

# 低車両密度環境における効率的データ滞留を実現する送信制御手法

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 工学部 電気電子工学科 〒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 電子情報工学研究系 〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

E-mail: <sup>†</sup>p108045i@mail.kyutech.jp, <sup>††</sup>{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, <sup>†††</sup>tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

あらまし IoT技術の発展と普及に伴い、あらゆるセンサから多種多様なデータが生成されており、今後その数は大幅に増加することが想定される。IoTデバイスから生成されるデータ中には、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において活用することで、効率的に活用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、大容量ストレージ、高性能な計算機資源、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率的にデータを滞留できるが、低車両密度環境ではデータを滞留させる車両が少ないため効果的なデータ滞留を実現することが困難である。そこで本研究では、低車両密度環境を対象とした時空間データ滞留のためのデータ送信制御方式を提案する。また、シミュレーションにより、低車両密度環境においてデータ滞留が効率的にできることを明らかにした。

キーワード データの地産地消、データ滞留

## Transmission control method to realize efficient data retention in low vehicle density environment

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

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

E-mail: <sup>†</sup>p108045i@mail.kyutech.jp, <sup>††</sup>{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, <sup>†††</sup>tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

**Abstract** With the development and spread of Internet of Things (IoT) technology, various kinds of data are generated from IoT devices and expected to increase the number of such data greatly in the future. Some data depends on geographical location and time, we refer to as spatio-temporal data (STD). Since the “locally produced and consumed” paradigm of STD use is effective for location-dependent applications, we have proposed the STD retention system using vehicles which can install high capacity storage, high performance 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 not only high coverage but also reduction of the number of transmitting data. In this paper, we proposed a data transmission control method for STD retention with a low vehicle density environment. Simulation results showed that our proposed scheme can improve the performance for data retention, while limiting the number of transmitting data as much as possible.

**Key words** Locally Produced and Consumed of Data, Data Retention

## 1. はじめに

Machine-to-Machine (M2M) 及び Internet of Things (IoT) 技術の発展と普及に伴い、多種多様なデータが IoT デバイスから生成されている。現在のインターネットでは、生成されたデータはほとんど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。総務省 平成 30 年度 情報通信白書 [1] によると、IoT デバイス数は 2020 年には 400 億台にまで増加すると想定されており、今後膨大な数のデータが生成されることが予想される。これらを収集、分析するには大容量ストレージ、及び高性能な中央処理装置が必要になるため、導入・運用管理コストが増大することが懸念される。さらに、膨大な数のデータがインターネットに流れ込むことになるため、トラフィック量が増加することも予想される。これに対処するためには、リンクの帯域を広くしルータの性能を向上させる必要があるため、既設のネットワーク基盤への負担が大きくなることが懸念される。

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、時限的な店舗広告など発生場所と時間に依存するデータが存在する。このようなデータを我々は「時空間データ」と定義する。時空間データは発生場所、またそのデータの利用者の近くにおいて活用することで効率的にデータを活用できると考えられる。つまり「データの地産地消」を実現することで、私たちの生活はより快適なものになることが期待される。しかし、現在のインターネットを用いたシステムでは、利用者は必要な情報を自ら遠方に設置されたサーバにアクセスして情報を取得する形となっている。「データの地産地消」を目指す上では、このようなデータ収集型ではなく、時空間データを特定の地域に留め、利用者は受動的にデータを取得できるようなデータ配信を実現するための新たなネットワーク基盤が必要となる。

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大容量ストレージ、高性能な計算機資源、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]。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紐付け (滞留) させることで、データの地産地消の促進を目指した。このように時空間データをインターネットを用いずに、InfoHubs から構成される車両ネットワークによって分散管理することで 3 つのメリットが享受できると考えられる。1 つ目は、情報の発信源周辺の車両ネットワークには常にリアルタイムなデータが滞留しているため、ユーザはそのリアルタイムなデータをリアルタイムに習得できることである。2 つ目は、各車両にデータを分散させることにより、ある車両が故障したとしても他の車両がデータを保持しているため、耐障害性の向上

