit που είναι αρκετά εύκαμπτος ώστε να ενσωματώσει και άλλα πρότυπα κωδικοποίησης για χρήση στην αλυσίδα ανεφοδιασμού. Το 96-bit EPC μπορεί παρέχει unique identifiers για 268 εκατομμύρια επιχειρήσεις. Κάθε κατασκευαστής μπορεί να έχει 16 εκατομμύρια object classes και 68 δισεκατομμύρια αύξοντες αριθμούς σε κάθε κατηγορία. Νέα σχέδια αρίθμησης έχουν εισαχθεί για 128-bit και 256-bit serial numbers ώστε να προσαρμόσουν στα πρότυπα προσδιορισμού της εξόδου (output).

4.3.2 Περιγραφή δικτύων EPC

Το δίκτυο EPC, ή UCCNET όπως ονομάστηκε πρόσφατα, θα παρακολουθεί τα EPC tagged αντικείμενα καθώς κινούνται μέσω της αλυσίδας ανεφοδιασμού από την παραγωγή στη κατανάλωση.

Περιγραφή δικτύων EPC:

- Το ONS (Object Naming Services) είναι ανάλογο με το NDS σε ένα τυπικό δίκτυο. Κάθε ετικέτα EPC είναι συνδεδεμένη με τα δεδομένα κάθε στοιχείου μέσω ενός τοπικού δικτύου ή του Ιστού
- Το Savant είναι τεχνολογία λογισμικού που χρησιμεύει ως το νευρικό σύστημα για τη ροή διαχείρισης των στοιχείων.
- Η Physical Markup Language (PML) είναι μια υπογλώσσα XML που έχει χαρακτηριστεί ως η τυποποιημένη πλατφόρμα ανάπτυξης για το δίκτυο EPC.

Η βιομηχανία RFID κινείται γρήγορα για να ενισχύσει τα τρέχοντα πρότυπα και να δημιουργήσει τα νέα που απαιτούνται για την παγκόσμια εφαρμογή της τεχνολογίας.

Υπάρχουν ιδιαίτερες προσπάθειες που διοχετεύονται προς αυτόν τον στόχο και η διαδικασία τυποποίησης μπορεί σύντομα να προφθάσει τις προόδους σε άλλες πτυχές της βιομηχανίας. Η ISO είναι η παγκόσμια αρχή για την τυποποίηση και το EPC Global είναι μια σημαντική δύναμη στην αγορά RFID με τη μεγάλη υποστήριξη της καταναλωτικής βιομηχανίας. Αν και είναι δυνατό για αυτές τις δύο οργανώσεις να συνεργαστούν, μερικοί θεωρούν ότι θα βοηθούσε περισσότερο ο ανταγωνισμός παρά η συνεργασία στην τυποποίηση.

4.3.3 Γενικός πίνακας με όλα τα EPC πρότυπα

EPC Global Specifications		
EPC Tag Data Standards		Specific encoding schemes for a serialized version of the EAN.UCC Global Trade Item Number (GTIN®), the EAN.UCC Serial Shipping Container Code (SSCC®), the EAN.UCC Global Location Number (GLN®), the EAN.UCC Global Returnable Asset Identifier (GRAI®), the EAN.UCC Global Individual Asset Identifier (GIAI®), and a General Identifier (GID).
UHF Class Specifications	0	Communications interface and protocol for 900 MHz Class 0
UHF Class Specifications	1	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz Class 1
UHF Generation Specifications	1, 2	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz, built upon Class 1
HF Class Specifications	1	Communications interface and protocol for 13.56 MHz Class 1
Reader Protocol		Communications messaging and protocol between tag readers and EPC compliant software applications
Savant		Specifications for services Savant performs for application requests

Specification	within the EPCglobal Network
Object Name Service Specification	Specifications for how the ONS is used to retrieve information associated with a Electronic Product Code (EPC)
Physical Markup Language Core Specification	Specifications for a common vocabulary set to be used within the EPC global Network to provide a standardized format for data captured by readers

5. Singulation Protocol

Ένας RFID reader επικοινωνεί κάθε φορά με ένα και μοναδικό RFID tag. Στην περίπτωση που περισσότερα από ένα RFID tags ανταποκριθούν σε έναν RFID reader τότε έχουμε συγκρούσεις, γεγονός που συμβαίνει για παράδειγμα στις υπεραγορές με τον αυτόματο έλεγχο των προϊόντων.

Σε μια τέτοια περίπτωση ο reader δεν μπορεί να διαβάσει με ακρίβεια τις πληροφορίες που στέλνονται από τα tags. Το Singulation Protocol εξασφαλίζει την επικοινωνία του reader με ένα και μοναδικό tag κάθε φορά. Τα συστήματα RFID τυπικά λειτουργούν σε συχνότητες είτε 13.56 MHz είτε 915 MHz όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα tags που λειτουργούν στην περιοχή των 915 MHz συνήθως βασίζονται στο tree-walking singulation protocol ενώ τα tags που λειτουργούν στην περιοχή των 13.56 MHz χρησιμοποιούν για singulation το ALOHA protocol.

5.1 Tree-walking singulation Protocol

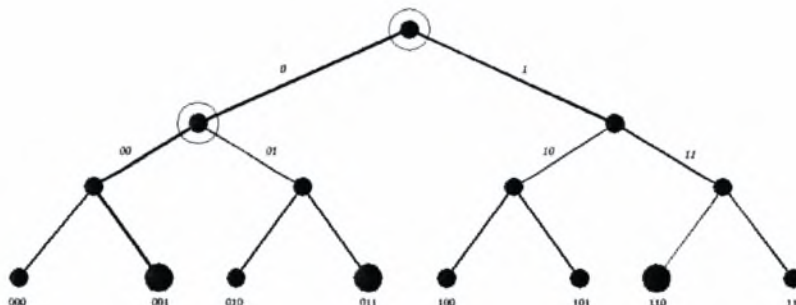
Στη συνέχεια θα επικεντρωθούμε στο Tree-walking Singulation Protocol αφού το πρωτόκολλο αυτό είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη και υποστηρίζει τις πιο ευέλικτες μεθόδους αποφυγής συγκρούσεων.

Ο αλγόριθμος tree-walking singulation δίνει την δυνατότητα σε ένα RFID tag να ταυτοποιήσει τους σειριακούς αριθμούς κοντινών tags ατομικά μέσω διαδικασίας bit-by-bit ερωτήσεων, η οποία μοιάζει με αναζήτηση σε βάθος (depth first search) ενός δυαδικού δέντρου. Υποθέτουμε ότι τα tags σε ένα δεδομένο σύστημα δέχονται μοναδικούς αναγνωριστές κάποιου προκαθορισμένου μήκους k (bit-length $k = 64, 96, 128$). Το σύνολο όλων των πιθανών k -bit αναγνωριστών μπορούν να παρομοιαστούν ως τα φύλλα ενός κανονικού δυαδικού δέντρου βάθους k . Θεωρούμε τα κλαδιά ενός δεδομένου κόμβου του δυαδικού δέντρου με το αριστερό να έχει ετικέτα '0' και το δεξί '1'. Έτσι ένας κόμβος σε βάθος d μπορεί να ταυτοποιηθεί μοναδικά από ένα δυαδικό πρόθεμα $B = b_1 b_2 \dots b_d$, το οποίο απεικονίζει την σειρά των ετικετών των κλαδιών που προσπελούνται σε ένα μονοπάτι από την ρίζα στον κόμβο. Επομένως κάθε ένα από τα

2^k φύλλα του δέντρου έχουν ένα μοναδικό k-bit string και απεικονίζουν ένα διακριτό πιθανό σειριακό αριθμό ενός tag.

Ο αλγόριθμος tree-walking είναι μια περιοδικά επαναλαμβανόμενη σε-βάθος αναζήτηση η οποία εκτελείται από ένα reader με τον ακόλουθο τρόπο :

Αναθέτει στο υποδέντρο ενός κόμβου να δηλώσει όλους τους απογόνους στο δέντρο και ο reader αρχικοποιεί τον αλγόριθμο tree-walking στην ρίζα του δέντρου. Ξεκινώντας από ένα δεδομένο κόμβο $B=b_1b_2\dots b_d$, ο reader ρωτά όλα τα tags που έχουν σειριακούς αριθμούς στα φύλλα του αντίστοιχου υποδέντρου. Στη συνέχεια τα tags που ερωτούνται απαντούν στον reader με το d_{i+1} bit του σειριακού τους αριθμό. Όταν εντοπισθεί σύγκρουση ο reader αρχίζει τις ερωτήσεις από το παιδί του υποδέντρου όπου προκλήθηκε το πρόβλημα. Εάν τα tags απαντήσουν όλα μαζί με το ίδιο bit b , δηλαδή αν όλα βρίσκονται στο ίδιο υποδέντρο, τότε ο reader αρχίζει ξανά τον αλγόριθμο από το κόμβο B_b και αγνοεί το υπόλοιπο δέντρο. Όταν ο αλγόριθμος φτάσει σε ένα φύλλο (σε βάθος k), δίνει ως έξοδο την εκάστοτε k-bit ακολουθία, η οποία είναι ο σειριακός αριθμός του tag που μόλις διάβασε. Η πλήρης έξοδος είναι μια λίστα του ID αριθμού όλων των tags κάποιου εύρους.



Σχήμα 5.1

5.2 ALOHA Protocol

Μετά το tree-walking singulation protocol το πρωτόκολλο ALOHA είναι το συχνότερα χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο για RFID. Η πρώτη του εφαρμογή ήταν στο ALOHAnet και η λειτουργία του είναι σχεδόν όμοια με αυτή του CSMA/CD που χρησιμοποιείται

στο Ethernet. Το ALOHA χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα υψηλής συχνότητας HF. Η πρώτη έκδοση του πρωτοκόλου (pure ALOHA) υπήρχαν δύο μόνο βασικές λειτουργίες :

- Εάν υπήρχαν δεδομένα προς αποστολή, τότε ο πομπός επιχειρούσε την εκπομπή τους.
- Εάν η αποστολή των δεδομένων συγκρούονταν με άλλη εκπομπή τότε ο πομπός επιχειρούσε να εκπομπή σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή.

Αρχικά όταν εντοπίζονταν μια σύγκρουση ο πομπός επανεξέπεμπε τα δεδομένα μετά απο αναμονή για τυχαίο χρονικό διάστημα. Σε μεταγενέστερες εκδόσεις του πρωτοκόλου υποστηρίζεται και ο συγχρονισμός των δεκτών και η χρήση συγκεκριμένων time-slots για την εκπομπή που αυξάνουν σημαντικά την απόδοση του πρωτοκόλου. Ωστόσο σε περίπτωση συγκέντωσης μεγάλου αριθμού tags στο πεδίο του αναγνώστη ακόμη και οι τρέχουσες εκδόσεις του πρωτοκόλου ALOHA «σπαταλούν» σημαντικά μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου εύρου ζώνης σε σχέση με βελτιστοποιημένες εκδόσεις του tree-walking πρωτοκόλου. Μάλιστα σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και λιμοκτονία για κάποιο tag. Το σημείο υπεροχής του πρωτοκόλου ALOHA έναντι του tree-walking βρίσκεται στο γεγονός ότι είναι σημαντικά ανθεκτικότερο σε επιθέσεις με jammer tags και δεν απαιτεί την αποκάληψη των IDs των tags για την λειτουργία του όπως το πρότοκολο tree-walking. Η τρέχουσα έκδοση του ALOHA (Class 0 HF) επιτρέπει την ανάγνωση έως 200 tag ανα δευτερόλεπτο.

Μοντελοποίηση του ρυθμού επιτυχίας

6.1 Εκτιμώντας την πιθανότητα επιτυχούς ανάγνωσης

Όπως αναφέρουμε και στο κεφάλαιο 2 τα συστήματα RFID είναι ραδιοσυστήματα συνεπώς η επικοινωνία ανάμεσα στον αναγνώστη και το tag μπορεί για διάφορους λόγους να αποτύχει μολονότι το tag βρίσκεται μέσα στην ακτίνα ανάγνωσης. Στο σημείο αυτό θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε τους σημαντικότερους από αυτούς καθώς και τις συνέπειες που έχουν στην επικοινωνία ανάμεσα στον αναγνώστη και το tag. Για να το επιτύχουμε θα αναλύσουμε την διαδικασία ανάγνωσης του tag από τον αναγνώστη βήμα – βήμα. Υπάρχουν δυο προφανή μέρη στην διαδικασία : ο αναγνώστης εκπέμπει το σήμα ανάγνωσης και το tag εκπέμπει την απάντησή του. Αρχικά θα εξετάσουμε τους λόγους για τους οποίους το σήμα του αναγνώστη μπορεί να μην ενεργοποιήσει το tag. Τα σημαντικότερα τινά είναι τα εξής : είτε το tag να μην ενεργοποιηθεί καθώς δεν έχει φορτιστεί επαρκώς από το σήμα του αναγνώστη, είτε η αναλογία σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio SNR) να είναι μικρότερη από το κατώφλι που είναι απαραίτητο για την επιτυχή επεξεργασία του. Τέλος ο μόνος λόγος για τον οποίο ο αναγνώστης μπορεί να μην λάβει την απάντηση του tag είναι η ισχύς του σήματος απάντησης να είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη.

