

Private LoRa を用いた移動車両からのデータ収集のための送信制御手法

脇元 翔太[†] 野林 大起^{††} 塚本 和也^{††} 池永 全志^{††}
佐藤 剛至^{†††} 滝沢 賢一^{†††}

[†]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

^{††}九州工業大学大学院 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1

^{†††}情報通信研究機構 レジリエント ICT 研究センター 〒980-0812 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-3

E-mail: ^{††}nova@ecs.kyutech.ac.jp, ^{†††}sato_g@nict.go.jp

あらまし Internet of Things (IoT) 技術の進展に伴い、走行車両に搭載した様々なセンサの情報を収集・分析することにより様々な社会課題や交通課題を解決できると期待されている。車両によって取得したデータを継続的に広域から効率よく収集するためには、Low Power Wide Area (LPWA) 無線通信の利用が効果的である。しかし、車両は高速な移動に伴って無線通信環境が常に変化するため、低データレートで通信する LPWA の特性上、安定した通信性能を得ることが難しい。そこで本研究では、LPWA の一つである Private LoRa を用いた移動車両からの効率的なデータ収集を実現する送信制御手法として、車載器が基地局から定期的に送信されるビーコン信号を受信した際の受信電波強度に基づき適切な拡散率を選択しデータを送信する手法を提案する。さらに、提案手法の機能を実機に実装し、実証実験によってその有効性を検証する。

キーワード 走行車両データ収集, LPWA, LoRa, 送信制御

Transmission Control Method for Data Collection by Moving Vehicles Using Private LoRa

Shouta WAKIMOTO[†], Daiki NOBAYASHI^{††}, Kazuya TSUKAMOTO^{††}, Takeshi IKENAGA^{††},
Goshi SATO^{†††}, and Kenichi TAKIZAWA^{†††}

[†] School of Engineering, Kyushu Institute of Technology,
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

^{††} Kyushu Institute of Technology,

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

^{†††} Resilient ICT Research Center, National Institute of Information and Communications Technology
2-1-3 Katahira, Aoba-ku, Miyagi, 980-0812 Japan

E-mail: ^{††}nova@ecs.kyutech.ac.jp, ^{†††}sato_g@nict.go.jp

Abstract With the spread of Internet of Things technologies, it is expected that various social and traffic problems can be solved by collecting and analyzing information of various sensors mounted on moving vehicles. The utilization of the radio communication by low power wide area (LPWA) is examined to continuously collect the data acquired by the vehicles from the wide area. However, it is difficult to achieve stable communication performance due to the characteristics of LPWA that communicate at a low data rate because the wireless communication environment between the vehicle and a base station constantly changes with high-speed movement. In this paper, we propose a transmission control method that achieves efficient data collection from moving vehicles using Private LoRa, which is one of the LPWA communication, and evaluate its effectiveness using an actual experiment.

Key words Data Collection for Running Cars, LPWA, LoRa, Transmission Control

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の進展に伴い、様々な分野においてセンサを用いたデータ収集、データ分析、そしてサービス展開が検討されている。IoT の活用例の一つとして、車両から得られる膨大なデータを収集し活用することで社会・交通課題を解決する Mobility as a Service (MaaS) の実現が期待されている。MaaS では主に、飛行機や鉄道、バスなどの公共交通機関の車両を対象にデータの収集が検討されている。都市圏における公共交通機関が充実している地域では、各種車両から様々なデータの取得が可能であることから、MaaS に利用可能なデータの収集を比較的容易に実現可能であると考えられる。一方で、公共交通機関の少ない地方においては、都市圏と比べ自家用車、タクシー、レンタカーの利用が多くなることが予想される。これらの乗用車は公共交通機関の車両と比べ、移動経路や時間に制約が無いいため、様々な場所に移動する可能性がある。近年では乗用車にセンサを取り付け、その情報を収集することで交通課題解決につなげるなど、様々な取り組みが実施されている。このような背景から、自家用車、タクシー、レンタカー等の乗用車両からの情報を収集することは交通課題だけではなく、特定の地域に特化した課題の解決に貢献できると考えられる。

乗用車の走行データ収集に着目すると、大きく分けて機器主導、ユーザ主導の 2 タイプのデータ収集に分類できる。機器主導型のデータ収集には、携帯通信用インターフェースを搭載した通信型カーナビやドライブレコーダーがある。これらの機器では、走行映像等を含む様々な車両走行データを各機器を製造したベンダが携帯通信網を通して収集している。一方で、ユーザ主導型のデータ収集では、スマートフォン上のアプリケーションにより直接走行データを取得するか、またはセンサタイプの端末を車両に取り付け、スマートフォン経由でデータを取得する。データの管理としては、前者は機器の製造ベンダがデータを所有し、後者はユーザ自身がデータを自身の端末もしくはクラウド上に収集することになる。

タクシーやレンタカーのような配車サービスを提供する事業者や、公用車を多数所有する地方自治体等が車両から収集したデータの利活用を想定する場合、通信型カーナビやドライブレコーダーでのデータを利用するためには、製造ベンダからデータを購入、または独自にデータ利用のための契約を締結する必要がある。一方でユーザ主導型の場合においても、最終的なデータの収集は携帯通信網を利用するためデータ収集を継続するためには回線費用が必要となる。そのため、乗用車からの持続的な

データ収集を実現するためには、広域かつ長期間にわたって自営によるデータの収集を行いつつ、ランニングコストを可能な限り下げることが望ましい。

そこで、我々はこれまで低ランニングコストで広範囲かつ長期間にわたって車両の走行データを継続収集するための情報プラットフォームを提案してきた [1]- [4]。このシステムでは、車載器により取得されるセンサ情報をランニングコストを下げつつ広範囲の通信によりデータを収集するために、Low Power Wide Area (LoRa) の一つである 920MHz Private LoRa を採用した。Private LoRa は、データを受信するための基地局を自前で設置する必要はあるが、最大数十 km の長距離通信が可能であるため、車両のデータ収集に利用できると考えた。また、Private LoRa の伝送レートと距離はトレードオフの関係になっており、LoRa の拡散率 (Spreading Factor, SF) を上げると伝送レートは低下するが、距離特性が改善し、拡散率を下げるとその逆の特性になる。我々はこれまでに、この Private LoRa の通信インターフェースを搭載した車載器を実装し、車両に搭載して実験を行った。市街地における車両の走行では、走行する道路と基地局の間の環境が建物などの影響により常に変化することから、安定した通信性能を得ることが難しいことが確認できた。SF を上げることで電波伝搬による距離特性を延長することも可能ではあったが、伝送レートが低下することでデータ転送時間が長くなり、ドップラー効果の影響で通信性能が低下したり、電波法の特定小電力無線局の送信時間の制約によりデータ転送ができなくなるなど、様々な課題が浮き彫りとなった。

そこで本研究では、持続可能なデータ収集を実現するための Private LoRa を用いた走行車両のデータ収集に着目し、走行車両から効率よくデータを収集するための送信制御手法を提案する。この方式では、走行車両に搭載した車載器 (送信機) が、基地局に対してデータを送信する際に、車載器と基地局間の通信環境を RSSI から予測し、その地点における適切な SF 値を選択してデータを転送する。事前実験に基づいて SF 値選択のための閾値を決定し、実際に提案手法を実装した車載器を用いた実験を通して、その有効性を評価する。

本稿では、2 節において LPWA におけるデータ収集に関する関連研究について紹介する。3 節で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する。5 節で性能評価実験について述べ、最後に 6 節でまとめる。

2. 関連研究

LPWA を用いた IoT データの収集については数多く研究されている。Wixted らは LoRa と LoRaWAN 通信を

用いて、歩行者のデータ送信位置の収集を行っている [5]. Guibene らは川の水位検知のため、LoRa を用いて固定局、または小型のブイを用いた計測を行っている [6]. Petajarv らはヘルスケアデータ収集のため、LoRa を搭載したデバイスをユーザに取り付け、キャンパス内を移動することでそのデータを収集している [7]. これらの取り組みについては固定の端末または低速移動することを想定したデータ収集を行っており、実際の走行状態の車両を対象とした LoRa によるデータ収集については、その通信性能に関しては十分に評価されていない。

一方で、走行車両のデータをリアルタイムに取得する取り組みも報告されている [9] [10] [11]. これらの報告では路車間または車車間のデータ転送を想定し、LoRa によるデータ取得の検証を行っている. 本論文と同様に市街地での実験を通して LoRa の通信性能を評価しているが、走行車両のデータ収集に使用される LoRa の使用周波数帯や拡散率の違いが性能に与える影響については明らかにされていない。

これに対して、我々は先行研究として、走行状態の車両を対象として 920MHz 帯 LoRa, 429MHz 帯 LoRa, そして ELTRES [13] を用いたデータ収集の性能評価を実施した [12]. その結果、高速に移動する車両のデータを LPWA 通信で取得する場合、送信データのサイズとデータレートに大きく依存する可能性があることが確認できた. 特に伝送レートが低い場合、一つのデータの送信に要する時間が長くなることから、車両が移動するとドップラー効果の影響や走行に伴う建造物の影響により通信性能が著しく低下することが確認できた. また、通信規格毎に送信制御やアクセス制御に異なる特徴があるため、それを把握しつつ適切な通信規格の選定とパラメータを設定する必要があることが分かった. このことから、走行車両から得られるセンサデータ等を LPWA 無線通信を用いて転送する場合には、走行状況と周辺の通信環境に応じて適切なパラメータ設定が必要となる。

3. 提案手法

本稿では、持続可能なデータ収集を実現するための Private LoRa を用いた走行車両のデータ収集に着目し、走行車両から効率よくデータを収集するための送信制御手法を提案する. 図 1 に提案概要図を示す. 本提案システムは、建造物の屋上などの高所に設置した LoRa 基地局と車両に搭載した LoRa 車載器から構成される. LoRa 車載器には Private LoRa インターフェース (I/F) を搭載し、LoRa 基地局には ビーコン送信用およびデータ受信用の Private LoRa I/F を搭載する. 移動する車両上の車載器が自律的に基地局間との通信環境を把握できるよ

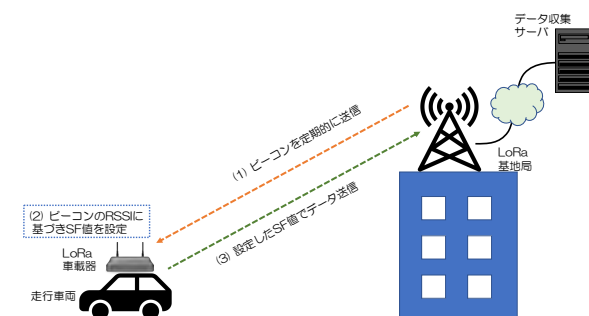


図 1 提案手法 概要



図 2 基地局

うにするため、本提案システムでは基地局から発信するビーコンを利用する. 基地局はビーコン送信用 I/F から任意の周期でビーコンを送信する. 車載器は通常 Private LoRa I/F をビーコン待機モードに設定しておき、常にビーコンを受信できる状態にしておく. 車載器が基地局からビーコンを受信した場合、ビーコンに対する受信電波強度から、自身と基地局間の環境を判断し、より基地局にデータを到達可能な SF に設定し、データを送信する. この SF を決定するための閾値については利用する I/F に依存することから後述する事前実験により求めるものとする. 閾値については自由空間伝搬モデル等を用いることで理論的に求めることも可能であったが、理論値と実測値が大きく乖離する可能性もあることから [14], 今回は事前実験を実施した. また、本提案手法における SF 値の選択については、RSSI に基づき基地局間との通信環境が悪い場合は SF 値を上げる (伝送レートを下げて通信距離を伸ばす) ことで、データの到達率を改善する. 一方で、基地局間との通信環境が良好な場合は、走行車両のドップラー効果等によるパケット損失を低減し、チャンネルの占有時間を短くして少しでも競合を回避するために、SF 値を下げ、到達可能な範囲で最も高速な伝送レートを選択する方針で SF 値を決定する.



図 3 車載器 (送信機)



図 4 事前実験 場所

4. 事前実験

実験に際して、図 2 と図 3 に示すような基地局および車載器を作成した。基地局および車載器には汎用マイコンボードである RaspberryPi 3 Model B+ を用いた。Private LoRa I/F には RFLink 社の RM-92A を採用した。RM-92A は、送信電力が 20mW (13dBm) であり無免許無登録で利用可能な LoRa モジュールである。今回作成した基地局は、ビーコンの送信のための LoRa I/F を 1 つと、異なる SF 値に設定され送られてくるデータを受信する必要があることから受信用 LoRa I/F を 3 つ搭載した。車載器はビーコン受信とデータ送信を切り替えて利用するため、1 つの LoRa I/F を搭載した。

これらの機材を用いて、提案手法における SF 値決定のための閾値抽出のため事前実験を実施した。今回の実験では、受信機を九州工業大学総合研究 1 号棟 8 階に設置し、基地局側から SF6/SF8/SF10/SF12 の 4 パターンのデータを送信した。図 4 に示すように、車載器は見通しのある直線道路を、基地局から遠ざかり、最長約 1km 地点まで計測を実施した。このときの RSSI の変化と受

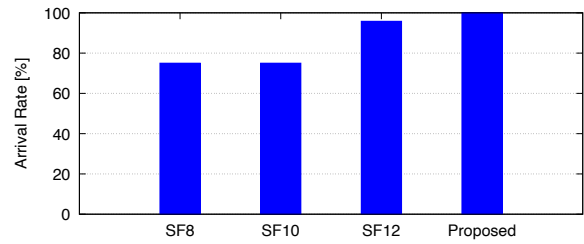


図 5 パケット到達率

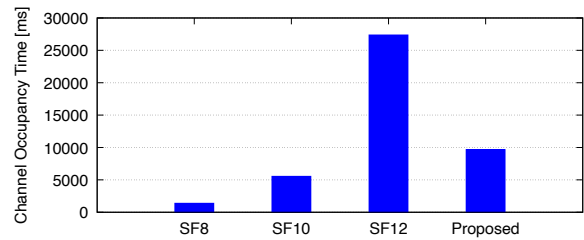


図 6 チャンネル占有時間

信性能に基づき SF 値選択のための閾値を以下のように設定した。

- SF8: $RSSI \geq -80\text{dBm} - \alpha$
- SF10: $-80\text{dBm} - \alpha > RSSI \geq -110\text{dBm} - \alpha$
- SF12: $-110\text{dBm} - \alpha > RSSI$

$RSSI$ はビーコンの RSSI, α は RSSI 値が受信毎に変動することに対応するための幅として設定した。また、今回は基地局のデータ受信用 I/F が 3 つであるため、選択可能な SF 値も 3 つとし、SF8, SF10, SF12 を選択した。

5. 性能評価

事前実験により得られた閾値を適用した提案手法の有効性を評価するために実験を行った。性能評価実験は、移動に伴う RSSI の変動を少なくするため、九州工業大学総合研究 1 号棟の屋内で実施した。基地局は事前実験同様 8 階に設置し、SF8, SF10, SF12 のデータを同時に受信できるよう I/F を設定した。ビーコンの送信間隔は 4s に設定した。車載器については、今回は人が手に持った状態で、8 階から 1 階ずつ降りていき、基地局のビーコンを受信した際の RSSI に基づき SF 値を決定する。データ送信は 100Byte のデータを各階において 3 回ずつ実施した。このときの車載器から基地局へ到達したデータ到達率と、データ送信に対するチャンネル占有時間を評価指標とした。チャンネル占有時間はデータ送信回数と各 SF 値における伝送レート [b/s] から算出する。提案手法の性能を SF8, SF10, SF12 で固定して送信した場合の性能と比較した。

図 5 に各手法のパケット到達率、図 6 にチャンネル占有時間を示す。この結果より、SF8 および SF10 固定の場

合, RSSI が低下する場所でパケット到達率が低下したが, SF12 および提案手法はほぼ 100%に近いデータ到達率を実現している. 一方で, チャンネル占有時間に着目すると, 提案手法は SF 値の約 3 分の 1 に抑制することができている. このことから, 提案手法が RSSI によって SF 値を適切に設定可能であることを確認した.

6. ま と め

本研究では Private LoRa を用いて, 移動車両から効率よくデータを収集するための送信制御手法を提案し, 実機上に実装し, 実験を通してその有効性を評価した. 実験結果より, 提案手法を用いることで, データ到達率の改善とチャンネル占有時間を大きく減らすことが可能であることを示した. 今後は, より詳細な事前実験と理論計算に基づく閾値の導出と, 車載器を実際の車両に搭載した場合における性能評価に取り組む.

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] 丹羽 康文, 他, 「920MHz 帯 LoRa 搭載車両を用いた市街地での走行データ収集実験」 電子情報通信学会 2020 年 ソサイエティ大会, B-16-26, 2020 年 9 月.
- [2] 野林 大起, 他, 「走行車両の位置情報を活用した車両管理システムの開発」 電子情報通信学会 2020 年 ソサイエティ大会, B-16-27, 2020 年 9 月.
- [3] Y. Niwa, et al., “Development of Data Collection Platform for Running Cars by using 920MHz LoRa Communication in Urban Area,” 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC2020), Dec. 2020.
- [4] D. Nobayashi, et al., “Development of Vehicle Management System using Location Data Collected by 920MHz LoRa,” The 2020 International Conference on Computational Science & Computational Intelligence (CSCI 2020), Dec. 2020.
- [5] A. J. Wixted, et al., “Evaluation of LoRa and LoRaWAN for Wireless Sensor Networks,” 2016 IEEE SENSORS, Nov. 2016.
- [6] W. Guibene, et al., “Evaluation of LPWAN Technologies for Smart Cities: River Monitor Use-Case,” 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), Mar. 2017.
- [7] J. Petajarvi, et al., “Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Remote Health and Wellbeing Monitoring,” 2016 10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), Mar. 2016.
- [8] Lukas, et al., “On the Application of IoT: Monitoring of throughs Water Level using WSN,” 2015 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe), Aug. 2015.
- [9] 大和田 泰伯, 他, 「LoRa による車両位置情報共有システム」 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, No.124, NS2018-40, 2018 年 7 月.
- [10] 佐藤 剛至, 他, 「車車間・路車間通信に有効な LoRa フラッシュ通信システムの研究と評価」 情報処理学会研究報告, Vol.2019-MBL-92, No.19, 2019 年 8 月.
- [11] 佐藤 剛至, 他, 「クラウドセンシングと V2X 技術に基づく新世代広域道路状況共有プラットフォーム」 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.119, No.344, NS2019-135, 2019 年 12 月.
- [12] 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」 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 120,

- no. 381, IA2020-40, pp.33-38, 2021 年 3 月
- [13] 北園 真一, 「[招待講演] ソニーの IoT 向け LPWA ELTRES の紹介 ~ 独自技術で長距離安定通信を実現 ~」 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 119, No.265, SRW2019-25, pp.17-20, 2019 年 11 月.
- [14] 江口 直輝, 他, 「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」 電子情報通信学会技術研究報告, 2022 年 3 月