

車両を用いた時空間データ滞留システムにおける送信制御手法の検討 -ルクセンブルクモデル(LuST)を用いた評価-

後藤 一郎[†] 野林 大起^{††} 塚本 和也^{†††} 池永 全志^{††}

[†]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
^{††}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
^{†††}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、多種多様なデバイスがネットワークに接続されるようになってきた。そのような 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時空間データが存在する。時空間データは生成された場所での活用、つまりデータの地産地消によって効果的に活用できると期待される。我々はこれを実現するため、車両を用いた時空間データ滞留方式を提案してきた。先行研究では、隣接車両密度に応じてデータ送信確率を制御してデータ送信数を削減していたが、この手法では全車両のビーコン送信が必須であるため、車両密度が高い環境ではビーコン送信がデータ滞留に悪影響を与えていた。そこで本研究では、ビーコン送信なしで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、ルクセンブルクモデルを用いたシミュレーション評価により、現実環境でも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、車両アドホックネットワーク

Study on Transmission Control Method in Spatio-Temporal Data Retention System Using Vehicle

-Evaluation Using the Luxembourg Model (LuST)-

Ichiro GOTO[†], Daiki NOBAYASHI^{††}, Kazuya TSUKAMOTO^{†††}, and Takeshi IKENAGA^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology 1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

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

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

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, various devices have been connected to networks. Some data generated from IoT devices depends on geographical location and time (Spatio-Temporal Data). 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. In our previous study, the vehicle controls the data transmission probability according to the neighboring vehicle density in order to reduce the data transmissions. However, since this method requires all vehicles to transmit beacons, beacon transmissions have negative effects on STD retention in environments with high vehicle density. In this paper, we propose a data transmission control method that realizes STD retention without transmitting beacons, and then simulation results using the Luxembourg model demonstrated that our proposed method can achieve effective STD retention in real environments.

Key words Spatio-Temporal Data, Local Production and Consumption of Data, Data Retention, VANETs

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の発展と普及に伴い、パソコンやスマートフォンだけでなく、家電や自動車など様々なものがネットワークにつながるようになっていく。総務省の令和2年版情報通信白書 [1] によると、世界の IoT デバイス数は 2022 年には約 350 億台まで増加することが予想されており、今後もさらなる増加が予想される。このような IoT デバイスから生成されたデータは、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。そのため、IoT デバイスが増加することで、インターネット上を流れるトラフィックも増加し、既設のネットワーク基盤への負荷が大きくなる懸念される。

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。時空間データは遠方に設置された (クラウド) サーバではなく、時空間データが発生した場所から直接利用者に提供する、つまり時空間データを地産地消することで、データを効果的に活用できると考えられる。例えば、交通事故が発生した場合、事故車両 (の運転者) が交通事故情報を周囲の運転者に対して提供することにより、周囲の運転者は (クラウド) サーバにアクセスすることなく交通事故情報を受動的に取得することができ、通行止めや交通渋滞回避に向けた行動をとることができる。

そこで我々は、時空間データの地産地消のためのネットワーク基盤を実現するため、ストレージ、計算機資源、および近距離無線通信機器を搭載可能で、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。この方式では、時空間データを収集し、提供する車両を information hubs (InforHubs) と定義し、InforHubs 車両が定期的に時空間データをブロードキャスト送信することで、利用者への受動的なデータ取得を実現している。しかし、データを送信する車両が多くなることで、データ衝突が頻繁に発生し、利用者へのデータ提供が困難になる。そのため、時空間データ滞留を実現するには、データ送信を必要最小限に抑えることが重要である。そこで我々は隣接車両台数に応じた送信制御手法を提案した [3] [4]。これらの手法は、各車両が定期的に送信するビーコンの受信数から隣接車両台数を推測しつつ、隣接車両からのデータ受信数も計測する。その上で、データ送信周期毎に推定隣接車両台数と受信データ数からデータ送信確率を設定することで、データ送信数の削減を実現していた。しかし、これらの手法は全ての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い、ビーコン送信数も増加するため、データ衝突の発生率が高まり、結果的に無線資源を多く消費してしまう。

