

## Private LoRa を用いた車両間情報共有のための データ中継転送方式の実証評価

江口 直輝<sup>†</sup> 野林 大起<sup>††</sup> 塚本 和也<sup>†††</sup> 荒川 豊<sup>††††</sup> 池永 全志<sup>††</sup>

<sup>†</sup>九州工業大学 工学部 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

<sup>††</sup>九州工業大学大学院 工学研究院 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

<sup>†††</sup>九州工業大学大学院 情報工学研究院 〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

<sup>††††</sup>九州大学大学院 システム情報科学研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

E-mail: <sup>†</sup>eguchi.naoki900@mail.kyutech.jp, <sup>††</sup>{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, <sup>†††</sup>tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp,  
<sup>††††</sup>arakawa@ait.kyushu-u.ac.jp

**あらまし** 都市部への人口集中と自動車の利用の増加は、交通渋滞を引き起こす原因の一つとなっている。ユーザが交通渋滞を避けるためには、車車間通信 (V2V) によるリアルタイムで交通情報が共有できるシステムが有用であると考えられる。しかし、V2V 通信の問題点として、建造物や車両の影響により、見通しが取れない環境下での長距離伝送は困難であることが挙げられる。本研究では、低コスト・低消費電力で広域の通信を実現するため、Private LoRa を用いた車車間情報共有のためのデータ転送中継方式を提案する。提案するデータ中継転送方式の有効性を実証実験により検証する。

**キーワード** VANET, IoT, 車両ネットワーク, LoRa

## Experimental Evaluation of Data Relay Scheme for Inter-Vehicle Information Sharing using Private LoRa

Naoki EGUCHI<sup>†</sup>, Daiki NOBAYASHI<sup>††</sup>, Kazuya TSUKAMOTO<sup>†††</sup>, Yutaka ARAKAWA<sup>††††</sup>, and  
Takeshi IKENAGA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1 Sensui-cho, Tobataku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

<sup>†††</sup> Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

<sup>††††</sup> Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395, Japan

E-mail: <sup>†</sup>eguchi.naoki900@mail.kyutech.jp, <sup>††</sup>{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, <sup>†††</sup>tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp,  
<sup>††††</sup>arakawa@ait.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** Population concentration in urban areas and the increase in the use of automobiles are causes of traffic congestion jams. The system sharing traffic information in real-time by vehicle-to-vehicle (V2V) communication is useful for users to avoid traffic jams. However, one of the problems with V2V communication is that it is difficult to transmit over long distances in an environment where visibility is limited due to the influence of buildings and moving vehicles. This paper proposes a data relay scheme for inter-vehicle information sharing using private LoRa with long-range communication. We verify the effectiveness of our proposed data relay scheme through demonstration experiments.

**Key words** VANET, IoT, Vehicular Networks, LoRa Communication

## 1. まえがき

ITS (Intelligent Transport Systems) を活用して、人・道路・自動車をネットワークで繋ぎ、交通や地域社会の課題を解決するための様々なシステムが検討されている。地域の社会問題の一つに渋滞問題がある。国土交通省によると、渋滞による我が国の年間の経済損失は 12 兆円に上るといったデータもあり、交通の利便性のために改善が必要である [1]。渋滞情報や走行車両データを共有する通信システムとして、路車間通信 (V2I)、車車間通信 (V2V) がある。このうち V2I 通信では、路上に設置された様々なセンサからデータを収集し、サーバで処理・分析し、その結果をユーザに情報提供することでサービスが実現する。しかし、一度インターネット上のサーバにデータを集約することから、ユーザへのサービス提供までに、タイムラグが生じる。その結果、サービス自体のリアルタイム性が低く、突発的な渋滞が発生した際に、車両に乗ったユーザーが知りたい情報を知りたい時に提供できない可能性がある。一方で、V2V 通信においては、基地局を有さずに、車両同士で通信するため、さまざまな環境を走行する車両同士での通信となる。そのため、リアルタイムでの情報収集・提供が可能である。しかし、建造物や地形により通信路が保たれず、確実な通信の確保が課題である。特に、混雑情報をリアルタイムで共有するシステムを想定すると、あらゆる環境下でも、情報を必要とする範囲内に伝送可能なシステムが求められる。

