LPWA (LoRa Private）の海洋IoTへの適用可能性評価

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データには衛星を活用したものがあるが, 多くの場合高価であったり解像度が低かったりする. 海洋で広範囲をセンサーによってカバーするためには長距離, 低電力消費, 低価格な通信方式が必要であり , LoRaはこの3つの特徴を備えているため海洋IoTへの応用が考えられている.

**2. 課題**

　LoRaの実機を海洋で利用した研究やLoRaの性能をシミュレーションした研究は複数存在するものの, 海洋のチャネルモデルで他の通信方式とLoRaのシミュレーションを比較したものや海洋での実機とシミュレーションを比較したものが存在しないため, 海洋IoTにLoRaが適しているかが適正に評価できない.

**3. 目的**

　海洋での通信の特性を組み込んだチャネルモデルを実装し, シミュレーションに用いることでLoRaとM-PSKの海洋適用を比較する.

　同じロケーションでの実機とシミュレーションでのLoRa通信を比較することでシミュレーションの精度を評価する.

**4. 関連研究**

　Elshabrawy[2]らはLoRaにホワイトノイズを加え, SNRに対するBERを数値解析した. 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た.

<関連研究の書き方がよくわからないです>

**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.

　チャネルには海面に反射した信号によるマルチパスの影響と, ホワイトノイズをモデルする. マルチパスはHuang[3]らの研究を元にMATLABに実装する. ホワイトノイズにはcomm.AWGNChannelを使用する. 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利用してLoRa通信のシミュレーションと実験を行い, 比較する.

**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高度1.5mでの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実機テスト**

　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.

<マルチパスの実装ができたら以下にマルチパスを考慮した結果を書く予定です>

**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強度(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 実機テストの結果**

**A picture containing diagram

Description automatically generated**

Figure3. 各地点で受信する信号のRSSI強度(実機テスト)

　実機テストは橋に近い方から行ったため,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.実機テストのRSSI強度を経度に沿ってプロットし、線形回帰したグラフ

<シミュレーションの結果をこのグラフに追加する予定です>

　実機テストでのRSSIは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が原因として考えられる. <数値的評価は今できないのでグラフへの追加とともに書き足します>

**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である.

**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, doi: 10.1109/PIMRC.2018.8581011.

3) Huang, F., Liao, X. & Bai, Y. Multipath Channel Model for Radio Propagation over Sea Surface. *Wireless Pers Commun* **90,**245–257 (2016). https://doi.org/10.1007/s11277-016-3343-4