Τα επίπεδα του εκπεμπομένου από τον αναγνώστη ή το tag σήματος είναι προκαθορισμένα από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ή/και τα ισχύοντα πρότυπα και τουλάχιστον στην περίπτωση του tag δεν μπορούν να μεταβληθούν από τον χρήστη. Συνεπώς έχει νόημα να ασχοληθούμε μόνο με φαινόμενα τα οποία επιρρεάζουν την επικοινωνία του αναγνώστη με το tag κατά την διάδοση του σήματος από τον ένα στον άλλο. Οι παράγοντες με την μεγαλύτερη συνεισφορά είναι : η απόσταση, ο προσανατολισμός των κεραιών του αναγνώστη και του tag, τα επίπεδα του θορύβου και τυχόν εμπόδια κατα μήκος της διαδρομής του σήματος.

Εάν υποθέσουμε ότι τα επίπεδα θορύβου ακολουθούν μακροπρόθεσμα κανονική κατανομή και ότι μπορούμε να προσαρμοστούμε στην τοπολογία ανάμεσα στον αναγνώστη και το tag μπορούμε να λάβουμε πληροφορία για τις δύο εναπομείνουσες

παραμέτρους : την απόσταση και τον προσανατολισμό. Θα εξηγήσουμε περαιτέρω τα παραπάνω φαινόμενα μέσω ενός παραδείγματος - μοντέλου.

6.2 Μοντελοποίηση του ρυθμού επιτυχίας σε ένα σύστημα επαγωγικής ζεύξης.

Όπως αναφέρουμε και παραπάνω τα συστήματα επαγωγικής ζεύξης είναι κυρίως *passive* συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι όλη η απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία του τσιπ στο tag θα πρέπει να επαχθεί από το μαγνητικό πεδίο του αναγνώστη. Τα συστήματα επαγωγικής ζεύξης λειτουργούν κυρίως στις μάντες των 135 kHz και 13.56 MHz, που μας δίνουν ~2400m και ~22.1m μέσο μήκος κύματος αντίστοιχα. Δεδομένου ότι ο αναγνώστης και το tag είναι συνήθως σε αποστάσεις αρκετά μικρότερες από το αντίστοιχο μήκος κύματος μπορούμε να υποθέσουμε ότι θα βρίσκονται συνεχώς το ένα στο εγγύς πεδίο του άλλου. Λύνοντας αρχικά το πρόβλημα σε συνθήκες διάδοσης στο κενό (*free space propagation*) το μόνο που πρέπει να προσδιορίσουμε είναι η αμοιβαία επαγωγή από τον αναγνώστη στο tag και αντίστροφα.

Καθώς τόσο η κεραία του αναγνώστη όσο και του δέκτη είναι απλά πηνεία μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε ότι επάγουν ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο. Υποθέτοντας ότι τα πηνεία του αναγνώστη και του tag είναι τέλεια ευθυγραμμισμένα η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ των δύο πηνείων μπορεί εύκολα να υπολογιστεί και είναι :

$$(5.1) M = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1} = \frac{\mu_0 \cdot H(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1}$$

Αν αντικαταστήσουμε το $H(I_1)$ ως εξής :

$$(5.2) H(I) = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (\text{Paul, 1993})$$

και την επιφάνεια A με $R^2 \pi$ (υποθέτοντας δηλαδή ότι το πηνείο μας είναι κυκλικό με ακτίνα R), η εξίσωση 5.1 παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$(5.3) M = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$$

Έχοντας υπολογίσει την αμοιβαία επαγωγή ανάμεσα στα δύο πηνεία μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της παραμέτρου ζεύξης k .

$$(5.4) k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

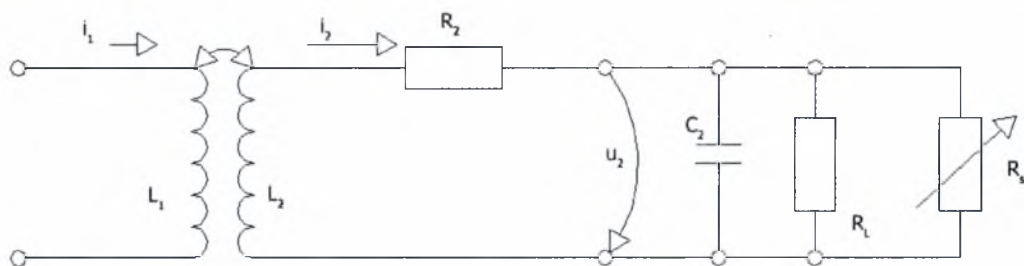
Αν λάβουμε υπ' όψην και την χωρητικότητα του κυκλώματος του tag τότε το κύκλωμά μας έχει συχνότητα συντονισμού f . Από την εξίσωση Thomson έχουμε :

$$(5.5) f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν παρασιτικές χωρητικότητες και ότι το κύκλωμά μας είναι συντονισμένο ακριβώς στην συχνότητα λειτουργίας f_0 λύνουμε την εξίσωση 5.5 ώστε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα του tag δεδομένης της επαγωγής του L :

$$(5.6) C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L}$$

Παρακάτω παραθέτουμε το διάγραμμα του ισοδύναμου κυκλώματος που σχηματίζεται όπου L_1 και L_2 είναι τα πηνεία της κεραίας του αναγνώστη και του tag αντίστοιχα, C_2 είναι η χωρητικότητα του tags, R_2 είναι η αντίσταση κατα μήκος της κεραίας, R_L είναι η αντίσταση μέσω της οποίας μοντελοποιούμε το τσιπ του tag και R_S είναι μια ρυθμιστική αντίσταση.



Θα αγνοήσουμε την ρυθμιστική αντίσταση ώστε να διευκολύνουμε την ανάλυσή μας υποθέτοντας ότι η επαγόμενη τάση u_2 δεν φτάνει ποτέ σε επίπεδα που να υπερβαίνουν την μέγιστη τάση λειτουργίας του τσιπ του tag. Συνεπώς για να ολοκληρώσουμε την ανάλυσή μας το μόνο που χρειάζεται να υπολογίσουμε είναι η τάση στα άκρα της αντίστασης φόρτιου u_2 . Υποθέτοντας ότι η επαγόμενη στο πηνείο L_2 τάση είναι U_{L2} , η u_2 μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$(5.7) u_2 = \frac{U_{L2}}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)}$$

Καθώς η U_{L2} προκαλείται από την ζεύξη μεταξύ των δύο πηνείων L_1, L_2 μπορούμε να την φέρουμε σε μια μορφή που να αναδεικνύει αυτό το φαινόμενο :

$$(5.8) U_{L_2} = j\omega M \cdot i_1 = j\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1$$

Αντικαθιστώντας την U_{L_2} σύμφωνα με την εξίσωση 5.8 μπορούμε να εκφράσουμε την 5.7 ως εξής :

$$(5.9) u_2 = \frac{j\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2\right)}$$

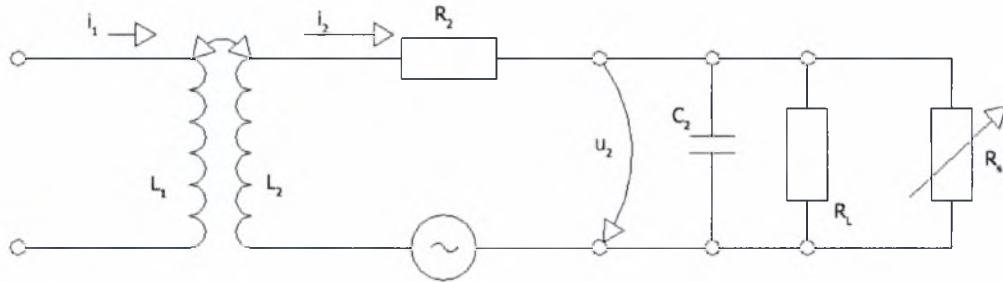
Η οποία σε μή μαγαδική μορφή μπορεί να γραφεί και ως : (Jurish, 1994)

$$(5.10) u_2 = \frac{\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1}{\sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}$$

Μέσω της εξίσωσης 5.10 έχουμε επιτυχώς υπολογίσει την τάση που επάγεται από τον αναγνώστη το τσιπ του tag. Επίσης όλες οι τιμές που έχουμε χρησιμοποιήσει μπορούν εύκολα να υπολογιστούν καθώς η κυκλική συχνότητα ω μπορεί να υπολογιστεί βάσει της συχνότητας λειτουργίας από την εξίσωση $(5.11) \omega = \frac{2\pi}{f_0}$, η χωρητικότητα C_2 μέσω της 5.6,

ενώ οι εναπομείνουσες R_2 , R_L καθώς και οι επαγωγές L_1 , L_2 μπορούν να βρεθούν από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του αναγνώστη και του tag αντίστοιχα. Τέλος στο μοντέλο μας έχουμε υποθέσει ότι η τιμή του ρεύματος i_1 βρίσκεται στα μέγιστα επιτρεπτά από τον νόμο επίπεδα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακτίνα λειτουργίας, συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε την u_2 συναρτήσει μόνο της απόστασης X μεταξύ του αναγνώστη και του tag.

Στο μοντέλο μας μέχρι τώρα υποθέτουμε διάδοση σε κενό χώρο (free space). Για να είναι το μοντέλο μας ρεαλιστικό θα πρέπει επίσης μοντελοποιήσουμε τυχόν απώλειες κατα μήκος της διαδρομής καθώς και τον θόρυβο. Καθώς όμως τα συστήματα επαγωγικής ζεύξης συνήθως λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες φαινόμενα όπως αντανakλάσεις και πολυδιαδρομικές διαλείψεις μπορούν να αγνοηθούν. Συνεπώς ο θόρυβος και τα εμπόδια μπορούν να μοντελοποιηθούν με μια πτώση τάση στο κύκλωμα του tag όπως φαίνεται παρακάτω.



Η πτώση τάσης από εμπόδια μπορεί να υπολογιστεί ως κλάσμα της επαγόμενης τάσης κατ' αναλογία με το μέγεθος του εμποδίου, ενώ ένα χάρτινο κουτί μπορεί να αγνοηθεί μια μεταλλική κατασκευή μπορεί να αλλοιώσει το σήμα μας σημαντικά. Ο θόρυβος μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια κατανομή Gauss ως προς τον χρόνο με μέση τιμή $\mu=0$ και διασπορά $\sigma=1$.