本研究では、特定の範囲内の車両間で、各車両周辺の混雑度を含めた道路情報を共有することを目的とし、車車間の通信方式として Low Power Wide Area (LPWA) の一つである Private LoRa を用いた情報共有手法を提案する。Private LoRa は拡散率 (Spreading Factor) により数十 b/s から数 kb/s の伝送レートで、数 km の転送距離を確保することができる。しかし、LoRa の利用は、その長距離通信の特性を活かすために、比較的高所に基地局を設置することを想定しており、車車間のような両デバイスが低所に存在し、かつ移動する場合の可用性については明らかではない。特に、走行車両同士の通信は、建造物などの影響で見通しが取れないことが原因で、特定の範囲内の全車両が情報を受信できない可能性がある。そこで、範囲内の全車両がデータを中継転送することで、データの到達率が改善出来る可能性がある一方で、範囲内全ての車両が中継動作を行うことでデータの送信競合が発生することが考えられる。隣接する車両から届くデータの受信電波強度に基づき中継の可否を判断することで、効率良くかつ広い範囲での情報共有を実現するデータ中継転送方式を提案する。このシステムが実現できれば、交通道路情報等を周囲の車両とリアルタイムに共有でき、渋滞緩和などの交通課題解決に寄与できると考える。開発した中継転送機能を本学内で実証実験を行い、開発した中継転送方式の有効性を実証する。

本稿では、2 節において LPWA を用いたセンサ情報収集の関連研究について紹介する。3 節では本実験の提案手法について記述し、4 節において事前実験について記述し、5 節において実験検証について記述し、最後に 6 節でまとめる。

## 2. 関連研究

LPWA は低消費電力・長距離伝送可能で、ランニングコストが発生しないといった特徴がある。本研究で提案する車車間通信システムでは、IoT 分野の中でにおいて利活用が急速に進んでいる LPWA の規格の一つで、免許不要の周波数帯を使用している Private LoRa を利用する。近年、本通信規格を活用した研究が数多く報告されている。

Kan Zheng らは、LPWA 通信を用いた大気質モニタリングシステムを提案しており、大気質の変化パターンを明らかにすることに役立っている。[2]。Wael Guibene らは河川のモニタリングに利用し、ブイに搭載している多様なセンサから得られるデータを収集することを達成した [3]。Qi Li らは LoRa 通信を利用し、健康問題に悩まされている家畜をリアルタイムで監視するシステムの構築を行った [4]。

一方で、車両情報を LPWA を活用してデータ収集を行った報告もある。本研究グループではこれまでに、レンタカー事業者を支援するシステムとして、車両に搭載した各種センサ情報を LoRa によるリアルタイム収集と、Wi-Fi による非リアルタイム収集を用いて、車両管理システムを開発してきた [5][6]。このシステムでは、リアルタイムデータを用いた車両返却予測、非リアルタイムデータを用いた車両情報の統計分析によるレンタカー業務改善というユースケースを示した。また、車両に搭載したさまざまな LPWA の性能評価として、路車間通信で 429MHz 帯 LoRa や ELTRES の通信性能を評価した。街中を高速移動する車両からのデータ収集は、建造物などの影響で受信機との見通しが確保できないエリアにおいて、通信性能が低下することがわかった文献 [7]。このように LPWA を用いてリアルタイムデータ収集システムは数多く検討されているが、ほぼ全てがこれらの取り組みは基地局を設置した路車間通信を対象としているため、車車間通信に対する適用可能性については明らかになっていない。

また、LoRa を用いて車車間通信を想定したシステムもある。文献 [8] では、通信インフラが途絶した場合や中山間地域を想定した車車間・路車間通信の研究を行っている。しかし、通信環境に応じて、拡散率や帯域幅を固定的に選定・設定する必要がある。これに対し本研究では建造物が多い街中での使用を想定しているため、目的に応じた通信の仕組みと性能評価を行う必要がある。

## 3. 提案手法

特定の範囲内の車両間で各車両周辺の混雑度を含めた道路情報を共有するために、車車間通信で情報を共有することで、リアルタイム性が高いシステムが実現できる。以下、LoRa で実現する車車間通信システムと提案するデータ中継転送方式について記述する。

### 3.1 Private LoRa による車車間情報共有システム

本システムでは、車両が特定の範囲内の車両に対してデータを送信し、渋滞情報を共有することを目指している。想定するアプリケーションは走行道路の渋滞情報をカメラとセンサで認

表 1 LoRa パラメータ

使用周波数帯	920MHz
使用周波数チャンネル	24ch
出力電力	20mW
自局アドレス	200
宛先アドレス	200
拡散率	12
帯域幅	500kHz
符号化率	0.8
送信データサイズ	36Byte
キャリアセンス回数	1
キャリアセンスタイムアウト	100ms