そこで本研究では、ビーコン送信なしで時空間データ滞留を実現するデータ送信制御手法を提案する。この手法では、予めデータ送信に適した位置を定義し、その位置を基準に周辺の車両が周囲のデータ送信状況に応じてデータ送信を制御する。ま

た、現実環境において時空間データ滞留方式の実用性を検証するために、ルクセンブルグ市の 24 時間の車両トラフィックを模擬したルクセンブルグモデル (LuST) を交通モデルとして用いたシミュレーション評価を行い、提案手法の有効性を検証する。

以下 2 節では、関連研究について紹介する。3 節では、時空間データ滞留方式および既存手法とその問題点について述べる。次に 4 節では、ビーコンレスのデータ送信制御手法を説明し、5 節においてそのシミュレーション評価を示し、提案手法の有効性を議論する。最後に 6 節でまとめを述べる。

2. 関連研究

あらかじめ定義された地理的なエリアにメッセージを送信する geocast は、位置認識が重要な役割を果たすアプリケーションやサービスへの道を開くことが期待されている。文献 [5] では、様々な geocast routing protocol を紹介している。geocast では、geocast メッセージを geocast 先の領域内のすべてのノードに一度だけ配信するのではなく、geocast メッセージの有効期間内において定期的に geocast メッセージを配信する abiding geocast の実現が重要となる。文献 [6] では、車両を用いた abiding geocast を実現するための 3 つのアプローチを提案している。1 つ目のアプローチは、geocast サーバが geocast メッセージを保持し、geocast routing protocol に基づいて定期的にターゲットエリア内の車両に geocast メッセージを配信する server approach である。このアプローチは、geocast サーバがノードに geocast メッセージを送信するために、車両は自身の位置情報を定期的に送信する必要がある。そのため、車両台数が増加することで負荷が大きくなる懸念される。2 つ目のアプローチは、ターゲットエリア内で選出された車両が geocast サーバのように geocast メッセージの保持と配信を行う election approach である。これら 2 つのアプローチは特定のサーバ、車両が担う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、故障した際においてデータ配信を継続できない可能性もある。

3 つ目のアプローチは、ターゲットエリア内の車両同士が互いに geocast メッセージ、及び位置情報を交換する neighbor approach である。このアプローチについては、車両のみから構成されるシステムであるため、インフラストラクチャーが必要なく、耐障害性もあるため実用の幅が広く、多くの研究が行われている。最適なターゲットエリアの範囲を設定する手法として、定期的に収集したモビリティ情報を文献 [7] では SDN (Software Defined Network)、文献 [8] では CCN (Convolutional Neural Network) アーキテクチャを用いて解析する手法が提案されている。文献 [9] では、災害時においてインフラストラクチャーが使えないことを想定した上で、車両間で情報を交換するアプリケーションが提案されている。文献 [10] 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 [11]、Locus [12] の方式では、ターゲットエリア内の車両は、隣接車両とデータリストを交換し、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受け取る。この際、データを有する車両はデータ

