海洋IoT におけるLPWA (LoRa Private）の通信特性評価

廣津和哉（指導教員　中尾教授）

**1. 背景**

　一般に利用可能な広範囲の海洋センシングには衛星からの観測による画像データを活用したものがあるが, 多くの場合リアルタイムではなく, 画像の解像度が低く, 高コストである. 一方, 海洋において広範囲をIoTセンサーによりセンシングする場合は長距離, 低電力消費, 低コストな通信方式が必要であり, 候補として LoRaの利活用が注目されている（引用）

**2. 課題**

　LoRaの実機を海洋で利用した研究[4]やLoRaの性能をシミュレーションした研究[1, 2, 3]は複数存在するが, 海洋上の通信のチャネルモデルを用いた, 他の通信方式とLoRaのシミュレーションによる比較や, 海洋において実機とシミュレーションを比較する研究がなく, LoRaを適切に海洋センシングに適用するための知見が得られていない課題がある.

**3. 目的**

　本研究では, 海洋での通信の特性を組み込んだチャネルモデルを用いたMATLABによるシミュレーションにより, LoRaとM-PSKなどのデジタル変調方式においてチャネルに多様なノイズを加えた場合の通信におけるシンボルエラーレート(SER)の比較を行う. さらに実機を用いて, 海洋におけるLoRa通信の通信可能性やRSSIの定量評価を行い, 海洋IoTにおけるLoRa通信の適用可能性を調査することを目的とする.

**4. 関連研究**

　海洋におけるLoRaの過去の研究にはシミュレーションによりLoRaの限界を分析するものと, 実機によるフィールド実験で実世界に対するシステムを構成する大きく分けて2種類の研究が存在する.

　Elshabrawy[2]らはLoRaにホワイトノイズを加え, SNRに対するBERを数値解析している. Huang[3]らは, 海面でのマルチパスをCIR(Channel Impulse Response)としてモデルする手法を示している. 本研究ではこのモデルをMATLABでシミュレーションの参考にする.

　Radeta[5]らは海洋環境でLoRaの実機を使い,通信最長距離を測定するとともに, RSSIによる位置推測も行っている. Gerin[6]らは発展途上国向けの海上で使用する低コストなドリフターを製作し, 海洋データの取得に成功している.

　本研究ではシミュレーションだけでなく実機による実験結果との比較を行うことでLoRaの実用性を評価する.

**5. 提案手法**

**5.1 MATLABによるシミュレーション**

　M-PSKとLoRaを, MATLABを使ってシミュレーションし, どちらが海洋の環境に対してロバストであるかを評価する.

　TransmitterとReceiverの部分のMATLABのスクリプトは, M-PSKにはMATLABのcomm. PSKModulatorとcomm. PSKDemodulatorを, LoRaにはHommsi[1]らの公開しているコードを使用する.

　チャネルにはcomm.AWGNChannelを使用してホワイトノイズをモデルする. また,　Huang[3]らのモデルに従うと IoTで扱われるアンテナ間の距離(1~10km)とアンテナの高さ(~1m)では直接波と反射波の時間差は10^-12sより小さいオーダーであり, LoRaの使用する920Mhzでは無視できるためチャネルにはモデルしない.

SNR(Signal-to-Noise Ratio)を-60 ~ 30dB間で変え, シンボル長100のランダムシンボルを100回通信し, M-PSKとLoRaそれぞれのSER(Symbol Error Rate)の平均を比較する.

**5.2 WinPropによるシミュレーションと実機テストの比較**

　晴海と豊洲間の豊洲大橋より南西側の海面を実験場所として設定し, 同じ場所でWinPropによるLoRa通信のシミュレーションと, 実機による実験を行うことで, シミュレーションと実機間での定量評価を行う.

**5.2.1WinProPによるシミュレーション**

　国土地理院が提供している基盤地図情報数値標高モデル（5mメッシュ,航空レーザー測量）を使う. この標高モデルには橋や建物の高度情報は含まれない. ダウンロードしたzipファイルを基盤地図情報ビューアでshpファイルに変換し, QGISでascファイルに変換し, wallmanでtbdファイルに変換する.

　このtbdファイルをpromanで読み込み, 豊洲大橋の晴海側の端（35.650798, 139.779477）に周波数921.20Mhz, パワー13dBmのOmniアンテナを海面高度10mに設置し, そのアンテナから発する信号の各地点での高度1.5mにおける電波強度をシミュレーションする. モデルには海洋, 周波数帯, 通信距離, アンテナの高度を考慮してpromanの中では最適なITU P.1546 Modelを使用する.

