

車車間・路車間通信に有効な LoRa フラディング通信システムの研究と評価

佐藤 剛至¹ 柴田 義孝² 内田 法彦³

概要：NICT ではこれまで、既存の携帯網などの通信インフラが途絶・輻輳等により利用できない状況や中山間地域の電波状況が依然として悪い地域を想定し、情報伝達や車両に対する注意喚起を行うネットワークリソース確保に資する LPWA (LoRa) を用いた自営網を用いた LoRa フラディングシステムを開発してきた。本研究では、同一チャンネルで時分割アクセス制御を行う本方式を、より車車間・路車間通信に適するように改良し、実機を用いて性能を評価する。

キーワード：LPWA, LoRa, 車車間・路車間通信, プラットフォーム

Research and evaluation of LoRa flood communication system effective for V2X communication

GOSHI SATO^{†1} YOSHITAKA SHIBATA^{†2}
NORIKI UCHIDA^{†3}

Abstract: Although the LoRa private network has started to be used in various applications due to its characteristics, there are only arrangements for carrier sense time, transmittable time, and post-transmission standby time on the LoRa standard and Radio Law, It is necessary for the user side to independently deal with behaviors related to retransmission of data lost at the time of collision and error correction function. In addition, since it is a relatively new wireless communication method, it can be said that it is almost in a disorderly state without unified guidelines and tacit agreements that have been accumulated in the usual way. In this paper, we develop a system for roadside communication using LoRa flooding technology developed by NICT and verify the basic performance.

Keywords: LPWA, LoRa, V2X, Platform

1. はじめに

近年自動運転技術が急速に進歩して来ているが、現在の自動運転機能や運転支援機能は使用環境が晴天時の車線のある舗装路面でかつ車速はどの一定の条件が揃っている場合のみ使用可能であり、これらが使用不可能な冬期の降雪時などに交通事故を防ぐには、ドライバー自身の運転を適切に行うことが唯一の手段となっている。このため、よりの確で迅速に路面状態を走行中の車両が多様なセンサにより感知し、危険状態を的確かつリアルタイムに判断し、すれ違い時に、互いに交換して注意喚起を促すとともに、これらの道路状況情報を、クラウドシステムに収集して、一般利用者にも提供可能な道路状況情報提供システムの構築と運用が必要となっている。また地震等の災害時には、走行中の車両への安全走行の注意

喚起や誘導を行う応用システムも必要となる。

寒冷地域の住民が安心・安全な道路走行を可能とするため、筆者らは、平成 26~28 年度 SCOPE 地域振興型に採択され、「準静電界センシングによる路面状態推定技術を利用した交通問題対策の研究開発 (142302010)」を実施してきた。この研究開発においては、1)準静電界センサと路面状態推定アルゴリズムの構築、2)時空間センサ収集法と車車間・車路間通信による道路情報共有システムの開発、3)道路状況をドライバーへ通知および注意喚起を行うシステムの開発を行った。本稿では、2)における路車間通信の改善改良を目的としている。

2. 事前実験

N 波長コグニティブ無線の開発のために、活用する無線規格について、通信環境 (通信距離・周囲環境・

1 情報通信研究機構 耐災害 ICT 研究センター
Resilient ICT Research Center, National Institute of Information and Communications Technology

2 岩手県立大学 研究地域連携本部
Iwate Prefectural University

3 福岡工業大学 情報工学部
Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

干渉など)に応じた通信品質(スループット・RSSI など)を把握しておく必要がある。これまでに、活用するいくつかの無線規格について通信実験を実施した。IEEE802.11bgn 無線 LAN デバイスを用いて、図 1, 2 のように距離に応じたスループットを測定する屋外実験を実施している。

