

# 時空間データを活用するための情報通信基盤に関する研究

研究代表者	野 林 大 起	九州工業大学大学院 工学研究院 助教
共同研究者	塚 本 和 也	九州工業大学大学院 情報工学研究院 准教授
	池 永 全 志	九州工業大学大学院 工学研究院 教授

## 1 背景

M2M (Machine-to-Machine) や Internet of Things (IoT) 技術の発展と普及に伴い、通信機器を搭載した機器が爆発的に増加すると予測されている。現在のインターネットでは、全てのデータをネットワークの先に設置されたサーバ(クラウド)へ一度蓄積し活用されている。OECD [1] によると M2M デバイス数は 2020 年までに 500 億台にまで達すると想定されており、このような IoT デバイスからサイズが小さく且つ膨大な数のデータが発生すると考えられる。そのため、データを蓄積するための大容量ストレージ、及び処理するための高性能な CPU が必要となるため、データセンターも肥大化し、運用・管理コストが増大することが懸念される。さらに、データを転送するトラフィック量の増大に伴い、現在のネットワークインフラでは対応困難になることが想定できる。

一方で、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る。我々はこのようなデータを**時空間データ**と定義する。この時空間データは遠方に存在するサーバへ収集するよりもその発生された場所で活用の方が効果的な可能性がある。例えば、交通量・事故情報、商店街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、リアルタイムに活用できる情報は、その情報発信元の付近に存在するユーザ(スマートフォン等を保持する人)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基盤を実現することが可能となる。そのためには、現在のインターネットのようなデータ収集型の情報基盤ではなく、データをローカルに維持(滞留)し配信する新しい情報ネットワークが必要となる。

そこで我々は、時空間データ滞留のために、無線通信可能な車両群に注目し、時空間データの地産地消を行うデータ滞留方式を提案してきた[2]。この方式においては、無線通信可能な車両を *regional information hubs (InfoHubs)* と定義し、それらがデータを拡散し、一定の範囲内で維持(滞留)することでデータの地産地消を実現する。このように、時空間データはインターネットを介さずに *InfoHubs* から構成されるネットワークによって分散的に保持、管理されることで、ユーザは以下のメリットを享受できるようになる。

- 「リアルタイムな」情報の取得
- データの分散管理による耐障害性の向上
- インターネット上のサーバの処理負荷軽減

時空間データを車両ネットワークによって分散することで、利用者の間近にデータを保管、管理できるため、利用者は車両経由ですぐにデータを受信することで、「リアルタイムな」情報を「リアルタイムに」取得することができる。さらに、車両という分散した計算機資源を有効活用することで、データの分散管理が可能となり、例えば、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。また、インターネットを介して遠隔に設置されたサーバを用いず、車両のみでデータを集約、蓄積できるため、サーバの処理負荷を軽減することができる。

しかし、この滞留方式のように、複数車両によって構築されるアドホックネットワークでは、一般的に全車両が無線帯域を共有するため、チャンネル競合が発生し、車両台数が多い場合には、送信するまでの待ち時間、及びパケットロスが頻発し通信品質が劣化する可能性がある。一方で隣接車両(ノード)密度が低い場合には、データの中継するノードが少ないため、自身が有するデータをより効率よく拡散させる必要がある。そこで、この滞留方式では上記の問題を解決するため、ノード密度に基づくデータ送信制御手法を提案し、その有効性を評価してきた[2]。しかし、この方式では同一エリア内に異なる情報発信源が複数存在することを想定していない。そのため、滞留するデータが増加するとデータ送信回数も増加するため、データの衝突を避けることが困難になる。そこで、時空間データ毎に異なる要求品質(データ滞留範囲や滞留時間)を満たしつつ効果的なデータ滞留を実現する必要がある。

そこで本研究では、異種時空間データ滞留を実現するノード密度連動型データ送信制御手法を提案する。この方式では、直前に受信したビーコン数、データ数を用いて、隣接ノード台数および次に受信するデータ数を推定することにより、効率的なデータ送信制御を達成する。さらに、異なる複数の時空間データの要求品質を満たすために、送信周期の違いに着目し、複数のデータを一括送信することで、より効率的なデータ送信制御を行う。シミュレーション評価により、隣接ノード密度に応じて、異なる複数の時空間データごとに時空間的なカバレッジを高く保ちつつ、効率的なデータ送信ができることを明らかにする。