Για να απαντήσει το tag πρέπει επίσης τα επίπεδα του σηματοθορυβικού λόγου να είναι αποδεκτά, να είναι δηλαδή μεγαλύτερα από μια τιμή SNR που ορίζεται από τον κατασκευαστή του τσιπ.

$$(5.12) \text{SNR} = 20 \log\left(\frac{u_2}{u_{noise}}\right)$$

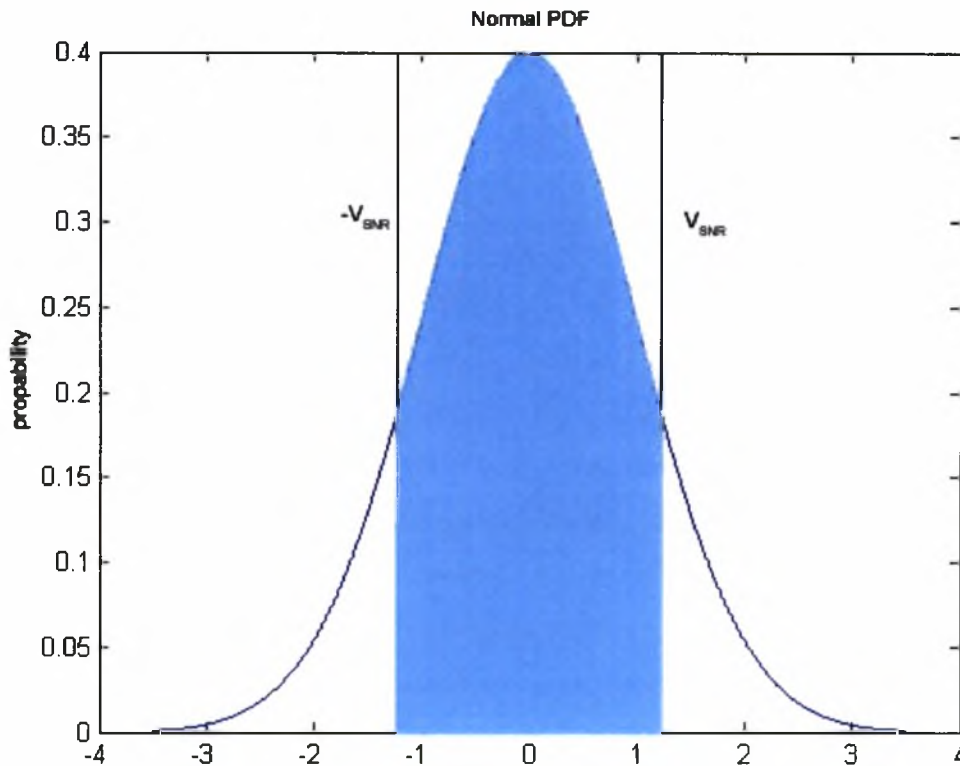
Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση ως προς τον θόρυβο μπορούμε να υπολογίσουμε τα μέγιστα αποδεκτά επίπεδα θορύβου ως εξής :

$$(5.13) u_{noise} = \frac{u_2}{10^{(SNR/20)}}$$

Καθώς όμως τα επίπεδα του σηματοθορυβικού λόγου πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή ίσα με την προαναφερθείσα τιμή τα επίπεδα του θορύβου πρέπει να είναι μικρότερα ή ίσα με την τιμή που υπολογίσαμε στην εξίσωση 5.13. Επίσης στις εξισώσεις 5.12 και 5.13 οι τιμές των αναφερόμενων τάσεων αντιστοιχούν στις απόλυτες τους τιμές αγνοώντας την φορά τους. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω οδηγούμαστε στην παρακάτω εξίσωση σχετικά με τα μέγιστα αποδεκτά επίπεδα θορύβου :

$$(5.14) \frac{-|u_2|}{10^{(SNR/20)}} \leq u_{noise} \leq \frac{|u_2|}{10^{(SNR/20)}}$$

Τοποθετώντας αυτές τις τιμές στο διάγραμμα μιας κατανομής gauss παίρνουμε το παρακάτω σχήμα :



Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι λύσεις της εξίσωσης ορίζουν τον υποχώρο του δειγματικού χώρου στον οποίο οι τιμές του θορύβου την ικανοποιούν άρα τα επίπεδα του θορύβου είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν επιτυχή επικοινωνία με το tag. Για να υπολογίσουμε την πιθανότητα αυτού ενδεχομένου αρκεί να υπολογίσουμε το εμβαδόν της παραπάνω επιφάνειας. Ο απλούστερος τρόπος είναι μέσω των συναρτήσεων αθροιστικής κατανομής πιθανότητας (CDF)

$$(5.15) P(\text{answer}) = CDF(V_{SNR}) - CDF(-V_{SNR})$$

Ωστόσο η πιθανότητα που υπολογίζουμε μέσω της εξίσωσης 5.15 επαληθεύεται μόνο στην περίπτωση των active tags όπου μόνος περιορισμός που έχουμε είναι η αποδεκτή παραμόρφωση του σήματος του αναγνώστη. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε passive tags το σήμα του αναγνώστη θα πρέπει επιπλέον να έχει αρκετή ενέργεια ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχής ενεργοποίηση και απάντηση του tag. Αυτό σημαίνει ότι η τάση που επάγεται στη αντίσταση φόρτου θα πρέπει να υπερβαίνει μία ελάχιστη τιμή V_{min} . Συνεπώς έχουμε την ανάπτυξη ενός επιπλέον περιορισμού. Υπολογίζοντας πως ο περιορισμός αυτός επηρεάζει τις αποδεκτές τιμές του θορύβου παίρνουμε :

$$V_{\min} \leq u_L = u_2 - u_{\text{noise}} \Leftrightarrow^{(5.16)} u_{\text{noise}} \leq u_2 - V_{\min}$$

Με βάση τις εξισώσεις 5.15 και 5.16 μπορούμε τώρα υπολογίσουμε την πιθανότητα επιτυχούς απάντησης για ένα passive tag :

$$(5.17) P(\text{answer}) = \left\{ \begin{array}{l} CDF(u_2 - V_{\min}) - CDF(-V_{SNR}) \mid -V_{SNR} < u_2 - V_{\min} < V_{SNR} \\ CDF(V_{SNR}) - CDF(-V_{SNR}) \mid u_2 - V_{\min} \geq V_{SNR} \end{array} \right\}$$

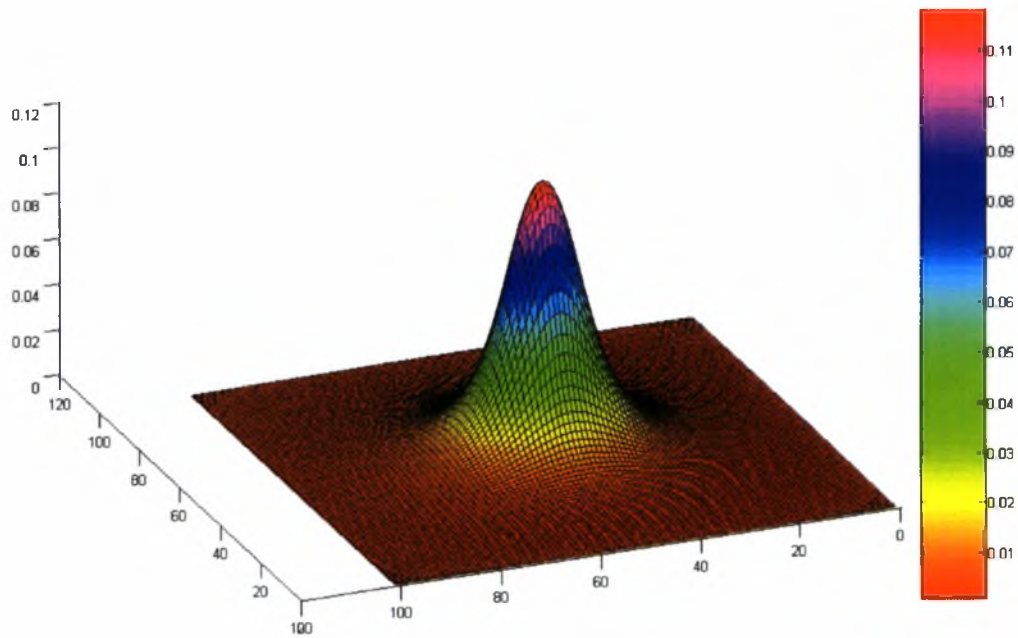
Μέχρι τώρα στην ανάλυση μας είχαμε υποθέσει ότι τα πηνεία του αναγνώστη και του tag ήταν τέλεια ευθυγραμμισμένα. Για να εφαρμόσουμε την παραπάνω ανάλυση σε μή τέλεια ευθυγραμμισμένους σχηματισμούς αρκεί να τους ανάγουμε σε ισοδύναμους τέλειους. Μια τέτοια αναγωγή είναι εφικτή αντικαθιστώντας τι ατελώς ευθυγραμμισμένο πηνείο με δύο μικρότερα που βρίσκονται σε κάθετα μεταξύ τους επίπεδα. Το ένα επίπεδο είναι κάθετο στον άξονα του πηνείου του αναγνώστη συνεπώς η μεταξύ τους αμοιβαία επαγωγή είναι μηδεν λόγω της καθετότητας. Το άλλο επίπεδο είναι παράλληλο με το επίπεδο του πηνείου του αναγνώστη συνεπώς η ευθυγράμμιση τους είναι τέλεια συνεπώς η ανάλυση μπορεί να γίνει όπως παραπάνω. Απομένει να υπολογίσουμε την ισοδύναμη επιφάνεια του πηνείου στο παράλληλο επίπεδο. Αυτή όμως δεν είναι παρά η προβολή της επιφάνειας του αρχικού στο επίπεδο αυτό συνεπώς η ζητούμενη επιφάνεια θα είναι :

$$(5.18) A_{\text{effective}} = A_{\text{original}} \cdot \cos\theta \text{ όπου } \theta \text{ είναι η γωνία μεταξύ του παράλληλου και του αρχικού επιπέδου.}$$

Καθώς οι αναγνώστες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανοχή σε χαμηλούς σηματοθορυβικούς λόγους απ' ότι τα tags θα μπορούσαμε εκ του ασφαλούς να υποθέσουμε ότι εάν υπάρχει επιτυχής επικοινωνία από τον αναγνώστη προς το tag, τότε η αντίστροφη θα είναι πάντοτε επιτυχής. Ακόμη και εάν υποθέσουμε ότι το παραπάνω λήμμα δεν ισχύει μπορούμε απλά να υποθέσουμε ότι η τιμή του θορύβου παραμένει σταθερά στο χρονικό διαστημα μεταξύ των δύο εκπομπών και βάση του i_2 δηλαδή του μέγιστου ρεύματος στο tag να υπολογίσουμε έναν ακόμη περιορισμό και μέσω αυτού την νέα πιθανότητα επιτυχούς απάντησης. Ωστόσο αυτό αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των απαιτούμενων πράξεων για την μοντελοποίηση χωρίς αντίστοιχο κέρδος στην ακρίβεια, συνεπώς παραλείπεται.

Έχοντας παρουσιάσει περιληπτικά τα σημαντικά φαινόμενα που επιρρεάζουν την επικοινωνία μεταξύ tag και αναγνώστη και επεξηγήσει την διαδικασία αναλυτικού

υπολογισμού του μέσου αναμενόμενου ρυθμού επιτυχίας μπορούμε να προχωρήσουμε στην εκμετάλευσή του στην σχεδίαση του συστήματος μας.



Predicted success rate around a reader placed in [50, 50] (distance measured in dm)

7. Η αρχιτεκτονική του συστήματος.

7.1 Η δομή του συστήματός

Το σύστημα μας αποτελείται από τέσσερα τμήματα :

- 1) Την διεπαφή.
- 2) Την διάταξη εκτίμησης πιθανότητας.
- 3) Τα νευρωνικά δίκτυα.
- 4) Την διάταξη εντοπισμού.

Η διεπαφή δεν είναι παρά λογισμικό που εκτελείται σε έναν διακομιστή και αναλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ του συστήματός μας και των αναγνωστών. Επίσης η διεπαφή ορίζει στους αναγνώστες ποιο είναι το προς ανάγνωση tag καθώς και την χρονική στιγμή κατά την οποία θα πραγματοποιηθεί αυτή από τον κάθε αναγνώστη. Μετά την ανάγνωση ενός tag από τους αναγνώστες η διεπαφή συγκεντρώνει τα δεδομένα από κάθε ζεύγος αναγνώστη-tag σε διανύσματα και τα αποστέλλει στην διάταξη εκτίμησης πιθανότητας.

Η διάταξη εκτίμησης πιθανότητας επεξεργάζεται τα διανύσματα που λαμβάνει από την διεπαφή και μέσω αυτών υπολογίζει την μέση πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας για κάθε ζεύγος αναγνώστη - tag. Κατόπιν οι τιμές αυτές προωθούνται στα νευρωνικά δίκτυα.

Κάθε νευρωνικό δίκτυο δέχεται ως είσοδο την πιθανότητα επιτυχίας για κάθε διαθέσιμο ζεύγος αναγνωστών – tag και μέσω αυτής υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στον αναγνώστη και το tag για κάθε ζευγάρι. Αξίζει να αναφέρουμε ότι για κάθε αναγνώστη εκπαιδεύεται νέο νευρωνικό δίκτυο ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη προσαρμογή του στον χώρο γύρω του.

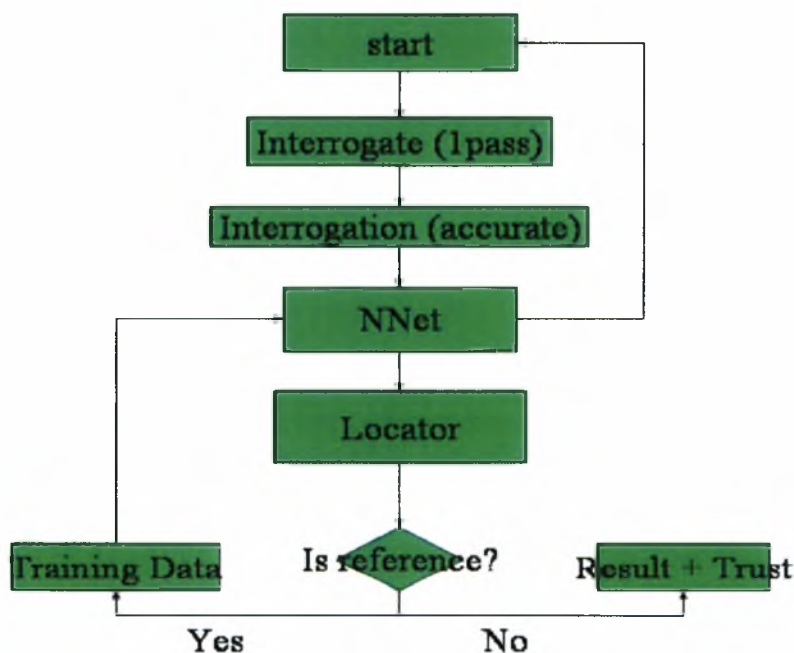
Τέλος η διάταξη εντοπισμού λαμβάνοντας υπ' όψιν τις αποστάσεις που έχουν υπολογιστεί από τα νευρωνικά δίκτυα καθώς και τις θέσεις των αναγνωστών υπολογίζει στην πιθανότερη θέση του tag.

