

時空間データ滞留のためのデータ拡散手法の実験評価

川口 光輝[†] 金安 歩尚^{††} 野林 大起^{†††} 塚本 和也^{††††} 池永 全志^{†††}

[†]九州工業大学情報工学部 〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

^{††}九州工業大学大学院工学府 〒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

E-mail: [†]{kawaguchi.koki851,kaneyasu.hotaka389}@mail.kyutech.jp, ^{††}{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp,
^{†††}tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp

あらまし IoT技術の発展に伴い、多くのIoTデバイスや新たなアプリケーションが出現し、大量のデータが生成されることが予想される。それらのデータの中には、特定の場所や特定の時間でのみ必要とされるデータ（時空間データ）が存在する。時空間データは、その地域に存在するユーザに素早く配信されることで、効果的に活用することができる。本研究では、データの地産地消を実現する時空間データ滞留手法の実現可能性を評価するために、ユースケースに基づく実証実験を九州工業大学のキャンパス内において実施した。

キーワード 時空間データ, 時空間データ滞留, データの地産地消

Experimental Evaluation of Data Diffusion for Spatio-Temporal Data Retention

Koki KAWAGUCHI[†], Hotaka KANEYASU^{††}, Daiki NOBAYASHI^{†††}, Kazuya TSUKAMOTO^{††††},
and Takeshi IKENAGA^{†††}

[†] Graduate School of Computer Science and Systems Engineering
680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

^{††} Graduate School of Engineering

1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, 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, Kyushu Institute of Technology
680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

E-mail: [†]{kawaguchi.koki851,kaneyasu.hotaka389}@mail.kyutech.jp, ^{††}{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp,
^{†††}tsukamoto@csn.kyutech.ac.jp

Abstract With the development and the diffusion of Internet of Things (IoT) technologies, various types of data are generated for IoT applications anywhere and anytime. We defined IoT device data that depends heavily on generation time and location as spatio-temporal data (STD). Spatio-temporal data use is effective in what is provided quickly to users within a specific location. Therefore, we have proposed the STD retention system to achieve the paradigm of "local production and consumption of STD." and evaluated the system using a network simulator. In this paper, to evaluate the feasibility of the STD retention system under the actual environment, we constructed the system using Raspberry Pi and conducted demonstration experiments.

Key words Spatio-temporal Data, Data Retention, Locally Produced and Consumed of Data

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の発展と普及に伴い、多くの IoT デバイスが爆発的に増加すると予測されている。Cisco Annual Internet Report (2018 ~ 2023 年) ホワイトペーパー [1] によると M2M (Machine-to-Machine) デバイス数は 2023 年までに 293 億台を超えると想定されており、このような IoT デバイスからさらに多くのデータが発生すると考えられる。IoT デバイスから発生するデータは、時間的、空間的にその発生位置に強く依存する可能性があり、先行研究 [2] ではこのようなデータを **時空間データ** と定義している。例えば、交通量や都市における人流情報、そして店舗における時限的な広告などは時空間データであり、このようなリアルタイムに活用できる情報は、その情報発信源の付近に存在するユーザに配信され利用されることで、有効に活用することができる。つまり、「時空間データの地産地消」を実現することにより、IoT デバイスから生成されるデータを用いた新しい情報ネットワークの構築を実現することが可能となる。

時空間データの地産地消を実現するために、我々はこれまで車両ネットワークを用いた時空間データ滞留方式を提案してきた [2] - [5]。この時空間データ滞留方式では、車両が高い計算資源、大容量ストレージの保有、そして無線通信インターフェースを有する可能性がある事に着目し、車両を情報の中継ハブ (Information Hub, InfoHub) として活用する。この方式においては、車両が特定のエリア内で時空間データをブロードキャスト通信を用いて時空間データ滞留を実現する。これにより、時空間データが滞留した特定のエリア内のユーザは、車両からリアルタイムな時空間データを受動的に受信することが可能となり、時空間データの地産地消を実現する。このように、時空間データをインターネットを用いずに無線通信可能な通信機によって滞留させることで、リアルタイムな情報の配信、インターネット上のサーバの処理負荷軽減を可能とする。一方で、特定のエリア内の全車両がブロードキャストにより時空間データを送信すると、ブロードキャストストームが発生することで、フレームの衝突が頻発するために効果的な情報滞留を実現できない可能性がある。そのため、[2] - [5] では、車両密度に基づいたデータ送信確率制御を提案している。これらの先行研究では、提案方式の有効性をシミュレーションによって評価しているが、現実環境での動作検証は行っていない。現実環境では、障害物の影響により時空間データが想定している範囲まで拡散されない、または想定している拡散速度で拡散されないといった問題が生じる可能性がある。そのため、現実環境における無線通信の状況が変化の中で、時空間データ滞留方式を用いることで、データの地産地消が実現可能であることを検証する必要がある。