## 2 関連研究

文献 [3] では、車両が高速で移動することによる、VANET (Vehicular Ad-hoc Network) が抱えるデータ拡散、データ共有の問題について議論している。これを踏まえて、文献 [3] 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、パケットを送信するプロトコルを提案している。さらに文献 [4] では、メッセージを特定のエリア内のノードに対して送信し、ある一定期間保存しておくような方式を提案している。本研究では、このようにデータが一定時間特定のエリア内でノード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」と呼ぶ。文献 [4] 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、3つの方式を提案している。一つ目は、固定されたサーバが *geocast message* を保持/配信する *server approach* である。二つ目は、限られたノードのみがメッセージを保存/配信しておく *election approach* である。三つ目は、すべてのノードがメッセージおよび隣接するノードの位置情報も保持しておく *neighbor approach* である。

まず、*server approach* では、固定されたサーバは、データを保持しておくために用いられる。さらに、そのサーバは *geocast routing protocol* に基づいて、滞留エリアに向かってデータを送信する。サーバは、メッセージ送信のために、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 [5] では SDN (Software Defined Network) を用いて、最適な滞留エリアの範囲設定を設定する手法が提案されている。この場合、サーバが SDN コントローラーとなり、周辺ノードの移動情報を収集/解析することで、滞留エリアの最適な半径を決定して、送信を行う。次に、*election approach* では、選ばれたノードのみがメッセージを保存して、滞留エリアに向けてデータを送信する。これら二つの方式は、特定のサーバ/ノードへの負担が大きく、それらに重大な故障が発生した場合にデータ配信を継続できない可能性がある。

最後の *neighbor approach* は、移動ノードのみから構成されるシステムであり、その実用性の高さから、活発に研究が行われている。例えば、文献 [6] では地震や洪水等の自然災害時に、インフラを用いず、移動ノード間で災害情報を交換し、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。他にも移動ノード群を用いたシステムにおいて、文献 [7], *Floating Content* [8], *Locus* [9], 文献 [10] などが提案されている。文献 [7] では各ノードが持つナビ情報を交換することにより、滞留エリアに向かうノードを特定して、効果的に滞留エリアにデータを届ける。また、*Floating Content*, *Locus* の方式では、各ノードは保持しているデータのリストを持ち、隣接ノードとそのデータリストを交換する。保持していないデータは、隣接ノードとすれ違った時に、送信要求を行い、データを取得する。この時、ノードが送信を行うかは中心からの距離にしたがって送信確率が決まる。このシステムでは、中心から遠くなるほど、データ送信確率が下がるため、データを取得できる確率も減少する。一方で中心付近にノードが偏って存在する場合、全ノードが高いデータ送信確率となるため、データを同時に送信してしまい、結果的にデータ衝突が頻発してしまう恐れがある。

そこで、我々の先行研究である文献 [10] では、位置情報に基づくブロードキャストを用いて、滞留エリア内に存在するすべての受信者に対して、設定された送信間隔でメッセージを定期的に送信することを目標としている。定期的な送信を行う際に、ノードは隣接するノードの位置情報を用いて、送信確率を決めている。

本研究では、文献 [10] と同じように、*InfoHubs* を用いて、滞留エリア内にデータを定期的に拡散して、常時滞留させるようなシステムを考える。このようなシステムを *時空間データ滞留システム* (spatio-temporal Data Retention System, DRS) と定義する。我々のシステムでは、隣接するノードの位置情報ではなく、隣接するノード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、送信制御を行う。さらに、本研究では、先行研究 [2], [10] において未考慮であった、同一空間上に異なる複数の時空間データ滞留も目指す。そこで、異なる時空間データの要求品質も満たしつつ、無駄なデータ送信を削減できる適応的

