



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ,
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗ ΣΕΡΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ LORAWAN ΚΑΙ NARROW-BAND IoT ΣΤΟ
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ
(LoraWan and Narrow-Band IoT technologies)

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΝΕΛΛΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ, ΑΝ.
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός, της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η σύγκριση των τεχνολογιών LoRa για το Internet of Things και του Narrow-Band για το Internet of Things (NB-IoT). Αυτό που θέλουμε να πετύχουμε είναι να δούμε ποιο από αυτά τα δύο συστήματα είναι προτιμότερο και ποιο καλύτερο για ένα έξυπνο σπίτι που έχει συσκευές IoT.

NB-IOT



ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- Οι έννοιες του IoT, του LoRaWan και Narrow-Band.
- Η εφαρμογή των τεχνολογιών και η σύγκρισή τους.
- Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των συστημάτων (γραφικές παραστάσεις).
- Συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, καθώς και κάποιες σκέψεις για μελλοντική επέκταση της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΙοΤ



Πλέον στις μέρες μας, η μεγαλύτερη πλειοψηφία των συνδέσεων στο Διαδίκτυο παγκοσμίως είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται απ' ευθείας από τον άνθρωπο, όπως υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα.

Το Διαδίκτυο έχει αυξηθεί ραγδαία από ένα μικρό ερευνητικό δίκτυο, σε ένα παγκόσμιο δίκτυο που εξυπηρετεί περισσότερους από ένα δισεκατομμύριο χρήστες.



Οι εφαρμογές του Internet of Things

- Εφαρμογές Internet of Things για έξυπνες πόλεις
- Εφαρμογές του Internet of Things για αυτοματοποίηση λειτουργιών σε σπίτια και **μεγάλα** κτίρια
- Εφαρμογές του Internet of Things σχετικές με την φροντίδα υγείας
- Εφαρμογές του Internet of Things σχετικά με την αυτοκίνηση
- Έξυπνο περιβάλλον



Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος LoRaWAN

<i>LoRaWAN</i>	
Χαρακτηριστικά Παραμέτρων	LoRaWan
Bandwidth=Εύρος Ζώνης	125 kHz
Εμβέλεια	≤ 800 m (αστικό περιβάλλον) ≤ 40 km (οπτική επαφή, αγροτική περιοχή)
Battery life=Διάρκεια ζωής της μπαταρίας	15+ years
Ρυθμός μετάδοσης	0.3kbps - 50 kbps
Latency= λανθάνοντας χρόνος	≤ 53 ms
Security=Ασφάλεια	AES 128 bit
Geolocation=Γεωγραφική Περιοχή	Yes (TDDA)
Cost Efficiency= Αποδοτικότητα Κόστους	Υψηλό
Εμπορική διαθεσιμότητα	Ναι
Εμπορική στρατηγική	Ανάπτυξη νέων δικτύων προσαρμοσμένα στις ανάγκες των πελατών
Τοποθέτηση στην αγορά	SPs (Cellular and Cable)Private Networks (Enterprise)

Οι Εφαρμογές του LoRaWAN

- Παρακολούθηση υποδομών (κτήρια, γέφυρες, μέτρηση νερού και ηλεκτρισμού και πολλά άλλα)
- Μεταφορά (διαχείριση της κίνησης)
- Παρακολούθηση παραγωγής
- Ασφάλεια
- Ιατρική Περίθαλψη



Narrow-Band IoT

Το NB - IoT παρέχει εφαρμογές στο IoT με χαμηλή διακίνηση δεδομένων. Σχεδιάστηκε για να έχει την καλύτερη κάλυψη και ελάχιστο κόστος σε σχέση με άλλες κυψελοειδείς τεχνολογίες, υποστηρίζει τη σύνδεση εκατομμυρίων συσκευών και χαρακτηρίζεται από χαμηλή διακίνηση και μετάδοση δεδομένων.



Τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος Narrow-Band IoT

- Το εύρος ζώνης του φυσικού επιπέδου του NB – IoT είναι 200 kHz.
- Προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης στην ανοδική ζεύξη έως 67 kbps ενώ στη καθοδική ζεύξη έως 26 kbps (Category NB1)

Για τη καθοδική ζεύξη υπάρχουν 5 κανάλια:

- NPBCH, Narrow band Physical Downlink Broadcast Channel.
- NPDCCH, Narrow band Physical Downlink Control Channel.
- NPDSCH, Narrow band Physical Downlink Shared Channel.
- NRS, Narrow band Reference Signal.
- NPSS και NSSS, Narrow band Primary/Secondary Synchronization Signals.

Για την ανοδική ζεύξη υπάρχουν 3 φυσικά κανάλια:

- NPUSCH, Narrow band Physical Uplink Shared Channel.
- NPRACH, Narrow band Physical Random Access Channel.
- DMRS, Demodulation Reference Signal.

Οι Εφαρμογές του Narrow-Band IoT

- Αυτόνομα συστήματα αναφοράς, όπως είναι οι ανιχνευτές καπνού και οι έξυπνοι μετρητές νερού, αερίων κτλ.
- Εφαρμογές έξυπνης πόλης, όπως είναι η διαχείριση απορριμμάτων, διαχείριση των θέσεων στάθμευσης, διαχείριση φωτισμού κ.ά.
- Εφαρμογές έξυπνων κτηρίων.
- Γεωργία και περιβάλλον, όπως μετρήσεις μόλυνσης, εντοπισμός ζώων κ.ά.