7.2 Η λειτουργία του συστήματος.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα το σύστημα μας βρίσκεται αρχικά σε μια κατάσταση, την οποία καλούμε start, κατά την οποία όλοι οι αναγνώστες είναι ανενεργοί.

Το σύστημα μπορεί να προχωρήσει σε επόμενη κατάσταση μόνο εάν υπάρξει αίτηση ανάγνωσης για κάποιο tag. Το αίτημα μπορεί είτε να προέρχεται από κάποιο χρήστη του συστήματος είτε να είναι ένα αυτοματοποιημένο αίτημα με σκοπό την εκπαίδευση του συστήματος. Λεπτομέρειες γύρω από την αυτοματοποιημένες αιτήσεις παρουσιάζονται στην παράγραφο 8.3.

Όταν ένα αίτημα φτάνει στο σύστημα αυτό μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση, την οποία καλούμε Interrogate (1pass), όπου το σύστημα κάνει έναν μικρό αριθμό προσπαθειών ανάγνωσης του tag, 1 - 5 προσπάθειες με βάση προκαθορισμένες τιμές, με κάθε διαθέσιμο αναγνώστη ώστε να προσδιοριστεί εάν το tag βρίσκεται μέσα στην ακτίνα λειτουργίας αυτού. Κατόπιν όλοι οι αναγνώστες που έλαβαν επιτυχώς απάντηση τοποθετούνται σε μια λίστα και το σύστημα μεταβαίνει στην αμέσως επόμενη κατάσταση.



WPS flow chart

Στην επόμενη κατάσταση, την οποία καλούμε Interrogation (accurate), το σύστημα παίρνει έναν από τους αναγνώστες της λίστας που είχαμε κατασκευάσει και πραγματοποιεί από αυτόν έναν μεγάλο αριθμό προσπαθειών ανάγνωσης του tag, 400-

3200 προσπάθειες ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας και την επιθυμητή ακρίβεια, τα αποτελέσματά των οποίων σώζονται σε ένα διάνυσμα δυαδικών τιμών όπου η τιμή 1 σημαίνει επιτυχή και τιμή 0 αποτυχημένη απόπειρα ανάγνωσης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλους τους αναγνώστες της λίστας. Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας τα υπολογισθέντα διανύσματα προωθούνται στην διάταξη εκτίμησης πιθανότητας η οποία υπολογίζει την πιθανότητα επιτυχούς ανάγνωσης του tag από τον κάθε αναγνώστη. Τελικά οι πιθανότητες επιτυχίας για κάθε ζεύγος οδηγούνται στα νευρωνικά δίκτυα και το σύστημα προχωρά στην επόμενη κατάσταση.

Όλες οι λειτουργίες που έχουμε περιγράψει μέχρι αυτό το σημείο, εκτός από τον υπολογισμό της πιθανότητας επιτυχούς ανάγνωσης που γίνεται από την αντίστοιχη διάταξη, πραγματοποιούνται από την διεπαφή.

Στην κατάσταση NNet μπορούμε να φτάσουμε με δύο διαφορετικούς τρόπους : είτε από την κατάσταση Interrogation (Accurate) είτε από την κατάσταση εκπαίδευσης (Training Data). Εάν οδηγηθούμε στην NNet από την κατάσταση Interrogation (Accurate) τότε απλά τοποθετούμε στις εισόδους των νευρωνικών δικτύων τις πιθανότητες που υπολογίσαμε παραπάνω και μέσω αυτών υπολογίζονται εκτιμήσεις για την απόσταση μεταξύ του tag και του αναγνώστη για κάθε διαθέσιμο ζεύγος. Κατόπιν οι εκτιμήσεις αυτές αποστέλλονται στην διάταξη εντοπισμού και το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση Locator. Εάν έχουμε οδηγηθεί στην κατάσταση NNet από την κατάσταση εκπαίδευσης, τότε εκτός από της πιθανότητες επιτυχούς ανάγνωσης στα νευρωνικά οδηγούνται και τα αντίστοιχα διανύσματα σφάλματος τα οποία χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα για την προσαρμογή των βαρών τους. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά στην παράγραφο 9.3. Μετά την παραπάνω διαδικασία το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση εκκίνησης (Start).

Στην κατάσταση Locator η διάταξη εντοπισμού χρησιμοποιεί τις υπολογισθείσες εκτιμήσεις των αποστάσεων για να υπολογίσει τις συντεταγμένες της θέσης του tag στον χώρο καθώς και την εμπιστοσύνη που τους αποδίδεται (βλ. Παράγραφο 9.2) και το σύστημα περνά στην επόμενη κατάσταση.

Στην επόμενη κατάσταση το σύστημα κάνει αναζήτηση στην βάση δεδομένων του, στην οποία είναι καταγεγραμμένα τα tag αναφοράς καθώς και οι θέσεις τους, για να προσδιορίσει εάν το tag είναι ή όχι tag αναφοράς. Τα tag αναφοράς (reference tags) είναι

προτοποθετημένα tags των οποίων η λειτουργία επεξηγείται στην παράγραφο 9.3. Εάν τελικά η αναζήτηση είναι επιτυχής η υπολογισθείσα και η αποθηκευμένη στην βάση δεδομένων θέση του tag οδηγούνται πίσω στην διάταξη εντοπισμού και το σύστημα οδηγείται στην κατάσταση training data. Εάν η αναζήτηση αποτύχει η υπολογισθείσα θέση του tag καθώς και η εμπιστοσύνη που της αποδίδεται προωθούνται στην διεπαφή και το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση result & trust.

Στην κατάσταση result & trust η διεπαφή επιστρέφει στον χρήστη της συντεταγμένες της θέση του tag. Επίσης, ελέγχει την τιμή της εμπιστοσύνης που τους αποδίδεται. Εάν αυτή είναι κάτω από ένα κατώφλι, τότε ζητά την επανεκκίνηση της διαδικασίας προσαρμογής των νευρωνικών δικτύων. Τέλος, το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση start.

Στην κατάσταση training data υπολογίζουμε τις αποστάσεις ανάμεσα στους αναγνώστες και το tag με βάση την θέση που είναι αποθηκευμένη στην βάση δεδομένων. Μετά τις τοποθετούμε στο διάνυσμα σφάλματος και το σύστημα περνά στην κατάσταση NNet.

7.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά.

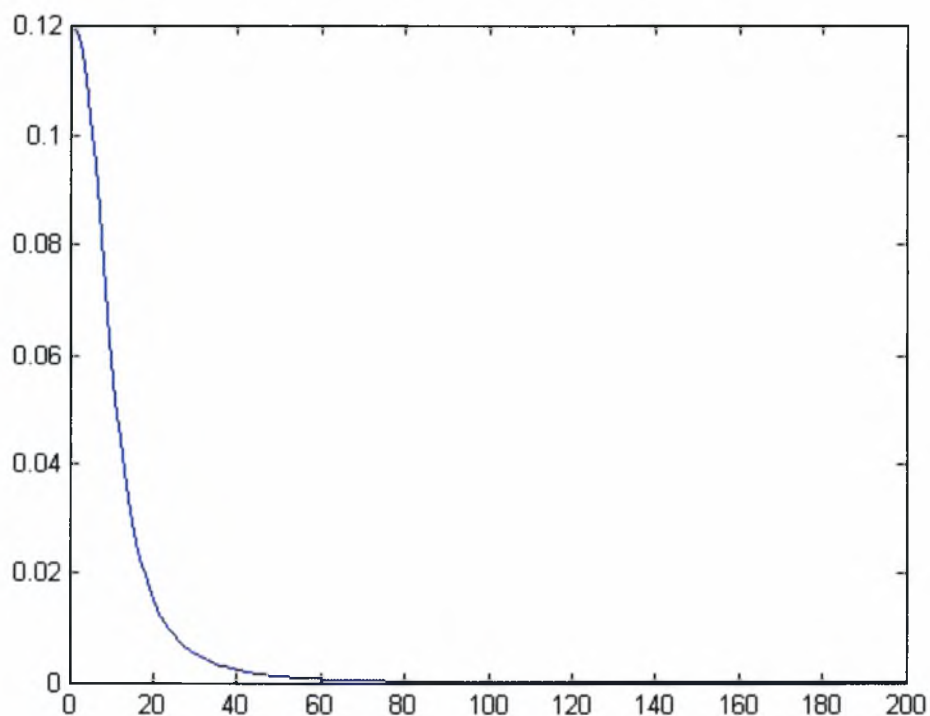
Αξίζει να αναφέρουμε ότι μέσω αυτής της αρχιτεκτονικής επιτυγχάνουμε την ανεξάρτητη λειτουργία κάθε τμήματος του συστήματός μας. Συνεπώς μπορούμε να αντικαταστήσουμε κάθε διάταξή του με μία άλλη που να καλύπτει καλύτερα τις ανάγκες μας ακρεί να διατηρήσουμε άθικτη την μορφοποίηση των δεδομένων εισόδου και εξόδου. Επίσης μπορούμε να παροχετεύσουμε περισσότερα του ενός αιτήματα επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερους ρυθμούς εξυπηρέτησης. Τέλος χάρη στην διακριτή λειτουργία κάθε τμήματος ο έλεγχος και η αποσφαλμάτωση κάθε τμήματος διευκολύνεται σημαντικά.

8 Εκτίμηση της απόστασης βάσει του ρυθμού επιτυχίας

8.1 Τα μαθηματικά χαρακτηριστικά του προβλήματος

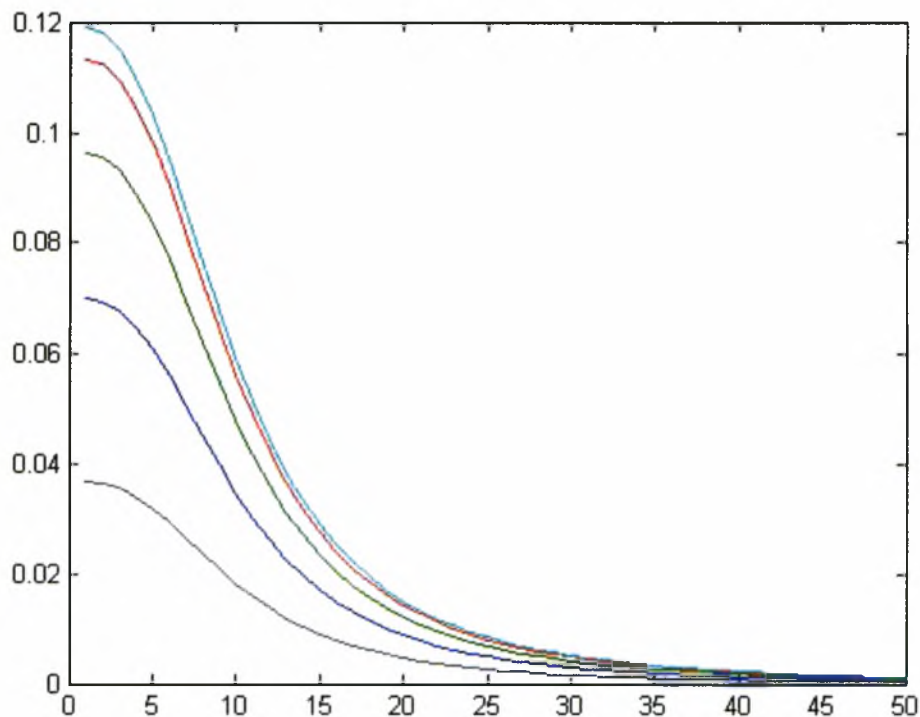
Όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 6 ο ρυθμός επιτυχίας εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι : η απόσταση και ο προσανατολισμός του tag και του αναγνώστη, τα επίπεδα θορύβου και τυχόν εμπόδια κατα μήκος της διαδρομής στην οποία γίνεται η διάδοση. Ωστόσο εμείς επιθυμούμε από την πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας να λάβουμε πληροφορία σχετικά με την απόσταση ανάμεσα στον αναγνώστη και το tag. Για να το επιτύχουμε αυτό θα πρέπει να υπολογίσουμε και αφαιρέσουμε την επιρροή όλων των υπολοίπων παραμέτρων.

