

## 時空間データ滞留のための送信位置と受信信号レベルに基づく 送信制御手法

後藤 一郎<sup>†</sup> 野林 大起<sup>††</sup> 塚本 和也<sup>†††</sup> 池永 全志<sup>††</sup>

<sup>†</sup>九州工業大学大学院 工学府 工学専攻 〒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 電気電子工学研究系 〒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 情報・通信工学研究系 〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

E-mail: †goto.ichiro959@mail.kyutech.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, †††tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

あらまし IoT 技術の発展と普及に伴い、インターネットに接続されているデバイス数は年々増加している。IoT デバイスから生成されるデータには、データが生成された場所や時間に依存するデータ (時空間データ) が存在する。このようなデータは生成された場所や利用者の近くでの活用、つまりデータの地産地消を実現することで、効率的なデータ活用ができると期待される。そこで我々は時空間データの地産地消を目指すため、ストレージ、計算機資源、及び近距離無線通信機器を搭載し、高い移動性を有する車両を活用した時空間データ滞留方式を提案してきた。この時空間データ滞留方式は、隣接車両密度に応じてデータ送信確率を制御することで効果的なデータ滞留を目指していたが、全車両がビーコンを送信する必要があるため、車両台数の増加に伴うビーコン送信数の増加が問題であった。そこで本研究では、ビーコンを送信することなく時空間データ滞留を実現するデータ送信制御方式を提案し、シミュレーション評価により、効果的に時空間データ滞留ができることを明らかにした。

キーワード 時空間データ, データの地産地消, データ滞留, 車両ネットワーク, 送信制御

### Transmission Control Method Based on Transmission Position and Received Signal Level for Spatio-Temporal Data Retention

Ichiro GOTO<sup>†</sup>, Daiki NOBAYASHI<sup>††</sup>, Kazuya TSUKAMOTO<sup>†††</sup>, and Takeshi IKENAGA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology 1-1 sensui-cho, tobata-ku, Kitakyusyu-shi, Fukuoka, 804-8550 Japan

<sup>††</sup> Department of Electrical Engineering and Electronics, Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

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

E-mail: †goto.ichiro959@mail.kyutech.jp, ††{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, †††tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

**Abstract** With the development and spread of IoT technology, the number of devices connected to the Internet is increasing year by year. Some data generated from IoT devices depends on geographical location and time, and we refer to as spatio-temporal data (STD). Since the “local production and consumption” paradigm of STD use is effective for location-dependent applications, we have proposed the STD retention system using vehicles which can install storage, computing resources, and short range wireless communication equipment and have high mobility. In this system, the vehicle controls the data transmission probability according to the neighboring vehicle density in order to achieve effective data retention. However, since all vehicles need to transmit beacons, the number of beacons transmitted has increased with the increase in the number of vehicles. In this paper, we propose a data transmission control method that realizes STD retention without transmitting beacons and simulation results showed that our proposed scheme can achieve effective data retention.

**Key words** Spatio-Temporal Data, Local Production and Consumption of Data, Data Retention, Vehicular Networks, Transmission Control

## 1. はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の発展と普及に伴い、インターネットに接続されるデバイス数が爆発的に増加している。Cisco 社によると、2022 年までに IP ネットワークに接続されているデバイス数は世界の人口の約 3 倍になると予想されている [1]。IoT デバイスから生成されたデータは多くの場合、インターネットを経由してネットワークの先に設置されたクラウドサーバにて収集、分析が行われ、アプリケーションに向けて配信されている。一方で、IoT デバイスから生成されるデータの中には、交通情報、気象情報、災害情報、時限的な店舗広告といったデータの発生場所や時間に依存するデータが存在する。このようなデータを本研究では「時空間データ」と定義する。時空間データはデータの発生場所、またはそのデータの利用者の近くで収集・分析し、その場から直接配信することで効率的にデータを活用できると考えられる。例えば、事故情報を事故現場周辺の端末から、その場所周辺の利用者に向けて配信する。これにより利用者は事故情報を調べることなく受動的に取得でき、渋滞が発生するルート回避に向けた行動を早めにとることが可能になる。つまり「データの地産地消」を実現することで、効率的なデータ活用を実現できると考えられる。