なデータ送信制御を提案する。

### 3 時空間データ滞留システム (Data Retention System, DRS)

本節ではシステムの前提条件を述べた後に、2 節での議論を踏まえて本システムの概要と、その要件について述べる。本システムでは先行研究 [2] と同様に、情報源が滞留エリアの中心となり、滞留エリア半径  $R$ 、データ送信間隔  $d$  の滞留エリアに関する情報も含めて、時空間データとして発信することを想定する。そのために、InfoHubs から構成されるネットワークによって、滞留エリア全体にデータを定期的に拡散して、常時滞留させることを目標とする。これにより、受信者は情報源から発信された「リアルタイムな」データを自動的に受信でき、利活用できる。さらに、既存インフラを介さず、時空間データが分散管理されるため、インターネット上のサーバへの負荷の軽減、及びデータの耐障害性に期待できる。滞留システムの概要図を図 1 に示す。

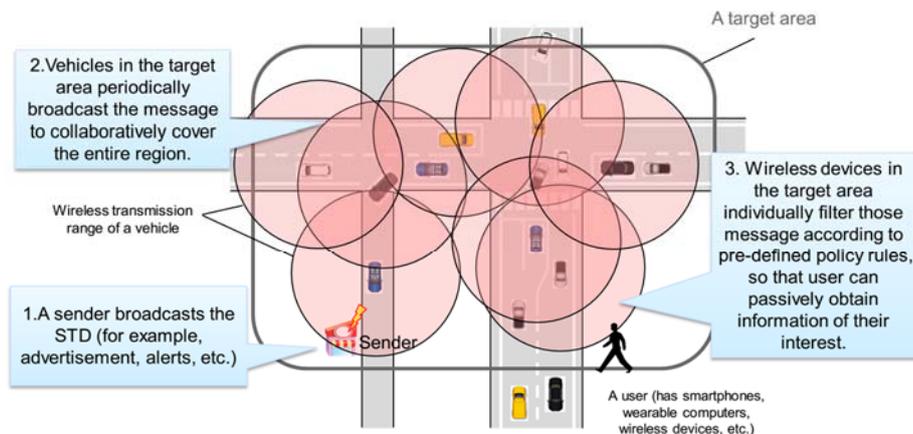


図 1：データ滞留システム 概要図

次に、システムの要件として、先行研究[2]と同様に、ユーザが滞留エリア内の至る所でデータを自動的に受信できる確率を示すカバー率を定義する (式(1))。

$$\text{カバー率} = S_{DR} / S_{TA} \quad (1)$$

$S_{DR}$  はノードが一定時間内で送信したデータを受信可能な面積、 $S_{TA}$  は滞留エリア全体の面積を示す。

我々が提案する時空間データ滞留システムでは、カバー率を高く維持するために、先行研究 [2] と同様に隣接ノード台数に応じて、データ送信確率を設定する。さらに、提案手法では文献 [10] のように、複雑な計算を行わず、単純な情報で効率的なデータ配信を実現する。この隣接ノード台数に応じたノード密度連動型データ送信制御手法について、次節で述べる。

### 4 ノード密度連動型データ送信制御

本システムでは、先行研究 [2] と同様に、ノード密度に応じたデータ送信制御を行う。まず、本システムでは、データを受信した時に、自身が送信対象エリアに存在するかを自身の GPS とデータ内に格納されている滞留エリアの中心座標から判断する。滞留エリアの中心からノードまでの距離を  $Distance$  とすると、本システムでは図 2 に示すように、滞留エリア半径  $R$  に対して、ノードの通信距離  $r$  を加算した範囲を、本システムが動作するデータ送信対象エリアとする。

次に、データを初めて受信した時刻を基準にデータ送信間隔  $d$  を 1 周期として、定期的にデータを送信する。なお、実際の送信タイミングは各ノード  $v_i$  ( $i$  はノード ID で MAC アドレスのようなユニーク ID) が  $\$d\$$  内でランダムに決定した時刻  $s_{(i,v)}$  にしたがって送信される。これに