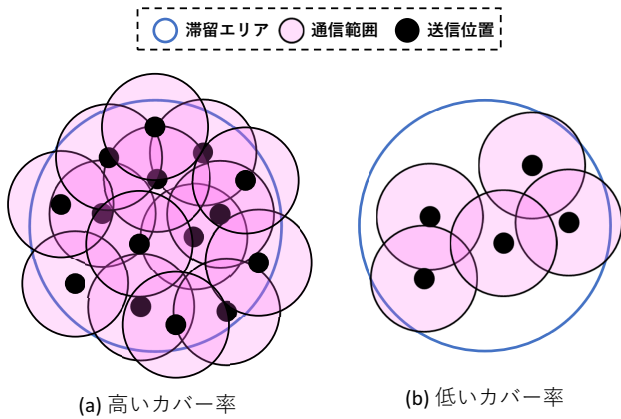


図1 カバー率

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低下する。一方、中心付近の車両密度が高い場合、全車両が高いデータ送信確率でデータを送信するため、データ衝突が頻繁に発生し、データ取得確率が低下する可能性がある。また、これらの方式では、データの生成場所近辺でデータを保持できたとしても、遠方にいる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従来通りのクエリ/レスポンス型の情報流通が必要となるため、利用者は効果的にデータを取得できない。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、利用者へ受動的にデータを配信する時空間データ滞留方式を提案する。

3. 時空間データ滞留方式

本節では、時空間データ滞留方式の概要、および先行研究を説明する。

3.1 前提条件

車両には、IEEE802.11p の通信規格を満たす無線通信機器、計算機リソースおよび全地球測位システム (GPS) を搭載しているものとする。また、各車両は車両情報を一意に識別できる ID を含んだビーコンを定期的に送信する。さらに、滞留する時空間データの中には、滞留エリアの中心座標、滞留期間、滞留エリア半径、データ送信周期といった時空間データの滞留に必要な情報を含んでいるものとする。

3.2 システム要件

我々が提案する時空間データ滞留方式では、車両が時空間データをブロードキャストで送信し、滞留エリア内の利用者に時空間データを提供する。そのため、複数の車両が協力し、その通信範囲で滞留エリア全域をカバーする必要がある。また、利用者が滞留期間内であれば、いつでも時空間データを取得できるように、車両は定期的に時空間データを送信する必要がある。そこで、本滞留方式では一定時間毎の滞留エリア内のデータ滞留性能を表す指標として、式 (1) のカバー率を定義する。

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

S_{DT} は一定時間内に各車両が送信した時空間データを滞留エリ

ア内で受信可能なエリアの合計面積、 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が送信された位置を示しており、ピンク色の円は車両の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時空間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、利用者が滞留エリア内で時空間データを取得できない確率が高くなる。これより、データ滞留においては高いカバー率の維持が重要である。さらに、車両密度が高い環境では全車両がデータを送信すると、データ衝突が頻発し、データ滞留が困難になる。よって、時空間データ滞留方式では、「必要最小限のデータ送信」で「高いカバー率を維持する」ことが重要となる。

3.3 先行研究

上述のシステム要件を満たすため、先行研究 [3] では、隣接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た。この手法では、各車両は定期的にビーコンを送信し、その受信数を基に隣接車両台数を推測する。また、各車両はデータ受信数も計測し、データ送信周期毎にビーコンとデータの受信数からデータ送信確率を設定する。先行研究 [4] では、車両密度が低い環境においてカバー率の低下を防ぐため、最隣接車両からのデータの受信信号強度から車車間距離を推測し、その値を基にデータ送信周期を調整する。これらの手法のように、隣接車両密度に応じてデータ送信を制御することで、高いカバー率を維持しながらデータ送信数の増加を抑制することができる。

しかし、これらの手法では全ての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い、ビーコン送信も増加した結果、データ衝突が頻発し、無線資源も多く消費してしまう。また、障害物等による電波の減衰は考慮していないため、自身の周囲を隣接車両の電波で十分カバーできない状況であっても、データを送信できない可能性があった。そのため、より効果的なデータ滞留の実現には、ビーコンを送信せず、障害物等による電波伝搬環境の影響を考慮した新たな送信制御手法が必要となる。

4. 提案手法

本節では、時空間データ滞留を電波伝搬環境を考慮したビーコンレスな送信制御により実現する手法を提案する。提案手法では、データ送信に適した送信ポイントを予め定義し、送信ポイント周辺の車両がデータ衝突を回避しながら、周囲のデータ受信信号強度に基づいてデータ送信を制御する。