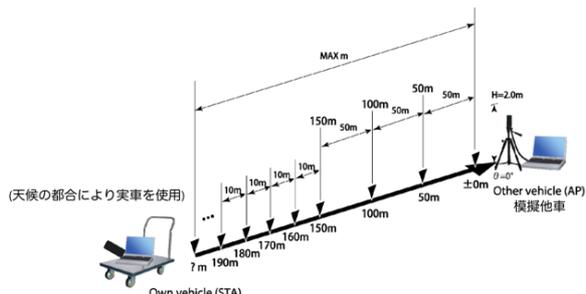


図 1 IEEE802.11bgn 無線 LAN 実験概要

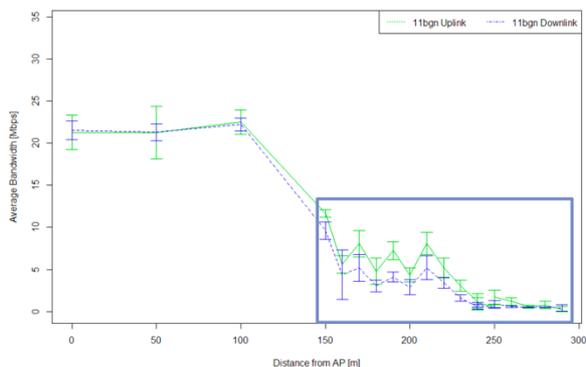
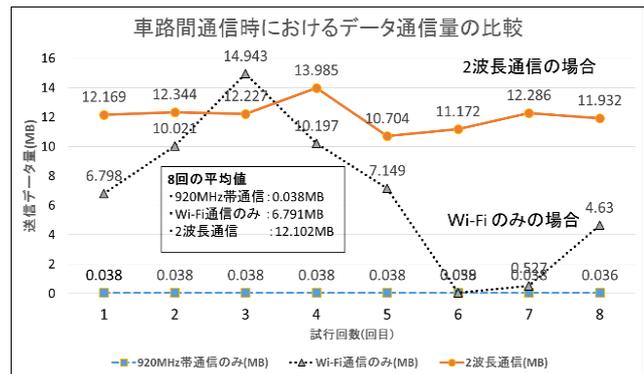


図 2 距離に応じたスループットの変化

本実験結果により、車車間・車路間通信を行う際にデバイス間の距離に応じて転送可能なデータ量が把握できたため、N 波長コグニティブ無線の切り替え処理に用いるしきい値設定及び転送するデータの選択指標とする。

3. 課題

2)では、相対速度が 40~50Km の車路間において、長距離通信およびすれ違い時の高データ転送量の両方を確保する必要があるが、従来のような Wi-Fi のみを活用した方式のみでは達成できない。この問題を解決するために筆者らはこれまで、2 波長の組み合わせによる車路間通信プロトコルを開発した。サブギガ帯無線(920MHz)と Wi-Fi(IEEE802.11n,2.4GHz)を組み合わせ併用することにより、サブギガ無線の長距離通信により各車載サーバの UUID, Wi-Fi の SSID, Key, Socket ID, IP address やセンサ DB のメタデータ等を事前に交換する。そして、車両同士が Wi-Fi 接続



可能な近距離 (60m 以内) のすれ違い時間内 (15sec) 図 3 車路間通信時におけるデータ通信量の比較

以内)でセンサデータ転送することにより、車載サーバに蓄積された路面凍結データを交換するに十分なデータ転送量 (12MB) と Wi-Fi 単独の場合に比較して、通信距離は 1Km で約 10 倍、総データ転送量は 20MB で約 2 倍、ほぼ安定したデータ転送を達成することが出来た(図 3)。

しかしながら、本プロトコルではこれまで、920MHz 無線による通信部分において同時に複数の端末が存在する環境で運用することを想定しておらず、無線信号の衝突によるパケットの損失を考慮していなかった。今後の拡張性向上や社会実装を目指すために、後述する LoRa フラッディング技術を活用する。

4. LoRa フラッディング技術

LoRa 無線通信は、ブロードキャスト通信を用いているため、同時送信により無線信号の衝突が発生すると、再送は行われぬ。また、通信を行うノードは、様々な通信環境を考慮する場合、電波の到達範囲が極端に異なるため隠れ端末問題も発生する環境であるといえる。

このような同時送信を避けるため、LoRa メッシュネットワーク技術では GPS による時刻同期を行った上で、時分割のアクセス制御方式を実装している。システム内で運用する無線局は全て ID で番号付けされており、総数も把握できているものとする。この前提において、ID に基づき自身が送信可能なタイムスロットを動的に割り当てる。例えば、無線機 1 回あたりの送信時間を 10 秒 (他システムとの衝突回避のためのバックオフに要する時間も考慮) と想定し、無線局 5 台で運用した場合、この 5 台が問題なく送信可能である 50 秒より長い時刻を送信周期として割り当てる。この送信周期の中で、図 4 のようにそれぞれの ID に基づき送信タイムスロットを割り当てる。これにより、自システム内の通信において衝突が発生することを回避している。無線機の単位時間あたりの送信

