

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΓΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστής:

Κοκκώνης Αθανάσιος

Με θέμα:

**ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ**



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

Επιβλέποντες καθηγητές: Παναγιώτης Ηρ. Γιαννακοπουλος

Δημήτριος Νικολόπουλος

ΑΘΗΝΑ - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μου, Κ. Παναγιώτη Ηρ. Γιαννακοπουλο και Κ. Δημήτριο Νικολόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Όπως επίσης θα θελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου και στην αδερφή μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. Ετυμολογία.....	7
1.2. Ιστορική αναδρομή	7
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ	9
2.1. Βασικό σύστημα τηλεμετρίας	9
2.2. Υποσυστήματα.....	12
2.3. Μέσα μετάδοσης σήματος	12
2.3.1. Σύρματα χαλκού.....	12
2.3.2. Ασύρματη σύνδεση με ραδιοκύματα.....	13
2.3.2.1. Σύνδεση μικρής απόστασης.....	13
2.3.2.2. Δορυφορική σύνδεση.....	14
2.3.3. Οπτικές ίνες.....	15
2.4. Διαμόρφωση σήματος	16
2.4.1. Αναγκαιότητα της διαμόρφωσης	16
2.4.2. Λόγοι διαμόρφωσης.....	16
2.4.3. Μέθοδοι διαμόρφωσης ανα κατηγορία.....	17
2.4.3.1. DC Τηλεμετρικά συστήματα	17
2.4.3.2. AC Τηλεμετρικά συστήματα	21
2.4.3.3. Αναλογικά τηλεμετρικά συστήματα παλμού	25
2.4.3.4. Ψηφιακά τηλεμετρικά συστήματα παλμού	30
3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ.....	37
3.1. Τηλεμετρία στην ιατρική	37
3.2. Τηλεμετρία στα δίκτυα κοινής ωφέλειας	39
3.3. Τηλεμετρία στην μετεωρολογία.....	40
3.4. Τηλεμετρία στην σεισμολογία.....	41
3.5. Τηλεμετρία στον αθλητισμό.....	42
4. ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ.....	50
4.1. Ορισμός της πολυπλεξίας	50
4.2. Σκοπός της πολυπλεξίας	51
4.3. Ανάλυση Fourier σημάτων.....	51
4.4. Τεχνικές πολυπλεξίας.....	55
4.4.1. Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (FDM).....	55

4.4.2.	Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (TDM)	57
4.4.3.	Συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών πολυπλεξίας	61
4.4.4.	Στατιστική πολυπλεξία.....	64
4.4.5.	Πολυπλεξία κώδικα (CDMA)	65
4.4.6.	Πολυπλεξία διέρευσης μήκους κύματος (WDM).....	68
5.	Βιβλιογραφία	71
6.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄	72
6.1.	Πίνακας Σχημάτων	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή έγινε με σκοπό να γίνει κατανοητή η έννοια της τηλεμετρίας και των τεχνικών πολυπλεξίας που συχνά χρησιμοποιήτε σε αυτήν.

Αφού εξήγησουμε στη θεωρία τη σημαίνει τηλεμετρία και πως φτάσαμε να την χρησιμοποιούμε σήμερα στο πρώτο κεφάλαιο, στη συνέχεια θα εμβαθύνουμε στα διάφορα συστήματα τηλεμετρίας που χρησιμοποιούν σήμερα διάφορες εταιρίες και οργανισμοί. Θα δούμε τον τρόπο που συλλέγονται τα δεδομένα και την πορεία που έχουν μέχρι να φτάσουν στο δικό μας σύστημα ώστε να τα επεξεργαστούμαι. Θα αναλύσουμε τα διάφορα μέρη που χρειάζονται για να στηθεί ένα σύστημα τηλεμετρίας, τη διαφορετικότητα που μπορεί να έχει το ένα σύστημα απο το άλλο ανάλογα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιήτε ή με το είδος της διαμόρφωσης του σήματος που χρησιμοποιήτε. Θα αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονέκτηματα του κάθε συστήματος καθώς επίσης θα αναφερθούν και διάφορες εφαρμογές που έχει η τηλεμετρία στη σημερινή εποχη εξηγώντας και την χρησιμότητά τους.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην πολυπλεξία. Η πολυπλεξία οπως θα καταλάβεται κατά την ανάγνωση σας, έχει σημαντικό ρόλο στη τηλεμετρία. Ετσι θα αναφερθούμε στις πιο βασικές τεχνικές που υπάρχουν για να επιτευχθεί, με σκόπο να κάνουμε την τηλεμετρία ακόμα πιο εύκολη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ετυμολογία

Η λέξη «τηλεμετρία» προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη “τηλε” η οποία προσδίδει στην έννοια της μεγάλης απόστασης σε κάτι και την λέξη “μετράω”. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η τηλεμετρία είναι μια ιδιαίτερα αυτοματοποιημένη διαδικασία επικοινωνίας που περιλαμβάνει τη συλλογή των μετρήσεων και άλλων δεδομένων σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές και την συνήθως ασύρματη μετάδοση των δεδομένων αυτών.

1.2. Ιστορική αναδρομή

Η τηλεμετρία άρχισε να κάνει την εμφάνισή της τον 19ο αιώνα. Τότε ήταν η περίοδος που άρχισε η πληροφορία να μεταδίδεται πάνω σε σύρματα χαλκού. Το έτος 1845 κατασκευάστηκε ένα από τα πρώτα κυκλώματα μετάδοσης δεδομένων μεταξύ του ρώσου τσάρου Winter Palace και του αρχηγείου του στρατού του. Έπειτα το έτος 1874 οι γάλλοι μηχανικοί κατασκεύασαν ένα σύστημα με αισθητήρες για τον καιρό και την χιονόπτωση στο Mont Blanc (το ψηλότερο βουνό στις Άλπεις) , με σκοπό την μετάδοση των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στο Παρίσι. Το έτος 1901 ο αμερικανός εφευρέτης C. Michalke πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα κύκλωμα γνωστό ως «selsyn» που επέτρεψε την αποστολή σε απόσταση συγχρονισμένης περιστροφικής πληροφορίας. Μετά από αυτό οι εξελίξεις ήταν ραγδαίες και το έτος 1906 κατασκευάστηκαν οι πρώτοι σταθμοί παρακολούθησης για σεισμικές δραστηριότητες στο παρατηρητήριο Pulkovo στη Ρωσία. Ένα άλλο σύστημα τηλεμετρίας αναπτύχθηκε στην κοινοπολιτεία Edison το 1912 για την παρακολούθηση των ηλεκτρικών φορτίων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Λίγο αργότερα το 1914 η διώρυγα του Παναμά ολοκληρώθηκε και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα συστήματα τηλεμετρίας για την παρακολούθηση της στάθμης του νερού. Στις αρχές του 1930 ο ρώσος Pavel Molchanov μαζί με τον Robert Bureau κατασκεύασαν ένα όργανο μετρησης ατμοσφαιρικής πίεσης (Radiosonde) κάνοντας την εμφάνιση της για πρώτη φορά η ασύρματη μετάδοση δεδομένων. Εν τω μεταξύ ένα άλλο σύστημα το «messina» που αποτελούνταν από ραδιοφωνικά σήματα με μια πρωτόγονη τεχνική πολυπλεξίας χρησιμοποιήθηκε από τον γερμανικό V-2 πύραυλο για την αναφορά

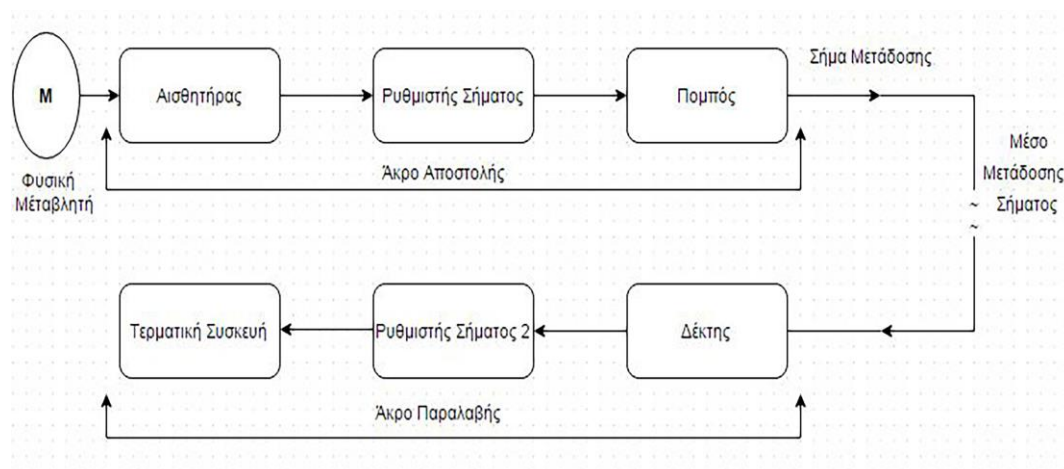
των τεσσάρων παραμέτρων του πυραύλου. Η αναξιοπιστία τους ήταν τέτοια ώστε ο Wernher von Braun είχε πει κάποτε ότι βλέποντας τον πύραυλο μέσα από τα κιάλια ήταν καλύτερη ιδέα.

Δεν μπορεί να υπάρξει καμία αμφιβολία, ότι τα εξ αποστάσεως συστήματα παρακολούθησης έχουν προχωρήσει σημαντικά στην λειτουργικότητα, την εκλέπτυνση και την αξιοπιστία τους από τότε. Βέβαια, το εύρος των εφαρμογών της τηλεμετρίας έχει επεκταθεί σημαντικά, στο χώρο της επιστήμης, της γεωργίας, του μηχανοκίνητου αθλητισμού, στον έλεγχο της πτήσης, των στρατιωτικών υπηρεσιών πληροφοριών, την ιατρική και την κατανομή των πόρων να είναι μόνο κάποια από τα πεδία που έχουν επωφεληθεί από αυτό. Από το 1920, η τηλεμετρία έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από μετεωρολογικά μπαλόνια για τη μετάδοση των μετεωρολογικών δεδομένων. Οι λύσεις απομακρυσμένης παρακολούθησης έχουν γίνει επίσης πιο ισχυρές και ευέλικτες τις τελευταίες δεκαετίες σε διάφορους τομείς.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

2.1. Βασικό σύστημα τηλεμετρίας

Ένα βασικό σύστημα τηλεμετρίας είναι το διάγραμμα που δίνεται παρακάτω. Η περιοχή στην οποία έχουμε τοποθετήσει τον εξοπλισμό για την συλλογή των δεδομένων που χρειαζόμαστε απεικονίζεται ως «Άκρο Αποστολής» ενώ η περιοχή στην οποία στέλνονται τα δεδομένα για καταγραφή και ανάλυση από κάποιον χρήστη απεικονίζεται ως «Άκρο Λήψης ή Παραλαβής». (H.K.Verma, 2015)



Σχήμα 1: Βασικό Σύστημα τηλεμετρίας

Ο σκοπός του κάθε οργάνου που απεικονίζεται στο διάγραμμα καθώς και η λειτουργία του θα εξηγηθεί παρακάτω.

A) Αισθητήρας:

Μετατρέπει την φυσική μεταβλητή την οποία μετράει ο αισθητήρας(μπορεί να είναι θερμοκρασία , ατμοσφαιρική πίεση κτλ) σε μια ηλεκτρική ποσότητα. Αυτή η ηλεκτρική ποσότητα μπορεί να είναι είτε μια ηλεκτρική παράμετρος είτε ένα ηλεκτρικό σήμα (τάση ή ρεύμα.)

B)Ρυθμιστής σήματος:

Μετατρέπει την ηλεκτρική έξοδο (που μπορεί είτε να είναι σήμα είτε όχι όπως αναλύθηκε παραπάνω) του αισθητήρα σε ένα ηλεκτρικό σήμα συμβατό με το επόμενο όργανο, τον πομπό. Η ασυμφωνία που μπορεί να υπάρχει θα είναι ως προς την μορφή (παράμετρος με σήμα, ρεύμα με τάση , ψηφιακό με αναλογικό κτλ) ή

στο μέγεθος του σήματος (μπορεί να είναι αδύναμο για να χρησιμοποιηθεί από τον πομπό).

Γ) Πομπός:

Ο σκοπός του είναι να μεταδώσει το σήμα της πληροφορίας (μετρούμενο μέγεθος) χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο σήμα φορέα στο άλλο άκρο λήψης. Οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει είναι:

- i) Διαμόρφωση: Διαμόρφωση ενός φέροντος σήματος με το σήμα πληροφορίας.
- ii) Ενίσχυση: Όπως και αν απαιτείται για τον σκοπό της διαβίβασης.
- iii) Μετατροπή σήματος: Όπως και αν απαιτείται για τον σκοπό της διαβίβασης. Για παράδειγμα η μετατροπή τάσης σε ρεύμα ή από αναλογικό σε ψηφιακό κτλ, ανάλογα με τη φύση του φέροντος σήματος και του μέσου μετάδοσης σήματος.
- iv) Πολυπλεξίας: Εάν περισσότερες από μία φυσικές μεταβλητές πρέπει να μεταδοθούν ταυτόχρονα από την ίδια θέση, τότε πρέπει χρησιμοποιηθεί είτε διαίρεσης συχνότητας πολυπλεξίας (FDM) ή πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM).

Δ) Μέσο μετάδοσης σήματος:

Είναι το μέσο με το οποίο συνδέεται ο πομπός με τον δέκτη με το οποίο γίνεται μετάδοση της πληροφορίας.

Ε) Δέκτης :

Ο σκοπός του είναι να λαμβάνει το σήμα που προέρχεται από τον πομπό (που βρίσκεται στο άκρο αποστολής του συστήματος τηλεμετρίας) μέσω του μέσου μετάδοσης του σήματος και να ανακτήσει τις πληροφορίες από το ίδιο. Μπορεί να εκτελέσει μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- i) Ενίσχυση: Ενίσχυση του λαμβανόμενου σήματος, όπως και αν απαιτείται για το σκοπό της περαιτέρω επεξεργασίας.

ii) Αποδιαμόρφωση: Αποδιαμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος για την ανάκτηση του σήματος πληροφορίας. Η διαδικασία αποδιαμόρφωσης θα πρέπει να είναι συμπληρωματική της διαμορφώσεως που εκτελείται από τον πομπό.

iii) Αντιστροφή μετατροπής σήματος: Αυτή η μετατροπή είναι γενικά η αντίστροφη της μετατροπής που εκτελείται από τον πομπό. Έτσι, ο δέκτης πρέπει να εκτελέσει μετατροπή από ρεύμα σε τάση ή ψηφιακό σε αναλογικό κτλ , ανάλογα με τη φύση του φέροντος σήματος και του μέσου μετάδοσης σήματος.

iv) Απο-πολυπλεξία: Αναφέρεται στη διαδικασία διαχωρισμού διαφόρων σημάτων πληροφοριών, έτσι ώστε να μπορούν να παραδίδονται όπως έχουν ζητηθεί. Η διαδικασία στο δέκτη είναι ουσιαστικά η αντίστροφη της πολυπλεξίας που πραγματοποιείται από τον πομπό.

ΣΤ) Ρυθμιστής σήματος 2:

Επεξεργάζεται την έξοδο του δέκτη όπως είναι απαραίτητο για να είναι κατάλληλη για να οδηγηθεί η πληροφορία στην τερματική συσκευή μας.

Ζ) Τερματική συσκευή:

Ονομάζεται έτσι επειδή εμφανίζεται στο τέλος του συστήματος. Ανάλογα με το σκοπό της τηλεμετρίας στη δεδομένη κατάσταση, η τερματική συσκευή μπορεί να εκτελεί μία από τις ακόλουθες λειτουργίες:

i) Αναλογική ένδειξη: Αναλογική ένδειξη της τιμής του δεδομένου μέσω της εκτροπής ενός δείκτη, σε μια κλίμακα. Η συσκευή που χρησιμοποιείται είναι πολύ συχνά ένας μόνιμος μαγνήτης κινητού πηνίου (PMMC) μετρητή

ii) Ψηφιακή ένδειξη: Ψηφιακή απεικόνιση της τιμής του δεδομένου στην οθόνη.

iii) Ψηφιακή αποθήκευση: Αποθήκευση της ψηφιακής τιμής του δεδομένου σε συσκευή αποθήκευσης για μεταγενέστερη χρήση.

iv) Επεξεργασία δεδομένων: Οι ψηφιακές τιμές του δεδομένου μπορεί να δοθούν σε έναν επεξεργαστή δεδομένων, όπως ένας μικροεπεξεργαστής ή έναν επεξεργαστή ψηφιακού σήματος ή έναν υπολογιστή, για την ανάλυση τους κλπ.

ν) Έλεγχος κλειστού βρόχου: Η αναλογική ή ψηφιακή έξοδος του ρυθμιστή σήματος 2, που αντιπροσωπεύει την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, μπορεί να τροφοδοτηθεί με ένα αυτόματο ελεγκτή ως σήμα ανάδρασης.

2.2. Υποσυστήματα

Το διάγραμμα του βασικού συστήματος τηλεμετρίας παραπάνω δείχνει ότι αποτελείται βασικά από δύο υποσυστήματα:

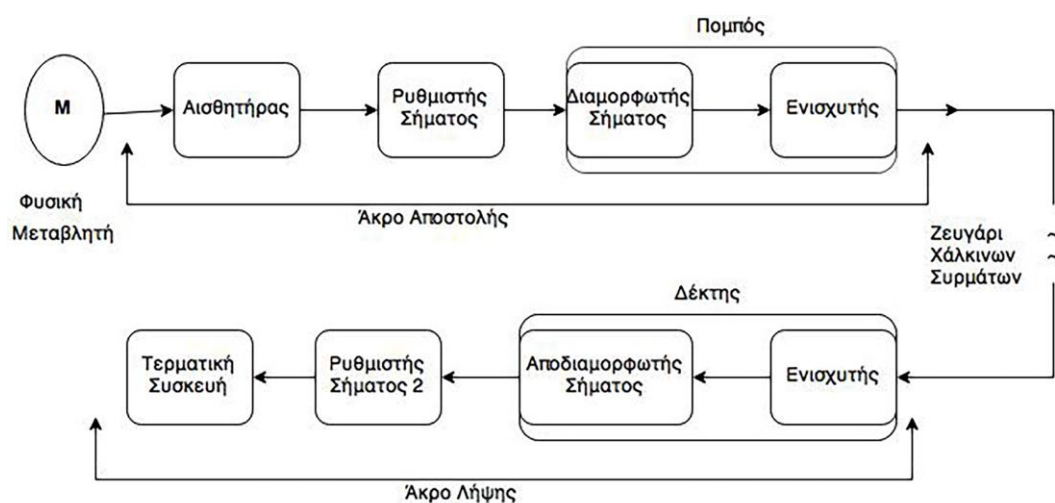
- i) Υποσύστημα μέτρησης : Αποτελείται από τον αισθητήρα, τους ρυθμιστές σήματος και την τερματική συσκευή όπως κάθε συμβατικό σύστημα μέτρησης.
- ii) Υποσύστημα επικοινωνίας: Αποτελείται από τον πομπό και τον δέκτη μαζί με το μέσο μετάδοσης που συνδέει τα δύο, όπως και κάθε σύστημα επικοινωνίας.

2.3. Μέσα μετάδοσης σήματος

Το μέσο μετάδοσης ενός τηλεμετρικού συστήματος μπορεί να διαφέρει. Η μετάδοση της πληροφορίας μπορεί να γίνει είτε με ένα σύρμα χαλκού, είτε να γίνει ασύρματα με ραδιοκύματα, είτε να γίνει μέσω οπτικών ινών.

2.3.1. Σύρματα χαλκού

Μια βασική σύνδεση με σύρματα χαλκού ενός τηλεμετρικού συστήματος απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



Σχήμα 2: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με σύρματα χαλκού

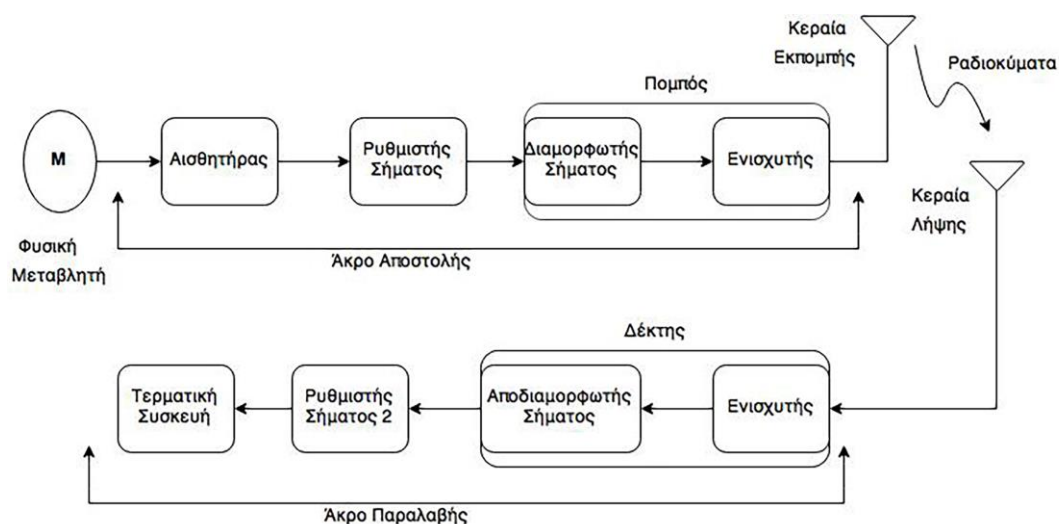
Το μέσο μετάδοσης εδώ είναι ένα ζεύγος από σύρματα χαλκού. Ο πομπός περιλαμβάνει έναν διαμορφωτή σήματος ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής και έναν ενισχυτή για την ενίσχυση του διαμορφωμένου σήματος πριν από την αποστολή με το ζεύγος των χάλκινων συρμάτων. Όπως και με τον πομπό, ο δέκτης έχει επίσης μόνο δύο στοιχεία, έναν ενισχυτή για να πραγματοποιήσει την ενίσχυση του εξασθενημένου σήματος που λαμβάνεται και έναν αποδιαμορφωτή για την ανάκτηση του σήματος πληροφορίας από το διαμορφωμένο σήμα. (H.K.Verma, 2015)

2.3.2. Ασύρματη σύνδεση με ραδιοκύματα

Μια ασύρματη σύνδεση ενός τηλεμετρικού συστήματος μπορεί να διαχωριστεί σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιούνε μια μικρής απόστασης σύνδεση ενώ σε μεγαλύτερες μια δορυφορική σύνδεση. (Gale, 2014)

2.3.2.1. Σύνδεση μικρής απόστασης

Μια βασική σύνδεση μικρής απόστασης ενός τηλεμετρικού συστήματος απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



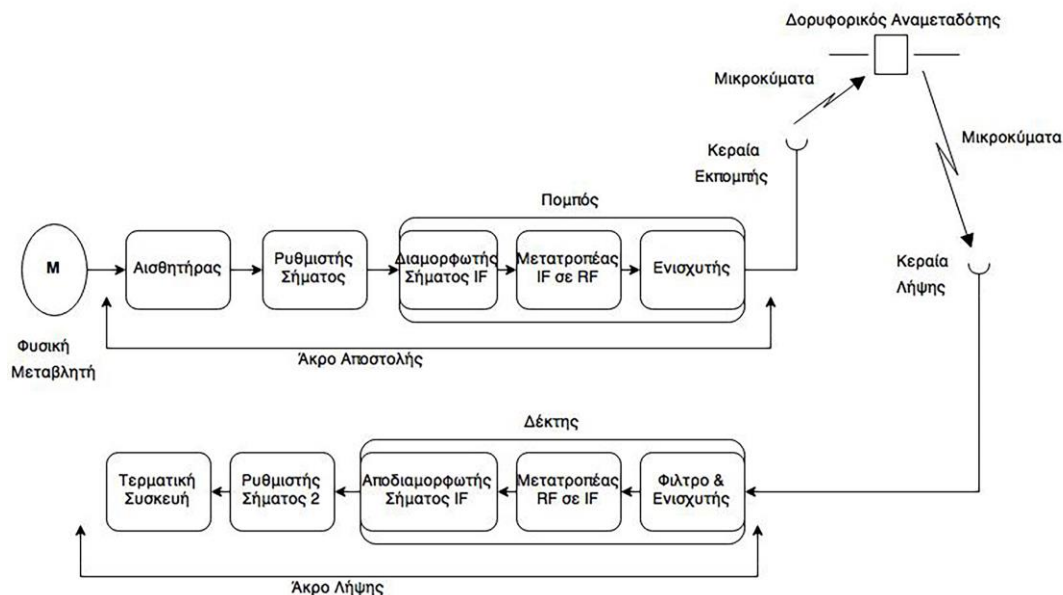
Σχήμα 3: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας μικρής απόστασης