そこで我々は時空間データを地理的近接性に基づいて収集、分析、配信するための新しいネットワーク基盤として、Geo-Centric Network (GCN) という概念を提案している [2]。これに関連して、時空間データを場所にに基づき配信する手段としてストレージ、計算機資源、及び近距離無線通信機器を搭載でき、高い移動性をもつ車両を用いた時空間データ滞留方式を提案してきた [3] [4] [5]。この方式では、無線通信可能な車両を regional information hubs (InfoHubs) と定義し、各車両にデータを分散、配信させ、時空間データを特定のエリアに滞留させることで、データの地産地消の促進を目指す。

しかし、車両ネットワークによるデータ滞留方式では、すべての車両が同じ無線帯域を使用するため、車両台数が増えるとチャネル競合が発生し、データ衝突が頻繁に発生してしまう。そこで先行研究では、上記の問題を解決するべく隣接車両のデータ送信状況に応じた送信制御手法を提案した [3] [4] [5]。これらの手法は、隣接車両台数と受信したデータ数に応じてデータ送信を制御することにより、データ送信者の要求を満たすデータ滞留を実現しながらデータ送信数の削減を実現した。しかし、これらの手法では隣接車両台数を推測するため、全車両が定期的にビーコンを送信する必要があったが、車両台数が増加するに従いビーコン送信数も増加することから、車両密度が高い環境ではデータ衝突が頻繁に発生していた。

そこで本研究では、ビーコンを送信することなく効果的なデータ滞留を実現するデータ送信位置と受信信号レベルに基づく送信制御手法を提案する。提案手法では、まず滞留エリアの中心を基準として、そのエリア内の車両が滞留のためのデータ送信が可能となる送信ゾーンを複数指定する。次に、送信ゾーン内の車両同士が競合せず、最小限のデータ送信で滞留エリア内にデータが行き届くように、受信信号レベルに基づいた送信

制御を行う。さらに、送信ゾーン間のデータ衝突回避のために、送信ゾーン毎に送信タイミングを設定する。この提案手法について、シミュレーションによる性能評価を行い、その有効性を検証する。

以下、2 節では、データ滞留に関連した研究について述べる。次に 3 節では、時空間データ滞留システムの要件および既存手法の概要とその問題点について述べる。4 節では、送信位置と受信信号レベルに基づく送信制御手法を述べ、5 節ではシミュレーションモデル、および評価結果を示し議論する。最後に 6 節でまとめを述べる。

## 2. データ滞留に関する関連研究

文献 [6] では、一定期間内に geocast のターゲットエリア内にあるすべての車両にデータを配信し、保持しておく abiding geocast を提案している。文献 [6] ではさらに、データをターゲットエリアに配信・保持する手段として 3 つの手法を提案している。1 つ目は、特定のサーバがデータを保持し、geocast routing protocol に基づいて定期的に配信を行う server approach である。この手法は、特定のサーバがデータを送信するだけでなく、データを送信するためにターゲットエリア内のすべて車両の位置情報を交換する必要があるため、特定のサーバへの負担が大きくなることが懸念される。2 つ目は、ターゲットエリア内で選出された車両にデータを保持させて、定期的に配信を行う election approach である。これら 2 つの手法は特定のサーバ、車両に対して処理負担が増大するため、故障する頻度が高くなる可能性がある。また、故障した際データ配信を継続できない可能性もある。