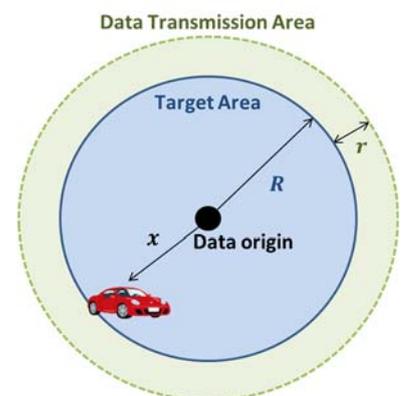


図 2：データ送信対象エリア

より、ノード間の無線チャネルの衝突を低減する。さらに、各ノードは隣接するノードから定期的な送信されるノード ID を含んだビーコン数によって、隣接ノード台数を検知する。隣接ノード台数  $n_{(i,t)}$  は、 $t-1$  周期で受け取ったビーコン数を基に、 $t$  周期ごとに送信確率制御する(図3)。ただし、送信確率制御は以下の2つの場合に分けられる

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

隣接ノード数が3台以下の場合、自身の通信範囲を周辺のノードでカバーできない可能性が高いため、ノードは必ずデータを送信するために送信確率  $p_{(i,t)}$  を1に設定する。

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

$p_{(i,t)}$  は隣接ノード台数と周辺のデータ送信状況に応じて、計算される。あるノードの通信範囲内に隣接ノードが多数存在し、データ送信数が多くなると、データ衝突の可能性が発生する。一方で、隣接ノード台数が多くても、一部の方向にノードが固まっている場合、自身の通信範囲をカバーできない可能性がある。そこで、最小ノード数でカバー率を高く維持するためのデータ送信確率制御が必要である。

この問題を踏まえて、データ送信確率を調整するために  $t$  周期でのデータ受信数の予測値として、 $m_{(i,t)}$  を計算する(式(2))。

$$m_{(i,t)} = \alpha \times l_{(i,t-1)} + (1-\alpha) \times m_{(i,t-1)} \quad (2)$$

この  $m_{(i,t)}$  は過去も考慮したデータ予測値で、 $l_{(i,t-1)}$  は  $t-1$  周期で実際に受信したデータ数、 $\alpha$  は移動平均係数を表す。その後、 $m_{(i,t)}$  と送信周期  $d$  内で送信されるデータ送信目標値である  $\beta$  と比較して、送信数が  $\beta$  個になるように、式(3)のように確率調整する。

$$p_{(i,t)} = \begin{cases} p_{(i,t-1)} + \frac{\beta - l_{(i,t-1)}}{n_{(i,t-1)} + 1} & (0 < m_{(i,t)}) \\ p_{(i,t-1)} & (m_{(i,t)} = \beta) \\ p_{(i,t-1)} + \frac{l_{(i,t-1)} - \beta}{n_{(i,t-1)} + 1} & (0 < m_{(i,t)}) \end{cases} \quad (3)$$

ここでの初期送信確率は  $\frac{\beta}{n_{(i,t-1)} + 1}$  とする。これは、隣接ノード台数  $n_{(i,t-1)}$  に自身ノードも考慮し、全  $n_{(i,t-1)} + 1$  台から送信されるデータ数を一定に制御するために平均値を設定している。また、目標値  $\beta$  個になるように、確率調整するものの、増減幅が負の場合、確率調整は行わない。

## 5 異種時空間データ滞留を実現するノード密度連動型データ送信制御手法

上記のノード密度連動型データ送信制御では、同一エリア内に異なる情報発信源が複数存在することを想定していない。そのため、滞留するデータが増加するとデータ送信回数も増加するため、データの衝突を避けることが困難になる。そこで本節では滞留エリア内に異なる複数の情報発信源が存在することを想定し、それぞれの情報発信源から送信される時空間データを効率的に滞留させる手法を提案する。

### 5.1 データ一括送信の目的と方針

先のノード密度連動型データ送信制御手法では異なる複数のデータを滞留させることを考慮できていないため、データ  $x$  ( $x \in X$ ,  $X$  はある特定の地域で生成される時空間データセットとする) 毎に独立して送信を行うと、そのデータ数に比例してデータ送信数が増加する。これにより、ノード間のチャネル衝突が増加し、効果的にデータを滞留させることが困難になることが予測される。一方で、情報発信源から送信されるデータは、それぞれ滞留エリアや送信周期などのデータ要求品質が異なる。そこで、本システムでは、各データ  $x$  の要求品質も考慮しつつ、効率的なデータ配信が必要である。