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ LoRa ΚΑΙ ΤΟΥ Narrow-Band IoT

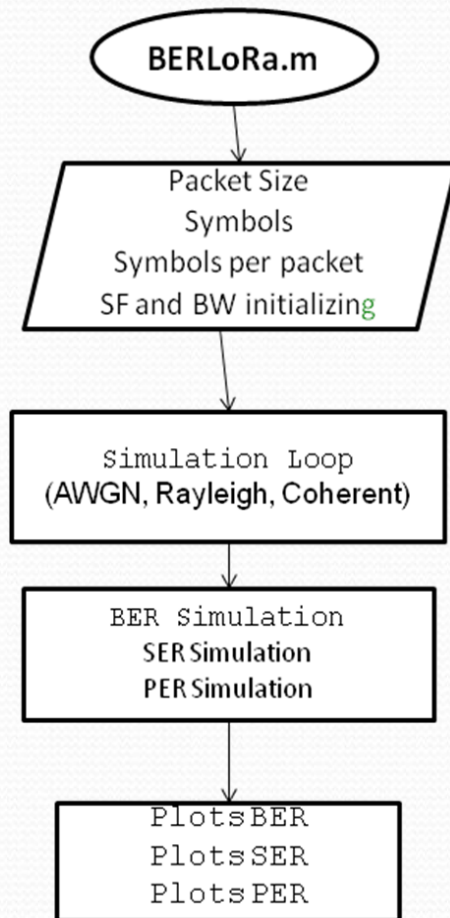
- Quality of Service – Ποιότητα της Υπηρεσίας
- Battery life & Latency – Διάρκεια ζωής μπαταρίας & Καθυστέρηση
- Scalability & Payload length – Επεκτασιμότητα & Μήκος ωφέλιμου φορτίου
- Network coverage & Range – Κάλυψη & Εμβέλεια δικτύου
- Deployment model – Μοντέλο ανάπτυξης
- Cost - Κόστος



ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ LoRa και NB-IoT

- Ο Matlab κώδικας για το Lora, συγκρίνει την απόδοση των παραγόντων διασποράς SF (spreading factor) για το εύρος ζώνης 125kHz. Χρησιμοποιήσαμε μοντέλο καναλιού Προσθετικού Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου AWGN, εύρος ζώνης του ασύρματου διαύλου $BW=125$ kHz και συντελεστή διασποράς $SF=7-12$. Η προσομοίωση του συστήματος έγινε στη βασική ζώνη.
- Οι Matlab κώδικες για το NB-IoT που χρησιμοποιήθηκαν, συνδέουν ένα εικονικό πομπό και τον εικονικό δέκτη με τη χρήση δύο διαμορφώσεων (QPSK και 16-QAM) στη βασική ζώνη. Ο ρυθμός ταιριάζει με το κωδικοποιημένο μπλοκ ανάλογα με την περίπτωση, αναδιατάσσει το μπλοκ και στη συνέχεια δημιουργεί χρόνο- πλέγματα συχνοτήτων σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του NB-IoT.

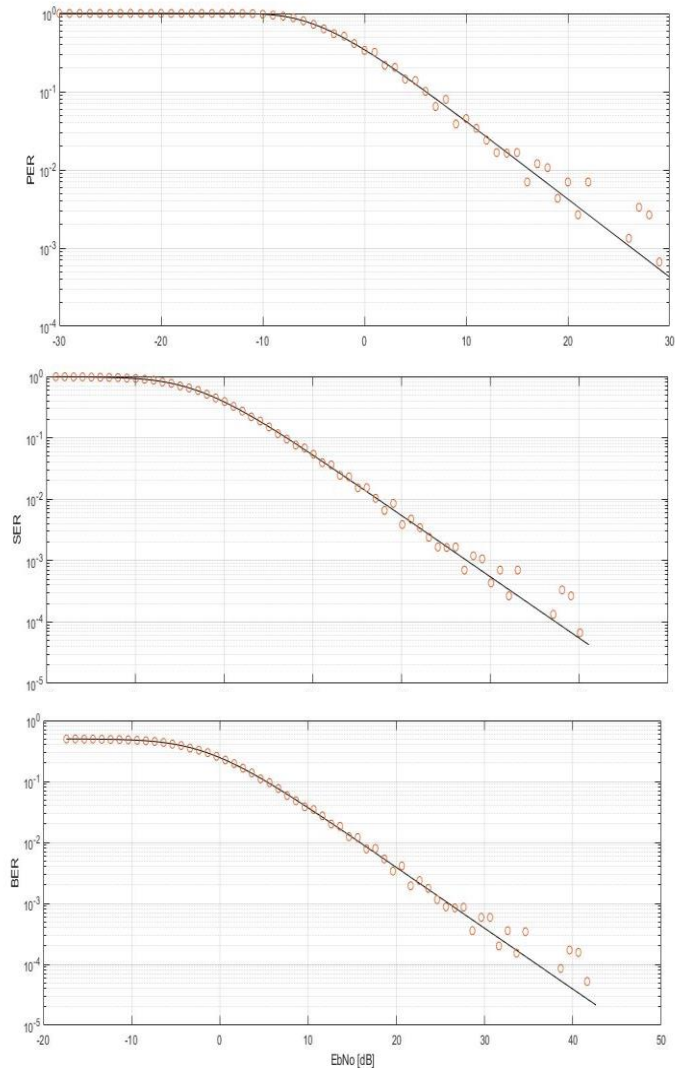
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LoRa