3 つ目は、ターゲットエリア内に存在する車両が、それぞれデータ、及び車両の位置情報を保持しており、ターゲットエリアに入ってきた車両を感知するとデータを配信する neighbor approach である。この手法については、車両のみから構成されるシステムであり、インフラストラクチャが必要ないため実用の幅が広く、多くの研究が行われている。文献 [7] では、最適なターゲットエリアの範囲を設定する手法として、SDN (Software Defined Network) を用いた手法が提案されている。これは、サーバが SDN コントローラとなり、車両から速度や位置などのモビリティ情報を収集・分析し、ターゲットエリアの最適な半径を算出する。文献 [8] では、災害時インフラストラクチャが使えないことを想定した、車両間で情報を交換するためのアプリケーションが提案されている。文献 [9] では、ナビゲーション情報を交換することで、ターゲットエリアに向かう車両の予測を容易にし、効率的にデータを届ける手法が提案されている。Floating Content [10]、Locus [11] の方式では、各車両はデータリストを持っており、すれ違った車両とそのデータリストを交換する。保持していないデータがあった場合は送信要求を行い、データを有する車両からデータを送信してもらう。この際、データを有する車両はデータが生成された中心からの距離に応じてデータ送信確率を決定する。そのため、中心から離れるほどデータの取得確率が下がってしまう。一方で、中心付近に車両が多い場合、全車両が高い送信確率でデータを

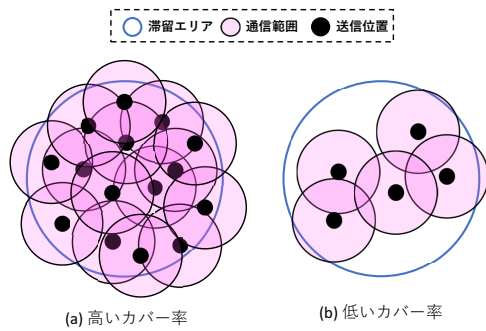


図 1 カバ ー 率

送信するため、チャネル競合が発生し通信品質が劣化してしまう可能性がある。また、データが生成された場所の周辺にデータを保存できても、利用者がデータを取得するにはクエリの発信、データの発見、ユーザまで転送といったクエリ/レスポンス型の情報流通であるため、データの取得にはオーバーヘッドが発生してしまう。そこで本研究では、データの地産地消を促進するため、時空間データを任意の空間に留め、利用者へ効果的に配信するため、受動的にデータを取得できるようにする新たなネットワーク基盤を提案する。

### 3. 時空間データ滞留システム

本節では、時空間データ滞留システムの前提条件と、その要件を述べた後に、既存手法 [3] の概要、及び問題点について述べる。

#### 3.1 前提条件

InfoHubs の車両には IEEE802.11p の通信規格を満たす無線通信機器が搭載されているものとする。また、各車両は全地球測位システム (GPS) を使用して位置情報を取得でき、車両情報を一意に識別できる ID を含んだビーコンを送信できる。送信される時空間データの中には、滞留エリアの中心座標、滞留エリア半径  $R$ 、補助エリア長  $r$ 、及びデータ送信間隔  $d$  といった滞留エリア情報も含まれているものとする。データの送信電力、及び送受信アンテナは全車両同一とする。

#### 3.2 システム要件

データ滞留を実現するには、滞留エリア全域が InfoHub 車両の通信範囲内にある必要がある。また、利用者に対して迅速なデータ配信を実現するため、短期間の間にデータ受信ができるように、一定時間ごとに滞留エリア全域に InfoHub 車両からデータを送信する必要がある。そこで、本システムでは一定時間ごとの滞留エリア内のデータ滞留状態を表す指標として、先行研究 [3] と同様にカバー率を式 (1) で定義する。

$$\text{カバー率} = \frac{S_{DT}}{S_{TA}} \quad (1)$$

$S_{DT}$  は一定時間内に各車両が送信したデータを、滞留エリア内で受信可能なエリア面積の合計、 $S_{TA}$  は滞留エリア全体の面積を示している。図 1 はカバー率の例を示している。黒点は一定時間内においてデータ送信が行われた位置を示しており、ピンク色の円は通信範囲を示している。図 1(a) が示すようにカバー率が高いということは、利用者は滞留エリア内のどこに