4.1 送信ポイントの設定

提案手法では最初に、最小数のデータ送信で滞留エリア全域に時空間データを提供するための理想的なデータ送信位置 (以降送信ポイントと呼ぶ) を以下の手順で設定する。まず、滞留エリア中央を基準に、外接円が車両の通信範囲に等しい正六角形で平面を分割する。次に、分割したエリアの中央に送信ポイントを設定する (図 2)。この手順で設定した送信ポイント上に位置する車両のみがデータを送信する場合、最小数のデータ送

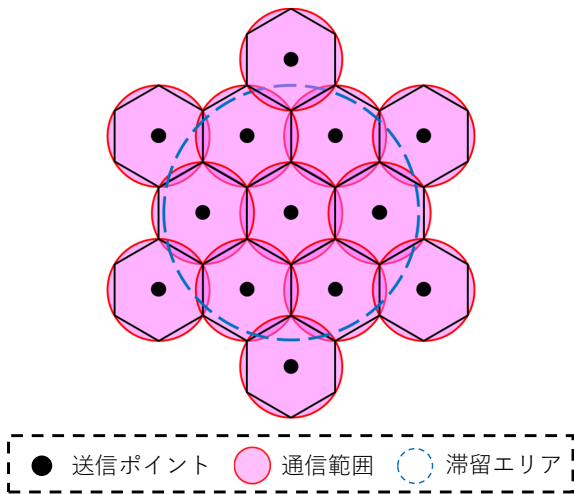


図2 送信ポイント

信で滞留エリア全域にデータを提供することが可能となる。しかし、現実環境では車両は移動することから、送信ポイント上に必ず車両が存在するわけではないことや、電波の減衰により、想定される通信範囲全域にデータを提供できないことが考えられる。そこで、提案手法ではこの問題に対応すべく、受信データの信号強度に応じてデータ送信を制御する。

4.2 データ送信タイミング制御

異なる送信ポイント周辺の車両同士は、お互いに隠れ端末になりやすく、データ衝突が発生する可能性がある。そこで、提案手法ではこのようなデータ衝突を防ぐため、送信ポイントをグループ分けし、グループごとに異なる送信タイミングをデータ送信周期内に設定する。まず、送信ポイントが設定された正六角形内からデータを送信した際、電波が重複しないようにグループを分けると、図3で示すような7つのグループに分けられる。同じ数字が割り当てられた送信ポイントは同一グループである。次にデータ送信周期内でスロットを7つ作成し、それぞれグループごとに割り当てる。最後に、各スロットではグループに所属する車両のデータ送信時刻をスロット内で設定する。例えば、図3で赤で示した2番グループの送信ポイントが設定されたグループ内の車両は、2つ目のスロット時間内で衝突を避けるようにデータ送信時刻が設定される。これにより、グループごとでデータ送信タイミングが異なるため、他の送信ポイント周辺の車両とのデータ衝突を完全に防ぐことが可能となる。

4.3 グループ内データ送信時刻の決定手法

4.1節で述べたように、送信ポイント上に位置する車両は、他の車両よりデータ送信がカバー率向上に効率的に寄与できるため、優先的にデータを送信した方がよい。そこで、提案手法では以下の手順に従って各車両のデータ送信時刻を設定する。なお、各車両はGPS情報を用いて、データ送信周期に関して完全に同期できているものとする。まず、各車両はGPSより現在地を取得し、最隣接する送信ポイントまでの距離 D_p を計算する。なお、送信ポイントの情報は各車両が時空間データに含まれる滞留エリアの中心座標、および車両の通信範囲から計算し