Το μέσο μετάδοσης σήματος εδώ είναι μια ραδιοζεύξη, που περιλαμβάνει μία κεραία εκπομπής, μία κεραία λήψης και ο χώρος μεταξύ των δύο χρησιμοποιείται

για τον πολλαπλασιασμό του ραδιοκύματος. Ο πομπός περιλαμβάνει ένα διαμορφωτή RF (AM ή FM τύπου, ανάλογα με την απόδοση, το εύρος ζώνης και τις εκτιμήσεις κόστους) και έναν ενισχυτή. Ο δέκτης περιλαμβάνει έναν ενισχυτή και έναν αποδιαμορφωτή (AM ή FM τύπου όπως απαιτείται για να ταιριάζει με τον τύπο του ρυθμιστή σήματος). Η ισχύς του πομπού μπορεί να είναι πολύ μικρή, όπως και το εύρος να είναι πολύ μικρό, συνήθως μερικά μέτρα ή μερικές δεκάδες μέτρα. Η επιλογή των ραδιοσυχνοτήτων θα πρέπει να καθοδηγείται από την εξέταση του κόστους και τις τοπικές απαιτήσεις. (H.K.Verma, 2015)

2.3.2.2. Δορυφορική σύνδεση

Μια βασική δορυφορική σύνδεση ενός τηλεμετρικού συστήματος απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



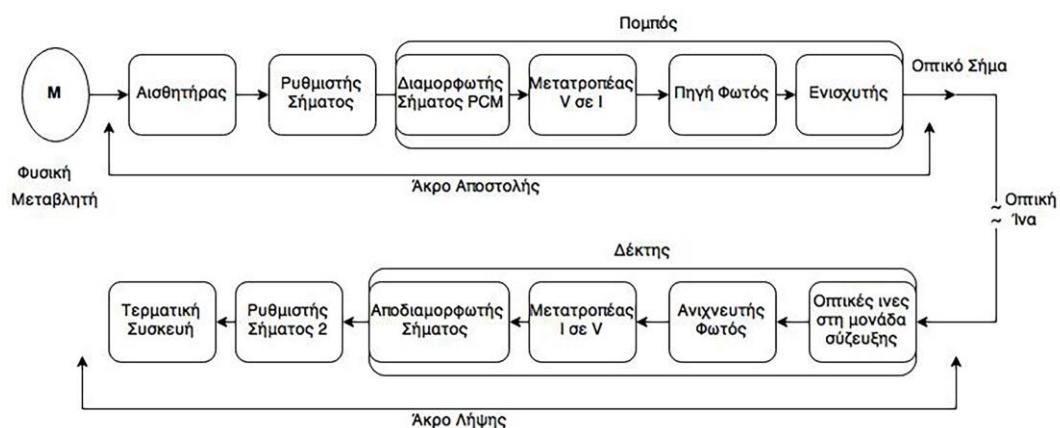
Σχήμα 4: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας μεγάλης απόστασης

Το σύστημα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μια προηγμένη έκδοση του βασικού συστήματος μικρής απόστασης που αναφερθήκαμε νωρίτερα με κάποια προηγμένα χαρακτηριστικά. Η επικοινωνία μεταξύ του πομπού και του δέκτη λαμβάνει χώρα μέσω μιας δορυφορικής επικοινωνίας, η οποία είναι μια μηχανή που συνεχίζει την περιστροφή γύρω από τη γη και είναι εξοπλισμένη με έναν ή περισσότερους αναμεταδότες ώστε να λειτουργούν ως επαναλήπτες ραδιοφωνικών κυμάτων στον ουρανό. Οι ραδιοσυχνότητες (RF) που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως υψηλότερες από 3,3 GHz, που είναι γνωστές ως συχνότητες μικροκυμάτων. Ο

πομπός στην αποστολή γη-σταθμός ενσωματώνει, όπως φαίνεται στο σχήμα, ένα ενδιάμεσο (IF) διαμορφωτή, ένα IF σε RF μετατροπέα και έναν ενισχυτή ισχύος. Ο διαμορφωτής χρησιμοποιεί συνήθως FM στην περίπτωση της αναλογικής επικοινωνίας και PSK, QPSK ή QAM στην περίπτωση της ψηφιακής επικοινωνίας. Ο μετατροπέας συχνότητας περιλαμβάνει ένα μίκτη που ακολουθείται από ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης (Band-pass filter) και η έξοδος του βρίσκεται στην ανοδική ζεύξη δηλαδή από έναν σταθμό στη Γή στον δορυφόρο. Ο αναμεταδότης έχει έναν μεταφραστή συχνότητας (μίκτη και φίλτρο διέλευσης ζώνης) καθώς επίσης και έναν ενισχυτή ισχύος. Ο ρόλος του είναι να λαμβάνει σήμα μικροκυμάτων από έναν επίγειο σταθμό, να το ενισχύει, να μετατρέπει τη συχνότητα υψηλής ζώνης σε χαμηλής συχνότητας για την καθοδική ζεύξη, να το ενισχύει ξανά και να το αναμεταδίδει στον άλλο επίγειο σταθμό. Ο δέκτης στη γη που λαμβάνει το σήμα ενσωματώνει, όπως φαίνεται στην εικόνα, ένα περιοριστικό φίλτρο, έναν ενισχυτή, έναν RF σε IF μετατροπέα και έναν αποδιαμορφωτή IF. (H.K.Verma, 2015)

2.3.3. Οπτικές ίνες

Μια βασική σύνδεση με οπτικές ίνες ενός τηλεμετρικού συστήματος απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



Σχήμα 5: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με οπτικές ίνες

Το μέσο μετάδοσης σήματος εδώ είναι μία οπτική ίνα, η οποία λειτουργεί επί της αρχής της ολικής εσωτερικής ανάκλασης και ως εκ τούτου χρησιμεύει ως κυματοδηγός για τον πολλαπλασιασμό της οπτικής δέσμης από τον πομπό στον δέκτη. Ο πομπός περιλαμβάνει : ένα διαμορφωτή PCM, ο οποίος παίρνει μια

ψηφιοποιημένη τιμή του δεδομένου από τον ρυθμιστή σήματος και παράγει έναν δυαδικό παλμό τάσης σε μια κωδικοποιημένη αλληλουχία, έναν μετατροπέα τάσης σε ρεύμα, μια πηγή φωτός που είναι συνήθως μια δίοδος λέιζερ εγχύσεως (ILD), η οποία μετατρέπει τους δυαδικούς παλμούς ρεύματος σε δυαδικούς οπτικούς παλμούς, και τελικά την φωτεινή πηγή στη μονάδα σύζευξης οπτικής ίνας. Ο δέκτης περιλαμβάνει στοιχεία που εκτελούν τις συμπληρωματικές λειτουργίες των στοιχείων του πομπού σε αντίστροφη σειρά. Αυτές είναι οι εξής: οπτικές ίνες στη μονάδα σύζευξης του ανιχνευτή φωτός, τον ανιχνευτή φωτός που είναι συνήθως μια δίοδος PIN που ανιχνεύει τους δυαδικούς οπτικούς παλμούς που παίρνει από την οπτική ίνα και να τους μετατρέπει σε δυαδικούς παλμούς ρεύματος, έναν μετατροπέα ρεύματος σε τάση και τέλος έναν αποδιαμορφωτή, ο οποίος παρέχει ψηφιακό σήμα τάσης στη τερματική συσκευή μέσω του ρυθμιστή σήματος. Σε περίπτωση που η τερματική συσκευή απαιτεί ένα αναλογικό σήμα εισόδου, ο ρυθμιστής σήματος θα περιλαμβάνει ένα ψηφιακό-αναλογικό μετατροπέα (DAC). Βέβαια οι τερματικές συσκευές ψηφιακού σήματος προτιμούνται από μία αναλογική τερματική συσκευή αυτές τις μέρες. (H.K.Verma, 2015)

2.4. Διαμόρφωση σήματος

2.4.1. Αναγκαιότητα της διαμόρφωσης

Το σήμα της πληροφορίας (που περιέχει την τιμή του δεδομένου), δεν είναι συχνά κατάλληλο για μετάδοση από τον πομπό στο δέκτη και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση και ένα άλλο σήμα φορέα συμβατό με το μέσο μετάδοσης. Το νέο διαμορφωμένο σήμα ,το οποίο περιέχει τώρα τις πληροφορίες, μεταδίδεται από τον πομπό στον δέκτη.

2.4.2. Λόγοι διαμόρφωσης

Ένας από τους λόγους που χρειάζεται η διαμόρφωση σε ένα σήμα αναφέρονται παρακάτω:

Για την επίτευξη συμβατότητας με το συγκεκριμένο μέσο μετάδοσης. Ένα σήμα φορέα συμβατό με το μέσο μετάδοσης έχει επιλεγεί για την διαφοροποίηση. Ένα παράδειγμα είναι το εξής: Ένα σήμα φορέα ακουστικής συχνότητας χρησιμοποιείται με συνδέσεις εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω σύρματος χαλκού. Ένας φορέας ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιείται με ραδιοζεύξεις. Μια οπτική

ακτίνα χρησιμοποιείται ως φορέας για τις συνδέσεις οπτικών ινών. Επίσης χρησιμοποιούμε την διαμόρφωση για να βελτιωθεί η αναλογία του σήματος ως προς το θόρυβο (SNR¹). Η σωστή επιλογή του τύπου της διαμόρφωσης, το είδος και η συχνότητα του φέροντος σήματος μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το SNR έτσι να βελτιωθεί η πιστότητα του υποσυστήματος επικοινωνίας, του συστήματος τηλεμετρίας. Ένα άλλος λόγος είναι η επίτευξη πολυπλεξίας. Διαφορετικές φέρουσες συχνότητες χρησιμοποιούνται για τη διαφοροποίηση σε διαφορετικά σήματα πληροφορίας για πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (FDM).

Στα περισσότερα συστήματα τηλεμετρίας, μια απλή διαμόρφωση χρησιμοποιείται για να εξυπηρετηθούν οι ανωτέρω απαιτήσεις. Αλλά υπάρχουν δύο εξαιρέσεις: Σε πολύ απλές καταστάσεις όπου το μέσο μετάδοσης είναι σύρμα χαλκού και η απόσταση μικρή, οι πληροφορίες του σήματος από μόνες τους μπορούν να μεταδοθούν χωρίς να απαιτείται καμία διαμόρφωση. Σε ορισμένες περίπλοκες καταστάσεις, δύο ή ακόμα και τρεις διαμορφώσεις χρησιμοποιούνται για την καλύτερη απόδοση του υποσυστήματος επικοινωνίας του συστήματος τηλεμετρίας. (Tanenbaum, 2003)

2.4.3. Μέθοδοι διαμόρφωσης ανα κατηγορία

Ένα τηλεμετρικό σύστημα κατατάσσεται σε μια κατηγορία ανάλογα με ποιά μέθοδο διαμόρφωσης έχει χρησιμοποιηθεί. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι τα τηλεμετρικά συστήματα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- i) DC Τηλεμετρικά συστήματα
- ii) AC Τηλεμετρικά συστήματα
- iii) Pulse Τηλεμετρικά συστήματα

2.4.3.1. DC Τηλεμετρικά συστήματα

Το σήμα μετάδοσης για DC συστήματα τηλεμετρίας είναι είτε μια άμεση τάση (Direct Voltage) ή ένα συνεχές ρεύμα (Direct Current) και το μέσο μετάδοσης του σήματος είναι ουσιαστικά ένα ζεύγος χάλκινων καλωδίων. Προφανώς δεν υπάρχει

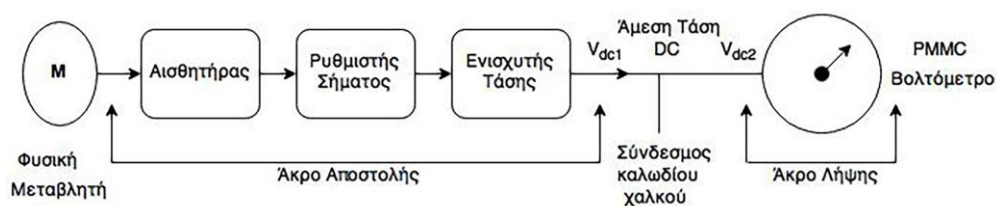
¹ SNR: Signal-to-Noise Ratio, είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στον τομέα της επιστήμης και της τεχνολογίας που συγκρίνει το μέγεθος ενός επιθυμητού σήματος με το μέγεθος θορύβου περιβάλλοντος.

διαμόρφωση ή φορέας (Carrier) που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα. (H.K.Verma, Telemetry Systems, 2015)

i) Άμεσης Τάσης

Το σήμα μετάδοσης για αυτό το σύστημα τηλεμετρίας είναι μια άμεση τάση (τάση DC) του σήματος και το μέσο μετάδοσης σήματος είναι ουσιαστικά μια γραμμή από σύρμα χαλκού, το οποίο είναι συνήθως σχεδιασμένο για μέγιστη τάση περίπου 80 V. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, ο αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική μεταβλητή εισόδου σε μια ηλεκτρική ποσότητα, η οποία είναι είτε μια ηλεκτρική παράμετρος ή ένα ηλεκτρικό σήμα. Αυτή η έξοδος επεξεργάζεται από τα κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα (μονάδα ρυθμιστή σήματος) για να δώσει ένα σήμα τάσης, τυπικά στην περιοχή από 0-1V έως 0-10V. Συνήθως, η τάση είναι ανάλογη με την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Αυτό το σήμα τάσης τότε ενισχύεται καταλλήλως σε μία τιμή V_{dc1} και μεταφέρεται στο μέσο μετάδοσης. Για να διατηρηθεί η απλότητα του συστήματος, στο άκρο της συσκευής, στην υποδοχή είναι ένα PMMC² βολτόμετρο. Αυτό το είδος του μετρητή έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: της υψηλής ευαισθησίας και την γραμμικότητα στην κλίμακα. Ο μετρητής μετρά την τάση V_{dc2} . Η κλίμακα είναι βαθμονομημένη σε όρους μετρούμενου μεγέθους, έτσι ώστε ο χρήστης μπορεί να διαβάσει την τιμή του άμεσα.

Ένα βασικό τηλεμετρικό σύστημα άμεσης τάσης απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



Σχήμα 6: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας άμεσης τάσης

² PMMC : Permanent-Magnet Moving-Coil, Ένα αμπερόμετρο στο οποίο ένα μικρό πηνίο από σύρμα, που στηρίζεται μεταξύ των πόλων ενός μαγνήτη και περιστρέφεται όταν ρεύμα μεταφέρεται μέσω των σπειροειδών ελατηρίων. Η θέση του πηνίου υποδεικνύεται με ένα συνημμένο δείκτη.

Σε κάθε τηλεμετρικό σύστημα υπάρχει ένα σφάλμα μετάδοσης. Στο συγκεκριμένο σύστημα το λάθος μετάδοσης δίνεται από τον τύπο :

$$V_{dc2} = V_{dc1} - I \cdot R$$

όπου I είναι το ρεύμα και το R είναι η αντίσταση. Η πτώση της $I \cdot R$ μπορεί να αποδοθεί στη βαθμονόμηση του πλήρους συστήματος τηλεμετρίας. Ωστόσο, το R αλλάζει με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και εξακολουθεί να ισχύει η βαθμονόμηση μόνο για τη θερμοκρασία στην οποία η βαθμονόμηση διεξήχθη. Τυχόν μεταβολές στη θερμοκρασία θα έχουν οδηγήσει σε σφάλμα τηλεμετρίας. Για τον έλεγχο ή την ελαχιστοποίηση αυτού του σφάλματος, πρέπει να ελαχιστοποιηθούν τα I , R και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στις οποίες υποβάλλεται η γραμμή του χάλκινου σύρματος.

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση, τα ακόλουθα μέτρα μπορούν να παρθούν για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μετάδοσης σε αυτό το σύστημα τηλεμετρίας: Η αντίσταση του βολτόμετρου PMMC θα πρέπει να έχει ανώτατο όριο για την ελάχιστη τιμή της τρέχουσας γραμμής, επίσης το σύστημα τηλεμετρίας θα πρέπει να χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις μόνο και μόνο για να εξασφαλιστεί μια χαμηλή τιμή της αντίστασης, R . Μόνο ένα υπόγειο καλώδιο, έναντι του ανοιχτού καλωδίου θα πρέπει να χρησιμοποιείται επειδή δεν είναι άμεσα εκτεθειμένο στις συνήθως μεγάλες διακυμάνσεις στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα προφανή πλεονεκτήματα του συστήματος τηλεμετρίας άμεσης τάσης είναι: Η απλότητα του συστήματος και των οργάνων και το χαμηλό κόστος του συστήματος καθώς δεν υπάρχουν εξειδικευμένα εξαρτήματα. Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος τηλεμετρίας είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρές αποστάσεις και ότι το σφάλμα και το κόστος της γραμμής αυξάνεται όσο μεγαλώνει το μήκος της γραμμής σύρματος.

Λόγω του ανωτέρου μειονεκτήματος, αυτό το είδος του συστήματος τηλεμετρίας δεν ευνοείται στην πράξη.

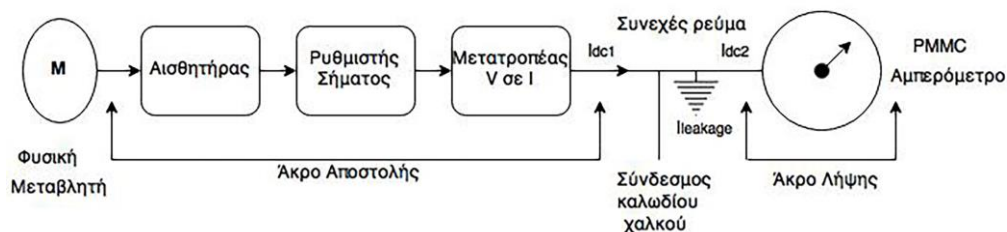
ii) Συνεχούς ρεύματος

Το σήμα μετάδοσης για αυτό το σύστημα τηλεμετρίας είναι ένα συνεχές ρεύμα και το μέσο μετάδοσης σήματος είναι ουσιαστικά μια γραμμή χάλκινου σύρματος χαλκού. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τιμή ρεύματος είναι 4-20mA, αλλά

μερικές φορές χρησιμοποιούνται και 0-20mA ή 0-10mA που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Αυτό το σύστημα τηλεμετρίας είναι παρόμοιο με το σύστημα άμεσης τάσης που αναφέρθηκε νωρίτερα. Η προφανής διαφορά είναι ότι σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιείτε ένας μετατροπέας τάσης σε ρεύμα, ενώ το σύστημα άμεσης τάσης χρησιμοποιεί έναν ενισχυτή τάσης.

Η τερματική συσκευή είναι ένα PMMC αμπερόμετρο καθώς έχει να διαβάσει την τιμή του ρεύματος στο άκρο λήψης, I_{dc2} . Η κλίμακα είναι βαθμονομημένη σε όρους μετρούμενου μεγέθους, έτσι ώστε ο χρήστης μπορεί να διαβάσει την τιμή του άμεσα.

Ένα βασικό τηλεμετρικό σύστημα συνεχούς ρεύματος απεικονίζεται στο διάγραμμα παρακάτω :



Σχήμα 7: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας συνεχούς ρεύματος

Το σφάλμα μετάδοσης σε αυτό το τηλεμετρικό σύστημα δίνεται από:

$$I_{dc2} = I_{dc1} - I_{leakage}$$

όπου I_{dc1} είναι η τρέχουσα γραμμή και $I_{leakage}$ είναι το μικρό ρεύμα που διαρρέει στο έδαφος που οφείλεται σε πεπερασμένη τιμή της αντίστασης της μόνωσης. Αυτή η μείωση στην τρέχουσα γραμμή από I_{dc1} σε I_{dc2} λόγω διαρροής μπορεί να αποδοθεί στη βαθμονόμηση του πλήρους συστήματος τηλεμετρίας. Τυχόν μεταβολές στη θερμοκρασία και η διαρροή ρεύματος θα έχουν οδηγήσει σε σφάλμα τηλεμετρίας. Για τον έλεγχο ή την ελαχιστοποίηση αυτού του σφάλματος, πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η διαρροή ρεύματος και οι μεταβολές της θερμοκρασίας στην οποία η γραμμή σύρματος υποβάλλεται.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούν να ληφθούν τα ακόλουθα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μετάδοσης στο συνεχούς ρεύματος σύστημα τηλεμετρίας, οι οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες που προσδιορίζονται για το

σύστημα άμεσης τάσης. Η αντίσταση της μόνωσης μεταξύ των συρμάτων της γραμμής, και κάθε καλωδίου με τη γείωση θα πρέπει να έχει το ανώτατο όριο της γραμμής για να ελαχιστοποιηθεί το Peakage. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για μικρές αποστάσεις και μόνο με ένα υπόγειο καλώδιο γιατί από την έκθεση του στο περιβάλλον θα υπάρξουν διακυμάνσεις στην θερμοκρασία.

Τα πλεονεκτήματα του συνεχούς ρεύματος συστήματος τηλεμετρίας είναι : Η απλότητα του συστήματος και των οργάνων του , το χαμηλό κόστος του συστήματος καθώς δεν υπάρχουν εξειδικευμένα εξαρτήματα και τέλος το ρεύμα είναι περισσότερο από το ρεύμα διαρροής και, ως εκ τούτου, έχει ασήμαντη επίδραση στην ακρίβεια της μέτρησης. Το μόνο μειονέκτημα αυτού του συστήματος τηλεμετρίας είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρές αποστάσεις, διότι το σφάλμα λόγω διαρροής μπορεί να γίνει σημαντικό εάν το μήκος της γραμμής σύρματος είναι μεγάλο, και το κόστος της γραμμής αυξάνει ανάλογα με το μήκος του.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων, αυτό το είδος του συστήματος τηλεμετρίας είναι πολύ δημοφιλές για εντός κάποιων εγκαταστάσεων, όπου οι αποστάσεις είναι γενικά μικρές.