Αρχικά μπορούμε να δούμε πώς επηρεάζει η απόσταση την πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας δεδομένου ότι όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές.



Διάγραμμα Α : Πιθανότητα απάντησης / απόσταση (dm) από τον αναγνώστη

Με βάση την παραπάνω μορφή της σχέσης είναι σχετικά εύκολο να βρούμε μια συνάρτηση που να μπορεί να την εκφράσει και μέσω αυτής να κάνουμε στην συνέχεια τις νέες αντιστοιχίσεις πιθανότητας – απόστασης. Ας δούμε όμως πως επηρεάζεται η τιμή της πιθανότητας επιτυχούς επικοινωνίας από μια μεταβολή της γωνίας θ μεταξύ του αναγνώστη και του tag ($\theta = 0$ ο αναγνώστης και το tag βρίσκονται παράλληλα).



Διάγραμμα Β : Πιθανότητα απάντησης / απόσταση (dm) από τον αναγνώστη για $0 \leq \theta \leq \pi/2$ ανα $\pi/10$
 Όπως φαίνεται και από το ανωτέρω διάγραμμα δεν μπορεί να βρεθεί συνάρτηση μόνο της απόστασης συνάρτηση που να μας δίνει την πιθανότητα επιτυχίας. Συνεπώς μέχρι τώρα έχουμε δείξει ότι η πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας είναι συνάρτηση της απόστασης D και της γωνίας θ . Συνεπώς μπορεί να γραφεί ως :

$$^{(8.1)} P(\text{answer}) = f(D, \theta)$$

Ανεξάρτητα από την συνάρτηση με την οποία θα επιλέξουμε να παρεμβάλουμε το δείγμα αρχικών τιμών μας είναι προφανές ότι ακόμη και εάν γνωρίζουμε την τιμή της $P(\text{answer})$ θα είναι αδύνατον να την αντιστοιχίσουμε σε μια μοναδική απόσταση D . Για να παρακάμψουμε το ζήτημα αυτό θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ως είσοδο

περισσότερες τέτοιες τιμές δηλαδή την εκτίμηση της πιθανότητας απάντησης από περισσότερους από έναν αναγνώστες. Ωστόσο τότε θα έχουμε πάλι δύο συναστίσεις με τρεις αγνώστους D_1, D_2 (την απόσταση από τον πρώτο και τον δεύτερο αναγνώστη αντίστοιχα) και την γωνία θ . Καθιστάται λοιπόν προφανές ότι το πρόβλημα αυτό με χρήση της απόστασης ως ζητούμενης μεταβλητής δεν μπορεί να επιλυθεί. Μπορούμε ωστόσο να πρέπει να αντικαταστήσουμε στην σχέση 8.1 την απόσταση D με τις συντεταγμένες του tag x, y, z και το διάνυσμα θέσης του αναγνώστη P_R την γωνία θ με το διάνυσμα $U = [\theta_1, \theta_2]$ όπου θ_1 η γωνία μεταξύ του tag και του επιπέδου $x = x_i$ και θ_2 με το επίπεδο $y = y_i$ οδηγούμενοι σε ένα πρόβλημα που μπορούμε να διαχειριστούμε καλύτερα.

$$^{(8.2)} P(\text{answer}) = f(x, y, z, U, P_R)$$

Βέβαια ακολουθώντας την λύση αυτή οδηγούμαστε στην σχέση 8.2, η οποία είναι προφανές ότι δεν μπορεί να δώσει μοναδική λύση με είσοδο μήκους μικρότερου από τέσσερα δηλαδή χρειαζόμαστε την εκτίμηση της πιθανότητας απάντησης σε τέσσερις τουλάχιστον αναγνώστες για τον υπολογισμό της θέσης του tag. Όπως όμως έχουμε δείξει στα διαγράμματα A και B η f δεν είναι γραμμική συνάρτηση συνεπώς η επίλυση της δεν είναι εύκολη υπόθεση. Τέλος ακόμη δεν έχουμε λάβει υπ' όψιν την ύπαρξη πιθανών εμποδίων κατα μήκος της διαδρομής του σήματος σε κάποιο από τα ζεύγη αναγνώστη – tag τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ασυνέχειες στην f . Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε ότι το προς επίλυση σύστημα είναι της μορφής:

$$^{(8.3)} P(\text{answer}, i) = f(x, y, z, U, P_i, Obs)$$

για i κάθε αναγνώστη για τον οποίο έχουμε στοιχεία και Obs μια συνάρτηση που εκφράζει την επιροή τυχών εμποδίων συναρτήσει της τοπολογίας του.

8.2 Η ανάγκη για προσαρμοστικότητα

Άκομη και εαν βρούμε λύση για το σύστημα που περιγράφεται από την σχέση 8.3 υπάρχουν δύο σημαντικά ζητήματα. Δεν έχουμε ορίσει ακόμη τον τρόπο με τον οποίο θα συλλέγονται τα δεδομένα βάσει τον οποίον υπολογίζεται η συνάρτηση παρεμβολής f και δεν έχουμε προσδώσει στο σύστημα μας την δυνατότητα να προσαρμόζεται σε αλλαγές στο περιβάλλον του. Την λύση και στα δύο ζητήματα θα την δώσουμε με την χρήση ενός

νευρωνικού δικτύου εποπτευόμενης μάθησης και τον ορισμό μιας διαδικασίας που θα πραγματοποιεί την εκπαίδευση καθώς και τυχόν επανεκπαιδεύσεις του. Ως δεδοένα εισόδου για την εκπαίδευση του παραπάνω δικτύου θα χρησιμοποιήσουμε προτοποθετημένα tags των οποίων την θέση αποθηκεύουμε σε μια βάση δεδομένων. Τα tags αυτά καλούμε tags αναφοράς (reference tags). Κατόπιν γνωρίζοντας της θέση των αναγνωστών καθώς και των ετικετών να υπολογίσουμε τις αντίστοιχες αποστάσεις. Τέλος μέσω μιας σειράς αποπειρών ανάγνωσης των tag υπολογίζουμε μια εκτίμηση της πιθανότητας επιτυχούς επικοινωνίας και τροφοδοτούμε το δίκτυο με τα σχηματιζόμενα ζεύγη τιμών (διάνυσμα πιθανοτήτων από όλους τους αναγνώστες ,αντίστοιχη απόσταση από τον αναγνώστη) και βάσει αυτών επαναζυγίζονται τα βάρη αυτού. Συνεπώς απομένει να επιλέξουμε το κατάλληλο δίκτυο για την περίπτωση μας. Στο σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι αντίθετα με ότι υπονοεί η σχέση 8.3 τα δίκτυα μας δεν υπολογίζουν τις συντεταγμένες του tag αλλά την απόσταση μεταξύ του αναγνώστη και του tag. Αυτό γίνεται διότι επιτρέπει την καλύτερη επίβλεψη της λειτουργίας του συστήματος και τον ευκολότερο εντοπισμό τυχών σφαλμάτων.

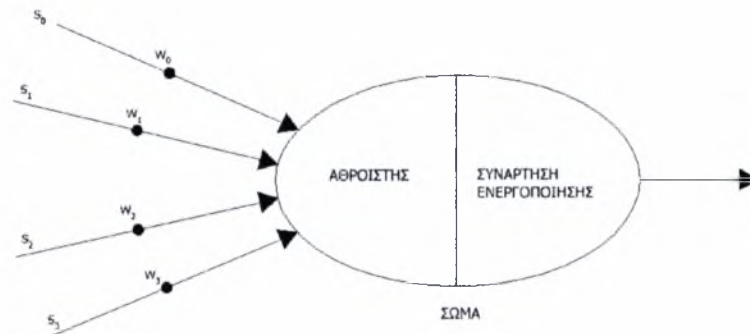
8.3 Η λύση μέσω Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από απλά στοιχεία που λειτουργούν παράλληλα. Η συνάρτηση που υλοποιείται από το δίκτυο εξαρτάται κυρίως από την συνδεσμολογία μεταξύ των στοιχείων. Συνεπώς μπορούμε να εκπαιδεύσουμε ένα δίκτυο ώστε να υλοποιεί μια συνάρτηση με την μεταβολή των τιμών (βαρών) στις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων (υποθέτουμε ότι δυο στοιχεία που δεν συνδέονται μεταξύ τους απλά έχουν μηδενικό βάρος στην μεταξύ τους ακμή).

8.3.1 Ο τεχνητός νευρώνας.

Η βασική δομή μέσω της οποίας κατασκευάζονται τα νευρωνικά δίκτυα είναι οι τεχνητοί νευρώνες. Ένας τεχνητός νευρώνας δέχεται κάποια σήματα εισόδου, στην περίπτωση μας τις εκτιμήσεις των πιθανοτήτων επιτυχούς επικοινωνίας για τους αναγνώστες p_1, p_2, \dots, p_i . Αρχικά κάθε σήμα εισόδου μεταβάλλεται βάσει μιας τιμής βάρους w_i (weight), που μπορεί να είναι αρνητική ή θετική, και προωθείται στο σώμα του νευρώνα. Το σώμα του

τεχνητού νευρώνα χωρίζεται σε δυο μέρη, τον αθροιστή (sum) ο οποίος προσθέτει τα επηρεασμένα από τα βάρη σήματα εισόδου και παράγει την ποσότητα S , και την συνάρτηση ενεργοποίησης ή κατωφλίου (activation ή threshold function), ένα φίλτρο το οποίο διαμορφώνει την τελική τιμή του σήματος εξόδου y , συναρτήσει της ποσότητας S .



Σχήμα 8.1 Αναπαράσταση ενός τεχνητού νευρώνα

Ανάλογα με την συνάρτηση που υλοποιεί το φίλτρο και καλούμε συνάρτηση μεταφοράς κατηγοριοποιείται και ο νευρώνας. Κυριότερες συναρτήσεις μεταφοράς είναι : η συνάρτηση κατωφλιού , η γραμμική συνάρτηση και η λογαριθμική-σιγμοειδής (log-sigmoid).

8.3.2 Νευρωνικά δίκτυα

Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα νευρωνικά δίκτυα δομούνται με την τοποθέτηση νευρώνων σε επίπεδα και την κατάλληλη σύνδεσή τους. Ο αριθμός των επιπέδων ενός δικτύου καθώς και το πλήθος των ανα επίπεδο νευρώνων συνιστά την τοπολογία αυτού και ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ των επιπέδων την τροφοδότηση του. Έίδαμε ότι τα δίκτυα υλοποιούν συναρτήσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο βασικών λειτουργιών, αυτών της μάθησης και της ανάκλησης. Μάθηση είναι η διαδικασία τροποποίησης της τιμής των βαρών του δικτύου έτσι ώστε όταν δοθεί ένα διάνυσμα εισόδου να παραχθεί το επιθυμητό διάνυσμα εξόδου. Ανάκληση είναι η διαδικασία του υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου όταν δοθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου δεδομένων των βαρών του δικτύου βαρών.

8.3.2.1 Τροφοδότηση

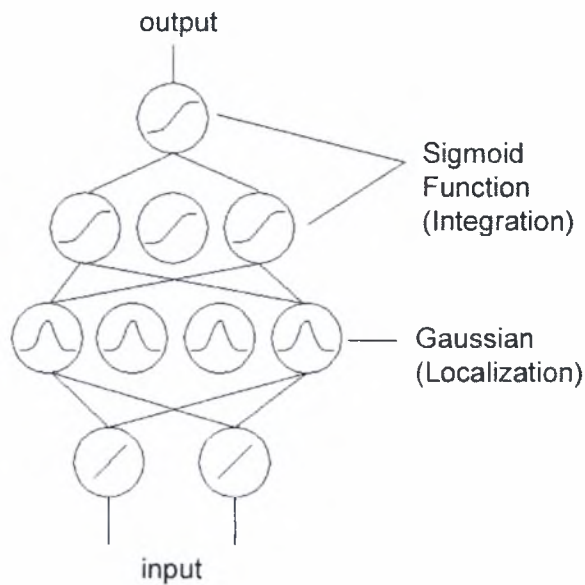
Τα νευρωνικά δίκτυα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες με βάση την μέθοδο τροφοδότησης που χρησιμοποιείται : τα δίκτυα απλής τροφοδότησης και τα δίκτυα με ανάδραση. Στα δίκτυα απλής τροφοδότησης όλες οι εισοδοί ενός επιπέδου του δικτύου προέρχονται από προηγούμενα επίπεδα ή/και εισόδους. Στα δίκτυα με ανάδραση μπορούμε να τροφοδοτήσουμε ένα επίπεδο από την έξοδο ενός επόμενου επιπέδου. Τα δίκτυα ανάδρασης χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναγνώριση ακολουθιών εξ' αιτίας της «μνήμης» τους. Μια και εμείς δεν χρειαζόμαστε την ιδιότητα μνήμης των δικτύων ανάδρασης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δίκτυα απλής τροφοδότησης.