これらの問題と要求を満足するために、提案手法では適応的に異なる複数のデータを一括送信する手法を

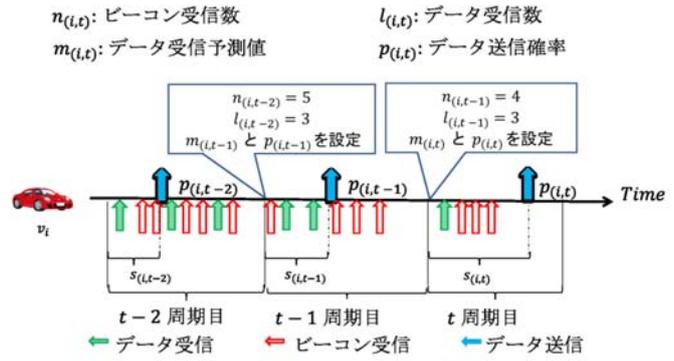


図3：データ送信確率の設定

提案する．データ毎に異なるデータ要求品質（データ送信周期）の違いに着目して，適応的に送信と判断された複数のデータを一括送信することで，空間全体のデータ送信数を削減しつつ，全データのカバー率の向上を目指す．

## 5.2 データ一括送信制御

まず，送信周期の異なる複数のデータを一括送信するために，集約するデータのタイミングを決定する必要がある．本研究では各データ  $x$  に設定されているデータ送信周期  $d_x$  に着目する．提案手法では，一括して送信するデータの送信タイミングを，ノードが保持しているデータの中から決定する．しかしこの基準となる送信間隔は，保持しているデータの中で最も長い送信周期を選ぶと，送信周期が短いデータの要求品質を満足させることができない．例えば，ノードがデータ  $a$  及び  $b$  を保有しており，それぞれのデータ送信周期が  $d_a = 2$ ,  $d_b = 6$  とする．このとき， $d_b$  を基準として，二つのデータをまとめて送信すると，集約されたデータが 6 秒に 1 回しか送信されず，2 秒ごとのデータ送信要求があるデータ  $a$  のカバー率を向上させることができない可能性がある．一方で，保持しているデータの中で，最も短い送信周期を選ぶと，全データの要求品質を満たすが，長い送信周期のデータ  $b$  が過剰に送られてしまい，データ衝突の可能性が高くなる恐れがある．さらに，ノード密度連携型データ送信制御において，送信周期内でのデータ送信数の目標値である  $\beta$  個に制御することも困難である．

そこで本提案手法では，まず 4 節で述べた，ノード密度連携型データ送信制御手法を用いて，データ  $x$  毎にデータ送信確率  $p_{(i,x,t)}$  を決定する(図 4)．次に，基準となるデータ送信周期を，保持しているデータの中で最も短い  $d_{min}$  に設定する(図 5)． $d_{min}$  の送信時刻に，まとめて送信するが，データ  $x$  を付加して送信するかどうかは，送信タイミングでデータ  $x$  ごとに決められた，付加確率を  $P_{add}(x)$  に従って決定される．この付加確率  $P_{add}(x)$  はデータ送信周期  $d_x$  の違いを考慮し，データ  $x$  ごとに計算された  $p_{(i,x,t)}$  を用いて式 (4) で表される．

$$P_{add}(x) = p_{(i,x,t)} \times \frac{d_{min}}{d_x} \quad (4)$$

この  $\frac{d_{min}}{d_x}$  の重み付けは，データ  $x$  が  $d_{min}$  間隔で送信制御される際に，過度なデータ送信を防ぐための重みづけであり，データ  $x$  の送信周期  $d_x$  内で送信されるデータを，データ毎に設定された  $\beta$  個に制御する．この提案手法を用いて，次節以降で，提案手法の有効性を示すためのシミュレーション実験を行う．

## 6 シミュレーション評価

6.1 節では，シミュレーション環境を，6.2 節では異なる複数の時空間データの数を増やした際の性能評価を行う．また提案手法 proposed method に対する比較手法として，データ  $x$  ごとに独立してデータ送信を