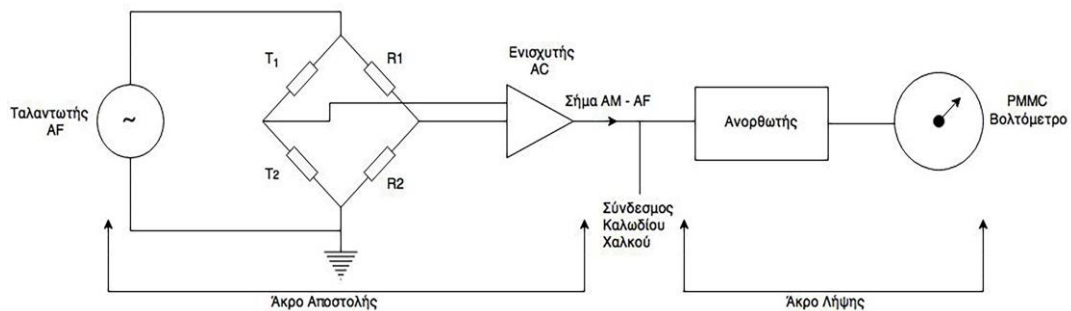
2.4.3.2. AC Τηλεμετρικά συστήματα

Το σήμα μετάδοσης για AC συστήματα τηλεμετρίας είναι ένα διαμορφωμένο AC (ημιτονοειδή) σήμα. Ο τύπος διαμόρφωσης είναι είτε διαμόρφωση πλάτους (AM) ή διαμόρφωση συχνότητας (FM). Το μέσο μετάδοσης σήματος είναι είτε ένα ζεύγος χάλκινων καλωδίων, το οποίο θα χρησιμοποιήσει ένα ακουστικής συχνότητας (AF) φορέα, ή ένα ραδιοζεύξης, το οποίο θα χρειαστεί ένα φορέα ραδιοσυχνότητας (RF). (H.K.Verma, Telemetry Systems, 2015)

i) AM Τηλεμετρικό σύστημα

Το σήμα μετάδοσης για αυτό το σύστημα τηλεμετρίας είναι ένα σήμα AC διαμορφωμένου εύρους. Γενικά ένα ημιτονοειδές σήμα ακουστικής συχνότητας (AF) χρησιμοποιείται ως φορέας και μια γραμμή χάλκινου σύρματος ως μέσο μετάδοσης. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείτε συνήθως με μετατροπείς μεταβλητής

αυτεπαγωγής, είτε ανεξάρτητα μεταξύ τους είτε σε ζεύγη. Οι μετατροπείς θα πρέπει να είναι συνδεδεμένοι με μια γέφυρα Wheatstone. Η καλύτερη συχνότητα της διέγερσης είναι συνήθως μερικά kHz, η οποία εμπίπτει στο εύρος AF. Ένα απλό σύστημα AM τηλεμετρίας με βάση αυτές τις εκτιμήσεις δείχνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 8: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας AM

Ένα συμπληρωματικό ζεύγος επαγωγικών μετατροπέων, T1 και T2, σχηματίζει δύο παρακείμενα σκέλη της γέφυρας, ενώ τα υπόλοιπα σκέλη είναι δύο σταθερές ταυτόσημες αντιστάσεις, οι R1 και R2. Η έξοδος της γέφυρας έχει προφανώς την ίδια συχνότητα με εκείνη της πηγής διέγερσης (ταλαντωτής), ενώ το πλάτος του αυξάνει με την παραλλαγή του μετατροπέα αυτεπαγωγής, ή με άλλα λόγια, με την τιμή του μετρούμενου μεγέθους που εφαρμόζεται σε αυτό. Έτσι η έξοδος της γέφυρας είναι ένα σήμα AF διαμορφωμένου πλάτους, όπου η τιμή του μετρούμενου μεγέθους προκαλεί τη διαφοροποίηση. Αυτό το σήμα ενισχύεται σε έναν ενισχυτή ρεύματος στο επιθυμητό επίπεδο του πλάτους πριν από την αποστολή στη γραμμή του σύρματος. Για τους λόγους που αναφέρονται στην άμεση τάση συστήματος τηλεμετρίας, η τερματική συσκευή είναι ένα βολτόμετρο PMMC. Δεδομένου ότι μπορεί να διαβάσει μόνο DC τάση, ένας ανορθωτής τοποθετείται πριν από το μετρητή. Λόγω της μηχανικής αδράνειας των κινούμενων μερών του, ο μετρητής ανταποκρίνεται στην μέση ή μέγιστη τιμή της ανορθωμένης κυματομορφής τάσης. Η κλίμακα είναι βαθμονομημένη σε σχέση με την μετρούμενη τιμή (M), έτσι ώστε ο χρήστης μπορεί να διαβάσει την τιμή του M άμεσα.

Αν συγκρίνουμε την απόδοση του συστήματος τηλεμετρίας AM με εκείνη του συστήματος άμεσης τάσης (Direct Voltage), η πτώση τάσης στην προκειμένη περίπτωση θα είναι περισσότερη επειδή η αυτεπαγωγή της γραμμής, εκτός από την

γραμμή αντίστασης, θα προκαλέσει αυτή την πτώση. Κατά συνέπεια, η διακύμανση της πτώσης τάσης και το σφάλμα θα είναι επίσης υψηλότερα. Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μετάδοσης στο σύστημα τηλεμετρίας AM είναι ίδια με εκείνα που προσδιορίζονται για το σύστημα άμεσης τάσης. Αυτά έχουν ως εξής: Η αντίσταση του βολτόμετρου PMMC θα πρέπει να έχει ανώτατο όριο για την ελάχιστη τιμή της τρέχουσας γραμμής, επίσης το σύστημα τηλεμετρίας θα πρέπει να χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις μόνο και μόνο για να εξασφαλιστεί μια χαμηλή τιμή της αντίστασης, R. Μόνο ένα υπόγειο καλώδιο, έναντι του ανοιχτού καλωδίου θα πρέπει να χρησιμοποιείται επειδή δεν είναι άμεσα εκτεθειμένο στις συνήθως μεγάλες διακυμάνσεις στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

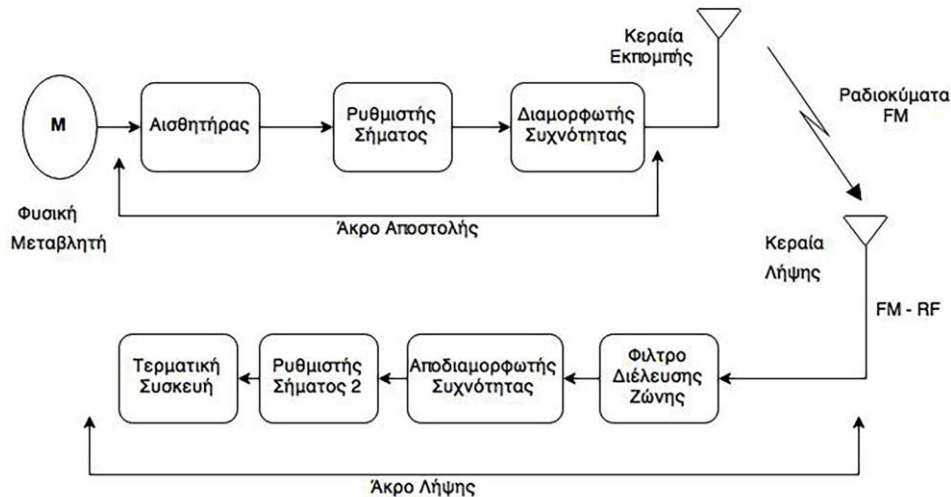
Τα προφανή πλεονεκτήματα του συστήματος τηλεμετρίας AM είναι: Η απλότητα του συστήματος και των συστατικών του και το χαμηλό κόστος του συστήματος καθώς δεν υπάρχουν εξειδικευμένα εξαρτήματα. Τα μειονεκτήματα του συστήματος τηλεμετρίας AM είναι: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρές αποστάσεις γιατί το σφάλμα και το κόστος αυξάνεται σύμφωνα με το μήκος της γραμμής σύρματος. Δεδομένου ότι η τρέχουσα γραμμή είναι μικρή, τα ρεύματα διαρροής θα μπορούσαν να καταστούν ομοειδή και συγκρίσιμα και έτσι να προκαλέσει ένα μεγάλο λάθος στην ανάγνωση της τιμής του μεγέθους.

Λόγω των ανωτέρω μειονεκτημάτων, τα AM συστήματα τηλεμετρίας δεν είναι σε κοινή χρήση. Μπορεί να είναι χρήσιμα μόνο όταν ο επαγωγικός μετατροπέας ταιριάζει με το μετρούμενο μέγεθος και η απόσταση είναι μικρή.

ii) FM τηλεμετρικό σύστημα

Το σήμα μετάδοσης για αυτό το σύστημα τηλεμετρίας είναι ένα σήμα AC διαμορφωμένης συχνότητας. Γενικά ένα ημιτονοειδές σήμα RF χρησιμοποιείται ως φορέας και μια ραδιοζεύξη ως μέσο μετάδοσης. Το σύστημα τηλεμετρίας FM έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό για μικρής εμβέλειας τηλεμετρία. Αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητό με μια αναφορά στο βασικό σύστημα τηλεμετρίας που είδαμε παραπάνω. Ένας μετατροπέας μετατρέπει τη δεδομένη φυσική μεταβλητή σε μια ηλεκτρική έξοδο, η οποία ρυθμίζεται / επεξεργάζεται με ένα κατάλληλο σήμα για να δώσει μια τάση DC ανάλογη προς την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, M. Αυτό το σήμα τάσης χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση ραδιοφωνικής συχνότητας (RF) φορέα. Το σήμα διαμορφωμένης

συχνότητας ραδιο-συχνότητας (FM-RF) εφαρμόζεται σε μια κεραία εκπομπής. Ενίσχυση μετά τη διαφοροποίηση δεν απαιτείται κατά κανόνα αν και μια μικρή ισχύς του πομπού είναι επαρκής για το αυτό το είδος μετάδοσης. Ένα απλό σύστημα τηλεμετρίας αυτού του τύπου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας FM

Ο δέκτης επιλέγει το επιθυμητό σήμα χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης. Αυτό το σήμα, που είναι ένα σήμα FM-RF, αποδιαμορφώνεται χρησιμοποιώντας έναν αποδιαμορφωτή συχνότητας και ανακτά το σήμα πληροφοριών με αυτόν τον τρόπο. Ο ρυθμιστής σήματος 2 ρυθμίζει / επεξεργάζεται το σήμα των πληροφοριών ώστε να είναι συμβατό με το δεδομένο στο τέλος της συσκευής. Η τερματική συσκευή παίρνει έτσι την επιθυμητή πληροφορία, δηλαδή, την τιμή του μετρούμενου μεγέθους.

Δεδομένου ότι οι πληροφορίες (τιμή του M) έγκειται στη συχνότητα, και όχι το πλάτος του σήματος μετάδοσης, κανένα αποτέλεσμα σφάλματος τηλεμετρίας δεν προκύπτει από την εξασθένηση του σήματος αυτού κατά την διάρκεια του πολλαπλασιασμού του. Ωστόσο, ένα λάθος μπορεί να υπάρξει λόγω απόσβεσης του ραδιοφωνικού σήματος κατά τη διάρκεια κακών καιρικών συνθηκών, εάν το σύστημα τηλεμετρίας χρησιμοποιείται εξωτερικά λόγω του θορύβου υψηλής συχνότητας. Βέβαια λύσεις για τα προβλήματα αυτά υπάρχουν με τους μηχανικούς για τις ραδιοεπικοινωνίες και, ως εκ τούτου, δεν εξετάζονται εδώ.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος τηλεμετρίας FM είναι: Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί βολικά οπουδήποτε είναι

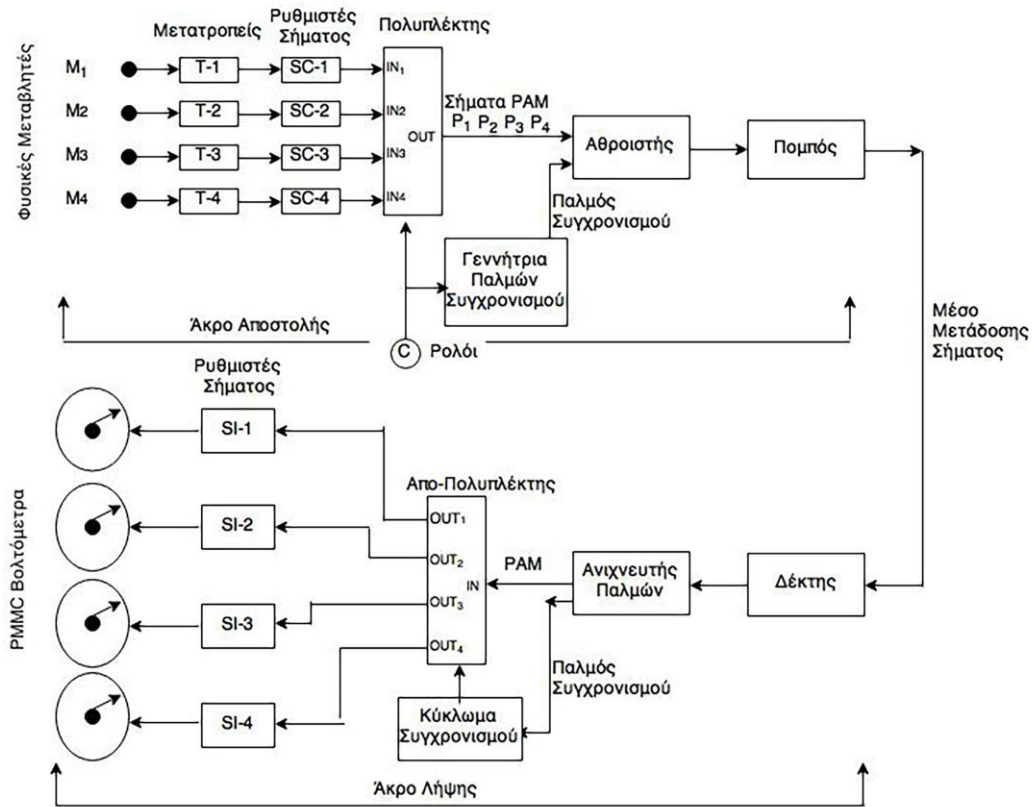
δύσκολο ή αδύνατο να έχουν πρόσβαση στο σήμα εξόδου του αισθητήρα με ακροδέκτες καλωδίων. Επίσης το σύστημα και τα εξαρτήματά του είναι αρκετά απλά και το σύστημα είναι φθηνό λόγω των τυποποιημένων εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται. Επίσης δεδομένου ότι οι πληροφορίες (τιμή του M) έγκειται στη συχνότητα, και όχι το πλάτος του σήματος μετάδοσης, κανένα αποτέλεσμα σφάλματος τηλεμετρίας δεν προκύπτει από την εξασθένηση του σήματος αυτού κατά την διάρκεια του πολλαπλασιασμού του. Μπορεί εύκολα να επεκταθεί σε ένα σύστημα τηλεμετρίας πολλαπλών καναλιών χρησιμοποιώντας πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM), στην οποία κάθε κανάλι χρησιμοποιεί ένα φορέα με διαφορετική συχνότητα. Αντίθετα σε υπαίθριες εφαρμογές τηλεμετρίας, η απόδοση του συστήματος μπορεί να είναι προβληματική σε κακές καιρικές συνθήκες και μπορεί το σύστημα να γίνει ακριβό όταν χρησιμοποιείται σε μεταδόσεις μεγάλης εμβέλειας στην εμπορική ζώνη ραδιοσυχνοτήτων. Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων, σχεδόν όλα τα μικρής εμβέλειας συστήματα τηλεμετρίας ραδιοσυχνοτήτων είναι συστήματα τηλεμετρίας FM.

2.4.3.3. Αναλογικά τηλεμετρικά συστήματα παλμού

Τα αναλογικά συστήματα παλμού μπορούν να διαχωριστούν σε συχνότητας (Pulse Frequency Modulation(PFM)), διάρκειας (Pulse Duration Modulation(PDM)), φάσης (Pulse Phase Modulation(PPM)) και πλάτους(Pulse Amplitude Modulation(PAM)). Από τα τέσσερα αναλογικά συστήματα, μόνο το σύστημα τηλεμετρίας PDM του τύπου πολλαπλών καναλιών έχει κάποια σημασία για βιομηχανική εφαρμογή. (H.K.Verma, Telemetry Systems, 2015)

i) Πολυκαναλικό PAM σύστημα τηλεμετρίας

Το σήμα μετάδοσης για PAM τηλεμετρία παίρνει τη μορφή των παλμών κατά πλάτος και η λειτουργία πολλαπλών καναλιών επιτυγχάνεται μέσω πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (TDM). Πολυκαναλικό σύστημα PAM τηλεμετρίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 10: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με 4 κανάλια

Μπορεί να φανεί ότι οι τέσσερις φυσικές μεταβλητές, M1 έως M4, εφαρμόζονται σε κατάλληλους μετατροπείς, T1 έως T4, αντιστοίχως. Οι μετατροπείς επεξεργάζονται σε κατάλληλους ρυθμιστές σήματος σήματος, SC-1 στην SC-4, αντίστοιχα, έτσι ώστε οι έξοδοι τους να είναι οι τάσεις DC, V1 έως V4, ανάλογες προς M1 έως M4, αντίστοιχα.

Αυτά τα σήματα τάσης εφαρμόζονται σε ένα διακόπτη πολυπλεξίας 4 καναλιών (η οποία είναι μια ολοκληρωμένη συσκευή κυκλώματος) στους ακροδέκτες εισόδου του, IN 1 έως IN4. Ο πολυπλέκτης λειτουργεί υπό τον έλεγχο του ρολογιού και αφήνει μια είσοδο μόνο ανοικτή κάθε φορά, ώστε να φτάνει στην έξοδο. Ο διακόπτης λειτουργεί κανονικά σε μια κυκλική σειρά. Η έξοδος του διακόπτη έτσι διαμορφώνει τα πλάτη τους από τα σήματα εισόδου σε κυκλική διάταξη. Το αποτέλεσμα είναι επομένως ένα χρονικό πολυπλεγμένο σήμα PAM, όπως φαίνεται στο σχήμα ως μία ακολουθία διαμορφωμένου εύρους παλμών, P1 έως P4.

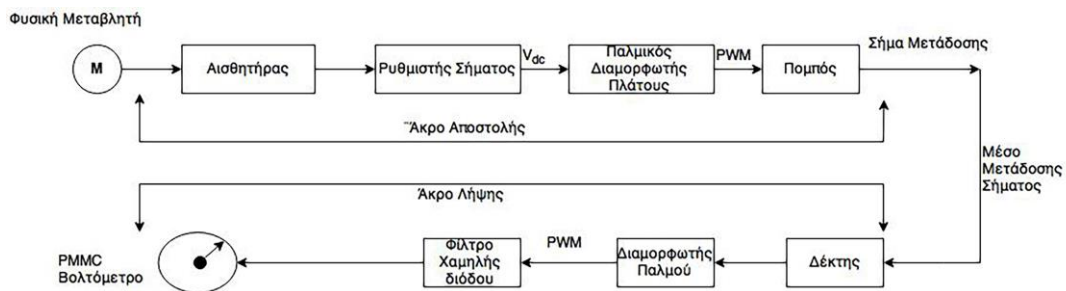
Το πρώτο κανάλι τηλεμετρίας πρέπει πάντα να συνδεθεί με το πρώτο στο άκρο αποστολής για το πρώτο βολτόμετρο PMMC στο σημείο λήψης. Αυτό πρέπει να γίνει και για τα άλλα κανάλια επίσης. Ο διακόπτης από-πολυπλεξίας στο σταθμό λήψης θα πρέπει να τρέξει σε συγχρονισμό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός παλμού συγχρονισμού πριν από την έναρξη του κάθε κύκλου του διακόπτη πολυπλεξίας και την προσθήκη αυτού του παλμού σήματος PAM πριν από τη μετάδοση του στο άκρο λήψης, όπως φαίνεται στο σχηματικό μπλοκ. Ο παλμός συγχρονισμού έχει ίδια διάρκεια όπως οι παλμοί PAM, αλλά το πλάτος του είναι πολύ μεγαλύτερο από το μέγιστο πλάτος του κάθε παλμού PAM. Ο δέκτης παίρνει τον παλμό συγχρονισμού καθώς και σήματα PAM. Ο παλμός συγχρονισμού προσδιορίζεται από έναν εντοπιστή συγχρονισμού παλμών (επί τη βάση του πλάτους) και παραδίδεται στο κύκλωμα συγχρονισμού, το οποίο ενεργεί επί του διακόπτη από-πολυπλεξίας για το συγχρονισμό της συχνότητας και της φάσης με το διακόπτη πολυπλεξίας. Το χρονικά πολυπλεγμένο σήμα PAM (αλληλουχία του διαμορφωμένου εύρους παλμών P1 έως P4) εφαρμόζεται στον διακόπτη από-πολυπλεξίας, ο οποίος εξάγει τους παλμούς P1 έως P4 στους ακροδέκτες εξόδου του, OUT1 προς OUT4, αντίστοιχα. Αυτά τα παλμικά σήματα παρεμβάλλονται από τους ρυθμιστές σήματος, SI-1 SI-4 έτσι παράγονται σήματα συνεχούς τάσης, V1 έως V4, ανάλογα με P1 έως P4, αντίστοιχα. Τέλος, αυτές οι τάσεις διαβάζονται στα αντίστοιχα βολτόμετρα PMMC, τα οποία είναι ρυθμισμένα από την άποψη των τιμών των M1 έως M4.

Το πλεονέκτημα του PAM συστήματος τηλεμετρίας σε σχέση με PWM και PCM συστήματα τηλεμετρίας είναι ότι είναι σχετικώς απλούστερα και φθηνότερα. Το μειονέκτημα μπορεί να γίνει κατανοητό από το απλό γεγονός ότι η εξασθένηση του σήματος μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγαλύτερα σφάλματα με PAM σήματα (επειδή οι πληροφορίες περιέχονται στο πλάτος των παλμών) σε σχέση με τα σήματα PWM και PCM.

Λόγω του πιο πάνω μειονεκτήματος, τα PAM συστήματα τηλεμετρίας χρησιμοποιούνται σπάνια.

ii) Μονοκαναλικό PWM σύστημα τηλεμετρίας

Το σήμα μετάδοσης για PWM τηλεμετρία (επίσης γνωστή ως PDM τηλεμετρία) περιέχει κωδικοποιημένο το πλάτος ενός σήματος εντός του πλάτους του παλμού του σήματος αυτού (duration). Μονοκάναλο σύστημα PWM τηλεμετρίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 11: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας PWM

Από το παραπάνω σχήμα μπορούμε να δούμε ότι η φυσική μεταβλητή M εφαρμόζεται σε ένα κατάλληλο αισθητήρα, η έξοδος του οποίου επεξεργάζεται καταλλήλως από το ρυθμιστή σήματος για την παραγωγή μιας τάσης DC, V_{dc} , ανάλογη με M . Αυτή η τάση εφαρμόζεται σε μια παλμικό διαμορφωτή πλάτους για την παραγωγή PWM σήματος, το οποίο μεταδίδεται στο άκρο λήψης μετά την αναγκαία ενίσχυση ή / και μετατροπή του σήματος από τον πομπό. Η φύση της μετατροπής του σήματος θα εξαρτηθεί από το μέσο μετάδοσης σήματος. Ο δέκτης ανακτά το σήμα PWM από το λαμβανόμενο σήμα, το οποίο εφαρμόζεται σε ένα διαμορφωτή παλμού ώστε να κάνει το πλάτος αυτών των παλμών σταθερό. (ανεξάρτητα από την εξασθένηση κατά τη διάρκεια της μετάδοσης) Αυτό το τέλειο σήμα πάει στη συνέχεια στην είσοδο ενός φίλτρου χαμηλής διόδου, όπως φαίνεται στο σχηματικό μπλοκ. Το φίλτρο αυτό παράγει μια DC τάση, V_{dc} , ανάλογη με το πλάτος παλμού των παλμών εισόδου, και επομένως, η τάση διαβάζεται σε ένα βολτόμετρο PMMC. Το βολτόμετρο έχει βαθμονομηθεί σύμφωνα με την τιμή του μετρούμενου μεγέθους M , έτσι ώστε ο χρήστης μπορεί να διαβάσει την τιμή του M απευθείας σε αυτό το βολτόμετρο.