8.3.2 Τοπολογία δικτύου

Το δεύτερο κύριο χαρακτηριστικό του δικτύου μας είναι η τοπολογία που θα επιλέξουμε δηλαδή το πόσα επίπεδα θα έχει αυτό. Τα επίπεδα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : το επίπεδο εισόδου στο οποίο συνδέουμε τις εισόδους, τα επίπεδα εξόδου στον οποίον την έξοδο έχουμε πρόσβαση και τα κρυφά επίπεδα. Η επιλογή της τοπολογίας εξαρτάται καθαρά από το προς επίλυση ζήτημα. Όπως έχουμε ήδη δείξει στην παράγραφο 8.1 επιθυμούμε να προσεγγίσουμε μια μη γραμμική συνάρτηση με πεπερασμένο πλήθος ασυνεχειών. Η συνήθης επιλογή για τέτοιου είδους συναρτήσεις είναι τα νευρωνικά δίκτυα με νευρώνες με συναρτήσεις μεταφοράς ακτινικής βάσης (Radial Basis Functions). Κύριο χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι η γρήγορη μάθηση. Ανάμεσα στα RBF δίκτυα ιδιαίτερη θέση έχουν τα δίκτυα Gauss soft-max. Τα δίκτυα αυτά έχουν όλα τα χαρακτηριστικά των RBF και επιπλέον την δυνατότητα παρεμβάλουν αποτελεσματικότερα την ζητούμενη συνάρτηση ακόμη και σε περιοχές με μικρό σύνολο εκπαίδευσης. Ωστόσο τα RBF έχουν μια εγγενή αδυναμία : την απουσία κάποιας βαθμίδας στην οποία να αποθηκεύουν την συνολικά πληροφορία για την συνάρτηση που πρέπει να προσεγγίσουν με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε αυτή συνολικά και να χρειάζεται σε κάθε νέα υλοποίηση τους να ξεκινάμε από μηδενική βάση. Η απλούστερη λύση για το πρόβλημα αυτό δεν είναι παρα η προσθήκη του εν λόγω επιπέδου και η χρήση του ως γενικής πληροφορίας για την συμπεριφορά της προς προσέγγιση συνάρτησης. Το δίκτυο που σχηματίζεται μετά την παραπάνω τροποποίηση των Gauss soft-max δικτύων καλείται Gauss-Sigmoid [3]. Το δίκτυο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς για την επίλυση της 8.3.

8.3.2 Το επιλεγθέν δίκτυο (Gauss sigmoid)

Για το δίκτυο αποτελείται από ένα επίπεδο εισόδου, ένα επίπεδο εξόδου και δύο κρυφά επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο εισόδου έχουμε ένα νευρώνα για κάθε αναγνώστη και σε αυτό τοποθετούμε την εκτίμηση της πιθανότητας επιτυχούς επικοινωνίας εκείνου του αναγνώστη με το tag. Η συνάρτηση μεταφοράς των νευρώνων του πρώτου επιπέδου είναι γραμμική και χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση της εισόδου.



Κατόπιν οι έξοδοι του πρώτου επιπέδου προωθούνται στο πρώτο κρυφό επίπεδο. Στο επίπεδο αυτό οι νευρώνες έχουν μια συνάρτηση Gauss ως συνάρτηση μεταφοράς. Η λειτουργία αυτού του επιπέδου είναι η προσέγγιση της ζητούμενης συνάρτησης με καταμήματα γραμμικές. Αυτό γίνεται ως εξής : σε κάθε νευρώνα η κατανομή στην συνάρτηση μεταφοράς έχει διαφορετική μέση τιμή και διασπορά σ ίση με :

$$^{(8.4)} \sigma = a \times \max\{|\mu_i - \mu_{i-1}|, |\mu_i - \mu_{i+1}|\}$$

Ο παράγοντας a ελέγχει εάν ή όχι θα υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των γραμμικών διαστημάτων με τα οποία προσεγγίζουμε την συνάρτηση και πόση θα είναι αυτή. Άρα η κάθε είσοδος «περνάει» μόνο από τους νευρώνες των οποίων η έξοδος αντιστοιχεί στα τμήματα που αντιστοιχούν στην τιμή της. Το πλήθος των νευρώνων στο επίπεδο αυτό είναι ανάλογο της επιθυμητής ακρίβειας καθώς αυξάνοντας το πλήθος των νευρώνων μπορούμε να πλησιάσουμε τις μέσες τιμές στις συναρτήσεις μεταφοράς τους και να

συνεχίσουμε να καλύπτουμε ακόμη όλο το διάστημα της πιθανής εισόδου (βεβαίως το διάστημα αυτό στην δική μας περίπτωση είναι το $[0,1]$ καθώς η είσοδος έχει διαστάσεις πιθανότητας.). Επίσης στο σημείο αυτό πρέπει να κάνουμε μια ακόμη κρίσιμη επιλογή. Θα πρέπει να αποφασίσουμε το πλήθος των διαστάσεων στις οποίες θα γίνεται η αντιστοίχιση. Δηλαδή μπορούμε είτε να επαναλάβουμε την ανωτέρω διάταξη για N εισόδους και να καταλήξουμε σε μια χαρτογράφηση της συνάρτησης σε N διαστάσεις είτε για μία μόνο είσοδο θεωρώντας ότι η συνάρτηση ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά σε διάσταση ότι δηλαδή σε κάθε σημείο του πεδίου ορισμού της συνάρτησης f που επιθυμούμε να προσεγγίσουμε :

$$(8.5) \frac{\partial f(x, y, z, U)}{\partial x} = \frac{\partial f(x, y, z, U)}{\partial y} = \frac{\partial f(x, y, z, U)}{\partial z} = \frac{\partial f(x, y, z, U)}{\partial U}.$$

Προφανώς κάτι τέτοιο ισχύει για την διάδοση σε κενό χώρο (free space propagation) τουλάχιστον για τις μεταβλητές x, y, z αλλά δεν μπορεί να γενικευθεί. Συνεπώς θα χτίσουμε N παρόμοιες ακολουθίες νευρώνων στις οποίες θα διαδίδουμε την κάθε είσοδο και από τις οποίες θα δρομολογούμε την είσοδο στην κατάλληλη τμηματική προσέγγιση. Μετά τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορούμε να οδηγηθούμε και σε κάποια έκφραση για το πλήθος των νευρώνων στο επίπεδο αυτό L_2 συναρτήσει του μέσου επιθυμητού μήκους των γραμμικών προσεγγίσεων A_c , του αριθμού των εισόδων N και του μήκους του πεδίου ορισμού της συνάρτησης.

$$(8.6) |L_2| = N * \frac{length}{A_c}$$

Προχωρώντας στο επόμενο επίπεδο παρατηρούμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς δεν είναι γραμμική όπως πιθανόν αναμέναμε καθώς επιθυμούμε να κάνουμε προσέγγιση με κατα τμήματα γραμμικές συναρτήσεις αλλά sigmoid. Αυτό όμως αυξάνει αντί να μειώνει την λειτουργικότητα καθώς η συνάρτηση αυτή περιέχει μεν μια μεγάλη γραμμική περιοχή μέσω της οποίας μπορούμε να παρεμβάλουμε τμηματικά την συνάρτηση αλλά και δύο μη γραμμικές στα άκρα της μέσω των οποίων μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις όποιες ασυνέχειες της f . Το πλήθος των νευρώνων στο επίπεδο αυτό είναι τουλάχιστον ίσο με αυτό του προηγούμενου επιπέδου αλλά μπορεί να είναι και μεγαλύτερο. Η περίπτωση κατα την οποία το πλήθος των νευρώνων είναι ίσο με $|L_2|$ είναι και η προφανέστερη καθώς όπως είπαμε κάθε νευρώνας του L_2 αντιστοιχεί σε μια γραμμική προσέγγιση άρα

έναν νευρώνα του L₃. Η περίπτωση κατα την οποία μπορεί να έχουμε ακόμη περισσότερους νευρώνες οφείλεται σε μια ιδιότητα αυτών των δικτύων που αναφέραμε και ανωτέρω, σε αυτή της καθολικής πληροφορίας. Δηλαδή μπορεί να είναι νευρώνες που αντιστοιχούν σε πληροφορία που υπήρχε από προηγούμενα δίκτυα για την ίδια συνάρτηση και ενώ υπάρχει δεν αντιστοιχίζεται σε κάποιο νευρώνα καθώς μπορεί να προέρχεται από δίκτυο με μεγαλύτερη από την τρέχουσα ακρίβεια.

Τέλος υπάρχει και ένα τελευταίο επίπεδο εξόδου με sigmoid συνάρτηση μεταφοράς το οποίο απλά αθροίζει και κανονικοποιεί τα αποτελέσματα του προηγούμενου επιπέδου.

8.3.3 Εκπαίδευση δικτύου

Για την εκπαίδευση του δικτύου δεν έχουμε παρά να πραγματοποιήσουμε αναζητήσεις των tag αναφοράς και να δημιουργήσουμε ζεύγη πιθανοτήτων-απόστασεων με τα οποία θα τροφοδοτήσουμε τα δίκτυα. Ωστόσο είναι προφανές ότι για να στευθεί η παραπάνω πολιτική εκπαίδευσης με επιτυχία θα πρέπει να έχουμε πολύ μεγάλο πλήθος tag αναφοράς και να δαπανήσουμε και ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Επίσης η προσθήκη ενός νέου αναγνώστη ή κάποια εκτενής αλλαγής στο περιβάλλον που επιτηρείται από το σύστημα θα επιφέρει σημαντικό φόρτο στο σύστημα καθώς θα πρέπει να επανεκπαιδεύσουμε τα δίκτυα εξαρχής. Για να αποφύγουμε όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα προχωρούμε στην εξής διαδικασία. Αρχικά μοντελοποιούμε την ζητούμενη συνάρτηση μέσω μιας εικονικής προσομοίωσης (όπως αυτή του κεφαλαίου 6) και βάσει αυτή καθορίζουμε τους νευρώνες του τρίτου επιπέδου των δικτύων. Κατόπιν αρχικοποιούμε με αυτές τα δίκτυα μας και έτσι παρακάμπτουμε περίπου το 50% του χρόνου εκπαίδευσης (καθώς οι νευρώνες του τρίτου επιπέδου αποτελούν περίπου το 1/2 του συνολικού αριθμού νευρώνων στο κάθε δίκτυο). Τέλος για να αποφύγουμε την σημαντική απόκλιση των αποτελεσμάτων του δικτύου λόγω αλλαγών στο περιβάλλον του και άρα την ανάγκη αχρήστευσής του μέχρι την επανεκπαίδευσή του προχωράμε στον ορισμό μιας περιοδικής πολιτικής επανεκπαίδευσης την οποία περιγράφουμε εκτενώς στις παράγραφους 9.2 και 9.3, η οποία ξεκινά την επανεκπαίδευσή του πριν η απόκλιση υπερβεί τα μέγιστα ανεκτά επίπεδα συνεπώς το σύστημα παραμένει λειτουργικό.

Μεταβαίνοντας από την εκτίμηση της απόστασης σε αυτή της θέσης

9.1 Η διάταξη προσδιορισμού στίγματος.