可能なデータ量と通信可能距離は、LoRa の拡散率や使用チャネル帯域幅、周囲の通信環境などの要因により変化する。また、送信周期も、システム内で使用する無線機の数に応じて変化するため、要求条件に従って予めシステム全体のスロット設計が必要である。

送信周期時間(無線機1台あたりの送信時間*無線機台数+α)



図 4 送信周期時間と無線機 1 台あたりの送信時間の関係

5. 路車間通信システムへの適応手法

提案者はこれまで、LoRa を用いた WiFi 接続情報の事前共有によるすれ違い時の WiFi 通信高速化研究を行ってきた。これを更に発展させるべく、LoRa による双方向・データ蓄積型通信を可能とする LoRa メッシュネットワーク技術を用いた車載型車車間・路車間通信システムを開発する。各車両が保持するアプリケーション情報の種類や要求するアプリケーションデータの種類の種類、車両の走行方向や走行履歴などのメタ情報を予め共有し、送信すべき情報・送信すべき相手先を自動的に判断することで、限られたすれ違い時の WiFi による通信時間をより効果的にデータ転送に割り当てることを可能とする。固定局同士の通信とは異なり、車車間・路車間通信では LoRa 通信においてもすれ違い時の通信時間が限られているため、図 5 のように送信周期時間を可能な限り短く設計することで、効率的にメタ情報を共有する。

限られた時間内に自身の担当スロットが回ってくる確率を高めるため
1スロット時間を可能な限り小さくすることで送信周期時間を短縮

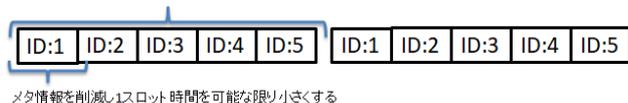


図 5 路車間通信のための送信周期時間設計

なお、本研究においては、同時に通信を行う端末の最大数を限定するため、ターゲットとする車両はいわゆる路線バスなどを想定し、路肩サーバはバス停などに設置する。

6. N 波長通信リンク切り替え手法

本研究で構築する N 波長通信システムには複数の異なる無線通信デバイスが接続されており、かつそ

れぞれ毎にスループット、遅延時間、パケットロス率を測定または推定する。これらの測定結果を、接続されているリンク毎に本アルゴリズムで評価することで各リンクの評価値を算出する。最終的に評価値が選択肢内で最大となるリンクを最適パケットフローとして選択する。評価値の算出は、以下の 3 ステップで行われる。

6.1. 収集したネットワーク性能測定結果の平滑化

路車間通信は瞬間的にネットワーク性能が低下する場合がある。また、災害状況下においてはネットワーク性能が常に不安定であることが想定されるため、あるリンクにおける瞬間的なネットワーク性能の増減の発生により、他のリンクよりも局所的にネットワーク性能が低下した状態が発生し、切り替え処理が断続的に起きる恐れがある。断続的な切り替え処理は、通信セッションの頻繁な切断やパケットロスの増大を引き起こすため、回避すべきものである。この問題を解決するため、本提案アルゴリズムでは収集されたネットワーク性能測定結果の加重移動平均を計算することで平滑化を行った値を測定値 n_i として扱う。平滑化した測定値 n_i は以下の (1) 式で算出する。

$$n_i = am_i + bm_{i-1} + cm_{i-2} \quad (1)$$

なお、式内の m_i は最新の測定値を表す。同様に、 m_{i-1}, m_{i-2} は過去の測定値を表す。また、 (a, b, c) はそれぞれ測定時間毎の重みを表す。例えば、最新の測定値の重みを 6, 1つ過去の測定値の重みを 3, 2つ過去の測定値の重みを 1 とする場合、 (a, b, c) は $(0.6, 0.3, 0.1)$ とできる。

6.2 平滑化したネットワーク性能測定結果の正規化

本提案アルゴリズムでは、複数の異なる無線リンク同士を比較して最終的な評価値を算出する必要がある。しかしながら、規格上の性能がそもそも異なるため、当然発揮できるネットワーク性能も異なる。これは、実効最大スループットや遅延時間の平均値などが違うリンクを定量的に比較する場合において問題となる。この問題を解決するため、本提案アルゴリズムではステップ 1 で平滑化されたネットワーク性能の測定値 n_i を、対象リンク毎に同一の指標で正規化する。遅延時間及びパケットロス率の正規化には (2) 式の定義を用い、スループットの正規化には (3) 式を用いる。なお、式内の n_i, l_i, u_i はそれぞれ測定値、最小値、最大値を表す。例えば、遅延時間の l_i は 20ms, u_i は 800ms といったように、許容値として予めシステムで定義しておき、すべてのリンクの正規化の際に同じ値を用いる。また、 u_{max} は測定履

歴中の最大値を表す.