いてもデータを受動的に取得できることを意味する。一方、図 1(b) が示すようにカバー率が低いということは、データ受信できないエリアが大きくなる、つまり利用者は滞留エリア内でデータ受信できない可能性が高くなることを意味する。これより、データ滞留においては高いカバー率を維持することが重要になる。また、車両密度が高い環境では全車両がデータ送信を行うとデータ衝突が発生し、データ滞留に悪影響を与える可能性がある。そのため、本システムの要件は必要最小限のデータ送信で高いカバー率を維持することである。

#### 3.3 既存手法概要

既存手法 [3] では、先行研究 [12] における位置情報の処理によるオーバーヘッドを改善するため、隣接する車両台数やデータ受信数といったシンプルな情報のみを用いてデータ送信確率を制御する手法を提案している。各車両は一定間隔  $b$  で車両情報を含むビーコンを送信し、隣接車両からのビーコンの受信数を元に隣接車両台数を推測する。また、受信したデータ数を測定し、データ送信周期  $d$  ごとに受信したビーコン数とデータ数からデータ送信確率を設定していた。これにより、データ送信数を削減しながら高いカバー率の維持を実現していた。

#### 3.4 既存手法の問題点

既存手法ではビーコンの受信数により隣接車両台数を推測していたため、滞留エリア内の全車両がビーコンを送信する必要があった。そのため、車両台数が増加するに従いビーコン送信数も比例して増加していた。よって、車両密度が高い環境ではデータ送信確率制御によりデータ送信数は削減できていたが、ビーコン送信数は増加していたため、データ衝突が頻繁に発生していた。また、既存手法では障害物等による電波の減衰に対する考慮はされていないため、隣接車両の電波強度が低く、自身の周囲を十分にカバーできていない状況であっても、隣接車両が複数台存在していればデータ送信が行われていない可能性があった。そのため、効果的なデータ滞留を実現するには、ビーコンを送信することなく周囲のデータ送信状況に応じてデータ送信制御をする必要があると考えられる。

### 4. 提案手法

本節では、ビーコンを送信することなく効果的なデータ滞留を実現する手法を提案する。まず、提案手法では滞留エリア内においてデータ送信可能なエリアを複数設定し、そのエリア内の車両が受信したデータの信号レベルに応じて送信制御を行う。また、エリアごとに送信タイミングをずらし、データ衝突を抑制する。

#### 4.1 送信ゾーンの設定

本研究ではまず、1 台の車両による通信範囲を基準として、滞留エリアの全域をカバーするために最低限必要な送信位置 (以下「送信ポイント」) を定義した。図 2 に示すように、データの発信源を中心とした滞留エリアを想定すると、滞留エリア中心を基準として東西南北方向に車両の通信範囲の半径に相当する位置に送信ポイントを設定する。これにより、全送信ポイントに車両が存在すれば、この位置でデータ送信を行うことで滞留エリア全域を最小の送信数でカバーすることが可能である。し

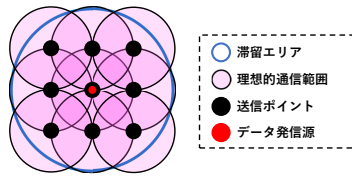


図 2 滞留エリアの細分化

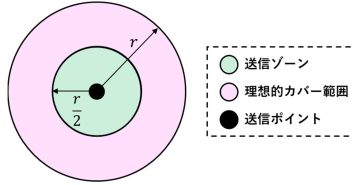


図 3 送信ゾーン

かし、現実環境では送信ポイントに車両が存在しないことや、電波の減衰を考慮する必要がある。そこで提案手法では、図 3 のように送信ポイントを中心に送信ゾーンを設け、送信ゾーン内の車両がデータ送信を行い、理想的な通信範囲全域のカバーを目指す。