Μέχρι το σημείο αυτό έχουμε υπολογίσει τις εκτιμήσεις των αποστάσεων μεταξύ του tag και όλων των διαθέσιμων αναγνώστων. Υποθέτοντας ότι έχουμε N αναγνώστες ($n \geq 3$) για να προσδιορίσουμε με ακρίβεια την θέση του tag χρειάζεται να λύσουμε ένα σύστημα $N \times 3$ (N εξισώσεις, 3 μεταβλητές). Στην γενική περίπτωση το σύστημα αυτό είναι υπέρ-προσδιορισμένο. Επίσης λόγω του σφαλμάτων που προκύπτουν κατά τον υπολογισμό της εκτιμώμενης απόστασης, το σύστημα μας πιθανότατα δεν θα έχει λύση. Οι εξισώσεις μας έχουν την παρακάτω μορφή :

$$^{(9.1)} (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = R_i, i = 0, \dots, N$$

$$^{(9.2)} x^2 + 2xx_i + x_i^2 + y^2 + 2yy_i + y_i^2 + z^2 + 2zz_i + z_i^2 = R_i, i = 0, \dots, N$$

9.1.1 Η αναγωγή του συστήματος μας σε γραμμικό

Όπως παρατηρούμε το σύστημα στην μορφή αυτή δεν είναι γραμμικό. Για να το μετατρέψουμε σε γραμμικό αρκεί να επιλέξουμε μία από τις N εξισώσεις και να την αφαιρέσουμε από όλες τις υπόλοιπες. Υποθέτοντας ότι επιλέγουμε την εξίσωση N το σύστημα που προκύπτει μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$^{(9.3)} (x^2 + 2xx_i + x_i^2 + y^2 + 2yy_i + y_i^2 + z^2 + 2zz_i + z_i^2) - (x^2 + 2xx_N + x_N^2 + y^2 + 2yy_N + y_N^2 + z^2 + 2zz_N + z_N^2) = R_i - R_N, i = 0, \dots, N - 1$$

$$^{(9.4)} 2x(x_i - x_N) + x_i^2 - x_N^2 + 2y(y_i - y_N) + y_i^2 - y_N^2 + 2z(z_i - z_N) + z_i^2 - z_N^2 = (R_i - R_N), i = 0, \dots, N - 1$$

Το σύστημα που περιγράφεται από την εξίσωση 9.4 είναι γραμμικό.

Ωστόσο δεν είναι ισοδύναμο με το αρχικό καθώς μετά την αφαίρεση της επιλεγείσας εξίσωσης τυχών σφάλματα που πιθανώς εμπεριέχονται σε αυτή έχουν διαδοθεί και σε όλες τις υπόλοιπες επηρεάζοντας είτε την τιμή της λύσης του συστήματος είτε και την ύπαρξη της.

$$(9.5) A_i \cdot S_i = B_i, S_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}, i = N$$

Συνεπώς έχουμε καταλήξει σε ένα σύστημα το οποίο μπορούμε να λύσουμε εύκολα (εξ. 9.5) αλλά η λύση του δεν έχει την επιθυμητή ακρίβεια καθώς το σφάλμα του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την «καλή» επιλογή της προς αφαίρεση εξίσωσης, που δεν μπορούμε να εγγυηθούμε. Για να προσπεράσουμε το ζήτημα αυτό χρησιμοποιούμε την τεχνική του leave one out cross-validation ακολουθώντας την εξής διαδικασία :

Επιλέγουμε μια από της εξισώσεις του αρχικού μη γραμμικού συστήματος και την αφαιρούμε από αυτό παίρνοντας ένα νέο γραμμικό σύστημα.

Λύνουμε το σύστημα και βρίσκουμε το διάνυσμα λύσης S_i .

Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία επιλέγοντας μια άλλη εξίσωση για να αφαιρεθεί από το αρχικό σύστημα.

Όταν επαναλάβουμε την διαδικασία N φορές έχουμε N διανύσματα λύσης που έχουν προκύψει από την αφαίρεση N διαφορετικών εξισώσεων από το αρχικό μας σύστημα.

$$(9.6) S_{final} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{n}$$

Τέλος σταθμίζουμε τις λύσεις (εξ. 9.6) που έχουμε βρει μέχρι εκείνη την στιγμή και καταλήγουμε στην τελική λύση του συστήματος μας. Αυτό που επιτυγχάνουμε με την χρήση της μεθόδου αυτής είναι ότι τυχόν μεγάλο σφάλμα σε μία εξίσωση δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της τελικής μας λύσης.

9.1.2 Η λύση του γραμμικού συστήματος

Μέχρι τώρα είχαμε εστιάσει στην μετατροπή του αρχικού μας μη γραμμικού συστήματος σε γραμμικό υποθέτοντας ότι η επίλυση του προκύπτοντος θα είναι απλή. Ωστόσο δεν είναι καθώς το σύστημα που προκύπτει θα είναι υπερπροσδιορισμένο και θα περιέχει θόρυβο συνεπώς πιθανότατα δεν θα έχει ακριβή λύση. Συνεπώς θα πρέπει να υπολογίσουμε μια προσέγγισή της με το μικρότερο συνολικό σφάλμα. Η λύση με το ελάχιστο σφάλμα μπορεί να βρεθεί με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων. Ωστόσο η ταχεία σύγκλιση της μεθόδου εξαρτάται αρκετά από την εύρεση καλού

σημείου εκκίνησης. Συνεπώς θα πρέπει να βρούμε σημείο που θα είναι «καλό» για όλες τις εξισώσεις της μορφής 9.4 που δεν είναι εφικτό. Εναλλακτικά μπορούμε να υπολογίσουμε την QR παραγοντοποίηση του A και βάσει αυτής να λύσουμε το σύστημα.

Παίρνουμε δηλαδή :

$$(9.7) A \cdot P = Q \cdot R$$

Όπου P ένας πίνακας μεταθέσης του A, και εάν m,3 οι διαστάσεις του A, Q πίνακας mxm με ορθοκανονικές στήλες και R άνω τριγωνικός 3x3. Κατόπιν μέσω των Q και R λύνουμε το σύστημα ως εξής:

$$(9.8) Ax = B$$

$$(9.9) Q \cdot R \cdot x = B \quad (\text{μέσω της 9.7})$$

$$(9.10) R \cdot x = Q^T \cdot B \quad (\text{καθώς οι στήλες του Q είναι ορθοκανονικές})$$

$$(9.11) x = R^{-1} Q^T B$$

Μέσω της 9.11 καταλήγουμε σε λύση του γραμμικού μας συστήματος που δεν ελαχιστοποιεί την 2-νόρμα του Ax=B αλλά παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια. Ωστόσο και εδώ για μπορούμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο θα πρέπει να μπορούμε να εγγυηθούμε ότι ο πίνακας R θα είναι αντιστρέψιμος. Για να παρακάμψουμε και αυτό το ζήτημα προχωράμε ως εξής :

Αρχικά επιλέγουμε την μεταβλητή με το μικρότερο πεδίο ορισμού (προφανώς όπως έχουμε διατυπώσει το σύστημα στην 9.4 οι x,y,z έχουν πεδίο τιμών το $(-\infty, +\infty)$ και οι περιορισμοί θα προκύψουν από τα χαρακτηριστικά του χώρου στον οποίο «τρέχει» το σύστημα) έστω η z. Κατόπιν υπολογίζουμε το μέσο του πεδίου αυτού και με αυτό ως σημείο εκκίνησης τρέχουμε την μέθοδο της τέμνουσας με προς ελαχιστοποίηση συνάρτηση την εξής :

$$(9.12) f(z) = B - (A[:,3] \cdot z + A[:,1] \cdot S[1] + A[:,2] \cdot S[2])$$

όπου με (:) συμβολίζουμε όλες τις γραμμές του αντίστοιχου πίνακα και S τη λύση του

$$(9.13) C \cdot S = B - A[:,3] \cdot z$$

όπου C οι δύο πρώτες στήλες του A

Προφανώς και το σύστημα της σχέσης 9.13 είναι υπερπροσδιορισμένο. Επιλέγουμε και πάλι να το λύσουμε με QR παραγοντοποίηση. Ακολουθώντας λοιπόν την διαδικασία όπως την περιγράψαμε και παραπάνω έχουμε :

$$(9.14) Q \cdot R \cdot S = C$$

$$(9.15) R \cdot S = Q^T \cdot C \text{ (καθώς οι στήλες του } Q \text{ είναι ορθοκανονικές)}$$

$$(9.16) S = R^{-1} Q^T C$$

Παρατηρούμε ότι και πάλι χρειάζεται ο υπολογισμός του αντιστρόφου του R. Ωστόσο πλέον έχουμε δύο πλεονεκτήματα : είναι λιγότερο πιθανό ο 2x2 R να μην είναι αντιστρέψιμος και δεύτερον ότι ακόμη και εάν αυτό ισχύει μπορούμε να τον αντικαταστήσουμε με τον Moore-Penrose ψευδοαντίστροφό του στην σχέση 9.16 με πολύ μικρό σφάλμα. Τέλος για να πετύχουμε ταχεία ολοκλήρωση της μεθόδου ορίζουμε συνθήκη τερματισμού την $|z_i - z_{i+1}| < 0.01$ *εύρος του πεδίου ορισμού της z.

9.2 Η εκτίμηση της εμπιστοσύνης

Επιθυμούμε να υπολογίσουμε ένα μέτρο της ακρίβειας με την οποία υπολογίσαμε την θέση του tag. Ιδανικό μέτρο θα ήταν η 2-νόρμα της διαφοράς ανάμεσα στην θέση που υπολογίσαμε και την πραγματική θέση του tag. Οστόσο εάν αυτό δεν είναι tag αναφοράς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την πραγματική του θέση. Επίσης επιθυμούμε ο υπολογισμός του να είναι απλός ώστε να μπορούμε να τον εκτελούμε σε κάθε αναζήτηση και μέσω αυτού να επιτηρούμε την απόδοση του συστήματος. Αρκεί να παρατηρήσουμε ότι εάν όλες οι μετρήσεις από όλα τα δίκτυα είναι ακριβείς τότε το σύστημα 9.1 θα έχει ακριβή λύση την S_{final} . Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε το σφάλμα των μετρήσεων μας μέσω της διαφοράς :

$$d = \sum_{i=1}^N \left| (S_{final_x} - x_i)^2 + (S_{final_y} - y_i)^2 + (S_{final_z} - z_i)^2 - R_i^2 \right|$$

και μέσω αυτής το μέτρο εμπιστοσύνης :

$$t = \frac{1}{1 + d}$$

Είναι προφανές ότι το t παίρνει τιμές μεταξύ [0,1] και μπορούμε εύκολα να επιλέξουμε ένα κατώφλι π.χ. $t_{min} = 0.5$ κάτω από το οποίο θα εκκινούμε την διαδικασία επανεκπαίδευσης.

9.3 Η παραγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Όπως είδαμε και στην παράγραφο 8.3.3 χρειάζεται να υπολογίζουμε δεδομένα με τα οποία θα τροφοδοτούμε τα νευρωνικά δίκτυα για την επανεκπαίδευσή τους. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να έχουν την μορφή : (διάνυσμα πιθανότητων από όλους τους αναγνώστες ,αντίστοιχη απόσταση από τον αναγνώστη i) όπου i το δίκτυο που έχουμε για τον αναγνώστη. Για τον υπολογισμό τους αρκεί να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία : αποστέλουμε στο σύστημα ένα αίτημα ανάγνωσης για κάποιο tag αναφοράς και εκτελούμε για αυτό κανονικά την διαδικασία μέχρι που το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση Locator από εκεί μεταβαίνουμε στην κατάσταση training data. Εκεί υπολογίζουμε την αποστάσεις ανάμεσα στον αναγνώστη i και το tag μέσω της αντικατάστασης των x,y,z με της συντεταγμένες του tag στην i -οστή γραμμή του συστήματος 9.1. Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων εκπαίδευσης αυτά αποστέλονται στα νευρωνικά δίκτυα και το σύστημα επιστρέφει στην κανονική του λειτουργία.

Αποτελέσματα

10.1 Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα παραπάνω βλέπουμε ότι έχουμε επιτυχώς σχεδιάσει μια διάταξη υπολογισμού θέσης για RFID tags βασιζόμενοι μόνο στην πληροφορία που παρέχεται ήδη από τους σημερινούς αναγνώστες εξασφαλίζοντας έτσι καθολική συμβατότητα. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι το ζήτημα θα μπορούσε επιλυθεί αρκετά απλούστερα εάν εκπαιδεύαμε τα νευρωνικά δίκτυα (βλ. παραγραφος 8.3) ώστε να υπολογίζουν απ'ευθείας τις συντεταγμένες του tag και σταθμίζοντας τα αποτελέσματά τους. Ωστόσο η λύση αυτή δεν επιλέχθηκε καθώς με τον υπολογισμό του στίγματος του tag εκτός των δικτύων μπορούμε να έχουμε σαφώς καλύτερη επίβλεψη της λειτουργίας του συστήματος και καθώς το προς επίλυση από τα νευρωνικά δίκτυα είναι μικρότερο απαιτείται σημαντικά μικρότερος χρόνος εκπαίδευσης και συνακόλουθα ταχύτερη προσαρμογή σε μεταβολές του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί το σύστημα. Τέλος βάσει της διαδικασίας που τελικώς επελέχθει μπορούμε να παράγουμε σαφώς καλύτερα δεδομένα εκπαίδευσης για τα νευρωνικά δίκτυα.

Υπάρχουν ακόμη μια σειρά από ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν για την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου όπως η εύρεση της διάταξης των tag αναφοράς που ελαχιστοποιεί το συνολικό σφάλμα του συστήματος ή και η εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος στο πραγματικό περιβάλλον. Για το πρώτο ζήτημα ωστόσο οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι αυτή συνδέεται στενά με τα τοπολογικά χαρακτηριστικά του χώρου στον οποίο θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα συνεπώς ξεφεύγει από το πεδίο ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας. Το δεύτερο ζήτημα προϋποθέτει την πειραματική λειτουργία του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες και αποτελεί θέμα μελλοντικής εργασίας.