につながることである。3 つ目は、サーバを用いずに車両のみでデータの収集、分析、配信を行えるため、サーバの負荷分散につながることである。

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ンネル競合が発生し、通信品質が劣化してしまう可能性がある。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密度に応じて車両がデータ送信確率を制御する手法を提案した [3]。この手法は、主に車両密度が高い環境において、データ送信確率を制御することによって、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を削減する。そのため、この手法は滞留エリア内の車両密度がある程度高い場合に有効に動作する。しかし、車両の移動性に伴い空間内の車両密度は常に変化するため、車両密度が低くなるエリアが発生する可能性がある。この場合、既存手法では効果的なデータ滞留を実現できない可能性がある。

そこで本研究では、低車両密度環境を対象とした効果的なデータ滞留を実現するための送信制御手法を提案する。この方式では、最隣接車両との通信範囲の非重複面積に注目して送信周期を調整することで、車両密度が低い環境において効率的なデータ送信制御を行う。また、シミュレーションにより提案手法の有効性を示す。

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、我々の先行研究の概要と問題点について述べる。4 節では、低車両密度環境において、効率的なデータ滞留を実現するための送信制御手法を述べ、5 節ではシミュレーションモデル、及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 [4] では、一定期間内に geocast の宛先領域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。ここで本研究では、geocast の宛先領域のことを「滞留エリア」と呼ぶ。文献 [4] ではさらに、データを滞留エリアに配信・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、固定サーバがデータを保持しており、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、固定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、滞留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、固定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、滞留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、滞留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、滞留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、

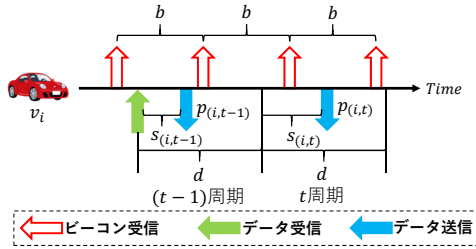


図 1 データ送信手順

今日まで多くの研究が行われている．文献 [5] では，最適な滞留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，滞留エリアの最適な半径を算出する．文献 [6] 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 [7] では，ナビゲーション情報を交換することで，滞留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 [8]，Locus [9] 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送信するため，チャン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，データの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，ユーザへの効果的な配信を促すために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，システムの前提条件と，その要件を述べた後に，先行研究 [3] の概要，及び問題点について述べる．

#### 3.1 前提条件

本システムではデータ発信源を中心として，滞留エリアを構成する．InfoHubs の車両から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．また各車両は，GPS 受信機を使用して位置情報を取得でき，識別子 (ID) を含んだビーコンをブロードキャスト送信する．さらに送信電力，及びアンテナは同じものとする．

#### 3.2 システム要件

本システムの要件として先行研究 [3] と同様に，滞留エリア内でのデータの滞留状態を表す指標としてカバー率を式 (1) で

定義する．

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

$S_{DT}$  は送信周期内において，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．カバー率が高いほど，ユーザは自動的にデータを受信できる確率が高いと言える．そこで，高いカバー率を維持するため隣接車両密度が高い環境では先行研究 [3] を用い，隣接車両密度が低い環境においては，提案手法によりデータ送信制御を行うことで効率的なデータ滞留を実現する．

#### 3.3 既存手法概要

先行研究 [3] では，先行研究 [10] において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．まず，データ送信エリアについて定義する．各車両  $v_i$  はデータを受信すると，受信データから滞留エリアの中心座標を確認し，中心からの距離  $y$  を算出する．データ送信エリアは  $y$  によって以下の 2 つに分類される．

$$\begin{cases} 0 < y \leq R + r: & \text{データ送信エリア内} \\ \text{otherwise}: & \text{データ送信エリア外} \end{cases} \quad (2)$$

$R$  は滞留エリア半径， $r$  は補助エリア長を表しており，滞留エリア外の一部の車両もカバー率向上のためにデータを送信する．

次に，データ送信タイミングについて述べる．各車両  $v_i$  は，受信データに含まれる送信間隔  $d$  を確認し，初めて受信した時刻を基準にデータ送信間隔  $d$  を元に送信タイミングを決定する．具体的にはデータ衝突を避けるため，送信間隔  $d$  内でランダムに決定した時刻  $s_{(i,t)}$  にてデータを送信する．