#### 4.2 データ送信タイミング制御

図 4 のように送信ポイントに近い位置でデータ送信するほど理想的なカバー範囲をカバーする割合が大きくなることから、送信ポイントに近い車両からのデータ送信はデータ滞留に大きく貢献すると考えられる。そのため、送信ポイントに近い車両ほど優先的にデータ送信の必要がある。そこで提案手法では、以下の手順に従ってデータ送信タイミングを設定する。初めに、この方式における前提として、全車両は GPS により時刻、およびデータ送信周期を同期しているとする。まず、各車両はデータ送信周期  $d$  毎に現在地を取得し、送信ゾーン内に位置するかどうかを確認する。なお、各送信ポイントや送信ゾーンの情報は、滞留データに含まれる滞留エリアの中心座標と小さな滞留エリアの範囲情報から計算して求める。送信ゾーン外の場合、送信時刻は設定せず次のデータ送信周期まで待機する。送信ゾーン内の場合、最も近い送信ポイントとの距離を計算し、以下の式に従ってデータ送信時刻を設定する。

$$\text{送信時刻} = \frac{\text{送信ポイントとの距離}}{\text{送信ゾーン半径}} \times \text{送信周期} + \text{現在時刻} \quad (2)$$

これにより、送信ポイントに近い車両からデータ送信を行うことが可能である。

#### 4.3 受信信号レベルに基づく送信制御

本節では、必要最小限のデータ送信で高いカバー率を実現する送信制御手法を提案する。送信ゾーン内の車両は、同じ送信ゾーン内の車両からデータを受信した時の受信信号レベルが、送信ポイントからデータ送信された時の受信信号レベルより高い場合、自身の周囲は十分な信号レベルがあることから、データ送信を行う必要がないと判断できる。そこで提案手法では、送信ゾーン内の車両はデータ受信時、以下の手順に従って送信制御を行う。まず現在地を取得し、受信したデータが自身と同じ送信ゾーンから送信されたデータであることを確認する。送信

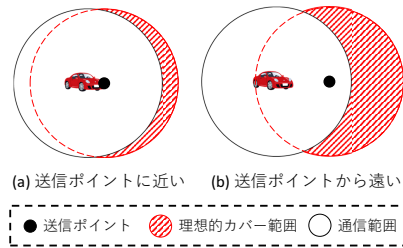


図 4 送信ポイントからの距離によるカバーエリアの違い

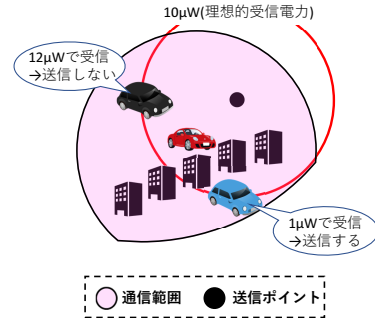


図 5 受信信号レベルに基づく送信制御

ゾーンが異なる場合、送信時刻まで待機する。送信ゾーンが同じ場合、送信ポイントとの距離を計算し、フリスの伝達公式を用いて自由空間において送信ポイントからデータ送信した際の、現在地における受信電力を計算する。

$$P_r = G_t G_r P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (3)$$

$P_r$  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、 $r$  は送信ポイントとの距離である。次に計算値と実測値を比較し、実測値が大きい場合、現在のデータ送信周期ではデータ送信を行わず、次のデータ送信周期まで待機する。

このように、受信したデータの信号レベルを基準（理想値）と比較して送信制御を行うことで、隣接車両のカバー範囲が障害物等で電波が減衰し、小さくなった場合であっても、そのカバー範囲内の車両が、受信したデータの信号レベルを基準と比較することで、周囲の信号レベルが理想より低いと判断でき、自身がデータ送信することで、本来のカバー範囲を補う働きをすることができる。例えば図 5 のような環境で赤色の車両の位置からデータ送信が行われた場合を考えると、黒色の車両周辺は伝搬環境がよく、黒色の車両からみて送信ポイントより近い位置でデータ送信が行われているため、黒色の車両周辺は理想値より高い信号レベルであることからデータ送信の必要はなくデータ送信を削減できる。一方、青色の車両周辺は建物の影響で信号レベルが理想値より低くなっていることから、青色の車両がデータ送信を行うことでカバー範囲を補うことができる。よって、提案手法はいかなる電波伝搬環境においても最適な送信制御を実現することが可能であると考えられる。