そこで本研究では、現実環境における情報滞留システムの実現可能性を検証するために、時空間データ滞留方式を、実機上に実装し、実証実験による性能評価を行う。本稿では、最初の時空間データを発信するための送信機能、時空間データを滞留させる中継機能、そして滞留している時空間データの受信機能

を実装し、九州工業大学内のキャンパス内で実証実験を行うことで、現実環境において時空間データ滞留方式の実現可能性を評価する。

2 節では情報滞留技術について、3 節では関連研究について述べ、4 節では実機での情報滞留技術の実装について述べる。5 節で時空間データ滞留の観点から、実証実験により実装したシステムの評価を示す。最後に 6 節でまとめと今後の展望について述べる。

2. 情報滞留技術

本節では、時空間データ滞留システムの目的、概要、滞留を実現するためのデータ送信制御、課題について記述する。

2.1 時空間データ滞留システムの目的

本研究では、時空間データが一定の時間に特定のエリア内で車両によって分散管理され、配信されるようなエリアを「滞留エリア」と定義する。このシステムの目的は、滞留エリア全体に時空間データを拡散し、滞留エリア内の車両が定期的に時空間データを送信することで、滞留エリア内のユーザにデータを届けることである (図 1)。時空間データをリアルタイムにその場所に配信 (展開) できるうえ、既存ネットワークインフラを使わずデータを分散管理するため、サーバの負荷軽減やデータの耐障害性の向上が期待できる。

2.2 時空間データ滞留システムの概要

時空間データ滞留システムは、データの送信者、データ中継を行うことで滞留エリアにデータを拡散・維持するための車両 (以降ノードと呼ぶ)、そしてデータの受信者であるユーザから構成される。データの送信者は、滞留エリアに配信したい情報と、滞留に必要な制御情報を含んだデータをブロードキャスト通信によって送信する。滞留に必要な制御情報として、ここでは滞留エリアの中心座標、滞留半径 R 、空間内でのデータ送信間隔 (ユーザにデータを受信してほしい間隔) d を指定する。ノードは送信機から時空間データを受信すると、それを指定された滞留エリアに拡散するためにブロードキャスト通信を用いて転送し、これがエリア内のノードにおいて多段に中継されることでエリア全体に拡散する。その後、ノードは送信間隔 d の周期でその時空間データを定期的にブロードキャスト通信を用いて送信する。これにより、ユーザは滞留エリアに d の期間滞在すれば、データを受信することが可能となる。このようにして時空間データ滞留システムでは、データの発信位置周辺に存在するノードを用いてデータの拡散・維持・配信をまとめて実施することで、データの地産地消を実現する。しかし、上記の通り時空間データ滞留システムではブロードキャストを用いた通信により滞留を実現するため、ブロードキャストストームが発生することで、フレームの衝突が頻発する可能性がある。そのため、先行研究 [2] - [5] においては、滞留に必要なデータ送信回数を抑制しつつ、高い効果を得るため、ノード密度やノードの位置関係に基づくデータ送信制御を提案している。本稿では、次節においてノード密度に基づく送信制御手法を説明する。