実際のデータ送信確率は隣接車両密度に応じて制御される．各車両は隣接車両から一定周期  $b$  で送信されているビーコンの受信数から，隣接車両台数  $n_{(i,t)}$  を検知する．隣接車両台数が 4 台以上の場合，自身がデータ送信を行わなくてもカバー率が減少しない可能性がある．例えば，東西南北方向に平等に車両が配置されていると，自身の通信範囲を隣接車両がカバーできる可能性が高い．そこで送信確率  $p_{(i,t)}$  は， $t$  周期ごとに決定され (図 1)，以下の 2 つの場合に分けて算出される．

case1  $n_{(i,t-1)} \leq 3$  :

自身の通信範囲を隣接車両でカバーできない可能性が高いため，送信確率  $p_{(i,t)}$  を 1 に設定する．

case2  $n_{(i,t-1)} \geq 4$  :

車両台数が多い環境では，データ送信数が多くなると，データ衝突の可能性が高くなるため，最小車両台数でカバー率を高く維持する必要がある．一方で，一部の方向に車両が密集していると，車両台数が多い環境でも自身の通信範囲をカバーできない可能性がある．これらの問題を解決するため， $t$  周期で予想されるデータ受信数を  $m_{(i,t)}$  と定義し， $m_{(i,t)}$  に基づいて送信確率  $p_{(i,t)}$  を設定する． $m_{(i,t)}$  は式 (3) にて算出する．

$$m_{(i,t)} = \alpha * l_{(i,t-1)} + (1 - \alpha) * m_{(i,t-1)} \quad (3)$$

この予測データ受信数  $m_{(i,t)}$  は過去の状況を考慮して算出され

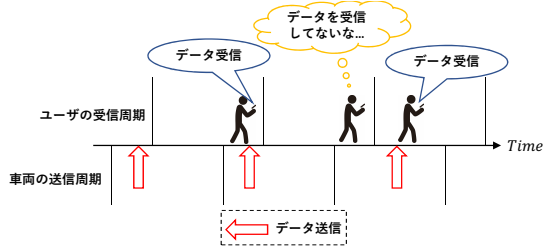


図 2 既存手法の問題点

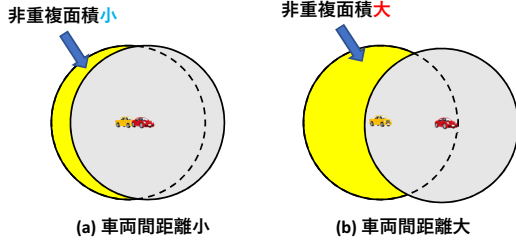


図 3 車両間距離による非重複通信面積の違い

るもので、 $l_{(i,t-1)}$  は  $t-1$  周期で受信したデータ数、 $\alpha$  は移動平均係数を表す。次に、自身が隣接車両から受信するデータ数の目標値を  $\beta$  とし、受信数が  $\beta$  となるように式 (4) にて送信確率の調整を行う。

