



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ-ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ
ΖΕΥΞΗΣ ΣΕ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΦΩΤΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΙΣΙΔΩΡΟΥ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Επιβλέπων :
Μεσαριτάκης Χάρης

Σάμος, Σεπτέμβριος 2023

Περίληψη

Με τις σύγχρονες απαιτήσεις της σημερινής εποχής , η χρήση των ασύρματων δικτύων έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της επικοινωνίας στη σημερινή εποχή . Με το Internet Of Things να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ,όπως και οι έξυπνες κινητές συσκευές , το φόρτο των ασύρματων δικτύων έχει μεγαλώσει εκθετικά τα τελευταία χρόνια , με αποτέλεσμα να υπάρχει μία ανάγκη για την εύρεση νέων μεθόδων με τους οποίους να επιτυγχάνεται μία αύξηση στη χωρητικότητα στην ποιότητα του σήματος . Πολλοί παράγοντες που αλλοιώνουν το σήμα σε ένα περιβάλλον είναι τα γραμμικά και τα μη γραμμικά φαινόμενα, τα οποία υπάρχουν σε ένα κανάλι κατά την μετάδοση του. Στην παρούσα εργασία γίνεται μία αναπαράσταση τέτοιου καναλιού με σκοπό να προσομοιωθούν αυτά τα φαινόμενα, να μελετηθούν και να παρουσιαστούν τεχνικές διόρθωσης με την χρήση νευρωνικών δικτύων .

Αρχικά θα περιγραφεί ένα βασικό σύστημα επικοινωνίας , αναλύοντας όλα τα υποσυστήματα του και τον τρόπο λειτουργίας τους . Έπειτα θα γίνει μία αναφορά στις τελευταίες εξελίξεις των συστημάτων επικοινωνίας , τα προβλήματα που λύνουν και στη συνέχεια θα αναλυθούν τα προβλήματα που έχει σκοπό να λύσει η συγκεκριμένη εργασία και τις τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν . Η προσομοίωση του συστήματος επικοινωνίας θα γίνει σε περιβάλλον matlab, όπως και τα νευρωνικά δίκτυα . Τέλος θα γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων , πως αντιμετωπίζονται τα γραμμικά και μη γραμμικά φαινόμενα και τα συμπεράσματα για μελλοντικές χρήσης.

© 2023

του

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΙΣΙΔΩΡΟΥ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αιγαίου από τον Ισίδωρο Παπαδημητρίου κατά το χειμερινό εξάμηνο του 2020 έως το εαρινό εξάμηνο 2021. Θέμα της εργασίας είναι «Μελέτη Αντιστάθμισης των Γραμμικών και Μη Γραμμικών Φαινομένων Παραμόρφωσης σε Ασύρματα δίκτυα WiFi, με χρήση Νευρωνικών Δικτύων»

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χάρη Μεσαριτάκη όχι μόνο για τις γνώσεις και την βοήθεια που μου προσέφερε, αλλά και γιατί είναι από τους λίγους καθηγητές που αγαπάνε αυτό που κάνουνε και αυτό το βγάζουνε στους φοιτητές στους οποίους διδάσκουνε . Μας προσέφερε στη σχολή πρόσβαση σε έναν καινούργιο κλάδο , αυτό των οπτικών και νευρωνικών δικτύων , κάτι που έλειπε από την Σάμο και μας εμπλούτισε όλους με αυτές τις γνώσεις .

Επιπλέον θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που αυτές τις δύσκολες εποχές , έβαλαν προτεραιότητα να μου προσφέρουν σπουδές, όμορφες αναμνήσεις και υπέροχες εμπειρίες που έζησα στη Σάμο

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα.....	1
1.1	Ιστορική αναδρομή των τηλεπικοινωνιών	1
1.2	Πως λειτουργεί ένα ασύρματο σύστημα	2
1.3	Πομπός.....	2
1.3.1	Κεραίες.....	3
1.3.2	Διαμόρφωση.....	5
1.4	Δέκτης	7
1.4.1	Bir Error Rate (BER).....	7
1.4.2	Signal to Noise Ratio (SNR).....	7
1.4.3	Προϋπολογισμός ζεύξης	8
1.4.4	Πολυπλεξία καναλιού	8
1.4.5	SISO (Single Input, Single Output)	10
1.4.6	MIMO (Multiple Input, Multiple Output)	11
2	Μέσο Διάδοσης και Απώλειες	12
2.1	Διαλείψεις	12
2.1.1	Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας.....	12
2.1.2	Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας	16
2.2	Δίαυλος AWGN.....	17
2.3	Κατανομή Rayleigh	17
2.4	Κατανομή Rice.....	18
2.5	Κατανομή Nakagami-m	19
2.6	Μη γραμμικά φαινόμενα.....	20
2.7	Παραμβολές.....	21
	• Ομοκαναλικές Παραμβολές (co-channel interference).....	21
	• Παραμβολές Παρακείμενου Καναλιού	21
3	Τεχνικές Διόρθωσης Σήματος	22
3.1	Ισοσταθμιστές (Equalizers).....	22
3.1.1	Γραμμικοί Ισοσταθμιστές	23
3.1.2	Μη Γραμμικοί Ισοσταθμιστές	24
3.2	Forward Error Correction (FEC).....	24
3.3	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)	25
3.3.1	Feed Forward Networks (FNN).....	27
3.3.2	Recurrent Neural Network (RNN)	28
3.3.3	Deep Neural Networks (DNN).....	28

3.4	Τεχνικές Εκμάθησης	29
3.4.1	<i>Supervised Learning</i>	29
3.4.2	<i>Unsupervised Learning</i>	30
3.4.3	<i>Ίσως ένα ακόμη κεφάλαιο με back propagation</i>	30
3.5	Linear Regression	30
3.6	Long Short-Term Memory Networks-LSTM	31
3.6.1	<i>Bi-LSTM</i>	32
3.7	Reservoir Computing	34
4	Προσομοίωση	35
4.1	Narma Time Series Sequence	35
4.2	Στοιχεία καναλιού	37
4.3	NonLinear Amplifier για PAM 4	37
4.4	Internal Units	38
4.5	Linear Equalizer	38
4.6	Σύγκριση Reservoir με Linear Equalizer με μη γραμμικό Ενισχυτή και χωρίς	40
Εδώ παρατηρείται ότι αν χρησιμοποιηθεί μη γραμμικός ενισχυτής η διαφορά του BER μεταξύ του Linear Equalizer και του Reservoir αυξάνεται και αυτό οφείλεται στη μη γραμμικότητα που εμφανίζεται στο σύστημα		
5	Συμπεράσματα	41
Βιβλιογραφία		42
Παράρτημα Ι [ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Ι]		Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Ακρωνύμια

dB	Decibel
dBi	Decibel relative to Isotropic
AM	Amplitude Modulation
FM	Frequency Modulation
SNR	Signal to Noise Ratio
BER	Bit Error Rate
Wi-Fi	Wireless Fidelity
PAM	Pulse Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Key Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
BPSK	Binary Phase Key Modulation
TDM	Time Division Multiplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
WDM	Wavelength Division Multiplexing
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
SISO	Single Input Single Output
MIMO	Multiple Input Multiple Output
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
LOS	Line of Sight
NLOS	Non Line of Sight
AWGN	Additive white Gaussian Noise
PDF	Probability Density Function
FEC	Forward Error Correction
MMSE	Mean Square Error Equalizer
DFE	Decision Feedback Equalizer
MLSE	Maximum Likelihood Sequence Estimation
ANN	Artificial Neural Networks
FNN	Feed Forward Neural Networks
RNN	Recurrent Neural Networks
DNN	Deep Neural Networks
LSTM	Long Short- Term Memory Networks
Bi-LSTM	Bi-Directional Long Short-Term Memory Networks
RC	Reservoir Computing

Abstract

With the current demand for internet access, the use of wireless communication is a fundamental part of our society. With the Internet Of Things becoming more popular and the use of smartphone for everyday tasks, the bandwidth requirements for communication systems has exponentially grown the last couple of years, and a demand for new techniques to be discovered has appear, with the purpose of increasing the bandwidth. There are many parameters that can alternate a signal in an environment, specifically linear and nonlinear effects. In the simulation, the linear and nonlinear effects will be replicated and an analysis will be made so solutions can be found to counter them.

Initially a description will be made about communication systems, and the subsystems it consists of. Then there will be a report on recent development and the problems they are trying to solve. Lastly , there will be an analyzation of the specific effects this assignment is trying to resolve and the conclusions . The simulation will be done in matlab.

Σκοπός της εργασίας

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στα σύγχρονα επικοινωνιακά συστήματα είναι ο περιορισμός της χωρητικότητας. Συγκεκριμένα, τα συστήματα αυτά αποτελούνται από περιορισμένο αριθμό καναλιών και βρίσκονται σε συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Τα προβλήματα που προκύπτουν λόγω των λίγων καναλιών, είναι ότι σε πυκνοκατοικημένες περιοχές υπάρχει περιορισμένο εύρος ζώνης και τα προβλήματα λόγω μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, είναι ότι υπάρχει αντανάκλαση του σήματος και καθυστερήσεις στα σύμβολα που φτάνουν στο δέκτη. Επιπλέον υπάρχουν τα γραμμικά και τα μη γραμμικά φαινόμενα, όπως αυτό του ενισχυτή τα οποία αλλοιώνουν την ποιότητα του σήματος. Υπάρχουν τεχνικές που μπορούν να λύσουν μεμονωμένα τα παραπάνω προβλήματα αλλά περιορίζονται στη συμβατότητα, πολυπλοκότητα και στον θόρυβο. Έτσι προέκυψε μία ανάγκη να βρεθεί μια λύση που να είναι πιο ευέλικτη για τα σημερινά δεδομένα, που είναι η χρήση αναδρομικών νευρωνικών δικτύων. Μέσο της μηχανικής μάθησης μπορεί να επιτευχθεί η διόρθωση πολλών σφαλμάτων στο σήμα με σκοπό την βελτίωση του SNR και κατ' επέκταση την μείωση του BER.

1

Εισαγωγή στα Ασύρματα

Δίκτυα

1.1 Ιστορική αναδρομή των τηλεπικοινωνιών

Οι πρώτες μορφές επικοινωνίες που χρησιμοποίησαν οι άνθρωποι ξεκίνησαν από την αρχαιότητα. Από σήματα καπνού μεταξύ πύργων σε φυλάκια μέχρι σε μηνύματα που έδεναν πάνω σε περιστέρια.

Το 1792 φτιάχτηκε η πρώτη συσκευή τηλεγραφίας η οποία βασιζόταν στην οπτική επαφή μεταξύ πύργων . Η πρώτη όμως ηλεκτρική μηχανή τηλεγραφίας κατασκευάστηκε το 1837 χρησιμοποιούσε κωδικοποιημένα σήματα Μορς (Morse) . Το 1866 η τεχνολογία εξελίχθηκε και μπόρεσε να γίνει η πρώτη διατλαντική τηλεπικοινωνία με την συνέχεια μετά από 10 χρόνια να εφευρεθεί το τηλέφωνο .

Η πρώτη ασύρματη όμως επικοινωνία έγινε με την χρήση ραδιοκυμμάτων το 1920 για στρατιωτική χρήση με AM (amplitude modulation) . Η συνεχής εξέλιξη του έφερε και το FM(frequency modulation) όπου δημιουργήθηκε το ραδιόφωνο κυρίως για αναμετάδοση μουσικής.

Τη δεκαετία του 50 , έγινε η ανακάλυψη των ημιαγωγών και κατά συνέπεια του τρανζίστορ. Αυτό επέτρεψε την μεταφορά από την μεταγωγή κυκλώματος με μικρή χωρητικότητα καναλιού(narrow band circuit-switched networks) , σε μεγάλης χωρητικότητας κανάλια με μεταγωγή πακέτου (broadband packet-switched networks). Με αυτή την εξέλιξη έγινε η μεταφορά από την αναλογική εποχή στη ψηφιακή, δηλαδή πλέον τα δεδομένα είχαν μορφή 0 και 1 , και πλέον μπορούσε να γίνει συμπίεση, επεξεργασία, και κωδικοποίηση δεδομένων .

Με την δυνατότητα της ψηφιακής επεξεργασίας , ξεκίνησε και η σύγχρονη εποχή της ασύρματης επικοινωνίας 1990. Με την εξέλιξη των ενσύρματων δικτύων και την χρήση του για επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών και τηλεφώνων , έγινε η χρήση του υπάρχοντος δικτύου . Συγκεκριμένα το ενσύρματο δίκτυο φτάνει μέχρι μία κεραία που έχει τον ρόλο του πομπού , και διανέμει το σήμα σε συσκευές όπως κινητό τηλέφωνο, υπολογιστές , εκτυπωτές και οτιδήποτε έχει μία κεραία και έναν δέκτη.

1.2 Πως λειτουργεί ένα σύστημα επικοινωνίας

Ένα σύστημα επικοινωνίας αποτελείται από τον πομπό, ένα μέσο που διαδίδεται και τέλος έναν δέκτη .

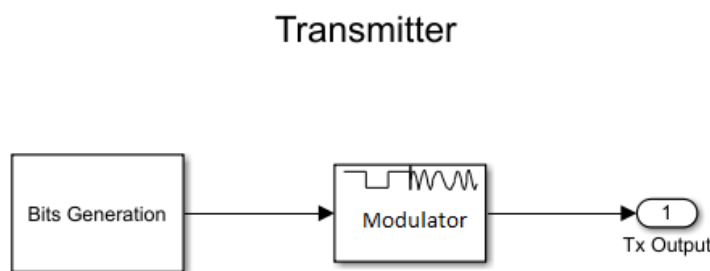


Εικόνα 1- Ασύρματο Σύστημα

Αυτό είναι ένα βασικό σύστημα. Ο πομπός, που μπορεί να είναι είτε κεραία για ασύρματη μετάδοση ή και ένα transmitter που στέλνει το σήμα σε άλλο μέσο, περιέχει την είσοδο της πληροφορίας και αναλαμβάνει την επεξεργασία του ώστε να μπορεί να διαδοθεί . Το κανάλι είναι το μέσο διάδοσης, δηλαδή ο αέρας, καλώδιο, οπτική ίνα, αλλά ανάλογα το σύστημα μπορεί να επηρεάζεται διαφορετικά το σήμα αν είναι κλειστός χώρος, όπως ένα δωμάτιο ή ανοιχτό όπως μια πόλη. Τέλος ο δέκτης είναι επίσης μία κεραία ή ένα receiver, όπου δέχεται το σήμα και διαθέτει όλα τα υποσυστήματα ώστε να κάνει την επεξεργασία από ένα ημιτονοειδές σήμα σε δεδομένα.