Παράρτημα

Στο σημείο αυτό παραθέτουμε τον κώδικα matlab μέσω του οποίου προσομοιώνουμε την λειτουργία των επιμέρους τμημάτων του συστήματος

- `function coil=coil(N,R,d)`
%Calculates a coil's inductance according to it's dimencions
 $m_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$;
 $coil = N^2 \cdot m_0 \cdot R \cdot \log(2 \cdot R/d)$;
- `function Capacity = C(f,N,R,d)`
%Calculates the tags capacitance for given operating frequency and tag coil
%dimensions
 $Capacity = 1 / ((2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot coil(N,R,d))$;
- `function Wmega = w(f)`
%Calculates W according to a given f
 $Wmega = f \cdot 2 \cdot \pi$;
- `function amoibaia_epagwgh=am_ep(N1,N2,R1,R2,x)`
%Calculates the mutual inductance between to coils in distance x
 $m_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$;
 $amoibaia_epagwgh = (m_0 \cdot N_1 \cdot (R_1^2) \cdot N_2 \cdot (R_2^2) \cdot \pi) / (2 \cdot (\sqrt{((R_1^2) + (x^2))^3}))$;
- `function Kappa = k(N1,R1,d1,N2,R2,d2,x)`
%calculates the coupling coefficient for two coils in distance x
 $coil1 = coil(N1,R1,d1)$;
 $coil2 = coil(N2,R2,d2)$;
 $Kappa = am_ep(N1,N2,R1,R2,x) / \sqrt{coil1 \cdot coil2}$;
- `function Voltage = Vi (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2)`
%The voltage inducted to a coil with cirquit resistance Res2
 $Wt = w(freq)$;
 $L2 = coil(N2,R2,d2)$;
 $L1 = coil(N1,R1,d1)$;
 $C2 = C(freq,N2,R2,d2)$;
 $Ka = k(N1,R1,d1,N2,R2,d2,x)$;
 $Voltage = (Wt \cdot Ka \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}) \cdot Ir / \sqrt{(Wt \cdot L2 / Rt + Wt \cdot Res2 \cdot C2)^2 + (1 - Wt^2 \cdot L2 \cdot C2 \cdot Res2 / Rt)^2}$;
- `function Umin=Um(freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2)`
%the minimum inducted woltage to power up a tag with Hmin = Hm

```

Wt = w(freq);
L2 = coil(N2,R2,d2);
C2 = C(freq,N2,R2,d2);
Alpha=2*pi*(R2^2);
m0=1.257*(10^(-6));
Hm=13.9220;
Umin=1/(sqrt((Wt^2)*(L2/Rt + Res2/(((Wt^2)*L2))^2 + (Res2/Rt)^2))/
(Wt*m0*Alpha*N2*Hm));

```

- function H = Htta (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2)
%the voltage inducted to the tag chip

```

Wt = w(freq);
L2 = coil(N2,R2,d2);
C2 = C(freq,N2,R2,d2);
U2 = Vi (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2);
m0=1.257*(10^(-6));
Alpha=2*pi*(R2^2);
H = (U2*sqrt((Wt^2)*(L2/Rt + Res2/((Wt^2)*L2))^2 + (Res2/Rt)^2))/
(Wt*m0*Alpha*N2);
%Rt is the tag load resistance

```

- function Apotelesma = Vsnr(Vs,SNR)
Apotelesma = Vs / 10^(SNR/20);
%Ypologizoume to megisto platos tou thoribou wste na pianoume to min SNR

- function propability= Prop(start,stop)
%calculates the probability a random variable beeing between [start,stopa]
p = normcdf([start stop]);
propability = p(2) - p(1);
%propability = int((1/(sqrt(2*pi)*sigma))*exp(-(x-m)^2/2*(sigma^2)),x,start,stop);

- function Coordinates = LocateCV(RVectors,DVectors)
%Solves a NX2 linear system as described in par. 9.1.2
if (nargin ~=2)
 fprintf('Wrong number of arguments');
 return ;
end
Dim = size(RVectors);
if (Dim(1) ~= 2)
 fprintf('Wrong format of reader arguments (more than 3 dimensions?)');
 return ;
end
M = Dim(2); %The amount of input equations
Dim = size(DVectors);
if (Dim(2) ~= 1)
 fprintf('Wrong format of distance arguments');


```

    return ;
end
if ( Dim(1) ~= M )
    fprintf('Incompatible input vector sizes');
end
for i=1:1:M % The crossvalidation loop
    Rc = RVectors(:,i); %Selecting the reader-driver
    Dc = DVectors(i);
    Rc2 = Rc.^2; % [Xc2 Yc2 Zc2]
    Dc2 = Dc.^2; % Rc2
    Rc2 = sum(Rc2); % Xc2+Yc2+Zc2
    Rtemp = RVectors; %Copy the input vector into a new one
    Rtemp(:,i) = []; %Delete the driver line
    Rt2 = Rtemp.^2; % [Xi2 Yi2 Zi2]
    Rt2 = sum(Rt2); % Xi2+Yi2+Zi2 (rotate?)
    Dtemp = DVectors; %Copy the distance vector into a new one
    Dtemp(i,:) = []; %Delete the driver line
    Dtemp = Dtemp.^2; % Ri2
    B = ones(M-1,1); %B has M-1 lines
    Temp = Rc2 - Dc2; %Temp = (Xc2+Yc2+Zc2) - Rc2
    B = B * Temp; %B has all lines == temp
    B = B + Dtemp - Rt2.'; %B = [ Ri2 - Rc2 + (Xc2+Yc2+Zc2) - (Xi2+Yi2+Zi2) ]
    A1 = ones(M-1,1); %A has M-1 lines
    A = A1 * Rc.'; %A = [Xc Yc Zc] (M-1 columns)
    A = 2*(A - Rtemp. '); %A = [2(Xc-Xi) 2(Yc-Yi) 2(Zc-Zi)]
    A;
    B;
    Solution(i,:) = A \ B ; %Ax = B
end
SolutionAVG = mean(Solution);
Coordinates = SolutionAVG;

    • function Coordinates = LocateFull(RVectors,DVectors,Space)
%Solves the euclidian norm problem using the secant method as an SLE wCV for a
%predetermined Z subspace
if (nargin ~=2 && nargin ~=3)
    fprintf('Wrong number of input arguments')
    return ;
end
Dim = size(RVectors);
if (Dim(1) == 2)
    Coordinates = LocateCV(RVectors,DVectors);
    fprintf('2D problemm. Solving as SLE wCV')
    return ;
end
if (Dim(1) > 3)

```

```

    fprintf('Too many dinencions cannot find good aproximation;')
    Coordinates = [0,0,0];
    return ;
end
M = Dim(2); %The amount of input equations
Dim = size(DVectors);
if (Dim(2) ~= 1)
    fprintf('Wrong format of distance arguments')
    return ;
end
if ( Dim(1) ~= M )
    fprintf('Incompatible input vector sizes')
end
if (nargin == 2)
    fprintf('No space')
    Xcur = 0
    Xpre = 0.1;
else
    Xcur = Space(1); %Xk
    Xpre = 0; %Xk-1
end
Temp = LocateX(RVectors,DVectors,Xpre); %F(Xk-1) *****
Fpre = Temp(1);
count = 0;
while ((abs(Xcur - Xpre)) > 0.01)
    count = count + 1;
    Xpre2 = Xpre; %Xk-2 = Xk -1
    Xpre = Xcur; %Xk -1= Xk
    Fpre2 = Fpre;
    Temp = LocateX(RVectors,DVectors,Xpre); % *****
    Fpre = Temp(1)
    Down = Fpre - Fpre2
    if (Down == 0)
        fprintf('Add exeption handler')
        Coordinates = [Temp(2) Temp(3) Xpre];
        return;
    end
    Xcur = Xpre - Fpre*(Xpre - Xpre2)/Down
end
count
Coordinates = [Temp(2) Temp(3) Xpre];

    • function couple = Trainer(width,length,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2,SNR)
%Creates a training data set for our neural network
Frequency =(125 * 10^3);

```

```

Pinit = 42 % 42dmA/m is the maximum allowed transmission power according to existing
regulations
positionX = [0];
positionY = [0];
grain = 0.05;
MinVoltage = Um(Frequency,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2); % The minimum voltage
induced on the chip to ensure operation
%[Frequency, Pinit,positionX,positionY,grain] = textread(input, '%d*[\n] %d*[\n]
%f*[\n] %f*[\n] %f*[\n]', 1);
i2=0;
for m=0:grain:length
    i2 = i2 + 1;
end
j2 = 0;
for m=0:grain:width
    j2 = j2 + 1;
end
Temp = zeros(j2,i2);
Temp2 = zeros(j2,i2);
Temp3 = zeros(j2,i2);
for i=1:1:1
    Temp =
max(Temp,VoltageVector(positionX(i),positionY(i),length,width,grain,Frequency,N1,R1
,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2));
end
for i=1:1:1
    Temp3 =
max(Temp3,SNRVector(positionX(i),positionY(i),length,width,grain,Frequency,N1,R1,d
1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2,SNR));
end
Xlabel=1:1:j2;
Ylabel=1:1:i2;
for pass1=1:1:j2
    for pass2=1:1:i2
        Temp2(pass1,pass2)= MinVoltage;
    end
end
Temp = Temp - Temp2;% Vinducted - minOperational Voltage
for pass1=1:1:j2
    for pass2=1:1:i2
        if (Temp(pass1,pass2) < (-Temp3(pass1,pass2))) Temp(pass1,pass2) = Prop(-
Temp3(pass1,pass2),Temp3(pass1,pass2));
        elseif ( (-Temp3(pass1,pass2)) < Temp(pass1,pass2) && Temp(pass1,pass2) <
Temp3(pass1,pass2))
            Temp(pass1,pass2) = Prop(Temp(pass1,pass2),Temp3(pass1,pass2));
        else Temp(pass1,pass2) = Prop(Temp3(pass1,pass2),Temp(pass1,pass2));
    end
end

```

```
        end
    end
end
P = Temp;
for pass1=1:i2
    for pass2=1:i2
        T(pass1,pass2) = sqrt( (positionX(i) - (pass2*grain) )^2 + (positionY(i) -
(pass1*grain) )^2 );
    end
end
couple = [ P;T ];
```

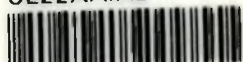
Βιβλιογραφία

- [1] Reasoning about Uncertainty in Location Identification with RFID
by James Brusey, Christian Floerkemeier, Mark Harrison, Martyn Fletcher
- [2] A Feasibility study of new RFID Applications *by Trond Henning Johansen , Ørnulf Storm*
- [3] Gauss-Sigmoid Neural Network *by Katsunari SHIBATA and Koji ITO , Tokyo Institute of Technology, Yokohama, JAPAN*
- [4] A wireless LAN-based indoor positioning technology *by Z. Xiang, S. Song, J. Chen, H. Wang, J. Huang, and X. Gao , IBM Journal of Research and Development*
- [5] Two New Algorithms for Indoor Wireless Positioning System (WPS) *by Yufei Wang, Xiaodon Jia, Chris Rizos School of Surveying and Spatial Information Systems University of New South Wales, Sydney, Australia*
- [6] Positioning using time-difference of arrival measurements *by Fredrik Gustafsson and Fredrik Gunnarsson Department of Electrical Engineering Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden*
- [7] Exact Solution for Three Dimensional Hyperbolic Positioning Algorithm and Synthesizable VHDL Model for Hardware Implementation *by Ralph Bucher New Jersey Center for Wireless and Telecommunication Department of Electrical and Computer Engineering New Jersey Institute of Technology*
- [8] HTRC11001T HITAG reader chip product specification 2001 Nov 23 *Philips Semiconductors*
- [9] HT2DC20S20 HITAG 2 stick transponder 2001 Oct 01 *Philips Semiconductors*
- [10] Auto-ID Labs. <http://www.autoidlabs.org>.

- [11] **Ubiquitous Computing – Computing in Context** *by Albrecht Schmidt Lancaster University, UK*
- [12] **RFID STANDARDS** *by Sam Aghigh Systems Manager, R. Moroz Limited April 28, 2004*
- [13] **Radio Frequency Identification Systems in our Daily Lives** *by Gildas AVOINE Mobile Information and Communication Systems, Annual Workshop July 6-7, 2004, Zurich, Switzerland*
- [14] **System model for Inductive ID systems** *by Nedap General R&D*
- [15] **Manual for IISIM** *by NEDAP General R&D*



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085895