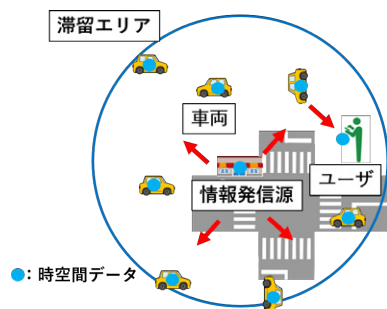


図 1: 滞留エリアにおけるデータの受信

2.3 ノード密度に基づく送信制御手法

本節では、先行研究 [2] で提案したノード密度に基づくデータ送信確率制御について説明する。時空間データを中継するノードは、受信した時空間データに含まれているデータ送信間隔 d に従って定期的にデータを送信することとなる。しかし、複数のノードが同じ時空間データを同時に受信すると送信周期が重複することになるため、データ衝突が頻発する可能性がある。そこで、本手法では、 d ごとにランダム時間 s ($0 < s \leq d$) を決定し、 s のタイミングでデータを送信する (図 2)。さらに、ノード台数の増加に伴うデータ衝突を回避するため、隣接ノード密度に応じて時空間データの送信確率を決定する。まず、データを中継する各ノードは、送信制御のために送信間隔 b の間隔で、自身のノード ID を含むビーコンを定期的に送信する。このビーコンはデータ送信とは独立に行われる。そして、各ノードは、自身が受信した他ノードのビーコンから、周囲のノード台数 (隣接ノード台数) 及び周囲のノード密度を推定する。そして、隣接ノード台数が 3 台以下の場合は滞留エリアにデータを配信する為のノード台数が不足すると判断し、送信確率を 1 に設定することで必ずデータを送信する。しかし、隣接ノード台数が 4 台以上の場合、自身の周辺においてデータを滞留させるためのノード数が十分であると判断し、隣接ノード台数と送信された時空間データの送信回数から、次の送信タイミングでの送信確率を決定する。詳細については、文献 [2] で述べている。この送信制御手法により、時空間データを滞留エリア内において効率的に滞留できることを明らかにしている。

2.4 課題

先行研究 [2] - [5] では提案した方式についてシミュレーションを用いて性能を評価しているが、現実環境における滞留システムの有効性を評価していない。現実環境では、障害物の影響により時空間データが想定している範囲まで拡散されない、または想定している拡散速度で拡散されないといった問題が生じる可能性がある。そのため、現実環境における無線通信の状況が変化の中で、時空間データ滞留方式を用いて、ユーザにデータを効果的に配信することで、データの地産地消を実現できるか、それらの検証が必要である。そこで、本稿では、先行研究 [2] で提案した方式をもとに滞留システムを実機実装し、滞留システムの実現可能性を検証する。

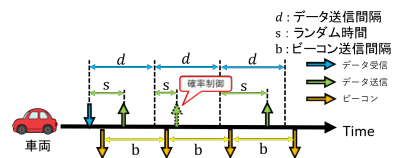


図 2: データ送信確率の設定

3. 関連研究

文献 [6] では、車両が高速で移動することによる、VANET が抱えるデータ拡散・共有の問題について議論している。これを踏まえて、文献 [6] は特定のエリア内で、位置に基づく Geocast Routing を用いて、情報発信源からすべてのノード (車両) に、データを送信するプロトコルを提案している。さらに文献 [7] では、特定のエリア内のノードに対してデータを送信し、ある一定の期間保存しておくような方式を提案している。文献 [7] は滞留エリアの位置に依存した geocast message を配信・保存しておくための方法として、以下の 3 つの方式を提案している。

- server approach
- election approach
- neighbor approach

まず server approach では、固定されたサーバはデータ保持のために用いられ、geocast routing protocol に基づき滞留エリアにデータを送信する。サーバはデータ送信のため、各ノードの位置情報を交換する必要があるため、サーバへの負担が大きくなる可能性がある。また、文献 [8] では SDN (Software Defined Network) を用いた、最適な滞留エリア範囲を設定する方法が提案されている。サーバが SDN コントローラとなり、周辺ノードの移動情報によって最適な滞留エリア半径を決定し送信を行う。次に election approach では、選ばれたノードがデータを保持して、滞留エリアにデータを送信する。これら 2 つの方式は、特定のサーバ・ノードへの負担が大きく、それらの故障によってデータ配信の継続ができない可能性がある。最後に neighbor approach は、前の 2 つの方式とは異なり移動ノードのみで構成されるシステムである。文献 [9] では地震や洪水といった自然災害時に、インフラを用いず移動ノード間で災害情報を交換・共有するための実用的なアプリケーションが提案されている。他にこのようなシステムとして、文献 [10], Floating Content [11], Locus [12] などが提案されている。文献 [10] では各ノードのナビ情報の交換によって滞留エリアに向かうノードを特定し、効果的に滞留エリアへデータを送信する。また Floating Content, Locus の方式では、各ノードはそれぞれ保持しているデータのリストを持ち、隣接ノードとデータリストを交換する。保持していないデータは、隣接ノードに向けて送信要求を行いデータを取得する。このときノードが送信を行うかは、滞留エリアの中心からの距離に従う送信確率で決まるため、中心から遠いときに発生するデータ取得できる確率の減少や、ノードが中心付近に偏っているときに発生するデータ衝突が頻発し得る可能性がある。