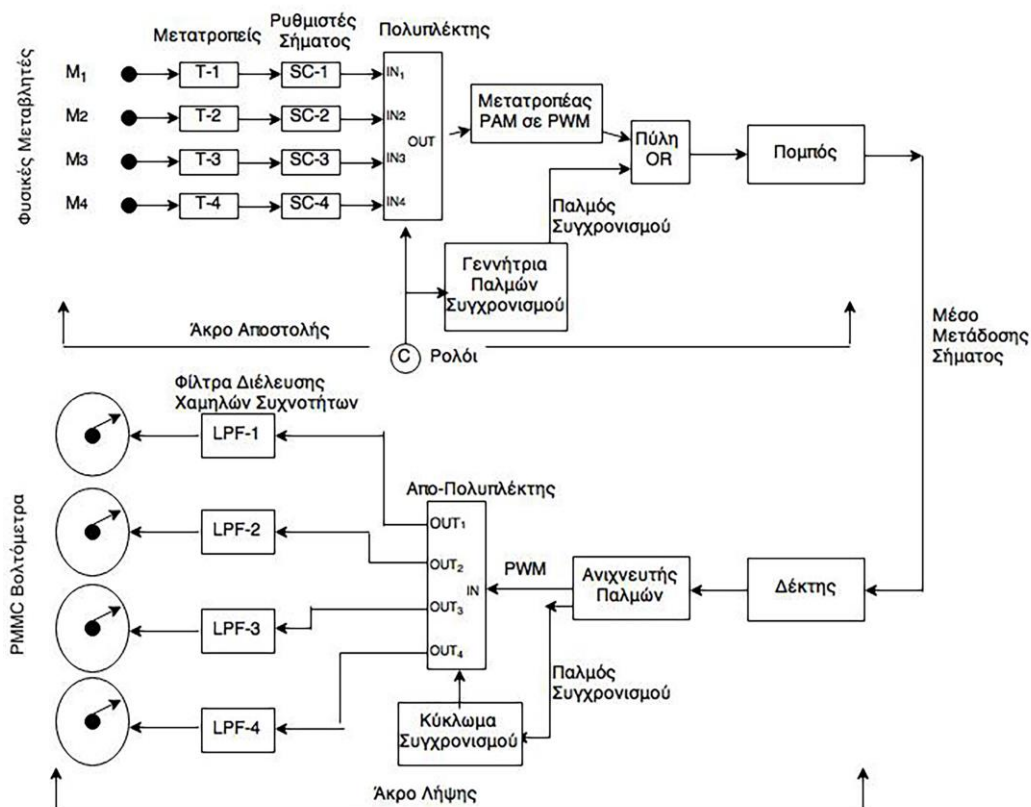
Το κύριο πλεονέκτημα του PWM είναι ότι οι πληροφορίες (τιμή του M) δεν διαμένουν στο πλάτος των παλμών. Θεωρητικά κανένα σφάλμα τηλεμετρίας δεν

μπορεί να προκύψει από την εξασθένηση του σήματος κατά τη μετάδοση. Επίσης σε σύγκριση με το σύστημα τηλεμετρίας PCM, το σύστημα τηλεμετρίας PWM είναι φθηνότερο γιατί δεν χρειάζεται τα ακριβά εξαρτήματα.

Η PWM τηλεμετρία ταιριάζει περισσότερο στις συνδέσεις καλωδίων από τις ραδιοζεύξεις ή τις συνδέσεις οπτικών ινών. Τα μονοκαναλικά συστήματα τηλεμετρίας PWM δεν είναι δημοφιλής λόγω της πολυπλοκότητάς τους και του υψηλού κόστους.

iii) Πολυκαναλικό PWM σύστημα τηλεμετρίας

Το σήμα μετάδοσης για PWM τηλεμετρία (επίσης γνωστή ως PDM τηλεμετρία) περιέχει κωδικοποιημένα τα πλάτη από άλλα σήματα εντός του πλάτους του παλμού του σήματος αυτού (duration). Η λειτουργία πολλαπλών καναλιών επιτυγχάνεται μέσω πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (TDM). Πολυκαναλικό σύστημα PWM τηλεμετρίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 12: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας PWM 4 καναλιών

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα το σύστημα είναι σχεδόν ίδιο με το πολυκαναλικό PAM σύστημα τηλεμετρίας με κάποιες διαφορές. Ένας μετατροπέας

προστίθεται μετά το διακόπτη πολυπλεξίας. Αυτός μετατρέπει τα σήματα PAM σε σήματα PWM. Ο παλμός συγχρονισμού έχει το ίδιο πλάτος με τους παλμούς PWM, αλλά η διάρκεια του πλάτους του είναι πολύ μεγαλύτερη. Δεδομένου ότι οι PWM παλμοί και οι παλμοί συγχρονισμού είναι δυαδικές σε πλάτος (χαμηλή ή υψηλή τιμή), μία πύλη OR χρησιμοποιείται εδώ στη θέση του αθροιστή για το σύστημα PAM.

Το άκρο της υποδοχής του σήματος είναι επίσης ίδιο με το άκρο υποδοχής του PAM συστήματος με την διαφορά ότι ο ανιχνευτής παλμού εδώ δουλεύει σύμφωνα με την διάρκεια του πλάτους κάθε παλμού και όχι με μέγεθος του πλάτους όπως στα PAM. Η δεύτερη σημαντική διαφορά είναι ότι το σύστημα PWM χρησιμοποιεί φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων στη θέση των παρεμβολέων σήματος του συστήματος PAM.

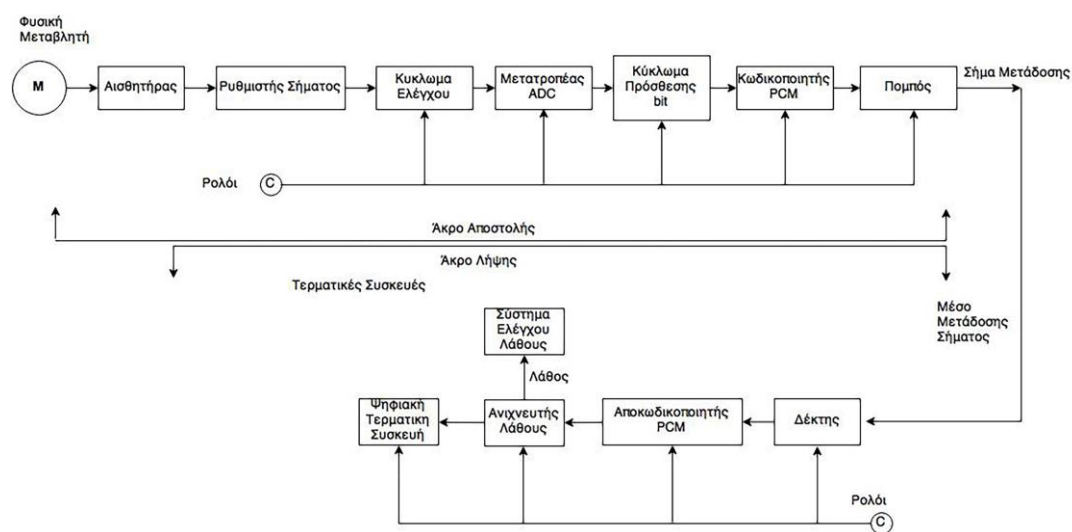
Το κύριο πλεονέκτημα του PWM συστήματος τηλεμετρίας σε σύγκριση με το σύστημα PAM είναι ότι οι πληροφορίες (τιμή του M) διαμένουν στη διάρκεια του πλάτους των παλμών, θεωρητικά κανένα σφάλμα τηλεμετρίας δεν μπορεί να προκύψει από την εξασθένηση ή τις μεταβολές στην εξασθένηση του σήματος κατά τη μετάδοση. Σε σύγκριση με το σύστημα τηλεμετρίας PCM, το σύστημα τηλεμετρίας PWM είναι φθηνότερο γιατί δεν χρειάζεται τα ακριβά εξαρτήματα.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων, η πλειοψηφία των πολλαπλών καναλιών συστημάτων ενσύρματης αναλογικής τηλεμετρίας είναι τύπου PWM.

2.4.3.4. Ψηφιακά τηλεμετρικά συστήματα παλμού

Το σήμα μετάδοσης για ένα ψηφιακό τηλεμετρικό σύστημα έχει ως αρχή την κωδικοποίηση μιας αλληλουχίας δυαδικών παλμών. Έτσι οι πληροφορίες που εκπέμπονται από τους παλμούς είναι ψηφιακές. Κανένα όμως από τα χαρακτηριστικά αυτών των παλμών δεν είναι ανάλογο με τις πληροφορίες. (H.K.Verma, Telemetry Systems, 2015)

ι) Μονοκαναλικό – Ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας



Σχήμα 13: Τηλεμετρικό ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας

Παραπάνω βλέπουμε το διάγραμμα ενός συστήματος PCM τηλεμετρίας μονού καναλιού. Η φυσική μεταβλητή/μέτρηση M εφαρμόζεται σε ένα κατάλληλο μετατροπέα και η έξοδος του επεξεργάζεται καταλλήλως από το ρυθμιστή σήματος για να παράγει μια DC, V_{dc} , ανάλογη με το M . Σε αυτή τη τάση γίνεται δειγματοληψία σε τακτά χρονικά διαστήματα και μετατρέπεται σε ισοδύναμη ψηφιακή τιμή από ένα μετατροπέα ADC. Γενικά μετατροπείς τύπου ADC χρησιμοποιούνται σε αυτό το τύπο εφαρμογών και η ανάλυση κυμαίνεται από 8 έως 16 bits. Δεδομένου ότι η αναλογική τάση ακολουθεί τις διακυμάνσεις τις τιμές του μετρούμενου μεγέθους η τιμή αλλάζει συνεχώς. Οποιαδήποτε αλλαγή στην αναλογική είσοδο του ADC ενώ γίνεται η μετατροπή αναλογική – ψηφιακή μπορεί να προκαλέσει σφάλμα στην έξοδο του ADC. Το πρόβλημα αυτό αποφεύγεται με ένα κύκλωμα ελέγχου(S/H (sample and hold circuit)) αντί για το απλό κύκλωμα δειγματοληψίας πριν από το ADC όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Το ADC ακολουθείται από τα κυκλώματα που περιγράφονται παρακάτω με αυτή τη σειρά:

Κύκλωμα πρόσθεσης bit: Η μετάδοση των δεδομένων μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη. Σε περιπτώσεις ασύγχρονης μετάδοσης το κύκλωμα αυτό προσθέτει ένα parity bit για κάθε χαρακτήρα, δηλαδή, N bit δεδομένων

εξόδου του ADC. Σε περίπτωση σύγχρονης μετάδοσης το κύκλωμα προσθέτει ένα ορισμένο αριθμό (CRC) στο τέλος των bits δεδομένων.

PCM κωδικοποιητής: Το κύκλωμα αυτό κωδικοποιεί τα δεδομένα μαζί με τα parity/CRC bits σε μια σειρά παλμών χρησιμοποιώντας κώδικα PCM.

Πομπός: Ο πομπός έχει δύο λειτουργίες να εκτελέσει:

A) Σε περίπτωση ασύγχρονης μετάδοσης προσθέτει παλμούς έναρξης και τέλους πριν από κάθε χαρακτήρα δεδομένων. Σε περίπτωση σύγχρονης μετάδοσης ένα πρότυπο συγχρονισμού μπροστά από όλο το μπλοκ δεδομένων .

B)Ο πομπός μετατρέπει τους κωδικοποιημένους παλμούς τάσης σε ένα σήμα μετάδοσης που να ταιριάζει με το δεδομένο μέσο μεταφοράς και το επιθυμητό εύρος του.

Επειδή το S / H κύκλωμα, το ADC και όλα τα άλλα κυκλώματα που αναφέρονται παραπάνω λειτουργούν παράλληλα, οι εργασίες τους πρέπει να συγχρονιστούν με τη χρήση ενός κοινού ρολογιού αναφοράς, όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

Δέκτης: Ο δέκτης έχει δύο λειτουργίες να εκτελέσει εδώ:

A) συγχρονίζει την ίδια τη λειτουργία του με τον πομπό, χρησιμοποιώντας τους παλμούς έναρξης και τέλους (για ασύγχρονη μετάδοση) ή τον συγχρονισμό του προτύπου bit (για σύγχρονη μετάδοση).

B) Διενεργεί την αντίστροφη μετατροπή του σήματος, δηλαδή, μετατρέπει το σήμα μετάδοσης, που λαμβάνεται , σε κωδικοποιημένους παλμούς τάσης (σήμα PCM).

Στη συνέχεια, ένας αποκωδικοποιητής PCM αποκωδικοποιεί τα κωδικοποιημένα δεδομένα παλμών τάσης. Αυτά τα δεδομένα διαβιβάζονται σε ένα ανιχνευτή σφάλματος, ο οποίος επαληθεύει την ορθότητα των στοιχείων από την ισοτιμία (Parity) ή τα δυαδικά ψηφία CRC. Σε περίπτωση που εντοπιστεί ένα σφάλμα, οι πληροφορίες διαβιβάζονται στο σύστημα ελέγχου σφαλμάτων για κατάλληλη δράση. Αν δεν βρεθεί λάθος, τότε τα bits δεδομένων είναι αυτά που θα περάσουν στις τερματικές συσκευές. Όλα τα κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων των τερματικών συσκευών, που λειτουργούν παράλληλα, συγχρονίζονται με ένα ρολόι

στο άκρο υποδοχής του συστήματος τηλεμετρίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Αυτό το ρολόι έχει την ίδια συχνότητα με το άκρο αποστολής.

Σε σύγκριση με τα αναλογικά συστήματα τηλεμετρίας σε γενικές γραμμές, το ψηφιακό ή PCM σύστημα τηλεμετρίας έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: Όπως όλα τα ψηφιακά συστήματα γενικά, το ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας έχει υψηλή ανοσία σε θόρυβο. Επίσης η ψηφιακή τηλεμετρία χρησιμοποιεί τεχνικές ελέγχου σφάλματος ως βασικό χαρακτηριστικό εξασφαλίζοντας έτσι ότι τα δεδομένα που φτάνουν στο τέλος συσκευές είναι χωρίς λάθη.

Το μόνο μειονέκτημα της ψηφιακής τηλεμετρίας, σε σύγκριση με αναλογικά συστήματα τηλεμετρίας είναι ότι για πολύ απλές ή συνηθισμένες εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλές ακρίβειες, μπορεί να είναι υψηλότερο το κόστος του.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων, τα συστήματα τηλεμετρίας PCM πλέον γενικά προτιμούνται σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα τηλεμετρίας.

ii) Πολυκαναλικό – Ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας

Η λειτουργία πολλαπλών καναλιών επιτυγχάνεται μέσω πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (TDM) όπως στις περιπτώσεις των PAM και PWM συστημάτων τηλεμετρίας που αναφέρθηκαν νωρίτερα.

Ένα 4-κάναλο σύστημα PCM τηλεμετρίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το αρχικό τμήμα του άκρο αποστολής αυτού του συστήματος είναι αρκετά παρόμοιο με εκείνο της τηλεμετρίας PAM μέχρι το σημείο της λήψης σήματος. Τα επόμενα εξαρτήματα έχουν τους ρόλους τους ως:

Sample-and Hold (S/H) κύκλωμα ελέγχου: Η ένταση του σήματος PAM, για παράδειγμα P1, ακολουθεί τις μεταβολές στο μέγεθος του συνεχούς (αναλογικού) σήματος V1. Παρόμοια είναι η περίπτωση με τα άλλα σήματα PAM , P2, P3 και P4. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρό σφάλμα στην έξοδο του ADC το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπως PCM τηλεμετρίας. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα, ένα κύκλωμα έναρξης και τέλους τοποθετείται πριν από το ADC.

Αναλογικός προς ψηφιακός μετατροπέας (ADC): Η τιμή του αναλογικού σήματος μετατρέπεται στο ισοδύναμη ψηφιακή τιμή από ένα ADC. Το πλάτος του ADC συνήθως κυμαίνεται από 8 έως 16 bits.

Κύκλωμα πρόσθεσης bit: Η μετάδοση των δεδομένων μπορεί να είναι είτε ασύγχρονη ή σύγχρονη. Σε περίπτωση της ασύγχρονης μετάδοσης, το κύκλωμα αυτό προσθέτει ένα bit ισοτιμίας(Parity) για κάθε χαρακτήρα, δηλαδή, N-bit εξόδου δεδομένων του ADC. Σε περίπτωση σύγχρονης μετάδοσης, το κύκλωμα προσθέτει έναν ορισμένο αριθμό στο τέλος των δεδομένων.

PCM κωδικοποιητής: Κωδικοποιεί τα δεδομένα (περιλαμβάνουν και τα δεδομένα και την ισοτιμία / CRC bits) σε μια σειρά κωδικοποιημένων παλμών χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο κώδικα PCM.

Πομπός: Ο πομπός έχει δύο λειτουργίες για να εκτελέσει:

A) Στην περίπτωση της ασύγχρονης μετάδοσης, προσθέτει παλμούς έναρξης και τέλους πριν και μετά από κάθε χαρακτήρα των δεδομένων. Σε περίπτωση σύγχρονης μετάδοσης, προσθέτει συγχρονισμό (sync) στο πρότυπου bit μπροστά από το σύνολο του μπλοκ δεδομένων.

B) Ο πομπός μετατρέπει τους κωδικοποιημένους παλμούς τάσης (σήμα PCM) σε ένα σήμα μετάδοσης που να ταιριάζει με το δεδομένο μέσο μεταφοράς και το επιθυμητό εύρος του.

Επειδή το S / H κύκλωμα, το ADC και όλα τα άλλα κυκλώματα που αναφέρονται παραπάνω λειτουργούν παράλληλα, οι εργασίες πρέπει να συγχρονιστούν με τη χρήση ενός κοινού ρολογιού αναφοράς, όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

Δέκτης: Ο δέκτης έχει δύο λειτουργίες για να εκτελέσει εδώ:

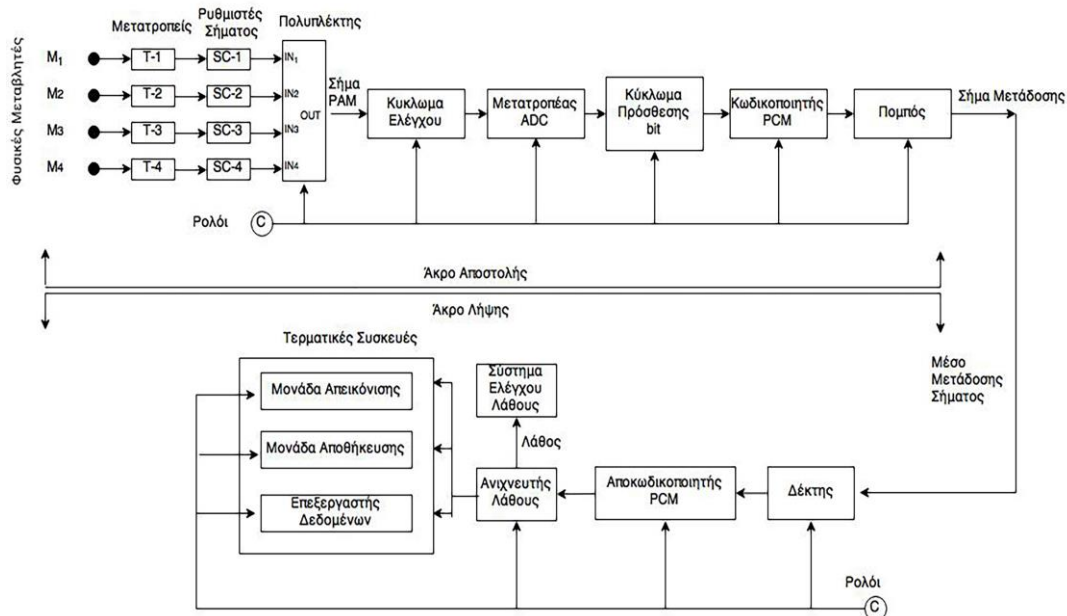
A) Συγχρονίζει την ίδια τη λειτουργία του με τον πομπό, χρησιμοποιώντας την παλμούς έναρξης και τέλους (για ασύγχρονη μετάδοση) ή συγχρονισμένο μοτίβο bit (για σύγχρονη μετάδοση).

B) Διενεργεί την αντίστροφη μετατροπή του σήματος, δηλαδή, μετατρέπει το σήμα μετάδοσης, που λαμβάνεται σε κωδικοποιημένους παλμούς τάσης (σήμα PCM).

Στη συνέχεια, ένας αποκωδικοποιητής PCM αποκωδικοποιεί τους κωδικοποιημένους παλμούς τάσης. Αυτά τα δεδομένα διαβιβάζονται σε ανιχνευτή σφάλματος, ο οποίος επαληθεύει την ορθότητα των στοιχείων από την ισοτιμία ή τα δυαδικά ψηφία CRC. Σε περίπτωση που εντοπιστεί ένα σφάλμα, οι πληροφορίες διαβιβάζονται στο σύστημα ελέγχου σφαλμάτων για κατάλληλη δράση. Αν δεν βρεθεί λάθος, τότε τα bits δεδομένων είναι τα μόνα που θα περάσουν στις τερματικές συσκευές. Όλα τα κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων των τερματικών συσκευών, που λειτουργούν παράλληλα, συγχρονίζονται με ένα ρολόι στο άκρο υποδοχής του συστήματος τηλεμετρίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Αυτό το ρολόι έχει την ίδια συχνότητα με το άκρο αποστολής.

Στο σχηματικό μπλοκ που δίνεται εδώ, οι τρεις ευρέως χρησιμοποιούμενες συσκευές είναι: (α) Μία πολυπλεγμένη ψηφιακή μονάδα απεικόνισης για την παρουσίαση των τιμών των μετρητέων μία προς μία. (β) Μια ψηφιακή μονάδα αποθήκευσης για την αποθήκευση τιμών όλων των μετρητέων για μεταγενέστερη ανάλυση και (γ) Ένας επεξεργαστής δεδομένων για την ανάλυση των δεδομένων.

Ο δέκτης στέλνει πληροφορίες μαζί με τα δεδομένα σε αυτές τις τερματικές συσκευές, έτσι ώστε τα δεδομένα να φτάσουν στη σωστή τερματική συσκευή.



Σχήμα 14: Τηλεμετρικό ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας 4 καναλιών

Σε σύγκριση με τα αναλογικά συστήματα τηλεμετρίας σε γενικές γραμμές, το ψηφιακό ή PCM σύστημα τηλεμετρίας έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: Όπως

όλα τα ψηφιακά συστήματα γενικά, το ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας έχει υψηλή ανοσία στο θόρυβο. Επίσης η ψηφιακή τηλεμετρία χρησιμοποιεί τεχνικές ελέγχου σφάλματος ως στάνταρ χαρακτηριστικό εξασφαλίζοντας έτσι ότι τα δεδομένα που φτάνουν στις τερματικές συσκευές είναι χωρίς σφάλμα.

Το μόνο μειονέκτημα της ψηφιακής τηλεμετρίας είναι ότι με πολύ απλές ή συνηθισμένες εφαρμογές μπορεί να είναι υψηλότερο το κόστος όταν συγκρίνεται με αναλογικές.

Λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων, τα συστήματα PCM τηλεμετρίας χρησιμοποιούνται σε όλες τις απαιτητικές εφαρμογές υψηλής απόδοσης ή / και με τη συμμετοχή μεγάλου αριθμού των καναλιών.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε τα κυριότερα συστήματα τηλεμετρίας που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς καθώς και τη λειτουργία τους. Ας δούμε όμως την χρησιμότητα αυτών των συστημάτων στην καθημερινή μας ζωή, που εφαρμόζονται και πως μας διευκολύνουν σε διάφορες περιστάσεις.

Εφαρμογές τηλεμετρίας έχουμε παντού γύρω μας, στην καθημερινότητά μας είτε το γνωρίζουμε είτε όχι. Μερικές εφαρμογές μπορούμε να βρούμε στην ιατρική, στα δίκτυα κοινής ωφέλειας, στην μετεωρολογία, την σεισμολογία, στην έρευνα της χρήσης των υπολογιστών, στον αθλητισμό και σε αγώνες ταχύτητας. Ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά κάποιες από αυτές τις εφαρμογές:

3.1. Τηλεμετρία στην ιατρική

Η τηλεμετρία στην ιατρική ονομάζεται: <<Τηλεϊατρική>>.