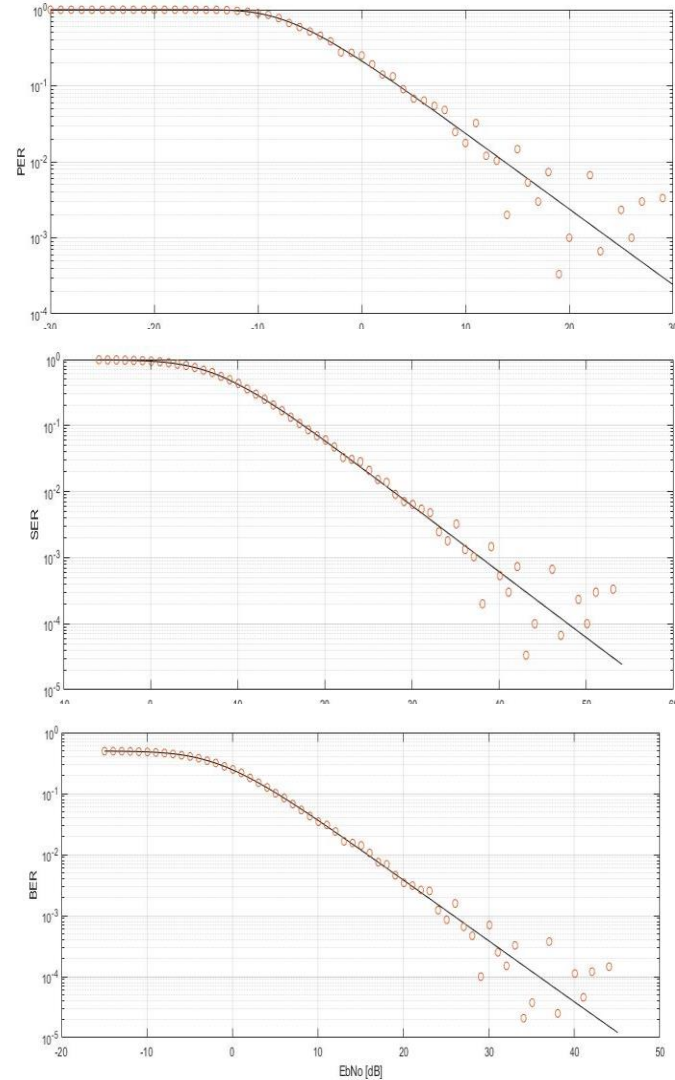
- Ορίζουμε το μέγεθος των πακέτων και των συμβόλων
 - Τον παράγοντα διασποράς όπου και αλλάζουμε την τιμή κάθε φορά
 - Το εύρος συχνοτήτων που θέλουμε.
 - Ορίζουμε το SNR (λόγος ισχύος σήματος προς την ισχύ του θορύβου),
 - Το E_b/N_0 (λόγος ενέργειας bit προς την φασματική πυκνότητα θορύβου).
 - Το E_s/N_0 (λόγος ενέργειας συμβόλου προς την φασματική πυκνότητα θορύβου).
- Εξάγουμε το BER (Bit Error Rate, ρυθμός εσφαλμένων bit), SER (Symbol Error Rate, ρυθμός εσφαλμένων συμβόλων) και το PER (Packet Error Rate, ρυθμός εσφαλμένων πακέτων δεδομένων).*

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ LoRa

Προσομοίωση LoRa για SF=7

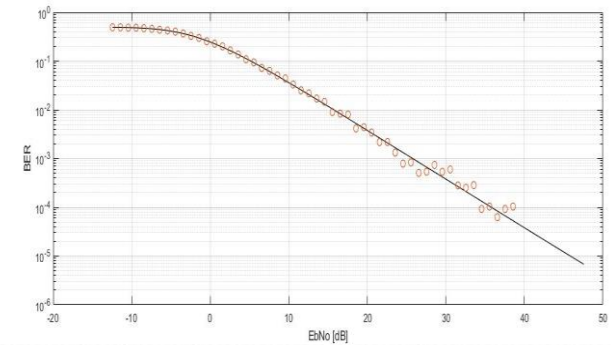
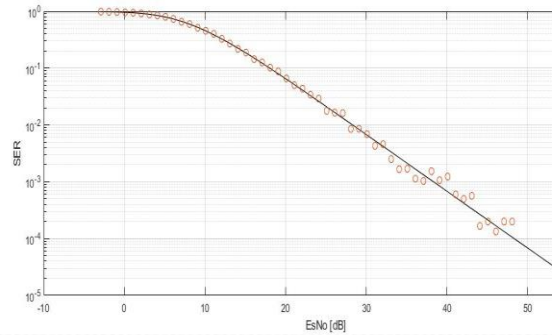
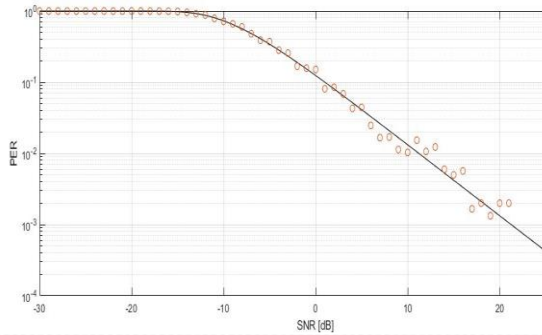