Floating Content や Locus の様な車両を用いて地域にデータ

を蓄積・共有する方式においても、その有効性の評価についてはシミュレーションを用いた評価を行っている。特に、Floating Content については現実的な車両交通モデルを活用した評価が行われているが、情報滞留手法と同様にシミュレーションを用いて評価しているため、特定の地域にデータを蓄積する方式の実環境での実証評価は行われていない [13] [14]。

4. ユースケースに基づく時空間データ滞留システムの実装

本節では、検討したユースケース、実機による時空間データ滞留システム実装に伴って開発した、最初の時空間データを発信するための送信機能、時空間データを滞留させる中継機能、そして滞留している時空間データの受信機能について記述する。

4.1 ユースケース

実環境で利用する時空間データ滞留システムを開発するにあたって、データの送受信者が時空間データを利用できる環境を検討した。本稿では、時空間データとして店舗情報のリアルタイムな配信をユースケースと設定した。そこで我々は、時空間データ滞留のために実証実験を行う実験場所として、九州工業大学戸畑キャンパスの無人店舗 Con-Tech に注目した。本稿では、無人店舗における商品情報、在庫情報を発信することで、無人店舗周辺を移動する学生へ通知するシステムを、時空間データ滞留システムを用いて実現する。これにより、学生は無人店舗の商品情報をリアルタイムに取得することができるため、無人店舗の利用を促進することが可能となる。これを実現するために、無人店舗の商品情報を発信するためのデータ送信機能、商品情報を中継するためのデータ中継機能、そして商品情報を受け取るための受信機能が必要となる。以下において、各機能の実装について記述する。

4.2 データ送信機能

今回は無人店舗の商品情報を発信するためのデータ送信機能を実装した。本機能では、無人店舗の商品情報だけではなく、時空間データ滞留システムに必要な滞留の中心座標、滞留半径 R 、そして空間内でのデータの送信間隔 d を付加する必要がある。そのため、無人店舗の情報を発信する店員がこれらの情報を入力するためのユーザインターフェース (User Interface, UI) を開発必要がある。そこで、本稿ではデータ送信を行うための端末として、Raspberry Pi 4 Model B にタッチパネル式の小型ディスプレイを搭載させ、誰でも簡単にデータ入力可能な UI を開発した。図 3 に送信機の UI を示す。データ送信者はこの UI を用いて商品情報と、時空間データ滞留に必要な情報を入力し、送信ボタンを押すだけで店舗情報を発信する事が可能となる。送信ボタンが押された後、送信端末はブロードキャスト通信を用いて店舗情報を送信する。

4.3 データ中継機能

次に、特定のエリア内にデータを中継し、データを d に基づき定期的に送信することで時空間データを滞留実現するデータ中継機能を実装した。データ中継機能は、2.3 節に記述したノードの挙動に基づき実装した。特に、中継ノードは送信機、または他の中継器からデータを受信した場合、 $0 < s < d$ の範

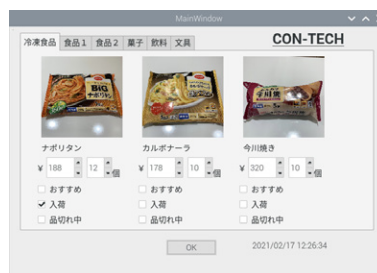


図 3: 送信側 UI の表示画面



図 4: 受信側 UI の表示画面

囲内でランダムに送信時間 s を設定することでノード間のフレーム衝突を抑制する。また、ビーコンによる隣接ノード台数とデータ送信回数に基づきデータ送信確率を設定することで送信回数を抑制している。時空間データ滞留システムでは、データの中継については車両が行う前提ではあるが、本稿では車両への実装が困難であることから、Raspberry Pi 4 Model B 上にこの中継機能を実装した。

4.4 データ受信機能

最後に、時空間データを受信しそれを活用するデータ受信機能を実装した。データの受信についてはデータ中継を行うノードが発信するデータを受信するだけのシンプルな実装とした。本研究では時空間データとして無人店舗の商品情報を受信することが可能であることから、受信した店舗データを表示するための UI を実装した。図 4 に開発した受信機の UI を示す。本稿では、受信機にも Raspberry Pi 4 Model B を使用した。