$$p_{(i,t)} = \begin{cases} p_{(i,t-1)} + \frac{\beta - l_{(i,t-1)}}{n_{(i,t-1)} + 1} & (0 < m_{(i,t)} < \beta) \\ p_{(i,t-1)} & (m_{(i,t)} = \beta) \\ p_{(i,t-1)} - \frac{l_{(i,t-1)} - \beta}{n_{(i,t-1)} + 1} & (m_{(i,t)} > \beta) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、初期送信確率  $p_1$  は  $\frac{\beta}{n_{(i,t-1)} + 1}$  とする。これは、隣接車両台数  $n$  に加えて自身の車両も考慮し、全  $n+1$  台から受信されるデータ数を一定 (ここでは  $\beta$ ) に制御するため、平均値を設定している。その後の送信確率の制御は、予想されるデータ受信数  $m_{(i,t)}$  が、目標データ受信数  $\beta$  より小さい、つまり受信されるデータ数が不足するときは、不足分  $\beta - l_{(i,t-1)}$  を全  $n+1$  台で補うため、送信確率を  $\frac{\beta - l_{(i,t-1)}}{n_{(i,t-1)} + 1}$  上昇させる。逆に、過剰にデータが受信されているときは、余剰分  $l_{(i,t-1)} - \beta$  を全  $n+1$  台で削減するため、送信確率を  $\frac{l_{(i,t-1)} - \beta}{n_{(i,t-1)} + 1}$  減少させる。なお、増減幅が負の場合は確率制御は行わず、 $p_{(i,t)} = p_{(i,t-1)}$  とする。また、データ送信確率の範囲は  $\frac{\beta}{n_{(i,t-1)} + 1} \leq p_{(i,t)} \leq 1$  とする。

### 3.4 既存手法の問題点

既存手法の問題点として図 2 に示すように、連続する 2 周期内での車両の送信間隔が、送信タイミング決定のランダム性により、あらかじめ設定された要求周期以上になる場合がある。そのため、ユーザは要求周期内にデータを受信できない可能性があり、カバー率が低下する可能性がある。特に車両密度が低い環境では車両 1 台のデータ送信の有無がカバー率に大きく影響するため、低車両密度環境を対象にした送信制御手法が必要となる。

## 4. 提案手法

本節では、滞留エリア内で車両密度が低い環境において効率的に滞留させる手法を提案する。

非重複面積  $S$

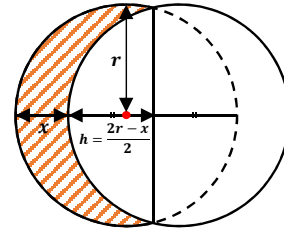


図 4 計算に用いるパラメータの位置関係

### 4.1 最小送信周期の設定

既存手法における問題を解決するには、ランダムに決定される送信タイミング間隔の最大を、要求周期よりも小さくする必要があるので、そこでデータ送信周期  $d$  を要求周期の半分に設定することで、隣接 2 周期での最大送信タイミング間隔を要求周期より小さくする。これを最小データ送信周期  $d_{min}$  とする。

### 4.2 データ送信周期制御

データ送信周期を  $d_{min}$  に設定することで、送信タイミング間隔が要求周期以上になることを抑制できるが、データ送信数は約 2 倍と大幅に増加してしまう。そこで本研究では、データ送信数の増加を抑制するために、車両間の距離に基づき、自身のカバー率向上への寄与度合いに応じてデータ送信周期  $d$  を制御する。寄与度合いについては、最隣接車両との通信範囲の非重複面積  $S$  の大きさに判断する。具体的には車両間距離が大きくなるにつれ、非重複面積も大きくなるため自身の送信がカバー率の向上に大きく貢献すると判断できる (図 3)。そこで先行研究 [2] に基づき、隣接車両台数  $n$  が 3 台以下の場合を低車両密度環境と定義し、非重複面積  $S$  の大きさに応じてデータ送信周期を以下の式で算出する。

$$d_{ctl} = d - d_{min} * \frac{S}{S_{max}} \quad (5)$$

$d_{ctl}$  は低車両密度環境において設定されるデータ送信周期である。ここでの非重複面積の最大値  $S_{max}$  は、車両間距離  $x$  が最大通信距離となった場合の値である。この式より車両間距離が大きくなる、つまり非重複面積が大きくなるにつれ最小送信周期に近づくように制御する。面積  $S$  については、通信半径を  $r$ 、重複部に現れる 2 つの同一弓形の高さを  $h$  とすると、式 (6) で計算される (図 4)。

$$S = \pi r^2 - 2 \left\{ r^2 \cos^{-1} \left( 1 - \frac{h}{r} \right) - (r - h) \sqrt{h(2r - h)} \right\} \quad (6)$$