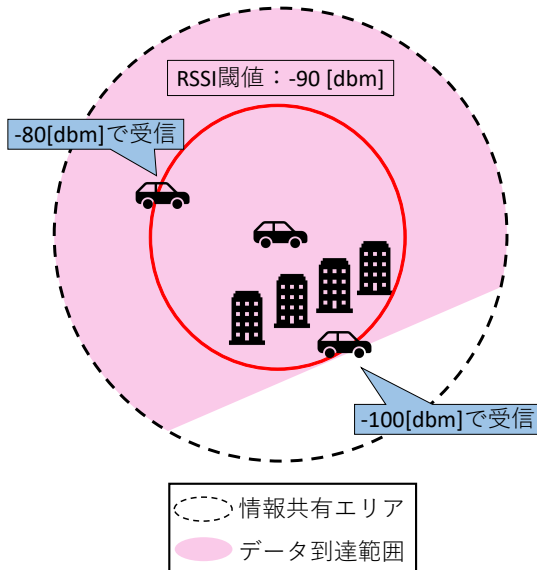


図 1 提案システム概要図

識する。また、通信規格は伝送レートが数十 b/s から数 kb/s の伝送レートの Private LoRa を用いるため、認識した渋滞情報はテキストデータに変換した後、送信する。しかし、走行車両同士の通信では、建造物などの影響で無線通信環境が常に変化することから、通信性能が著しく低下する可能性がある。そのため、周辺的环境を考慮しつつ、適切にデータを中継する仕組みが必要となる。

### 3.2 データ中継転送方式

図 1 に提案システム概要図を示す。送信車両を中心として、情報を共有したい範囲内に位置する車両は、送信車両から受け取ったデータを再びブロードキャストすることで、データが到達しないエリアにも到達させることができる。しかし、全車両が転送を行うと送信競合が発生し、データの到達率に影響を与える可能性がある。そこで、受信電波強度が低下しているエリアのみ中継転送する制御方法を検討する。まず、データを受信した車両は GPS 情報に基づき、送信車両との距離を算出する。そして、算出した距離に対する理想的な受信電波強度と実際の受信電波強度を比較し、この値が任意に設定した閾値を下回った場合に中継転送を行う。以上のように、受信車両は受信電波強度を用いて、目的の距離に到達できない状況になると、自律的に中継を行うか否かを判断する。

## 4. 事前実験

本システムでは中継車両が中継転送を行うか判断する閾値を決める必要がある。この閾値は、利用する Private LoRa モジュールに依存すると考えられるため、実際の機器を用いて受信電波強度の関係を計測する必要がある。以下、実験環境と実験結果を記述する。

### 4.1 実験環境及び機器構成

本実験は、九州工業大学戸畑キャンパス西門から見通すことができる直線道路で行った。送信機の設置図を図 2 に、受信機

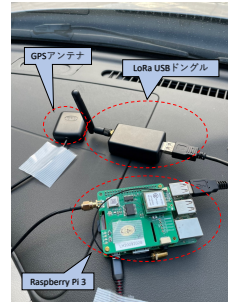


図 2 送信機設置図



図 3 受信機設置図

の設置図を図 3 に示す。送信機は車両に搭載し、受信機も本来は車両であるが、今回は送信機と同程度の高さに設置した。距離と受信電波強度を算出できるように、送信データは ID、日時、時刻、経度、緯度の 36Byte で構成した。また、受信機は本学西門に固定し、送信機のデータを受信する。走行経路を図 4 に示す。機器本体マイコンは Raspberry Pi 3 Model B+ を、LoRa モジュールとして RFLink 社製の RM92A を、GPS モジュールはクリアリンクテクノロジー社製の LoRaPi-HAT を使用した。表 1 に今回使用した LoRa のパラメータを示す。

### 4.2 実験及び考察

受信機に蓄積された受信データの GPS 情報と受信電波強度より、距離と受信電波強度の関係を算出した。その結果を図 5 を示す。また、自由空間モデルの受信電波強度は対数で減衰していくため、得られた結果も対数式に近似した。その結果を図 6 に示す。

今回提案するシステムがあらゆる環境において汎用的に利用できるように、自由空間伝播モデルの理論式を補正して、その値を閾値とする。自由空間伝播モデルの理論式を下記に示す。

$$P_r = G_t G_r P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi x} \right)^2 \quad (1)$$