Θα μπορούσαμε να δώσουμε ορισμό της τηλεϊατρικής ως :

«Η χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας και ηλεκτρονικής πληροφόρησης για την παροχή και υποστήριξη της φροντίδας υγείας όταν η απόσταση χωρίζει τους συμμετέχοντες.»

Τα συστήματα τηλεϊατρικής αναπτύχθηκαν για να καλύψουν αυτές τις ανάγκες και μπορεί να έχουν μία από τις ακόλουθες μορφές:

- Τηλεσυμβουλευτική, ορίζεται ως η από απόσταση πρόσβαση στις γνώσεις ή την εξειδίκευση ειδικού.
- Τηλεδιάγνωση, ορίζεται ως η από απόσταση διάγνωση της κατάστασης ενός ασθενή από έναν εξειδικευμένο γιατρό.
- Τηλεπαρακολούθηση, είναι η παρακολούθηση ενός ασθενή που δεν βρίσκεται στο νοσοκομείο.
- Τηλεφροντίδα, είναι η χρήση των δεδομένων τηλεπαρακολούθησης για παροχή βοήθειας.
- Τηλεκπαίδευση, ορίζεται ως η από απόσταση εκπαίδευση ασθενών ή και επαγγελματιών υγείας.

- Συνεργατική διάγνωση, κατά την οποία μια ομάδα επαγγελματιών υγείας που βρίσκονται σε διαφορετικούς χώρους συνεργάζονται για την έκδοση ενός πορίσματος.
- Η πρόσβαση μιας βάσης ιατρικών δεδομένων από απόσταση θα μπορούσε να θεωρηθεί εφαρμογή τηλεϊατρικής.

Η τηλεϊατρική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές, όπως νησιά, χωριά, κτλ. που διαθέτουν χαμηλή ποιότητα παροχής ιατρικών υπηρεσιών. Επίσης αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη στη ναυσιπλοΐα για τη διάγνωση και ιατρική βοήθεια από απόσταση σε ασθενείς που βρίσκονται σε πλοία, κρουαζιερόπλοια, κλπ. και προφανώς δε διαθέτουν ειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Χρησιμοποιείται για την κατ' οίκον νοσηλεία, σε συμβουλευτικές μονάδες προς γιατρούς, για τις ανάγκες της τηλεεκπαίδευσης και για την κάλυψη σπάνιων ειδικοτήτων γιατρών. Επίσης, μπορεί να καλύψει και να προλάβει επείγοντα περιστατικά που χρειάζονται άμεση επέμβαση, συνήθως σε κινητούς σταθμούς (ασθενοφόρα).

Παρόλο που υπάρχουν πολλές πιθανές εφαρμογές, ο κύριος σκοπός της τηλεϊατρικής είναι να επιτρέψει στους γιατρούς (ή άλλους παροχείς ιατρικών υπηρεσιών) να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στο μέρος όπου βρίσκεται ο ασθενής, χρησιμοποιώντας συνδυασμό από βίντεο, ήχο, δεδομένα και εικόνες. Οι πληροφορίες αυτές στέλνονται μέσω κάποιας μορφής σύνδεση από τον τόπο όπου γίνεται η αποθήκευση τους (π.χ. νοσοκομεία και κλινικές) στον τόπο όπου χρειάζονται. Η ανάπτυξη εφαρμογών τηλεϊατρικής είναι αρκετά περίπλοκη, λόγω της πληθώρας των διαφορετικών μέσων που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και των διαφορετικών απαιτήσεων που έχει κάθε μέσο. Για παράδειγμα, η μετάδοση των ζωτικών σημάτων ενός ασθενούς δε χρειάζεται μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης. Αντίθετα, οι υψηλής ανάλυσης ιατρικές εικόνες που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση απαιτούν μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης και εύρος ζώνης.

Μερικά γενικά παραδείγματα εφαρμογών τηλεϊατρικής είναι:

- A) Ιατρική εκπαίδευση από απόσταση γιατρών, νοσηλευτικού προσωπικού κ.τ.λ.
- B) Παροχή συμβουλών από απόσταση. Εδώ έχουμε ανταλλαγή συμβουλών μεταξύ γιατρών σε διαφορετικά μέρη για σοβαρές περιπτώσεις τραυμάτων και άλλες περιπτώσεις όπου απαιτείται μια δεύτερη γνώμη ή η γνώση ενός ειδικού, π.χ. επείγοντα περιστατικά.
- Γ) Διάγνωση από απόσταση από εξειδικευμένους γιατρούς για περιπτώσεις ασθενών που βρίσκονται σε τόπο όπου δεν υπάρχει γιατρός της κατάλληλης ειδικότητας.

Μια άλλη εφαρμογή της τηλεϊατρικής που βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο πειραματικό στάδιο είναι η εκτέλεση εγχειρήσεων από απόσταση (Τηλεχειρουργική). Στον τόπο όπου βρίσκεται ο ασθενής υπάρχει ένας ρομποτικός μηχανισμός, ο οποίος καθοδηγείται από απόσταση από κατάλληλα εκπαιδευμένο γιατρό. Ο γιατρός έχει οπτική επαφή μέσω κάμερας.

3.2. Τηλεμετρία στα δίκτυα κοινής ωφέλειας

Από τις πρώτες εφαρμογές της τηλεμετρίας ήταν ο έλεγχος της κατάστασης των δικτύων ηλεκτροδότησης (1912) μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Σήμερα η τηλεμετρία χρησιμοποιείται για έλεγχο όλων των δικτύων κοινής ωφέλειας, όπως της ύδρευσης, που χρειάζεται να εξετάζεται και η παροχή αλλά και η ποιότητα του νερού.

Όταν στο σύστημα διαχείρισης αντλιοστασίων και δικτύων ύδρευσης Οι αυτοματισμοί ελέγχου περιλαμβάνουν :

- εκκίνηση – στάση αντλιών
- έλεγχο στάθμης δεξαμενών
- επιτήρηση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα
- επιτήρηση ηλεκτρικών παραμέτρων αντλιοστασίων (έλλειψη τάσης, παραβίαση ηλεκτρικού πίνακα)
- επιτήρηση αγωγών δικτύου για διαρροές (μέτρηση πίεσης, παροχής σε χαρακτηριστικά σημεία)

- χειρισμό βανών παρακολούθηση ποιοτικών παραμέτρων νερού (όπως pH, χλώριο, θολότητα, θερμοκρασία, αγωγιμότητα κ.λ.π.)

Με την εφαρμογή των σύγχρονων αυτών αυτοματισμών επιτυγχάνεται :

- η εξοικονόμηση νερού και ενέργειας
- ο πληρέστερος έλεγχος και η ορθολογική διαχείριση του δικτύου
- η εξασφάλιση της ποιότητας του νερού

3.3. Τηλεμετρία στην μετεωρολογία

Η Τηλεμετρία έχει χρησιμοποιηθεί σε μετεωρολογικά μπαλόνια για την ασύρματη μετάδοση μετεωρολογικών δεδομένων (ραδιοτηλεμετρία με σήματα Μορς) από το 1930.

Τα μετεωρολογικά όργανα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση, καταγραφή, ανίχνευση ή εντοπισμό (ποιοτικά ή ποσοτικά) ενός ή περισσότερων μετεωρολογικών στοιχείων. Τα μετεωρολογικά στοιχεία είναι ατμοσφαιρικά φαινόμενα ή ιδιότητες ή μεγέθη που χαρακτηρίζουν την καιρική κατάσταση σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, άνεμος, υγρασία, καταιγίδα, ομίχλη κτλ.). Ο χώρος στον οποίο εγκαθίστανται τα μετεωρολογικά όργανα για τη διεξαγωγή των μετεωρολογικών παρατηρήσεων και γενικά για τη συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων ονομάζεται μετεωρολογικός σταθμός. Ο χώρος του σταθμού πρέπει να είναι ανοιχτός, μακριά από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια και αντιπροσωπευτικός της ευρύτερης περιοχής. Για την τοποθέτηση των μετεωρολογικών οργάνων που προορίζονται για τη μέτρηση και καταγραφή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα στο χώρο του μετεωρολογικού σταθμού χρησιμοποιείται ειδικό στέγαστρο το οποίο ονομάζεται μετεωρολογικός κλωβός.

Κάποια από τα όργανα που χρησιμοποιεί ο τομέας αυτός είναι :

Βροχόμετρα - Χιονόμετρα - Βροχογράφοι

Το συνηθισμένο βροχόμετρο και ο κατάλληλος μετρητής που το συνοδεύει χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ύψους της βροχόπτωσης. Στους κλιματολογικούς και βροχομετρικούς σταθμούς το όργανο ελέγχεται κατά την

εκτέλεση της πρωινής παρατήρησης. Το συνηθισμένο βροχόμετρο έχει συλλεκτική επιφάνεια 200 cm² και ο μετρητής μπορεί να μετρήσει σε κάθε γέμισμα μέχρι 10 mm βροχής. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται η ημερήσια ποσότητα της βροχόπτωσης.

Θερμόμετρα - Θερμογράφοι

Τα θερμόμετρα διακρίνονται στα συνηθισμένα υδραργυρικά θερμόμετρα, τα μεγιστοβάθμια υδραργυρικά θερμόμετρα και στα ελαχιστοβάθμια οινόπνευματικά θερμόμετρα. Χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα κατά τη στιγμή της παρατήρησης και της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, συνήθως κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Τοποθετούνται μέσα στο μετεωρολογικό κλωβό.

Υγρόμετρα (Ψυχρόμετρα) - Υγρογράφοι

Το υγρόμετρο, το οποίο καλείται επίσης και ψυχρόμετρο, αποτελείται από δύο πανομοιότυπα συνηθισμένα υδραργυρικά θερμόμετρα. Όμως το δοχείο του ενός από αυτά διατηρείται συνέχεια υγρό με τη χρήση ειδικού υφάσματος και αποσταγμένου νερού, για αυτό και καλείται θερμόμετρο υγρού δοχείου. Το άλλο καλείται θερμόμετρο ξηρού δοχείου και είναι το ίδιο θερμόμετρο που χρησιμοποιείται για τη λήψη της θερμοκρασίας του αέρα.

Βαρόμετρα - Βαρογράφοι

Το βαρόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Συνήθως είναι υδραργυρικό και φέρει θερμόμετρο για μέτρηση της θερμοκρασίας της στήλης του υδραργύρου. Ο βαρογράφος είναι επίσης μεταλλικός και καταγράφει συνέχεια την ατμοσφαιρική πίεση σε ημερήσια ή εβδομαδιαία ταινία στο επίπεδο του σταθμού.

3.4. Τηλεμετρία στην σεισμολογία

Επειδή οι σταθμοί μετρήσεων βρίσκονται διάσπαρτοι σε κατοικημένες και μη περιοχές, τα σεισμολογικά δίκτυα χρησιμοποιούν πολλούς τρόπους για να μεταφέρουν δεδομένα: μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές, δορυφορική μετάδοση,

διακίνηση μέσω ίντερνετ, κινητή τηλεφωνία, γεφύρωση με ασύρματες μικροκυματικές ζεύξεις κλπ.

Στη σεισμολογία η τηλεμετρία έχει σκοπό την πρόγνωση των σεισμών. Με σκοπό την ακόμη πιο έγκαιρη και έγκυρη προειδοποίηση γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την πρόγνωση των σεισμών. Μία από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες είναι η μέθοδος BAN (επινόηση των Ελλήνων Φυσικών Βαρώτσου, Αλεξόπουλου και Νομικού, απ' όπου και η ονομασία της) που έχει και ιστορική σημασία λόγω των αγώνων της ομάδας ενάντια σε επιθέσεις που δεχόταν και δέχεται κατά καιρούς. Ακρογωνιαίος λίθος στην έρευνα αυτή είναι οι ηλεκτρικές ώσεις που αναδύονται από τα πετρώματα όταν αυτά βρίσκονται υπό (μηχανική) τάση που υπερβαίνει ένα κρίσιμο σημείο. Τα πρόδρομα αυτά ηλεκτρικά σήματα εμφανίζονται στο δίκτυο καταγραφής ως και τρεις μήνες πριν την εκδήλωση του σεισμού και συνεκτιμώνται με άλλα δεδομένα από την ομάδα BAN όπως οι μαγνητικές διαταραχές που γεννώνται ταυτόχρονα με τις πρόδρομες ηλεκτρικές και η επιτάχυνση της σεισμικότητας. Υπάρχουν ακόμη προσπάθειες, (μία εξ' αυτών επίσης Ελληνική), που δίνουν μοντέλα για τις διαδικασίες της γένεσης του σεισμού καθώς πλησιάζει ο χρόνος της θραύσης του ρήγματος και αναλύοντας δεδομένα μετρήσεων βελτιώνουν σημαντικές παραμέτρους της πρόγνωσης και δίνουν συνθήκες βεβαιότητας για την έλευση του σεισμού. Σημαντική συνεισφορά στην πρόγνωση, εκτός από τις επίγειες μετρήσεις, έχουν ήδη - και εκτιμάται πως θα έχουν ακόμη περισσότερη - οι δορυφορικές παρατηρήσεις της Γης.

Όλες αυτές οι μετρήσεις γίνονται απομακρυσμένα με αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί ανά περιοχές. (B. K. Παπαζάχος, Γ. Φ. Καρακαΐσης, Π. Μ. Χατζηδημητρίου, 2005)

3.5. Τηλεμετρία στον αθλητισμό

Η Τηλεμετρία χρησιμοποιείται στους αθλητές για την συλλογή και καταγραφή της σωματικής και φυσικής κατάστασης τους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κόρον στους ποδοσφαιριστές, με τη μέριμνα της Ελληνικής

Ποδοσφαιρικής Ομοσπονδίας, με τη δημιουργία της «Κάρτας Υγείας Αθλητή Ε.Π.Ο.

Σίγουρα έχουμε ακούσει όλοι τους εργομετρικούς ελέγχους που περνάνε οι αθλητές πριν από μια μεταγραφή ή στην αρχή της περιόδου. Αυτοί οι εργομετρικοί έλεγχοι έχουν σκοπό να αναλύσουν την φυσική κατάσταση των αθλητών βάζοντας ηλεκτρικούς αισθητήρες στο σώμα του.

Άλλες εφαρμογές/τεχνολογίες τηλεμετρίας στο αθλητισμό είναι :

Hawk-Eye

Στις μέρες μας η τεχνολογία Hawk-Eye είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε αθλήματα όπως το cricket, το tennis και το snooker. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στο ερευνητικό κέντρο Roke Manor το 2001, και ο κύριος σκοπός του είναι να καταγράφει ακριβώς την τροχιά ενός αντικειμένου (στην περίπτωση μας της μπάλας) και να μπορεί να υπολογίζει ακόμη και την μελλοντική της κατάληξη σε μηδαμινό χρόνο. Η RokeManor είναι αγγλική εταιρεία που ασχολείται με την έρευνα και την ανάπτυξη συστημάτων τηλεπικοινωνιών, δικτύων και ηλεκτρονικών αισθητήρων. Το σύστημα Hawk-Eye έχει δώσει νέα διάσταση στα αθλήματα που χρησιμοποιείται, κυρίως στο τένις και το κρίκετ, καθώς είναι μια εγγύηση σωστά ειλημμένων αποφάσεων και είναι κοινώς αποδεκτό, σε αντίθεση ίσως με τις αποφάσεις ενός διαιτητή. Χρησιμοποιεί την αρχή της τριγωνομέτρησης (Triangulation) και δέχεται συνεχώς εικόνες και δεδομένα από τουλάχιστον 6 high speed κάμερες που βρίσκονται γύρω από το γήπεδο. Η βάση δεδομένων του υπολογιστή που κάνει την ανάλυση, περιέχει μεταξύ άλλων τις διαστάσεις του γηπέδου και το σύνολο των κανόνων του αθλήματος, έτσι ώστε κάθε υπόδειξη του συστήματος να είναι ακριβής και έγκυρη.



Σχήμα 15: Λειτουργία συστήματος Hawk-Eye

Το κλειδί της λειτουργίας του Hawk-Eye, είναι η χρήση high speed καμερών , με ρυθμούς λήψης έως και 500 καρέ το δευτερόλεπτο. Έτσι τα δεδομένα που συλλέγει είναι τόσο λεπτομερή ,που εξασφαλίζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Καθώς κάθε καρέ φτάνει στον κεντρικό υπολογιστή για ανάλυση, το Hawk-Eye μπορεί να αναγνωρίσει ταρίχελς που αντιστοιχούν στη μπάλα, και να υπολογίσει με ακρίβεια τη θέση που βρίσκεται η μπάλα, στο συγκεκριμένο frame. Αυτό το πετυχαίνει συγκρίνοντας τα δεδομένα από τουλάχιστον δυο κάμερες , για τη θέση της μπάλας μια δεδομένη χρονική στιγμή. Μια σειρά από διαδοχικά καρέ αρκεί για να υπολογιστεί ακριβώς η πορεία της μπάλας. Έτσι ,για παράδειγμα στο τένις μπορεί να μας υποδείξει αν η μπάλα προσγειώθηκε εντός ή εκτός των ορίων του γηπέδου, με μέσο σφάλμα 3.6mm.

Το Hawk-Eye έχει επίσης τη δυνατότητα να «προβλέψει» την εναέρια πορεία της μπάλας, και τη αλληλεπίδρασή της με οποιαδήποτε επιφάνεια στο γήπεδο, που είναι ήδη καταχωρημένη στη βάση δεδομένων.

Τέλος προσφέρει τη δυνατότητα στους δημοσιογράφους, σχολιαστές και τους τηλεθεατές του αθλήματος να δουν πιο αναλυτικά ορισμένα στιγμιότυπα του αγώνα , με τα τρισδιάστατα γραφήματα που δημιουργεί, τα οποία απεικονίζουν την

πορεία της μπάλας ή για παράδειγμα την ταχύτητα ενός service. Όλα τα δεδομένα συλλέγονται και αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων, όπου χρησιμοποιούνται για συλλογή στατιστικών στοιχείων και εξαγωγή πολύ χρήσιμων συμπερασμάτων για την μελέτη ενός αγώνα.

Goalminder

Το σύστημα Goalminder ή Goal line technology, επιτρέπει στο διαιτητή ενός ποδοσφαιρικού αγώνα να αποφανθεί με σιγουριά αν η μπάλα έχει περάσει τη γραμμή του τέρματος ή όχι. Κατά το παρελθόν πολλοί αγώνες έχουν κριθεί με λάθος αποφάσεις, αφού γκολ δεν έχουν κατοχυρωθεί, παρόλο που η μπάλα έχει περάσει τη γραμμή, και το αντίστροφο. Έτσι μετά από πολλά λάθη του παρελθόντος, έχουμε πλέον τη βοήθεια της τεχνολογίας. Ο τρόπος λειτουργίας του Goalminder είναι εξαιρετικά απλοϊκός. Σε καθένα από τα δυο σετ δοκαριών του γηπέδου, τοποθετούνται 24 high speed κάμερες, οι οποίες έχουν πολύ μεγάλο ρυθμό λήψης, έως 2000 καρέ το δευτερόλεπτο. Το σύστημα καταγράφει συνεχώς τις εικόνες που το τροφοδοτούν οι κάμερες, και μπορεί να επιβεβαιώσει αν η μπάλα έχει περάσει τη γραμμή του τέρματος ή όχι. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις κάμερες, περνούν μέσα στον υπολογιστή ο οποίος κάνοντας χρήση τρισδιάστατου λογισμικού απεικόνισης, αποφασίζει για τη φάση. Όταν επιβεβαιωθεί πως η μπάλα έχει περάσει τη γραμμή του τέρματος και έχουμε γκολ, αυτόματα στέλνεται ένα κρυπτογραφημένο σήμα στο ψηφιακό ρολόι που φορά ο διαιτητής, το οποίο δονείται και αναγράφει κατάλληλο μήνυμα στην οθόνη του. Ο σκοπός του Goalminder, είναι σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, να συλλέξει τα δεδομένα από τις κάμερες, να κάνει την ανάλυση και αφού αποφανθεί, να στείλει το μήνυμα στο ρολόι του διαιτητή. Οι απαιτήσεις είναι μεγάλες, τόσο σε ακρίβεια, όσο και ταχύτητα απόκρισης.

Athlete tracking (Ποδόσφαιρο)

Ο επιστημονικός διευθυντής της ποδοσφαιρικής ομάδας Lille, Chris Carling περιγράφει τα προφίλ δραστηριότητας των Γάλλων ποδοσφαιριστών, καθώς αυτοί τρέχουν με τη μπάλα. Δείχνει μερικά πολύ ενδιαφέροντα μοτίβα κατοχής της μπάλας, καθώς και τις διακυμάνσεις ανάλογα με τη θέση του παίχτη. Σε ένα σύνολο από 30 ποδοσφαιρικούς αγώνες του Γαλλικού πρωταθλήματος που αναλύθηκαν, σε χρονική περίοδο 2 ετών, χρησιμοποιήθηκε ένα πλήρως

αυτοματοποιημένο σύστημα με υπολογιστές, για να εντοπίζει τη μπάλα και να προσδίδει ένα μοναδικό μοτίβο στις κινήσεις κάθε παίχτη. Χρησιμοποιήθηκε λογισμικό ανάλυσης του αγώνα, για να καθορίσει την απόδοση του κάθε παίχτη με τη μπάλα. Αυτά τα συστήματα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις ταχύτητες που κινούνται οι παίχτες, τις αποστάσεις που διανύουν, καθώς και την κατεύθυνση και τα χαρακτηριστικά της κίνησης του κάθε παίχτη, όταν έχει την μπάλα στην κατοχή του.

Τα αποτελέσματα δείχνουν μερικά ενδιαφέροντα μοτίβα. Η συνολική απόσταση που διανύει ο κάθε επαγγελματίας ποδοσφαιριστής κυμαίνεται λίγο πάνω από τα 11 χιλιόμετρα ανά αγώνα. Αυτό διαφέρει, ανάλογα με τη θέση του κάθε ποδοσφαιριστή μέσα στο γήπεδο. Για παράδειγμα, οι μέσοι μιας ομάδας καλύπτουν την περισσότερη απόσταση, ενώ συνήθως οι κεντρικοί αμυντικοί τη μικρότερη. Σε αντίθεση, οι επιθετικοί και οι πλάγιοι αμυντικοί τείνουν να κάνουν πιο έντονα sprint από τους υπόλοιπους.

Στο πρωτάθλημα Αγγλίας, ο μέσος όρος ανά αγώνα, είναι 11,7 χιλιόμετρα για κάθε παίχτη.

ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΤΟΣ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ (Formula 1)

Όπως ίσως γνωρίζετε κατά τη διάρκεια της κίνησης ενός μονοθεσίου στην πίστα, εκατοντάδες πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες καταγράφουν ηλεκτρικά σήματα τα οποία μεταδίδονται απευθείας στα πιτ.