5. 実証実験

現実環境における滞留システムの実現可能性を検証するため、実機を用いた実験により評価する。本節では、5.1 節で実験環境について説明し、5.2 節において無線到達範囲に基づく滞留エリアの形成についての検証、5.3 節において時空間データの受信結果に基づく滞留システムの検証について述べる。

5.1 実験環境

開発したシステムについて、九州工業大学の戸畑キャンパス構内に存在する無人店舗周辺で実験評価を行った。実験では、前述したとおり、送信機、中継機、受信機全てにおいて Raspberry Pi 4 Model B を用いて、それぞれに実装した各機能を搭載した。本実験では送信機 1 台、中継機 6 台、受信機 1 台を作成した。全端末は Raspberry Pi に搭載された Wi-Fi 通信を用いて、アドホックネットワークを形成し、同一セグメントによるネットワーク構成となるよう設定した。今回の設定として、送信間隔 d を 5s、滞留半径を 120m とし、滞留の中心位

置を無人店舗とした。

5.2 無線到達範囲に基づいた滞留エリアの検証

本節では、無線到達範囲に基づいた滞留エリアの形成状況について検証を行った。本実験において、無人店舗から発信された商品情報を受信可能か確認する目安のポイントを「調査ポイント」と定義する。調査ポイントについては、障害物が無い状態で無人店舗から可能な限り受信できる最大通信距離によって決定し、調査ポイント付近において受信可能な距離の調査を行う。今回の実験では実装ノードの最大到達距離の調査、障害物による滞留エリア形成への影響調査、多段ホップによる滞留エリア拡大の検証をそれぞれ行う。

5.2.1 実装ノードの最大到達距離の調査

最初に、開発したノードの無線通信到達距離を調査するために、無人店舗周辺に中継ノードを配置せず、無人店舗に設置した送信機の最大通信距離を測定した。今回は無人店舗を中心として周辺に中継ノードを設置するため、図5に示すように、無人店舗を中心として、比較的障害物がない6方向(ポイント)において最大通信距離を測定した。測定には、無人店舗の送信機からデータを送信し、各方向に受信機を設置してデータの受信距離を測定した。図6に各調査ポイント方向における最大通信距離を示す。この結果により、今回使用する Raspberry Pi を用いた情報滞留ノードの無線到達距離は約 30 m ほどとなることが確認できた。このことから、今回は中継ノードを無人店舗を中心として 30m の位置に設置できることを確認した。

5.2.2 障害物による滞留エリア形成への影響調査

次に、5.2.1 節の結果に基づき、無人店舗周辺に無人店舗周辺に中継ノード 6 つを同心円状に配置し、無人店舗を中心として形成される滞留エリアを調査する。送信者から送信されるデータは中継ノードによって転送されることになるが、中継ノードの無線通信距離も 30m であることから、無人店舗から最大 60m 地点までデータが届くことになる。しかし、無人店舗を中心として 60m の圏内にはキャンパス内の建造物があるため、データの受信可能範囲に影響が出ることが予想される。そこで、無人店舗から 2 ホップで送信可能な範囲を予想し、図7に示すように、最大通信距離と隣接する中継ノードの中間における 12 ポイントでデータの受信範囲を調査した。この中間のポイントは、中継ノードの通信距離 30m を想定した場合、無人店舗からの距離が 52m となる。無人店舗から調査ポイントの方向に向けて通信可能な距離の最大値の結果を図8に示す。ここから、中継ノードを配置することで少なくとも無人店舗周辺の半径 50m まで通信可能範囲が拡大されたと言える。さらに結果を見ると、調査ポイント 4, 5, 6, 7 の方向以外では想定可能な最大距離である 60m または 52m に達しないことが確認できた。これらの方向には建造物または樹木などの障害物が存在していることから、データ受信距離に影響が出たと考えられる。

5.2.3 多段ホップによる滞留エリア拡大の検証

無人店舗から障害物のない方向に中継ノードを直線上に配置し、ホップ数の増加に伴う無人店舗から発信されたデータの到達場所から滞留エリアへの影響を調査する。本検証では、図9に示すように、無人店舗から直線上に 30m 間隔で中継ノード