1.3 Πομπός

Ο πομπός αποτελείται από πολλά υποσυστήματα . Ο βασικός ρόλος ενός πομπού είναι να μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε μία μορφή ώστε να μπορεί να διαδοθεί σε ένα ασύρματο μέσο. Η μορφή του σήματος εξαρτάται από τον διαμορφωτή , ο οποίος μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε ημίτονο , και ανάλογα με την διαμόρφωση του συστήματος , αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του. [1]



Εικόνα 2-Πομπός

1.3.1 Κεραίες

Το βασικό υποσύστημα ενός πομπού είναι η κεραία. Κεραία είναι κατά κύριο λόγο ένας τρόπος μετατροπής κυμάτων που υπάρχουν σε έναν κυματοδηγό , σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ταξιδεύει σε ελεύθερο χώρο . Υπάρχουν πολλοί τύποι κεραίας οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα την χρήση και την ανάγκη ενός συστήματος. Για την χρήση του WiFi χωρίζονται κυρίως σε πανκατευθυντικές και κατευθυντικές κεραίες. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας κεραίας είναι το κέρδος ισχύος που έχουν σε σχέση με αυτό μίας ισοτροπικής κεραίας το οποίο μετριέται σε dBi. Το κέρδος ισχύος μίας κεραίας είναι ο λόγος της έντασης της ακτινοβολίας της προς εκείνη μιας ισοτροπικής κεραίας που ακτινοβολεί την ίδια συνολική ισχύ με αυτή που λαμβάνεται από την πραγματική κεραία . Η ακτινοβολία που εκπέμπει μία ισοτροπική κεραία περιγράφεται από την παρακάτω σχέση

$$S(d) = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (1)$$

Με P_t την ισχύ ακτινοβολίας εισόδου της κεραίας και d η απόσταση από τον πομπό

Οπότε το κλάσμα της πυκνότητας ισχύος της πραγματικής κεραίας σε σημείο (d, φ, θ) δια την πυκνότητα ισχύος της ισοτροπικής, βγάζει το κέρδος ισχύος της κεραίας

$$G(\varphi, \theta) = \frac{S(d, \varphi, \theta)}{S_{isotropic}(d)} \quad (2)$$

- Πανκατευθυντικές

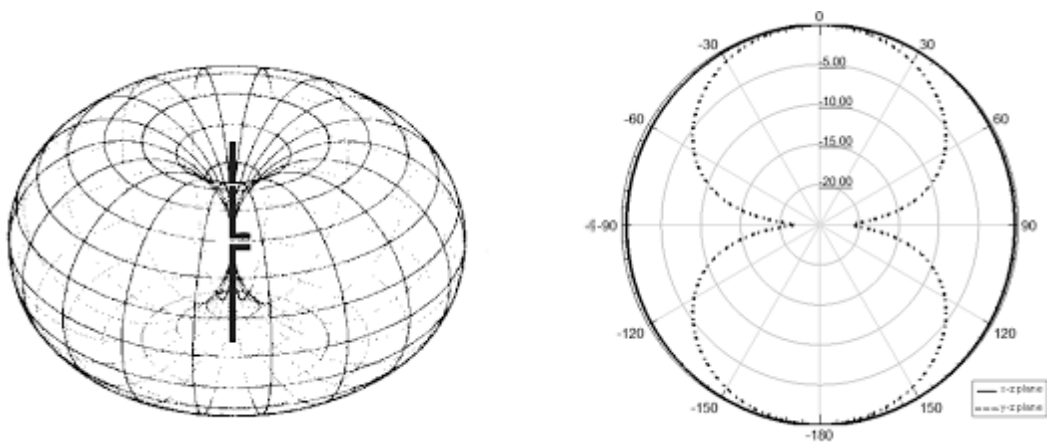
Πανκατευθυντικές κεραίες είναι αυτές οι οποίες εκπέμπουν ακτινοβολία ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις , κάθετα και οριζόντια. Οι χρήσεις της απευθύνονται σε εφαρμογές που η εκπομπή σήματος χρειάζεται να κατευθυνθεί σε πολλαπλές διαδρομές. Αυτές οι περιπτώσεις είναι συνήθως για κεραίες που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, όπως Routers ή Access Points . Τέτοιου είδους κεραίες τοποθετούνται σε τείχους , οροφές ή υπολογιστές λόγω μικρού μεγέθους . Το Gain αυτών των κεραίων είναι από 0 έως 6 dBi

Πανκατευθυντικές κεραίες χρησιμοποιούν επίσης και σε φορητές συσκευές όπως κινητά, laptop , tablet . Λόγω του μικρού μεγέθους τους μπορούν να σχεδιαστούν και μικρές συσκευές . Το gain αυτών των κεραίων είναι από -5 έως 5 dBi

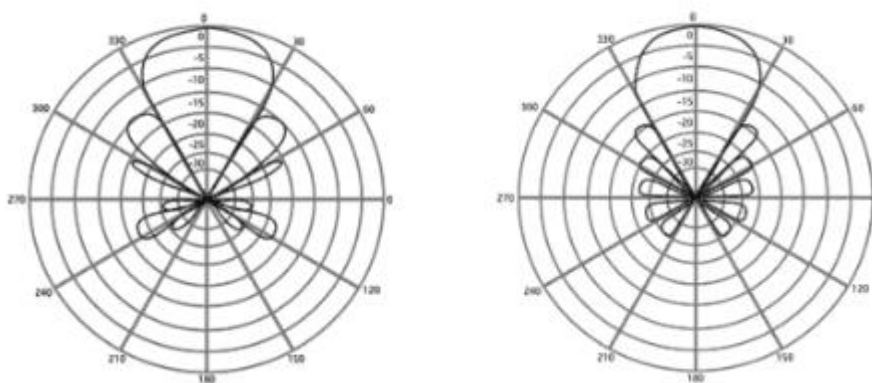
- Κατευθυντικές

Κατευθυντικές κεραίες είναι αυτές που εκπέμπουν ακτινοβολία σε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Οι εφαρμογές αυτού του τύπου κεραίας είναι για ράδιο, τηλεόραση, radar και μεταφορά σήματος σε μακρινές αποστάσεις λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ακτινοβολίας σε περιορισμένο εύρος, με αποτέλεσμα αν ρυθμιστεί να στοχεύει ακριβώς στον δέκτη, να υπάρχει μεγαλύτερο SNR. Οι κεραίες με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι οι κεραίες Yagi (τηλεόρασης), Παραβολικού Ανακλαστήρα (πιάτο), Τυπωμένες (patch antennas). Τα κέρδη ισχύος φτάνουν μέχρι και τα 29 dBi για point-to-point ζεύξεις και 3-16 dBi για point-to-multipoint ζεύξεις. [2]

Οι διαφορές μεταξύ των κεραιών φαίνεται εύκολα από τα διαγράμματα ακτινοβολίας που έχουν



Εικόνα 3 - Διάγραμμα αζιμουθίου και ανύψωσης ιστροπική κεραίας



Εικόνα 4 – Διάγραμμα Αζιμουθίου και Ανύψωσης Yagi κεραίας

1.3.2 Διαμόρφωση

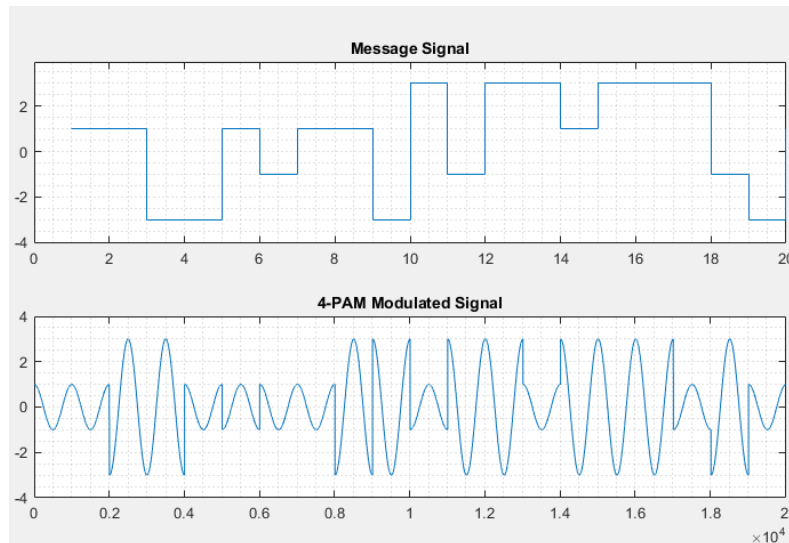
Τα ψηφιακά σήματα με την ψηφιακή τους μορφή δεν μπορούν να διαδοθούν μέσω κάποιου μέσου. Για αυτό τον λόγο πρέπει να διαμορφωθούν έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα φέρον σήμα και να διαδοθούν μέσω του διαύλου επικοινωνίας. Το φέρον σήμα είναι συνήθως ένα ημιτονοειδές και ανάλογα την διαμόρφωση του αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά του. Το φέρον σήμα περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \varphi_c) \quad (3)$$

Όπου A_c είναι το πλάτος, f_c η συχνότητα και φ_c η φάση του φέροντος.[3]

1.3.2.1 Διαμόρφωση Παλμών Πλάτους (PAM)

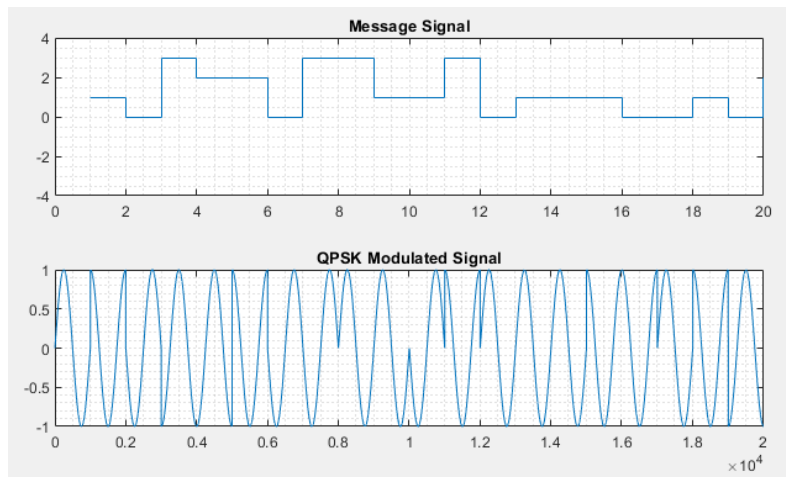
Η διαμόρφωση PAM σημαίνει Pulse Amplitude Modulation (διαμόρφωση παλμών κατά πλάτος). Αυτός ο τύπος διαμόρφωσης στέλνει έναν παλμό με πλάτος ανάλογα με την κωδικοποίηση που έχει οριστεί. Η διαμόρφωση PAM μπορεί να πάρει M διαφορετικά πλάτη, και ανάλογα με την κωδικοποίηση στέλνει τον ανάλογο παλμό. Η πιο σύνθετη διαμόρφωση που χρησιμοποιείτε είναι η 4-PAM, όπου υπάρχουν 4 διαφορετικοί παλμοί με δύο bit ανά παλμό



Εικόνα 5 – 4-PAM διαμορφωμένο σήμα

1.3.2.2 Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying)

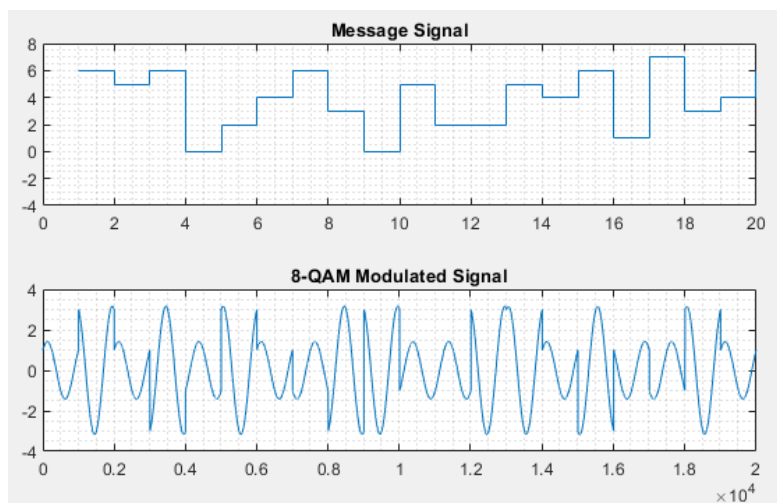
Η διαμόρφωση PSK, όπως λέει και στο όνομα του, αλλάζει την φάση του διαμορφωμένου σήματος, κρατώντας το πλάτος και την συχνότητα σταθερή. Όπως και στην PAM και εδώ μπορούν να υπάρξουν περισσότερες εκδοχές μορφοποίησης, με την πιο συχνή να είναι η QPSK. Στην QPSK τα bits κωδικοποιούνται ανά δύο και η φάση του σήματος χωρίζεται με γωνία 45 μοίρες προς τους δύο άξονες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η χρήση του μισού εύρους ζώνης σε σχέση με μία BPSK διαμόρφωση



Εικόνα 6 – QPSK διαμορφωμένο σήμα

1.3.2.3 Διαμόρφωση M -αδικής Ορθογωνικής Μεταλλαγής Πλάτους (M-QAM)

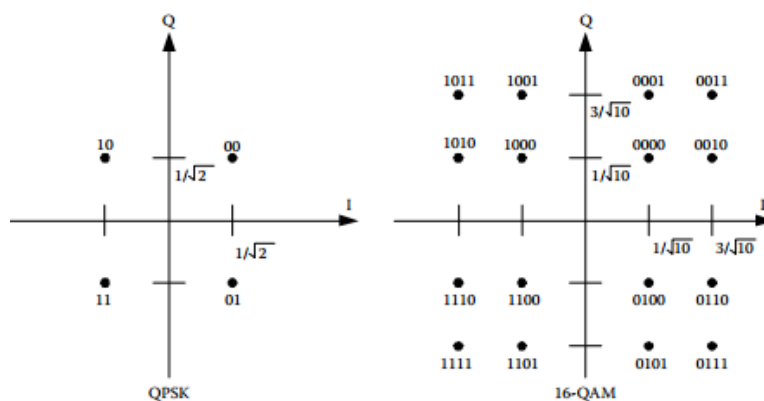
Η διαμόρφωση M-QAM είναι ένας συνδυασμός των διαμορφώσεων ASK και PSK, όπου αλλάζει η φάση και το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος. Η διαμόρφωση M-QAM είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη στα ασύρματα συστήματα, με M διαστάσεις που μπορούν να φτάσουν και τις 1024, όπως και γίνεται στο WiFi 6 certification [4], και σε οπτικά συστήματα μέχρι και 4096 QAM [5], καθώς παρουσιάζει μεγάλη ανοχή στη μη γραμμικότητα.



Εικόνα 7 – 8-QAM διαμορφωμένο σήμα

1.3.2.4 Κωδικοποίηση Gray (Gray Encoding)

Η επιλογή κωδικοποίησης μίας διαμόρφωσης στην οποία θα αντιστοιχεί κάθε ομάδα bits, είναι αυθαίρετη. Συνήθως πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ομάδες που βρίσκονται κοντά διανυσματικά να έχουν και τις μικρότερες διαφορές, ώστε σε περίπτωση σφάλματος κατά την διάδοση του σήματος, να μειώνεται η πιθανή διαφορά των σωστών συμβόλων και των λανθασμένων. Με την κωδικοποίηση Gray επιτυγχάνεται ακριβώς αυτό, ότι το σφάλμα που μπορεί να γίνει στο κοντινότερο διανυσματικά σύμβολο, να είναι μόνο ένα σφάλμα bit.



Εικόνα 8 – Σύγκριση QPSK και 16-QAM διαμόρφωση με Gray Encoding

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 8, πάντα το κοντινότερο διανυσματικά σύμβολο έχει ένα bit διαφορά

1.4 Δέκτης

Όπως ο πομπός έτσι και ο δέκτης είναι ουσιαστικά μία κεραία η οποία λαμβάνει το σήμα που στέλνει ο πομπός. Στη συνέχεια αποδιαμορφώνει το σήμα ώστε να μπορέσει να μετατρέψει το σήμα από την ημιτονική του μορφή, σε ψηφιακή. Για να γίνει όμως μία ζεύξη μεταξύ πομπού και δέκτη υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις που καθορίζονται από τον δημιουργό του συστήματος με βάση τον θόρυβο του περιβάλλοντος, την απόσταση, τα χαρακτηριστικά των κεραιών. Απαραίτητο για να γίνει σωστά είναι να τεθούν κάποια όρια σε BER και το SNR που δουλεύει το κάθε σύστημα. Μόλις τεθούν αυτά, γίνεται ένας προϋπολογισμός ζεύξης στον οποίο θα δουλεύει η επικοινωνία μεταξύ δέκτη και πομπού.

1.4.1 Bit Error Rate (BER)

BER η ρυθμός σφάλματος bit, είναι η ποιότητα μίας ζεύξης, που υπολογίζεται από την διαφορά μεταξύ των bit που στάλθηκαν από τον πομπό, και της διαφοράς με αυτά που έλαβε ο δέκτης. Ουσιαστικά είναι ο λόγος των λανθασμένων bit που έφτασαν στον δέκτη από τον πομπό λόγω θορύβου, παρεμβολών και άλλων φαινομένων, με τα σωστά bit. Τα error αυτά δημιουργούνται κατά την αποδιαμόρφωση του σήματος, και συγκεκριμένα όταν ένα σύμβολο λόγω του θορύβου, αλλάζει τιμές του διανύσματος του, και συγκλίνει με γειτονικές περιοχές αντί για την πραγματική του.

1.4.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR είναι μονάδα μέτρησης της ισχύος ενός σήματος σε σχέση με την ισχύ του θορύβου σε ένα σύστημα μετάδοσης. Το SNR καθορίζει την ποιότητα ενός καναλιού, και είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για ένα σύστημα. Το BER είναι συνδεδεμένο με το SNR. Υψηλότερο SNR σημαίνει πάντα και μικρότερο BER. Η σχέση που εκφράζει το SNR είναι:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{I_{\sigma\chi\upsilon \sigma\acute{\eta}\mu\alpha\tau\omicron\varsigma}}{I_{\sigma\chi\upsilon \theta\omicron\rho\acute{\upsilon}\beta\omicron\upsilon}} \right) dB$$

Η ισχύς του σήματος έχει ένα όριο που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κεραίας, οπότε δεν είναι πρακτικό αν υπάρχει πολύς θόρυβος σε ένα κανάλι, απλά να αυξάνουμε την ισχύ της κεραίας ώστε να το αντιμετωπίσουμε, γιατί θα φτάσουμε το όριο που επιτρέπουν τα υλικά .