Ο 47χρονος μηχανικός λογισμικού Αντρέα Μπενεβέτι επικεφαλής τους τμήματος ηλεκτρονικών της Scuderia (Head of Electronic Product Management) που εργάζεται στην Ferrari από το 2000 είπε για την τηλεμετρία:

"Η τηλεμετρία είναι ένα σύστημα που καταγράφει δεδομένα και παραμέτρους συνδεδεμένα με τη λειτουργία του μονοθεσίου και τα αξιοποιεί. Κάθε εξάρτημα παρατηρείται συνεχώς. Αυτό είναι καθοριστικής σημασίας τόσο για τους μηχανικούς όσο και για τους οδηγούς γιατί τους επιτρέπει να εντοπίσουν με βεβαιότητα τα προβλήματα και να τα επιλύσουν με ακρίβεια. Παρά ταύτα υπάρχουν πολλές επιλογές που πρέπει να γίνουν, γιατί είναι αδύνατον να τσεκάρουμε συνεχώς όλα τα δεδομένα απ' όλα τα σημεία του μονοθεσίου. Υπάρχει περιορισμός στα κανάλια ροής πληροφοριών που αυτή τη στιγμή είναι 1000 ενώ οι

πληροφορίες από τους αισθητήρες στο μονοθέσιο είναι διπλάσιες. Όπως καταλαβαίνετε είναι πολύ σημαντικό να έχεις την ικανότητα να βρεις πολύ γρήγορα την πληροφορία που χρειάζεσαι. Για παράδειγμα ένας οδηγός διαμαρτύρεται για τον τρόπο που συμπεριφέρεται το μονοθέσιο. Σ' αυτή την περίπτωση οι μηχανικοί προσπαθούν να εντοπίσουν τα αίτια και επικεντρώνουν την προσοχή τους στα δεδομένα που συλλέγονται από τα εξαρτήματα που μπορεί να επηρεάζουν το κράτημα. Όσο πιο γρήγορα μπορούν να εντοπίσουν και να λύσουν το πρόβλημα τόσο το καλύτερο για την ομάδα. Σε καμία άλλη μορφή του μηχανοκίνητου αθλητισμού δεν γίνεται τέτοια χρήση της τηλεμετρίας. Για παράδειγμα στο GP2 η παραμετροποίηση είναι μειωμένη κατά 35 - 40% ενώ στις 24 ώρες του Μαν το σύστημα που έχουν είναι πολύ εξελιγμένο”.

Η πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της τηλεμετρίας τα τελευταία 20 χρόνια είναι τεράστια. Τότε τα δεδομένα που καταγράφονταν σε ολόκληρο το 3ημερο του αγώνα, χωρούσαν σε μια δισκέτα, σήμερα χρειάζεται ένας μεγάλος σκληρός δίσκος. Κατά μέσο όρο ένας γύρος μονοθεσίου στην πίστα παράγει δεδομένα μεγέθους 35MB (megabytes) ενώ ένα τυπικό 3ημερο GP μας δίδει και για τα δυο μονοθέσιο κοντά στα 30 gigabytes.

Κατά τη διάρκεια ενός 3ημερου αγώνα εργάζονται πάνω στα δεδομένα τηλεμετρίας περίπου 100 άνθρωποι. Μερικοί εξ' αυτών βρίσκονται στην πίστα και οι υπόλοιποι στο Μαρανέλο στο 'εικονικό' γκαράζ που έχουν εκεί σε παράλληλη λειτουργία με όσα γίνονται στην πίστα. Η ανάλυση των δεδομένων συνεχίζεται καθ' όλη τη βδομάδα μετά το τέλος του αγώνα. Η πληροφορία φτάνει στις οθόνες των μηχανικών σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (σ.σ: με καθυστέρηση 2 - 4sec) και η ενδελεχής ανάλυση επιτρέπει να δίνονται ακριβείς απαντήσεις στα ερωτήματα των οδηγών. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο είναι κομβικής σημασίας να έχει ο οδηγός την ικανότητα να διαβάζει την τηλεμετρία. Βοηθός του σ' αυτό είναι ο μηχανικός αγώνα και ο μηχανικός απόδοσης που πρέπει να έχουν στην ικανότητα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα ν' απομονώνουν τις κρίσιμες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την επίτευξη ενός καλού γύρου.

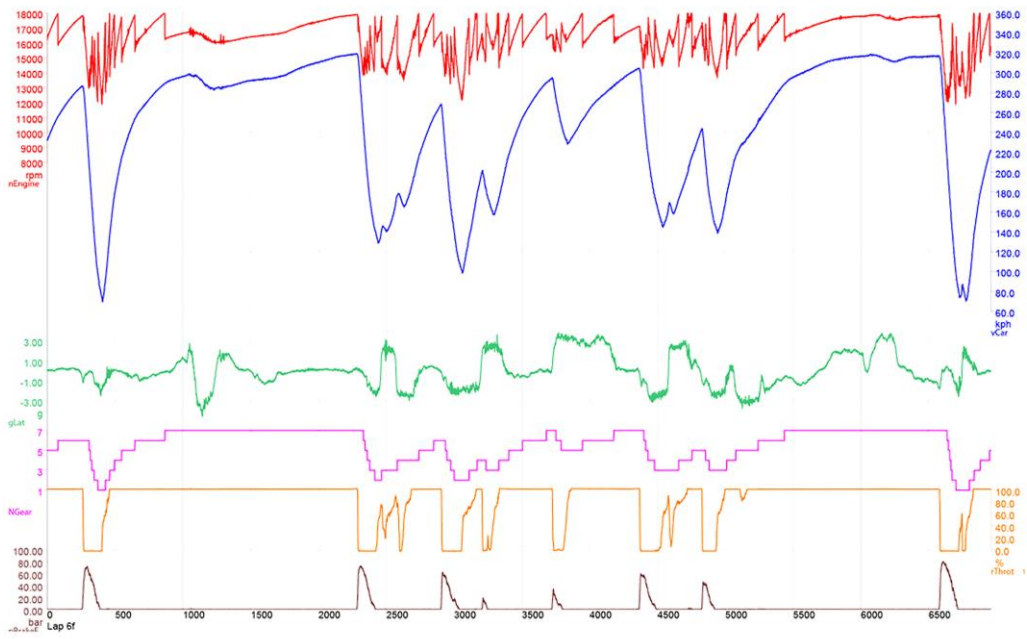
Κατά τη διάρκεια των ελεύθερων και κατατακτήριων δοκιμών οι μηχανικοί δείχνουν στον οδηγό πληροφορίες από τους προηγούμενους γύρους επικεντρώνοντας στα σημεία όπου μπορεί να κερδίσει κάποια εκατοστά του

δευτερολέπτου. Για να το πετύχουν αυτό πρέπει η προσωπική τους σχέση να είναι άριστη σχεδόν σα να συμβιώνουν, αυτοί οι τρεις πρέπει να έχουν τυφλή εμπιστοσύνη ο ένας στον άλλο όπως και αμοιβαία εκτίμηση.

Δεν είναι εύκολο να γίνεις ειδικός στην τηλεμετρία. Η ποσότητα των δεδομένων, η πολυπλοκότητα, ο φρενήρης ρυθμός ροής τους, η ικανότητα προσαρμογής και αντίδρασης στις δυσκολίες όλα αυτά καθιστούν πραγματική τέχνη και δεν είναι καθόλου εύκολο για κάποιον να μπει και να δουλέψει σ' αυτόν τον τομέα. Ο Ιταλός μηχανικός εξηγεί: "Συνήθως αυτοί που αξιολογούν τα δεδομένα τηλεμετρίας είναι μηχανικοί λογισμικού ή ειδικοί στα συστήματα ελέγχου. Εμείς στη Ferrari κάνουμε πολλές δοκιμές σε συγκεκριμένους τομείς προσομοιώνοντας πολλά διαφορετικά σενάρια. Τα συμπεράσματα κοινοποιούνται σε όλη την ομάδα για να μην φτάσουμε στο σημείο να "κολλήσει" κάποιος τη στιγμή που αντιμετωπίζουμε πραγματικό πρόβλημα. Φυσιολογικά ένας μηχανικός χρειάζεται από έξι μήνες έως ένα χρόνο για να ενσωματωθεί στην ομάδα της τηλεμετρίας. Δεν τα καταφέρνουν όλοι παίζει ρόλο ο χαρακτήρας και η προσωπικότητα. Είναι πολύ σύνθετος ο ρόλος τους και είναι συνήθως οι πρώτοι που πιάνουν δουλειά στην πίστα και οι τελευταίοι που αποχωρούν. Γι' αυτούς ο αγώνας των 90 λεπτών είναι ένας μαραθώνιος χωρίς ανάσα, σα να τρέχουν μαζί με τον οδηγό". (Πουρναράκης, 2014)

Ο Τζουλιάνο Σάλβε είναι ο μηχανικός δεδομένων του Sebastian Vettel, μας εξηγεί τα δεδομένα στο γράφημα. Μας δείχνει έναν γύρο από έναν οδηγό από μια προσπάθεια επίτευξης γρήγορου χρόνου στις ελεύθερες δοκιμές. Το γράφημα είναι από περσινό GP. Διαμέσου της σύγκρισης οι μηχανικοί της Ferrari κατορθώνουν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των μονοθεσιών. Επιπλέον συμβουλευούν τον κάθε οδηγό που μπορεί να βελτιωθεί και να κερδίσει κάποια δέκατα με βάση το τι καλύτερο έχει επιτύχει ο άλλος σε δεδομένο σημείο.

Ας ρίξουμε μια ματιά στις παραμέτρους του γραφήματος:



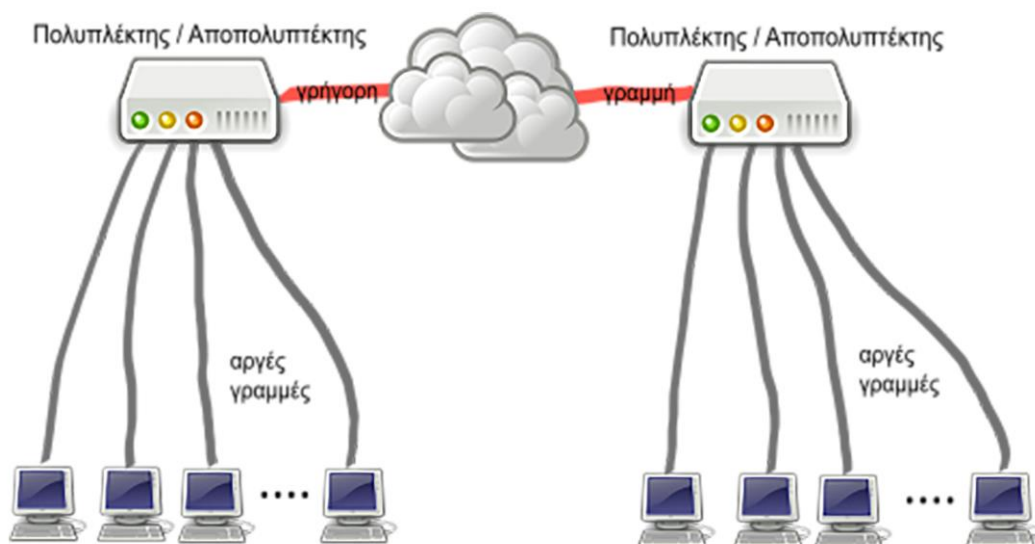
Σχήμα 16: Στοιχεία ανάλυσης ενός οδηγού

4. ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στην πολυπλεξία, ας δούμε όμως τι ακριβώς είναι η πολυπλεξία και τι επιτυγχάνουμε με αυτή.

4.1. Ορισμός της πολυπλεξίας

Στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα υπολογιστών **πολυπλεξία** (multiplexing) λέγεται η μέθοδος, η οποία επιτρέπει σε ψηφιακά δεδομένα ή αναλογικά σήματα από διαφορετικές πηγές, τα οποία, π.χ., εκφράζουν διαφορετικές δικτυακές συνδέσεις, να διέλθουν μέσα από το ίδιο φυσικό μέσο (ένα καλώδιο, στην ενσύρματη επικοινωνία, ή ο ελεύθερος χώρος, στην ασύρματη επικοινωνία). Με αυτόν τον τρόπο κάποιος πόρος, ο οποίος είναι σπάνιος, διαμοιράζεται σε πολλαπλούς χρήστες. Η πολυπλεξία διαιρεί τη χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού καναλιού σε λογικά κανάλια, ένα για κάθε μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων ή για κάθε σήμα αντίστοιχα, τα οποία διέρχονται συνδυασμένα από το κανάλι. Η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται από τον κάθε παραλήπτη, για να απομονωθεί το ζητούμενο πακέτο ή σήμα, και ονομάζεται **από-πολυπλεξία**. Στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών (όπου χρησιμοποιείται πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου) οι δύο αυτές διεργασίες λαμβάνουν χώρα στο φυσικό επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI και δεν γίνονται αντιληπτές από τα πρωτόκολλα των ανώτερων επιπέδων. (Άρης Αλεξόπουλος , Γιώργος Λαγογιάννης, 2010)



Σχήμα 17: Σχεδιάγραμμα πολυπλεξία – από πολυπλεξίας.

Οι n γραμμές εισόδου (συνήθως αργής ταχύτητας) πολυπλέκονται για να μεταδοθούν σε μια γραμμή μεγαλύτερης χωρητικότητας (γρήγορη γραμμή). Ο αποπολυπλέκτης λαμβάνει την

πολυπλεγμένη ροή δεδομένων, χωρίζει τα δεδομένα ανάλογα με το κανάλι, στο οποίο ανήκουν και τα οδηγεί στις αντίστοιχες γραμμές εξόδου.

4.2. Σκοπός της πολυπλεξίας

Η τεχνική της πολυπλεξίας που θα εφαρμοστεί στις γραμμές μεταφοράς αποτελεί βασικό παράγοντα προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του κόστους επικοινωνίας, ιδιαίτερα για υπολογιστές που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε μακρινές αποστάσεις. Επίσης η τεχνική αυτή διευκολύνει την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών αγαθών. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι πολυπλεξίας, τις οποίες θα αναπτύξουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια:

- ✓ Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (*FDM: Frequency Division Multiplexing*),
- ✓ Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (*TDM: Time Division Multiplexing*)
- ✓ Στατιστική πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (*STDM: Statistical Time Division Multiplexing*).

Τα πλεονεκτήματα της πολυπλεξίας είναι τα εξής :

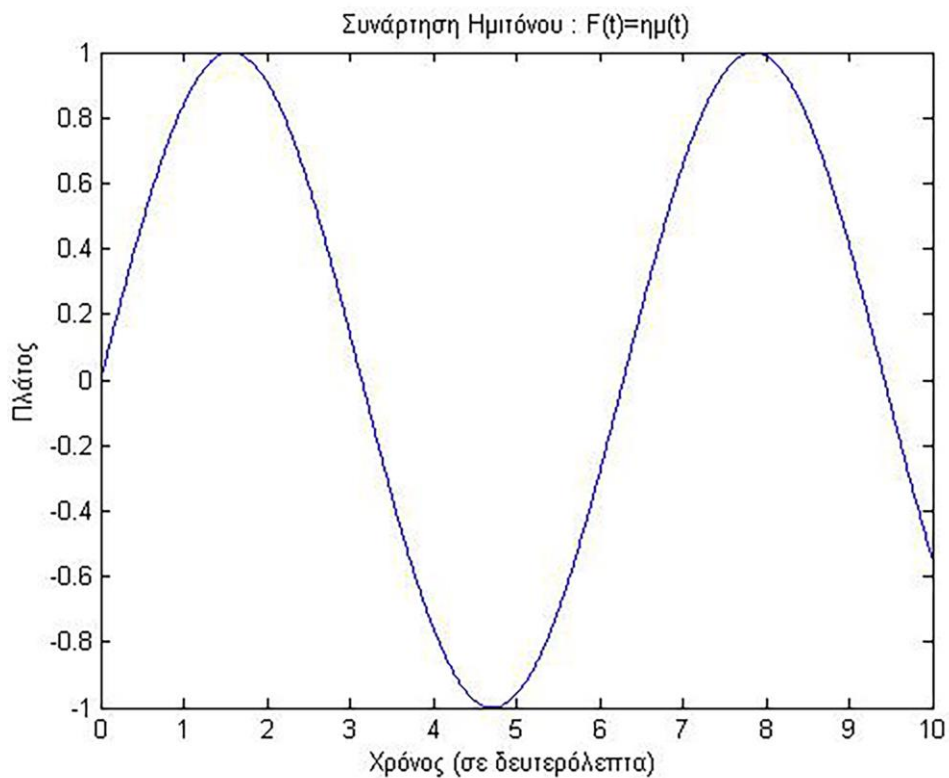
- Αξιοποίηση των τηλεπικοινωνιακών γραμμών υψηλής χωρητικότητας (γρήγορες γραμμές).
- Μέσα από μια γραμμή επικοινωνίας περνάνε περισσότερες «γραμμές» ή αλλιώς κανάλια.

4.3. Ανάλυση Fourier σημάτων

Για την κατανόηση της πολυπλεξίας είναι απαραίτητο να γίνει μια εισαγωγή στην ανάλυση “Fourier” σημάτων στο πεδίο της συχνότητας.

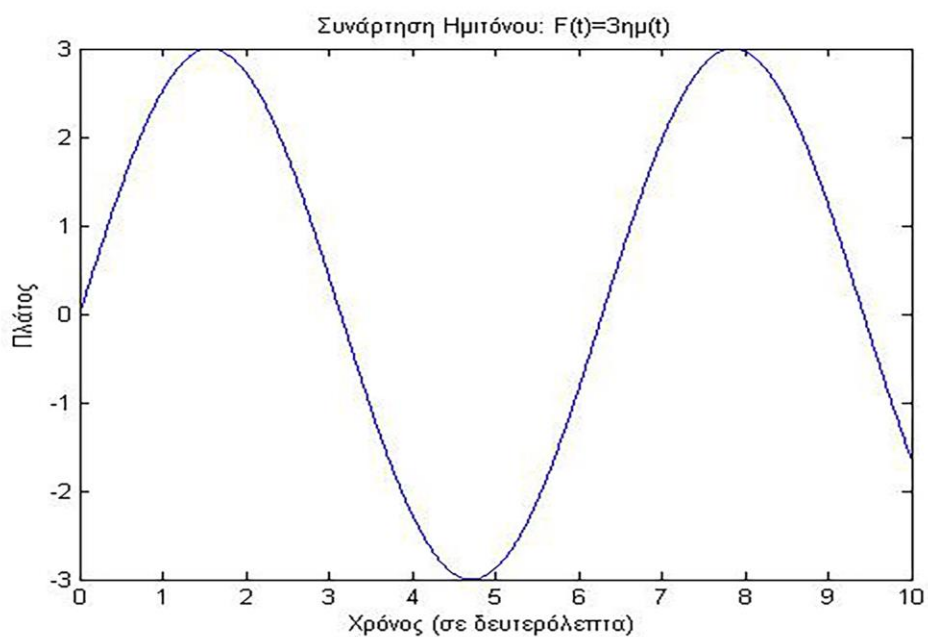
Ο μαθηματικός Fourier³ μελέτησε ημιτονοειδείς συναρτήσεις και διατύπωσε την θεωρία ότι οποιαδήποτε σήμα μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα απλών ημιτόνων (κατάλληλων πλατών και φάσης).

³ Joseph Fourier, Γάλλος φυσικός και μαθηματικός (21 Μαρτίου 1768, Οσέρ – 16 Μαΐου 1830, Παρίσι)

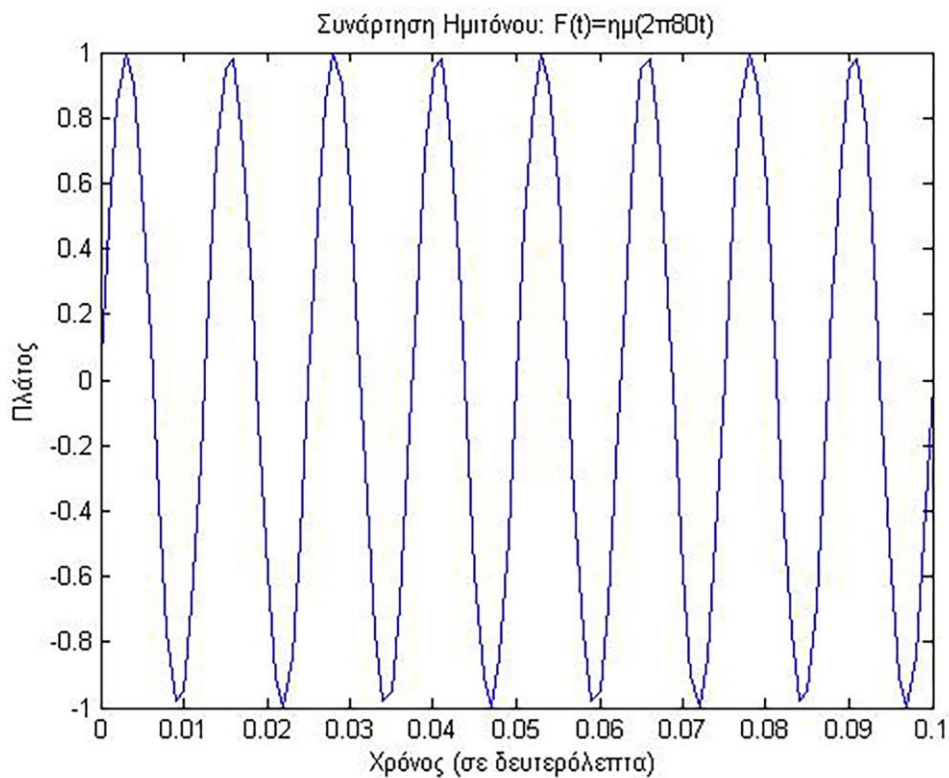


Σχήμα 18: Η συνάρτηση ημιτόνου $f(t)=\eta\mu(t)$.

Αν πάρουμε ένα επιστημονικό κομπιουτεράκι και δοκιμάσουμε να βάλουμε τιμές σε μια συνάρτηση ημιτόνου θα δούμε ότι παίρνει τιμές από -1 έως και 1. Π.χ. $\eta\mu(0)=0$, $\eta\mu(1)=0,01745$, $\eta\mu(30)=0,5$, $\eta\mu(90)=1$.

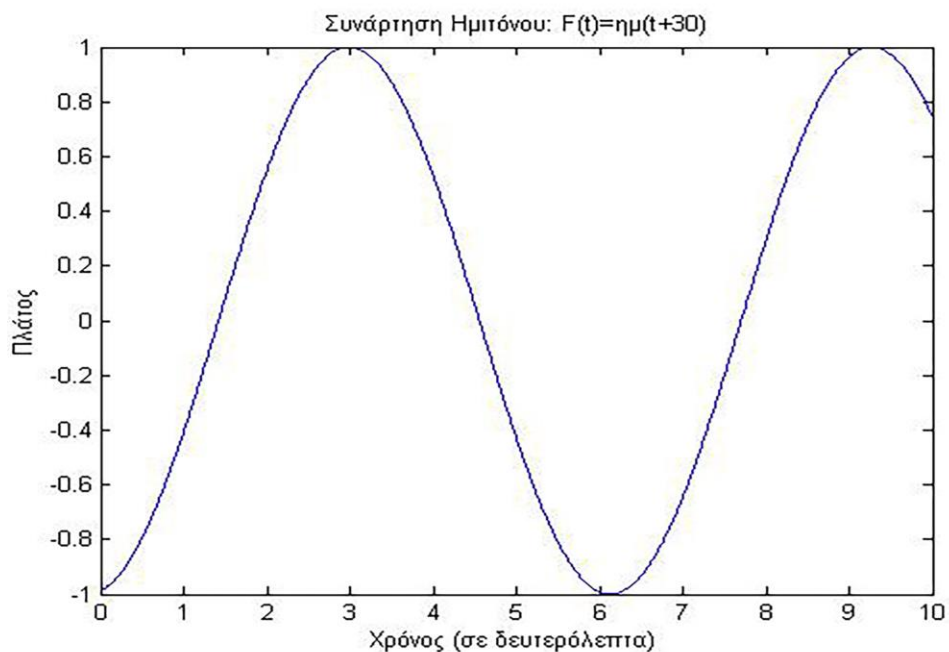


Σχήμα 19: Η συνάρτηση ημιτόνου $f(t)=3\eta\mu(t)$



Σχήμα 20: Η συνάρτηση $f(t)=\eta\mu(2\pi\nu t)$

Βλέπουμε την συνάρτηση $f(t)=\eta\mu(2\pi\nu t)=\eta\mu(2\pi 80t) \Rightarrow \nu = 80 \text{ Hz}$ ν : συχνότητα (μετριέται σε Hz ή αλλιώς κύκλους / sec) $\pi = 3,14$ (η γνωστή μας σταθερά) T : η περίοδος του σήματος, $T = 1/\nu$



Σχήμα 21: Η συνάρτηση $f(t)=\eta\mu(t+\varphi)$

Η συνάρτηση του σχήματος 25 λέμε ότι έχει διαφορά φάσης $\varphi=30$ σε σχέση με την συνάρτηση του σχήματος 22. Παρατηρούμε ότι οι δύο συναρτήσεις είναι όμοιες στο σχήμα και πλάτος (και οι 2 έχουν τιμές από -1 έως και 1) με την διαφορά ότι η δεύτερη είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά, ή απλούστερα έχει διαφορά φάσης $\varphi=30$ από την πρώτη συνάρτηση.