**5.2.2実機評価**

　シミュレーションと同じ場所（35.650798, 139.779477）, 海面高度10mに送信側のLoRa端末を設置し, 周波数921.20Mhz, パワー13dBmでLoRa信号を送る. 受信側は対岸の複数箇所において高度1.5mで静止して信号を受信する. その際LoRa端末にssh接続したpcからGPS情報を LoRa端末に送信し, RSSIとともに記録する.

**6. 評価**

**6.1 MATLABによるシミュレーション**

Figure1はチャネルにホワイトノイズのみを考慮して, SNRを-60~30dBで推移させる時のそれぞれの通信方式のSERを表す.

**Chart

Description automatically generated**

Figure1. LoRa,bpsk,qpskのSNRに対するSER

　LoRaはSNRが-50dBあたりでSERが1から0に下がっている. bpsk, qpskは-30dBより低いSNRではSERがそれぞれ0.5, 0.75に収束し, SNRが5dB, 10dBあたりでSERが0となっている.

　この結果からLoRaはホワイトノイズよりも信号が弱くなってしまう長距離などのSNRの低い状況においてbpsk, qpskに対してロバストであると考えられる.

**6.2.1 WinPropによるシミュレーションの結果**

**A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence**

Figure2. 各地点で受信する信号のRSSI(dBm)(WinProp)

　橋や建物, 船の高度データが入っていないのでマルチパスの影響は小さい.

**6.2.2 実機評価の結果**

**A picture containing diagram

Description automatically generated**

Figure3. 各地点で受信する信号のRSSI(dBm)(実機テスト)

　実機テストは橋に近い方から順に行ったため,各地点での気象条件が異なる可能性がある.

**6.2.3 比較評価**

**Chart, scatter chart

Description automatically generated**

Figure4.実機でのRSSIを経度に沿ってプロットし線形回帰したグラフとシミュレーションの結果のグラフ

　実機でのRSSIはアンテナ同士の距離が遠くなるほどシミュレーションよりも低くなっているが, アンテナのゲインの誤差, 海面による信号の吸収, シミュレーションにはない橋や船, 構造物の存在が原因として考えられる.

**7. 貢献**

　本研究は異なる通信方式に対して, 海洋環境をモデルしたシミュレーションを行って比較する一連の手法を提案するとともに, LoRaの海洋環境でのM-PSKに対するロバスト性を示す. また実空間でのシミュレーションと実機テストを比較し, WinPropによるシミュレーションの妥当性を評価する.

**8. 結論**

LoRaはM-PSKと比較すると, MATLABのシミュレーションから海洋環境での通信により適していることがわかる.

　海洋IoTのデバイスの設置位置を考えるにあたってWinPropによるシミュレーションは有効であるものの実際よりは楽観的なRSSIの値を出力する可能性があるため, 設置する環境でテストしてオフセットを取るとより正確なシミュレーションが可能になると考えられる.

**9. 参考文献**

1) B. Al Homssi, K. Dakic, S. Maselli, H. Wolf, S. Kandeepan, and A. Al-Hourani, "IoT Network Design using Open-Source LoRa Coverage Emulator," in IEEE Access. 2021.

2) T. Elshabrawy and J. Robert, "Analysis of BER and Coverage Performance of LoRa Modulation under Same Spreading Factor Interference," 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2018, pp. 1-6.

3) Huang, F., Liao, X. & Bai, Y. Multipath Channel Model for Radio Propagation over Sea Surface. Wireless Pers Commun 90, 245–257 (2016).

4) N. Wu and M. Khan, "LoRa-based Internet-of-Things: A Water Quality Monitoring System," 2019 SoutheastCon, 2019, pp. 1-4.

5) M. Radeta, M. Ribeiro, D. Vasconcelos, H. Noronha and N. J. Nunes, "LoRaquatica: Studying Range and Location Estimation using LoRa and IoT in Aquatic Sensing," 2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2020, pp. 1-6.

6) Gerin, Riccardo and Zennaro, Marco and Rainone, Marco and Pietrosemoli, Ermanno and Poulain, Pierre-Marie and Crise, Alessandro (2018) On the design of a sustainable ocean drifter for developing countries. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 4 (13): 5. p. 155483. ISSN 2414-1399