Προσομοίωση LoRa για SF=8



ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ LoRa (1)

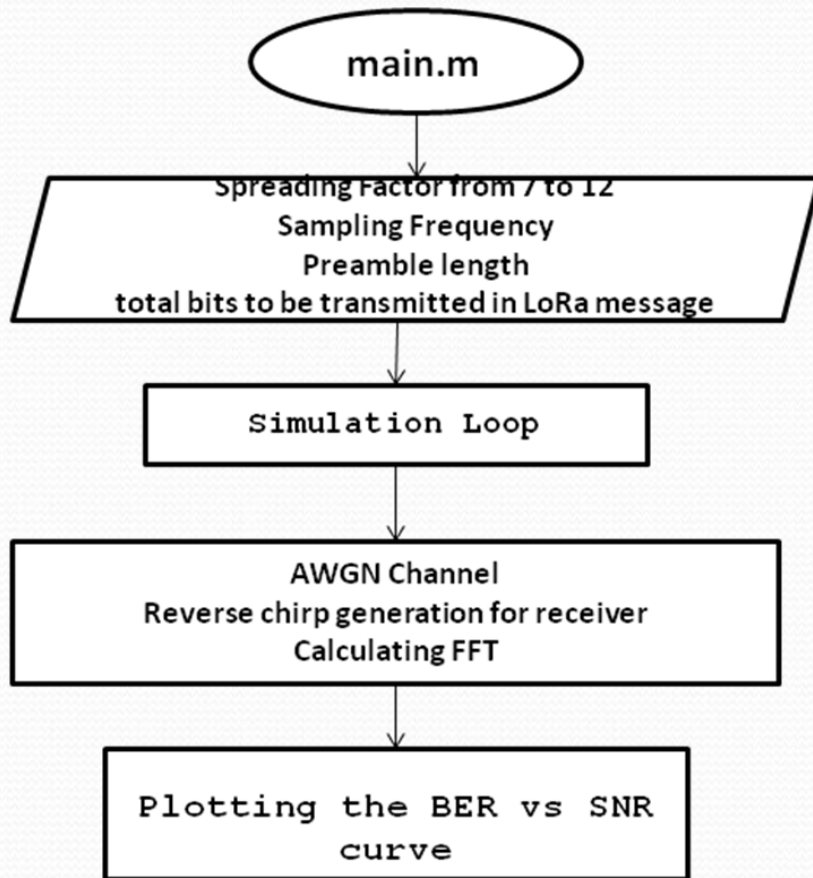
Προσομοίωση LoRa για SF=9



•Στις προσομοιώσεις που τρέξαμε χρησιμοποιήσαμε ως παράμετρο τον παράγοντα διασποράς του σήματος (Spreading Factor) με SF=7, 8 και 9. Ο παράγοντας διασποράς είναι μια παράμετρος που καθορίζει το πόσα chirp χρειάζονται για την αναπαράσταση ενός συμβόλου, όσο μικρότερο είναι το spreading factor τόσο λιγότερα chirp χρειάζονται για την μετάδοση ενός χαρακτήρα.

•Στην ουσία το spreading factor χαρακτηρίζει το χρόνο που βρίσκεται ένα σύμβολο στον αέρα, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο περισσότερο χρόνο διαρκεί η μετάδοση ενός συμβόλου και κατά συνέπεια ελαττώνεται ο ρυθμός μετάδοσης (bit-rate).

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ LoRa (2)