1.4.3 Προϋπολογισμός ζεύξης

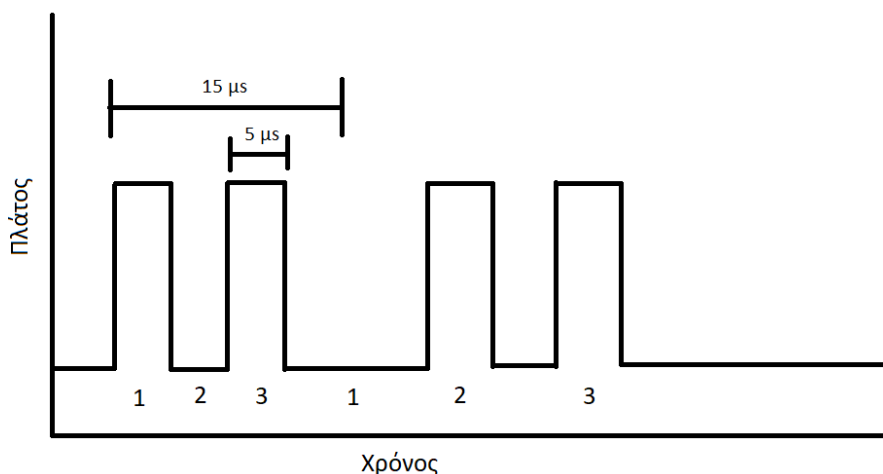
Ο προϋπολογισμός ζεύξης ενός συστήματος επικοινωνιών είναι ο υπολογισμός της ισχύος του σήματος , της ισχύος του θορύβου και του λόγου του σήματος προς τον θόρυβο . Κοινός ο υπολογισμός του SNR και του BER. Ο τρόπος που λειτουργεί είναι ο εξής. Μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη γίνεται μία εφαρμογή αρχών που μπαίνουν όρια στα SNR και BER για μία συγκεκριμένη διαμόρφωση. Οπότε χρησιμοποιείται μία διαμόρφωση πχ 4-PAM , και συγκρίνονται για διαφορετικά SNR το BER του συστήματος. Συνήθως θέτεται ένα κατώτατο όριο BER που το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα. Πολλές φορές όταν χρησιμοποιείται μεγαλύτερη διαμόρφωση , όπως 8-PAM, 16-PAM και υπάρχει μεγάλο BER , μπορεί για να βελτιωθεί το BER, να μικρύνει ο βαθμός της διαμόρφωσης με αποτέλεσμα οι διανυσματικές αποστάσεις να μεγαλώσουν και να μην συγκλίνουν με γειτονικές περιοχές. Αλλά αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα να μειωθεί και ο βαθμός μετάδοσης πληροφορίας. Λόγω των παραπάνω προσπαθεί να δημιουργηθεί η ζεύξη με το υψηλότερο SNR που αφήνει η κεραία, τον μεγαλύτερο βαθμό διαμόρφωσης που έχει επιλεχθεί ώστε υπάρχει χαμηλό BER με το μεγαλύτερο bit rate.

1.4.4 Πολυπλεξία καναλιού

Όλα τα συστήματα έχουν ένα εύρος ζώνης το οποίο μπορούν να λειτουργήσουν . Για την καλύτερη εκμετάλλευση αυτού του εύρους, χρησιμοποιούνται μέθοδοι πολυπλεξίας ώστε να διαιρεθεί το διαθέσιμο εύρος σε μικρότερα κανάλια και να αυξηθεί η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων . Αυτή η μέθοδος είναι η πολυπλεξία καναλιού και χωρίζεται σε πολυπλεξία χρόνου (Time Division Multiplexing), σε πολυπλεξία συχνοτήτων (Frequency Division Multiplexing) και σε πολυπλεξία μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing)

1.4.4.1 Πολυπλεξία Χρόνου

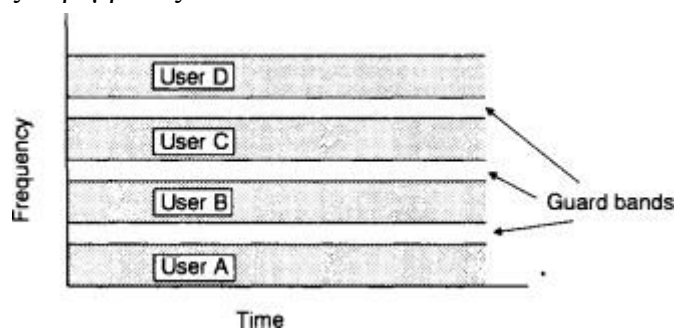
Στην πολυπλεξία χρόνου γίνεται μία διαίρεση χρόνου, και στέλνονται ροές bit με μια καθορισμένη περίοδο που ξέρουμε ότι αντιστοιχεί στο κάθε κανάλι. Για παράδειγμα σε ένα κανάλι φωνής με 64 kb/s, η περίοδος bit είναι 15 μ s. Οπότε θα μπορούσαμε να διαιρέσουμε σε 3 κανάλια ώστε οι ροές των διαδοχικών καναλιών να καθυστερούν κατά 5 μ s. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να διαδοθούν αυτά τα κανάλια με ρυθμό μετάδοσης 320 Kb/s



Εικόνα 10 – Πολυπλεξία χρόνου

1.4.4.2 Πολυπλεξία Συχνότητων

Η πολυπλεξία συχνότητων έχει την ίδια λογική με αυτή του χρόνου, με την διαφορά ότι διαιρεί το εύρος ζώνης της συχνότητας που υπάρχει, σε μικρότερα κανάλια με μικρότερο εύρος ζώνης για το κάθε ένα. Με αυτό τον τρόπο δουλεύει και το fm ραδιόφωνο, το οποίο δουλεύει συχνότητες από 87.5 MHz μέχρι και 108 MHz ανάλογα την χώρα. Οπότε αν χωριστεί σε κανάλια των 200 kHz, μπορούν συνολικά να εκπέμπουν ταυτόχρονα περίπου 200 σταθμοί. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πολυπλεξία συχνότητων τα κανάλια πρέπει να έχουν ένα κενό μεταξύ τους (guard band) ώστε να μην υπάρχει μεταξύ τους παρεμβολές.

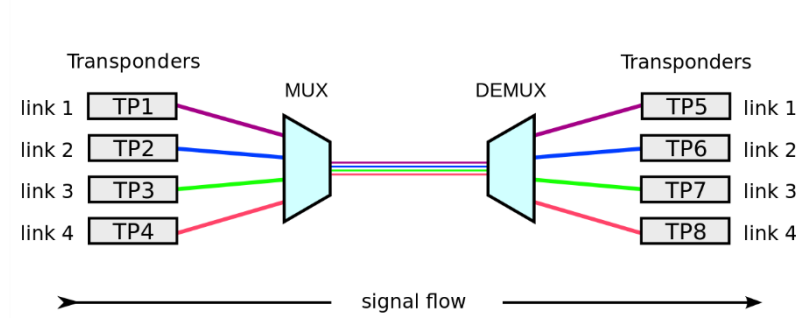


Εικόνα 10 – Πολυπλεξία Συχνότητων

1.4.4.3 Πολυπλεξία Μήκους Κύματος

Με την πολυπλεξία μήκους κύματος, πρακτικά διαιρείτε το μήκος κύματος του σήματος σε μικρότερα, περνάει η πληροφορία στα μικρότερα κανάλια με διαφορετικά μήκη κύματος, και τέλος περνάνε από πολυπλεξία και στέλνονται στον δέκτη. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται κυρίως στα οπτικά μέσα , ώστε να περνάνε όλα τα διαφορετικά σήματα από ένα καλώδιο οπτικής ίνας αυξάνοντας σημαντικά τις ταχύτητες που μπορούν να στείλουν πληροφορία .

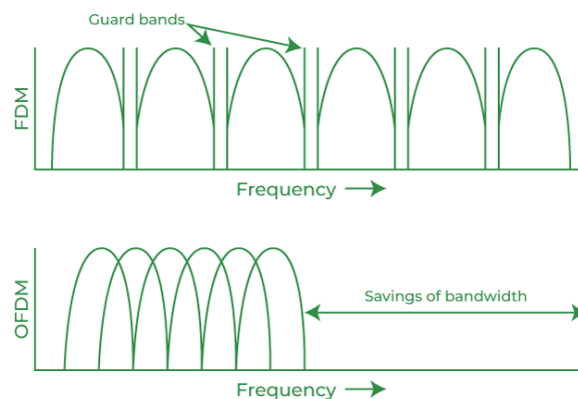
wavelength-division multiplexing (WDM)



Εικόνα 11 – Πολυπλεξία Μήκους Κύματος

1.4.4.4 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Το OFDM είναι μία εξέλιξη του συστήματος FDM με την διαφορά ότι τα κανάλια που έχουν δημιουργηθεί δεν χρειάζεται πλέον να έχουν guard band μεταξύ τους, για τον λόγο ότι οι φορείς είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους. Συγκεκριμένα οι φέρουσες συχνότητες έχουν επιλεγεί έτσι ώστε το μέγιστο ενός φορέα να εμφανίζεται εκεί που ο γειτονικός του φορέας είναι στο σημείο μηδέν.[9]



Εικόνα 12 –Ορθογώνια Πολυπλεξία Συχνότητας

1.4.5 SISO (Single Input, Single Output)

Siso σημαίνει, μία είσοδος και μία έξοδος. Ουσιαστικά είναι ένα σύστημα όπου ο πομπός είναι μία κεραία και ο δέκτης είναι επίσης μία κεραία . Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα όπως Bluetooth, WiFi κλπ. Η μέγιστη χωρητικότητα ενός τέτοιου συστήματος περιγράφεται από το θεώρημα το Shannon :

$$C = W * \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} \right) \frac{bit}{s}$$

(5)

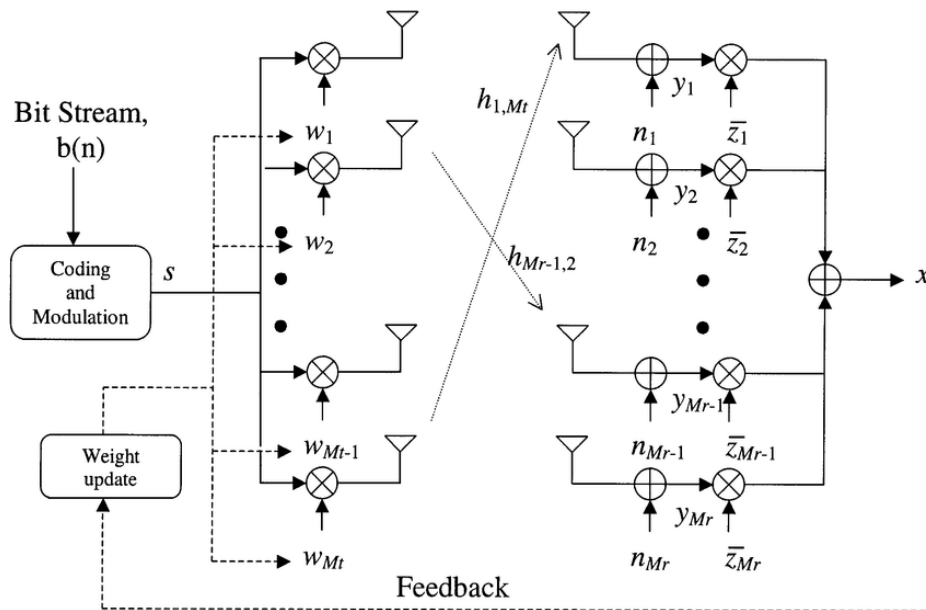
Όπου C είναι η χωρητικότητα του καναλιού , W το εύρος ζώνης , P η εκπεμπόμενη ισχύς και N ο θόρυβος. Τα SISO είναι από τα πιο απλά συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν , αλλά είναι αρκετά επιρρεπή σε φαινόμενα διάλειψης πολλαπλής διαδρομής (multipath fading), με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλές ταχύτητες διάδοσης δεδομένων .[8]



Εικόνα 12 –SISO System

1.4.6 MIMO (Multiple Input, Multiple Output)

MIMO συστήματα είναι αυτά που έχουν πολλαπλές εισόδους και πολλαπλές εξόδους. Το MIMO μπορεί να δουλέψει με διάφορες μεθόδους. Μία από αυτή είναι το beamforming, με το οποίο αν το σύστημα αποτελείται από 4 κεραίες, 2 στον πομπό και 2 σε δύο διαφορετικούς δέκτες, μπορεί η κάθε κεραία να κατευθύνεται προς τον δέκτη που στέλνει τα δεδομένα, ουσιαστικά διπλασιάζοντας την ροή δεδομένων της. Μία άλλη τεχνική είναι σε αυτόν τον αριθμό κεραιών που έχει το σύστημα, να πολλαπλασιάζεται ένα μιγαδικό βάρος σε κάθε έξοδο ενός στοιχείου , και να συνδυάζεται μέσω πρόσθεσης σε μία στοιχειοκεραία .



Εικόνα 13 –MIMO System

2

Μέσο Διάδοσης και

Απώλειες

Το μέσο διάδοσης για ένα σύστημα επικοινωνίας είναι ο αέρας , καλώδια ή και το κενό του διαστήματος, αν υπάρχει δορυφορική ζεύξη . Ο αέρας δεν προσφέρει κάποια αλλοίωση στο σήμα που διαδίδεται , αλλά η απόσταση και άλλα αντικείμενα μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Στα καλώδια οπτικών ινών, λόγω της ανάκλασης κατά την διάδοση του, μικρές αλλαγές στη θέση της ίνας μπορεί να προκαλέσει μεγάλες αλλαγές στο τελικό σήμα . Πολλές φορές υπάρχουν και άλλα σήματα στο περιβάλλον που μπορούν να παρεμβάλουν αυτό του δικού μας συστήματος. Για αυτό τον λόγο όταν μεταδίδεται ένα σήμα από έναν πομπό σε δέκτη, δεν θα έχει ποτέ την αρχική του μορφή .

2.1 Διαλείψεις

Κατά την διάδοση ενός σήματος τα φαινόμενα που περιεγράφηκαν παραπάνω συνδυάζονται και προκαλούν διακυμάνσεις στην ισχύ του σήματος. Λόγω των εμποδίων ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη, παρουσιάζονται τα φαινόμενα σκέδασης , ανάκλασης και διάθλασης , με αποτέλεσμα την αλλαγή της στιγμιαίας ισχύς με τέτοιο τρόπο που καθιστά τα φαινόμενα διάλειψης τυχαίο. Για αυτό τον λόγο μπορούν να προβλεφθούν μόνο στατιστικά με διάφορα μοντέλα , που μπορεί να είναι εμπειρικά ή και φυσικά .

2.1.1 Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας

Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας είναι οι μεταβολές που εμφανίζονται στο πλάτος , συχνότητα και φάση ενός σήματος , σε μικρές αποστάσεις και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις διαλείψεις μικρής κλίμακας είναι πολλοί αλλά οι κυριότεροι είναι:

2.1.1.1 Ανάκλαση (Reflection)

Ανάκλαση είναι το φαινόμενο που όταν ένα σήμα ανακλάτε σε μία επιφάνεια, ένα μέρος του αλλάζει κατεύθυνση αντίθετη από αυτής της επιφάνειας και ένας μέρος της περνάει από αυτήν, το οποίο φαινόμενο λέγεται διάθλαση. Στην ανάκλαση το ανακλώμενο κύμα έχει γωνία ίδια με την γωνία του προσπίπτον κύματος σε σχέση με την κάθετο στην επιφάνεια . Αυτό το φαινόμενο έχει αξιοποιηθεί και για VHF/UHF σήματα τα οποία μπορούσαν να διαδοθούν πέρα από το line of sight , γιατί η τροπόσφαιρα αντανακλούσε τα σήματα πίσω προς την επιφάνεια της γης. [6] . Το πρόβλημα που προκαλεί αυτό το φαινόμενο είναι ότι όταν ανακλάτε ένα σήμα, και ο πομπός με τον δέκτη

έχουν line of sight, τότε το σήμα το λαμβάνει ο δέκτης πάνω από μία φορά, με αποτέλεσμα να προκαλείτε το φαινόμενο multipath fading.

