



Εντοπισμός θέσης μέσω συστήματος GPS-GSM



Κωδικός:09119ΥΣ

Όνοματεπώνυμο: 1-ΣΥΜΕΟΥ ΣΙΜΟΣ (503702)
2-ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ(504206)

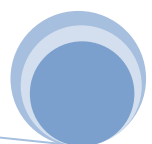
Υπεύθυνος Καθηγητής: ΒΑΣΣΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Ημ ανάληψης:20/02/2009
Ημ. Παράδοσης: 06/09/2010



Περιεχόμενα:

Πρόλογος.....	1
Περίληψη.....	2
Summary.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	4
1.1 Εισαγωγή-Γενικές αρχές.....	4
1.2 Γεωμετρική μέθοδος προσδιορισμού θέσης.....	5
1.3 Νόμοι του Kepler.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	12
2.1 Το σύστημα GPS.....	12
2.2 Δορυφορικό τμήμα.....	14
2.3 Δορυφορικά σήματα συστήματος GPS.....	16
2.4. Χρονόμετρα Δορυφόρων-Χρόνος συστήματος.....	18
2.5. Σφάλματα του Συστήματος Δορυφορικού Εντοπισμού Θέσης.....	18
2.6. Δορυφορικοί Δέκτες.....	20
2.7. Περιγραφή άλλων δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	26
3. Τι είναι κινητή τηλεφωνία.....	26
3.1. Τι είναι GSM.....	26
3.2. Ζώνες Συχνοτήτων.....	27
3.3. Αρχιτεκτονική.....	30



3.4. Handover - Αλλαγή κυψέλης.....	32
3.5. Χωρητικότητα Δικτύων GSM – Erlang.....	33
3.6. Πιστοποίηση και Ασφάλεια.....	34
3.7. Υπηρεσίες Δικτύου.....	35
3.8. Πριν το GSM - 1η Γενιά.....	40
3.9. Κάρτα SIM	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	42
4. ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	42
4.1. Γενικά χαρακτηριστικά.....	42
4.2. Διαστάσεις	43
4.3. Συχνότητες λειτουργίας.....	45
4.4. Κεραία.....	45
4.5. Τροφοδοσία.....	45
4.6. Οθόνη.....	46
4.7. Σχεδιασμός κυκλωμάτων στην πλακέτα.....	47
4.8. Τελική μορφή κατασκευής.....	51
4.9. Κεντρικός επεξεργαστής.....	51
4.10. Λογισμικό προγραμματισμού.....	54
Επίλογος.....	60
Βιβλιογραφία.....	61
Διαδικτυακές πηγές.....	61



Πρόλογος

Στις μέρες μας, η κλοπή οχημάτων και γενικότερα οι κλοπές είναι ένα καθημερινό φαινόμενο.

Με το φόβο για το δικό μας όχημα, αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε κάτι πρωτότυπο για να έχουμε από το σπίτι την ακριβή τοποθεσία του οχήματος μας οποιαδήποτε ώρα και στιγμή θέλουμε.

Η μελέτη, ανάπτυξη και κατασκευή της πτυχιακής μας εργασίας καλύπτει ένα μεγάλο μέρος των γνώσεών μας που διδαχτήκαμε ενώ φοιτούσαμε στο τμήμα ηλεκτρονικής, όπως θα αναλύσουμε στις ακόλουθες σελίδες.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε και θα υλοποιήσουμε ένα πλήρες σύστημα προστασίας οχημάτων το οποίο θα είναι τοποθετημένο μέσα στο όχημα χωρίς να ξέρει κανένας ότι υπάρχει τέτοιο σύστημα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η χρήση της τεχνολογίας GSM και της τεχνολογίας παγκόσμιου εντοπισμού θέσης GPS οι οποίες παρέχουν ανά πάσα στιγμή στον ιδιοκτήτη την δυνατότητα παρακολούθησης του οχήματος του.

Η πτυχιακή αυτή χωρίζεται σε τέσσερα μεγάλα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο έχουμε την εισαγωγή και γενικές αρχές για τις λειτουργίες του συστήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη και λειτουργία του GPS πότε το ανακάλυψαν και πώς εξελίχτηκε.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάμε την κινητή τηλεφωνία GSM , πώς λειτουργεί η κυψελοειδής δομή, η ζώνη συχνοτήτων και η αρχιτεκτονική του.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής μελέτη και ανάλυση για το πώς λειτουργεί η πλακέτα μας και πώς καταφέραμε να την φέρουμε εις πέρας στην τελική της μορφή.

Summary

In this paper we will study and implement a comprehensive system for protecting vehicles. The system is designed to be set up in the vehicle, without other people knowing its existence. The biggest advantage of having such a system relates to the fact that it makes use of the Global System for Mobile Communications (GSM), as well as Global Positioning System (GPS) technologies. These services allow the owner to locate and observe their vehicle at any time.

This thesis consists of four main chapters.

The first chapter serves as an introduction to the thesis and sets out the general principles of the system's functions.

In the second chapter, the emergence and development of GPS is examined.

In the third chapter, we look into GSM; how the cellular structure works, the frequency bands and its architecture.

In the final chapter, a detailed analysis of how our pcb board works is carried out. Also, we discuss how we managed to get it in its final form.

1.1 Εισαγωγή-Γενικές αρχές

Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS, GLONASS, Galileo) δίνουν την δυνατότητα σε απεριόριστο αριθμό χρηστών να έχουν ακριβή καθορισμό θέσης, ταχύτητας και διεύθυνσης κίνησης, σε οποιοδήποτε σημείο της Γης, κάτω από οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες, μέρα και νύκτα.

Τα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσης, καθορίζουν την θέση ενός σημείου πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης με την βοήθεια δορυφόρων. Οι τροχιές των δορυφόρων είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε ένας δέκτης να μπορεί να παρατηρεί τουλάχιστον 4 δορυφόρους κάθε χρονική στιγμή και σε οποιοδήποτε σημείο.

Αντίθετα με τα επίγεια συστήματα ναυτιλίας, όπου οι σταθμοί εκπομπής του συστήματος είναι σταθεροί και βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, στα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσης οι σταθμοί εκπομπής, οι δορυφόροι, δεν έχουν σταθερή θέση, αλλά μεταβάλλουν την θέση τους συνεχώς, λόγω του ότι κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές. Για το λόγο αυτό πρέπει για εφαρμογή των γενικών αρχών καθορισμού θέσης κάποιου σημείου μέσω δορυφόρου, να προσδιορίζεται σε κάθε χρονική στιγμή η ακριβής θέση των δορυφόρων με βάση τους νόμους του Kepler.

Ο δορυφορικός προσδιορισμός της θέσης ενός συγκεκριμένου σημείου στην επιφάνεια της γης είναι βασισμένος στις πιο κάτω αρχές:

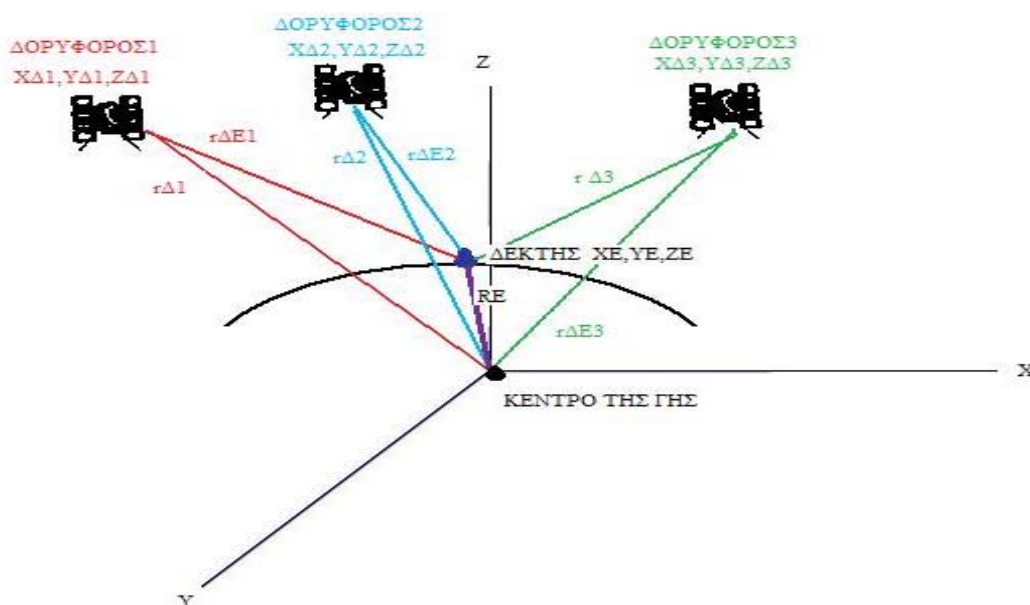
- > Οι δορυφόροι είναι πομποδέκτες ραδιοσημάτων.
- > Οι δορυφορικοί δέκτες λαμβάνουν τα ραδιοσήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι.
- > Η θέση του δέκτη προκύπτει ύστερα από επεξεργασία των λαμβανόμενων ραδιοσημάτων και καθορίζεται σε σχέση με τις ακριβείς θέσεις των δορυφόρων.

1.2 Γεωμετρική μέθοδος προσδιορισμού θέσης

Οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα προσδιορισμού θέσης είναι :

1.2.1 Μέθοδος μέτρησης απόστασης δέκτη-δορυφόρων

Στη μέθοδο αυτή οι συντεταγμένες X_E, Y_E, Z_E ενός δέκτη καθορίζονται από το διάνυσμα RE του δέκτη, το οποίο έχει σαν αρχή το κέντρο μάζας της Γης, όπου είναι και η αρχή των αξόνων X, Y, Z και τέλος την θέση που βρίσκεται ο δέκτης (E). Οι συντεταγμένες $X_{1\Delta}, Y_{1\Delta}, Z_{1\Delta}$, $X_{2\Delta}, Y_{2\Delta}, Z_{2\Delta}$ και $X_{3\Delta}, Y_{3\Delta}, Z_{3\Delta}$ των δορυφόρων προσδιορίζονται από τα διανύσματα $\rho_{1\Delta}, \rho_{2\Delta}$ και $\rho_{3\Delta}$ αντίστοιχα, τα οποία έχουν αρχή τους το κέντρο μάζας της Γης και σαν τέλος τις θέσεις $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ των δορυφόρων. Τα $r_{\Delta E1}, r_{\Delta E2}$ και $r_{\Delta E3}$ είναι τα διανύσματα της απόστασης μεταξύ δέκτη και του κάθε δορυφόρου αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα πιο πάνω, η θέση X_E, Y_E, Z_E του δορυφορικού δέκτη μπορεί να προσδιοριστεί όταν γνωρίζουμε το διάνυσμα θέσης r_{Δ} κάποιου δορυφόρου Δ και το διάνυσμα της απόστασης $r_{\Delta E}$ του δορυφόρου με τον δέκτη. Όταν είναι γνωστά π.χ. τα $r_{\Delta 1}$ και $r_{\Delta E1}$, τότε το διάνυσμα θέσης του δέκτη είναι :

$$RE = r_{\Delta 1} - r_{\Delta E1}$$


Σχ.1 Διάνυσμα θέσης του δέκτη.

Με βάση την πιο πάνω σχέση, για να προσδιοριστεί το διάνυσμα θέσης RE του δέκτη, πρέπει να είναι γνωστές οι αποστάσεις από 3 δορυφόρους. Η μέτρηση της απόστασης του κάθε δορυφόρου από τον δέκτη γίνεται με την μέτρηση του χρόνου διάδοσης των σημάτων που εκπέμπονται από τους δορυφόρους, πολλαπλασιασμένη με την ταχύτητα διάδοσης, από χρονόμετρα υψηλής ακρίβειας τα οποία υπάρχουν και στους δορυφόρους και στους δορυφορικούς δέκτες. Τα χρονόμετρα των δορυφόρων παράγουν μεταβαλλόμενους παλμοκώδικες που εκπέμπονται μαζί με τα δορυφορικά σήματα. Από την άλλη, τα χρονόμετρα των δεκτών αποκωδικοποιούν τα λαμβανόμενα δορυφορικά σήματα, τα οποία περιέχουν όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της θέσης.

1.2.2 Μέτρηση Ψευδοαποστάσεων

Για να μετρηθεί ο χρόνος διάδοσης των σημάτων που εκπέμπονται από τους δορυφόρους, ο δέκτης παράγει ένα ακριβές αντίγραφο του σήματος και υπολογίζεται ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται ώστε να ταυτιστεί με το δορυφορικό σήμα. Ο χρόνος ταύτισης πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα του φωτός και μετατρέπεται σε μια ψευδοαπόσταση. Ο χρόνος όμως ο οποίος χρειάζεται το σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο στον δέκτη περιέχει και σφάλματα, όπως οι καθυστερήσεις λόγω μη ακριβούς συντονισμού των ρολογιών των δορυφόρων και του δέκτη και η διάθλαση των κυμάτων στην ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα. Για τους λόγους αυτούς γίνεται και μια τέταρτη μέτρηση από άλλο δορυφόρο ώστε να προσδιοριστούν τα σφάλματα.

Το σφάλμα Σ και οι συντεταγμένες X, Y, Z του δέκτη υπολογίζονται από την επίλυση του παρακάτω συστήματος τεσσάρων εξισώσεων :

$$R^2_1 = [(\Delta t_1 - \Sigma) \cdot c]^2 = (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2$$

$$R^2_2 = [(\Delta t_2 - \Sigma) \cdot c]^2 = (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2$$

$$R^2_3 = [(\Delta t_3 - \Sigma) \cdot c]^2 = (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2$$

$$R^2_4 = [(\Delta t_4 - \Sigma) \cdot c]^2 = (X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2$$

Όπου: $R_{1,2,3,4}$ είναι οι ψευδοαποστάσεις από τους 4 δορυφόρους, $X_{1,2,3,4}$, $Y_{1,2,3,4}$, $Z_{1,2,3,4}$ οι θέσεις των δορυφόρων και c η ταχύτητα διάδοσης των ραδιοκυμάτων.

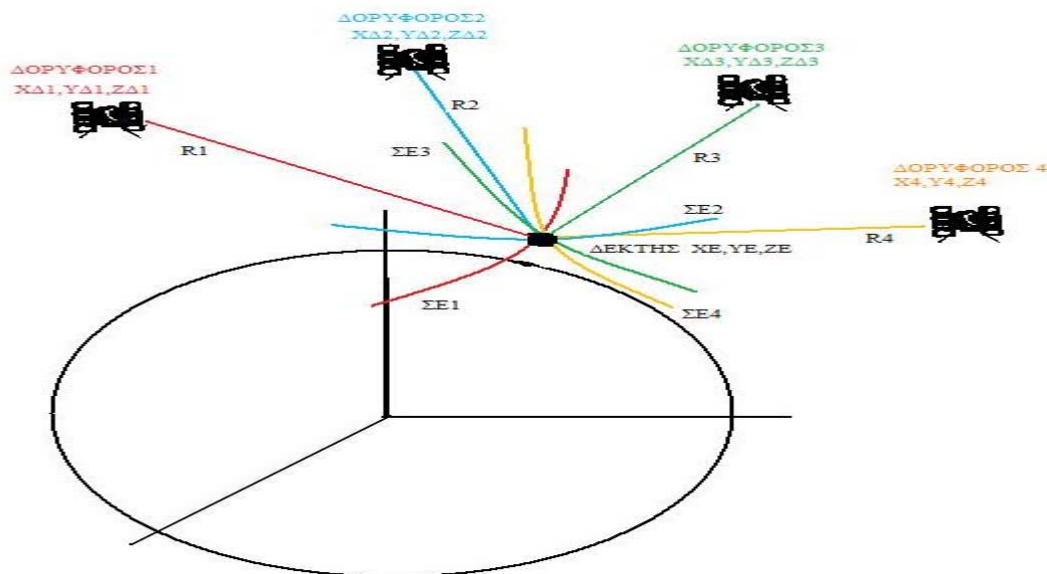
1.2.3 Στίγμα 3 διαστάσεων

Με την μέτρηση των αποστάσεων του δέκτη από τους 4 δορυφόρους, οι συντεταγμένες X, Y, Z του δέκτη μετατρέπονται σε γεωδαιτικές συντεταγμένες και η θέση του δέκτη καθορίζεται από την τομή τεσσάρων σφαιρικών επιφανειών, που έχουν κέντρο την θέση του κάθε δορυφόρου και ακτίνα την απόσταση μεταξύ δέκτη- κάθε δορυφόρου.

1.2.4 Στίγμα 2 διαστάσεων

Όταν ένας δέκτης βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας, για τον καθορισμό θέσης απαιτούνται 3 δορυφόροι (αντί 4).