を設置し、受信機を中継ノードの通信範囲に基づき移動させることで滞留エリアの状況を調査した。この検証では中継ノードを 3 台設置し、無人店舗から近い順に中継ノード 1, 中継ノード 2, 中継ノード 3 とした。これにより、無人店舗から最大 120m の距離まで滞留エリアが形成されることを想定した。図10に中継ノード 2 と中継ノード 3 によって提供される滞留エリアの最大距離を示す。この実験結果より中継ノード 2 によって無人店舗から最大 94 m, 中継ノード 3 によって最大 120m までデータを受信できることを確認した。このことから、障害物が比較的少ない方向ではあるが、複数の中継機を経由することで効果的に滞留エリアを拡大できることが明らかとなった。

5.3 時空間データ受信結果に基づく滞留システムの検証

最後に、時空間データ滞留システムによって提供されるデータの拡散時間に着目し、滞留システムの動作に関して検証を行った。図11に5.2節における全ての実験環境において、時空間データが送信機から受信機に到達するまでのデータ到達時間を示す。図11の青い点は中継ノードを1つ経由した場合、緑の点は中継ノードを2つ経由した場合、紫の点は中継ノードを3つ経由した場合において、無人店舗のデータが初めて届いた時のデータ到達時間を示す。この結果から、直接データを受信する場合は 0s から 5s, 中継ノードを 1 つ経由する場合は 5s から 10s, そして中継ノードを 2 つ経由する場合は 10s から 15s の間に分布していることが確認できた。これは、時空間データ滞留システムにおいて、2.3 節に記述したとおり、中継ノードがデータを転送する際に 0 から $d[s]$ の間でランダムに送信タイミングを調整することから、ホップ毎に d の周期に基づく遅延が生じるためである。つまり、このデータ到達時間の遅延は、滞留システムの設計通りに動作していることにより発生することが確認できた。この遅延時間は時空間データ滞留システムにおける拡散フェーズ [3] において発生するものである。ここで、中継ノードを 3 つ経由して 120m 先のユーザにデータを提供する場合の最大到達時間は 15 秒となる。このとき、半径 120m の滞留エリアを 15 秒で通過することを想定した場合、1 時間で 57600 m, つまり 57km/h までの移動体であれば 15 秒以内にデータを提供することが可能となる。歩行者の推定移動速度が 3.2 から 4.8km/h, 自転車の推定移動速度は 4 から 20km/h であることから、無人店舗周辺を通る学生に対しては、十分な早さで商品情報を送信できると推測できる。また、データの拡散までには 15s かかるものの、一度拡散されたデータは d (5s) の時間間隔で配信されることになる。以上のことから、実機により実装した時空間データ滞留システムを用いて、無人店舗情報の提供が可能であり、本システムの有効性を検証することができた。

6. まとめ

本研究では、現実環境における滞留システムの実現可能性を検証することを目標とし、実機を用いて「時空間データの地産地消」を実現する時空間データ滞留システムを開発した。開発したシステムを、無人店舗情報を展開するシステムへ適用し、データの到達距離と遅延時間の評価を行った。実証実験により、



画像 ©2021 CNES / Airbus, Digital Earth Technology, Maxar Technologies, 地図データ ©2021

図 5: 無線通信到達距離の調査ポイント

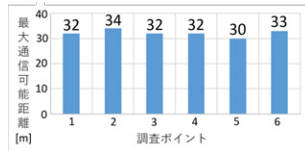
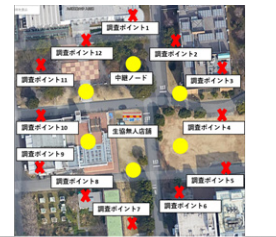


図 6: 実装ノードの最大到達距離



画像 ©2021 CNES / Airbus, Digital Earth Technology, Maxar Technologies, 地図データ ©2021

図 7: 滞留エリア拡大の調査ポイント

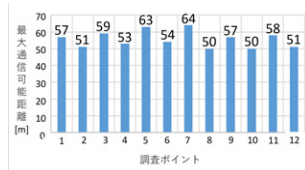


図 8: 最大通信距離の変化



画像 ©2021 CNES / Airbus, Digital Earth Technology, Maxar Technologies, 地図データ ©2021