2.1.1.2 Διάθλαση (Refraction)

Το φαινόμενο της διάθλασης είναι το αποτέλεσμα της ανάκλασης, με το σήμα σε αυτή την περίπτωση να περνάει την επιφάνεια με την οποία προσπίπτει. Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από την διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ των 2 μέσων, δηλαδή στο διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Ο δείκτης διάθλασης εκφράζεται από τον λόγο της ταχύτητας φάσης στον ελεύθερο χώρο, c , προς την ταχύτητα φάσης στο μέσο.

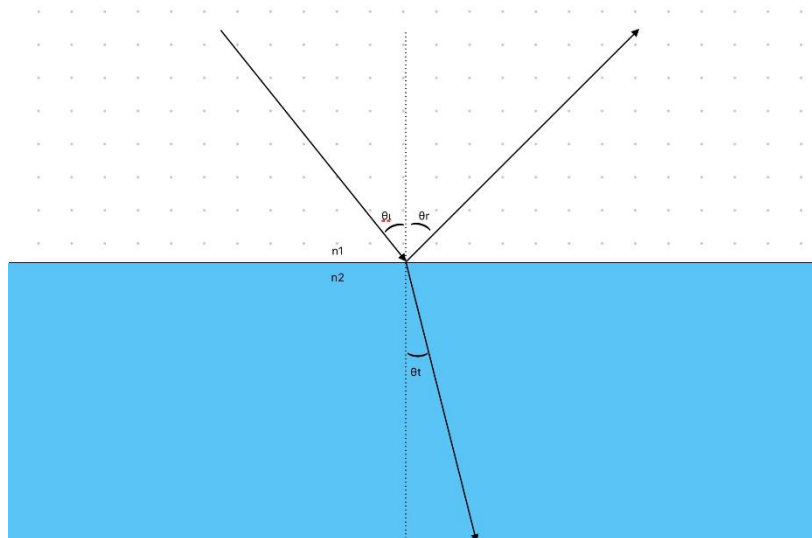
$$n = \frac{c}{v}$$

(6)

Το αποτέλεσμα είναι ο νόμος διάθλασης του Snell

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{k_2}{k_1}$$

(7)



Εικόνα 9 – Νόμος Διάθλασης του Snell

2.1.1.3 Σκέδαση (Scattering)

Τα φαινόμενα ανάκλασης και διάθλασης, έχουν εφαρμογή κυρίως σε λείες επιφάνειες, αλλά όσο η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει το σήμα γίνεται πιο τραχύ, τότε παρουσιάζονται φαινόμενα σκέδασης, δηλαδή διασκορπίζεται το σήμα. Ο βαθμός σκέδασης του σήματος, εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης και πόσο τραχύ είναι η επιφάνεια σε σχέση με το μήκος κύματος. Σε μία τραχύ επιφάνεια, στο φαινόμενο σκέδασης παρατηρείται μία διαφορά φάσης στο προσπίπτον σήμα σε σχέση με το σκεδασμένο, με την διαφορά φάσης να περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta_{\varphi} = \frac{4\pi\Delta h \cos \theta_i}{\lambda}$$

(8)

Με Δh την διαφορά ύψους μεταξύ 2 σημείων που βρίσκονται στην επιφάνεια.

2.1.1.4 Φαινόμενο Doppler

Το φαινόμενο Doppler παρατηρείται όταν υπάρχει διαφορά ταχύτητας μεταξύ πομπού και δέκτη. Ουσιαστικά αυτό συμβαίνει όταν μία από τις 2 κεραίες είναι σταθερή και η άλλη κινείται στο χώρο.

Ένα παράδειγμα είναι το πως εμφανίζονται μακρινοί γαλαξίες στα τηλεσκόπια μας οι οποίοι απομακρύνονται από εμάς. Λόγω της διαφοράς της ταχύτητας του γαλαξία μας με τον γαλαξία τον οποίο παρατηρούμε, το φως «κοκκινίζει» γιατί το μήκος κύματος που λαμβάνουμε εμείς έχει μεγαλώσει λόγω της διαστολής του σύμπαντος.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως σε δορυφορικές επικοινωνίες, καθώς οι δορυφόροι ταξιδεύουν με πολύ μεγάλες ταχύτητες, και το σήμα το οποίο φτάνει στον τερματικό σταθμό έχει λίγο διαφορετική συχνότητα. Η σχέση που το περιγράφει είναι η εξής:

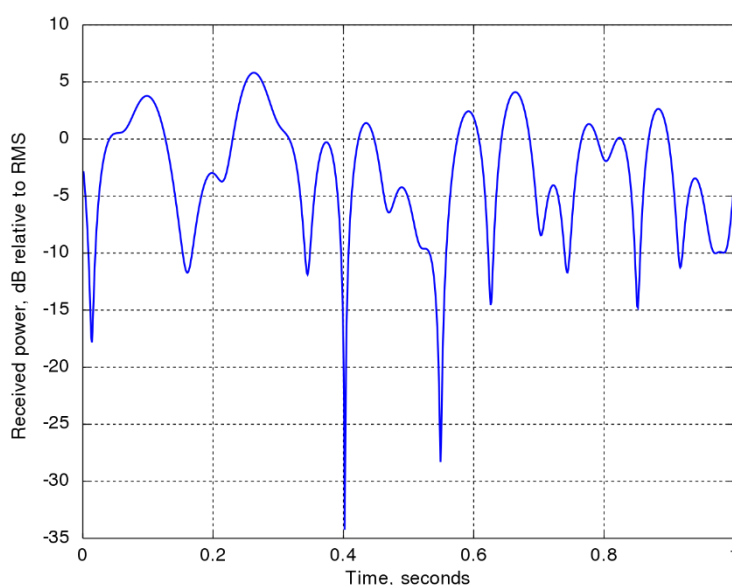
$$f' = \left(\frac{v}{v \pm v_s} \right) f$$

(9)

Με v η ταχύτητα του δέκτη, v_s η ταχύτητα του πομπού, f' η συχνότητα που θα λάβει ο δέκτης και f η συχνότητα του πομπού.[7]

2.1.1.5 Πολυδιαδρομική Διάδοση

Σε ένα ασύρματο σύστημα , όπως έχει αναφερθεί παραπάνω , υπάρχουν πολλά φαινόμενα που αλλοιώνουν το σήμα το οποίο εκπέμπει ο πομπός και δέχεται ο δέκτης. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν ανάκλαση και σκέδαση στη μεταδιδόμενη ενέργεια , κάνοντας πολλά σήματα να φτάσουν στον δέκτη μέσω πολλαπλών διαδρομών. Αν ο πομπός με τον δέκτη έχουν οπτική επαφή , ονομάζεται LOS (Line of Sight) . Στην περίπτωση που υπάρχουν εμπόδια μεταξύ πομπού δέκτη και δεν υπάρχει απευθείας οπτική επαφή η διαδρομή ονομάζεται NLOS(Non Line of Sight). Όταν υπάρχει LOS περίπτωση δεν σημαίνει ότι ο δέκτης δέχεται μόνο την απευθείας ισχυρή διαδρομή , αλλά λαμβάνει και την πολυδιαδρομική .



Εικόνα 10 – Πλάτος Διαλείψεων Rayleigh

2.1.1.6 Κίνηση του Δέκτη ή του Πομπού

Πολλές φορές ο δέκτης ή ο πομπός βρίσκονται σε συνεχή κίνηση με αποτέλεσμα να παρατηρείται το φαινόμενο Doppler το οποίο περιεγράφηκε παραπάνω. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι μία δορυφορική ζεύξη όπου ο πομπός είναι ένας δορυφόρος σε χαμηλής τροχιάς , που εκπέμπει σε ένα τερματικό σταθμό .

2.1.1.7 Κίνηση σκεδαστών

Σε ένα σύστημα που οι χρήστες είναι σταθεροί , μπορούν να εμφανιστούν διαλείψεις λόγω της κίνησης των εμποδίων στο περιβάλλον διάδοσης. Με αυτό τον τρόπο παρατηρούνται στα κύματα πολλαπλής διαδρομής μετατοπίσεις Doppler που μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο.

2.1.2 Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας

Στις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας, παρατηρείται εξασθένιση της μέσης τιμής ισχύος του σήματος λόγω μεγάλων αποστάσεων μεταξύ πομπού και δέκτη, της σχετικής κίνησης που έχουν μεταξύ τους και εμποδίων που προκαλούν σκίαση στο σήμα.

2.1.2.1 Απώλειες Ελευθέρου Χώρου

Πάντα θα υπάρχει κάποια απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, και με την απόσταση αυτή συνεπάγεται και η απώλεια της «δύναμης» του σήματος. Αυτός ο θόρυβος περιγράφεται από το μοντέλο απωλειών ελευθέρου χώρου (free space loss). Το φαινόμενο είναι ίδιο με αυτό μια συνομιλίας 2 ανθρώπων, όσο πιο μακριά βρίσκονται ο ένας από τον άλλον, τόσο πιο δυνατά πρέπει να φωνάζουν. Αυτό οφείλεται στο ότι τα κύματα απλώνονται στο χώρο, οπότε χάνουν την πυκνότητα τους όσο εξαπλώνονται. Μαθηματικά αυτό μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας την ιστροπική ακτινοβολία. Δεδομένου ότι η ισχύς εξαπλώνεται στην επιφάνεια της σφαίρας, η οποία αυξάνεται σε συνάρτηση του r^2 , η ισχύς του σήματος θα μειώνεται αναλογικά προς το r^2 . Η σχέση της απώλειας του ελευθέρου χώρου περιγράφεται παρακάτω:

$$L_f = \frac{P_t G_a G_b}{P_r} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi r f}{c} \right)^2$$

(10)

Όπου P_t είναι η ισχύς εκπομπής, G_a και G_b είναι τα κέρδη των τερματικών κεραιών, r η απόσταση μεταξύ τους και λ το μήκος κύματος

2.1.2.2 Φαινόμενο Σκίασης

Σε ένα περιβάλλον με δεδομένη απόσταση πομπού και δέκτη, μπορούν να βρεθούν εύκολα οι απώλειες διαδρομής λόγω της σταθερής απόστασης. Πρακτικά όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις ο δέκτης είναι μία κινητή συσκευή και αυτό το γεγονός προσθέτει πολυπλοκότητα στο σύστημα. Αυτό με συνδυασμό με εδαφικά εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα, κατά μήκος της διαδρομής, προκαλεί μεταβολές σε σχέση με την ονομαστική τιμή που δίνεται από μοντέλα απωλειών διάδοσης. Αυτό το φαινόμενο λέγεται σκίαση. Ένα διαδεδομένο μοντέλο σκίασης είναι το Log-Normal το οποίο αποτυπώνει τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σήματος σε σχέση με κανονική κατανομή. Ο υπολογισμός της συνάρτησης πυκνότητας για μία συνιστώσα σκίασης L_s με τυπική απόκλιση σ_L προκύπτει από την πρότυπη εξίσωση της γκαουσιανής κατανομής

$$p(L_s) = \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{L_s^2}{2\sigma_L^2} \right]$$

(11)

2.2 Κανάλι AWGN

Το κανάλι AWGN είναι ένας διάυλος αναφοράς που προσθέτει λευκό γκαουσιανό θόρυβο. Όταν σε ένα σύστημα διαδίδει το σήμα μέσω τέτοιων καναλιών, γίνεται μία πρόσθεση λευκού θορύβου (σταθερή φασματική πυκνότητα) όπου περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας με κανονική κατανομή. Αυτό το κανάλι χρησιμοποιείται σε συστήματα όπου ο δέκτης, ο πομπός και περιβαλλόμενα αντικείμενα δεν βρίσκονται σε κίνηση. Το σήμα το οποίο λαμβάνεται περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$y(t) = Au(t) + n(t)$$

(12)

Όπου $n(t)$ η κυματομορφή θορύβου, $u(t)$ το διαμορφωμένο σήμα και A απώλεια διάδοσης που θεωρείται ότι δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο

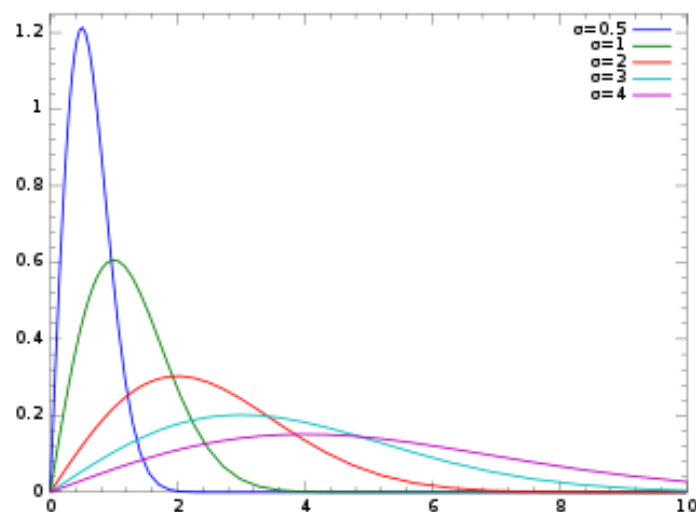
2.3 Κατανομή Rayleigh

Η κατανομή Rayleigh είναι ένα στατιστικό μοντέλο που περιγράφει μία πολυδιαδρομική μετάδοση σήματος με φαινόμενα σκέδασης και σκίασης σε ένα σύστημα. Στο κανάλι με διαλείψεις Rayleigh θεωρείτε ότι υπάρχει NLOS μετάδοση, οπότε το σήμα το οποίο λαμβάνει ο δέκτης είναι συνιστώσες από το αρχικό σήμα που έχει σκεδαστεί. Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) που περιγράφει την κατανομή Rayleigh, προσομοιάζεται από την παρακάτω σχέση

$$p_r(r) = \left(\frac{r}{\sigma^2}\right)e^{-r^2/2\sigma^2}$$

(13)

Με 'σ' τη ρίζα της μέσης τιμής ισχύος του σήματος, και 'r' το πλάτος του σήματος



Εικόνα 11 – Κατανομή Rayleigh

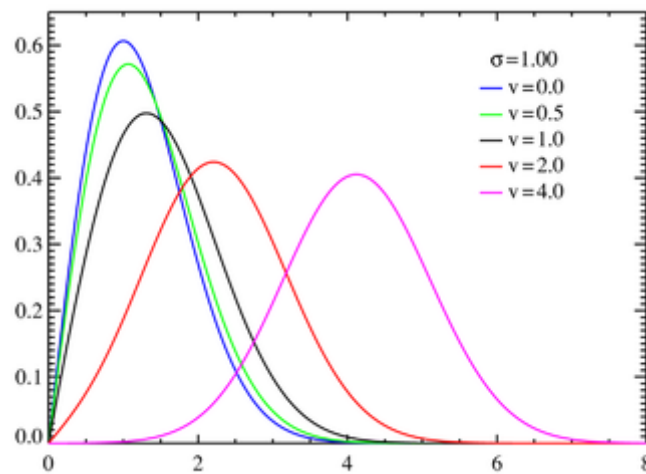
2.4 Κατανομή Rice

Η κατανομή Rice είναι ένα στατιστικό μοντέλο με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτό του Rayleigh . Η διαφορά τους είναι ότι ενώ η Rayleigh κατανομή είναι για NLOS σύστημα, η κατανομή Rice περιγράφει ένα LOS σύστημα. Πρακτικά σημαίνει ότι το πλάτος του λαμβανόμενου σήματος περιγράφεται από μία κατανομή Rayleigh , με επιπλέον μια συνιστώσα οπτικής επαφής όπου έχει σταθερή ισχύ . Η ισχύς της συνιστώσας της οπτικής επαφής θεωρείται συνήθως ότι έχει μεγαλύτερη ισχύ από αυτή της πολυδιαδρομικής ισχύς, προτού θεωρηθεί ότι επηρεάζει σημαντικά την κατανομή Rayleigh [1] . Η PDF της κατανομής Rice περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$p_r(r) = \left(\frac{r}{s^2}\right)e^{-(r^2+s^2)/2\sigma^2}I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right)$$

(14)