Η θέση του δέκτη καθορίζεται από την τομή των σφαιρικών επιφανειών των 3 δορυφόρων και μιας τέταρτης σφαιρικής επιφάνειας, που έχει σαν κέντρο το κέντρο της γης και ακτίνα ίση με την ακτίνα της γης.



Σχ.2 Απόσταση δορυφόρων γης.

1.3 Νόμοι του Kepler

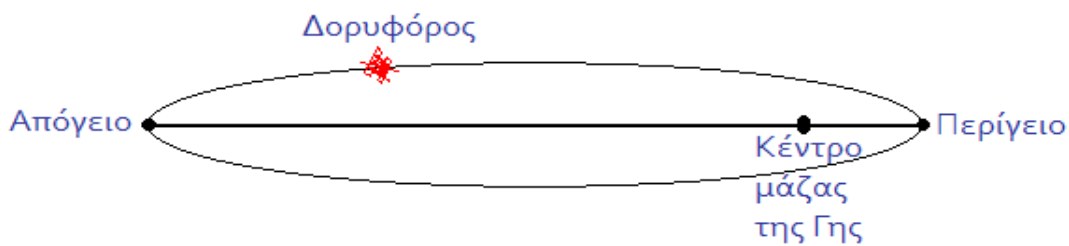
Ο προσδιορισμός της θέσης των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται στα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης βασίζεται στους νόμους του Kepler. Οι

νόμοι του Kepler δίνουν παραμέτρους για τον προσδιορισμό των θέσεων των δορυφόρων. Στην πράξη όμως, οι τροχιές των δορυφόρων αποκλίνουν ελάχιστα από τις τροχιές βάση των νόμων του Kepler λόγω της ατμοσφαιρικής τριβής και της πίεσης λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.3.1 1ος Νόμος του Kepler

Η τροχιά που εκτελεί κάθε δορυφόρος, ο οποίος κινείται γύρω από την Γη, είναι ελλειπτική, της οποίας η μια εστία είναι το κέντρο μάζας της Γης.

Το σημείο της δορυφορικής τροχιάς που η απόσταση του βρίσκεται κοντά στην γη ονομάζεται περίγειο ενώ το σημείο της δορυφορικής τροχιάς που βρίσκεται μακριά από τη γη ονομάζεται απόγειο.



Σχ.3

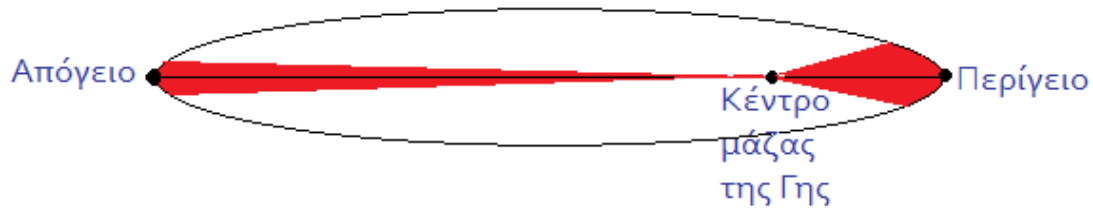
Τροχιά της γης.

Σχεδιαστική επεξήγηση του 1ου Νόμου του Kepler

1.3.2 2ος Νόμος του Kepler

Το διάνυσμα κάθε δορυφόρου που κινείται σε ελλειπτική τροχιά, το οποίο έχει αρχή το κέντρο μάζας της γης και τέλος την αντίστοιχη θέση του δορυφόρου, (η οποία ονομάζεται επιβατική ακτίνα) διαγράφει ίσα εμβαδά σε ίσους χρόνους.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα διανύσματα δεν έχουν μεν σταθερό ύψος, αφού παίρνουν μέγιστη ακτίνα στο απόγειο και ελάχιστη στο περίγειο, αλλά η ταχύτητα του κάθε δορυφόρου είναι μεγαλύτερη όταν βρίσκεται στο περίγειο και μικρότερη όταν είναι στο απόγειο. Επομένως τα τόξα είναι άνισα μεταξύ τους, αλλά με ίσα εμβαδά, ανάλογα με τους χρόνους στους οποίους γράφονται.



Σχ.4 Τροχία της γης.

Σχεδιαστική επεξήγηση του 2ου Νόμου του Kepler

1.3.3 3ος Νόμος του Kepler

Τα τετράγωνα των χρόνων των δορυφορικών περιφορών είναι ανάλογα των κύβων των διανυσμάτων με αρχή το κέντρο μάζας της γης και τέλος την εκάστοτε θέση του κάθε δορυφόρου.

$$(T^2/a^3)=(4\pi^2/\mu)$$

όπου: το μ είναι η σταθερά παγκόσμιας έλξης επί την μάζα της Γης.

Βάση του νόμου αυτού, αν είναι γνωστός ο χρόνος που χρειάζεται ένας δορυφόρος για να συμπληρώσει μια περιφορά γύρω από την Γη, τότε μπορεί να βρεθεί η μέση απόσταση του δορυφόρου από την Γη.

1.3.4 Προσδιορισμός της κίνησης ενός δορυφόρου

Με βάση τους 3 Νόμους του Kepler, ο προσδιορισμός της κίνησης ενός δορυφόρου ορίζεται από τα παρακάτω κεπλέρια στοιχεία:

- > την ορθή αναφορά του συνδέσμου ανάβασης N , δηλαδή την γωνία που σχηματίζει ο σύνδεσμος ανάβασης με τον άξονα x
- > \square το μέτρο του περιγείου ω
- > \square την κλίση της τροχιάς i τα οποία προσδιορίζουν τον προσανατολισμό της δορυφορικής τροχιάς,
- > τον μεγάλο ημιάξονα a και

- > την εκκεντρότητα e τα οποία προσδιορίζουν το ακριβές γεωμετρικό σχήμα και τις διαστάσεις της έλλειψης, και
- > τον χρόνο t_p στον οποίο διανύει ο δορυφόρος το περίγειο.

Το μέτρο του περιγείου ω και η αληθής ανωμαλία f , δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από την επιβατική ακτίνα του δορυφόρου και την διεύθυνση του περιγείου μας δίνει το πλάτος του δορυφόρου.

$$u = \omega + f$$

Με βάση τα πιο πάνω κεπλέρια στοιχεία και με :

- > την αληθή ανωμαλία f ,
- > την έκκεντρη ανωμαλία E
- > και την μέση ανωμαλία M

μπορεί να προσδιοριστεί η θέση ενός δορυφόρου σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η αληθής ανωμαλία f είναι η γωνία που είναι η γωνία που σχηματίζεται από την επιβατική ακτίνα του δορυφόρου και την διεύθυνση του περιγείου. Η μέση ανωμαλία M είναι μια γωνία σε κυκλική δορυφορική τροχιά η οποία μεταβάλλεται με τον χρόνο σύμφωνα με την σχέση:

$$M = n(t - t_p)$$

όπου: n είναι η μέση κίνηση (ταχύτητα) του δορυφόρου και $n = 2\pi/T$ (T είναι η περίοδος του δορυφόρου) και t_p ο χρόνος διέλευσης του δορυφόρου από το περίγειο.

Η ακριβής θέση ενός δορυφόρου προσδιορίζεται από την επιβατική ακτίνα r και την αληθή ανωμαλία f συναρτήσει του χρόνου.

Η εξίσωση της δορυφορικής τροχιάς είναι:

$$\begin{bmatrix} a(1-e^2)/(1-e \cdot \cos f) \\ [\cos f] \\ [\sin f] \\ [0] \end{bmatrix}$$

όπου:

a είναι ο μεγάλος ημιάξονας της έλλειψης,
 r η επιβατική ακτίνα του δορυφόρου
 φ η αληθής ανωμαλία και
 e η εκκεντρότητα της ελλειπτικής τροχιάς.

2.1 Το σύστημα GPS

ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1.1 Τι είναι το σύστημα εντοπισμού θέσης

Από πολύ παλιά, στα αρχαία ακόμη χρόνια, οι άνθρωποι έψαχναν τρόπους για τον προσανατολισμό τους ώστε να βρουν τη σωστή πορεία τους. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούσαν τα σημεία του ορίζοντα, ή ακόμη και τα αστέρια. Για παράδειγμα, ένα σταθερό άστρο, με γνωστή γεωγραφική θέση ως προς το σημείο παρατήρησης, αποτελούσε σημείο αναφοράς για τους ταξιδιώτες. Αργότερα, καθώς οι επιστήμες και η τεχνολογία αναπτύσσονταν, καινούρια μέσα προσανατολισμού, όπως η πυξίδα, συνέβαλαν στην διευκόλυνση οδοιπόρων και ναυτικών, αν και ακόμη όλα ήταν σε πολύ πρώιμο στάδιο.



Ένα σύστημα εντοπισμού (Tracking System) συνδυάζει τρεις πρωτοποριακές τεχνολογίες: το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM, το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GPS καθώς επίσης και το διαδίκτυο (Internet). Η τοποθεσία της συσκευής εντοπισμού μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο στο διακομιστή (server) της εταιρίας μας, ο οποίος είναι υπεύθυνος να παρακολουθεί αν υπάρχουν νέες αιτήσεις εντοπισμού και αν έχουν έρθει νέα μηνύματα με GPS περιεχόμενο. Ο server της εταιρίας μας επίσης αναλαμβάνει όλη τη δουλειά της διαχείρισης SMS μηνυμάτων και των στιγμάτων εντοπισμού. Η υπηρεσία εντοπισμού (π.χ. eyetrace.gr) αναλαμβάνει τη δουλειά της οπτικοποίησης των δεδομένων στο χάρτη (π.χ. Google Maps) και της διεπαφής μεταξύ χρήστη και συστήματος για νέες αιτήσεις εντοπισμού (trace requests). Συνοπτικά, ο χρήστης συνδέεται στο σύστημα μέσω της eyetrace υπηρεσίας (λογισμικό) από όπου μπορεί να υποβάλει νέες αιτήσεις εντοπισμού της συσκευής GPS εντοπισμού (υλικό) που έχει προμηθευτεί από το ηλεκτρονικό μας κατάστημα. Το σύστημα είναι υπεύθυνο να "ζητήσει" από την συσκευή εντοπισμού μέσω του δικτύου GSM να του φέρει την τοποθεσία της συσκευής, το οποίο στη συνέχεια αναλαμβάνει να αναζητήσει από

τους δορυφόρους το στίγμα μέσω του συστήματος GPS και να το μεταδώσει πίσω στο διακομιστή μας μέσω του δικτύου GSM. Η υπηρεσία eyetrace.gr στη συνέχεια οπτικοποιεί αυτή τη πληροφορία (GPS στίγμα) στο χάρτη, μαζί με κάποιες επιπλέον πληροφορίες, όπως ώρα, ταχύτητα και ισχύ σήματος. Το σύστημα εντοπισμού eyetrace.gr αποτελεί στην πραγματικότητα μια πλατφόρμα για Υπηρεσίες Βασισμένες στην Τοποθεσία (Location Based Services - LBS). Ο σχεδιασμός του συστήματος εντοπισμού eyetrace έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει ταυτόχρονα αιτήματα από πολλαπλούς χρήστες την ίδια χρονική στιγμή. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να επεκταθεί σε μεγάλο αριθμό χρηστών (large-scale) με σκοπό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μεγάλες εταιρίες με πολλούς χρήστες.

2.1.2 ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, ο Άγγλος ωρολογοποιός Τζον Χάρισσον (John Harrison), ύστερα από προσπάθειες πολλών χρόνων, κατασκεύασε το γνωστό σημερινό χρονόμετρο, για το οποίο κέρδισε τελικά το χρηματικό ποσό των £10,000. Την τότε εποχή αποτέλεσε πολύ σημαντικό όργανο πλοήγησης για τον υπολογισμό πορείας, ειδικότερα των ναυτικών.

Πολλά χρόνια μετά, κάπου στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, δημιουργήθηκαν τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονταν σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραντάρ). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, καθώς χρησιμοποιούνται και σήμερα. Τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσης αποτελούνταν από ένα δίκτυο σταθμών βάσης και κατάλληλους δέκτες.

Ανάλογα με την ισχύ του σήματος που λάμβανε κάθε δέκτης από σταθμούς γνωστής γεωγραφικής θέσης, σχηματίζονταν δύο ή περισσότερες συντεταγμένες, μέσω των οποίων προσδιοριζόταν η θέση των σημείων ενδιαφέροντος επάνω σε ένα χάρτη. Συχνά, δημιουργούνταν διάφορα προβλήματα, όπως χαμηλή εμβέλεια εντοπισμού ή χαμηλή ακρίβεια τοποθέτησης.

Το αμερικανικό σύστημα GPS είναι το μοναδικό σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσης που είναι πλήρως λειτουργικό σήμερα, γι' αυτό και θα γίνει

αναλυτικότερη αναφορά σε αυτό. Αποτελείται από ένα σύστημα 24 δορυφόρων και παρέχει στους χρήστες του ακριβείς πληροφορίες θέσης, ταχύτητας κατεύθυνσης κίνησης και ώρας σε οποιοδήποτε σημείο της γης και ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών, αρκεί ο δέκτης GPS να βρίσκεται σε ανοικτό χώρο, ώστε να υπάρχει οπτική επαφή με τους δορυφόρους.

2.1.3 Περιγραφή δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης GPS

Το δορυφορικό σύστημα GPS αποτελείται από 3 κύρια τμήματα:

- >το δορυφορικό τμήμα
- >το τμήμα ελέγχου
- >το τμήμα χρηστών

2.2 Δορυφορικό τμήμα

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από 24 βασικούς και 3 εφεδρικούς δορυφόρους σε ύψος περίπου 21000Km , οι οποίοι βρίσκονται σε 6 τροχιακά επίπεδα, με κλίση 55° με το επίπεδο του Ισημερινού και γωνία 60° μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται παγκόσμια κάλυψη της τάξης του 99%, ώστε έτσι ένας δέκτης να μπορεί να βλέπει τουλάχιστον 4 δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο της Γης. Κάθε δορυφόρος περιλαμβάνει 4 υψηλής ακρίβειας ρολόγια (χρονόμετρα) καθώς και άλλα, υψηλής τεχνολογίας ηλεκτρονικά συστήματα. Το ένα χρονόμετρο του δορυφόρου, που είναι το βασικό, χρησιμοποιείται για την παραγωγή της θεμελιώδους συχνότητας των 10,23MHz, ενώ τα άλλα 3 είναι εφεδρικά.



Σχ.5 Κύρια μέρη δορυφορικού συστήματος GPS.

2.2.1 Τμήμα Ελέγχου

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από 1 κύριο επίγειο σταθμό ελέγχου και 5 επίγειους σταθμούς ελέγχου και παρακολούθησης του συστήματος, οι οποίοι καταγράφουν:

>τις μετρούμενες ψευδοαποστάσεις των δορυφόρων και την ταχύτητα μεταβολής τους στις συχνότητες L1 και L2 (1575,42MHz και 1227,6MHz αντίστοιχα)

>τον χρόνο των χρονομέτρων (ατομικά ρολόγια) των δορυφόρων

>μετεωρολογικά στοιχεία

και τα μεταδίδουν στον κύριο σταθμό ελέγχου.

Ο κύριος σταθμός ελέγχου υπολογίζει τις τροχιές των δορυφόρων και τις αποκλίσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων, αλλά και τις αποκλίσεις των 5 σταθμών ελέγχου-παρακολούθησης. Ανάλογα με τις αποκλίσεις γίνονται οι κατάλληλες διορθώσεις και στέλνονται στους δορυφόρους για να γίνει ρύθμιση των παραμέτρων τους κάθε 8 ώρες. Ρυθμίσεις-διορθώσεις στους δορυφόρους μπορούν να κάνουν μόνο 3 από τους 5 σταθμούς ελέγχου και παρακολούθησης. Για να βελτιωθεί περισσότερο το σύστημα, τα τελευταία χρόνια συνδέθηκαν άλλοι 11 επίγειοι σταθμοί των ΗΠΑ στο σύστημα GPS.

2.2.2 Τμήμα Χρηστών

Το τμήμα χρηστών αποτελείται από όλους τους δέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν το σύστημα, για πολιτικούς, στρατιωτικούς ή άλλους σκοπούς. Οι δέκτες λαμβάνουν, επεξεργάζονται και αποθηκεύουν δορυφορικές μετρήσεις για προσδιορισμό θέσης, ταχύτητας και χρόνου με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Όλοι οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν μια βάση δεδομένων, που ονομάζεται almanac και περιλαμβάνει όλες τις βασικές τροχιές των δορυφόρων του συστήματος. Το σύστημα GPS βρίσκει εφαρμογή σε στρατιωτικούς σκοπούς, αφού αυτός ήταν και ο πρωταρχικός λόγος σχεδιασμού του, σε πολιτική χρήση για καθορισμό στίγματος, καταγραφή πορείας, πλοήγηση και μέτρηση ταχύτητας σε θαλάσσια σκάφη, αεροσκάφη, οχήματα εδάφους, για επιχειρησιακούς σκοπούς όπως ομάδες διάσωσης και δυνάμεις ασφαλείας και σε γεωδαιτικές, τοπογραφικές και χαρτογραφικές εφαρμογές.