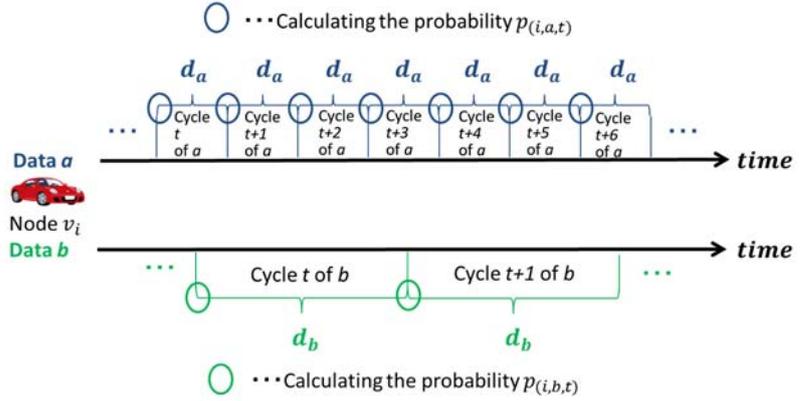


図 4：データ  $x$  ごとの確率計算タイミング

- Node  $v_i$  calculates the probability of each data ( $p_{(i,a,t)}, p_{(i,b,t)}$ ) within Period  $d_{min}$ .
- If  $v_i$  transmits both data by calculated probability,  $v_i$  transmits aggregated data.
- If  $v_i$  transmits either data,  $v_i$  transmits only data.

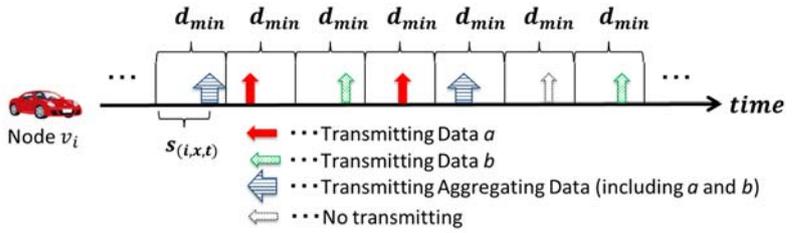


図 5：データ一括送信タイミング

決定する naïve method と individual method を用いる。その際、naïve method では各ノードは送信周期毎に保持しているデータを必ず送信し ( $p_{(i,x,t)} = 1$ )、individual method では、ノードは保持するデータ毎に 4 節の方式に基づき送信確率を計算し、送信する。これらの手法を比較手法として、提案手法がどれだけ高いカバー率を保ちつつ、無駄なデータ送信数を削減できるかを評価する。

### 6.1 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] と交通流シミュレータである SUMO [12] を統合的に利用可能で、IEEE 802.11p を実装している Veins [13] を用いて本提案手法の性能評価を行う。

ネットワークトポロジとして、車両が走行する道路は格子状に設定し、ノードのスピードを時速 40 km/h に設定し、水平に設置された 11 列の走行レーン上を移動するノード群を考える (図 6)。なお、レーン間隔は 200 m で固定とし、ノードの進行方向を交互に設定し、ノードの出現間隔を一定にして隣接ノード台数を 10 台とした。また、ノードの通信範囲は 300 m とし、無線到達範囲 ( $r = 250$  m)、ビーコン送信間隔を 1 s、平均移動係数を  $\alpha$  を 0.5 に設定した。本研究では異なる時空間データ滞留を評価するために、滞留させる時空間データを A~E の最大 5 個まで変化させて評価を行う。異なる時空間データごとに、データ発信源が存在し、今回は全データの発信源の位置 (滞留エリアの中心地)、滞留エリア半径 ( $R = 750$  m)、 $\beta = 4$  を同一として、評価を行う。また、データ A~E のデータ送信周期は、 $\{d_A, d_B, d_C, d_D, d_E\} = \{5s, 6s, 7s, 8s, 9s, 10s\}$  とした。また、各データサイズは 300 Bytes とし、まずデータ A を保持した情報源から送信する。その後 2 秒間隔ごとにデータ B, C, D, E をそれぞれ保持した情報源から送信が行われ、100 秒間のシミュレーションを 10 回ずつ行う。ここでデータが情報源から送信されて、十分データが滞留された状態を定常状態と呼び、評価指標は定常状態での 4 周期分の平均値と 95 % 信頼区間を算出する。