#### 4.4 送信ゾーンに対する送信スケジューリング

ここまでの提案方式では全車両のデータ送信周期を同期しているため、隣接する 2 つの送信ゾーンにおいて、送信ポイントから同じ距離に位置する車両の送信時刻は等しくなることから、データ衝突が必然的に発生してしまう。そこで本研究では、隣

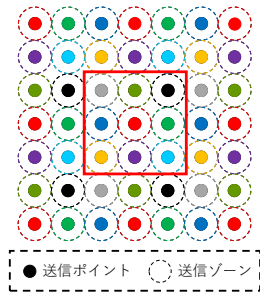


図 6 送信ゾーンのグループ分け

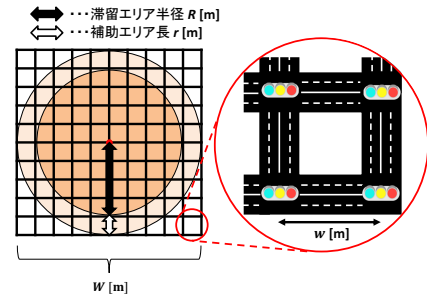


図 7 シミュレーションモデル

接する送信ゾーン間のデータ衝突を避ける手法も提案する．提案手法では、送信ゾーンを複数のグループに分け、グループごとに送信タイミングが異なるように制御する．まず、同じグループに属する送信ゾーンから同時に送信が行われた際、通信範囲が干渉しないようにグループを分けると図 6 のように 9 つのグループに分けられる．そしてグループごとにデータ送信周期内でデータ送信可能な送信時刻を設定する．具体的には、データ送信周期  $d$  を 9 つに分割し、例えば赤い送信ゾーン内の車両の送信時刻は  $0 \sim d/9$  内で設定するといったように、分割した時間内に各送信ゾーンの送信時刻を割り当てる．これにより、隣接する送信ゾーンはそれぞれ送信タイミングが異なるため、データ衝突を防ぐことが可能である．また同じグループの送信ゾーンは同時に送信を行った場合でも、お互いの電波は届かないよう構成されているため、データ衝突を防ぐことが可能である．

## 5. シミュレーション評価

提案手法の有効性をシミュレーションにより評価する．

### 5.1 シミュレーションモデル

ネットワークシミュレータである OMNeT++ [14] と交通シミュレータである SUMO [15] を統合的に利用可能で、IEEE802.11p を実装している Veins [16] を用いて提案手法の性能評価を行う．道路モデルは 1 ブロックの 1 辺  $w$  を 50m とした  $41 \times 41$  列の格子状の道路 (シミュレーションエリアの 1 辺  $W$  は 2000m) に 5 秒で切り替わる信号を各交差点に設置した (図 7)．車両の最大通信距離は 300m、速度は 40km/h に設定した．パラメータについては、滞留エリア半径  $R$  は 750m、補助エリア長  $r$  は 250m、ビーコン送信間隔  $b$ 、及びデータ送信周期  $d$  は 5s、移動平均係数  $\alpha$  は 0.5、受信データ数の目標値  $\beta$  は文献 [3] に基づき 4 に設定した．空間内を回遊する車両を 250 台から 1000 台の間で変化させ、それぞれの台数においてランダムに生成された始点と終点をもつ車両の移動パターンを 10 種類作成し、シミュレーション評価を行った．比較手法には、滞留エリア内の全車両がデータ送信を行う naive 手法、データ送信確率制御を行う既存手法 [3]、および提案手法を用いる．なお、提案手法は 4.4 節の送信スケジューリング制御 (Transmission Scheduling Control: TSC) を行わない場合の結果も取得している．

### 5.2 性能評価

評価は滞留エリア全域にデータの拡散が完了している定常状

態の 20s 間を測定し、データ送信周期 1 周期分にあたる 5s 間の平均で示している．まず、カバー率に対する評価を行う．図 8 は横軸を車両台数、縦軸をカバー率とした手法別のカバー率を示している．これより、どの手法においても車両台数に関わらず常に 100% に近いカバー率を達成できている．この結果は、すべての手法で車両台数に関わらず滞留エリア全域にデータ配信できることを示している．