2.3. Δορυφορικά σήματα συστήματος GPS

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει δύο φέρουσες συχνότητες, την L1 που είναι 1575,42MHz και την L2 που είναι 1227,6MHz και οι οποίες παράγονται από την θεμελιώδη συχνότητα των 10,23MHz που παράγουν τα χρονόμετρα των δορυφόρων.

$$L1=154 \cdot 10,23\text{MHz}=1575,42\text{MHz}$$

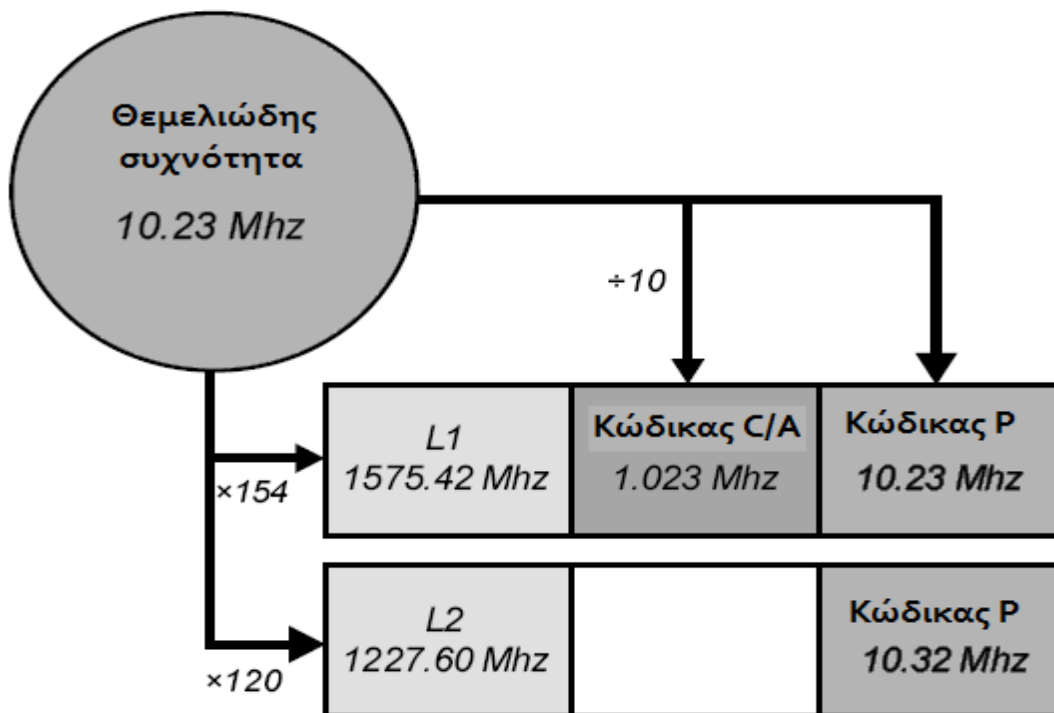
$$L2=120 \cdot 10,23\text{MHz}=1227,6\text{MHz}$$

Οι πιο πάνω συχνότητες συνεισφέρουν στην μέτρηση της απόστασης και της ταχύτητας του δέκτη και διαμορφώνονται από 3 κωδικοποιημένα σήματα.

>Τον κώδικα D ή ναυτιλιακό μήνυμα, που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις των δορυφόρων συναρτήσει του χρόνου, πληροφορίες για διόρθωση των χρονομέτρων και πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα των δορυφόρων.

>Το σήμα ψευδοτυχαίας σειράς ή κώδικας χαμηλής ακρίβειας C/A (coarse acquisition code)

>και τον κώδικα ψευδοτυχαίας σειράς ή κώδικας υψηλής ακρίβειας P (precision code).



Σχ.6 Συχνότητες.

Ο κώδικας χαμηλής ακρίβειας C/A και ο κώδικας υψηλής ακρίβειας P μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα του δορυφόρου και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του χρόνου διάδοσης των δορυφορικών σημάτων από τον δορυφόρο στον δέκτη. Ο κώδικας P, σε περίπτωση παρεμβολής από έναν μη εξουσιοδοτημένο δέκτη, μετατρέπεται σε έναν κρυπτογραφημένο κώδικα (Y) στον οποίο έχουν πρόσβαση μόνο οι έγκυροι δέκτες. Έτσι ο μη εξουσιοδοτημένος δέκτης δεν έχει πρόσβαση στον κώδικα Y, με αποτέλεσμα να έχει λάθος δεδομένα και υπολογισμούς.

2.3.1 Διαμόρφωση BPSK

Κατά την διαμόρφωση BPSK ένα ψηφιακό σήμα $b(t)$ της μορφής π.χ. $b(t)=(0110101010110)$, όπου: όταν το $b(t)=1$ βρίσκεται στην λογική στάθμη "1" ενώ όταν $b(t)=0$ βρίσκεται στην λογική στάθμη "0", πολλαπλασιάζεται με ένα φέρον ημιτονοειδές σήμα και το διαμορφώνει.

$$UBPSK=b(t).\cos(2\pi fct)$$

Ο πολλαπλασιασμός όμως του σήματος $b(t)$ με το φέρον σήμα θα μας δώσει ή το ίδιο το σήμα, ή το σήμα πολλαπλασιασμένο με -1. Άρα κάθε αλλαγή από 0 σε 1 ή από 1 σε 0 μας δίνει το ίδιο φέρον με μια αλλαγή φάσης κατά 180° .

2.3.2 Διαμόρφωση Direct Sequence

Στο δορυφορικό σήμα προστίθεται μια επιπλέον διαμόρφωση φάσης στο φέρον ημιτονοειδές σήμα, με χρήση κωδικών ψευδοτυχαίας σειράς, η διαμόρφωση Direct Sequence. Η μόνη διαφορά της με την διαμόρφωση BPSK είναι ότι οι διάδικοι αριθμοί του κώδικα έχουν πολύ μικρότερη διάρκεια.

Με την προσθήκη των 2 αυτών διαμορφώσεων στο δορυφορικό σήμα έχουμε σαν αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του παλμού, τόσο λιγότερο εύρος συχνοτήτων να καταλαμβάνει, ενώ όσο μικραίνει η διάρκεια του παλμού, να καταλαμβάνει μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένας έγκυρος, νόμιμος δέκτης να αντιλαμβάνεται το σήμα, ενώ ένας μη εξουσιοδοτημένος-εγκεκριμένος δέκτης να το αντιλαμβάνεται σαν θόρυβο.

2.4. Χρονόμετρα Δορυφόρων-Χρόνος συστήματος

Η ακριβής μέτρηση του χρόνου έχει μεγάλη σημασία, αφού ο προσδιορισμός θέσης βασίζεται στην μέτρηση του χρόνου διάδοσης του δορυφορικού σήματος από τον δορυφόρο στον δέκτη. Όλες οι λειτουργίες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης έχουν σαν αναφορά τον χρόνο του συστήματος που εκτελείται από ένα συνδυασμό ατομικών χρονομέτρων υψηλής ακρίβειας στον κύριο σταθμό ελέγχου του συστήματος.

Οι δορυφόροι του συστήματος περιλαμβάνουν επίσης ατομικά χρονόμετρα ακριβείας, που λειτουργούν στην βασική συχνότητα των 10,23MHz και τα οποία σε συνεργασία με τους επίγειους σταθμούς ελέγχου παραμένουν συγχρονισμένα με τον χρόνο του συστήματος, χωρίς να έχουν αποκλίσεις. Η επίδραση της σχετικότητας, σύμφωνα και με την θεωρία του Αϊνστάιν, έχει σαν αποτέλεσμα το χρονόμετρο ενός δορυφόρου όταν παρακολουθείται από την Γη να παρουσιάζει μια απόκλιση από την συχνότητα λειτουργίας του. Επειδή οι δορυφορικές τροχιές έχουν ακτίνα περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από την ακτίνα της Γης, τα χρονόμετρα των δορυφόρων παρουσιάζουν κάποια χρονική αύξηση. Λόγω λοιπόν των επιδράσεων από την σχετικότητα, η συχνότητα λειτουργίας των χρονομέτρων αυξάνεται κατά 0,00455Hz όταν ο δορυφόρος εκτελεί τροχιά. Γι' αυτό τα χρονόμετρα των δορυφόρων λειτουργούν στην συχνότητα των 10,22999999545MHz, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει την βασική συχνότητα των 10,23MHz.

2.5. Σφάλματα του Συστήματος Δορυφορικού Εντοπισμού Θέσης

Ανάλογα με το μέγεθος των σφαλμάτων στο δορυφορικό σήμα και στις μετρήσεις του συστήματος έχουμε αποκλίσεις στο πόσο ακριβής είναι ο προσδιορισμός της θέσης (στίγματος) στον δέκτη. Τα σφάλματα οφείλονται στα:

- >Δορυφορικά(τροχιακά) σφάλματα
- >Σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων
- >Σφάλματα χρονομέτρου του δέκτη
- >Σφάλματα στην διάδοση των δορυφορικών σημάτων

Στα σφάλματα του συστήματος περιλαμβάνεται και το σφάλμα επιλεκτικής

διαθεσιμότητας. Το σφάλμα αυτό είναι μια θεμιτή, ελεγχόμενη τεχνική μείωσης της ακρίβειας του συστήματος από τους διαχειριστές του συστήματος σε περιπτώσεις πολιτικών ή στρατιωτικών συμφερόντων.

2.5.1 Δορυφορικά σφάλματα

Τα δορυφορικά-τροχιακά σφάλματα οφείλονται στις δορυφορικές εφημερίδες, οι οποίες αποτελούνται από πληροφορίες σχετικά με την τροχιά των δορυφόρων. Οι δορυφορικές εφημερίδες δίνουν με προσεγγιστικό τρόπο την θέση των δορυφόρων, με σφάλμα περίπου 5m σε σχέση με την πραγματική θέση τους. Το σφάλμα αυτό εμφανίζεται σε όλους τους δέκτες του συστήματος.

2.5.2 Σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων

Το σφάλμα των χρονομέτρων των δορυφόρων οφείλεται στην απόκλιση των ατομικών χρονομέτρων των δορυφόρων σε σχέση με τον χρόνο αναφοράς του συστήματος. Αν και τα χρονόμετρα των δορυφόρων είναι υψηλής ποιότητας και ακρίβειας, παρουσιάζουν ένα σφάλμα της τάξης των 8-18ns κάθε μέρα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δορυφορικά σήματα ταξιδεύουν από τον δορυφόρο στον δέκτη με την ταχύτητα του φωτός(300000Km/h) τότε το σφάλμα των 8ns και το σφάλμα των 18ns μεταφράζονται σε σφάλμα στον προσδιορισμό θέσης 2,4m και 5,4m αντίστοιχα.

2.5.3 Σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη

Το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη είναι περίπου 200ns και οφείλεται στην απόκλιση που παρουσιάζει το χρονόμετρο του δέκτη σε σχέση με τον χρόνο του συστήματος. Η τιμή του σφάλματος είναι μεγαλύτερη από το σφάλμα των χρονομέτρων των δορυφόρων γιατί τα χρονόμετρα του δέκτη δεν είναι τόσο ακριβή και τέλεια σχεδιαστικά , σε σχέση με τα ατομικά χρονόμετρα των δορυφόρων, κυρίως λόγω κόστους και όγκου στον δέκτη. Από το σφάλμα των περίπου 200ns προκύπτει ένα σφάλμα των 60m στον προσδιορισμό θέσης. Η μείωση του σφάλματος επιτυγχάνεται με την μέτρηση της απόστασης από 4 δορυφόρους αντί 3.

2.5.4 Σφάλματα στην διάδοση των δορυφορικών σημάτων

Τα σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την διάδοση των δορυφορικών σημάτων οφείλονται στην διάθλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και την μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης τους(καθυστερήσεις) κατά την διέλευση τους από την ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα.

- Όταν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στην ιονόσφαιρα διαθλώνται, με αποτέλεσμα να έχουν μια απόκλιση από την ευθύγραμμη διάδοση και επομένως ο μετρούμενος χρόνος ο οποίος προσδιορίζει τις αποστάσεις των δορυφόρων να περιλαμβάνει ένα σφάλμα. Η μεταβολή της ταχύτητας στην διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις) εξαρτάτε από την περιεκτικότητα των φορτισμένων ηλεκτρονίων που περιέχει η Ιονόσφαιρα κατά την πορεία του σήματος σε σχέση με την συχνότητά του. Για την εξάλειψη των σφαλμάτων των ιονοσφαιρικών καθυστερήσεων ο δέκτης χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα συγκρίνει τα μετρούμενα σήματα με τις συχνότητες εκπομπής L1 και L2.

- Κατά την διάδοση των δορυφορικών σημάτων στην τροπόσφαιρα, δημιουργούνται σφάλματα που προκαλούν διάθλαση και μεταβολές στην ταχύτητα διάδοσης-καθυστερήσεις στα δορυφορικά σήματα, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης υδρατμών και άλλων μετεωρολογικών φαινομένων. Το σφάλμα λόγω των τροποσφαιρικών καθυστερήσεων εξαλείφεται με την χρήση μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούν σαν παραμέτρους τις τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της υγρασίας και το γωνιακό ύψος του δορυφόρου.

2.6. Δορυφορικοί Δέκτες

Σκοπός ενός δέκτη του συστήματος δορυφορικού εντοπισμού θέσης είναι να λαμβάνει τα εκπεμπόμενα δορυφορικά σήματα και να υπολογίζει, με την μέτρηση ψευδοαποστάσεων ή με την μέτρηση της διαφοράς φάσης της φέρουσας συχνότητας μεταξύ δορυφόρου – δέκτη, την απόσταση μεταξύ δορυφόρου δέκτη (όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1) και μέσω του λογισμικού που διαθέτει να

απεικονίζει στην οθόνη του με ακρίβεια την τρέχουσα γεωγραφική θέση του χρήστη, την κατεύθυνση και την ταχύτητα με την οποία κινείται.

Ένας δέκτης αποτελείται κυρίως από:

- >□ Την κεραία με προενισχυτή
- >□ Επεξεργαστή δορυφορικών σημάτων
- >□ Μικροεπεξεργαστή
- >□ Χρονόμετρο ακριβείας
- >□ Μονάδα ελέγχου
- >□ Μονάδα αποθήκευσης

Κάθε δέκτης μπορεί να παρακολουθεί τουλάχιστον 4 δορυφόρους, με δυνατότητα παρακολούθησης και περισσότερων και χρησιμοποιεί ανάλογο αριθμό παράλληλων ή εναλλασσόμενων διαύλων. Στους παράλληλους διαύλους, ο κάθε δίαυλος παρακολουθεί ένα δορυφόρο κάθε φορά ξεχωριστά, ενώ στους εναλλασσόμενους ο κάθε δίαυλος σαρώνει όλους τους δορυφόρους που είναι διαθέσιμοι στο δέκτη, εναλλάσσοντας τους δορυφόρους σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Κατηγορίες δεκτών

Οι δέκτες του συστήματος χωρίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με:

- >Τις δυνατότητες λήψης και επεξεργασίας των δορυφορικών σημάτων
- >τον αριθμό των καναλιών λήψης και επεξεργασίας δορυφορικών σημάτων
- >την χρήση για την οποία προορίζονται



Σχ.7 Δέκτες της εταιρίας GARMI.

2.7. Περιγραφή άλλων δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης

2.7.1 Το σύστημα GLOTASS

Το ρωσικό σύστημα προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης GLONASS σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με σκοπό να αποτελέσει τον ανταγωνιστή του GPS. Διαχειρίζεται από το ρωσικό υπουργείο άμυνας και έχει τα

ίδια σχεδιαστικά και τεχνικά χαρακτηριστικά με το GPS. Το σύστημα GLONASS είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί με 21 ενεργούς δορυφόρους και 3 εφεδρικούς, οι οποίοι βρίσκονται περίπου στα 19 100 Km σε 3 τροχιακά επίπεδα περιόδου 11 ωρών και 15 λεπτών. Σε κάθε τροχιακό επίπεδο περιστρέφονται 7 βασικοί δορυφόροι και 1 εφεδρικός. Τα 3 αυτά τροχιακά επίπεδα έχουν κλίση 64,6ο ως προς το Ισημερινό επίπεδο και μεταξύ τους γωνία 120ο. Η ακρίβεια του GLONASS, όταν βρίσκονται και οι 24 δορυφόροι σε τροχιά, είναι περίπου 55-70 μέτρα.