車両間の距離の算出については、全車両の送信電力とアンテナが同一である場合、受信側の受信電波強度から損失電力を求めることで車両間の距離を算出する。距離の算出については、自由空間伝搬損失で計算する。損失  $L$  をデシベルで表すと以下の式になる。

$$L = 20 \log \left( \frac{4\pi fl}{c} \right) \quad (7)$$

$f$  は周波数、 $l$  は距離、 $c$  は電波速度である。この式を  $l$  について解くことで、前述した前提条件であれば、距離を算出できる。実環境では建物などの遮蔽物があるため、算出される距離は理論値と比べると誤差が生じると考えられる。隣接車両からの受



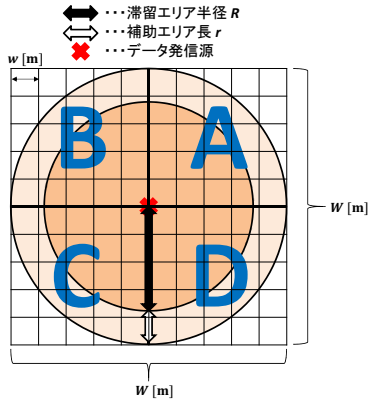


図 5 シミュレーションモデル

信電波強度が理論値より小さい場合、提案手法では車両間距離が実際より大きく算出されるため、データ送信周期がより短くなり、自身のデータ送信頻度が高くなる。しかし、この増加分は自身の通信範囲内において、隣接車両の電波強度低下により、電波が届かなくなったエリアを補うものである。

これらのことから、提案手法は実環境を想定した場合においても、損失電力から車両間距離を算出することで効果的なデータ滞留を実現可能であると考えられる。

## 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。送信周期  $d$  を  $5s$  に設定すると、安定したカバー率を得るための最小送信周期  $d_{min}$  は  $d = 2.5s$  となる。ここでは、送信周期を  $d_{min}$  に設定することにより得られるカバー率を本研究における最大カバー率と定義する。比較手法には、全車両が送信確率  $p$  を常に 1 に設定し、送信周期を  $5s$  に設定した naive(5s) 手法、送信周期を  $d_{min}$  に設定した naive(2.5s) 手法、及び既存手法を用いる。これらの手法と比較して、提案手法が naive(2.5s) 手法のカバー率に近い値を達成しつつ、送信数の増加を抑制出来るか評価する。

### 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++ [11] と交通シミュレータである SUMO [12] を統合的に利用可能で、IEEE802.11p を実装している Venis [13] 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一边  $W$  は  $2000m$ ) に 5 秒で切り替わる信号を各交差点に設置した(図 5)。車両の移動モデルは、滞留エリア内で車両密度のばらつきを顕著にするため、全エリア (A+B+C+D)、エリア左半分 (B+C)、エリア下半分 (C+D) においてそれぞれでランダムな移動経路を作成し、それらを組み合わせることで平均的に存在する車両台数がエリア A が最も少なく、エリア C が最も多く、エリア B, D がその中間になるような移動モデルを作成した。これより、エリア A が低車両密度 ( $n \leq 3$ ) になりやすい環境となる。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 [2] に基づき 4 に設定した。またシミュレーション時間は  $300s$  とした。空間内を回遊する車両を 20 台、40 台、60 台とし、それぞれの台数において 10 種類の移動モデルを作成してシミュレーションを実行した。

### 5.2 性能評価

まず、カバー率に対する評価を行う。ここでは naive(2.5s) 手法と比較し、提案手法のカバー率を評価する。図 6 は車両台数ごとにエリア別平均カバー率を示しており、横軸をエリア(図 5 を参照)、縦軸をカバー率とする。エラーバーは 10 回のシミュレーションの最大値、最小値を示している。まず平均カバー率を naive(2.5s) 手法と比較すると、特に車両密度が低い環境(エリア A)において既存手法、及び naive(5s) 手法のカバー率が低いことがわかる。しかし、提案手法では車両密度に関わらず naive(2.5s) 手法に近いカバー率を得られている。このカバー率を細かく評価するため、図 7 では、車両台数ごとに naive(2.5s) 手法のカバー率を 100 とした場合に対する、提案手法と既存手法のカバー率の割合をエリア別に示している。既存手法では、車両密度が低くなるにしたがって割合が小さくなっているが(図 7(a) や図 7(b) 及び (c) のエリア A)、提案手法では、どの車両密度においても 99% に近い割合となっている。これより、提案手法では車両密度に関係なく naive(2.5s) 手法に近いデータ滞留を実現できる。

