

LoRa マルチホップネットワークとそのパケットロス特性の考察

Consideration of LoRa multi-hop network and its packet loss characteristics

稲田 隼輔 杉本 大志 都築 伸二 藤森 祥文 森脇 亮
Shunsuke Inada Masashi Sugimoto Shinji Tsuzuki Yoshifumi Fujimori Ryo Moriwaki
愛媛大学大学院 理工学研究科

1 まえがき

近年, Internet of Things(IoT) 向けの無線技術 Low Power Wide Area(LPWA) が急速に普及している. LPWA は, 通信エリアが広く, 低速ではあるが消費電力が少ないという特徴があり, 従来の通信規格と異なる領域をカバーしている. 電池交換せず何年間も動作するため, 人里離れた場所や自動車や船舶などの移動体で利用できる. また, 一つの基地局でセルラと同等かそれ以上の広域をカバーできるので, 免許不要かつ低コストでのエリア展開が可能になる [1].

この LPWA の 1 つである LoRa を用いた通信システムの開発を筆者らは行っている. Light of Sight(LoS) の飛距離特性は調査 [2][3] は行ってきたが, パケットロス特性はまだ調査をしていなかった.

本稿では携帯電波の届かない場所でセンサーネットワークの構築をするためにマルチホップ機能を有する LoRa Private[4] を用いたシステムを構築した. また, その運用を約 3 カ月行いパケットロス率の時間変動特性を考察できるくらいのデータが蓄積できたので考察する.

2 中継機設置のための通信実験

LoRa 中継機の設置のための測定について述べる.

2.1 設置地点

図 1 に設置場所の地図を示す. 図 1 の送信地点から受信地点の間には山があり, 直接 LoRa 通信が出来ない. そのため図 1 の第一, 第二中継地点にマルチホップ機能を有する LoRa Private を設置し, LoRa 通信を行うことにした. 区間毎の距離は送信地点 - 第一中継地点が 0.99km, 第一中継地点 - 第二中継地点が 3.49km, 第二中継地点 - 受信地点が 0.27km である.

2.2 通信実験

LoRa 通信でデータを送信地点から受信地点まで送信するために, 受信強度が最も良い場所に中継機を設置するために行った. 測定時の Received Signal Strength Indication(RSSI) 値の目標値を -125dBm と設定した. これは, 事前に研究室で行ったテストを元に決めた. 事前テスト時に, RSSI 値が -132dBm で安定していたが急に RSSI 値が下がり不通状態になる現象が発生した. この現象を防ぐために RSSI 値にゆとりを持たせるために, 目標値を -125dBm と設定した. 図 1 の送信地点, 受信地点, 第一, 第二中継地点の 4 つの場所で

調べる必要があったので 4 班に分かれて実験を行った.

2.2.1 通信実験 1

通信実験 1 は送信地点 - 第一中継地間, 第二中継地 - 受信地点間で通信できる事を確認するために行った.

送信地点と受信地点が送信源となり, 第一中継機と第二中継機に対して数秒間隔でテストデータを送信した. 中継機はテストデータを受信すると, テストデータに RSSI 値の情報を付け加えて送信元に送り返す. この送り返されてきたテストデータの RSSI 値の情報を見て中継機を取り付け電柱または木を大まかに決めた.

2.2.2 通信実験 2

通信実験 1 で中継機の設置場所を大まかに決めた後, 送信地点 - 第一中継地 - 第二中継地間で通信出来る事確かめるために, 通信実験 2 を開始した.

通信実験 2 では, 送信地点から第二中継機に対してテストデータを送る. 第一中継機を経由して第二中継機がテストデータを受信すると, 第二中継機が第一中継機 - 第二中継機間の RSSI 値を取得する. 第二中継機はこの RSSI の情報をテストデータに付け足して, 送信地点の通信機に送り返す. 送信地点でこの送り返されてきたデータの RSSI 値を確認しながら第一, 第二中継機の向きや高さの微調整を行った.

2.2.3 通信実験 3

通信実験 1, 通信実験 2 が終了し, 各区間での通信ができることを確認した. 確認ができたので, 実際に送信地点から中継機を経由して受信地点の受信機にデータが送れることを確かめるために実験を行った. 通信実験 3 で通信できることを確かめた後, 中継機及び送信機を設置した.

3 通信状況

通信状況として, 日毎の受信成功率と RSSI 値の変化で確認している. 本節では受信成功率と RSSI 値の変化について述べる. ただし, 1 月 19 日から 1 月 20 日は送信地点の送信プログラムが止まっていたためデータが欠落している.