Κύρια διαφορά του GLONASS σε σχέση με το GPS είναι ότι τα δορυφορικά σήματα εκπέμπονται σε διαφορετικές συχνότητες από κάθε δορυφόρο. Οι συχνότητες εκπομπής του συστήματος προκύπτουν αν προσθέσουμε τις αρχικές συχνότητες με τον αριθμό του κάθε δορυφόρου: $f_{L1} = L1 + m \cdot \Delta f_{L1}$ όπου $m = (1, 2, 3, \dots, 24)$ αριθμός κάθε δορυφόρου $L1 = 1602 \text{ MHz}$ και $\Delta f_{L1} = 562,5 \text{ KHz}$

Ο πρώτος δορυφόρος του GLONASS εκτοξεύθηκε το 1982. Αν και από το 1995 το σύστημα είναι σε πλήρη λειτουργία, δεν προσφέρει απολύτως παγκόσμια κάλυψη λόγω του περιορισμένου αριθμού δορυφόρων, αφού σήμερα μόνο 14 χρησιμοποιούνται.

Μέσα στα σχέδια της ομάδας υποστήριξης του GLONASS είναι η αναβάθμιση του συστήματος με την προσθήκη νέων δορυφόρων τελευταίας γενιάς μέχρι το 2015, οι οποίοι θα προσφέρουν πλήρη κάλυψη παγκοσμίως με μεγάλη ακρίβεια θέσης για πολιτική χρήση και εφαρμογές έρευνας και διάσωσης.

2.7.2 Το σύστημα Galileo

Το σύστημα Galileo, ευρωπαϊκής μελέτης και υλοποίησης, έθεσε σε τροχιά τον πρώτο του δορυφόρο το 2005 και μέχρι το τέλος του 2010 φιλοδοξεί να συναγωνιστεί το GPS και το GLONASS.

Κύριο πλεονέκτημα του Galileo είναι ότι προορίζεται αποκλειστικά για πολιτική χρήση, με μεγάλη ακρίβεια έως 1 μέτρο και παγκόσμια κάλυψη 99%, σε σχέση με τα άλλα 2 συστήματα, που χρησιμοποιούνται και για στρατιωτικούς σκοπούς και κατά περιόδους στρατιωτικών επιχειρήσεων επηρεάζουν την ακρίβεια αλλά και την κάλυψη ώστε να εξυπηρετηθούν τα συμφέροντά τους.

Το σύστημα θα αποτελείται από 30 δορυφόρους σε ύψος 23 616Km, υποστηριζόμενο από επίγειους σταθμούς ελέγχου-παρακολούθησης, σε 3 τροχιακά επίπεδα με κλίση 55ο ως προς το επίπεδο του Ισημερινού.

Το Galileo θα παρέχει μεγάλη ευελιξία, αφού οι δέκτες του θα μπορούν να συνεργάζονται και με τους δορυφόρους και των τριών συστημάτων Galileo, GPS, GLONASS, αλλά και θα διαθέτουν λειτουργία εκπομπής σήματος κινδύνου, που θα στέλλεται στην μονάδα αναμεταδότη που θα περιλαμβάνουν οι δορυφόροι του συστήματος, το οποίο θα ειδοποιεί ένα κέντρο ελέγχου-συντονισμού και ακολούθως θα ενημερώνει τον δέκτη ότι ξεκινάει η επιχείρηση εντοπισμού και διάσωσης του από τις ομάδες διάσωσης.

Το πολλά υποσχόμενο ευρωπαϊκό σύστημα θα παρέχει δωρεάν υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και πλοήγησης, μια εξελιγμένη υπηρεσία έρευνας και διάσωσης, υπηρεσίες υψηλής ακρίβειας με συνδρομή καθώς και ελεγχόμενη χρήση από χρήστες των κρατών που είναι μέλη στο σύστημα.

Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός *RTK (Real Time Kinematic)*

Η μέθοδος RTK είναι κινηματικός προσδιορισμός, στην οποία χρησιμοποιούνται δύο δέκτες (base – rover) L1/L2, και είναι η μοναδική που μπορεί να δώσει αποτελέσματα καθώς και πληροφορίες για την ποιότητα της λύσης σε πραγματικό χρόνο. Για τη λειτουργία της μεθόδου, απαιτείται επικοινωνία μεταξύ των δεκτών, η οποία πραγματοποιείται είτε με κάποιο μόντεμ UHF είτε με κάποιο μόντεμ GSM/GPRS. Ο κινητός δέκτης λαμβάνει συνεχώς διορθώσεις από τη βάση και τις χρησιμοποιεί για να επιλύσει εν κινήσει (On The Fly) τις ασάφειες φάσης. Πλέον, ο χρήστης μπορεί να αποτυπώνει σε περιοχές περιορισμένης ορατότητας σε δορυφόρους (φυσικά ή τεχνητά εμπόδια) χωρίς να χάνεται χρόνος για επανέναρξη. Η ακρίβεια της συγκεκριμένης μεθόδου είναι της τάξης του εκατοστού και ο χρόνος που χρειάζεται είναι περίπου ένα δευτερόλεπτο.

2.7.3 Λειτουργικά τμήματα

Το σύστημα εντοπισμού θέσης GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα. Εξαιτίας αυτής της έκτασής του είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα όπου πραγματοποιούνται

όλες οι λειτουργίες του αλλά και ο συντονισμός του. Αναλυτικά, τα τμήματα αυτά είναι:

- Διαστημικό τμήμα: Αποτελείται από το δίκτυο 24 δορυφόρων που ήδη αναφέραμε. Οι δορυφόροι αυτοί «σκεπάζουν» ομοιόμορφα με το σήμα τους ολόκληρο τον πλανήτη, γεγονός που αποδεικνύει τη φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από τη λειτουργία του συστήματος GPS, δηλαδή τη διαθεσιμότητά του σε κάθε σημείο της Γης, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να αποπροσανατολιστεί κανείς ποτέ και πουθενά.

Όλοι οι δορυφόροι βρίσκονται σε ύψος περίπου 12.700 μιλίων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτελούν δύο περιστροφές γύρω από τη Γη κάθε 24ωρο. Η κατασκευάστρια εταιρεία είναι η Rockwell International, η εκτόξευσή τους πραγματοποιήθηκε από το ακρωτήριο Canaveral, ενώ η τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται μέσω των ηλιακών στοιχείων που διαθέτουν.

- Επίγειο τμήμα ελέγχου: Οι δορυφόροι, όπως είναι αναμενόμενο, είναι πολύ πιθανό να αντιμετωπίσουν ανά πάσα στιγμή προβλήματα στη σωστή λειτουργία τους. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε αυτούς αφορούν στη σωστή τους ταχύτητα και υψόμετρο και στην κατάσταση της επάρκειάς τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν στο σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων, ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος. Το τμήμα επίγειου ελέγχου αποτελείται από ένα επανδρωμένο και τέσσερα μη επανδρωμένα κέντρα, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη.

Οι περιοχές αυτές είναι οι εξής: α) Κολοράντο (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής) β) Χαβάη (Ανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός) γ) Ascension Island (Ατλαντικός Ωκεανός) δ) Diego Garcia (Ινδικός Ωκεανός) ε) Kwajalein (Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός)

Ο κυριότερος σταθμός βάσης είναι αυτός του Κολοράντο, ο οποίος είναι μάλιστα και ο μοναδικός που βρίσκεται στην ξηρά. Αναλαμβάνει τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των εναπομεινάντων τεσσάρων σταθμών, καθώς και τον συντονισμό

τους. Σημειώνοντας τη θέση των σταθμών αυτών πάνω σε έναν παγκόσμιο χάρτη, παρατηρεί κανείς ότι η διάταξή τους δεν είναι τυχαία, αλλά ακολουθούν μια γραμμή παράλληλη με τα γεωγραφικά μήκη της Γης.

- Το τμήμα τελικού χρήστη: Απαρτίζεται από τους χιλιάδες χρήστες δεκτών GPS ανά την υφήλιο. Οι δέκτες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο κατά τη διάρκεια μιας απλής πεζοπορίας, όσο και σε οχήματα ή θαλάσσια σκάφη και κατά κανόνα διαθέτουν αρκετά μικρές διαστάσεις. Για να προσφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι δέκτες συνδυάζονται με ειδικό λογισμικό, που προβάλλει ένα χάρτη στην οθόνη της συσκευής GPS. Πρόκειται, δηλαδή, για λογισμικό που λαμβάνει από τους δορυφόρους τις πληροφορίες για το στίγμα του σημείου στο οποίο βρίσκεται ο δέκτης και τις μετατρέπει σε κατανοητή «ανθρώπινη» μορφή, πληροφορώντας το χρήστη για την ακριβή γεωγραφική του θέση.



3. Τι είναι κινητή τηλεφωνία

Δισεκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν καθημερινά κινητά τηλεφώνά τα οποία βασίζονται στη χρήση ασύρματων δικτύων. Σε αντίθεση με τη σταθερή τηλεφωνία, με τη χρήση ασύρματων δικτύων η ανάγκη για μεγαλύτερη ασφάλεια είναι πιο έντονη, αφού οποιοσδήποτε με σχετικό δεκτή μπορεί να παρακολουθεί την κίνηση στα (airwaves = κύματα αέρος??). Ειδικά, αυτό είναι εφικτό καθώς υπάρχει μια συνεχής εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται τα σχετικά μετρά ασφάλειας για την προστασία προσωπικών δεδομένων των χρηστών κινητών τηλεφώνων, όπως κλήσεις, γραπτά μηνύματα και αλλά, και για την πρόληψη μη επιτρεπόμενης χρήσης της υπηρεσίας.

3.1 Τι είναι GSM

Το Global System for Mobile communication (GSM) είναι ένα ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας ευρέως γνωστό και χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Το GSM χρησιμοποιεί μια μορφή του Time Division Multiple Access (TDMA) και είναι το σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται περισσότερο από τα τρεις τεχνολογίες ψηφιακής κινητής τηλεφωνίας (TDMA, GSM, και CDMA). Επεξεργάζεται πληροφορίες και τις αποστέλλει μέσω ενός καναλιού με δυο πορείες χρήσης πληροφοριών, η κάθε μια με το δικό της χρονοδιάγραμμα. Δουλεύει σε συχνότητες 900 MHz ή 1,800 MHz.

Στην Ευρώπη το GSM είναι το βασικό σύστημα κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και είναι διαθέσιμο σε 190 περίπου χώρες. Πάνω από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι χρησιμοποιούν το GSM παγκοσμίως. Πολλοί χείριστες δικτύων GSM συνεργάζονται με χείριστες ξένων δικτύων, ώστε χρήστες

του GSM να μπορούν να χρησιμοποιήσουν το κινητό τους τηλέφωνο και στο εξωτερικό.

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΜΕ GSM

Mobile Frequency Range	Rx: 925-960; Tx: 880-915
Multiple Access Method	TDMA/FDM
Duplex Method	FDD
Number of Channels	124 (8 users per channel)
Channel Spacing	200kHz
Modulation	GMSK (0.3 Gaussian Filter)
Channel Bit Rate	270.833Kb

The Future of GSM

GSM together with other technologies is part of an evolution of wireless mobile telecommunication that includes High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), General Packet Radio System (GPRS), Enhanced Data rate for GSM Evolution (EDGE), and Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS).

3.2 Ζώνες Συχνοτήτων

3.2.1 GSM 900

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Οι περιοχές (ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM.

3.2.2 GSM 1800

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DCS 1800, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη

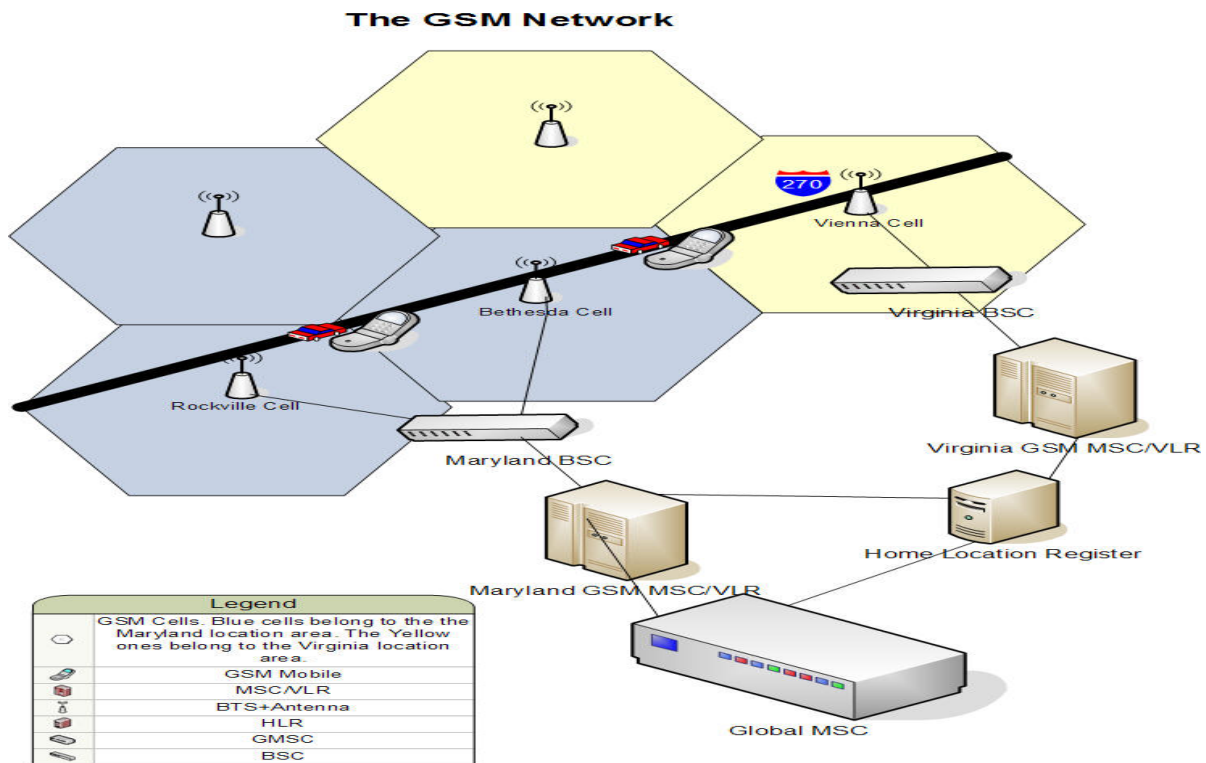
συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374 (+ 1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας. Όπως και στην χώρα μας, σήμερα, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα(GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

3.2.3 GSM 1900

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Up link και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Down link. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

3.2.4 E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένη ζώνη GSM

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Up link και 925 έως 960 MHz Down link. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.



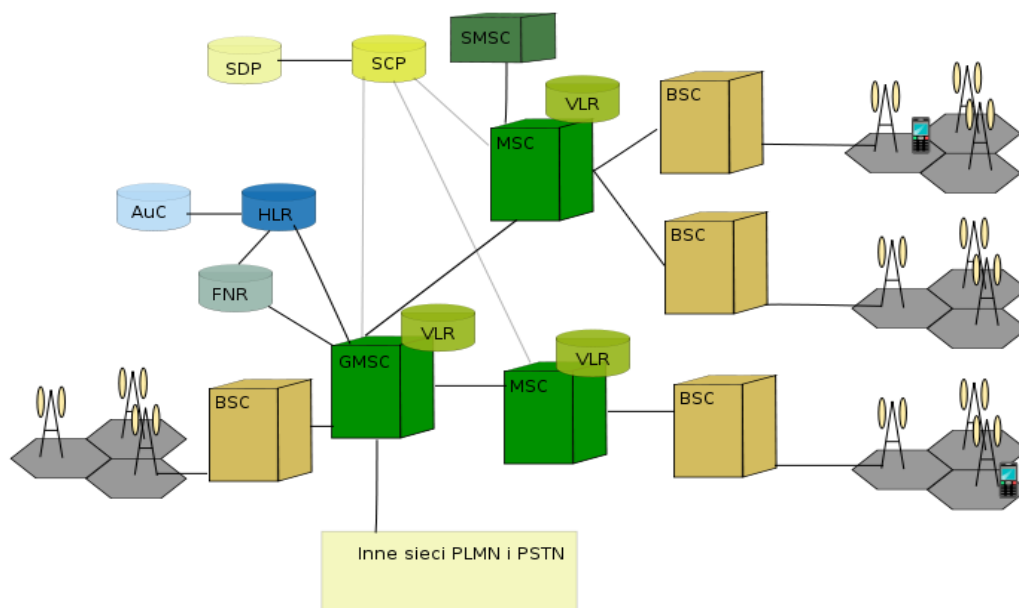
Σχ.8 Κυψελοειδής Δομή Δικτύου

Η εμβέλεια ενός δικτύου GSM σε μία γεωγραφική περιοχή για να γίνει, η περιοχή αυτή διαμελίζεται σε μικρότερες περιοχές που λέγονται κυψέλες, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους με κάθε κυψέλη να έχει και ένα σταθμό βάσης(Base Station), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη της μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής ενώ για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές είναι έως και 35Km ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα.