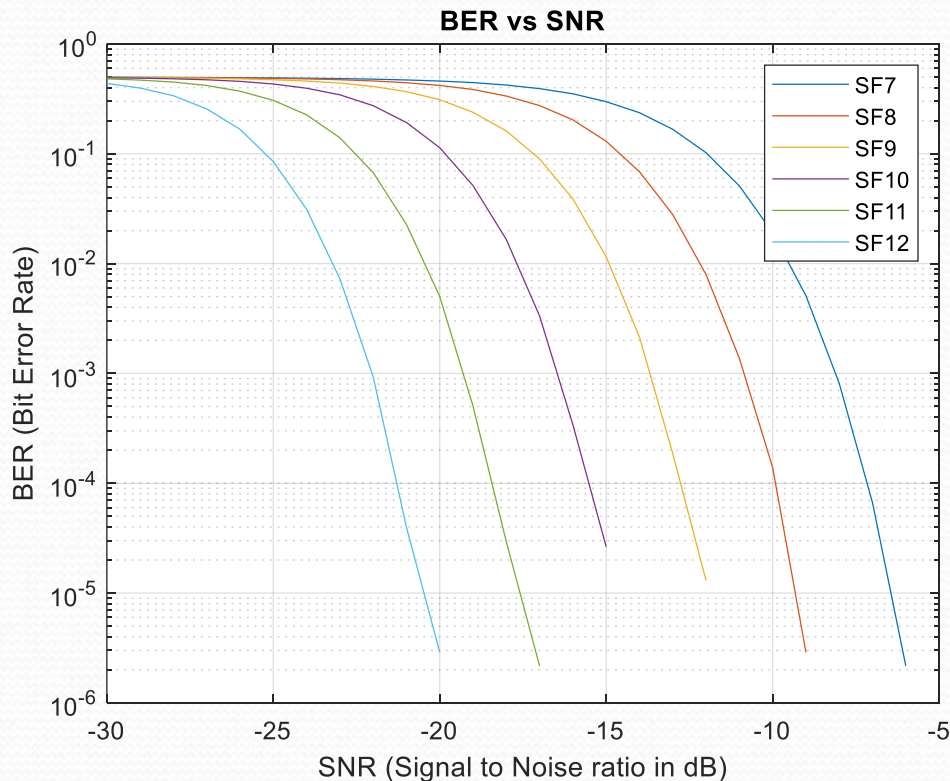
- Ορίζουμε τον παράγοντα διασποράς SF όπου καθώς τρέχει ο κώδικας κάθε φορά θα αλλάζει.

- Το εύρος συχνοτήτων που θέλουμε.

- Ορίζουμε το SNR και το BER σε τι κλιμακα το θέλουμε.

Έδω εξάγουμε μια συγκεκριμένη γραφική παράσταση που απεικονίζει το BER έναντι του SNR. Παρακάτω παρουσιάζεται η γραφική παράσταση.

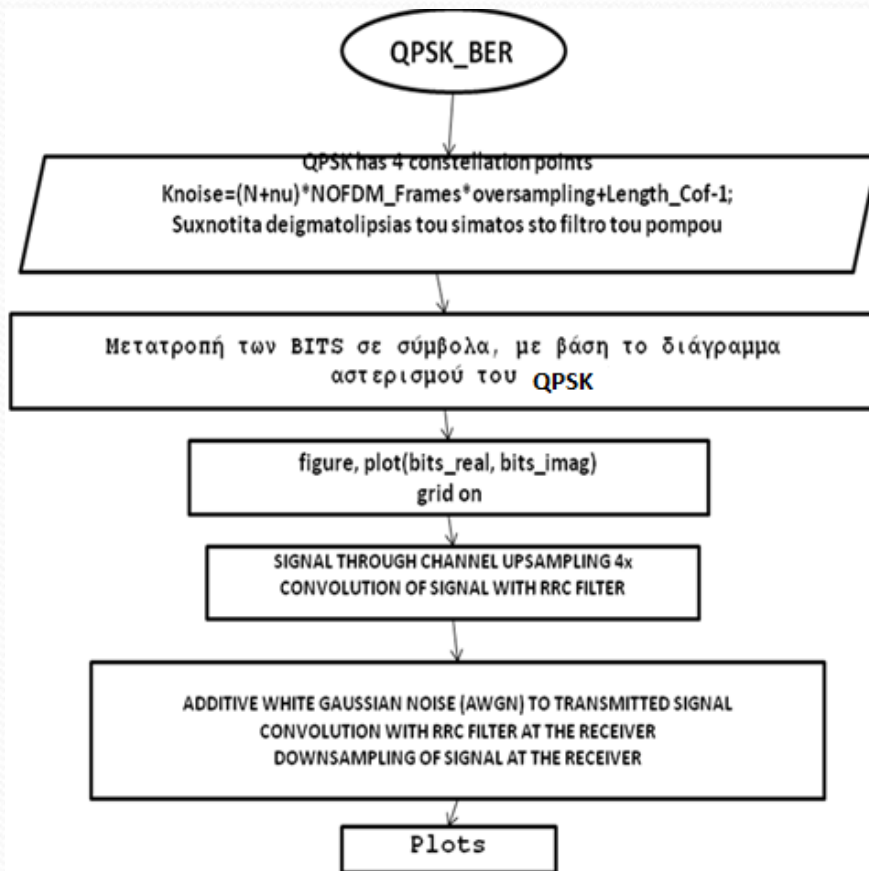
ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ LoRa (3)



• Όσο μεγαλύτερο είναι το SF το οποίο συμβολίζει τον παράγοντα διασποράς (spreading factor) τόσο μικρότερο λόγο SNR (dB) χρειαζόμαστε για να επιτύχουμε τον ίδιο ρυθμό σφαλμάτων bit.

• Κινούμενοι από δεξιά προς τα αριστερά απαιτείται μικρότερο SNR (καθώς αυξάνεται το SF), το οποίο με τη σειρά του σημαίνει ότι σε ένα ασύρματο κανάλι με μόνο AWGN και υψηλή τιμή SF μπορούμε να έχουμε χαμηλή τιμή BER.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ NB-IoT (QPSK)



•Ορίζουμε κάποιες βασικές παραμέτρους με αποτέλεσμα στο κυρίως σώμα του κώδικα μας να κάνουμε συγκεκριμένους υπολογισμούς και να εξάγουμε στο τέλος τις συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις που θέλουμε.