次に、データ送信数に対する評価を行う。ここでは既存手法と比較し、提案手法の送信数の増加が naive(2.5s) 手法に比べて抑制できているかを評価する。図 8 は車両台数別のデータ送信数を示している。これより naive(2.5s) 手法は既存手法に比べて大幅に送信数が増加しているが、提案手法ではその増加が大きく抑えられている。送信数の増加を細かく評価するため図 9 では、既存手法に対する naive(2.5s) 手法と提案手法の送信数の増加率を示している。これより naive(2.5s) 手法の送信数は、どの車両台数においても約 2 倍に増加しているが、提案手法は増加を最大約 40% に抑え、車両台数が多くなるにしたがって増加を抑制できる。よって提案手法は、最大カバー率に対して約 99% のカバー率を達成しつつ、データ送信数の増加を抑制できることを明らかにした。

## 6. 結 論

本研究では、発生場所・時間に依存する時空間データを、InfoHubs 車両のみで構築されるアドホックネットワークを利用し、特定のエリア内に時空間データを滞留させるシステムを提案した。その中で、低車両密度環境においてカバー率を改善するデータ滞留方式を提案した。提案手法では、最隣接車両との通信範囲の非重複面積の大きさにより、データ送信周期を制御する手法を提案した。シミュレーション評価から、提案手法が最大カバー率に対して約 99% のカバー率を達成しつつ、送信数の増加を抑制できることを明らかにした。今後は、車両ネットワークのみでは対応できない処理や、さらなるカバー率の改善に向け、ユーザに近い位置で様々な処理を実現する Mobile Edge Computing (MEC) を連携した、新たな時空間データ滞