Σε περιοχές με πολύ μεγάλη ζήτηση χωρητικότητας δικτύου όπως σε αστικά κέντρα, οι σταθμοί βάσης υπερφορτώνονται και έτσι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου.

Έτσι για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός γίνεται διάσπαση των υπαρχόντων κυψελών σε μικρότερες, ενώ γι' αυτές χρησιμοποιούνται κεραιές μικρότερης ισχύος (macro bs - micro- bs - pico bs) όπως σε κτήρια, στο μετρό, Δημόσιους Οργανισμούς, οδικές αρτηρίες κτλ..

3.3 Αρχιτεκτονική



Σχ.9 Αρχιτεκτονική δικτύου.

3.3.1 Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

1) *Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station):* Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2) *Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem):* Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε

λόφους, τaráτσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο *βασικό σταθμό πομπό-δέκτη Base Transceiver Station (BTS)* και στο *βασικό σταθμό ελέγχου Base Station Controller (BSC)*.

- Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BTS) φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραίες. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του A για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο B και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του B κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο A. Το πεδίο μιας GSM κεραίας ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 msec το καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες, διάρκειας 0.577 msec η καθεμία (8X0,577 ή 16X0,577). Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές 8 ή 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.

- Το BSC (Base Station Controller-Βασικός Σταθμός Ελέγχου) ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- Mobile Switching Centre και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.(σχήμα)

3) Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- Network Switching Subsystem) που αποτελείται από:

Το Κέντρο Διαμονής (Mobile Switching Center), είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων. Όταν ένα

MSC συνδέεται με ένα δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας θα πρέπει να δέχεται 64kbps φωνής, όταν όμως ο MSC συνδέεται με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τότε θα πρέπει να γνωρίζει που βρίσκεται εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή ο χρήστης, αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια καταχωρητών VLR (Visitor Locator Register), Home Locator Register (HLR). Ο πάτριος καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή τοπικά κέντρα εγγραφής-HLR έχει μια Βάση Δεδομένων που κρατά στοιχεία προφίλ ενός συνδρομητή και πληροφορίες για την τρέχουσα θέση του, κάθε τέτοιο κέντρο η εμβέλεια του είναι σε τοπικό επίπεδο. Έτσι π.χ. όταν ένας συνδρομητής από το Πέραμα το HLR του χρήστη είναι το "HLR Πέραμα", επίσης σε μια πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα τοπικά κέντρα εγγραφής πχ. το Περιστερί. Ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκεπτών ή εικονικό κέντρο εγγραφής χρήστη (VLR): Όταν ο συνδρομητής βγει από τα όρια της τοπικής περιοχής που καλύπτει το HLR δηλαδή είναι πολύ μακριά από το σπίτι του τότε αναλαμβάνει τον χρήστη ο καταχωρητής θέσης αναζήτησης ή εικονικό κέντρο εγγραφής - VLR ο οποίος έχει μια βάση δεδομένων, ο οποίος συγκρατεί προσωρινά δεδομένα καθώς και την τρέχουσα θέση του, αναλαμβάνοντας τις κλήσεις του καλύτερα κατά τις ώρες αιχμής στο κέντρο της πόλης. Το κέντρο πιστοποίησης (Authentication Centre – AuC) ο ρόλος του οποίου έγκειται στη διαχείριση δεδομένων για την πιστοποίηση της ταυτότητας του χρήστη.

3.4 Handover - Αλλαγή κυψέλης

Το handover, είναι η εναλλαγή μιας κλήσης που βρίσκεται σε εξέλιξη, σε διαφορετική κυψέλη επειδή η κινητή μονάδα βρίσκεται εν κίνηση. Έχει υπολογιστεί ότι ο μέσος χρόνος παραμονής σε μία κυψέλη μιας κινούμενης μονάδας είναι 4,5 λεπτά. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι handover που μπορούν να γίνουν στο GSM οι οποίοι αφορούν σε κανάλια που είναι στην ίδια κυψέλη, σε κυψέλες που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ίδιου Βασικού σταθμού ελέγχου (BSC), κυψέλες που βρίσκονται στον έλεγχο διαφορετικών σταθμών ελέγχου αλλά στο ίδιο MSC και κυψέλες σε διαφορετικά MSC. Οι δύο πρώτοι τύποι λέγονται εσωτερικά handovers και χρησιμοποιούν τον ίδιο Βασικό σταθμό ελέγχου (BSC), το MSC ενημερώνεται μόνο όταν ολοκληρωθεί το handover. Οι άλλοι δύο τύποι handover καλούνται εξωτερικά handovers και τα χειρίζονται τα MSCs. Επίσης τα handovers, μπορούν να ενεργοποιηθούν από το ίδιο το κινητό ή το MSC σαν λύση για την

καταπολέμηση της αυξημένης κίνησης σε μια κυψέλη, την ώρα που δεν απασχολείται, το κινητό ελέγχει τα κανάλια επικοινωνίας με 16 γειτονικές κυψέλες και δημιουργεί μια λίστα με τις 6 πιο πιθανές κυψέλες για handover που έχουν το δυνατότερο σήμα. Οι πληροφορίες περνάνε στο BSC και στο MSC και χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο του handover. Ο αλγόριθμος «μικρότερης επιτρεπτής απόδοσης» δίνει το δικαίωμα αλλαγής της ισχύς στο handover, έτσι ώστε όταν το σήμα φθίνει ποιο κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο, η ισχύς του κινητού να αυξάνεται ενώ αν αυξήσει στην ισχύ δεν βελτιώσουν τελικά το σήμα δημιουργείται νέο handover. Στα διπλής ζώνης (Dual Band) δίκτυα GSM (900GSM-1800GSM) μπορεί να γίνει ταυτόχρονη χρήση των δύο αυτών συστημάτων με handovers, χωρίς να γίνεται αντιληπτό από τη κινητή μονάδα. Ο συνδρομητής θα πρέπει, όμως, να διαθέτει κινητή μονάδα που να υποστηρίζει τα δύο συστήματα ταυτόχρονα.

3.5 Χωρητικότητα Δικτύων GSM - Erlang

Σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιο μοντέλο τηλεφωνικής «κίνησης» με σκοπό την υψηλή ποιότητα παροχής υπηρεσιών. Το μοντέλο αυτό σχεδιάζεται βάσει κάποιων πραγματικών παρατηρήσεων με βάση την τηλεφωνική συμπεριφορά των συνδρομητών της εταιρίας. Για την κατασκευή του μοντέλου αυτού παίρνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως ο αριθμός των συνδρομητών, το πόσο συχνά και σε ποιες περιοχές κάνουν χρήση του κινητού τους(τις ώρες αιχμής-γιορτές) , τη μέση διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης κ.α. παράγοντες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί εκ των προτέρων η ικανοποίηση των χρηστών. Για να υπολογιστεί η τηλεφωνική "κίνηση" χρησιμοποιείται μια μονάδα μέτρησης, το Erlang. Ένα Erlang δείχνει το φορτίο κίνησης που μεταφέρεται από ένα κανάλι που είναι δεσμευμένο. Αν, δηλαδή, ένα κανάλι χρησιμοποιείται για μία ώρα και 30 λεπτά, κατά την διάρκεια μιας ώρας μεταφέρει 5,0 Erlangs. Εάν Q κλήσεις, μέσης διάρκειας T, πραγματοποιούνται κατά το χρονικό διάστημα t, τότε η τηλεφωνική κίνηση A δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{QT}{t} \text{Erlangs}$$

Αν έχουμε 100 χρήστες από τους οποίους οι 30 κάνουν 2 κλήσεις την ώρα διάρκειας 3 λεπτών 15 να κάνουν 4 κλήσεις την ώρα διάρκειας 8 λεπτών και 55 να κάνουν 30 κλήσεις την ώρα διάρκειας ενός λεπτού τότε ο συνολικός φόρτος κίνησης είναι 38,5 Erlangs με μέση κίνηση/χρήστη να είναι 38,5 mErlangs. (30X2X3=180, 180/60min=3 Erlangs) (15X4X8=480, 480/60min=8 Erlangs) (55X30X1=1650, 1650/60min=27,5 Erlangs) (0,1 Erlangs=6min, 1 Erlangs=60min)

«Η τηλεφωνική κίνηση/συνδρομητή ορίζεται ως η μέση πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο συνδρομητή να κάνει χρήση του τηλεφώνου του κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε ώρες αιχμής.» Μετρήσεις που έχουν γίνει σε δίκτυα GSM έχουν δείξει ότι 0,025 Erlang/συνδρομητή είναι υπεραρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες της συνδρομητικής βάσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής μπορεί να κάνει μία κλήση διάρκειας 90 δευτερολέπτων/ώρα. Στην πράξη κανένα, τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στον κόσμο δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα όλους τους συνδρομητές του, σε συνθήκες καταγιστικής ζήτησης π.χ.σε περίπτωση σεισμού. Με βάση τα παραπάνω τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν σχεδιάσει τα δίκτυα τους να έχουν Gos { (Grade of Service) - η πιθανότητα να μπλοκαριστεί μια κλήση} λιγότερο από 2%. Έτσι αν είχαμε 100 συνδρομητές με Gos 2% με μέση κίνηση/χρήστη να είναι 38.5 mErlangs τότε έχουμε $100 \times 0,0385 \cdot 5 = 3,85$ Erlangs με Gos 2% χρειάζονται 9 κανάλια σύμφωνα με έναν ειδικό πίνακα Erlang blocking probability. Το Erlang πήρε το όνομά του από τον Δανό μηχανικό τηλεπικοινωνιών A.K.Erlang.

3.6 Πιστοποίηση και Ασφάλεια

Ένας χρήστης για να μπορέσει να χρησιμοποιήσει το δίκτυο τότε το δίκτυο θα πρέπει πρώτα να τον πιστοποιήσει. Καταρχήν για να γίνει αυτό κάθε κινητό θα πρέπει να διαθέτει ένα κρυμμένο κλειδί το οποίο βρίσκεται συγκεκριμένα στην κάρτα SIM του και στο Κέντρο Πιστοποίησης (AC). Όταν ενεργοποιείται το κινητό, το Κέντρο Πιστοποίησης στέλνει ένα τυχαίο αριθμό στο κινητό και αυτόν τον αριθμό τον χρησιμοποιούν μαζί με το κρυμμένο κλειδί και με έναν κρυπτογραφημένο αλγόριθμο για την δημιουργία ενός νέου αριθμού. Το κινητό στέλνει πίσω στον κέντρο πιστοποίησης τον αριθμό αυτό και το κέντρο πιστοποίησης με την σειρά του ελέγχει αν είναι ίδιος με αυτόν που έφτιαξε. Αν ο αριθμός είναι ίδιος τότε ο χρήστης πιστοποιήθηκε ειδάλως τον ειδοποιεί ότι διαδικασία εγγραφής στο δίκτυο ήταν

ανεπιτυχής. Κάθε κινητό τηλέφωνο έχει την δικιά του ταυτότητα IMEI (ταυτότητα τηλεφώνου). Η ταυτότητα αυτή είναι ένας μοναδικός 16ψήφιος για κάθε συσκευή που αντιστοιχεί στην μάρκα του κινητού, αριθμός σειράς, στοιχεία κατόχου, ημερομηνία αγοράς συσκευής κ.α. Ένα δίκτυο τηλεφωνίας GSM αποθηκεύει σε 3 διαφορετικές λίστες τα IMEI των συνδρομητών της. 1η λίστα είναι η λευκή λίστα που υπάρχουν όλα τα IMEI το κινητών που λειτουργούν φυσιολογικά και μπορούν να συνδεθούν δίκτυο με ασφάλεια. 2η λίστα είναι η γκρι λίστα που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που είναι υπό-παρακολούθηση λόγω πιθανόν προβλημάτων που δημιουργούν. 3η λίστα είναι η μαύρη λίστα που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που έχουν δηλωθεί από τους κατόχους τους σαν κλεμμένους ή απολεσθέν τους και ανάλογα την περίπτωση διενεργείται παρακολούθηση των κινητών αυτών αν χρησιμοποιούνται ή την άρνηση εγγραφής τους με το δίκτυο, λειτουργίες αυτές ανήκουν στο MSC.

3.7 Υπηρεσίες Δικτύου

Η βασικότερη υπηρεσία του GSM είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης και λήψη τηλεφωνικών κλήσεων. Σε κάθε κανάλι υπάρχουν 8 έως 16 χρονοθυρίδες και μπορούν να το μοιραστούν περισσότεροι του ενός χρήστες, έτσι για την πραγματοποίηση μιας κλήσης δεσμεύεται μια χρονοθυρίδα κάθε φορά.

• *Called ID*

• *Εκτροπή κλήσεων*

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει στο χρήστη την δυνατότητα προώθησης αναπάντητων ή μη εφικτών ή κατειλημμένων ή άμεσων εισερχόμενων κλήσεων προς έναν άλλο προορισμό.

• *Απόκρυψη κλήσεων*

• *Φραγή κλήσεων*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιήσει φραγή εισερχόμενων ή εξερχόμενων ή εισερχόμενων διεθνών ή εξερχόμενων διεθνών ή σε περιαγωγή ή και όλων κλήσεων για όσο διάστημα θέλει.

•Cell Broadcast

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη στην οθόνη του κινητού την εμφάνιση σύντομων τοπικών πληροφοριών. Η υπηρεσία αυτή προσφέρεται πιλοτικά από την WIND τα τελευταία 8 χρόνια στη χώρα μας.

•Ειδοποίηση κλήσεων

Είναι μια υπηρεσία δικτύου δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ενημερώνεται με γραπτό μήνυμα για τον ποιος και πότε επιχείρησε να επικοινωνήσει μαζί του και δεν καταστεί δυνατό λόγω μη εφικτής σύνδεσης μαζί του ή ήταν απενεργοποιημένη η μονάδα του. Η υπηρεσία αυτή στη χώρα μας διατίθεται πλέον από όλες τις εταιρίες.

•SMS-Short Messaging Service

Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την αποστολή και την λήψη κειμένου μέχρι και 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων από ένα κινητό προς ένα οποιοδήποτε άλλο κινητό με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει κάποιο κέντρο υπηρεσίας SMS για την διαχείριση τους. Έτσι η υπηρεσία SMS έχει 2 επιμέρους υπηρεσίες, τις SMS-MO και SMS-MT.

- SMS-MO • SMS-Mobile Originated

Γίνεται η αποστολή ενός γραπτού μηνύματος, από το κινητό προς το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

- SMS-MT • SMS-Mobile Terminated

Γίνεται η παράδοση του γραπτού μηνύματος στον παραλήπτη, από το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

•MMS-Multimedia Messaging Service

Είναι μια υπηρεσία 2.5G και προσφέρει την αποστολή και την λήψη εμπλουτισμένων μηνυμάτων με multimedia περιεχόμενο.

•Advice of Change

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενημερώνεται μετά από κάθε εξερχόμενη κλήση στην οθόνη του κινητού του, την διάρκεια και την χρέωση της κλήσης του. Η υπηρεσία αυτή προσφερόταν πιλοτικά κάποιους μήνες στη χώρα μας από την WIND.

•Αναμονής και κράτησης κλήσεων-Συνδιάσκεψη

Είναι μια υπηρεσία προστιθέμενης αξίας και δίνει την δυνατότητα σε έναν χρήστη να πραγματοποιεί ή να δέχεται μια κλήση ενώ έχει ήδη μια κλήση σε εξέλιξη. Στην πρώτη περίπτωση όταν επιχειρείται μια νέα κλήση προς αυτόν ακούει ένα χαρακτηριστικό ήχο που τον προειδοποιεί, τότε ο χρήστης τότε μπορεί να απορρίψει αυτή την νέα κλήση ή να βάλει σε κράτηση την αρχική του κλήση για να επικοινωνήσει με την αναμένουσα, αυτή την εναλλαγή μπορεί να την κάνει όσες φορές θέλει. Επίσης αν ο χρήστης διαθέτει την υπηρεσία αναγνώρισης κλήσεων μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο αυτών υπηρεσιών και να τον ενημερώνει στην οθόνη του κινητού του για τον τηλεφωνικό αριθμό που επιχειρεί την κλήση προς σ'αυτόν. Στην δεύτερη περίπτωση όταν πραγματοποιεί μια κλήση ο συνδρομητής βάζει σε κράτηση την αρχική του συνομιλία ενώ μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των 2 κλήσεων. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να γίνει εφόσον επιτρέπεται από τον παροχέα, χρήση της υπηρεσίας τηλεσυνδιάσκεψης που επιτρέπει την ταυτόχρονη συνομιλία μέχρι και 5 + 1 ατόμων.