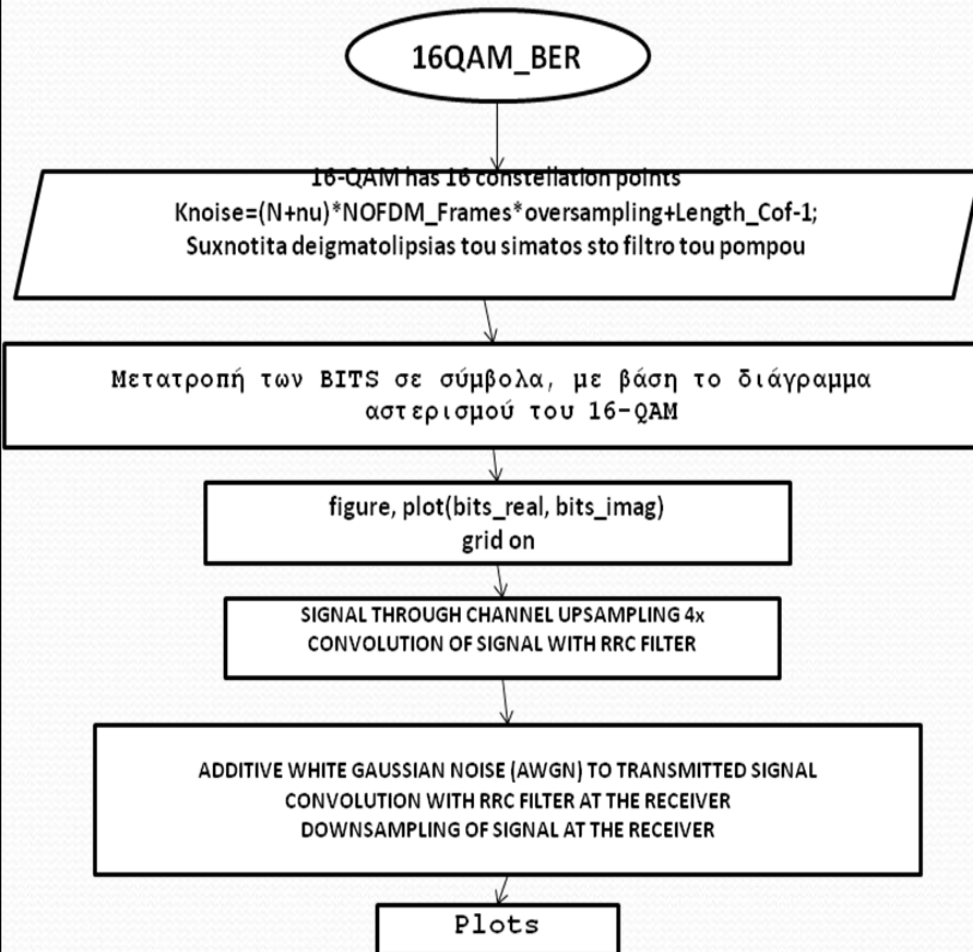
•Ορίζουμε την συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος για το φίλτρο του πομπού.

•Ακόμη γίνονται και οι κατάλληλες μετατροπές των bits σε σύμβολα με βάση το διάγραμμα αστερισμού του QPSK.

•Οι γραφικές παραστάσεις που εξάγουμε είναι το διάγραμμα του αστερισμού για την διαμόρφωση QPSK, και το φάσμα του σήματος στην βασική ζώνη του πομπού.

•Απεικονίζουμε το BER σε σχέση με το SNR (dB) για NB-IoT με την διαμόρφωση QPSK.

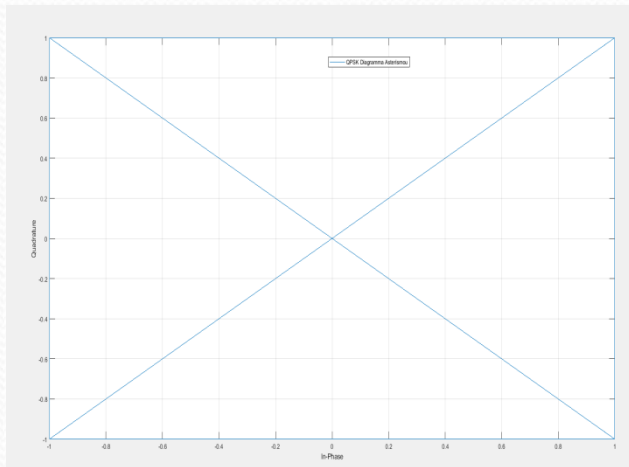
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ NB-IoT (16-QAM)