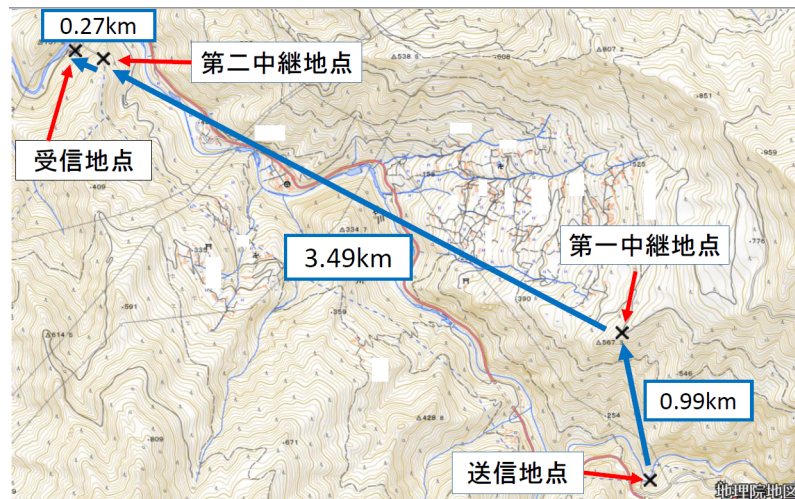


図 1: 設置場所の地図

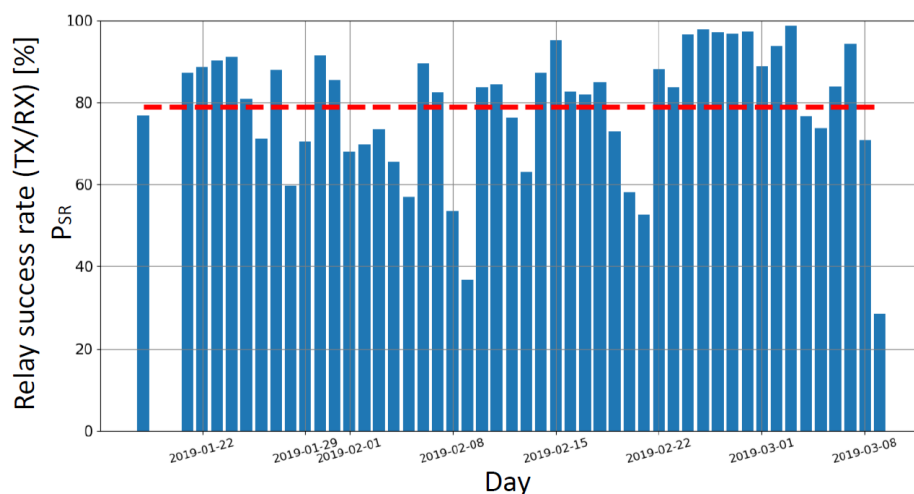


図 2: 日毎の受信成功率の変化

3.1 日毎の受信成功率の変化

送信地点から送信されたデータが第一，第二中継地点を経由して受信地点で受信されたデータの成功率の変化について述べる．受信成功率 P_{SR} の日毎の変化を表したのが図 2 である．受信成功率 P_{SR} の平均値は 78.96% であった．平均値を図 2 で赤線で示す．2 月 25 日から 3 月 3 日の間は受信成功率が 90% を超える状況であったが，2 月 9 日の 36.93% や 2 月 21 日の 52.57% など，49 日のうち 7 日で受信成功率が 60% を下回っていた．

3.2 日毎の平均値の RSSI 値の変化

次に各区間毎の RSSI 値の変化について述べる．日毎の平均値の RSSI 値の変化を示したのが図 3 である．RSSI 値の目標値である -125dBm を赤線で示す．日毎の RSSI 値の平均値で見ると，青線の第一中継地－第二中継地間は目標値の -125dBm を上回っていた．第一中継地－第二中継地間の全体の RSSI 値の平均は

-123.1dBm であった．送信地点－第一中継地間と第二中継地－受信地点は目標値を下回っている日が多い．送信地点－第一中継地間と第二中継地－受信地点では，RSSI 値の平均値が -130dBm を下回っている日もあった．送信地点－第一中継地間の全体の RSSI 値の平均は -126.3dBm であり，第二中継地－受信地点間の全体の RSSI 値の平均は -126.4dBm と目標値を下回っていた．

送信地点－第一中継地間と第二中継地－受信地点間の 2 区間で RSSI 値が目標値を下回っていたため通信状況が不安定だったと考えられる．次節では，別の地点に設置している LoRa 無線機の通信状況と本稿で設置した LoRa 無線機の通信状況と比較する．