•Roaming

Στην υπηρεσία αυτή επιτρέπεται σε συνδρομητές που βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου τους, να δέχονται και να πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις και να έχουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, εφόσον βέβαια επιτρέπεται από τον παροχέα τους και τον παροχέα του <<ξένου>> δικτύου.

• *Τεχνολογία CSD • (Circuit Switched Data)*

Το CSD μια τεχνολογία όπου βασίζεται μια από τις πιο βασικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας των δικτύων GSM, η οποία επιτρέπει μέσω σύνδεσης μεταγωγής κυκλώματος τη μεταφορά δεδομένων στη ταχύτητα των 9,6 ή 14,4kbps(συμμετρική σύνδεση) για upload-download ή 28.800kbps για download (ασύμμετρη σύνδεση) και στο HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) τα 57,6 kbps για download και 14,4kbps για upload (ασύμμετρη σύνδεση).

- Η ταχύτητα μίας χρονοθυρίδας μπορεί να είναι 9.600kbps ή 14.400kbps αλλά μπορεί να φτάνει και ως τα 48kbps σε δίκτυα 2.5G.

Γενιά 2.5G και 2.7G

Η 2.5G είναι η μεταβατική διαδικασία αναβάθμισης των υπαρχόντων δικτύων GSM 2G με σκοπό την αύξηση χωρητικότητα του δικτύου προσφέροντας και την προσφορά περισσότερων και ποιοτικότερων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας. Για την ανάπτυξη των δικτύων GSM αναπτύχθηκαν 2 τεχνολογίες:

- Τεχνολογία GPRS - (General Packet Radio Service)
- Τεχνολογία EDGE - (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Τεχνολογία GPRS - (General Packet Radio Service)

Το GPRS (General Packet Radio Service) γενικά είναι το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει την ταχύτερη αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Το GPRS επιτρέπεται η ταυτόχρονη χρήση περισσότερων του ενός χρονοθυρίδων έτσι η μεταφορά δεδομένων μπορεί να φτάσει θεωρητικά ως και τα $153,6 = 16 \times 9,6$ kbps για 16 χρονοθυρίδες ή $21,4 \times 8 = 171,2$ kbps για 8 χρονοθυρίδες. Οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά γιατί οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται μόνο κατά την ώρα μετάδοσης και αποδεσμεύονται όταν τελειώνει η μετάδοση σε αντίθεση με την τεχνολογία CSD. Στην πράξη όμως το GPRS χρησιμοποιεί 3 με 4

χρονοθυρίδες για κατέβασμα και μια χρονοθυρίδα για ανέβασμα(μη συμμετρική σύνδεση).

Τεχνολογία EDGE (2.7G) - (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Το EDGE είναι μια ενδιάμεση μεταβατική τεχνολογία πριν το 3G και αυτό είναι τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει στα δίκτυα 2G να έχουν τριπλάσια χωρητικότητα δικτύου με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης για την παροχή υπηρεσιών 3G, όπως video streaming, πραγματικό Internet browsing κτλ.. Το EDGE είναι μια αναβάθμιση του GPRS αλλά δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ενώ η αναβάθμιση και η εγκατάσταση του EDGE δεν απαιτεί την χρήση νέου εξοπλισμού από τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας αλλά την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας EDGE σε σχέση με το ήδη υπάρχον GSM δίκτυο, είναι η χρήση μίας διαφορετικής μεθόδου διαμόρφωσης των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται 8PSK (8 Phase Shift Keying modulation) επιτρέποντας τη μεταφορά 3 bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Η τεχνολογία που παρέχουν τα απλά δίκτυα GSM με υποστήριξη υπηρεσιών GPRS, χρησιμοποιεί τη μέθοδο GMSK (Gaussian pre-filtered Minimum Shift Keying) η οποία βασίζεται στη μέθοδο Gauss για την εκθετική μείωση των πιθανοτήτων λάθους κατά τη μεταφορά των δεδομένων, αλλά επιτρέπει τη μεταφορά μόνο ενός bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι 384Kbps ή και 768kbps με στόχο όμως να φτάσει τα 2Mbps. Επίσης το EDGE έχει την ικανότητα αναμετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών, που δεν κωδικοποιήθηκε σωστά, με ένα περισσότερο ισχυρό σχήμα κωδικοποίησης, ενώ στο GPRS τα πακέτα θα έπρεπε να αποστέλλονται με το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης ακόμη και αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αποτέλεσμα τις αποσυνδέσεις και τα προβλήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση.

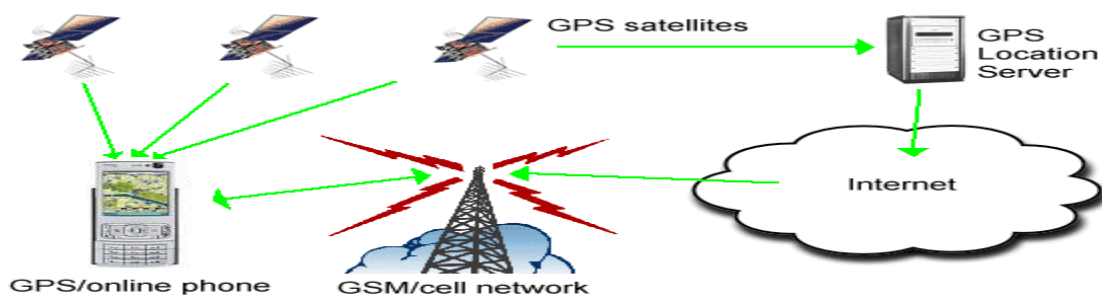
3.8 Πριν το GSM - 1η Γενιά

Η 1G πρώτη γενιά χρησιμοποιούταν από αρκετές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας ήταν η αναλογική και χαμηλή ποιότητα μετάδοσης της φωνής με πολλά προβλήματα σύνδεσης, με ογκώδης και βαριές συσκευές, με χαμηλό επίπεδο ασφάλειας, την έλλειψη ποικίλων υπηρεσιών κτλ. Ποιο συγκεκριμένα υπήρχαν οι εξής τεχνολογίες:

Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) ήταν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τα εργαστήρια της Bell στα μέσα του 1970 λειτουργώντας σε συχνότητες των 800MHz (824-894MHz) βασισμένο στην τεχνολογία FDMA. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε λίγο αργότερα το NAMPS (Narrowband AMPS), το οποίο ενσωμάτωνε κάποια ψηφιακή τεχνολογία προκειμένου να επιτρέψει στο σύστημα να αυξήσει τη χωρητικότητά του έως και 3 φορές περισσότερες κλήσεις από το αρχικό AMPS. Το NAMPS μπορεί να έκανε κάποια χρήση ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό.

Το TACS (Total Access Communication System) ήταν μια αντίστοιχη τεχνολογία του AMPS που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του '80. Λειτουργούσε σε συχνότητες των 900MHz υποστήριζε και διάφορες υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης.

Το C-Network ή αλλιώς C-450 ήταν ένα από τα πρώτα κυψελοειδή δίκτυα και εντοπίζονταν στη Γερμανία, Πορτογαλία και Νότιο Αφρική. Είναι η πρώτη τεχνολογία που υποστήριζε να μεταφέρεται το σήμα από τη μια κυψέλη στην άλλη χωρίς να διακόπτεται.



Σχ.10 Επικοινωνία.



3.9 Κάρτα SIM

Η κάρτα SIM (Subscriber Identity Module) είναι η έξυπνη κάρτα (ακολουθεί τα πρότυπα ISO) που παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με το συνδρομητή και αποθηκεύονται από την πλευρά αυτού.

Η SIM υλοποιεί και λειτουργίες ασφαλείας όπως:

- Πιστοποίηση της ταυτότητας του συνδρομητή.
- Κρυπτογράφηση.
- Προστασία της ταυτότητας του συνδρομητή.

Τα πλεονεκτήματα της SIM είναι πολλά και ένα από τα βασικότερα είναι το ότι κάθε χρήστης μπορεί να δανείσει ή να δανειστεί ένα κινητό για ένα μικρό διάστημα, χωρίς να χάσει τη δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο, με την χρήση της προσωπικής του κάρτας. Με αυτόν τον τρόπο ο συνδρομητής αποκτά μια αυτονομία σε σχέση με τη συσκευή.

3.9.1 Εσωτερική οργάνωση της SIM

ROM: περιέχει κρυπτογραφημένα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την SIM και τον συνδρομητή (όπως για παράδειγμα ο σειριακός αριθμός, η έκδοση του λειτουργικού συστήματος κ.α.), την κατάσταση της SIM (δηλαδή αν είναι κλειδωμένη ή όχι) και τον προσωπικό αριθμό αναγνώρισης IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ο οποίος εκπέμπεται όταν ανοίξουμε ή κλείσουμε το κινητό για να φαίνεται στο δίκτυο αν είναι ενεργοποιημένο ή όχι έτσι ώστε να μη γίνονται άσκοπες κλήσεις και καταλήψεις καναλιών επικοινωνίας.

EEPROM: επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύει δικά του δεδομένα όπως νέο προσωπικό κωδικό PIN, τηλεφωνικό κατάλογο κ.α.

4.ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος, έγινε εκτενής αναζήτηση για το gprs module το οποίο τελικά θα χρησιμοποιούσε η εφαρμογή. Βασικές απαιτήσεις ήταν να είναι χαμηλού κόστους, εύκολα διαθέσιμο, να έχει υποστήριξη, να υποστηρίζει gprs και βασικότερο από όλα να έχει ενσωματωμένο tcp/ip stack. Το ενσωματωμένο tcp/ip βοηθάει τον σχεδιαστή της εφαρμογής να συγκεντρωθεί στον σκοπό της εφαρμογής και όχι να αναλωθεί ξαναγράφοντας ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης συνδέσεων tcp/ip.

Έτσι επελέχθη η σειρά gm862 των M2M modems της εταιρίας Telit, η οποία περιλαμβάνει μοντέλα ειδικά σχεδιασμένα για να ενσωματώνονται σε εφαρμογές με μικροελεγκτές, και ειδικότερα το gm862-rython, λόγω του είναι σχετικά φθηνό, μικρού μεγέθους, και καλύπτει όλα τα δίκτυα που υπάρχουν στην Ευρώπη



Σχ.15 gm862.

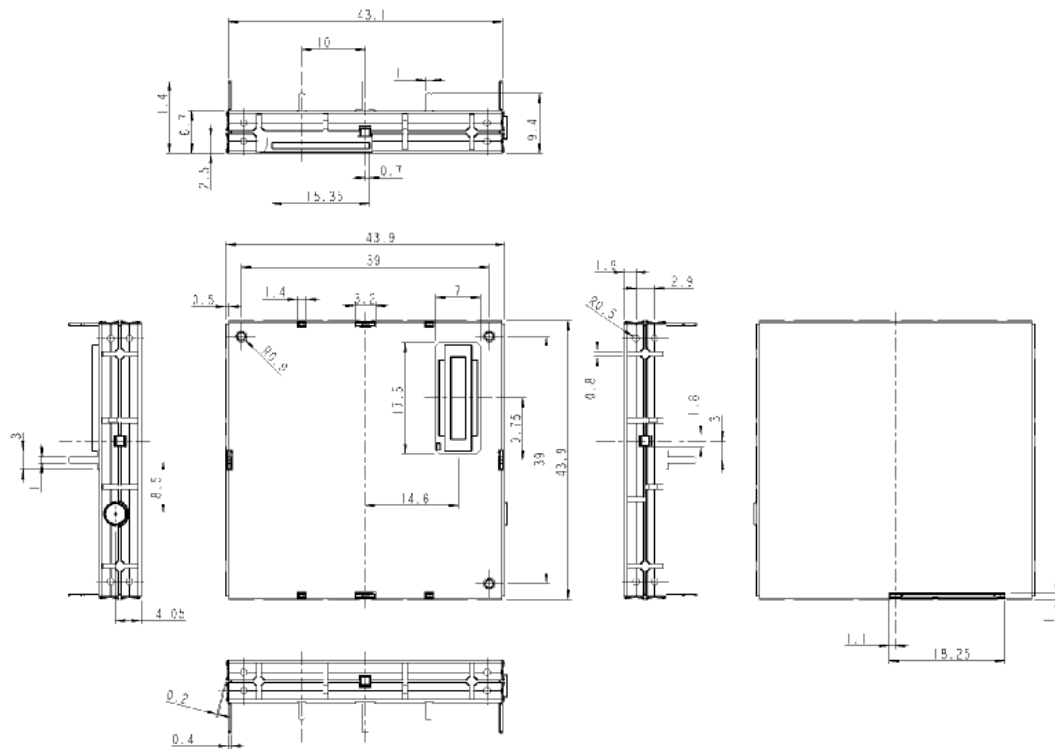
Τα χαρακτηριστικά του gm862-python αναλυτικά:

- Υποστηρίζει δίκτυα 850/900/1800/1900 PCS/DCS
- Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος
- Λειτουργία σε εκτεταμένα όρια θερμοκρασίας
- Ελέγχεται με AT εντολές σαν modem
- Πλήρως συμβατό με ETSI GSM 07.07
- Ενσωματωμένος python interpreter και 3Mbytes μνήμης για προγράμματα χρήστη
- Ενσωματωμένο tcp/ip stack με λειτουργία EASY GPRS
- Σύνδεση με camera, λειτουργία EASY CAMERA
- Λειτουργία EASY SCAN, για πλήρη σάρωση συχνοτήτων GSM
- Έλεγχος παρεμβολών GSM (Jamming detection)
- Ενσωματωμένη υποδοχή κάρτας SIM
- Ισχύς εξόδου: Class 4 (2W)@GSM900, Class 1 (1W)@GSM1800/1900
- Τάση λειτουργίας 3.4..4.2V. Προτεινόμενη 3.8V με κατανάλωση 3.5mA σε αναμονή
- SMS, EMS(concatenated messages)
- Circuit Switched Data (CSD) έως 14.4Kbps
- GPRS Class 8/10 μέχρι 85.6KBps
- 13 πόρτες εισόδου/εξόδου, ελεγχόμενες από εντολές AT.

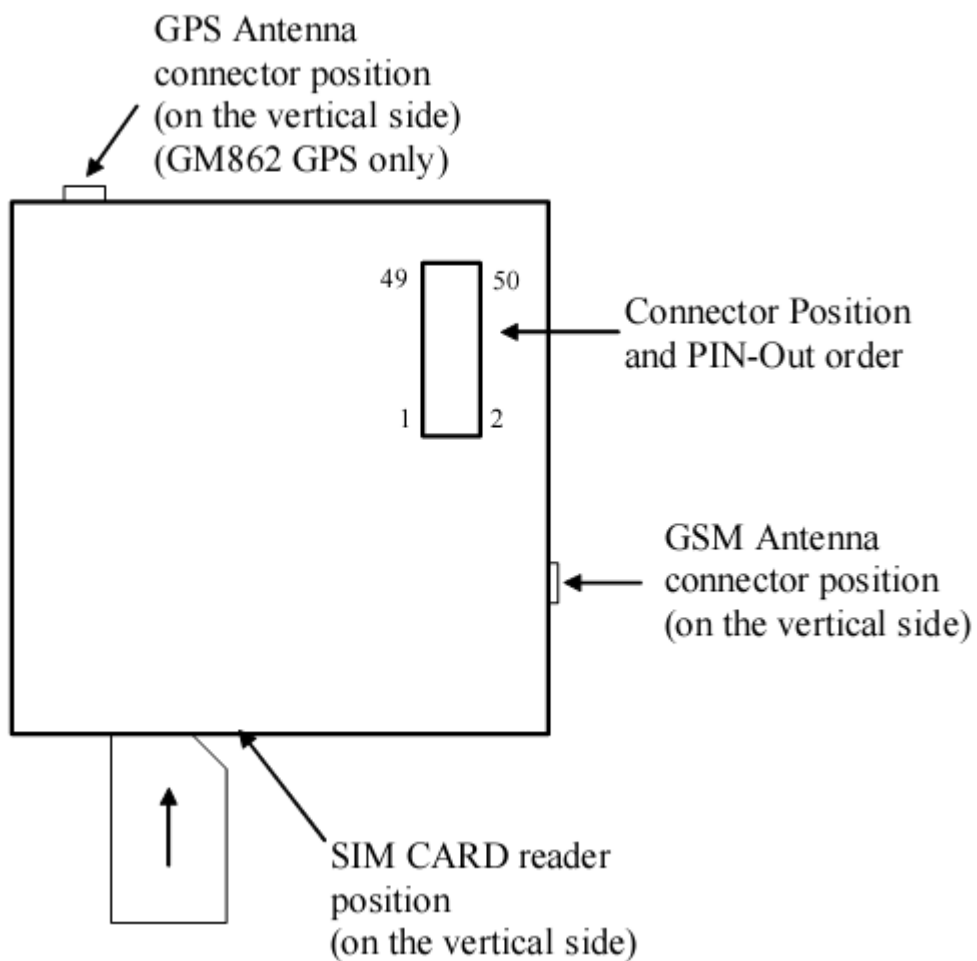
4.2 Διαστάσεις

Οι διαστάσεις του gm862-python είναι:

Μήκος	43.9χιλ
Πλάτος	43.9χιλ
Πάχος	6.9χιλ
Όγκος	≈13cm ³
Βάρος	23-28gr



Σχ.16 Διαστάσεις.