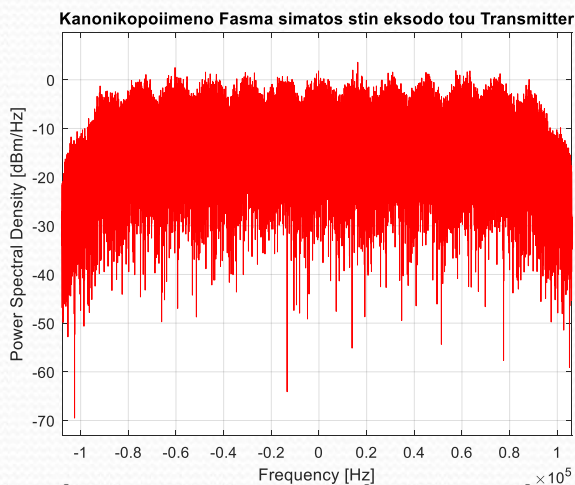
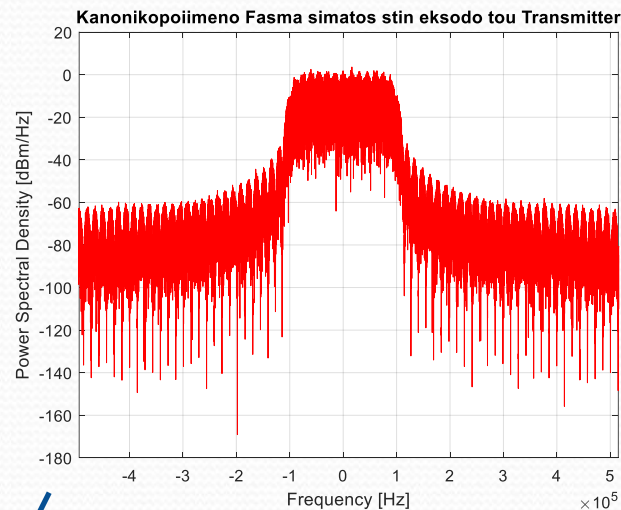
- Ορίζουμε κάποιες βασικές παραμέτρους με αποτέλεσμα στο κυρίως σώμα του κώδικα μας να κάνουμε συγκεκριμένους υπολογισμούς και να εξάγουμε στο τέλος τις συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις που θέλουμε.
- Ορίζουμε την συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος για το φίλτρο του πομπού.
- Ακόμη γίνονται και οι κατάλληλες μετατροπές των bits σε σύμβολα με βάση το διάγραμμα αστερισμού του 16-QAM.

Οι παραστάσεις που θέλουμε να εξάγουμε είναι το διάγραμμα του αστερισμού για την διαμόρφωση 16-QAM, το φάσμα του σήματος στην βασική ζώνη του πομπού. Τέλος, απεικονίζουμε το BER σε σχέση με το SNR (dB) για NB-IoT με την διαμόρφωση 16-QAM και το φάσμα εξόδου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις και γίνεται μια μικρή αναφορά στο τι απεικονίζει η κάθε γραφική παράσταση.

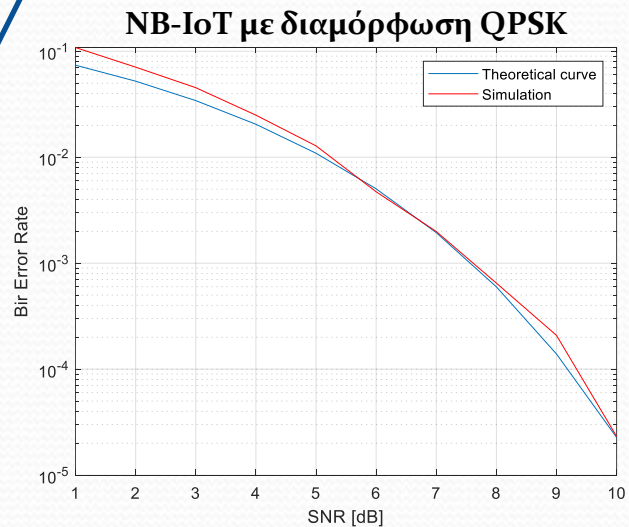
ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ NB-ΙΟΤ



Διάγραμμα αστερισμού QPSK.

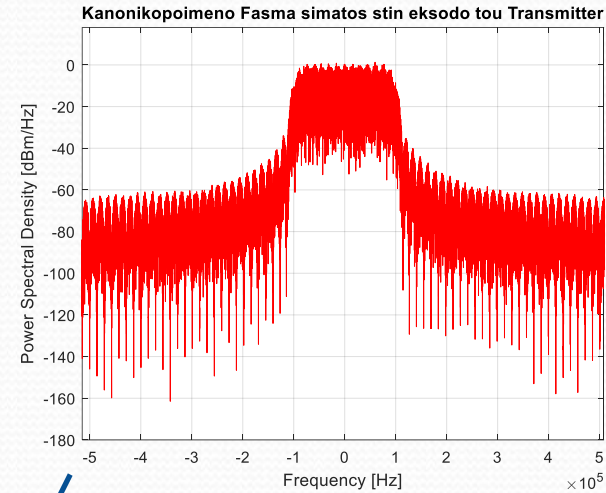
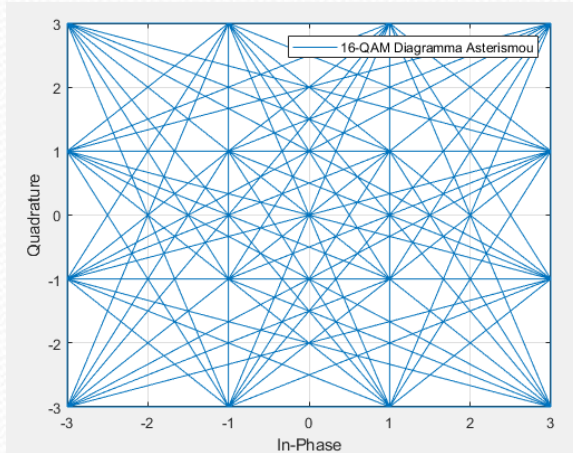