Γιατί όλα αυτά τα μαθηματικά;

• Η συνάρτηση ημιτόνου θεωρείται από τις βασικότερες συναρτήσεις στα σήματα. Για παράδειγμα το συνημίτονο είναι το ημίτονο με διαφορά φάσης $\pi/2$: $\text{cun}(\chi)=\eta\mu(\chi+\pi/2)$.

• Κάθε συνάρτηση ημιτόνου αναπαριστά 1 συχνότητα. • Ο Fourier ανέπτυξε την θεωρία ότι οποιαδήποτε σήμα μπορεί να εκπροσωπηθεί από ένα άθροισμα διαφόρων ημιτόνων διαφορετικών συχνοτήτων και πλατών.

Παραδείγματα ακουστικών συχνοτήτων (τόνων)

- 80 Hz : $f(t)=\eta\mu(2\pi 80t)$
- 120 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 120t)$
- 200 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 200t)$
- 300 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 300t)$
- 377 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 377t)$
- 450 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 450t)$
- 500 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 500t)$
- 800 Hz: $f(t)=\eta\mu(2\pi 800t)$

Προσθέτοντας τον κατάλληλο αριθμό διαφορετικών ημίτονων μπορούμε να σχεδιάσουμε / προσεγγίσουμε οποιαδήποτε σήμα (Fourier ανάλυση). (Tanenbaum A. S., 2003)

4.4. Τεχνικές πολυπλεξίας

4.4.1. Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (FDM)

Η πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (FDM)⁴ χρησιμοποιείται και στην αναλογική μετάδοση. Το αρχικό εύρος ζώνης του μέσου (φυσικό κανάλι) επιμερίζεται σε μικρότερες ζώνες συχνότητας, τα λεγόμενα λογικά κανάλια, ώστε κάθε χρήστης να κατέχει αποκλειστικά τη δική του ζώνη συχνότητας. **Λογικό κανάλι** είναι κάθε ξεχωριστή γραμμή μεταφοράς που συνδέεται με την κύρια γραμμή επικοινωνίας (φυσικό κανάλι) και έχει πάντοτε μικρότερο ή ίσο εύρος ζώνης με αυτήν. (Επικοινωνία Δεδομένων, 2012)

Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας



Η γρήγορη γραμμή επικοινωνίας χωρίζεται σε κανάλια, όπου σε κάθε κανάλι περνάει ένα σύνολο συχνοτήτων.

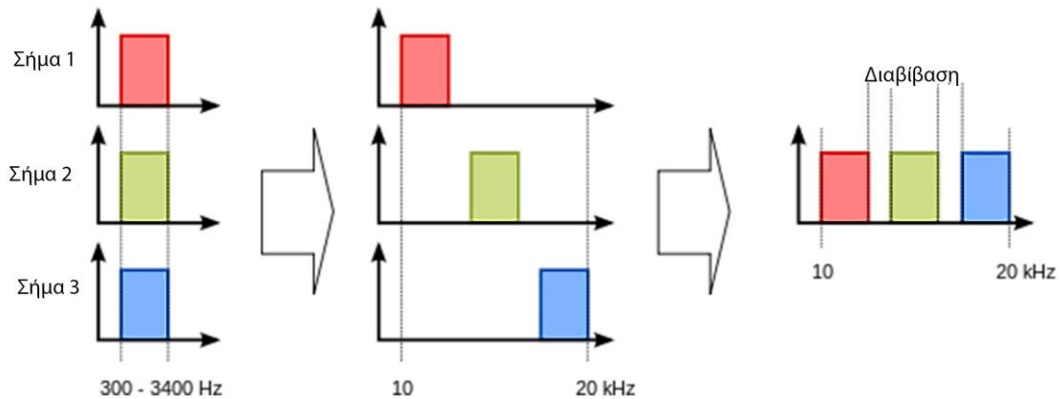
Σχήμα 22: Πολυπλεξία FDM

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1:

Οι εκπομπές ραδιοφώνου στα μεσαία κύματα αποτελούν ένα καλό παράδειγμα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας. Το φυσικό κανάλι είναι η ραδιοφωνική ζώνη που λειτουργεί από 500 έως 1000 KHz περίπου, δηλαδή έχει εύρος ζώνης

⁴ FDM : Frequency Division Multiplexing

1MHz περίπου. Συνήθως κάθε φέρον σήμα διαμορφώνεται από την αρχική ζώνη συχνότητας (χαμηλή) σε μια υψηλότερη ζώνη, για να μπορέσει να μεταδοθεί, ενώ χρησιμοποιούνται διάφορα φίλτρα, ώστε το εύρος ζώνης να περιοριστεί για κάθε κανάλι, π.χ., στα 9 KHz . Η εικόνα 23 δείχνει τις ζώνες συχνότητας τριών καναλιών που χρησιμοποιούν την τεχνική FDM με συχνότητες.



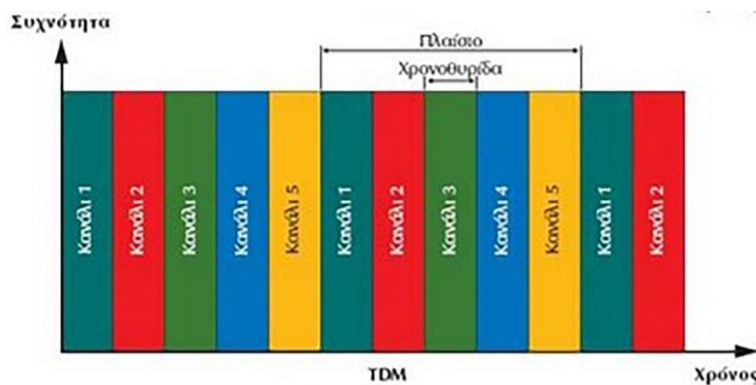
Σχήμα 23: Παράδειγμα FDM 3 καναλιών

Όμως στην πραγματικότητα, μέσω ενός καναλιού μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα πολύ περισσότερα από τρία διαφορετικά σήματα, ιδιαίτερα όταν το διατιθέμενο εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο από 1MHz. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, στην περίπτωση που πολυπλεξία αφορά πολλά κανάλια, οπότε διατίθενται 9KHz για κάθε κανάλι, προκειμένου να παραμείνουν χωρισμένα. Άρα η αρχική κατανομή του διατιθέμενου εύρους ζώνης συχνοτήτων είναι τέτοια, ώστε η ζώνη συχνότητας κάθε καναλιού να διαφέρει από την επόμενη της κατά 9KHz. Με τον τρόπο αυτό τα κανάλια μπορούν να λειτουργήσουν από κοινού χωρίς επικαλύψεις (παράσιτα), αφού ανά δύο δεν κατέχουν τις ίδιες ζώνες συχνότητας. Όμως παρόλο που υπάρχουν ζώνες προστασίας ανάμεσα στα κανάλια, εξακολουθεί να υπάρχει κάποια επικάλυψη μεταξύ των γειτονικών καναλιών, αφού τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται δε διακόπτουν απότομα τις άκρες των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα η επικάλυψη αυτή να γίνεται αισθητή στο γειτονικό κανάλι σαν θόρυβος (παράσιτα).

4.4.2. Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (TDM)

Στην πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (TDM⁵) οι χρήστες εναλλάσσονται κυκλικά σαν να βρίσκονται γύρω από στρογγυλό τραπέζι, και καθένας από αυτούς παίρνει όλο το εύρος ζώνης του φυσικού καναλιού για σύντομο συνήθως αλλά πλήρως καθορισμένο διάστημα. (Επικοινωνία Δεδομένων, 2012)

Η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην ψηφιακή μετάδοση. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή όταν έχουμε πολλές εισόδους που μοιράζονται το ίδιο ψηφιακό κανάλι δημιουργείται μια νέα ροή δυαδικών ψηφίων όλων των επιμέρους ροών κυκλοφορίας.



Σχήμα 24: Πολυπλεξία TDM

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1:

Αν το φυσικό κανάλι περιλαμβάνει τέσσερα διαφορετικά λογικά κανάλια, τότε η μέθοδος της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου καθορίζει ότι το πρώτο δυαδικό ψηφίο θα προέρχεται από το πρώτο λογικό κανάλι, το δεύτερο από το δεύτερο λογικό κανάλι κ.ο.κ. Με αυτή τη λογική το ένατο, για παράδειγμα, δυαδικό ψηφίο θα προέρχεται και πάλι από το πρώτο λογικό κανάλι, το δέκατο από το δεύτερο κ.ο.κ., ώστε να συνεχίζεται ο κύκλος.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2:

Ένα πρακτικό παράδειγμα πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι αυτό που γίνεται σε ορισμένες χώρες όπου οι ιδιωτικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί, εκτός από το φυσικό κανάλι, διαθέτουν και άλλα δύο λογικά κανάλια, της μουσικής και της διαφήμισης, τα οποία εναλλάσσονται κατά διαστήματα, στην ίδια συχνότητα εκπέμποντας για

⁵ TDM: Time Division Multiplexing

κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα πότε μουσική και πότε διαφήμιση, αργότερα περισσότερη μουσική κ.ο.κ.

Συνήθως η τεχνική TDM εφαρμόζεται σε περιπτώσεις συγχρονισμένης επικοινωνίας. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται κατά ομάδες ή πλαίσια. Ο ρυθμός μετάδοσης των πλαισίων και το μήκος τους είναι σταθεροί παράμετροι και προσδιορίζουν τη χωρητικότητα του φυσικού καναλιού. Σε κάθε πλαίσιο κάθε διαδοχική θέση δίνεται μόνιμα για χρήση από ένα συγκεκριμένο τερματικό. Σημειώνουμε ότι ρυθμός μετάδοσης του πλαισίου συμπίπτει με το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων κάθε τερματικού και ότι η ύπαρξη συγχρονισμού κάθε τερματικού με το ρυθμό μετάδοσης του πλαισίου το πιο κρίσιμο σημείο της τεχνικής αυτής .

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3:

Η τεχνική TDM εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία στα δίκτυα τηλεφωνίας που αναπτύσσονται τελευταία με βάση την τεχνική της παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM). Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα της CCITT⁶ , η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος γίνεται ως εξής:

i) Στάδιο δειγματοληψίας

Από 30 τηλεφωνικά κανάλια , περιορισμένα σε μια ζώνη των 4KHz περίπου το καθένα , λαμβάνονται δείγματα αναλογικής φωνής με ρυθμό 8,000 φορές το δευτερόλεπτο.

ii) Στάδιο κβαντοποίησης

Κάθε δείγμα διαχωρίζεται σε 256 διακριτά επίπεδα τάσης, δηλαδή 8 δυαδικά ψηφία για κάθε δείγμα.

iii) Στάδιο κωδικοποίησης

Τα 30 τηλεφωνικά κανάλια αντιστοιχούν σε 30 θέσεις πλαισίων των 32 θέσεων , που μεταφέρονται με κανάλι χωρητικότητας 2048Mbps .Οι υπόλοιπες δύο θέσεις διατίθενται για τη

⁶ CCITT : Απο τα γαλλικά : Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique δημιουργήθηκε το 1956, και μετονομάστηκε σε ITU-T το 1993.

σηματοδοσία και τον αυτοέλεγχο του δικτύου. Έτσι από τη συνολική χωρητικότητα σε κάθε κανάλι φωνής διατίθενται 64Kbps (2.084Kbps/32) .

Η τεχνική της TDM δεν εφαρμόζεται σε συστήματα που έχουν διαφορετικό εύρος ζώνης και κατά συνέπεια διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων τους, ενώ αντίθετα εφαρμόζονται σε συστήματα που έχουν παραπλήσιο εύρος ζώνης και κατά συνέπεια ίδιο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων τους . Με την τεχνική της ελαστικής αποθήκευσης και συμπλήρωσης παλμών τα ασυγχρόνιστα σήματα είναι δυνατόν να αποθηκευθούν από μια διάταξη που λέγεται συλλέκτης , με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ξαναδιαβαστούν με ρυθμό διαφορετικό από το ρυθμό με τον οποίο αποθηκεύθηκαν. Πρακτικά , ο συλλέκτης προσφέρει μνήμη, προκειμένου να αποθηκευθούν προσωρινά τα μηνύματα των τερματικών διατάξεων, ώστε με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού να ελέγξει την κατανομή της διαθέσιμης χωρητικότητας της γραμμής επικοινωνίας

Ο συλλέκτης δέχεται δεδομένα εισόδου από μια ομάδα τερματικών και συγκεντρώνει τα δεδομένα εξόδου σε μια γραμμή, κάνοντας επίσης και την αντίστροφη λειτουργία .

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5:

Έστω ότι ένας δορυφόρος καταγράφει τα αποτελέσματα τριών πειραμάτων και τα εκπέμπει στη Γη. Τα πειράματα διαρκούν ένα δευτερόλεπτο , εκτελούνται συγχρόνως και τα σήματά τους συλλέγονται και αποθηκεύονται σε τρεις διαφορετικές διατάξεις ψηφιακής αποθήκευσης. Τα τρία σήματα που συλλέγονται έχουν ρυθμούς 2000, 4000 και 5000 μηνυμάτων το δευτερόλεπτο και κωδικοποιούνται σε χαρακτήρες των 8 δυαδικών ψηφίων. Στο τέλος κάθε δευτερολέπτου τα δεδομένα που συλλέγονται μεταδίδονται στη Γη. Κατά τη μετάδοση κάθε αποθηκευτική διάταξη αποστέλλει τα δεδομένα με τον ίδιο ρυθμό (για παράδειγμα 5000 μηνύματα το δευτερόλεπτο) .

Τα μηνύματα και των τριών αποθηκευτικών διατάξεων υφίστανται πολυπλεξία, ώστε τελικώς να μεταδίδεται στη Γη ένα σύγχρονο σήμα TDM .Ωστόσο η διαδικασία αυτή εμφανίζει ένα σημαντικό πρόβλημα. Οι πρώτες 2000 λέξεις από κάθε σήμα μπορούν να προωθηθούν για πολυπλεξία χωρίς καμιά δυσκολία. Κατά

τη διάρκεια της πολυπλεξίας των επόμενων 2000 χαρακτήρων δεν υπάρχει συμμετοχή από το πρώτο σήμα, ενώ κατά τους 1000 τελευταίους χαρακτήρες δεν υπάρχει συμμετοχή από το πρώτο και το δεύτερο σήμα. Όμως εξαιτίας του θορύβου ο δέκτης θα εξακολουθεί να διαβάζει χαρακτήρες ακόμα και όταν αυτοί δε μεταδίδονται από τα κανάλια, με αποτέλεσμα να έχουμε λάθη στη μετάδοση. Για να αποφευχθούν λανθασμένες ερμηνείες του θορύβου σαν σήμα, οι χρονικές περίοδοι που αντιστοιχούν στα σήματα τα οποία έχουν τερματίσει τη μετάδοση τους γεμίζονται με βουβές σειρές από δυαδικούς χαρακτήρες. Οι σειρές αυτές έχουν επιλεγεί και κωδικοποιηθεί προσεκτικά με τέτοιο τρόπο ώστε ο δέκτης να της γνωρίζει με ευκολία.

Το χαρακτηριστικό των συλλεκτών και των διατάξεων πολυπλεξίας είναι ότι διαθέτουν μόνο μια γραμμή εξόδου. Σαφώς απαιτείται κάποιο σχήμα προτεραιότητας (priority scheme) ή επιβολή πειθαρχίας. Η παραδοσιακή μέθοδος υπαγορεύει ότι κάθε τερματικό πρέπει να μένει σιωπηρό μέχρι που ο ελεγκτής κυκλοφορίας της διάταξης να του δώσει την άδεια. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως διαλογή (polling). Οι λεπτομέρειες της μεθόδου της διαλογής που εφαρμόζουν οι συλλέκτες και οι διατάξεις πολυπλεξίας διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν πρόκειται για απλές ή πολλαπλές συνδέσεις.

Στην περίπτωση πολλαπλών συνδέσεων διακρίνουμε δύο είδη διαλογής :

➤ ***Διαλογή κυλιόμενων κλήσεων (roll - call polling)***

Ο συλλέκτης στέλνει ένα μήνυμα σε κάθε τερματικό διαδοχικά, προκειμένου να διαπιστώσει αν το τερματικό έχει να μεταδώσει κάτι ή όχι. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν μια διεύθυνση θέσης ή διεύθυνση σταθμού, έτσι ώστε να αναγνωρίζεται το τερματικό στο οποίο απευθύνεται ο συλλέκτης. Κάθε τερματικό ξέρει τη δική του διεύθυνση και ανταποκρίνεται στη δική του κλήση, παρόλο που παίρνει όλες τις κλήσεις. Εάν το τερματικό που πήρε τη κλήση έχει να στείλει δεδομένα, τα στέλνει. Αν όχι τότε στέλνει πίσω ένα ειδικό μήνυμα απόρριψης κλήσης.

Συνήθως ο συλλέκτης καλεί από μια φορά διαδοχικά όλα τα τερματικά. Ασφαλώς τα τερματικά υψηλής προτεραιότητας παίρνουν περισσότερες από μια κλήσεις σε κάθε γύρο. Στις ημίπλευρες γραμμές επικοινωνίας κάθε κλήση απαιτεί δύο γύρους. Ο ένας γύρος απαιτείται για να μπορέσει ο συλλέκτης να αποστείλει τη κλήση και

ο άλλος για να επιτρέψει στο τερματικό να μεταδώσει. Το αποτέλεσμα αυτής της τακτικής είναι να έχουμε μεγάλη καθυστέρηση στη συμπλήρωση του κύκλου ακόμα και όταν τα περισσότερα τερματικά παραμένουν αδρανή το περισσότερο χρόνο. Στη μετάδοση αυτή χρησιμοποιείται τόσο η συγχρονισμένη όσο και όσο και η ασυγχρόνιστη επικοινωνία .

➤ **Διαλογή κόμβου (*hub - polling*)**

Αυτό το είδος διαλογής σχεδιάστηκε προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω. Στο είδος αυτό λοιπόν ο συλλέκτης καλεί το πιο απομακρυσμένο τερματικό. Αν αυτό το τερματικό έχει δεδομένα να στείλει , τα στέλνει , διαφορετικά εκπέμπει ένα μήνυμα κλήσης στο γειτονικό του τερματικό. Αν και αυτό είναι αδρανές στέλνει το μήνυμα κλήσης στο γειτονικό του τερματικό κ.ο.κ., μέχρι το μήνυμα κλήσης να βρει ένα τερματικό που έχει να μεταδώσει κάτι ή μέχρι να γυρίσει πίσω στο συλλέκτη. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το μήνυμα κλήσης δε χρειάζεται να διατρέξει διαδοχικά όλες τις τερματικές διατάξεις που είναι συνδεδεμένες στη γραμμή επικοινωνίας , μέχρι να βρεθεί κάποιο τερματικό που έχει κάτι να μεταδώσει .

Τέλος στη περίπτωση των απλών συνδέσεων δε χρειάζεται να εφαρμοστεί η μέθοδος της διαλογής προκειμένου να αποφευχθεί το χάος στις γραμμές. Παρόλα αυτά η διαλογή κυλιόμενων κλήσεων χρησιμοποιείται συχνά προκειμένου να επιτραπεί στο συλλέκτη να αποκτήσει τα δεδομένα εισόδου με μεθοδικό τρόπο και με σειρά. Τα μηνύματα διαλογής διαφέρουν από εκείνα των πολλαπλών συνδέσεων γιατί δε χρειάζονται οι διευθύνσεις θέσεις. Στην περίπτωση των απλών συνδέσεων στην οποία εφαρμόζεται η μέθοδος της διαλογής κάθε τερματικό παίρνει αποκλειστικά τα σήματα διαλογής(polls) που του απευθύνονται.

4.4.3. Συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών πολυπλεξίας

Οι τεχνικές πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας (FDM) και επιμερισμού χρόνου (TDM) εκπληρώνουν τον ίδιο σκοπό. Στην πρώτη τα σήματα διαχωρίζονται στην περιοχή των συχνοτήτων και εκπέμπουν ταυτόχρονα. Στη δεύτερη τα αναλογικά σήματα διαχωρίζονται χρονικά , αλλά εκπέμπονται στην ίδια περιοχή συχνοτήτων.

Από πρακτική άποψη η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου φαίνεται να υπερέχει σε δύο τουλάχιστον σημεία σε σχέση με αυτήν της συχνότητας. Τα σημεία αυτά είναι τα ακόλουθα :

- Το πρώτο σημείο αφορά το υλικό. Οι συσκευές πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας αποτελούνται από αναλογικά κυκλώματα διαμορφωτών – αποδιαμορφωτών , γεννήτριες φέρουσας και φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων για κάθε κανάλι. Αντίθετα οι συσκευές πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου χρησιμοποιούν ψηφιακό υλικό και αποτελούνται από έναν πολυπλέκτη και έναν συλλέκτη. Το ψηφιακό υλικό είναι από τη φύση του τμηματικό και αυτοτελές , προσφέροντας αξιόπιστη κατασκευαστική απλότητα και πιο αποδοτική λειτουργία .
- Ένα δεύτερο πλεονέκτημα των συστημάτων πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι η σχετικά χαμηλή διασταύρωση μεταξύ των καναλιών, αφού δεν εμφανίζονται μη γραμμικά φαινόμενα στα κυκλώματα χειρισμού των σημάτων στον πομπό και στο δέκτη . Με τον όρο διασταύρωση (cross – talk) εννοείται η ενδεχόμενη επικάλυψη γειτονικών καναλιών, ενώ ως μη γραμμικά φαινόμενα εννοούνται εκείνα τα οποία σε ένα συγκεκριμένο, μικρό, χρονικό διάστημα παρουσιάζουν απότομες μεταβολές ή διακυμάνσεις. Τα μη γραμμικά φαινόμενα προκαλούν ενδοδιαμόρφωση και παραμόρφωση που στα συστήματα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας επηρεάζουν όλα τα κανάλια τόσο της χαμηλής όσο και της υψηλής συχνότητας. Σημειώνεται ότι στα κυκλώματα των συστημάτων αυτών δεν επιτυγχάνεται εύκολα γραμμικότητα φάσης και πλάτους, ειδικότερα όταν ο αριθμός των καναλιών που υφίστανται πολυπλεξία είναι μεγάλος.

Αντίθετα στην πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου δεν υπάρχει ουσιαστικά διασταύρωση λόγω μη γραμμικών φαινομένων αφού τα σήματα αυτά είναι απολύτως διαχωρισμένα και δεν επικαλύπτονται. Αυτό συμβαίνει επειδή ο χειρισμός των σημάτων από τα διάφορα κανάλια δεν γίνεται ταυτόχρονα αλλά κατανέμεται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον είναι δυνατόν να επιτευχθεί ευκολότερα η γραμμικότητα των κυκλωμάτων στα συστήματα πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου από ότι στα αντίστοιχα συστήματα συχνότητας. Όμως η προστασία που προσφέρει η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου όσον αφορά

τη διασταύρωση προϋποθέτει ένα υψηλού εύρους ζώνης φυσικό κανάλι , όπως επίσης και απουσία παραμόρφωσης που οφείλεται στη καθυστέρηση.