Σχ.17 Λειτουργίες.

4.3 Συχνότητες Λειτουργίας

Mode	Συχν.εκπομπής TX (MHz)	Συχν.Λήψης RX (MHz)	Κανάλια (ARFC)	Απόκλιση TX-RX
E-GSM 900	890.0-914.8	935.0-959.8	0-124	45 MHz
	880.2-889.8	925.2-934.8	975-1023	45 MHz
GSM-850	824.2-848.8	969.2-893.8	128-251	45 MHz
DCS-1800	1710.2-1784.8	1805.2-1879.8	512-885	95 MHz
PCS-1900	1850.2-1909.8	1930.2-1989.8	512-810	80 MHz

4.4 Κεραία

Εύρος Συχνότητας	80MHz σε EGSM, 150MHz σε GSM850, 170MHz σε DCS 140MHz σε PCS
Απολαβή	1.5dBi < Απολαβή < 3dBi (αναφορικά με λ/2 δίπολο)
Σύνθετη αντίσταση	50Ω
Ισχύς εισόδου	>2W μέγιστη ισχύς
VSWR απόλ. Μέγιστο	<10:1
VSWR συνιστούμενο	<2:1
Σύνδεση	50Ohm MMCX coaxial female

4.5 Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία θα πρέπει να συνδεθεί στην ακίδα VBATT και να πλήρη τις παρακάτω προδιαγραφές:

Κανονικά τάση λειτουργίας	3.8V
Εύρος τάσεων	3.4V – 4.2V

Η μέγιστη τάση τροφοδοσίας δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβεί τα 4.2V αλλιώς κινδυνεύει η μονάδα να καταστραφεί.

Κατανάλωση ρεύματος:

Εκτός λειτουργίας	<26μΑ
Σε αναμονή	<17mA (<4mA αν χρησιμοποιήσουμε την εντολή AT+CFUN)
Σε λειτουργία φωνής	250mA +/- 20% σε κανονικές συνθήκες δικτύου <350mA/1.9A max στις χειρότερες συνθήκες
Σε λειτουργία gprs class 10	<700mA στις χειρότερες συνθήκες

Στα συστήματα που επικοινωνούν με δίκτυα gsm όπως αυτό, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον σχεδιασμό του συστήματος τροφοδοσίας, επειδή απαιτούνται στιγμιαία μεγάλα ρεύματα. Αν το σύστημα τροφοδοσίας δεν είναι ικανό να ανταπεξέλθει, θα έχουμε ως αποτέλεσμα θόρυβος, που θα είναι ακουστός στην συχνότητα των 216Hz. Ακόμα χειρότερα μπορεί να έχουμε στιγμιαίες βυθίσεις τάσης που μπορεί να επιφέρουν ακόμα και το σβήσιμο του module.

Στο σύστημα μας θα χρησιμοποιήσουμε απευθείας τροφοδοσία από μια κινεί μπαταρία κινητού τηλεφώνου. Η μπαταρία αυτή είναι liion επαναφορτιζόμενη λειτουργίας μέχρι 3 ημερών.



Σχ.18 Μπαταρία.

4.6 Οθόνη.

Η οθόνη που χρησιμοποιήσαμε έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- 16 χαρακτήρες x 2 γραμμές αλφαριθμητική οθόνη.
- Απλή διεπαφή με βάση τον ελεγκτή HD44780.



- Μορφή Χαρακτήρα: 5x8 κουκίδες
- Διαστάσεις: 80x36x13.5 (πλάτος x ύψος x βάθος)
- Τύπος LCD: μπλε STN
- Οπίσθιου φωτισμού LED.
- Παροχή 5V-35V
- Χαμηλή κατανάλωση:

4.7 Σχεδιασμός κυκλωμάτων στην πλακέτα

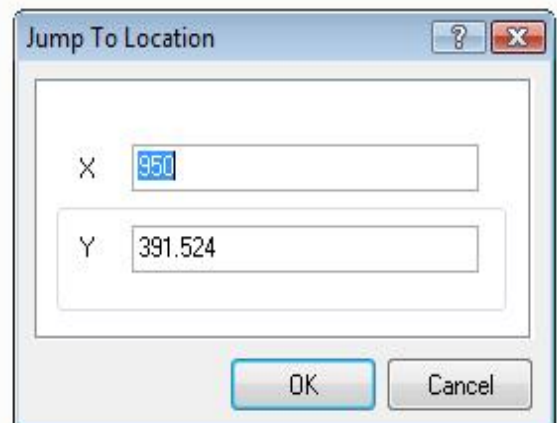
Για το σχεδιασμό του κυκλώματος στην πλακέτα λάβαμε μεγάλη προσοχή πώς θα τα τοποθετούσαμε για να μπορούσαμε να περιοριστούμε σε όσο το πιο δυνατό πιο λίγο χορό μπορούσαμε. Έτσι θα μπορούσαμε να έχουμε όσο πιο μικρή κατασκευή για να μπορεί να τοποθετηθεί κάπου που να μην είναι εύκολα διακριτή, για το λόγο ότι θα προτίθεται για κλοπές.

Έτσι το σχεδιαστικό πρόγραμμα που επιλέξαμε να δουλέψουμε ήταν το ALTIUME DESIGNER WINTER 2009. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι μια εξέλιξη του protel και είναι ένα πολύ

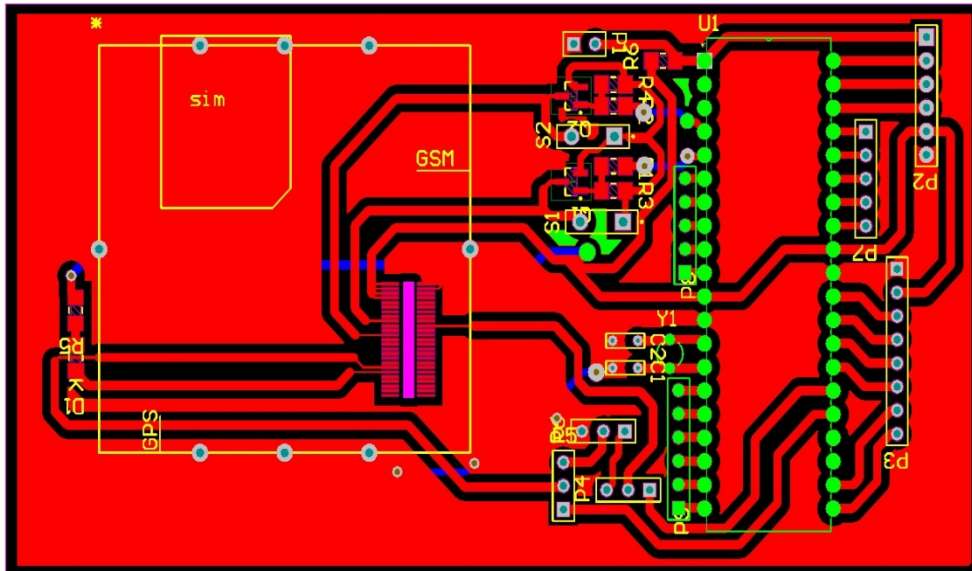
ισχυρό πρόγραμμα για σχεδιασμό πλακετών και διαφορών κυκλωμάτων.

Το μεγαλύτερο του πλεονέκτημα ήταν ότι μπορούσαμε να τοποθετήσουμε τα υλικά μας με ακρίβεια στην πλακέτα μας για να διατηρούμε ένα ομοιόμορφο σχήμα, και μας ήταν πιο εύκολο για μας να είναι πιο μικρή και να μπορούμε να δουλέψουμε εύκολα πάνω της για να κυλίσουμε τα διάφορα εξαρτήματα μας. Ένα άλλο πολύ καλό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου προγράμματος είναι ότι μπορεί

να φέρει την πλακέτα σε μια τρισδιάστατη μορφή και έτσι αυτός που δουλεύει πάνω σε αυτό μπορεί να έχει μια ξεκάθαρη εικόνα προτού μπει στην διαδικασία τις



4.7.2 ΤΥΠΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΛΑΚΕΤΤΑΣ



Σχ.20 Τυπόμενο κύκλωμα.

4.7.3 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ

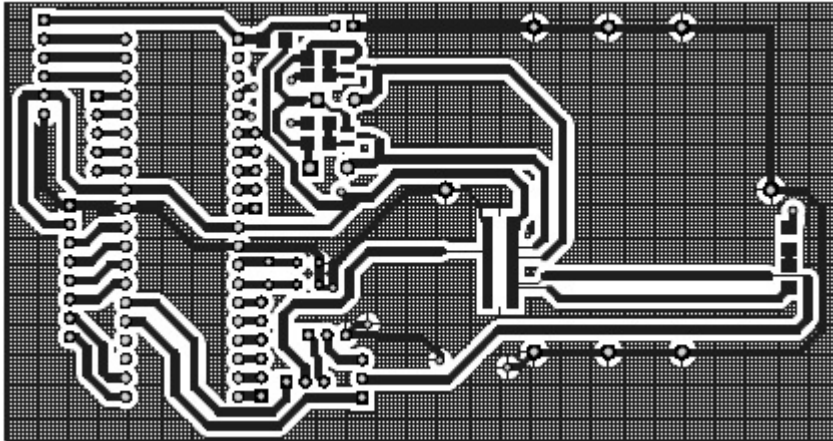
Για να μπορέσουμε να εμφανίσουμε την πλακέτα ακολουθήσαμε μια συγκεκριμένη διαδικασία για να μπορούμε να έχουμε καλό αποτέλεσμα, για να είναι οι αγωγοί μας καθαροί και όσο το πιο δυνατό ευδιάκριτοι όσο λεπτοί και να είναι.

Τα υλικά μας είναι

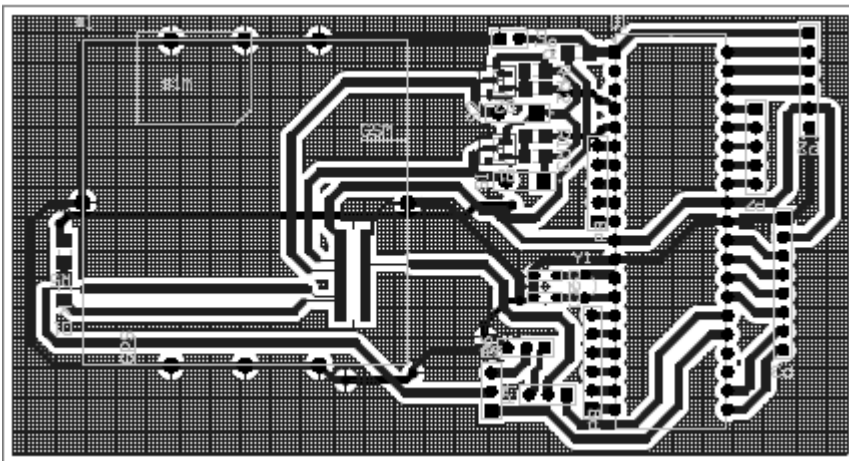
1. Φωτοευαίσθητοι πλακέτα:
2. Λάμπα υδράργυρου:
3. Υδροχλωρικό οξύ
4. Περιντρλ
5. Καυστική σόδα
6. Δυο χοντρά γυαλιά

Τα βήματα που ακολουθούμε είναι:

1. Τυπώνουμε το σχεδιασμένο μας κύκλωμα σε ριζόχαρτο, όπου αυτό το σχέδιο είναι το «αρνητικό».



Σχ.21



Σχ.22

2. Στη συνέχεια περνούμε την φωτοευαίσθητη πλακέτα για να αφαιρέσουμε την προστατευτική μεμβράνη και πάνω της να τοποθετήσουμε το τυπωμένο μας.
3. Ακόλουθος τοποθετούμε την πλακέτα μας κάτω από την λάμπα μας με δυο χοντρά γυαλιά από πάνω για να έχει αρκετό βάρος ώστε να πατά καλά στην πλακέτα το τυπωμένο μας για να έχουμε όσο πιο καλό αποτέλεσμα γίνετε γιατί είναι το πιο σημαντικό βήμα για να είναι η χαλκοί μας τέλειοι, αλλιώς θα είναι θολοί και δεν θα έχουμε καλό αποτέλεσμα.
4. Στη συνέχεια ανάβουμε την λάμπα για συγκεκριμένο χρόνο για να γυνή η χημική δομή σε όπια δήποτε επιφάνια που δεν καλύπτετε από το τυπωμένο μας.

5. Μετά τοποθετούμε την πλακέτα μας σε διάλυμα από καυστική σόδα για να φύγει το φωτοευαίσθητο υλικό με το οποίο είναι καλυμμένη και να εμφανιστούν οι αγωγοί.
6. Τέλος, η πλακέτα τοποθετείτε σε διάλυμα με υδροχλωρικό όξι και περιντρόλ για να φύγει ο χαλκός που δεν χρειαζετε.

4.8 Τελική μορφή κατασκευής

Μετά από πολύωρη εργασία καταφέραμε να φτάσουμε στην τελική του μορφή όπως φαίνεται πιο κάτω.



Σχ.23

4.9 Κεντρικός επεξεργαστής

Ο κεντρικός επεξεργαστής είναι το κύριο εξάρτημα όλου του κυκλώματος γιατί είναι υπεύθυνος για όλη τη λειτουργία της πλακέτας και για τα υπόλοιπα που την απαρτίζουν αυτή. Αν έρθουμε λίγο πίσω για μια μικρή ανάδρομη για τους μικροελεγκτές ο πρώτος ονομαστικέ 4004 και κυκλοφόρησε το 1971 και έκανε απλά αριθμητικές πράξης των 4-bit. Το κόστος του ήταν κάτι χιλιάδες δολάρια.