図 9: 多段ホップによる滞留エリア拡大の調査ポイント

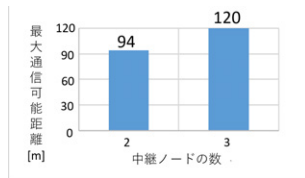


図 10: ホップ数の増加による最

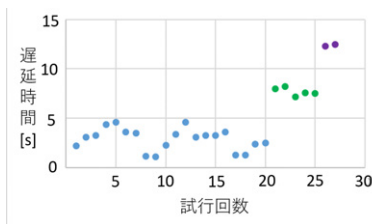


図 11: ホップ数の増加による遅延時間の変化

建物など障害物の影響がある範囲では無人店舗から半径 50m 以内まで、障害物のないエリアに関しては無人店舗から少なくとも 120m の地点まで拡散可能であることも確認でき、無人店舗周辺を通る学生に対して 4 ホップの滞留で半径 120m の範囲に 15 秒以内で情報を展開できる事を示した。これにより、今回開発したシステムの有効性を示すとともに、現実環境において滞留システムを実現可能であることを実証できた。今後は、現実環境において広い滞留範囲をカバーするためにスマートフォンを用いた滞留システムの開発や検証を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費、20K11792、及び国立研究開

発法人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] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018-2023) White Paper, 2020
- [2] Daiki Nobayashi, Ichiro Goto, Hiroki Teshiba, Kazuya Tsukamoto, Takeshi Ikenaga, Mario Gerla, "Adaptive Data Transmission Control for Spatio-temporal Data Retention over Crowds of Vehicles," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Early Access, Mar. 2021.
- [3] Shunpei Yamasaki, Daiki Nobayashi, Kazuya Tsukamoto, Takeshi Ikenaga, Myung J. Lee, "Efficient Data Diffusion and Elimination Control Method for Spatio-Temporal Data Retention System," *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E104-B, No.7, pp.805-816, Jul. 2021.
- [4] Ichiro Goto, Daiki Nobayashi, Kazuya Tsukamoto, Takeshi Ikenaga, Myung J. Lee, "Transmission Control Method for Data Retention Taking into Account the Low Vehicle Density Environments," *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol.E104-D, No.4, pp.508-512, Apr. 2021.
- [5] Ichiro Goto, Daiki Nobayashi, Kazuya Tsukamoto, Takeshi Ikenaga, Myung J. Lee, "Beacon-Less Autonomous Transmission Control Method for Spatio-Temporal Data Retention," *INCoS 2020*, AISC 1263, Springer, pp. 503-513, Sep. 2020.
- [6] F.Li, and Y.Wang, "Routing in vehicular ad hoc networks:A survey," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Vol.2, Issue 2, pp.12-22, 2007.
- [7] C.Maihofer, T.Leinumuller, and E.Schoch, "Abiding Geocast: Time-stable Geocast for Ad Hoc Networks," In *Proc.ACM VANET*, pp.20-29, 2005.
- [8] A.Maio, R.Soua, M.Palattella, T.Engel and G.Rizzo, "A centralized approach for setting oating content param-eters in VANETs," *14th IEEE Annual Consumer Communications & CCNC 2017*, pp.712-715, Jan, 2017.
- [9] G.Rizzo and H.Neukirchen, "Geo-Based Content Sharing for Disaster Relief Applications," *International Conference Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, Advance in Intelligent System and Computing, vol.612, pp.894-903, July, 2017.
- [10] I.Leontiadis, P.Costa, and C. Mascolo, "Persistent content-based information dissemination in hybrid vehicular networks," In *Proc.IEEE PerCom*, pp.1-10, 2009.
- [11] J.Ott, E.Hyyti, P.Lassila, T.Vaegs, and J.Kangasharju, "Floating Content: Information Sharing in Urban Areas," In *Proc.IEEE PerCom*, pp.136-146, 2011.
- [12] N.Thompson, R.Crepaldi and R.Kravets, "Locus: ALocation based Data Overlay for Disruption-tolerant Networks," In *Proc.ACM CHANTS*, pp.47-54, 2010.
- [13] G. Manzo, et al., "Analytical models of floating content in a vehicular urban environment," *Ad Hoc Networks*, Volume 88, pp.65-80, 2019.
- [14] G. Manzo, et al., "Coordination mechanisms for floating content in realistic vehicular scenario," 2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), 2017.