Το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα και των δύο τεχνικών πολυπλεξίας είναι το γεγονός ότι , αν ένα τερματικό είναι τηλεπικοινωνιακά αδρανές τότε η αντίστοιχη χωρητικότητα του καναλιού παραμένει αναξιοποίητη σε βάρος της οικονομίας του δικτύου. Σημειώνεται ότι προκειμένου να μειωθεί το κόστος επικοινωνίας και ειδικότερα στις περιπτώσεις συνδέσεων τερματικών διατάξεων επικοινωνίας που εφαρμόζεται η τεχνική της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου, οι διαδοχικές θέσεις πλαισίων που παραμένουν αδρανείς διατίθενται εξ ολοκλήρου σε τερματικές μονάδες που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα. Συνήθως η τεχνική αυτή αναπτύσσεται σε συνδυασμό με τη χρήση συλλεκτών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών τεχνικών όσο αφορά το παρεχόμενο εύρος ζώνης δίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό φαίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί .(Επικοινωνία Δεδομένων, 2012)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Θεωρούμαι ότι διατίθενται 10 σήματα εισόδου με περιορισμένο εύρος ζώνης 3,000 Hz . Στα σήματα αυτά έχει εφαρμοστεί μια ειδικού τύπου διαμόρφωση πλάτους αναλογικού σήματος σε ένα σύστημα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας σύμφωνα με την οποία αποκόπτεται η μια πλευρική μάντα ,εφόσον μεταφέρει την ίδια ακριβώς πληροφορία προκειμένου να εξοικονομηθεί χωρητικότητα στο κανάλι επικοινωνίας. Επομένως το εύρος ζώνης του σήματος που θα προκύψει είναι 30.000 Hz (=10x3.000) .

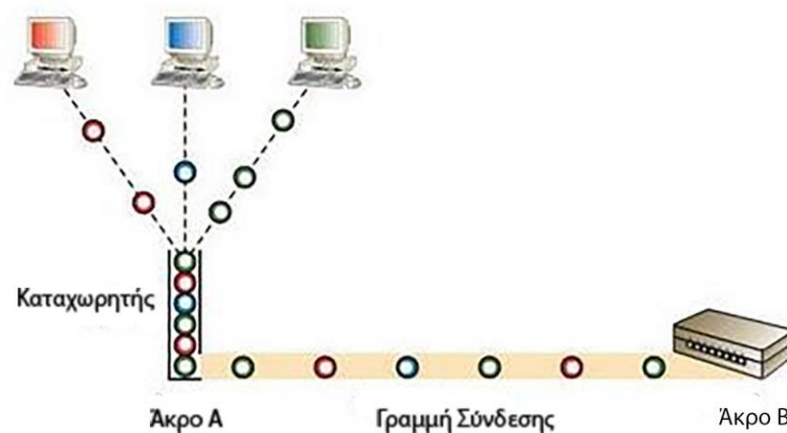
Εφαρμόζοντας πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου και με ρυθμό δειγματοληψίας 3,000 Hz σε κάθε κανάλι, το σήμα TDM θα αποστέλλεται σε σειρά δειγμάτων που θα απέχουν χρονικά κατά $1/(10 \times 3,000)$ δευτερόλεπτα, οπότε το εύρος ζώνης του σήματος εξόδου TDM θα είναι 30,000 Hz , δηλαδή ίσο με το εύρος ζώνης του σήματος εξόδου FDM.

Τέλος, το κυριότερο μειονέκτημα της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι ότι η ακρίβεια της μορφής του σήματος, η χρονική αστάθεια του και ο συγχρονισμός του καταλήγουν να γίνονται μεγάλα προβλήματα, όταν έχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σημάτων .

4.4.4. Στατιστική πολυπλεξία

Η στατιστική πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (STDM : Statistical TDM), ή απλώς στατιστική πολυπλεξία , αποτελεί επέκταση της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου και έχει ως στόχο να μειώσει τα προβλήματα που αυτή η τελευταία παρουσιάζει.

Το πρώτο σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι η διαφορετική μεταχείριση της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης από την στατιστική πολυπλεξία. Μια τυπική μορφή στατιστικής πολυπλεξίας αποτελεί η εικόνα 15 παρακάτω .



Σχήμα 25: Στατιστική πολυπλεξία

Ο στατιστικός πολυπλέκτης λειτουργεί με το μέσο όρο των ροών κυκλοφορίας των δεδομένων που έρχονται από τέσσερις ,ασυγχρόνιστες , χαμηλού ρυθμού ροές κυκλοφορίας δεδομένων (πχ 2.400 bps) . Αυτές οι ροές δεδομένων ενοποιούνται σε μια γραμμή επικοινωνίας που κατευθύνεται στον πολυπλέκτη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην τεχνική πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου η ενοποιημένη γραμμή επικοινωνίας θα απαιτούσε ρυθμό μετάδοσης τουλάχιστον ίσο με το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης των τεσσάρων γραμμών που φτάνουν στο πολυπλέκτη , δηλαδή 9.600 bps (= 4 x 2.400). Μια τέτοια τακτική δεν είναι συμφέρουσα ιδιαίτερα όταν οι τερματικές διατάξεις παραμένουν αδρανείς για κάποια χρονικά διαστήματα ή μεταδίδουν σποραδικά καταιγισμούς δεδομένων.

Στην εικόνα 15 η ενοποιημένη γραμμή μεταφέρει δεδομένα με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης που μεταφέρουν οι τρεις γραμμές των τερματικών διατάξεων. Αυτό σημαίνει ότι για να λειτουργεί σωστά το σύστημα ο μέσος φόρτος της γραμμής

κάθε τερματικής διάταξης για μεγάλη χρονική περίοδο δε θα πρέπει να ξεπερνά το 25 % της συνολικής ικανότητας μεταφοράς της γραμμής .

Το δεύτερο σημείο που αξίζει να τονιστεί είναι το γεγονός ότι στις συγχρονισμένες γραμμές επικοινωνίας λόγω της φύσης της μετάδοσης η στατιστική πολυπλεξία εφαρμόζεται δυσκολότερα από ότι στην περίπτωση ασυγχρόνιστων γραμμών επικοινωνίας . Ο λόγος είναι ότι στη συγχρονισμένη μετάδοση οι τερματικές διατάξεις παραμένουν αδρανείς για ελάχιστο χρονικό διάστημα ενώ οι ομάδες δεδομένων είναι απαραίτητο να διατηρούν την ολοκληρωμένη μορφή τους για όσο χρόνο διαπερνούν τους πολυπλέκτες .

Αντίθετα στη περίπτωση της ασυγχρόνιστης επικοινωνίας τα μηνύματα καταφθάνουν από τα τερματικά με τυχαίο ρυθμό και παραμένουν προσωρινά αποθηκευμένα μέχρι να μεταδοθούν από την ενοποιημένη γραμμή με νέο ρυθμό μετάδοσης . Επειδή το μήκος των μηνυμάτων είναι τυχαίο σε κάθε μήνυμα προστίθεται ένα πρόθεμα που δηλώνει το μήκος του. Με βάση τη πληροφορία αυτή ο δέκτης διακρίνει τα διαδοχικά μηνύματα. Το πρόθεμα περιλαμβάνει πολλές φορές και πληροφορία σχετικά με τη διεύθυνση προορισμού του μηνύματος στο δίκτυο , τη διεύθυνση του αποστολέα , καθώς επίσης και οτιδήποτε σχετικό με την προτεραιότητα διακίνησης του μηνύματος από σημείο σε σημείο. Η πρόσθεση του προθέματος στο μήνυμα αποτελεί συνήθως μέρος της λειτουργίας του υπολογιστή επικοινωνιών. Στη τεχνική της στατιστικής πολυπλεξίας τα μηνύματα ανεξάρτητα από το μήκος τους μεταδίδονται με τη μορφή μικρότερων τμημάτων σταθερού μήκους τα οποία είναι ίσα είτε με ένα πλαίσιο είτε με μια θέση πλαισίου είτε με ένα ακέραιο πολλαπλάσιο των πλαισίων ή των θέσεων του πλαισίου. Στην πράξη εφαρμόζονται αρκετά σχήματα στατιστικής πολυπλεξίας.

4.4.5. Πολυπλεξία κώδικα (CDMA)

Η τεχνική της πολυπλεξίας κώδικα (CDMA⁷) αποτελεί παράδειγμα των τεχνικών πρόσβασης ευρέος φάσματος (spread spectrum). (Άρης Αλεξόπουλος , Γιώργος Λαγογιάννης, 2010)

Η πληροφορία πολλαπλασιάζεται με μία κωδική ακολουθία (κώδικας), που είναι μοναδική για κάθε χρήστη. Στον δέκτη, ένας νέος πολλαπλασιασμός με τον ίδιο κώδικα λαμβάνει χώρα.

⁷ CDMA : Code Division Multiple Access

Οι κώδικες είναι τέτοιοι ώστε να μπορεί ο δέκτης να αναγνωρίσει το μήνυμα του αποστολέα, χωρίς να τον επηρεάζουν οι μεταδόσεις άλλων χρηστών που επίσης λαμβάνει.

Άρα καταλαβαίνουμε ότι μπορούν να μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, στην ίδια συχνότητα, χωρίς πρόβλημα (αρκεί οι κώδικες των χρηστών να είναι κατάλληλοι).

Ας πούμε ότι $D =$ ρυθμός του σήματος δεδομένων.

Κάθε bit μηνύματος κωδικοποιείται με k chips (με απλά λόγια, θα λέγαμε ότι κωδικοποιείται με k άλλα bit, που διαρκούν το ίδιο χρονικό διάστημα)

Τα chips προσδιορίζονται για κάθε bit μονοσήμαντα, ανάλογα με τον χρήστη.

Ο ρυθμός των νέων κωδικοποιημένων bit (Chip) είναι πια μεγαλύτερος : kD

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Κώδικας του χρήστη A = (1, -1, -1, 1, -1, 1)

(ισοδύναμα, μπορούσαμε να γράφαμε (1,0,0,1,0,1) και να μετατρέπαμε εκ των υστέρων τα '0' σε '-1')

Για να στείλει το bit '1' : (1, -1, -1, 1, -1, 1)

Για να στείλει το bit '0' : (-1, 1, 1, -1, 1, -1) □

Κώδικας του χρήστη B = (1, 1, -1, -1, 1, 1) □

Έστω ότι στέλνει ο A το bit '1' – άρα, στέλνεται το (1,-1,-1,1,-1,1) □

Ο παραλήπτης δεν ξέρει ποιος εκπέμπει τι. Πολλαπλασιάζει αυτό που λαμβάνει (received pattern) με τους κώδικες του κάθε χρήστη:

$$\begin{aligned} (\text{Κώδικας A}) \times (\text{received pattern}) &= 1 \times 1 + (-1) \times (-1) + (-1) \times (-1) + 1 \times 1 + (-1) \times \\ &(-1) + 1 \times 1 = 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{Κώδικας B}) \times (\text{received pattern}) &= 1 \times 1 + (1) \times (-1) + (-1) \times (-1) + (-1) \times 1 + 1 \times \\ &(-1) + 1 \times 1 = 0 \end{aligned}$$

Άρα, ο παραλήπτης καταλαβαίνει ότι μετέδωσε ο A το bit '1' (αν ο πολλαπλασιασμός με τον κώδικα του A έδινε -6, θα καταλάβαινε ότι θα είχε μεταδώσει ο A το bit '0').

Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η τεχνική CDMA, πρέπει οι κώδικες του κάθε χρήστη να έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες, έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να αποφανθεί ο παραλήπτης λάθος (δηλαδή, αν πολλαπλασιάσει με κώδικα άλλου χρήστη από αυτόν που εξέπεμψε, να πάρει αποτέλεσμα που να του δώσει να καταλάβει ότι πράγματι ο συγκεκριμένος χρήστης δεν μετέδωσε τίποτα).

Συμπέρασμα: Οι κώδικες πρέπει να είναι ορθογώνιοι, δηλαδή: (κώδικας A) x (κώδικας B) = 0 για κάθε ζευγάρι χρηστών A,B.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Έστω ότι οι κώδικες τριών χρηστών σε CDMA σύστημα είναι οι εξής:

A: (-1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1)

B: (-1 +1 -1 +1 +1 -1 +1 -1)

C: (-1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 +1)

Ο δέκτης λαμβάνει την ακολουθία chip (+1 +1 +1 +1 +3 -1 -1 +3).

Ποιοι από τους χρήστες μετέδωσαν και τι?

Ο παραλήπτης πολλαπλασιάζει την ακολουθία που λαμβάνει με τον κώδικα του κάθε χρήστη: □

Για τον A: (-1) x (1) + 1 x 1 + 1 x 1 + (-1) x 1 + (-1) x 3 + 1 x (-1) + 1 x (-1) + (-1) x 3 = -8 Άρα, ο A έστειλε το bit '0' .□

Για τον B: (-1) x (1) + 1 x 1 + (-1) x 1 + 1 x 1 + 1 x 3 + (-1) x (-1) + 1 x (-1) + (-1) x 3 = 0 Άρα, ο B δεν έστειλε τίποτα.

Για τον C: (-1) x (1) + 1 x 1 + 1 x 1 + (-1) x 1 + 1 x 3 + (-1) x (-1) + (-1) x (-1) + 1 x 3 = 8 Άρα, ο C έστειλε το bit '1'.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, αν αθροίσουμε τα σήματα που έστειλαν ο A και ο C, δεν θα βρούμε το λαμβανόμενο σήμα που έφτασε στον δέκτη. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας ακόμα χρήστης, πέρα από τους A,C, που μετέδωσε κάτι. Αυτό μπορούσε να το υποθέσει κανείς και από το νούμερο 3

που παίρνει η τιμή ενός chip που φτάνει στον δέκτη. Το 3 μπορεί να προκύψει από υπέρθεση 3 χρηστών, άρα τουλάχιστον 3 χρήστες μετέδωσαν.

Για καλύτερη κατανόηση των τεχνικών πολυπλεξίας ας πουμε ότι σ' ένα μεγάλο δωμάτιο, πολλά ζευγάρια ανθρώπων συνομιλούν:

Με το TDM όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο, αλλά ο καθένας περιμένει τη σειρά του για να μιλήσει (πρώτα μιλάει ο ένας, μετά ο άλλος κ.ο.κ.) .

Με το FDM οι άνθρωποι στο δωμάτιο χωρίζονται σε ομάδες, όπου κάθε ομάδα βρίσκεται σε αρκετή απόσταση από την άλλη ώστε οι ομάδες να συνομιλούν ταυτόχρονα αλλά ανεπηρέαστα η μία από την άλλη .

Με το CDMA όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο και μιλάνε ταυτόχρονα, αλλά σε διαφορετική γλώσσα ώστε αυτοί που μιλάνε την ίδια γλώσσα επικοινωνούν, ενώ απορρίπτουν τις άλλες συνομιλίες σαν θόρυβο.

Μπορούμε να πούμε ότι κάθε τεχνική έχει και το πλεονεκτημά της:

FDM: Απλότητα στην υλοποίηση.

TDM: Καλύτερη εκμετάλλευση φάσματος.

CDMA: Βέλτιστη χρήση φάσματος.

4.4.6. Πολυπλεξία διέρεσης μήκους κύματος (WDM)

Ένα άλλο είδος πολυπλεξίας είναι η πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM). Η WDM⁸ μπορεί να οριστεί σαν μια διαδικασία που έχει στόχο την αύξηση του συνολικού ρυθμού μετάδοσης σε μια οπτική ζεύξη μέσω της χρησιμοποίησης πολλών καναλιών σε διαφορετικά και προκαθορισμένα φέροντα μήκη κύματος. Τα διάφορα φέροντα αυτά μπορούν να έχουν διαφορετικούς και ανεξάρτητους μεταξύ τους ρυθμούς μετάδοσης που στην συνέχεια πολυπλέκονται με οπτικό τρόπο και μεταδίδονται . Ιδιαίτερη προσοχή κατά τη σχεδίαση συστημάτων WDM απαιτείται και καθοριστικοί παράγοντες για αυτό είναι το εύρος των καναλιών καθώς και η μεταξύ τους απόσταση, η ολική οπτική ισχύς που

⁸ WDM : Wavelength-Division Multiplexing

ε ισάγεται προς μετάδοση, τα μη γραμμικά φαινόμενα που προκύπτουν καθώς και οι περιορισμοί και οι ατέλειες που έχουν σαν αίτιο την αμιγώς οπτική εν ισχύση με την βοήθεια αμιγώς οπτικών εν ισχυτών.

Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία φωτεινών ακτινών με διαφορετικά μήκη κύματος και την μετάδοση τους μέσα από μια μόνο οπτική ίνα. Κάθε μια από αυτές τις ακτίνες μεταφέρει διαφορετική ροή δεδομένων και η πολυπλεξία τους οδηγεί σε πολλαπλάσιο εύρος ζώνης μετατρέποντας μια οπτική ίνα σε πολλαπλές ιδεατές ίνες, που κάθε μια λειτουργεί σε διαφορετικό μήκος κύματος. Η τεχνολογία πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) αποτελεί μια μέθοδο σημαντικής αύξησης της χωρητικότητας της οπτικής ίνας, μέσω της εκχώρησης σε καθένα από τα εισερχόμενα οπτικά σήματα ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος (λ) ή συχνότητας, από ένα καθορισμένο εύρος συχνοτήτων.

Σε ένα σύστημα WDM, ένα πλήθος διαφορετικών σημάτων μεταφέρονται υπό τη μορφή διακριτών μηκών κύματος ή καναλιών μέσω της οπτικής ίνας και αποπολυπλέκονται στο σημείο λήψης. Με βάση το χαρακτηριστικό της πολυπλεξίας έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σήματος και στις οπτικές ίνες. Η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η τεχνική μετάδοσης της πληροφορίας μέσα από οπτική ίνα η οποία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση bits ή αλλιώς τη σειριακή μετάδοση χαρακτήρων. Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος έχει ανέλθει σαν το πιο αποδοτικό μέσο για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στον τομέα των επικοινωνιακών εφαρμογών. Τα πλεονεκτήματα δικτύων WDM σε σχέση με τα συμβατικά είναι το μεγάλο εύρος ζώνης, μικρή απώλεια ισχύος, αξιοπιστία ασφάλεια, ταχύτητα και διαφάνεια πρωτοκόλλων.

Συγκρίνοντας τις τεχνικές TDM και WDM καταλαβαίνουμε ότι :

Η μέθοδος TDM πολυπλέκει περισσότερα σήματα σε ένα ενιαίο υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα φέρον μήκος κύματος μέσα από την οπτική ίνα. Το WDM Παίρνει πολλά οπτικά σήματα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και τα πολυπλέκει μέσα σε μία μόνο οπτική ίνα. Η WDM είναι επομένως ίδια με την FDM όπου κάθε σήμα μεταδίδεται σε διαφορετική φέρουσα συχνότητα. Επειδή όμως στα WDM οι συχνότητες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες και ανήκουν στο οπτικό φάσμα αναφερόμαστε σε μήκη κύματος και όχι συχνότητες. Επίσης μέσω της τεχνολογίας WDM είναι δυνατή η μεταφορά

σημάτων σε διαφορετικά πρωτόκολλα δίχως να απαιτείται η χρήση μιας ενιαίας τυποποίησης των σημάτων.

5. Βιβλιογραφία

- [1] Άρης Αλεξόπουλος , Γιώργος Λαγογιάννης. (2010). Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών. Αθήνα: Αφοί Ρόη ΑΕ.
- [2] Β. Κ. Παπαζάχος, Γ. Φ. Καρακαΐσης, Π. Μ. Χατζηδημητρίου. (2005). Εισαγωγή στη Σεισμολογία. Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη.
- [3] Επικοινωνία Δεδομένων. (2012). Ανάκτηση 08 22, 2015, από Ηλεκτρονική ΣχολικήΤάξη:
<http://eclass.sch.gr/modules/document/file.php/TEIDA1901017126/DiktyMetds1Kef1.pdf>
- [4] Πουρναράκης, Τ. (2014, 08 15). F1 : Τα μυστικά της Τηλεμετρίας. Ανάκτηση 3 22, 2015, από Πρώτο Θέμα: <http://www.protothema.gr/car-and-speed/article/402699/f1-ta-mustika-tis-tilemetrias/>
- [5] Frank Carden, Russel Jedlika, Robert Henry. (2002). Telemetry Systems. London: Artech House INC.
- [6] Gale, A. (2014). An Introduction to Telemetry. Ανάκτηση 3 24, 2015, από Minnesota State University Mankato:
https://mavdisk.mnsu.edu/alleng/communications/DataRadio/p_telemetry.pdf
- [7] H.K.Verma, D. (2015). Telemetry Basics. Ανάκτηση 2015, από profhkverma.info:
[http://profhkverma.info/sites/default/files/studentsData/telemetry/Chapter-1%20Telemetry%20Basics%20\(9%20pages\).pdf](http://profhkverma.info/sites/default/files/studentsData/telemetry/Chapter-1%20Telemetry%20Basics%20(9%20pages).pdf)
- [8] H.K.Verma, D. (2015). Telemetry Systems. Ανάκτηση 2015, από profhkverma.info:
[http://profhkverma.info/sites/default/files/studentsData/telemetry/Chapter-2%20%20Telemetry%20Systems%20\(23%20pages\).pdf](http://profhkverma.info/sites/default/files/studentsData/telemetry/Chapter-2%20%20Telemetry%20Systems%20(23%20pages).pdf)
- [9] Stallings, W. (1990). Data and Computer Communications. Macmillan Publicing Company.
- [10] Tanenbaum, A. S. (2003). Δίκτυα Υπολογιστών. Στο A. S.Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών (σσ. 162-166). Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- [11] Tanenbaum, A. S. (2003). Δίκτυα Υπολογιστών. Στο A. S. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών (σσ. 118-120). Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- [12] White, C. (2007). Data Cummonications and Cumputer Networks. Στο C. White, Data Cummonications and Cumputer Networks (σσ. 143-152). Boston: Thomson Course Technology.

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

6.1. Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Βασικό Σύστημα τηλεμετρίας	9
Σχήμα 2: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με σύρματα χαλκού	12
Σχήμα 3: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας μικρής απόστασης	13
Σχήμα 4: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας μεγάλης απόστασης.....	14
Σχήμα 5: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με οπτικές ίνες	15
Σχήμα 6: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας άμεσης τάσης.....	18
Σχήμα 7: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας συνεχούς ρεύματος	20
Σχήμα 8: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας AM.....	22
Σχήμα 9: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας FM	24
Σχήμα 10: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας με 4 κανάλια	26
Σχήμα 11: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας PWM	28
Σχήμα 12: Τηλεμετρικό σύστημα τηλεμετρίας PWM 4 καναλιών	29
Σχήμα 13: Τηλεμετρικό ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας.....	31
Σχήμα 14: Τηλεμετρικό ψηφιακό σύστημα τηλεμετρίας 4 καναλιών	35
Σχήμα 15: Λειτουργία συστήματος Hawk-Eye.....	44
Σχήμα 16: Στοιχεία ανάλυσης ενός οδηγού	49
Σχήμα 17: Σχεδιάγραμμα πολυπλεξία – από πολυπλεξία.....	50
Σχήμα 18: Η συνάρτηση ημιτόνου $f(t)=\eta\mu(t)$	52
Σχήμα 19: Η συνάρτηση ημιτόνου $f(t)=3\eta\mu(t)$	52
Σχήμα 20: Η συνάρτηση $f(t)=\eta\mu(2\pi\omega t)$	53
Σχήμα 21: Η συνάρτηση $f(t)=\eta\mu(t+\phi)$	53
Σχήμα 22: Πολυπλεξία FDM	55
Σχήμα 23: Παράδειγμα FDM 3 καναλιών	56
Σχήμα 24: Πολυπλεξία TDM.....	57
Σχήμα 25: Στατιστική πολυπλεξία	64