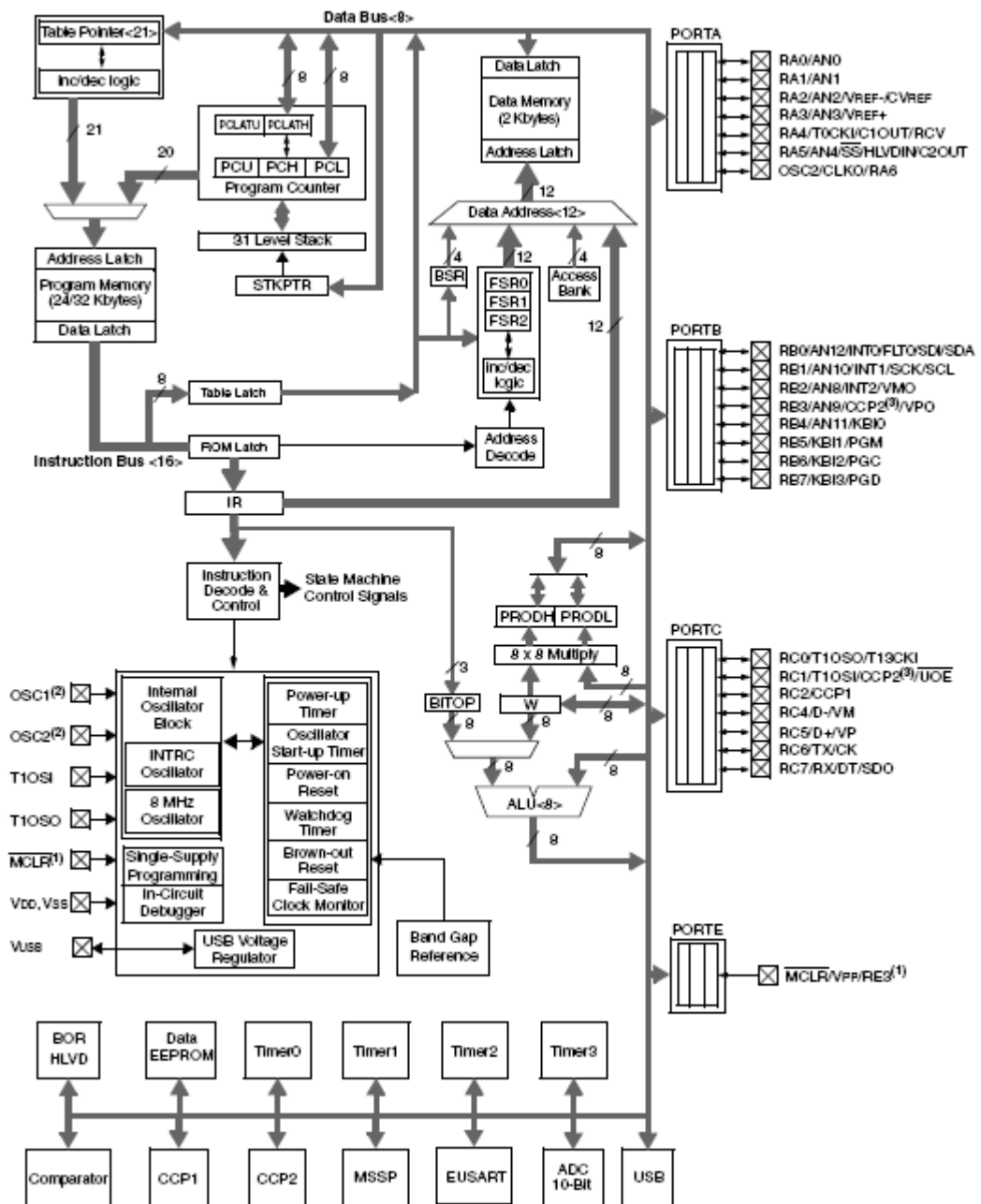


Το 1974 κυκλοφορά στην αγορά ο 8-bit μικροελεγκτής ο οποίος κατασκευάστηκε από την Intel και ονομαστικέ 8080, ήταν γενικής χρήσης και εκτελούσε 290,000 εντολές το δευτερόλεπτο. Λόγο της ταχύτητας του και της αποδοτικότητας του είχε μεγάλη επιτυχία και κόστιζε γύρο στα 360 δολάρια.

Στο κύκλωμα μας χρησιμοποιήσαμε τον μικροελεγκτής PIC18IF4550 της microchip technology inc. Τα αρχικά PIC βγήκαν από της λέξης programmable intelligent computer. Ο λόγος που τον επιλέξαμε είναι:

1. Η μεγάλη μνήμη RAM.
2. Δεν χρειάζεται εξωτερικό ταλαντωτή γιατί διαθέτει εσωτερικά έναν στα 48 MHz.
3. Τάση τροφοδοσίας max 5.5V.

Πιο κάτω στο μπλοκ διάγραμμα θα δούμε όλες της μονάδες του μικροελεγκτή.



Σχ.24 Μπλοκ διάγραμμα.

Χόνδρινα ο μικροελεγκτής απαρτίζεται από τρία μέρη την έξοδο και είσοδο την μνήμη και τη μονάδα επεξεργασίας.

4.9.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΗΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ

Όταν ολοκληρωθεί η όλη εγγραφή του κώδικα για να μπορέσουμε να το περάσουμε στο μικροελεγκτή, χρειάζεται τον προγραμματιστή.

Οι πιο πόλοι μικροελεγκτές της microchip technology inc μπορούν να προγραμματιστούν με έναν προγραμματιστή. Είναι ένα κουτί που ονομάζεται ICD-3. Αυτός ο προγραμματιστής έχει ένα σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή μας πάνω στην πλακέτα μας χωρίς να χρειάζεται κάθε φορά να τον αφαιρούμε. Τον προγραμματιστής αυτό τον βλέπουμε πιο κάτω.



Σχ.25

4.10 Λογισμικό προγραμματισμού

Όπως αναφέραμε πιο πάνω ο μικροελεγκτής είναι προγραμματισμένος, για να λειτουργήσει θα πρέπει να γραφεί ο κώδικας πρώτα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και ακόλουθος να των περάσουμε στον μικροελεγκτή. Ο κώδικας ορίζει την λειτουργία του μικροελεγκτή.

Στο εμπόριο υπάρχουν πολλά διαθέσιμα προγράμματα γραφής κώδικα. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το PIC C compiler της εταιρείας CCS. Είναι πολύ εύκολο στη χρήση πρόγραμμα και πολύ ισχυρό, λόγω του ότι ο κώδικας γράφεται στην γλώσσα προγραμματισμού C# και στη συνέχεια το πρόγραμμα τον μετατρέπει σε γλώσσα μηχανής, δηλαδή με "0" και "1". Επίσης, διαθέτει έτοιμες ρουτίνες οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν στο πρόγραμμα γραφής, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου.

Η λογική για την υλοποίηση του προγράμματος φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα. Στο διάγραμμα 1 όπως μπορούμε να διακρίνουμε αποτελείται από τέσσερα στάδια,

1. Αρχή
2. Αρχικοποίηση PIC

Στα δυο πρώτα στάδια έχουμε την αρχικοποίηση του μικροελεγκτή, ορίζονται ποιες θα είναι οι έξοδοι, είσοδοι, για πιο μικροελεγκτή γράφετε το πρόγραμμα, ποια περιφερικά κομμάτια του μικροελεγκτή χρησιμοποιούνται, και ποια είναι η συχνότητα λειτουργίας του κρυστάλλου, αυτές οι αρχικοποιήσεις είναι πολύ σημαντικές γιατί χωρίς αυτές δεν μπορεί το πρόγραμμα να συνεχίσει και ακολούθως να λειτουργήσει καταλλήλως.

Στα τελευταία δυο στάδια

3. Αρχικοποίηση εξωτερικών περιφερικών κομματιών
4. Αρχικοποίηση διακοπών και επικοινωνίας.

Αρχικοποιούνται τα περιφερικά κυκλώματα. Η αρχικοποίησης αυτόν τον περιφερικών είναι τυποποιημένες από τον κατασκευαστή του κάθε ολοκληρωμένου εξαρτήματος. Τέλος κάνουμε την αρχικοποίηση της επικοινωνίας που είναι απαραίτητη ώστε να ρυθμιστή η κατάλληλη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από και προς το GPS.



Σχ .26 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ απαιτούμενα στάδια αρχικοποίησης

Κώδικας αρχικοποίησης

```
#include <18F4550.h>
#device adc=8
#device HIGH_INTS=TRUE
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES WDT128         //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#FUSES HS              //Crystal osc <= 4mhz
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES BROWNOUT       //Reset when brownout detected
#FUSES BORV20         //Brownout reset at 2.0V
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES STVREN         //Stack full/underflow will cause reset
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES LVP            //Low Voltage Programming on B3(PIC16) or 5(PIC18)
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES NOWRTD         //Data EEPROM not write protected
#FUSES IESO           //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES FCMEN          //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES PBADEN         //PORTB pins are configured as analog input
                      channels on RESET
#FUSES NOWRTC         //configuration not registers write protected
#FUSES NOWRTB         //Boot block not write protected
#FUSES NOEBTR         //Memory not protected from table reads
#FUSES NOEBTRB        //Boot block not protected from table reads
#FUSES NOCPB          //No Boot Block code protection
#FUSES MCLR           //Master Clear pin enabled
#FUSES LPT1OSC        //Timer1 configured for low-power operation
#FUSES NOXINST        //Extended set extension and Indexed Addressing
                      mode disabled (Legacy mode)
#FUSES PLL1           //No PLL PreScaler

#use delay(clock=20000000)
```

```
#zero_ram
```

```
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
```

```
#priority INT_RDA,INT_EXT
```

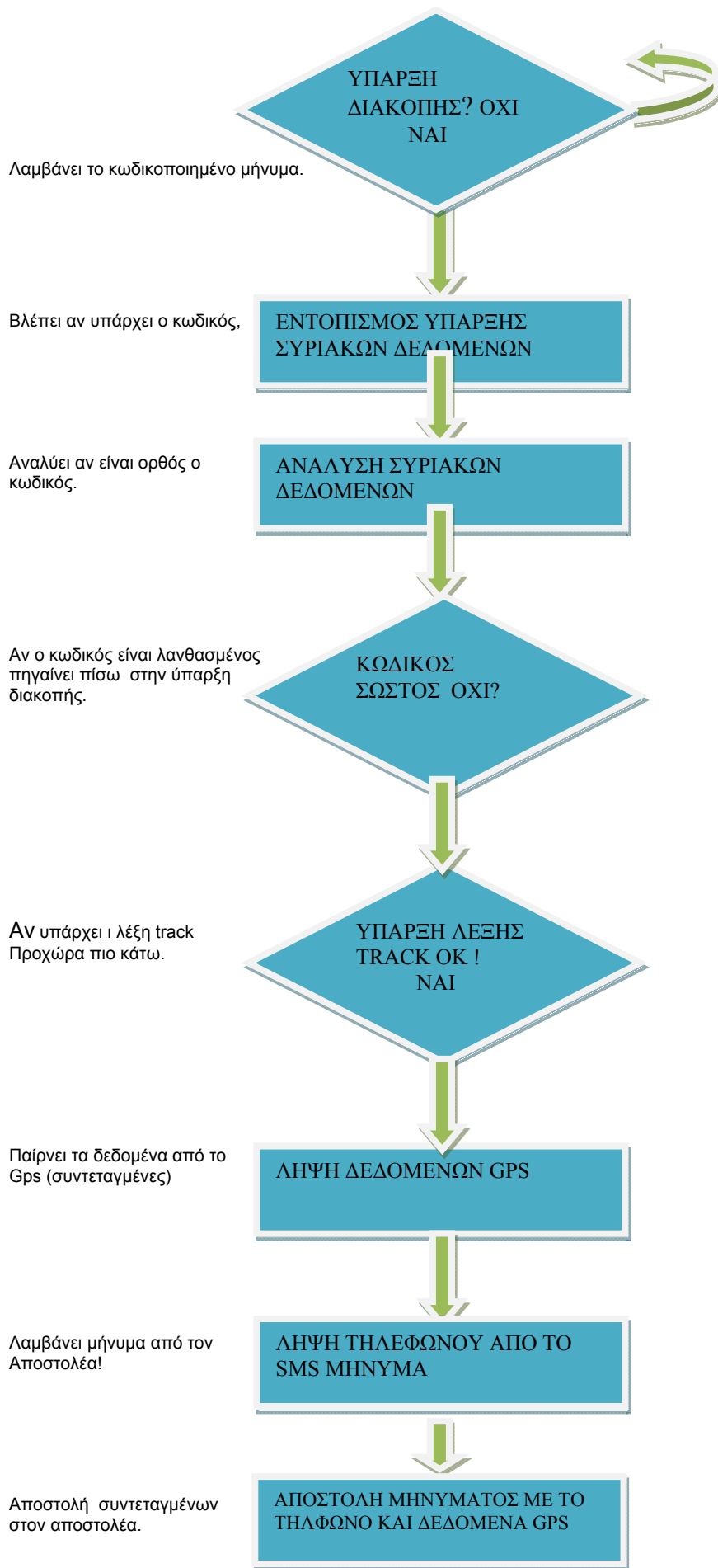
```
#define KEYHIT_DELAY 500
```

```
///byte rcreg =0xfae
```

```
#include <ctype.h>
```

```
#include "flex_lcd.c" // einai tropopieimenh rutina kai prepei na thn exw ston  
fakello me to kyrios programma
```

Τελειώνοντας τις αρχικοποιήσεις μας το επόμενο στάδιο είναι η αναμονή μέχρι να δεχτεί το μήνυμα και να απαντήσει συντεταγμένες.



Κώδικας αποστολής μηνύματος

```

void send_sms(void){
    printf("AT+CMGS=\%s\r",gsm_tel); //sms to number
    delay_ms(1000);
    printf("\%s \%s \x1a",gps_north, gps_east);
}

```

Kodikos pou diavazei to mynima

```

void sms_read(void){
    long first_char;
    int count2=0;
    int count1=0;
    if(strfind(isrbuffer,code)){ //an egrapse sosto kodiko
        if(strfind(isrbuffer,track_)){
            get_tel_from_message();
            get_gps_pos();
            send_sms();
        }
    }
}

```

Επίλογος

Η ανάπτυξη μια τέτοιας κατασκευής μας βοήθησε να επεκταθούμε στις εν λόγω γνώσεις που είχαμε σε περισσότερο βάθος και να γνωρίσουμε καινούρια πράγματα που υπάρχουν στη σημερινή αγορά. Παρόλες της δυσκολίας που βρήκαμε και τα άγνωστα υλικά που υπήρχαν σε κάθε στάδιο που προχωρούσαμε καταφέραμε και βρήκαμε ένα τρόπο για να ελέγχουμε το όχημα μας από το σπίτι και να μην ανησυχούμε αν κλαπεί από κοπιών. Μια από τις πιο σημαντικές δυσκολίες που συναντήσαμε ήταν πως να καταφέρουμε την επικοινωνία με το GPS. Μετά από αρκετές προσπάθειες και μελέτης του συστήματος πετύχαμε και ξεπεράσαμε το πρόβλημα..

Η γνώσεις που αποκτήσαμε με αυτήν την κατασκάβει θα μας βοηθήσουν για την μετέπειτα πορεία που θα ακολουθήσουμε στην καριέρα μας.

Βιβλιογραφία

Farrell J., Barth M., 1999: The global positioning system and inertial navigation. New York: McGraw-Hill.

Elliott D. Kaplan, 1996: Understanding GPS: principles and applications. Boston: Artech house.

Φωτίου Α, Πικριδάς Χ., 2006: GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Ζήτη.

Taub H., Schilling D., 2005 (1991): Αρχές Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων. Θεσσαλονίκη: εκδόσεις Τζιόλα.

GPS Beginner's Guide Manual, Εταιρίας GARMIN

Introduction to GPS, version 1, Εταιρίας Leica Geosystems

Διαδικτυακές πηγές

www.gps.gov Επίσημη ιστοσελίδα GPS των ΗΠΑ

www.garmin.com

www.leica-geosystems.com

www.microchip.com

www.ebay.com



Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης
Τμήμα Ηλεκτρονικής

**Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης .
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών . Τμήμα Ηλεκτρονικής.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εντοπισμός θέσης μέσω συστήματος GPS-GSM

Κωδικός:09119ΥΣ

**Όνοματεπώνυμο: 1-ΣΥΜΕΟΥ ΣΙΜΟΣ (503702)
2-ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ(504206)**

Υπεύθυνος Καθηγητής: ΒΑΣΣΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**Ημ ανάληψης:20/02/2009
Ημ. Παράδοσης: 06/09/2010**

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε και θα υλοποιήσουμε ένα πλήρες σύστημα προστασίας οχημάτων το οποίο θα είναι τοποθετημένο μέσα στο όχημα χωρίς να ξέρει κανένας ότι υπάρχει τέτοιο σύστημα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η χρήση της τεχνολογίας GSM και της τεχνολογίας παγκόσμιου εντοπισμού θέσης GPS οι οποίες παρέχουν ανά πάσα στιγμή στον ιδιοκτήτη την δυνατότητα παρακολούθησης του οχήματος του.

Η πτυχιακή αυτή χωρίζεται σε τέσσερα μεγάλα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο έχουμε την εισαγωγή και γενικές αρχές για τις λειτουργίες του συστήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη και λειτουργία του GPS πότε το ανακάλυψαν και πώς εξελίχτηκε.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάμε την κινητή τηλεφωνία GSM , πώς λειτουργεί η κυψελοειδής δομή, η ζώνη συχνοτήτων και η αρχιτεκτονική του.

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής μελέτη και ανάλυση για το πώς λειτουργεί η πλακέτα μας και πώς καταφέραμε να την φέρουμε εις πέρας στην τελική της μορφή.

Summary

In this paper we will study and implement a comprehensive system for protecting vehicles. The system is designed to be set up in the vehicle, without other people knowing its existence. The biggest advantage of having such a system relates to the fact that it makes use of the Global System for Mobile Communications (GSM), as well as Global Positioning System (GPS) technologies. These services allow the owner to locate and observe their vehicle at any time.

This thesis consists of four main chapters.

The first chapter serves as an introduction to the thesis and sets out the general principles of the system's functions.

In the second chapter, the emergence and development of GPS is examined.

In the third chapter, we look into GSM; how the cellular structure works, the frequency bands and its architecture.

In the final chapter, a detailed analysis of how our pcb board works is carried out. Also, we discuss how we managed to get it in its final form.