Με I_0 η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel μηδενικής τάξης



Εικόνα 12 – Κατανομή Rice

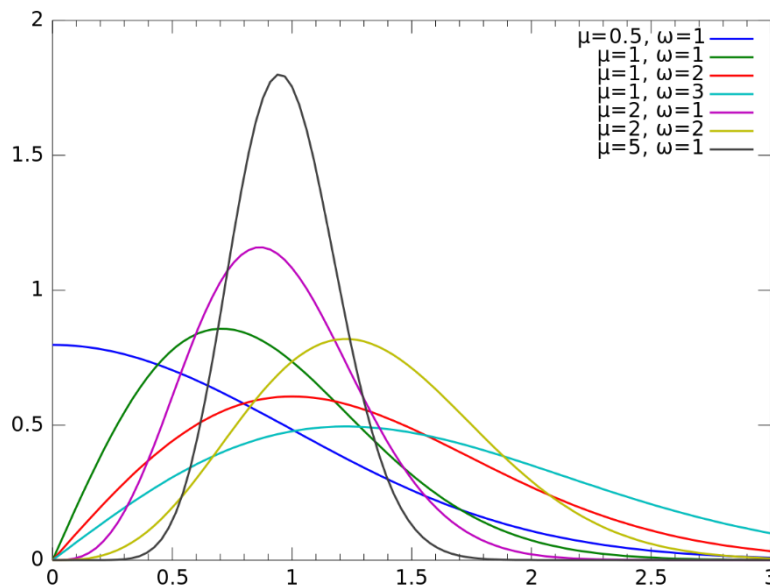
2.5 Κατανομή Nakagami-m

Η κατανομή Nakagami-m είναι μία παραλλαγή των κατανομών Rayleigh και Rice. Η διαφορά τους είναι ότι αν υπάρχουν περιπτώσεις που κανένα από τα 2 μοντέλα δεν μπορεί να περιγράψει την απόδοση του συστήματος, λόγω κάποιων διαδρομών που είναι συγκρίσιμες σε θέμα ισχύς αλλά ισχυρότερες από τις υπόλοιπες, τότε χρησιμοποιείται η κατανομή Nakagami γιατί με τις Rayleigh και Rice δεν θα γίνει σωστή προσέγγιση. Η συνάρτηση πυκνότητας που περιγράφει την κατανομή Nakagami-m δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$p_r(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^2 r^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} r^2}, \quad r \geq 0$$

(15)

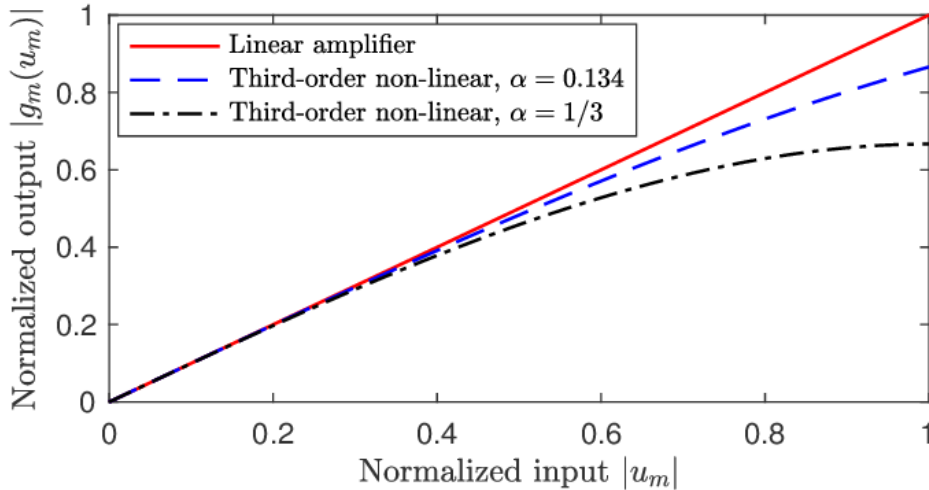
Όπου Ω είναι η ροπή δεύτερης τάξης, με $\Omega = E(r^2)$, και m το βάθος των διαλείψεων. Με $m=0.5$ η Nakagami μετατρέπεται σε μονόπλευρη γκαουσιανή κατανομή, ενώ με $m=1$ μετατρέπεται σε κατανομή Rayleigh



Εικόνα 13 – Κατανομή Nakagami-m

2.6 Μη γραμμικά φαινόμενα

Τα μη γραμμικά φαινόμενα, είναι αυτά τα οποία η επίδραση τους εξαρτάται από την ισχύ του σήματος και όχι από εξωτερικούς παράγοντες. Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται κυρίως σε οπτικά συστήματα, όπως τα φαινόμενα Kerr και την εξαναγκασμένη σκέδαση, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορούν να επηρεάσουν και ένα απλό ασύρματο σύστημα [10]. Τέτοιες περιπτώσεις είναι ένας μη-γραμμικός ενισχυτής. Στους μη γραμμικούς ενισχυτές, το σήμα ενισχύεται αρχικά με γραμμικό τρόπο, μέχρι ένα όριο το οποίο καθορίζεται από τον σχεδιασμό και τα υλικά του, και μετά από αυτό το σημείο ενισχύει μη-γραμμικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ισχύ του σήματος λόγω κορεσμού να μην φτάνει την μέγιστη ισχύ που θα μπορούσε ένας ιδανικός ενισχυτής, και έτσι η έξοδος του πομπού αφότου περάσει από ενισχυτή, να είναι παραμορφωμένη σε σχέση με την είσοδο [11].



Εικόνα 14 – Non linear amplifier

2.7 Παρεμβολές

Όταν σε ένα ασύρματο σύστημα υπάρχουν πολλά κανάλια, είναι λογικό να υπάρχουν και μεταξύ τους παρεμβολές, λόγω των παρόμοιων συχνοτήτων τους. Πολλές φορές αυτές οι παρεμβολές οφείλονται και σε σήματα ή ακτινοβολίες άλλων συστημάτων. Λόγω αυτών των παρεμβολών η απόδοση ενός συστήματος μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό ή ακόμα και να διακοπεί προσωρινά η ζεύξη μεταξύ πομπού και δέκτη [12].

- **Ομοκαναλικές Παρεμβολές (co-channel interference)**

Οι ομοκαναλικές παρεμβολές είναι οι παρεμβολές που προέρχονται από πομπούς που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες

- **Παρεμβολές Παρακείμενου Καναλιού**

Οι παρεμβολές παρακείμενου καναλιού είναι οι παρεμβολές που προέρχονται από άλλα κανάλια που βρίσκονται σε ίδιες ή γειτονικές κυψέλες

Οι παρεμβολές μπορούν να μετρηθούν ως ο λόγος σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio)

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{I_o} I_i}$$

(16)

Λόγος σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή

$$SINR = \frac{S}{I + N} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{I_o} I_i + N}$$

(17)

3

Τεχνικές Διόρθωσης

Σήματος

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε η λειτουργία ενός ασύρματου συστήματος, από τον πομπό μέχρι και τον δέκτη. Παρουσιάστηκαν τα προβλήματα που προκύπτουν από το περιβάλλον, από χρήστες και από άλλους παράγοντες και το πως επηρεάζουν ένα σήμα από την στιγμή που αρχίζει την εκπομπή ο πομπός μέχρι και την λήψη του από τον δέκτη. Για την λύση αυτών των προβλημάτων υπάρχουν πολλές τεχνικές αλλά θα δοθεί έμφαση στην διόρθωση του σήματος με την χρήση νευρωνικών δικτύων και τεχνικών μηχανικής μάθησης

3.1 Ισοσταθμιστές (Equalizers)

Equalizers ή ισοσταθμιστές είναι τεχνικές αντιμετώπισης σφάλματος διασυμβολικής παρεμβολής. Οι κατηγορίες που χωρίζονται είναι κυρίως οι γραμμικοί, όπως οι Forward Error Correction (FEC) και Mean Square Error Equalizer (MMSE), και οι μη γραμμικοί, όπως Decision Feedback Equalizer (DFE) και Maximum Likelihood Sequence Estimation (MLSE). Η μοντελοποίηση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να περιγραφεί με την εξής μορφή

$$y(t) = x(t) * h(t) + n(t)$$

(18)

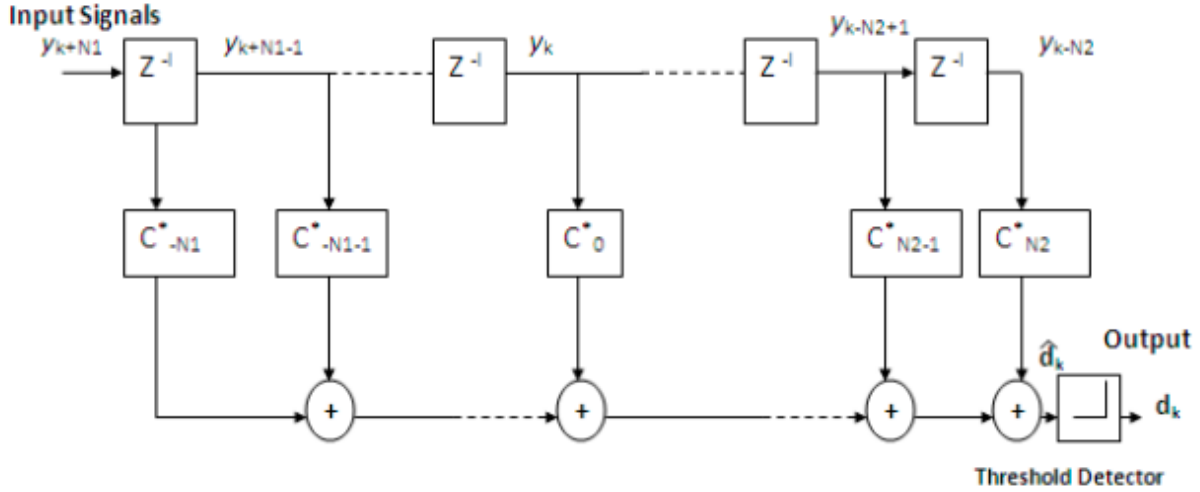
Με $h(t)$ την κρουστική απόκριση του καναλιού, και μετά την ισοστάθμιση να έχει την μορφή:

$$y(t) = x(t) * h(t) * h_{eq}(t) + n(t) * h_{eq}(t)$$

(19)

3.1.1 Γραμμικοί Ισοσταθμιστές

Η έξοδος των γραμμικών Ισοσταθμιστών είναι γραμμική συνάρτηση της εισόδου τους. Η δομή τους είναι η εξής, οι τρέχουσες και οι προηγούμενες τιμές του λαμβανόμενου σήματος σταθμίζονται γραμμικά με το συντελεστή ενός φίλτρου και αθροίζονται για να παραχθεί η έξοδος [13]. Η έξοδος του συστήματος μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω εικόνα



Εικόνα 15 – Linear Equalizer

Με την έξοδο του φίλτρου να περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\hat{d}_k = \sum_{n=-N_1}^{N_2} (c_n^*) y_{k-n}$$

(20)

3.1.1.1 Ισοσταθμιστής Zero-Forcing

Ο ισοσταθμιστής Zero Forcing ,παίρνει την κρουστική απόκριση του καναλιού $h(t)$ και προσπαθεί να την επαναφέρει πολλαπλασιάζοντας τη με τα κατάλληλα βάρη , ώστε αν πολλαπλασιαστεί με το λαμβανόμενο σήμα να έχει σαν έξοδο την κρουστική απόκριση του καναλιού χωρίς τις διαλείψεις.

3.1.1.2 Ισοσταθμιστής Minimum Mean Square Error

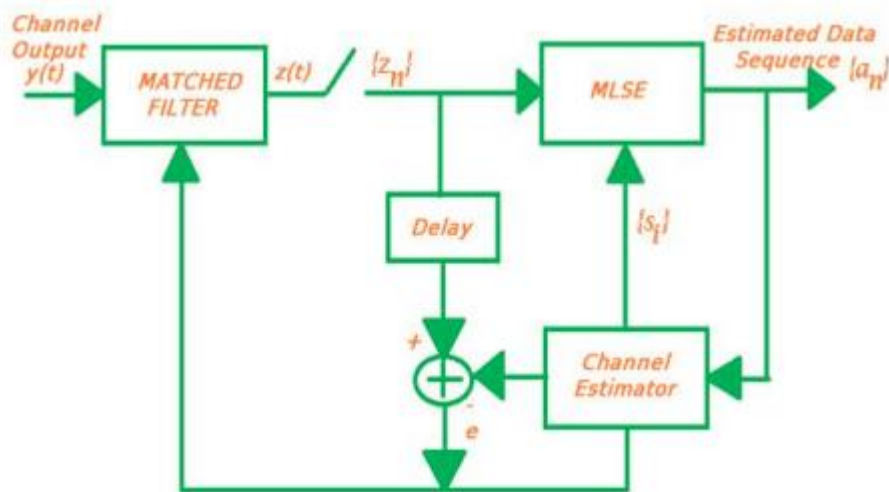
Ο ισοσταθμιστής Minimum Mean Square Error είναι πιο εξελιγμένος αλγόριθμος σε σχέση με τον Zero Forcing γιατί λαμβάνει υπόψη τον θόρυβο του καναλιού και τα χαρακτηριστικά χρόνου συχνότητας. Υπολογίζει το κέρδος ως τροποποιημένο λόγο ο οποίος λαμβάνει υπόψιν του την επίδραση του ασυσχέτιστου θορύβου καναλιού .

3.1.2 Μη Γραμμικοί Ισοσταθμιστές

Οι μη γραμμικοί ισοσταθμιστές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου ο θόρυβος στο κανάλι είναι πολύ περίπλοκος ώστε να διορθωθεί με γραμμικές μεθόδους. Επειδή οι γραμμικοί ισοσταθμιστές δουλεύουν με τέτοιο τρόπο με τον οποίο δεν λαμβάνουν υπόψη τον θόρυβο, οι μη γραμμικές μέθοδοι προσφέρουν καλύτερη απόδοση σε ένα σύστημα.

3.1.2.1 Maximum Likelihood Sequence Estimation (MLSE)

Το MLSE είναι ένας ισοσταθμιστής που ελέγχει όλες τις πιθανές εξόδους και διαλέγει σαν έξοδο τα δεδομένα που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι τα σωστά χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Viterbi. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι προσθέτει μεγάλη καθυστέρηση στον υπολογισμό της εξόδου και αυτή η πολυπλοκότητα είναι ανάλογη με το μέγεθος της εξόδου που προσπαθεί να υπολογίσει [14].



Εικόνα 16 – MLSE

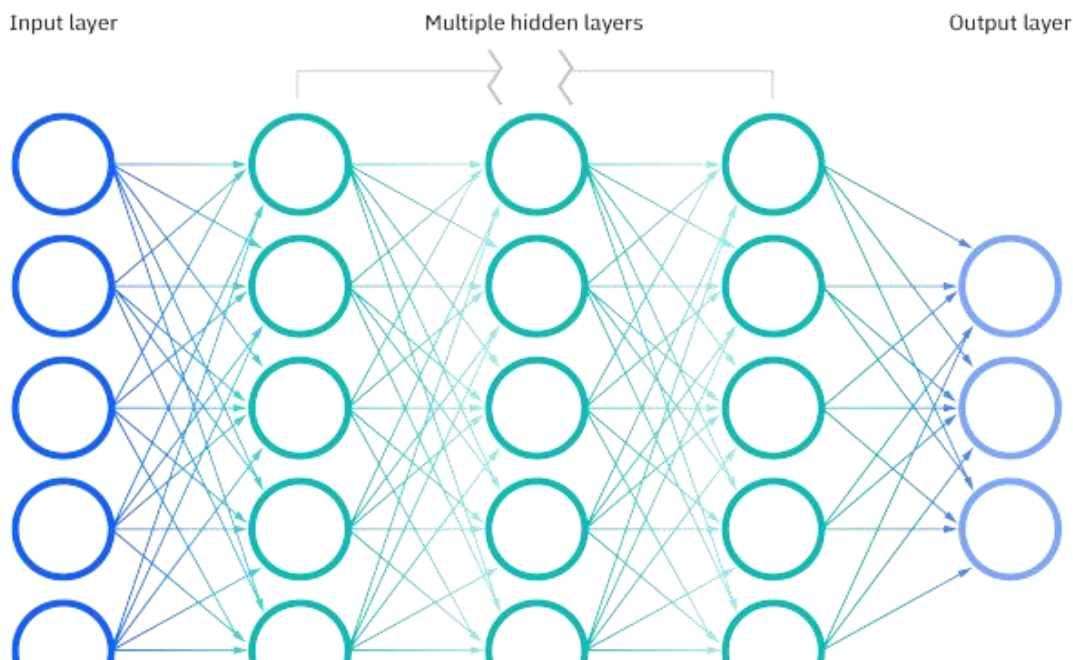
3.2 Forward Error Correction (FEC)

Η τεχνική αυτή είναι ένας πολύ απλός τρόπος διόρθωσης σφαλμάτων χωρίς την παρουσία επιπλέον κυκλωμάτων. Ο τρόπος που λειτουργεί είναι ότι υπάρχει μία κωδικοποίηση bits τα οποία αντί να σταλθεί η πραγματική σειρά των bit, στέλνεται η κωδικοποιημένη, η οποία όμως έχει περισσότερα bit από την αρχική. Στην μετάδοση, όταν σταλούν τα κωδικοποιημένα bit και υπάρχει κάποιο λάθος, συγκρίνεται με ποια κωδικοποίηση υπάρχουν λιγότερες διαφορές και την διαλέγει αλλάζοντας τα στην αρχική τους σειρά. Το πρόβλημα όμως με αυτή την τεχνική είναι ότι απαιτείται να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης bit αλλά χωρίς να αυξάνεται πραγματικά η ταχύτητα της πληροφορίας.