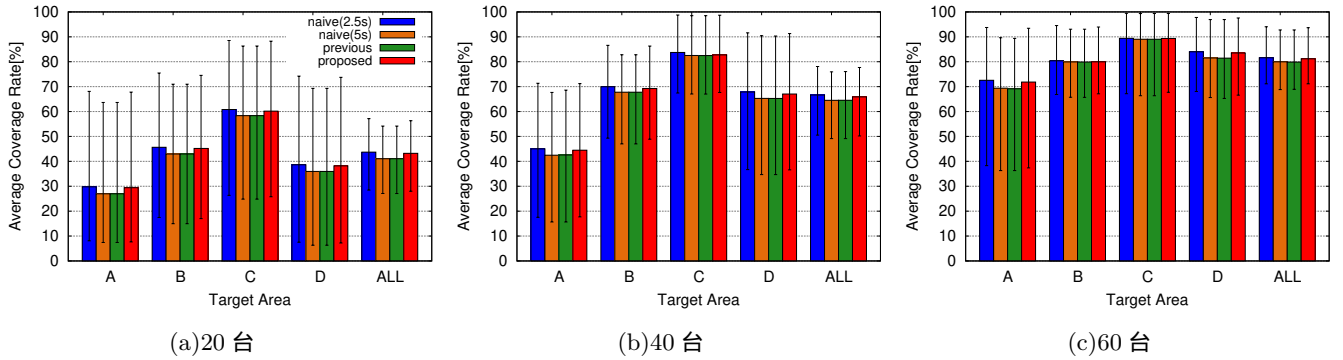


図 6 カバ ー 率

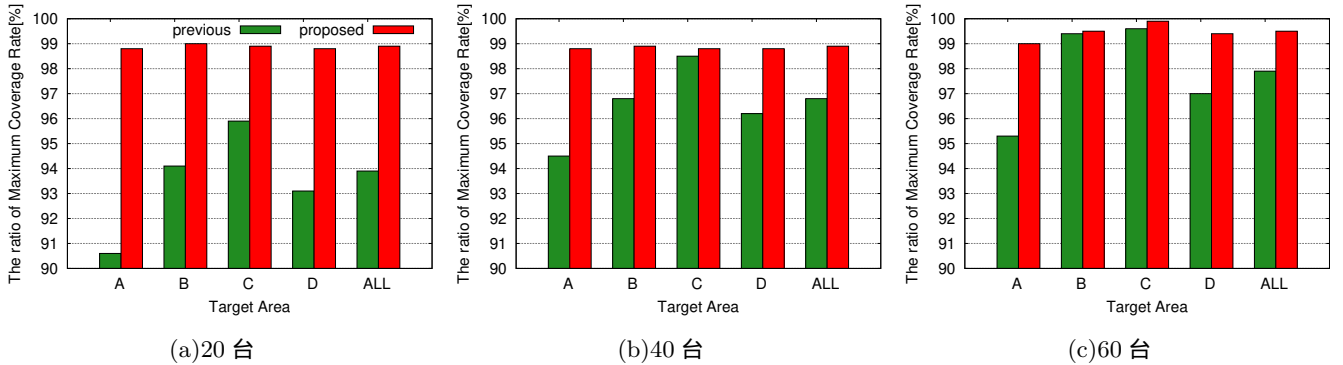


図 7 最 大 カバ ー 率 に 対 す る 割 合

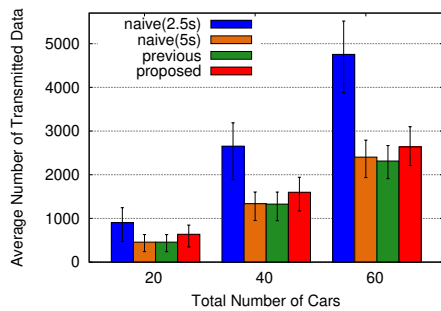


図 8 送 信 数

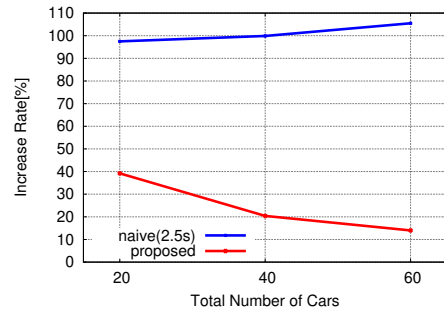


図 9 増 加 率

留方式を検証していく。

## 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] 総務省, “平成 30 年度 情報通信白書” <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111200.html>, 2018.
- [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合大会, pp.51, B-6-51, 2018 年 3 月.
- [3] H. Teshiba, D. Nobayashi, K. Tsukamoto and T. Ike-naga, “Adaptive Data Transmission Control for Reliable and Efficient Spatio-Temporal Data Retention by Vehicles,” Proc. ICN 2017, pp. 46-52, Italy, April, 2017.
- [4] C. Maihofer, T. Leinmuller, and E. Schoch, “Abiding Geocast: Time-stable Geocast for Ad Hoc Networks,” In Proc. ACM VANET, pp. 20-29, 2005.
- [5] 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 Communica-

tions & CCNC 2017, pp. 712-715, Jan, 2017.

- [6] 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.
- [7] I. Leontiadis, P. Costa, and C. Mascolo, “Persistent content-based information dissemination in hybrid vehicular networks,” In proc. IEEE PerCom, pp. 1-10, 2009.
- [8] J. Ott, E. Hytti, P. Lassila, T. Vaegs, and J. Kangasharju, “Floating Content: Information Sharing in Urban Areas,” In Proc. IEEE PerCom, PP. 136-146, 2011.
- [9] 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.
- [10] T. Higuchi, R. Onishi, O. Altintas, D. Nobayashi, T. Ike-naga, and K. Tsukamoto, “Regional InforHubs by vehicles: balancing spatio-temporal coverage and network load,” In Proc. IoV-VoI '16, pp. 25-30, 2016.
- [11] “OMNeT++,” [Online], Available from: <https://omnetpp.org/>.
- [12] “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/).
- [13] “Veins,” [Online], Available from: <http://veins.car2x.org/>.