次に送信数に対する評価を行う．図 9 は横軸を車両台数、縦軸を送信数とした手法別の滞留データの送信数を示す．これより、提案手法は naive 手法に比べ車両密度が高い環境においても滞留データの送信数は一定であり、既存手法と同じく 100 前後に抑えることができています．この結果より、提案手法は受信したデータの信号レベルに応じた送信制御を行うことで、既存手法と同等のデータ送信数の削減を実現できることを示している．一方で、図 10 は滞留エリアに送信される全データ数、つまり滞留データの送信数とビーコン送信数の合計を示す．この結果より、既存手法は全車両がビーコンを送信しているため、滞留エリアに送信される全データ数は、ビーコンを送信しない naive 手法より多くなっている．これより、既存手法は naive 手法より滞留エリアに送信される全データ数が増えることでデータ衝突の発生頻度が高くなり、効果的な送信データ抑制が実現できていない．一方、提案手法はビーコンを送信しないため、滞留エリアに送信される全データ数はデータ送信数と等しく、他の手法に比べ提案手法の全送信数は大幅に少ない．この結果より、提案手法は必要最小限のデータ送信でデータ滞留を実現できることを示している．

最後にデータ衝突に対する評価を行う．ここでは、滞留データ同士の衝突の評価を行う．図 11 は横軸を車両台数、縦軸をエリア数とした手法別のデータ衝突が発生したエリア数を示す．これより、提案手法において送信スケジューリング制御を行わない場合は既存手法と同等の性能であるが、送信スケジューリング制御を行うことでデータ衝突の発生を大幅に防ぐことができており、車両台数が 1000 台の環境では既存手法の約 10 分の 1 に抑えることができる．この結果より、提案手法は送信スケジューリング制御を行うことで、車両密度が高い環境においても、データ衝突によるデータ受信の失敗がほとんど発生しないことを示している．また、既存手法はビーコンも送信しており、全送信数は naive 手法より多いことから、実際のデータ衝突は naive 手法より多く発生していると考えられるため、提案手法

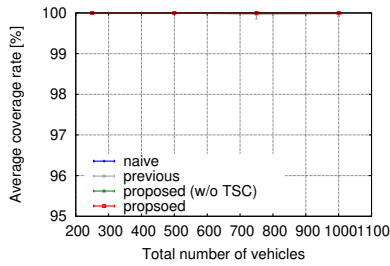


図 8 カバ ー 率

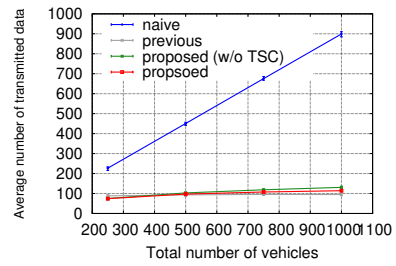


図 9 滞 留 データの送信数

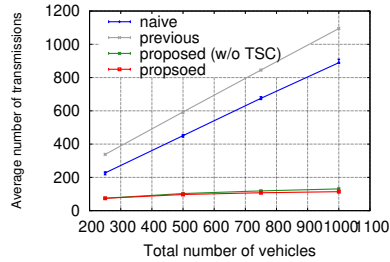


図 10 全 送 信 数

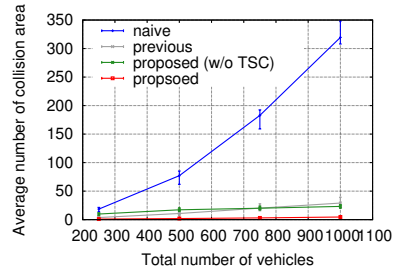


図 11 データ衝突エリア発生数

のデータ衝突がいかに少なく抑えられているかがわかる。これらの結果より、提案手法はビーコンを送信することなく車両台数に関わらず約 100% のカバー率を達成しつつ、データ送信数およびデータ衝突を大幅に削減でき、効果的なデータ滞留を実現できることを明らかにした。