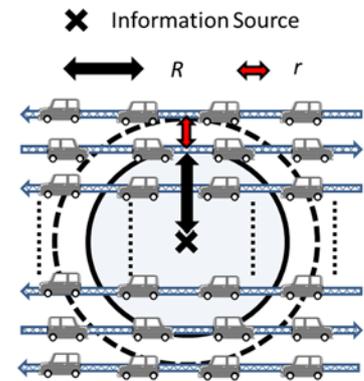


図6：シミュレーショントポロジ

### 6.2 時空間データの数に伴う性能評価

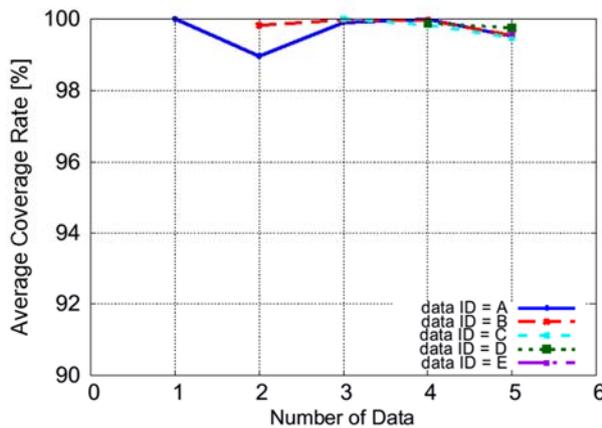


図7：データ毎の平均カバー率

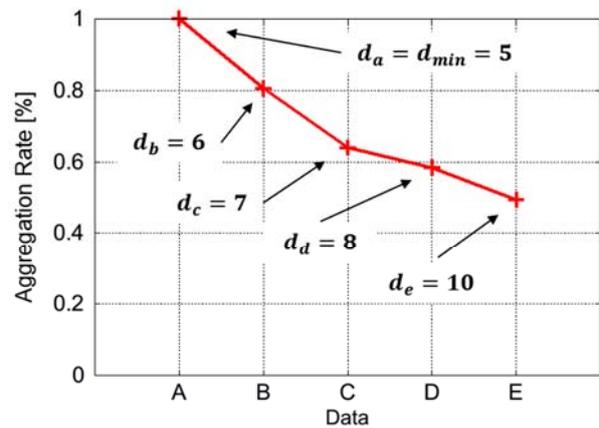


図8：データ集約率

図7に提案手法における定常状態時のカバー率を示す。横軸は滞留させたデータ数、縦軸は各データのカバー率を示す。提案手法はデータ  $x$  ごとに送信確率を決定して送信の可否を判断しているが、データ数が増加した場合においても、カバー率 99 % 以上を維持できている。図8に individual method に対するデータ毎の平均データ集約率を示す。この結果より、提案手法における各データの送信数を  $\frac{d_{min}}{d_x}$  に近づけることができている。このことから、提案手法は各データの送信周期に対して適切な確率調整を実現できていることが確認できる。