$P_r$  は受信電力、 $G_t$  は送信利得、 $G_r$  は受信利得、 $P_t$  は送信電力、 $\lambda$  は波長を示している。今回の実験で使用したアンテナ利得と送信電力を用いて、理論式を算出した。本稿では、時節の実証実験を考慮し、1km 地点の電波受信感度が -110dbm になるように、理論式を補正した。導いた式を用いて、受信電波強度の閾値を定め、実証実験を行う。

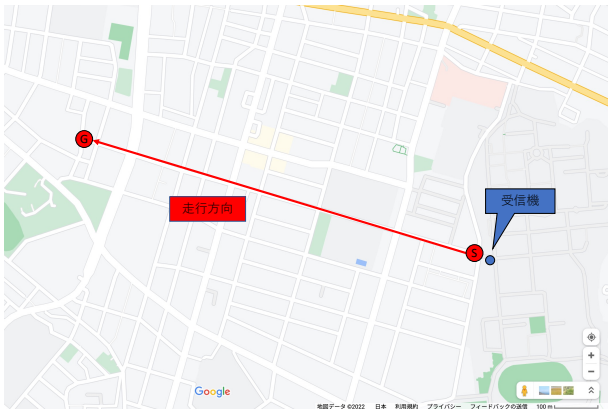


図4 走行経路

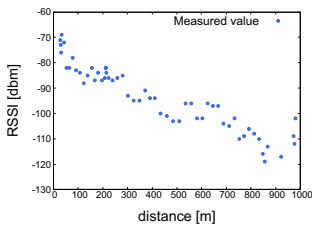


図5 受信機の電波受信強度

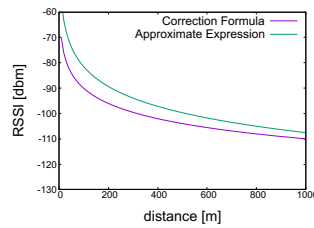


図6 近似式と補正式

## 5. 実験検証

今回の実験検証の際に、本実験機器以外で同じチャンネルを使用している機器がないことを確認するために、RFLink社製パケットアナライザで計測した。その結果、同チャンネルのパケットは観測されなかったため、電波は競合していないと推測した。

今回の実験検証では、受信電波強度の閾値で中継転送を行う仕組みの検証を行うため、ノードは固定して実験を行った。本システムの有効性を示すために、本学に送信機1台、中継機2台、受信機2台設置し、各ノードのIDを設定した。送信機は情報発信車両と同様に、混雑情報を送信するノードである。しかし、今回の検証では開発したシステムの動作を確認することを目的としているため、カメラやセンサによる車の台数を認識することはせずに、10秒に1回擬似的なデータを送信し、10回繰り返す。送信間隔は920MHz帯の電波法と送信データサイズに基づいて決定した。送信機の送信データはID、日時、時刻、経度、緯度で構成され、データサイズは36Byteとなった。中継機は送信機からの送信データを受信すると、受信電波強度の閾値を基に中継転送するか判断するが、どの中継機から到達したデータか区別するために、中継する際に自身のIDに書き換えて転送する。また、中継機同士がブロードキャストストームを起こさないように、一度受信したデータは再送しないように設計した。図9に各ノードの配置図を示す。送信機は本学教育研究1号棟付近に設置し、各ノードの設置位置の特徴を以下に示す。

- 中継機1: 送信機に対して見通しが取れ、閾値より高い受信電波強度で受信でき、中継転送を行う必要がないと想定される場所。



図7 送信機設置図

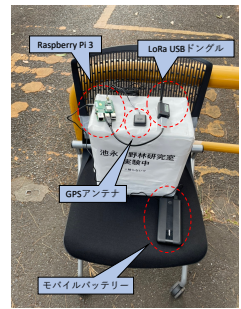


図8 受信機・中継機設置図



図9 各ノードの配置図

- 中継機2: 送信機に対して見通しがなく、閾値より低い受信電波強度で受信し、中継転送を行う必要があると想定される場所。
- 受信機1: 送信機から離れており、見通しがなく、送信機からのデータが到達しないと想定される場所。
- 受信機2: 送信機に対して見通しがなく、建造物の影響で受信電波強度が低下していると想定される場所。

以上のように配置して実験を行い、送信データが届かないエリアに位置するノードが受信できるようになったか、また電波受信感度の閾値を設定することで、中継転送データを削減できるかの2点を基に評価を行った。