4 通信状況の比較

本節では，本稿とは別に傾斜角度を測定するために設置してある LoRa 無線機の通信状況と比較する．

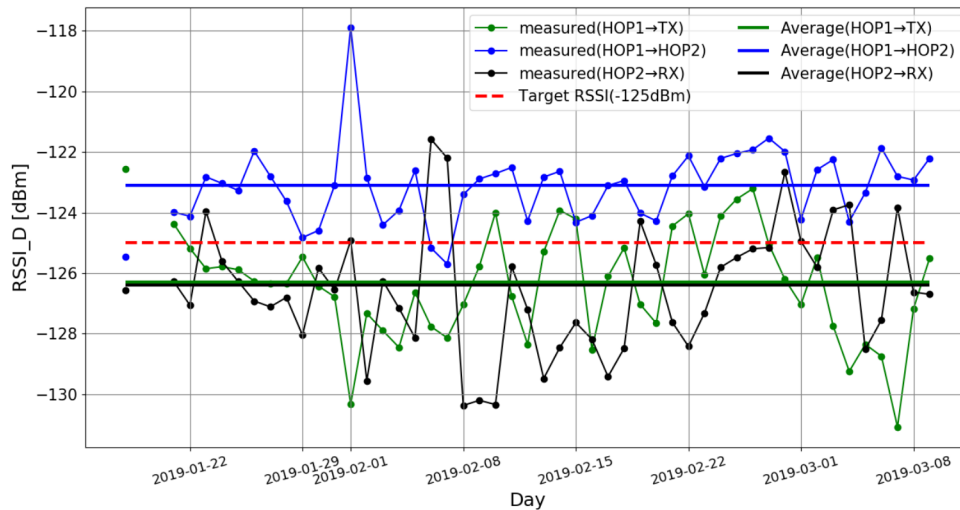


図 3: 日毎の平均値の RSSI 値の変化

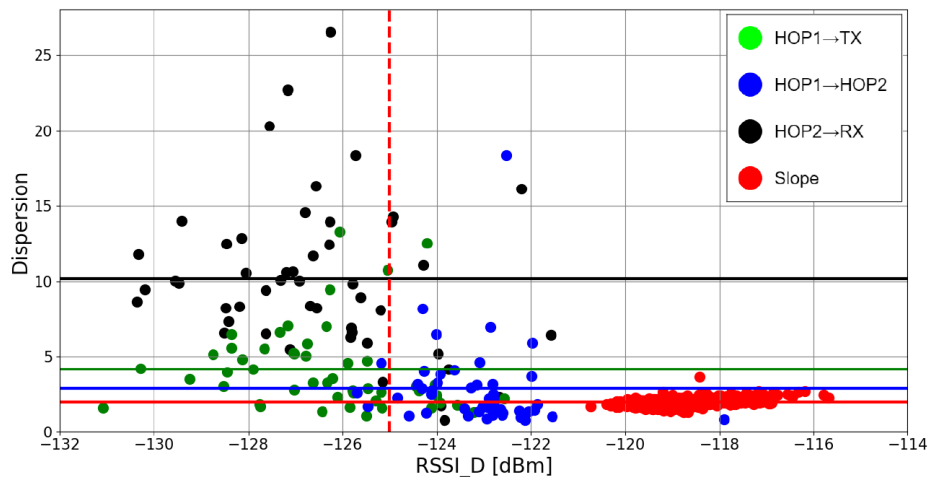


図 4: 日毎の RSSI 値の平均値と分散との相関

4.1 日毎の RSSI 値の平均値と分散

図 4 に日毎の RSSI 値の平均値 RSSI_D と分散値の関係を示す。HOP1 → TX, HOP1 → HOP2, HOP2 → RX が本稿で設置した LoRa 無線機の各区分毎を示し、Slope が傾斜センサの LoRa 無線機を示している。分散値の平均は HOP1 → TX が 4.14, HOP1 → HOP2 が 2.89, HOP2 → RX が 10.18, Slope が 1.98 であった。Slope は比較的 RSSI_D が高く分散値が低い箇所に集中している。本稿で設置した LoRa 無線機の HOP1 → TX, HOP2 → RX は RSSI_D は図 3 で述べたとおり目標値の -125dBm を下回る点が多くある。分散値がほとんど分散しなかったのは RSSI_D が強い Slope だった。目標値の RSSI_D を下回った HOP2 → RX は分散値が 15 以上になる。一方、HOP1 → TX は同じく目標値を下回ったにもかかわらず、HOP1 → HOP2 と同様分散値の大半は 10 以下になる。