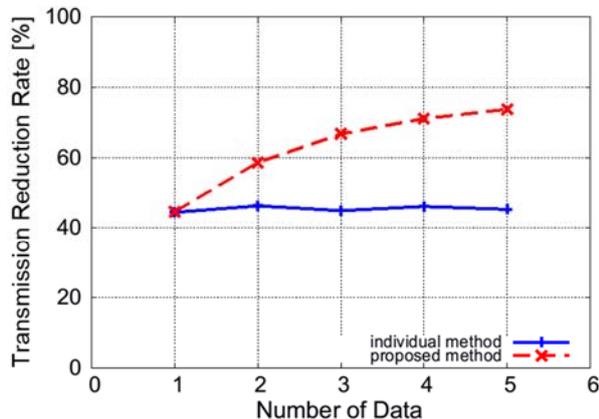


図9：データ削減率

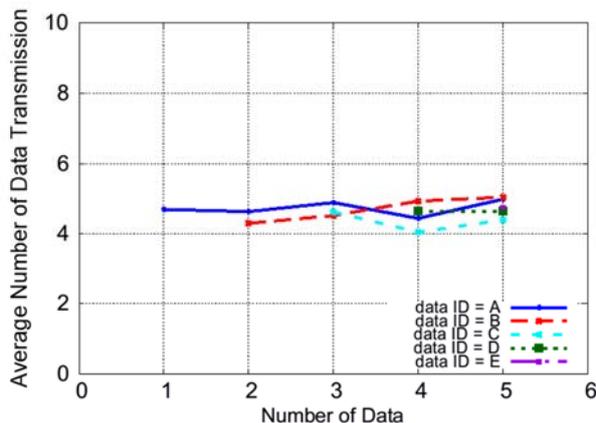


図10：データ毎のデータ送信回数

さらに、図9に naive method の全データ送信数に対する individual, proposed method のデータ削減率を示す。Individual method はデータ毎に確率を計算し、独立してデータ送信を行うため、データが増加した場合でも削減率は一定であることが確認できる。一方で、提案手法はデータ毎に確率を計算し、同一のタイミングで送信するデータを集約して送ることから、データ数が増加するにつれてデータ送信数を抑制できるため、データ削減率が最大で 35 % 向上していることが確認できる。最後に、図10にデータ毎の一定の空間内におけるデータ送信数を示す。各データは4節及び5節記述したように、一定の空間において $\beta$ 回のデータ送信するよう制御されている。この結果に着目すると、全てのデータの送信回数は約4~5回に程度に維持できていることから、適切な確率制御と一括送信を実現できていることを示している。以上の結果より、提案手法は各データの要求品質を満たしつつ、異なる複数の時空間データを一括送信することによって、無駄なデータ送信数を抑えて、全データに対し、ほぼ100%のカバー率を実現することができることを示した。

## 7 まとめ

本研究では、特定の地域や時間に強く依存した異なる複数の時空間データを滞留エリアに常時滞留させることを目標とし、「時空データの地産地消」を実現する時空間データ滞留システムを提案した。ここでは、無線通信機器を備えた車両を InfoHubs と見なし、複数の車両を用いてデータを滞留させる際に、異なる複数の時空間データの要求品質も満たしつつ、隣接ノード台数に応じて効率的なデータ送信制御を行う手法を提案した。提案手法では、データ  $x$  毎に送信確率制御を行うものの、適切なタイミングでは一括送信を行う。シミュレーション評価によって、提案手法がノード密度と異なる複数の時空間データの要求品質を満たしつつ、効率的なデータ滞留ができることを明らかにした。今後は、提案手法がさらに異なるデータ要求品質にも対応できるかどうか検証し、その結果からさらなる改善を行う予定である。

## 【参考文献】

- [1] OECD, "M2M Communications: Connecting Billions of Devices," OECD Digital Economy Papers, No. 192, 2012.
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] C. Maihofer, T. Leinumuller, and E. Schoch, "Abiding Geocast: Time-stable Geocast for Ad Hoc Networks," In Proc. ACM VANET, pp. 20-29, 2005.

- [5] A. Maio, R. Soua, M. Palattella, T. Engel and G. Rizzo "A centralized approach for setting floating content parameters in VANETs" 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (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 2009, 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 2011, 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. Ikenaga and K. Tsukamoto, "Regional InfoHubs by vehicles: balancing spatio-temporal coverage and network load," In Proc. IoV-VoI'16, pp. 25-30, 2016.
- [11] OMNeT++, " [Online]. Available from: <https://www.omnetpp.org/> (accessed 2018.2.7).
- [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/> (accessed 2018.2.7)

### 〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Spatio-temporal Data Retention System with MEC for Local Production and Consumption	Proc. of IEEE COMPSAC 2018, Fast Abstract, accepted, 2018.	July 2018
VANET based Effective Data Transmission Control for Spatio-Temporal Data Retention System	IEICE Technical Report, Vol. 117, no. 257, pp.59-60	Oct. 2017
Adaptive Data Transmission Control for Reliable and Efficient Spatio-Temporal Data Retention by Vehicles	Proc. of The Sixteenth International Conference on Networks (ICN2017)	Apr. 2017
異種時空間データ滞留を実現するノード密度連動型データ送信制御手法	電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 117, No. 459, pp. 351-356	2018年3月
車両を用いた時空間データ滞留のための効率的なデータ送信制御手法	電子情報通信学会 2017年 ソサイエティ大会, B-6-31	2017年9月