3.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)

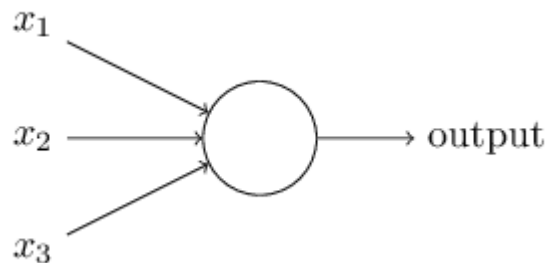
Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα τα τελευταία χρόνια αρχίζουν και εμφανίζονται ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα μας. Ο τρόπος που λειτουργούν είναι προσομοιάζοντας το νευρικό σύστημα ενός ζωντανού οργανισμού , εκπαιδεύοντας το με τα κατάλληλα δεδομένα και τέλος παρουσιάζεται ένα αποτέλεσμα με τις πιθανές λύσεις στο πρόβλημα που καλείται να λύσει. Το πλεονέκτημα των νευρωνικών δικτύων είναι ότι πολλά προβλήματα που προσπαθούν να λύσουν είναι πολύ περίπλοκα για να λυθούν με συμβατές μεθόδους ή με προσεγγιστικές μεθόδους πιθανοτήτων . Για αυτόν τον λόγο είναι μία πολύ καλή μέθοδος ώστε να διορθώσει γραμμικά και μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία εμφανίζονται σε ένα περιβάλλον ασύρματης μετάδοσης σήματος , χρησιμοποιώντας το ίδιο εύρος ζώνης και βελτιώνοντας την ταχύτητα.

Ένα ANN αποτελείται από κόμβους οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και κάνουν την επεξεργασία πληροφοριών . Η σύνδεση τους γίνεται μέσω links τα οποία έχουν το δικό τους βάρος . Αυτό το βάρος είναι ένας αριθμός ο οποίος ανάλογα με την τιμή του αντιπροσωπεύει και την βαρύτητα στην σύνδεση των νευρώνων [15] . Οι νευρώνες μεταξύ τους ομαδοποιούνται σε layers , που αντιστοιχούν σε επίπεδα εισόδου, κρυφά επίπεδα και επίπεδα εξόδου. Η διαδικασία εκμάθησης ενός νευρωνικού δικτύου είναι ουσιαστικά η μεταφορά δεδομένων μεταξύ νευρώνων και η αλλαγή των βαρών τους ώστε να εκπροσωπούν σωστά τα αποτελέσματα στα οποία εκπαιδεύονται .



Εικόνα 17 – Simple Neural Network

Το πιο απλό μοντέλο τεχνητού νευρώνα είναι το Perceptron. Το Perceptron παίρνει δυαδικές εισόδους $x_1, x_2, \dots$, και παρέχει μία δυαδική έξοδο



Εικόνα 18 – Perceptron Neural

Με την εισαγωγή βαρών η έξοδος του νευρώνα καθορίζεται από το άθροισμα των βαρών και των εισόδων .

$$\sum_j w_j x_j$$

(21)

Επειδή η έξοδος του νευρώνα είναι δυαδική, μπορεί να μπει ένα κατώφλι που είναι το αποτέλεσμα της (21) , το οποίο αν είναι μεγαλύτερο η έξοδος είναι 1 ή αν είναι μικρότερο η έξοδος είναι 0 . [16]

$$output = \begin{cases} 0 \text{ if } \sum_j w_j x_j \leq \text{κατώφλι} \\ 1 \text{ if } \sum_j w_j x_j \geq \text{κατώφλι} \end{cases}$$

(22)

Το κατώφλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συνάρτηση ενεργοποίησης που αναλόγως την έξοδο αποφασίζεται αν θα ενεργοποιηθεί ο νευρώνας η όχι . Τα πιο βασικά είδη συναρτήσεων ενεργοποίησης είναι τα παρακάτω

1. Σιγμοειδής συνάρτηση:

$$\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \tan x$$

(23)

2. Βηματική

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

(24)

3. Γραμμική

$$\varphi(x) = ax$$

(25)

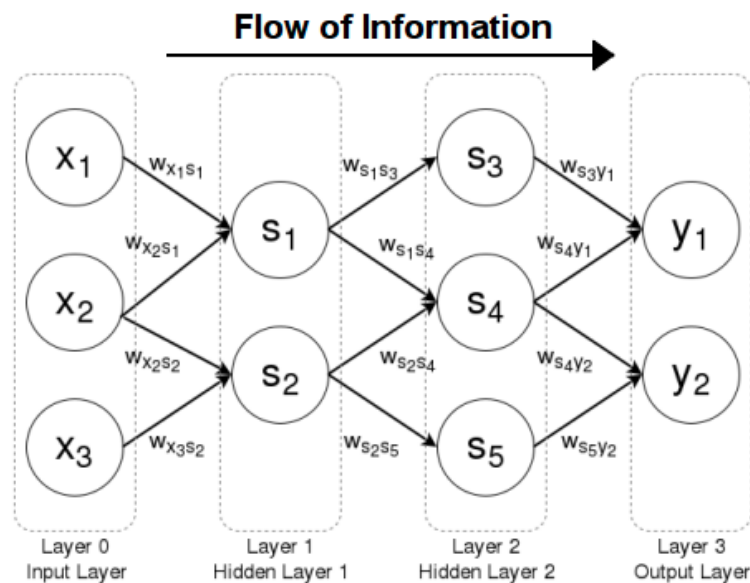
Τέλος μπορεί και να προστεθεί και μία τιμή b που περιγράφει την εξωτερική πόλωση (Bias) και μπορεί να επηρεάσει θετικά η αρνητικά την διέγερση της συνάρτησης ενεργοποίησης. Οπότε η τελική μορφή της εξόδου του νευρώνα είναι η παρακάτω

$$y = \varphi \left(\sum_{j=1}^n w_j x_j + b \right)$$

(26)

3.3.1 Feed Forward Networks (FNN)

Το Feed Forward Network περιγράφει το πως τα δεδομένα μεταφέρονται ανάμεσα στα επίπεδα του νευρωνικού δικτύου. Ουσιαστικά feed forward θα μπορούσε να μεταφραστεί ως εμπρός τροφοδότηση των δεδομένων, δηλαδή δεν υπάρχει ανατροφοδότηση μεταξύ των νευρώνων εισόδου και εξόδου. Στην πράξη η πληροφορία περνάει σαν είσοδο στους πρώτους νευρώνες και στη συνέχεια μεταδίδεται στα επόμενα επίπεδα μέχρι να γίνουν όλες οι αλλαγές λόγω βαρών και τέλος να φτάσουν στους νευρώνες εξόδου και να δώσουν το αποτέλεσμα. Ένα μειονέκτημα των FNN είναι ότι επειδή η πληροφορία έχει μόνο μία κατεύθυνση και δεν ανατροφοδοτείται, δεν υπάρχει μνήμη στο σύστημα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πρόβλεψη για το τι θα ακολουθήσει, γιατί δεν υπάρχει η πληροφορία της προηγούμενης εισόδου.



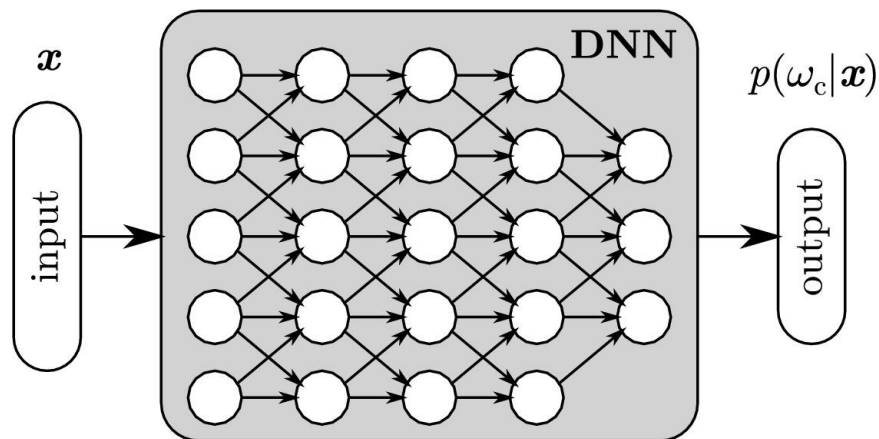
Εικόνα 19 – Feed Forward Network

3.3.2 Recurrent Neural Network (RNN)

Το Recurrent Neural Network είναι ένα νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων αλλά η διαφορά του σε σχέση με ένα Feed Forward Network είναι ότι οι νευρώνες είναι μπορούν να είναι συνδεδεμένοι είτε με τον εαυτό τους ή να είναι είσοδος σε νευρώνες από τους οποίους δέχθηκαν είσοδο ή και σε προηγούμενα επίπεδα. Αυτή η διαφορετική συνδεσμολογία τους δίνει την δυνατότητα να υπάρχει μνήμη ανάμεσα στα layers αλλά με το πρόβλημα που δημιουργείτε να βρίσκεται στις μεθόδους εκμάθησής τους και χρειάζονται περίπλοκοι αλγόριθμοι. Τα δίκτυα αυτά χωρίζονται σε Globally RNN και σε Locally RNN. Όπως λένε και οι λέξεις τους, το Globally RNN δίνει την δυνατότητα στους νευρώνες του να μπορούν να γίνουν είσοδος στον εαυτό τους αλλά και σε οποιοδήποτε άλλο νευρώνα σε όλα τα επίπεδα. Το Locally RNN, αφήνει την σύνδεση σε βρόγχους που βρίσκονται μόνο στο ίδιο επίπεδο και με αυτόν τον τρόπο είναι πολύ πιο απλοί στην σχεδίαση και στην εκπαίδευση σε σχέση με τους Globally RNN.

3.3.3 Deep Neural Networks (DNN)

Τα DNN είναι μία επέκταση των ANN, με την διαφορά ότι έχουν πολλά κρυφά επίπεδα και οι νευρώνες σε αυτά τα επίπεδα είναι μεταξύ τους συνδεδεμένοι και δέχονται σαν είσοδο την έξοδο των νευρώνων του προηγούμενου επιπέδου. Χρησιμοποιούνται για περίπλοκα προβλήματα λόγω της μορφής τους και των πολλών επιπέδων τους αλλά χρειάζονται μεγάλη υπολογιστική ισχύ ώστε να εκπαιδευτούν. [17]



Εικόνα 20 – Deep Neural Network

3.4 Τεχνικές Εκμάθησης

Όλα τα νευρωνικά δίκτυα χρειάζονται να εκπαιδευτούν ώστε να έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα . Για να γίνει μία εκπαίδευση χρειάζεται μεγάλος όγκος δεδομένων ο οποίος τροφοδοτείται στο σύστημα , περνάει μέσα από το δίκτυο και στο τέλος η έξοδος του συγκρίνεται με την επιθυμητή έξοδο και γίνονται οι κατάλληλες αλλαγές . Η παραπάνω διαδικασία χωρίζεται σε 2 κατηγορίες , την Supervised Learning και την Unsupervised Learning.

3.4.1 Supervised Learning

Στην Supervised Learning , υπάρχει μία διαδικασία που ακολουθείτε . Τα δεδομένα είναι σωστά φτιαγμένα ώστε να μπορούν να περάσουν από το δίκτυο και να βγάλουν μία συσχετισμένη έξοδο. Με αυτό τον τρόπο όταν ξεκινάει η εκπαίδευση ,στην αρχή η έξοδος του συστήματος παρουσιάζει μεγάλα σφάλματα για τον λόγο ότι τα βάρη δεν έχουν τροποποιηθεί αρκετά ώστε να υπάρξει σωστή έξοδος. Μετά από πολλές επαναλήψεις , τα σφάλματα μειώνονται και πλέον αρχίζουν και χρησιμοποιούνται καινούργια δεδομένα ώστε να επαληθευτεί ότι η εκπαίδευση πέτυχε τον στόχο σφαλμάτων που επιλέχθηκε. Ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι ότι αν η εκπαίδευση γίνει με πολλά δεδομένα ή με τα ίδια αλλά πολλές φορές περασμένα, προκαλείται το φαινόμενο overfitting . Ουσιαστικά το σφάλμα του συστήματος είναι χαμηλό αλλά αυτό οφείλεται στο ότι το νευρωνικό δίκτυο έχει εκπαιδευτεί πολύ καλά αλλά μόνο για τα δεδομένα της εκμάθησης και όταν παρουσιάζονται καινούργια δεδομένα για την δοκιμή του συστήματος , προκύπτει διαφορετικό σφάλμα σε σχέση με την εκπαίδευση. Οπότε είναι σημαντικό τα δεδομένα τα οποία εκπαιδεύεται ένα νευρωνικό δίκτυο να μην είναι μεγάλα σε αριθμό ώστε να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο.

3.4.2 *Unsupervised Learning*

Σε αυτή την μέθοδο το σύστημα δέχεται σαν είσοδο δεδομένα τα οποία δεν είναι απαραίτητα επεξεργασμένα σαν τα δεδομένα που μπαίνουν σε Supervised σύστημα. Τέτοια δεδομένα είναι συνήθως πιο ασαφή και ο σκοπός που περνάνε μέσα από ένα νευρωνικό δίκτυο είναι για να βρεθεί μία συσχέτιση μεταξύ τους ,ή να κατηγοριοποιηθούν σε group και τέλος να ομαδοποιηθούν . Για να σταματήσει ένα τέτοιο δίκτυο απαιτείται ένα κριτήριο τερματισμού . Σε σχέση με την Supervised Learning αυτή η μέθοδος είναι πιο αργή αλλά δεν απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς.

3.4.3 *Ισως ένα ακόμη κεφαλαιο με back propagation*

3.5 *Linear Regression*

Linear Regression είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί ένα στατιστικό μοντέλο για την πρόβλεψη μιας επιθυμητής εξόδου Y βασισμένη σε μία η και περισσότερες μεταβλητές X . Λειτουργεί δημιουργώντας μία συνάρτηση η οποία προσπαθεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά μία γραμμική συνάρτηση του X . Χρησιμοποιώντας τον αριθμό μεταβλητών που αποτελούνται τα δεδομένα που θέλουμε να βρούμε την συσχέτιση μεταξύ τους, τα αναθέτουμε βάρη τα οποία πολλαπλασιάζονται με τα δεδομένα αυτά ώστε να υπολογιστεί το αποτέλεσμα Y . Η εξίσωση που περιγράφει το Linear Regression μπορεί να περιγράψει με τον παρακάτω τύπο.

$$\hat{y} = b_0 + wx \quad (27)$$

Ο τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Linear Regression είναι να περαστούν τα «σύμβολα» του σήματος αφότου έχουν περάσει από ένα κανάλι, και να δημιουργηθεί η γραμμική συνάρτηση προσπαθώντας να προσεγγίσει το αρχικό σήμα. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει μία πρόβλεψη μεταξύ των συμβόλων που λήφθηκαν σε σχέση με σύμβολα προηγούμενης χρονοσειράς ώστε να υπολογιστεί η μεταβολή του καναλιού χρονικά. Το πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι μπορεί να λύσει μόνο γραμμικά φαινόμενα οπότε μία λύση για τα μη γραμμικά φαινόμενα είναι απαραίτητη.