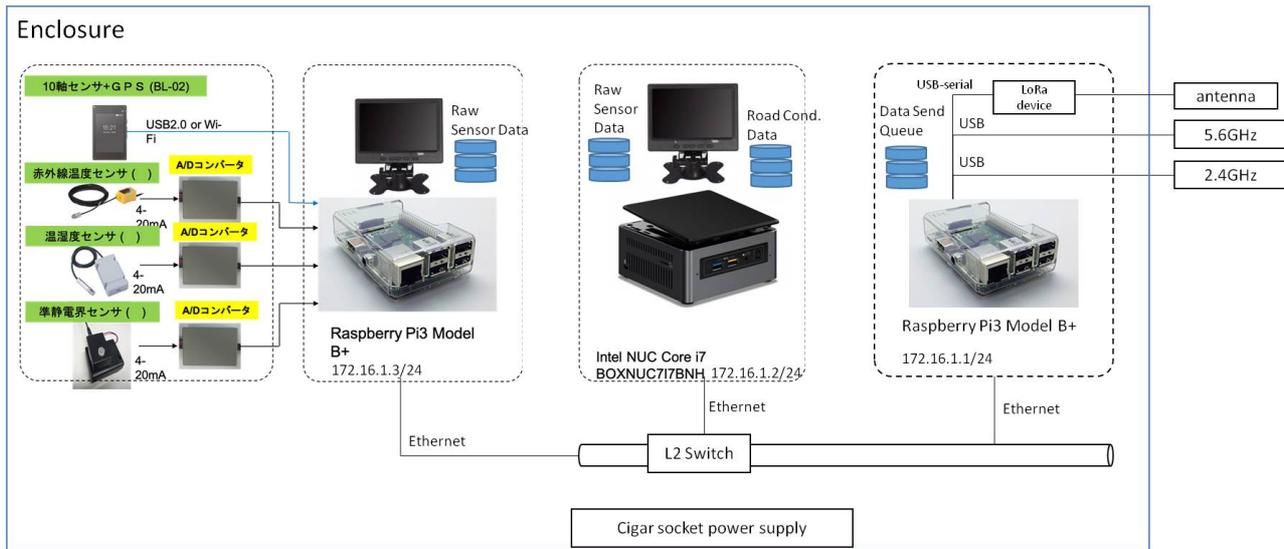


図6 プロトタイプシステム概要

$$S_i = \begin{cases} (1 - \frac{n_i - l_i}{u_i - l_i}) * 10 & (l_i < n_i < u_i) \\ 1 & (n_i \geq u_i) \\ 9 & (n_i \leq l_i) \end{cases} \quad (2)$$

$$S_i = (\frac{n_i - l_i}{u_{max} - l_i}) * 10 \quad (3)$$

(2), (3) 式によって, 測定された各ネットワーク性能は 1 から 9 の間の値 S_i として正規化される. この値は, 同一指標の元で各リンクの性能を定量的に比較するための値として用いられる.

6.3 各候補リンクの評価値算出

ステップ 2 で正規化された各ネットワーク性能の値 S_i を用いて, 各リンクの評価値を算出する. 各リンクを評価するにあたり, どのネットワーク性能をどの程度重視するかといったポリシーを予め決めておく必要がある. 本研究においては測定するネットワーク性能はスループット, パケットロス率, 遅延時間の 3 つであるので, これらについてシステムが重み (x, y, z) を予め与えておく. 遅延時間が最も重要視されるようなアプリケーション要求の場合, 重み (x, y, z) は $(0.3, 0.2, 0.5)$ と設定できる. このような重みを用いて, 以下の (4) 式を計算することで各リンクの評価値 P_i を求める.

$$P_i = xn_{throughput} + yn_{packetlossrate} + zn_{delay} \quad (4)$$

評価値 P_i はリンク毎に算出され, すべてのリンクの評価値が算出された時点で, 比較評価が行われる. この比較で最大値をとったリンクが, 最終的なパケットフローとして選択される.