### 5.1 中継機の動作分析

今回想定するシステムは中継車両が送信車両からのデータを受信した際にGPS情報を取得し、情報送信車両との距離を算出する。そのため今回の検証では、中継機を固定してもGPSセンサの精度の問題で閾値が変動する。図10に中継機が実測した受信電波強度とその閾値を示した。中継機1の実測した受信電波強度が閾値を上回ったため、動作しないことを確認した。一方で、中継機2は実測した受信電波強度が閾値を下回ったため、転送動作を行うことを確認した。したがって、閾値による中継制御を行うことにより、転送データ削減を実現した。転送データを削減することで、データの衝突の可能性や転送効率向上が期待できる。

### 5.2 受信機の到達データ分析

図11に送信元に対する受信機が実測した受信電波強度を、図

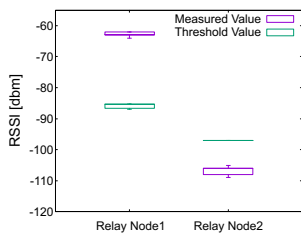


図 10 中継機の受信電波強度

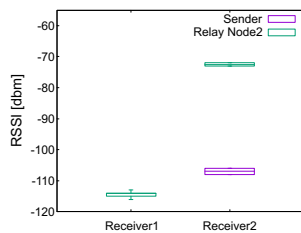


図 11 受信機の受信電波強度

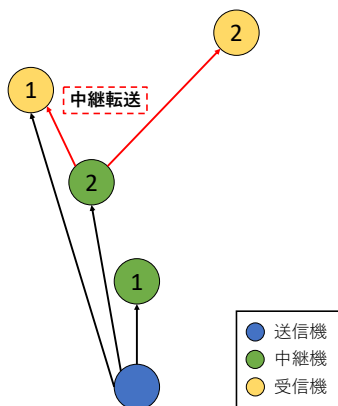


図 12 中継機の動作

12 に中継機の動作を示す。図 11 より、受信機 1 は送信機からのデータは到達できなかったが、中継機 2 が動作することで、データが到達できるようになることを確認した。また、受信機 2 は中継機 2 から -80dBm の受信電波強度で受信することを確認した。したがって、送信機から送信されたデータが到達しないエリアにも、データを到達させることができ、また受信電波強度が低下しているエリアにおいて受信電波強度を向上させることができた。以上の結果より、開発した中継機を設置することで、送信データが到達しない場所に到達できるようになり、送信パケット数を減らすことができた。したがって、データの中継転送に対して提案手法が有効であることを示した。

## 6. まとめ

本稿では、交通の混雑情報などの車両間情報を全車両で共有するための中継転送システムを提案し、効率的なデータ転送を実現した。ただし、今回の実証実験ではノード台数を考慮しておらず、また移動車両による中継転送も行っていないため、今後も引き続き調査する必要がある。今後は、ノード台数が増えたときの到達率の検証と、中継転送データの削減に取り組む。

**謝辞** 本研究の一部は、情報通信研究機構の委託研究による成果を含む。ここに記して謝意を表す。

## 文献

- [1] 国土交通省, “効果的な渋滞対策の推進”, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/07.pdf>, Feb. 2022
- [2] K. Zheng et al., “Design and Implementation of LPWA-Based Air Quality Monitoring System” 2016 IEEE Access, Jun. 2016
- [3] Wael Guibene et al., “Evaluation of LPWAN Technologies for Smart Cities: River Monitoring Use-Case” 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), May,

2017

- [4] Q. Li et al., “A Data Collection Collar for Vital Signs of Cows on the Grassland Based on LoRa” 2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE), Oct, 2018
- [5] 中原 和真, 他, 「レンタカー走行データを活用した車両管理システムの提案」 電気情報通信学会, Vol.120, no.381, IA2020-39, 2021 年 3 月.
- [6] 丹羽 康文, 他, 「広域分散した走行車両を対象とした 920MHz 帯 LoRa によるデータ収集実験」 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.120, no.381, IA2020-38, 2021 年 3 月
- [7] 野林 大起, 他, 「走行車両データ収集に関する LPWA 通信規格間の通信特性評価」 電気情報通信学会, Vol.120, No.381, IA2020-40 2021 年 3 月
- [8] 佐藤 剛至, 他, 「LoRa フラディング技術を活用した路車間通信システムの開発と検証」 情報処理学会研究報告, Vol.118, No.465, NS2018-282, 2019 年 3 月.