RSSI_D が大きいと分散値は小さくなる傾向はあったが、HOP1 → TX は RSSI_D が小さくても分散はしなかった。

4.2 日毎の RSSI 値の平均値と受信成功率

図 5 に日毎の RSSI 値の平均値 RSSI_D と受信成功率 P_{SR} の関係を示す。HOP1 → TX, HOP1 → HOP2, HOP2 → RX が本稿で設置した LoRa 無線機の各区分毎を示し、Slope が傾斜センサの LoRa 無線機を示している。Slope の LoRa 無線機は、RSSI_D は比較的高い位置に分布しているにもかかわらず受信成功率 P_{SR} は 60% から 70% にとどまっている。Slope の全体の受信成功率 P_{SR} の平均値は 58.69% であった。本稿で設置した LoRa 無線機は、RSSI_D は低いが受信成功率は高い位置に分布している。

RSSI_D が大きければ P_{SR} も大きいと予想していたが、両者に相関はなかった。

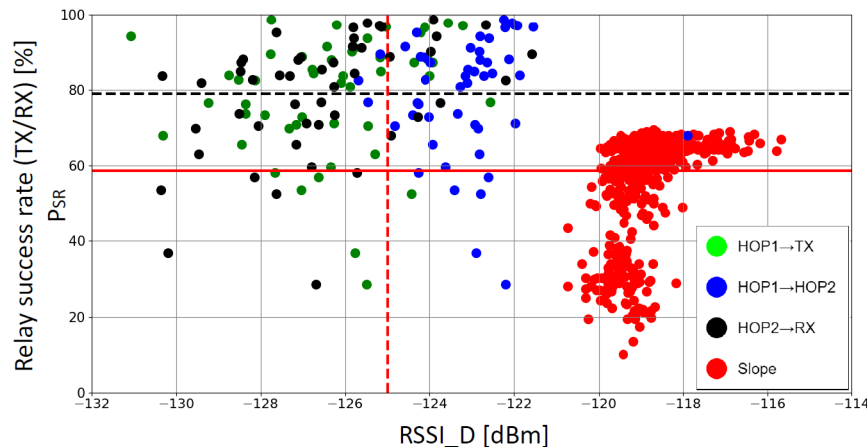


図 5: 日毎の RSSI 値の平均値と受信成功率との相関

5 むすび

本稿では携帯電波の届かない場所でセンサーネットワークの構築をするためにマルチホップ機能を有する LoRa Private を用いたシステムを構築した。また、その運用を約 3 カ月行いパケットロス率の時間変動特性を考察できるくらいのデータが蓄積できたので考察した。

通信状況は 3 カ月間の受信成功率 P_{SR} の平均値は 78.96% だった。1 日当たりの標準偏差の平均は 2.40dB なので、設置時に RSSI 値の目標値の -125dBm を下回っていることが分らなかった。このため、設置時の目標値をもっと高く設定する必要があったと考えられる。1 日の RSSI 値の平均値の RSSI_D が大きいと分散は小さくなる傾向はあったが、送信地点 – 第一中継地間は RSSI_D が小さくても分散しなかった。RSSI_D が大きければ P_{SR} も大きいと予想していたが、両者には相関はなかった。

このため、少なくとも送信地点 – 第一中継地間と第二中継地 – 受信地点間は RSSI_D が大きくなるようにアンテナを再調整する必要があると考えられる。また、RSSI_D では受信成功率 P_{SR} を評価できない。このため、RSSI 値の最小値など瞬時値や、パケットロスの継続時間などが考えられる。

謝辞

実験に協力頂いた住友共同電力株式会社様に感謝する。

参考文献

- [1] 高橋幹, 國澤良雄, 神谷尚保, 新保宏之: ”アンライセンズバンドを使用する LPWA(Low Power Wide Area) 規格の最新動向”, 電子情報通信学会誌, vol. 102, no. 5, pp. 388-392, May 2019.
- [2] 中村友哉, 都築伸二, 安原英明, 木下尚樹, 戸田光, Aulia Dharma Putra, ”LoRaWAN Gateway から

見た LOS 範囲と通信可能場所との関係”, 2018 電気関係学会四国支部連合大会, 2018 年 9 月 21 日.

- [3] 稲田隼輔, 中村友哉, 杉本大志, 都築伸二, ”LoRaWAN 電波の海上長距離通信特性の測定結果報告”, 放送技術研究会, 2019 年 9 月 6 日.

- [4] 稲田隼輔, 寺川尚希, 都築伸二 ”センサーネットワーク用 LoRa マルチホップ中継機の評価”, 2018 電気関係学会四国支部連合大会, 2018 年 9 月 21 日.