## 6. ま と め

本研究では、データの生成された場所や時間に依存する時空間データを、InfoHub 車両から構成される VANET を利用して特定のエリア内において受動的な受信を可能にする時空間データ滞留システムを提案した。また、ビーコンを送信することなく効果的なデータ滞留を実現する送信制御手法を提案した。提案手法では送信位置と受信信号レベルに基づいてデータ送信を制御する。シミュレーション評価から、提案手法は車両台数に関わらず約 100% のカバー率を達成しつつ、データ送信数およびデータ衝突を大幅に削減できることを明らかにした。今後は、LuST [13] などの現実環境を模擬した車両トラフィックモデルを使用して評価を行う。

## 謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H03234、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 Visual Networking Index: Forecast and Trends 2017-2022, Cisco White Paper" <http://www.cisco.com/c/en/us/solutins/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>, 2019.

[2] 永田晃, 中村勝一他, "物理位置調和型アドレスに基づく Geo-Centric Networking の検討," 2018 年 電子情報通信学会総大会, pp.51, B-6-51, 2018 年 3 月.

[3] H. Teshiba, D. Nobayashi, K. Tsukamoto and T. Ikenaga, "Adaptive Data Transmission Control for Reliable and Efficient Spatio-Temporal Data Retention by Vehicles,"

Proc. ICN 2017, pp. 46-52, Italy, April, 2017.

[4] 山崎駿平, 野林大起, 塚本和也, 池永全志, "時空間データ滞留のための滞留データ特性を考慮した動的送信感覚決定手法の提案," 信学技報, vol. 118, no. 465, NS2018-197, pp. 21-26, 2019 年 3 月.

[5] 後藤一郎, 野林大起, 塚本和也, 池永全志, "低車両密度環境における効果的なデータ滞留を実現する送信制御手法," 信学技報, vol. 118, no. 465, NS2018-198, pp. 27-32, 2019 年 3 月.

[6] C. Maihofer, T. Leinmuller, and E. Schoch, "Abiding Geocast: Time-stable Geocast for Ad Hoc Networks," In Proc. ACM VANET, pp. 20-29, 2005.

[7] A. Maio, R. Souza, M. Palattella, T. Engel and G. Rizzo, "A centralized approach for setting floating content parameters in VANETs," 14th IEEE Annual Consumer Communications & CCNC 2017, pp. 712-715, Jan, 2017.

[8] G. Rizzo and H. Neukirchen, "Geo-Based Content Sharing for Disaster Relief Applications," International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, Advance in Intelligent System and Computing, vol. 612, pp. 894-903, July, 2017.

[9] I. Leontiadis, P. Costa, and C. Mascolo, "Persistent content-based information dissemination in hybrid vehicular networks," In proc. IEEE PerCom, pp. 1-10, 2009.

[10] 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.

[11] N. Thompson, R. Crepaldi, and R. Kravets, "Locus: A Location-based Data Overlay for Disruption-tolerant Networks," In Proc. ACM CHANTS, pp. 47-54, 2010.

[12] T. Higuchi, R. Onishi, O. Altintas, D. Nobayashi, T. Ikenaga, and K. Tsukamoto, "Regional InforHubs by vehicles: balancing spatio-temporal coverage and network load," In Proc. IoV-VoI '16, pp. 25-30, 2016.

[13] L. Codeca, R. Frank, and T. Engel, "Luxembourg SUMO Traffic (LuST) Scenario: 24 Hours of Mobility for Vehicular Networking Research," in Proceedings of the 7th IEEE Vehicular Networking Conference (VNC15), 2015.

[14] "OMNeT++," [Online], Available from: <https://omnetpp.org/>.

[15] "SUMO," [Online], Available from: [http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000/](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/).

[16] "Veins," [Online], Available from: <http://veins.car2x.org/>.