Διαμόρφωση QPSK, το φάσμα του σήματος στην βασική ζώνη του πομπού (zoom)

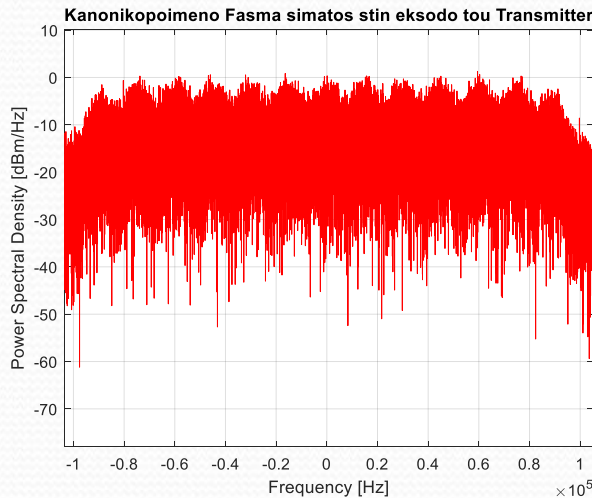


BER σε σχέση με το SNR (dB) για NB-LoT με διαμόρφωση QPSK

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ NB-ΙοΤ(1)

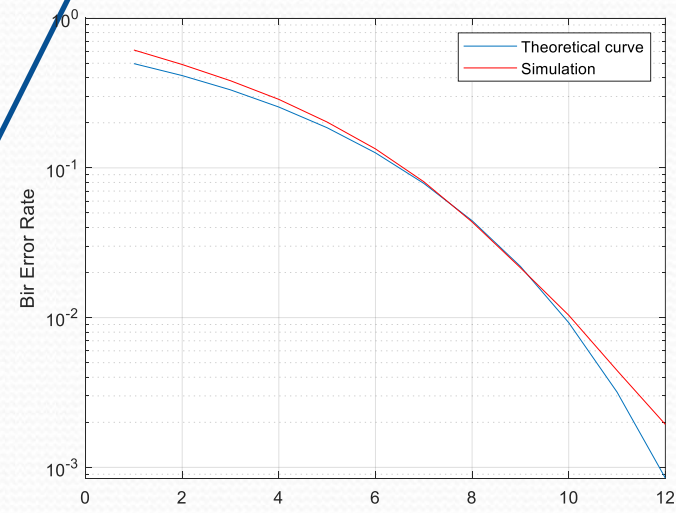


Διάγραμμα αστερισμού 16-QAM.



Διαμόρφωση 16-QAM, το φάσμα στην βασική ζώνη του πομπού (zoom)

NB-ΙοΤ με διαμόρφωση 16-QAM



BER σε σχέση με το SNR (dB) για NB-ΙοΤ με διαμόρφωση 16-QAM.

Συμπεράσματα και μελλοντική επέκταση

- Για να έχει την ίδια BER επίδοση το Narrow-Band IoT με το LoRaWAN χρειάζεται υψηλότερες τιμές σηματοθορυβικού λόγου SNR
- Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο σηματοθορυβικός λόγος SNR μειώνεται το ποσοστό εσφαλμένων Bit.
- Για το σύστημα LoRa παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διασποράς SF τόσο μικρότερο σηματοθορυβικό λόγο SNR (dB) χρειαζόμαστε για να επιτύχουμε τον ίδιο ρυθμό σφαλμάτων bit.
- Για το σύστημα LoRa σε περιβάλλον AWGN και κανάλι με εξασθένηση που ακολουθεί κατανομή Rayleigh παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα PER, SER BER αποκλείουν από τις αντίστοιχες θεωρητικές καμπύλες για υψηλές τιμές SNR, E_s/N_0 , E_b/N_0 . Αυτό οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό από εκπεμπόμενα πακέτα που ορίστηκε στις προσομοιώσεις επειδή ο υπολογιστής που χρησιμοποιήσαμε είχε περιορισμένη υπολογιστική δυνατότητα.
- Επίσης σε ένα ασύρματο κανάλι με μόνο AWGN και υψηλή τιμή SF μπορούμε να έχουμε χαμηλή τιμή BER.

Μελλοντικά, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα μπορούσε να επεκταθεί εξετάζοντας και συγκρίνοντας την BER επίδοση των δύο πρωτοκόλλων LoRa και NB-IoT σε ασύρματο κανάλι με διάλεια επιλεκτικής συχνότητας (frequency selective fading).



**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ**