

920MHz 帯 Private LoRa を用いた車両間情報共有のための 中継タイミグ制御手法の検討

江口 直輝[†] 野林 大起^{††} 塚本 和也^{†††} 荒川 豊^{††††} 池永 全志^{††}

[†]九州大学大学院 システム情報科学府 〒819-0395 福岡市西区元岡 744

^{††}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

^{†††}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

^{††††}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: †eguchi.naoki.214@s.kyushu-u.ac.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, †††tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp,
††††arakawa@ait.kyushu-u.ac.jp

あらまし 都市部への人口の集中と自動車の利用の増加による交通渋滞が各地で発生している。交通渋滞を回避するためには、リアルタイムで交通情報を共有できる車両間通信 (V2V) のシステムが有用であると考えられる。しかし、市街地を走行する車両同士の通信は建造物の影響などによって受信できない車両が存在するなど、不安定になることが予想される。そこで、本研究ではアンライセンスで柔軟に運用ができ、長距離伝送が可能な Private LoRa を用いて混雑情報を含めたデータの中継転送を行い、受信電波強度と位置に基づいた中継転送方式によりデータ送信による競合を抑制しつつ広範囲に至る車両間でデータを共有する方式を提案した。評価の結果、広範囲に至るデータの展開に有効であることを明らかにした。

キーワード VANET, IoT, 車両ネットワーク, LoRa

Study of Relay Timing Control Method for Inter-Vehicle Information Sharing using 920 MHz Band Private LoRa

Naoki EGUCHI[†], Daiki NOBAYASHI^{††}, Kazuya TSUKAMOTO^{†††}, Yutaka ARAKAWA^{††††}, and
Takeshi IKENAGA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395, Japan

^{††} Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology
1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

^{†††} Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology
680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

^{††††} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 819-0395, Japan

E-mail: †eguchi.naoki.214@s.kyushu-u.ac.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, †††tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp,
††††arakawa@ait.kyushu-u.ac.jp

Abstract Traffic congestion is one of the major social problems due to the concentration of population in urban areas and the increase of automobile use. The real-time traffic information sharing system using vehicle-to-vehicle (V2V) communication is useful for drivers to avoid traffic jams. However, V2V communication in urban areas is unstable because some vehicles may not receive data due to the obstacles such as building. In this paper, we propose a data relay transmission method using the Private LoRa, which is unlicensed, flexible, and capable of long-distance transmission. To share data among vehicles over a wide area while suppressing data transmission collisions, we introduce the timing control method based on received signal strength (RSS) and location information. The experimental results show that the proposed method is effective in deploying data over a wide area.

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に接続し、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、我が国において渋滞による経済損失は年間 12 兆円であり、一人当たりの時間損失は年間 30 時間であると報告されている [1]。そのため、利便性の高いモビリティ社会を実現するには渋滞問題の改善が必要である。

渋滞情報や走行車両データを共有するための主な車両の通信形態として、路車間通信 (V2I: Vehicle to Infrastructure) と車車間通信 (V2V: Vehicle to Vehicle) がある。このうち V2I 通信は、路面に設置されたセンサにより収集したデータをサーバ上で処理・分析し、その結果をユーザに提供することでサービスを実現する。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必要があるため、データを収集してからサービス提供までにタイムラグが発生する。さらに V2I 通信は車両と通信を行う路側機がない場所においてはサービス提供が困難であり、サービス提供できない道路が存在する可能性がある。一方で、V2V 通信は基地局を介さない車両同士の通信であるため、データを収集する過程がなくリアルタイムなサービス提供が可能である。また、インフラが整備されていない場所でも渋滞情報を取得でき、あらゆる場所を走行する車両自身が渋滞を認識できれば、移動するセンサのような役割を果たす。このことから場所に依存せず、サービスを享受できるため、渋滞情報を共有するためには V2V 通信が有効であると考えられる。

車両間通信での利用が想定される ITS 専用周波数は主に 700MHz 帯と 5.8GHz 帯がある。しかし、これらの周波数帯は安全運転支援システムや ETC (Electronic Toll Collection System) などの近距離通信のサービスに適している。また、渋滞情報を共有するためには、サービス提供に必要な距離が数百 m から数 km であると考えられるため、長距離通信可能な通信規格の検討が必要である。そこで、本研究では特定の範囲内の全車両で、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指し、車車間の通信規格として Low Power Wide Area (LPWA) の一つである Private LoRa を用いた情報共有手法の実現を目指す。920MHz 帯を使用する LoRa は理論的な伝送距離が 30km 程度であるため既存の ITS で想定される通信システムより長距離伝送可能である。一方で、伝送レートは拡散率や帯域幅により数十 b/s から数 kb/s 程度であるため、写真や映像など容量が大きいデータの転送は困難である。そこで、今回想定するシステムでは車両ごとにカメラやセンサで認識した混雑情報をテキストデータとして転送することを前提とする。しかし、走行車両同士の通信は、建造物などの遮蔽物の影響で見通しが取れないことにより、特定の範囲内の全車両が混雑情報を受信できない可能性がある。そこで我々は先行研究において受信電波強度により再送の可否を判断する手法を提案してきた [2]。この方式では、データを受信した車両は GPS 情報に基づいて、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

な受信電波強度より実際の受信電波強度が下回った場合に中継転送を行う。このように、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判断することで、データの中継転送数を削減しつつ、広域に中継転送が行える。しかし、中継動作の可否を地理的条件により行う場合、近接する複数車両が同時に中継動作を行う可能性があり、送信競合が発生すると考えられる。我々の先行研究では 2 台の LoRa が同時に送信動作を行った場合の通信性能を評価を行っている [3]。評価の結果、送信機同士が離れており、キャリアセンスが行われない位置関係にあるときは、チャンネルの競合よりデータ到達率が著しく低下することが明らかになった。そのため、データを受信した車両が同時に送信しないような設計にすることで、データの到達率を向上させることができると考えられる。そこで、受信電波強度を用いて中継の可否を判断する手法に加え、データ受信車両の位置に基づき、中継タイミングを制御する手法を提案する。まず、混雑情報を含めたデータを受信した車両は送信車両との距離を算出する。次に目標とするデータ共有範囲の距離に基づき、遠くに位置する車両から中継動作を行うように中継タイミングを割り当てる。また、中継時刻になるまでの間に同じ送信データを再び受信し、その受信電波強度が閾値以上であった場合は中継動作を行わないようにする。このように情報発信源から遠くに位置する車両から中継動作を行うことで、競合を回避しながら高速で広範囲に情報を展開し、かつ、効率的な中継転送が可能になる中継タイミング制御方式を提案する。

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 節において実験結果及び考察について記述し、最後に 5 節でまとめる。

2. 関連研究

IoT の普及が進み LPWA (Low Power Wide Area) は低消費電力・長距離伝送可能でランニングコストがかからないといった点で注目されている。また今回提案する Private LoRa は免許不要で自前のネットワークを構築できるためさまざまな場所での活用が期待されており、本通信規格の研究が多数報告されている。Wei Song らは LoRa を使った家庭用電気メータの遠隔無線電気計測システムを提案し、電力会社が消費電力量の解析などに活用することが可能となった [4]。Chenhui Wang は LoRa を使用した地滑りのリアルタイムモニタリングと早期警告システムを構築し、被災状況をリアルタイムで把握できることを示した [5]。Petajarv らは生体センサデータを収集するために、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の収集を達成している [6]。Qu Li らはネットワーク環境が悪い放牧場において、LoRa 通信を利用し家畜をリアルタイムで監視するシステムを構築している [7]。Kan Zheng らは LPWA を用いた大気質のモニタリングシステムを提案し、持続的なデータ収集によ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 [8]。しかし、これらの取り組みは固定されているもしくは低速で移動するノードからのデー

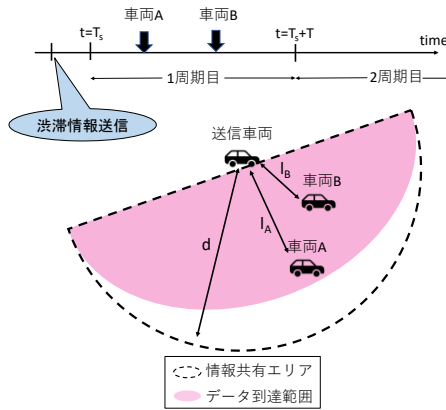


図 3: 中継タイミグ制御方式

信したデータを再び中継する車両同士の距離が離れていると、相互にキャリアセンスできない、また隠れ端末問題が発生する可能性があることから、データが受信できない場合があると考えられる。先行研究においても、2 対の送受信機を用いてデータを送受信した場合に、距離が離れるにつれて、キャリアセンスが行われずデータが受信できないことを確認している [3]。そこで、データの中継する車両の位置に基づく送信タイミグ制御を提案する。提案する中継タイミグ制御方式を図 3 に示す。前提条件としてマイコンに搭載できる GPS と RTC (Real Time Clock) を用いて全車両で時刻同期を行うこととする。まずデータ共有範囲内に位置する車両がデータを受信すると、受信データに含まれる送信車両の GPS 情報と自身の GPS 情報から距離 l を算出する。そして送信車両と情報共有エリアの最大到達距離を d とすると、1 ホップに要する時間の周期 T 内で情報共有エリア内の d 近くに位置する車両から送信車両近くに位置する車両にかけて順に中継タイミグを割り当てる。また、中継開始時刻を T_s とすると送信時刻は式 (1) のようになる。

$$SendTime = T_s + T * (hop - 1) + T * (1 - l/d) \quad (1)$$

さらに、データを受信した車両が中継動作を行うまでの待機時間中は常にデータ受信を継続しており、その間に同一データを受信電波強度が閾値以上で受信した場合、近くに位置する他の車両が中継動作を行い、受信電波強度が弱いエリアに対してデータ転送を代わりに行ったと判断して中継動作を行わない。このように送信車両に対して遠くに位置する車両から中継転送していくことで、競合を回避しつつ効率の良いデータ転送が行えると考える。

渋滞情報の共有などのデータを届ける必要がある距離が数 km であった場合、複数回の中継転送を行うことでデータをより遠方に展開できるようにする必要がある。まず、送信・中継するデータに現在のホップ数を含めて転送する。これはデータを受信した車両はデータに含まれているホップ数を確認し、自身が何周期目に動作すべきなのか判断するためである。最後に式 (1) に基づいて周期内で中継タイミグを決定し中継転送を行う。以上のように転送データにホップ数を含め、受信した車



図 4: 受信機設置図

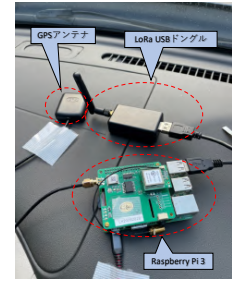


図 5: 送信機設置図

表 1: LoRa (RM-92A) パラメータ

使用周波数帯	920.6MHz
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

両が自律的に中継すべき周期を判断することで、あらゆる環境下においても目的とするデータ共有範囲までデータの展開を可能とする。

4. 実験結果及び考察

本システムの有効性を示すために実験を行った。以下、実験方法と結果について述べる。

4.1 受信電波強度の閾値の決定

本システムでは中継車両が転送を行うか否かを受信電波強度により判断する。しかし、車車間通信における Private LoRa 通信の性能が不明であったことから、使用する LoRa モジュールを用いて実空間で事前に計測した上で、受信電波強度の閾値を決定する。そこで、九州工業大学戸畑キャンパスの西門付近の見通しのある直線道路上で計測した。今回使用した LoRa モジュールは RFLink 社製の RM92A である。本実験は受信機と送信機を用いて実験を行った。受信機は九州工業大学の西門付近に、車両を想定した高さに固定した (図 4)。送信機は車両のダッシュボード上に設置し、受信機から遠ざかるように走行しながら、受信機に向かってノード ID、日時、時刻、経度、緯度の 36byte を 3 秒に 1 回送信した (図 5)。その時の LoRa パラメータを表 1 に、図 6 に理論値として用いた自由空間伝搬モデルの式を示す。

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

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、 λ 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、受信電波強度の理論式を算出した。実験結果より、車車間における通信性能は理論式 (2) から大きく乖離していることがわかった。そこで、市街地などの遮蔽物が多い場所での通信を想定して、1000m 地点で -110dbm の受信

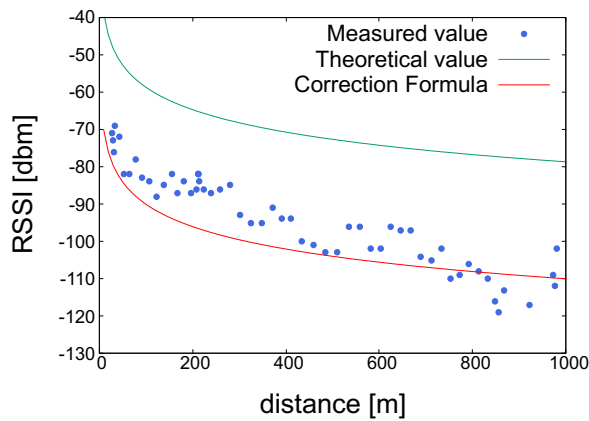


図 6: 距離と受信電波強度の関係

電波強度となるように理論式を補正し、次節の実験ではこの値を閾値とした。

4.2 構成機器と実験環境

本提案手法の有効性を評価するため、九州大学伊都キャンパスにおいて実験を行った。各ノードの構成図を図 7 に示す。機器本体マイコンは Raspberry Pi 3 Model B+ を LoRa モジュールは RFLink 社製の RM92A を、GPS モジュールはクレアリンクテクノロジー社製の LoRaPi-HAT を使用した。また LoRaPi-HAT には RTC の機能も搭載されているため、ノード間で時刻同期が可能である。今回の実験ではキャリアセンスのリトライを行わなかった。

各ノードの配置場所を図 8 に示す。本来は車両に設置することを想定しているが、今回の実験では中継タイミング制御の有効性を検証することが目的であるためノードを固定した。実際に混雑情報の送信を想定した送信機 1 台 (ID: 1) と、データを中継転送する中継機 6 台を設置した。送信機はカメラやセンサによる車両認識を行わず、疑似データを 45 秒に 1 回送信し、30 回試行する。送信データは ID, 経度, 緯度, 日時, 時刻, 現在のホップ数, 2 ホップ目の中継開始時刻である。ホップ数はデータを中継する際に 1 ずつ加算する。さらに、ブロードキャストストームを起こさないように提案手法によって受信電波強度により送信の必要が無いと判断されたデータは中継転送が行われないように設計している。また、今回の実験ではデータ共有の距離を 3000m で 1 ホップの周期を 15s で設定した。全中継機はこの範囲内に配置している。送信機と各ノードの位置関係について説明する。ID: 2 は送信機から見通しがあり、障害物による受信電波強度は低下しないと想定される位置である。ID: 3, 4 は植木による影響で送信機から見通せず、受信電波強度が低下しやすい位置である。ID: 5, ID: 6 は送信機に対して大きな建造物があるため、完全に見通せずデータが受信できない可能性がある。ID: 7 は送信機から見て建造物の隙間に位置するが見通しがないため、受信電波強度が低下すると考えられる。以上のように配置して実験を行い、中継転送によりデータが到達できなかったノードにデータが到達できるようになったか、また、無駄のない効率的な中継転送が行えているかの 2 点

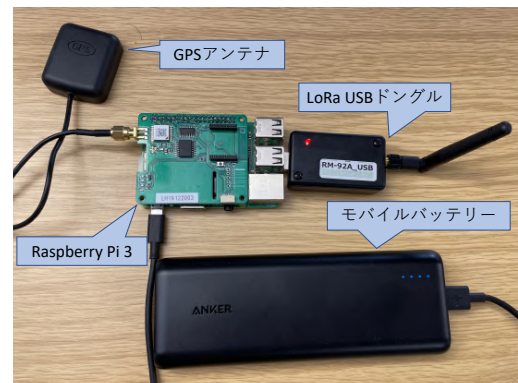


図 7: 各ノードの構成図

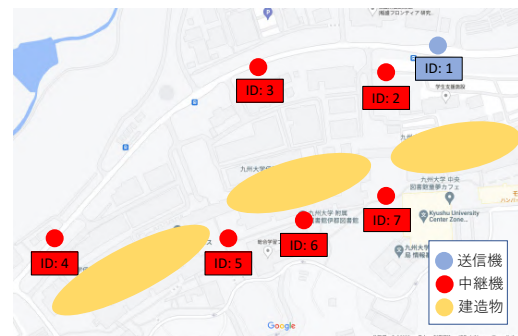


図 8: 各ノードの配置場所

表 2: 各ノードの受信データ数と中継データ数

	ID: 2	ID: 3	ID: 4	ID: 5	ID: 6	ID: 7
受信データ数 (重複なし)	30	30	28	30	30	30
受信データ数 (重複あり)	60	61	84	31	59	59
中継回数	1	28	28	28	0	30

を基に評価した。

4.3 実験結果及び考察

中継機に蓄積された受信データを分析した結果、今回の実験では試行回数 30 回全てにおいて、全ノードにデータが到達するまで 3 ホップ必要であったことを確認した。送信機から転送したデータの流れをホップごとに図 9, 図 10, 図 11 に示す。帯の太さは全試行のデータ到達量 (最大 30 個のデータ) を示しており、データ伝送の流れを示す。また、図左は送信ノード ID とデータ送信数, 右は受信ノード ID とデータ受信数を示す。図 9 より 1 ホップ目は送信機が送信したデータが ID: 2, 3, 4, 7 に到達していたことがわかる。ID: 4 のみ 28 個のデータが到達し、それ以外のノードは 30 個全てのデータを受信できた。次に図 10 より 2 ホップ目は 1 ホップ目でデータを受信した ID: 2, 3, 4, 7 全てが中継動作を行ったことがわかる。ID: 3 は ID: 4 に 28 個のデータ, ID: 4 は ID: 5 に 28 個のデータ, ID: 7 は ID: 6 に 30 個, ID: 3 に 3 個, ID: 2 に 2 個のデータが到達していることがわかる。ID: 2 は 1 回のみ転送中継を行い, ID: 3, 5, 7 にそれぞれ 1 個のデータが到達している。ID: 2 は送信機に対して見通しがあったにもかかわらず 1 回中継を行ったのは、送信機がデータを送信している際に通信経路上に車両が通過した

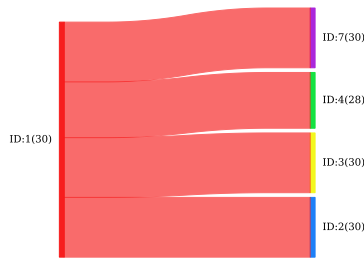


図9: 1 ホップ目の伝送経路

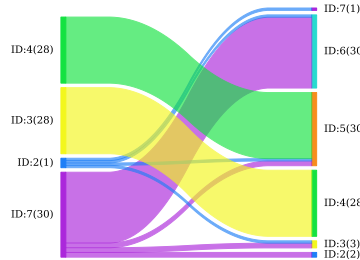


図10: 2 ホップ目の伝送経路

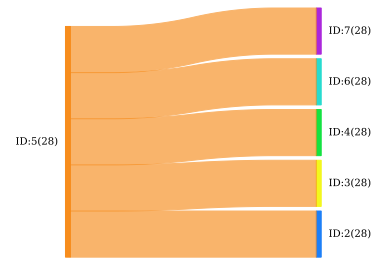


図11: 3 ホップ目の伝送経路

ことにより、受信信号強度が低下したためであると考えられる。そして最後に図11より3ホップ目は2ホップ目で初めてデータを受信したID:5,6の内、ID:6はID:7による中継転送により閾値より高い受信電波強度で受信したため、中継動作を行わなかった。また、ID:5は中継動作を行いID:2,3,4,6,7に28個のデータが到達した。しかし、ID:5が中継転送を行わなかった場合でもID:2,3,4,6,7は1,2ホップ目でデータを受信しており、表2の重複ありの場合の受信データ数を確認すると、ID:5による28回の中継転送により、ID:2,3,4,6,7の重複データ数が増加していることがわかる。また、3ホップ目では、データが送信機に近い場所に位置するノードまで戻ってきていることが確認できる。そのため、受信電波強度に基づく中継の可否の判断のみでは無駄な中継動作が行われることがわかった。従って受信電波強度のみではなくホップ数に対する受信車両の位置も考慮する必要があると考える。

次に表2よりデータの到達回数について考察する。受信データ数はID:4以外は試行回数である30個のデータを受信することができた。また受信電波強度に基づく中継回数はID:2は1回、ID:5は0回、ID:7は30回、それ以外のノードは28回であった。さらにID:3に蓄積された受信データを分析した結果、受信電波強度が閾値の受信電波強度に近かったため、2回は中継動作を行わなかった。ID:6については送信機から直接データを受信することはできなかったが、ID:6が中継転送を行うことでデータを受信でき、かつ、受信電波強度が閾値以上であったため、中継動作を行わなかった。全てのノードが中継動作を行った場合180回の中継動作が行われたが、115回まで抑制することができた。以上のことから中継動作をする必要がない場合は中継動作の抑制を行った上で、中継タイミングをずらすことで広範囲に至るデータの展開を実現した。

5. まとめ

本稿では交通の混雑情報を全車両で共有するための中継タイミング制御手法を提案し、中継タイミングをずらして中継転送することで、データの到達率の向上を実現した。しかし、受信したデータの中継の可否を受信電波強度のみで行ってしまうと、全ノードにデータが到達しているにもかかわらず、必要以上に中継転送を行うことがわかったため、今後更なる効率化を目指すための手法の検討が必要である。

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>, Jun. 2022
- [2] 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, NS2021-152, 2022年3月.
- [3] 石田裕也, 他, 「LoRa無線通信の競合時における通信性能の実証評価」 電気情報通信学会2018年ソサイエティ大会, B-16-4, 2018年9月.
- [4] Wei Song et al., “Implementation of Remote Residential-Electric-Meter Reading System Using LoRa” BDIOT 2018: 2018 2nd International Conference on Big Data and Internet of Things, October 2018
- [5] Chenhui Wang et al., “Landslide monitoring system based on LoRa wireless sensor network”
- [6] J. Peta ja jarvi, 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. icWCSN 2022: 2022 9th international Conference on Wireless Communication and Sensor Networks (ICWCSN), January 2022
- [7] 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
- [8] K. Zheng et al., “Design and Implementation of LPWA-Based Air Quality Monitoring System” 2016 IEEE Access, Jun. 2016
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 佐藤剛至, 他, 「車車間・路車間通信に有効なLoRaフラッシング通信システムの研究と評価」 情報処理学会研究報告, Vol.118, No.465, NS2018-282, 2019年3月.
- [13] Joseph Redmon et al., “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016