3.6 Long Short-Term Memory Networks-LSTM

Το LSTM είναι ένα δίκτυο τύπου RNN το οποίο λόγω του σχεδιασμού του έχει περισσότερη μνήμη από άλλα neural networks και με αυτό τον τρόπο μπορεί να έχει αποθηκευμένες χρονοσειρές δεδομένων ώστε να κάνει πρόβλεψη μελλοντικών συμβόλων . Ένα LSTM δίκτυο αποτελείται από το Cell το οποίο περιλαμβάνει :

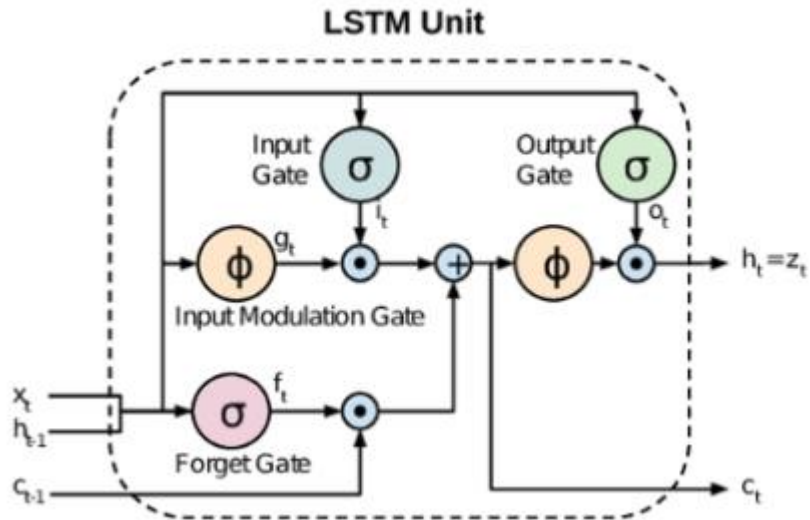
- Input gate
- Output gate
- Forget gate

Με αυτά τα gates ένα cell μπορεί να ελέγξει πόσα δεδομένα να αποθηκεύσει και ποια από αυτά να περάσουν σαν input και output. Με την forget gate αποφασίζει πόσες πληροφορίες μπορούν να διαγραφτούν λαμβάνοντας την έξοδο του προηγούμενου κελιού αλλά και την τρέχουσα είσοδο . Η Input gate με τον ίδιο τρόπο αποφασίζει ποια πληροφορία θα περάσει στο current state, και τέλος η output gate ποια θα είναι η έξοδος με βάση το current & previous state. Η κάθε απόφαση του κελιού αποφασίζεται από μία σιγμοειδή συνάρτηση .

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

(28)

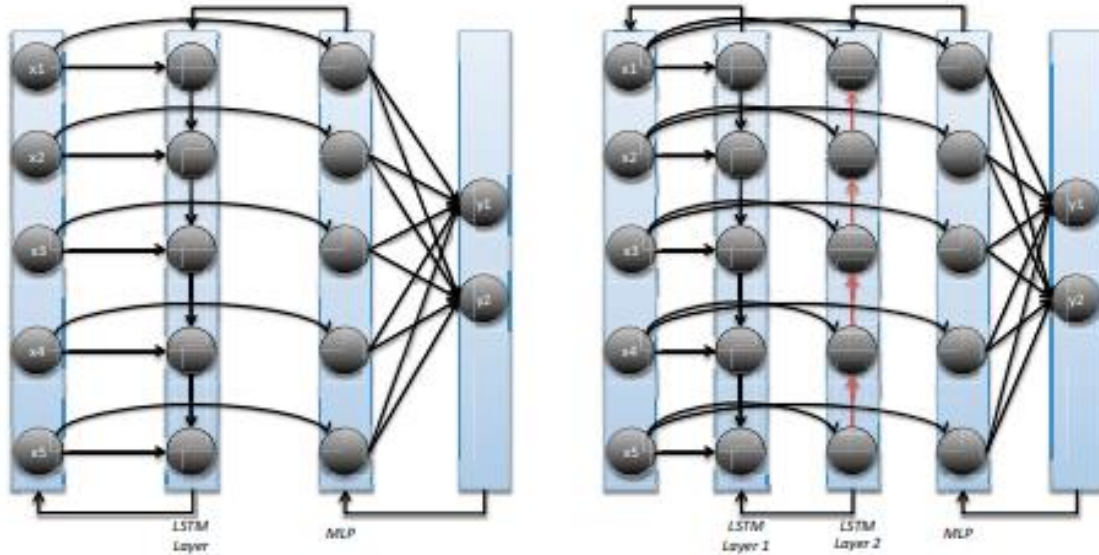
Όπου f_t είναι η forget gate, σ η σιγμοειδής συνάρτηση , h_{t-1} είναι η προηγούμενη έξοδος, x_t η τρέχουσα είσοδος και b_f η εξωτερική πόλωση.



Εικόνα 21 – LSTM Cell

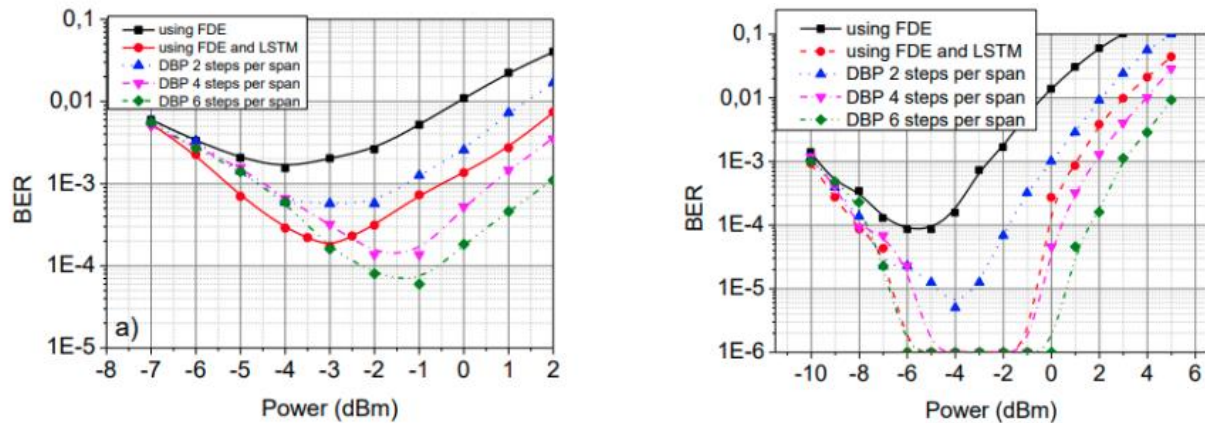
3.6.1 Bi-LSTM

Το Bi-LSTM είναι μία εξελιγμένη έκδοση του LSTM, όπου χρησιμοποιείται το μοντέλο διπλής κατεύθυνσης. Ουσιαστικά χρησιμοποιούνται δύο κρυφά επίπεδα σε σχέση με ένα που χρησιμοποιεί ένα απλό LSTM, στα οποία τα δεδομένα τρέχουν στην είσοδο από το παρελθόν στο μέλλον και αντίστροφα. [18]



Εικόνα 22 – LSTM and Bi-LSTM

Με αυτό τον τρόπο αποθηκεύει πληροφορίες από το παρελθόν αλλά και από το μέλλον. Τα Bi-LSTM λόγω των χαρακτηριστικών τους είναι καλύτερα στην αντιμετώπιση των μη γραμμικών φαινομένων παρουσιάζοντας παρόμοια απόδοση με την μέθοδο DBP . Από το άρθρο [19] παρατηρείται ότι όταν χρησιμοποιούνται Bi-LSTM μπορούν να διορθωθούν μη γραμμικά φαινόμενα με αποτέλεσμα την μείωση του BER με παρόμοια αποτελέσματα με την χρήση DBP. Συγκεκριμένα σε ένα σύστημα οπτικής ίνας χρησιμοποιήθηκε ένα σήμα 16 QAM με ρυθμό μετάδοσης 25 Gbaud/s , με ενίσχυση κάθε 50 km και εικόνα θορύβου 5 db.



Εικόνα 23 – DBP and Bi-LSTM

Το συμπέρασμα είναι ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αποδεικνύει ότι τα Bi-LSTM μπορούν να αποδώσουν παρόμοιο BER με την μέθοδο DBP 4 βημάτων και είναι λιγότερο αποδοτικά από αυτή των 6. Ωστόσο όταν χρησιμοποιείται σύστημα πολυπλεξίας 10 WDM το Bi-LSTM έχει καλύτερη απόδοση, αποδεικνύοντας ότι είναι μία μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του θορύβου με βάση τα προηγούμενα σύμβολα.

3.7 Reservoir Computing

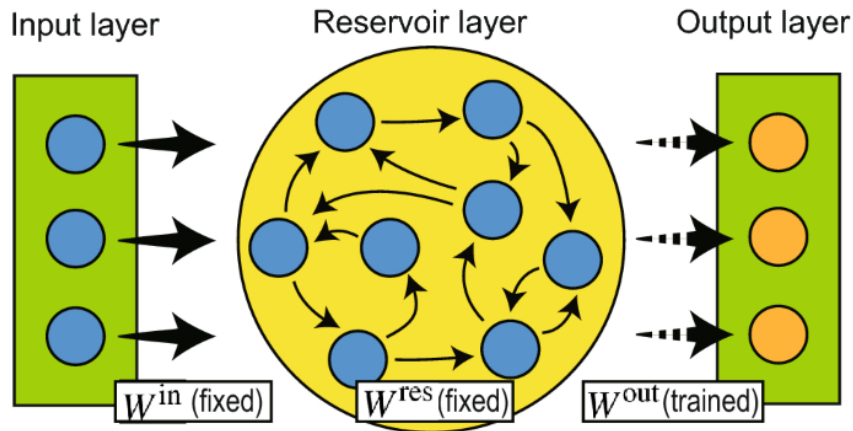
Το Reservoir Computing είναι ένα μοντέλο το οποίο βασίζεται στην λογική των RNN. Το βασικό του μοντέλο αποτελείται από το επίπεδο εισόδου ,του reservoir και εξόδου. Η σχέση που περιγράφει αυτό το σύστημα είναι :

$$X(n) = f(X_{in}x_{in} + W_{int}X(n-1) + b)$$

(29)

Με x_{in} τα δεδομένα εισόδου , f η μη γραμμική συμπεριφορά των κόμβων , W_{int} τα εσωτερικά βάρη και W_{in} τα βάρη εισόδου.

Σε ένα σύστημα RC τα βάρη στο επίπεδο της εισόδου και στο επίπεδο του reservoir είναι σταθερά και αρχικοποιούνται τυχαία. Για αυτό τον λόγο μόνο τα βάρη που βρίσκονται στις συνδέσεις μεταξύ του Reservoir και του επιπέδου εξόδου είναι μεταβλητές. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική , τα δεδομένα που χρειάζονται για την εκπαίδευση ενός τέτοιου δικτύου είναι σημαντικά λιγότερα από οποιοδήποτε άλλο RNN δίκτυο μειώνοντας την πολυπλοκότητα. Ουσιαστικά γίνεται ένα linear regression στο επίπεδο εξόδου ώστε τα βάρη να προσαρμοστούν με βάση την επιθυμητή έξοδο.



Εικόνα 24 – RC Layers

4

Προσομοίωση

Στην προσομοίωση που έγινε θα δειχθεί πως ένα ασύρματο σύστημα μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση του Reservoir Computing και την διαφορά του με άλλες τεχνικές όπως Linear Equalizer. Τα αποτελέσματα θα δείξουν ότι σε ένα τέτοιο σύστημα που η μη γραμμικότητα του καναλιού επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του, οι τεχνικές που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 3.7 έχουν καλύτερα αποτελέσματα από αυτές του 3.5. Το κανάλι θα προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας κατανομή Rayleigh, με την χρήση καθυστέρησης των συμβόλων μέχρι και 4 σύμβολα και θα συγκριθούν οι διαφορές των BER. Η διαμόρφωση που επιλέχθηκε είναι PAM 4 και QPSK, με το σήμα να περνάει από έναν μη γραμμικό ενισχυτή για την προσομοίωση της μη γραμμικότητας. Το σήμα θεωρείται ότι έχει ισχύ 0dbW

4.1 Narma Time Series Sequence

Ένα παρόμοιο πρόβλημα με αυτό που θέλουμε να λύσουμε είναι η πρόβλεψη του Narma. Narma είναι ένα αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο κινητού μέσου όρου. Περιγράφεται με τον παρακάτω κώδικα.

```
%% create input
inputSequence = [ones(sequenceLength,1) rand(sequenceLength,1)];

% use the input sequence to drive a NARMA equation

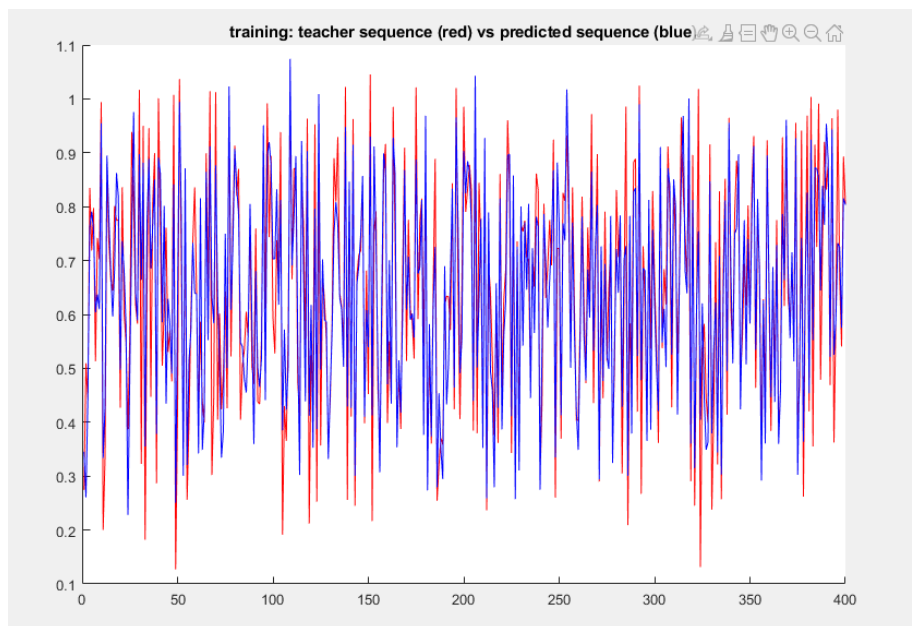
outputSequence = 0.1*ones(sequenceLength,1);

for i = memoryLength + 1 : sequenceLength
    % insert suitable NARMA equation on r.h.s., this is just an ad hoc
    % example
    outputSequence(i,1) = 0.7 * inputSequence(i-memoryLength,2) + 0.1 ...
        + (1 - outputSequence(i-1,1)) * outputSequence(i-1,1);
end
```

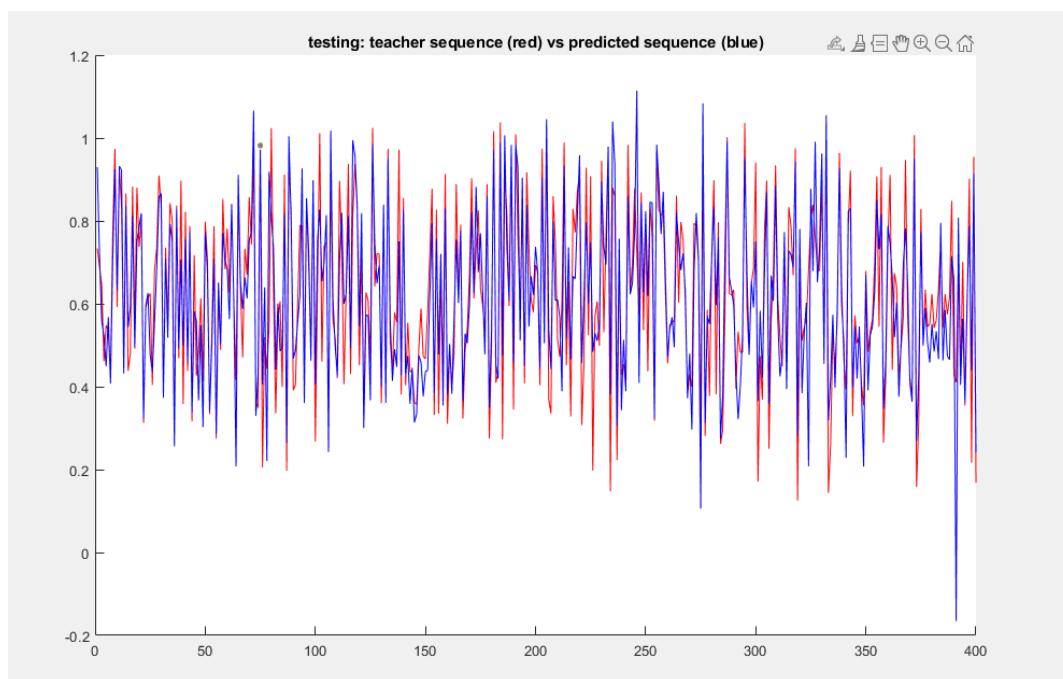
Εικόνα 24 – Κανάλι Rayleigh

Ουσιαστικά δημιουργεί μία σειρά με αριθμούς όπου κάθε καινούργιος αριθμός έχει σχέση με τον προηγούμενο του. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα Reservoir ώστε να προβλέπει

ποιος θα είναι ο επόμενος αριθμός λόγω της σχέσης του με τους προηγούμενους και της μνήμης που έχει το Reservoir