7. 検証環境の準備

現在本プロトコルを実装したプロトタイプシステムを試作しており, ラボテストを実施している. 現在 NICT が担当しているのは図 6 の概要図のうち右側の通信を司る部分であり, 現在図 7, 8 のような試作システムをラボ内で検証中である.



図7 車載システム外観 図8 路肩システム外観

本プロトタイプシステムは NICT が開発した NerveNet システム[1]を基盤として実装しているため, NerveNet のデータベース同期機能に基づいて通信 I/O を実行する.

8. 事前検証とまとめ

本稿の執筆時点では車載システムの実装が間に合わなかったため, 路肩や施設などに設置する固定システムの検証を事前実験として実施した. 図 8 のように仙台市内の 15 拠点にプロトタイプシステムを設置し, バッテリー駆動で 2 日間通信実験を実施した. 実験内容は各ノード間において, LoRa フラッドイングのプロトコルを用いて実装した通信システムを用いて軽量のデータをやり取りし続けるというもので,

設置したノード間でどのようにリンクが形成されたかを確認した。実験期間は2日間、これら15箇所のノード展開に車両で移動する2部隊を用いて約5-6時間ですべての拠点に設置を完了した。

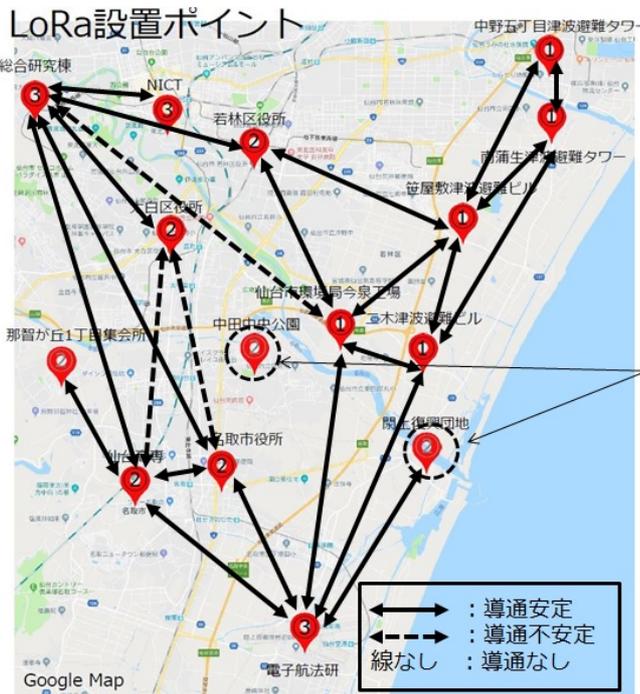


図9 予備実験結果 LoRa 設置拠点間導通

これらの拠点のうち、NICT、総合研究棟、電子航法研ノード以外は22時間でバッテリー切れを起こし1日目は最後まで実験ができなかった。今回のシステムで利用したバッテリーは10000mAhのもので、ラボ内で2ノードの動作試験をした際は2日間動作することを確認していたが、実際に各拠点に設置したことで隣接ノードが増え、同期すべきデータが増えたことで通信頻度が増え、バッテリーの消耗につながったと考えられる。2日目の実験ではバッテリーを10000mAhから40000mAhのものに交換したことで、終日実験を行うことができた。

導通は各ノードのデータ受信ログファイルより、送信元ノードIDを参照することで確認した。定期的(1分20秒毎)に一定のデータを受信できているノードを導通安定、不定期にデータが欠けているノードを導通不安定、データを受信できないノードを導通なしとした。

最終的に見通しがあれば最長で9kmの通信を確認することができ、今後の車載システムと連携した実験ではより柔軟に設置場所を選択し、効率よく路車間通信プロトコルの検証を行っていく。

9. おわりに

本稿の執筆時点ではN波長を用いた路車間通信シ

ステムについて性能の検証実験の実施が間に合わなかったが、プロトタイプシステムを実装し検証環境を整えることができた。今後は整備した検証環境を用いて、ラボテストを踏まえ、屋外での実験、車載システムとの通信を経て有効性を検証していく。

謝辞 この研究は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)助成金番号18152003によって支援されました。

参考文献

- [1] M. Inoue, M. Ohnishi, C. Peng, R. Li, Y. Owada, "NerveNet: A Regional Platform Network for Context-Aware Services with Sensors and Actuators," IEICE Trans. Commun., Vol. E94-B, No.3, pp.618-629, Mar. 2011.