Γράφημα 1 – Training Narma Sequence



Γράφημα 2 – Testing Narma Sequence

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι στην αρχή το Reservoir μπορεί να προβλέψει πολύ κοντά στην πραγματική τιμή του Narma sequence αλλά όσο συνεχίζει στην πρόβλεψη του αρχίζει και αυξάνεται το testing Error

4.2 Στοιχεία καναλιού

Το κανάλι που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου Rayleigh με τις παρακάτω παραμέτρους και έπειτα ανάλογα με την προσομοίωση προστίθεται θόρυβος AWGN

```
Rayleigh =comm.RayleighChannel(...  
    'SampleRate',channelRate, ...  
    'PathDelays',[0 1 2 3]*(1/channelRate), ...  
    'AveragePathGains',[0 0 0 0], ...  
    'NormalizePathGains',true, ...  
    'RandomStream','mt19937ar with seed', ...  
    'Seed',Seed, ...  
    'PathGainsOutputPort',true);
```

Εικόνα 25 – Κανάλι Rayleigh

4.3 NonLinear Amplifier για PAM 4

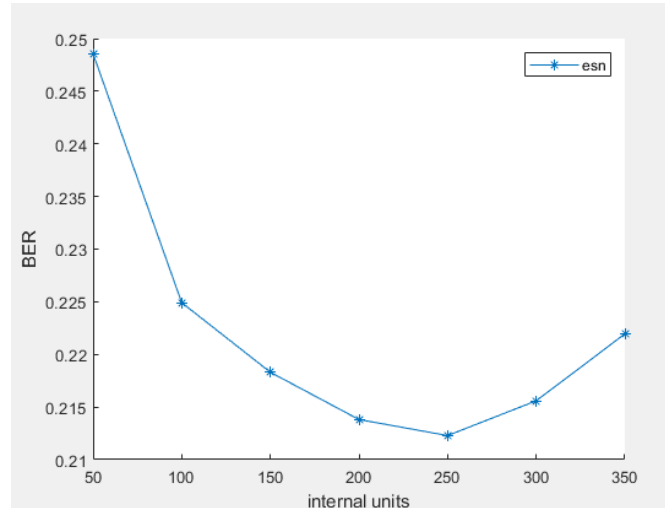
Στον μη γραμμικό ενισχυτή, το σύμβολο ενισχύεται με μία tanh η οποία προσαρμόζεται στην περιοχή του κάθε συμβόλου.

```
amplified_symbols=zeros(size(input,1),1);  
for symbol=1:size(amplified_symbols,1)  
    if input(symbol)<=-2  
        amplified_symbols(symbol)=tanh(real(input(symbol)+3)*3)+imag(input(symbol))*i;  
        amplified_symbols(symbol)=amplified_symbols(symbol)-3;  
    elseif input(symbol)<=0 && input(symbol)>-2  
        amplified_symbols(symbol)=tanh(real(input(symbol)+1)*3)+imag(input(symbol))*i;  
        amplified_symbols(symbol)=amplified_symbols(symbol)-1;  
    elseif input(symbol)<=2 && input(symbol)>0  
        amplified_symbols(symbol)=tanh(real(input(symbol)-1)*3)+imag(input(symbol))*i;  
        amplified_symbols(symbol)=amplified_symbols(symbol)+1;  
    elseif input(symbol)>=2  
        amplified_symbols(symbol)=tanh(real(input(symbol)-3)*3)+imag(input(symbol))*i;  
        amplified_symbols(symbol)=amplified_symbols(symbol)+3;  
    end  
end
```

Εικόνα 26 – Non Linear Amplifier

4.4 Internal Units

Στη συνέχεια είναι σημαντικό να βρεθεί με πόσα internal units το Reservoir μπορεί να τρέξει με το λιγότερο BER , οπότε έγινε μια προσομοίωση με διαφορετικό αριθμό από 50 έως 350

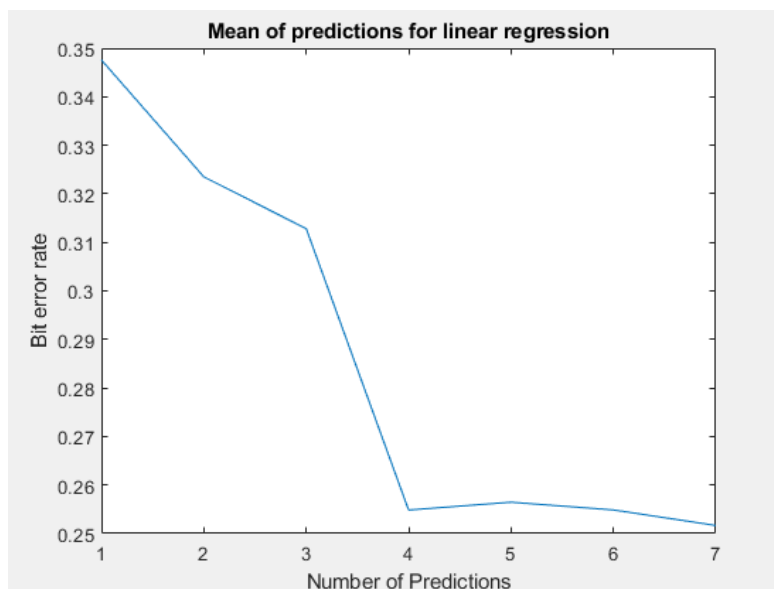


Γράφημα 3 – Internal Units

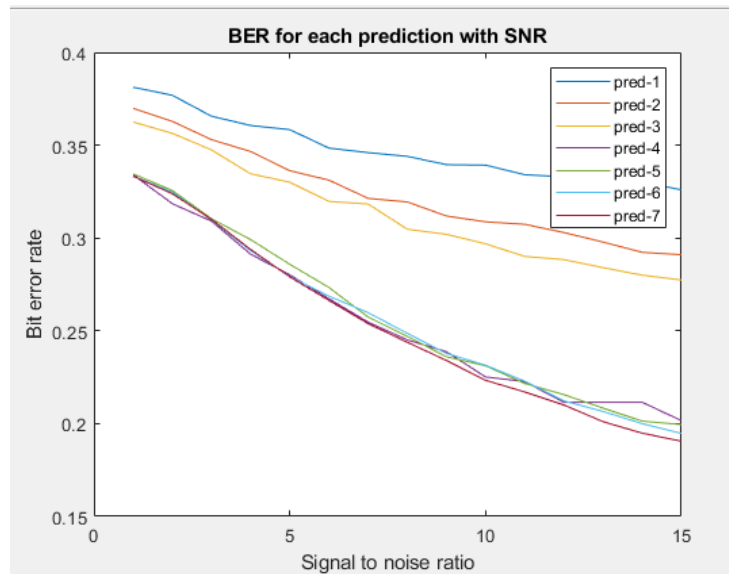
Το συμπέρασμα είναι ότι ο βέλτιστος αριθμός από το γράφημα 1 είναι ότι 250 εσωτερικοί κόμβοι είναι ο βέλτιστος αριθμός

4.5 Linear Equalizer

Για το linear Equalizer χρησιμοποιήθηκε ώστε να μπορεί να δει μέχρι και 7 σύμβολα πίσω στην χρονοσειρά.



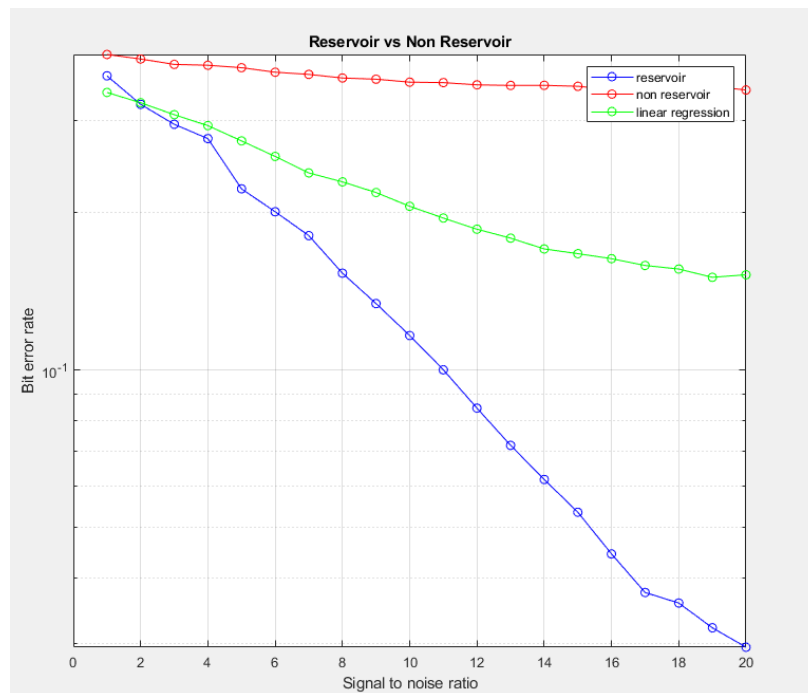
Γράφημα 4 – Μέσος όρος προβλέψεων



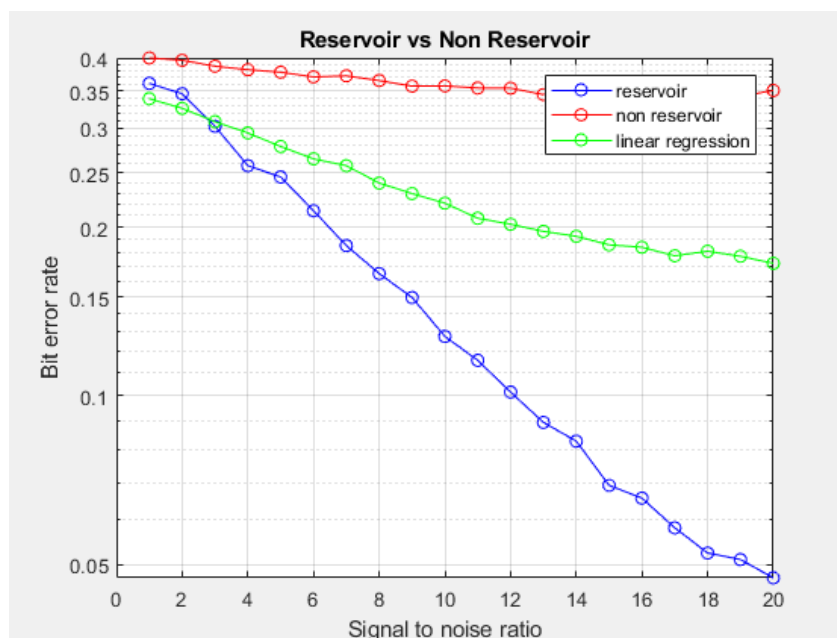
Γράφημα 5 – BER προβλέψεων

Από τα γραφήματα 2 και 3 βγαίνει το συμπέρασμα ότι με το Linear Equalizer υπάρχει βελτίωση του σήματος από την στιγμή που προσαρμόστεί να προβλέπει μέχρι και τα 4 σύμβολα που έχουν μπει καθυστέρηση από το Rayleigh κανάλι

4.6 Σύγκριση Reservoir με Linear Equalizer με μη γραμμικό Ενισχυτή και χωρίς



Γράφημα 4 – BER Reservoir και Linear Equalizer



Γράφημα 5 – BER Reservoir και Linear Equalizer με μη γραμμικό Ενισχυτή

Εδώ παρατηρείται ότι αν χρησιμοποιηθεί μη γραμμικός ενισχυτής η διαφορά του BER μεταξύ του Linear Equalizer και του Reservoir αυξάνεται και αυτό οφείλεται στη μη γραμμικότητα που εμφανίζεται στο σύστημα

5

Συμπεράσματα

Το Reservoir Computing αποδεικνύεται ότι είναι μία ανερχόμενη τεχνική στην διόρθωση σημάτων τα οποία επηρεάζονται από μη γραμμικά φαινόμενα. Όπως και στις οπτικές ίνες, η προσομοίωση δείχνει αισιόδοξα αποτελέσματα ότι η μηχανική εκμάθηση είναι μια αποδοτική λύση για την αύξηση της ταχύτητας ενός συστήματος επικοινωνίας λόγω του χαμηλότερου BER που προσφέρει για τα ίδια SNR. Καθώς οι τεχνολογίες επικοινωνίας κάθε χρόνο εξελίσσονται και οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες, είναι αναγκαία η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών καθώς η χρήση περισσότερων κεραιών, μεγαλύτερων διαμορφώσεων και η χρησιμοποίηση υψηλότερων συχνοτήτων έχει ένα όριο. Τα συστήματα επικοινωνίας έρχονται αντιμέτωπα με γραμμικά φαινόμενα, τα οποία σε ένα ιδανικό περιβάλλον είναι γνωστά οπότε είναι ευκολότερα στην αντιμετώπιση τους, και τα μη γραμμικά φαινόμενα τα οποία είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Με την χρήση Reservoir θα μπορούσε να γίνεται μία αρχική εκπαίδευση στο περιβάλλον από την στιγμή που γίνει η ζεύξη μεταξύ πομπού και δέκτη και να αυξηθεί η ποιότητα του σήματος χωρίς να αλλαχθεί κάτι στα υπόλοιπα υποσυστήματα του δικτύου. Λόγω της εκπαίδευσης σε κάθε περιβάλλον η λύση αυτή καθίσταται πολύ εύελικτη γιατί μπορεί να προσαρμόζεται οπουδήποτε και να υλοποιηθεί. Για αυτούς τους λόγους μέσα από την συγκεκριμένη εργασία προτείνετε η χρήση του RC ως η καλύτερη λύση για την διόρθωση προβλημάτων μη γραμμικότητας και της ευελιξίας ως προς την εκπαίδευση και προσαρμοστικότητα σε κάθε περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

- [1] Saunders, Simon R., Alejandro Aragon-Zavala , Κεραίες και Διάδοση για Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών,2007
- [2] Zhi Ning Chen, Xianming Qing, Terence Shie Ping See, d Wee Kian Toh, Antennas for WiFi Connectivity,2012
- [3] Κανάτας Αθανάσιος, Εισαγωγή Στις Τηλεπικοινωνίες , 2018
- [4] Wifi 6 Certification , [Wi-Fi CERTIFIED 6 | Wi-Fi Alliance](#)
- [5] Samuel L.I. Olsson, Junho Cho, Sethumadhavan Chandrasekhar, Xi Chen, Peter J. Winzer, and Sergejs Makovejs, Probabilistically shaped PDM 4096-QAM transmission over up to 200 km of fiber using standard intradyne detection,2018
- [6] Patricia L. Slingsby , Modelling Tropospheric Ducting Effects on VHF/UHF Propagation, 1991
- [7] A.Sudhir Babu , K.V. Sambasiva Rao, Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation schemes
- [8] Kritika Sendar, Nishu Rani, Ankita Singhal, Dolly Sharma, Seema Verma, Tanya Singh, Study and Capacity Evaluation of SISO,MISO and MIMO RF Wireless Communication Systems,2014
- [9] Nick LaSorte, W. Justin Barnes, Hazem H. Refai, The History of Orthogonal Frequency Division Multiplexing,
- [10] Konstantin S. Turitsyn^{1,*} and Sergei K. Turitsyn,Nonlinear communication channels with capacity above the linear Shannon limit, 2012
- [11] Cheng-Po Liang, Je-hong Jong, Wayne E. Stark, Jack R. East, Nonlinear Amplifier Effects in Communications Systems,1999
- [12] Kapil Gulati , Aditya Chopra , Brian L. Evans, Keith R. Tinsley, Statistical Modeling of Co-Channel Interference,2009
- [13] Berhan Oumer, Channel Equalization Linear,Non linear, Blind and Time Domain and Interference Cancellation,2013
- [14] Seema Paliwal, Dilpreet Kaur Grover, Jyoti Krayla, Comparison of Linear and Non-Linear Equalizer using the Matlab,2016
- [15] Chris M. Bishop, Neural networks and their applications, 1994
- [16] Michael Nielsen, Neural Networks and Deep Learning , 2019
- [17] Grégoire Montavon , Wojciech Samek , Klaus-Robert Müller ,Methods for Interpreting and Understanding Deep Neural Networks, Digital Signal Processing Volume 73, February 2018
- [18] Sima Siame-Namini , Neda Tavakoli, Akbar Siame Namin, The performance of LSTM and BiLSTM in Forecasting time Series, 2019
- [19] Stavros Deligiannidis, Adonis Bogris, Charis Mesaritakis, Yannis Kopsinis, Compensation of Fiber Nonlinearities in Digital Coherent Systems Leveraging Long Short-Term Memory Neural Networks
- [20]