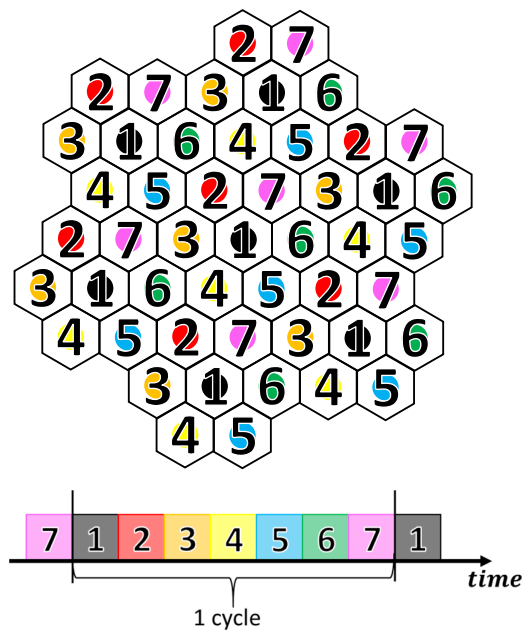


図3 送信ポイントのグループ分け

て求める。次に、自身の所属するグループがデータ送信タイミングの場合は以下の式(2)を用いてデータ送信時刻を設定する。

$$Data\ Transmission\ Time = \frac{D_p}{D_v} * \frac{d}{7} + Current\ Time \quad (D_p \leq D_v) \quad (2)$$

D_v は正六角形の中心から頂点までの距離、 d はデータ送信周期を示しており、 $d/7$ は4.2節で設定した1スロット時間である。なお、最隣接する送信ポイントまでの距離が正六角形の中心から頂点までの距離を超える場合 ($D_p > D_v$) は、データ送信時刻は設定しない。つまり、各正六角形内に存在する車両は、送信ポイントに近い車両から順にデータが送信される。

4.4 データ受信信号強度に応じた送信制御

本節では、電波の減衰を考慮したデータ送信制御手法を述べる。まず、図4で示す状況を考える。ここでは、赤色の車両が送信ポイント上でデータを送信しており、そのデータを赤色の車両との車両間距離が等しい2台の車両が受信している。ここで、黒色、青色の車両の位置において想定されるデータの受信信号強度を-50dBmとする。黒色の車両は想定値と同じく-50dBmでデータ受信していることから、赤色の車両の電波が十分届いていると判断できる。一方、青色の車両は障害物の影響で電波が減衰し、想定値より低い-60dBmでデータ受信している。そのため、青色の車両までは赤色の車両の電波が届いていても、その先のエリアまでは届いていない可能性がある。しかし、ここで青色の車両がデータを送信することで、電波が届いていないエリアをカバーする働きができると考えられる。

そこで、提案手法では受信データの信号強度を用いて以下の手順でデータ送信を制御する。まず、各車両は4.3節で決定したデータ送信時刻でデータを送信する。ここで、自身のデータ送信時刻より前にデータを受信した車両は、そのデータの信号強度を確認する。次に、各車両はデータを受信した位置において想定されるデータの受信信号強度、本研究では自由空間にお

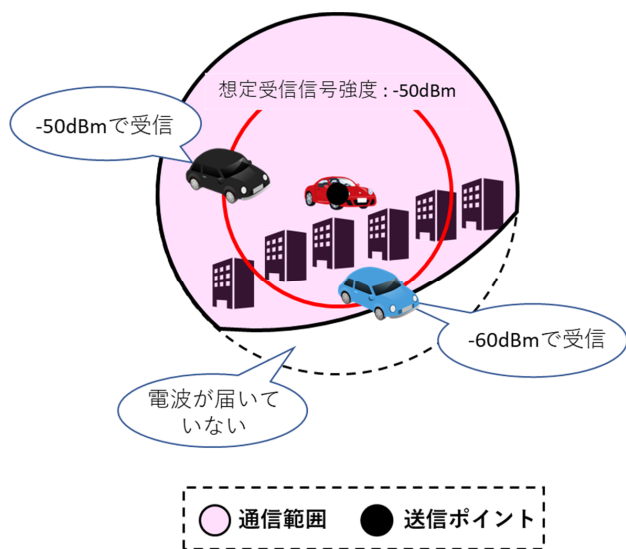


図4 受信信号強度に応じたデータ送信制御

いて送信ポイントからデータを送信した際の受信信号強度を想定値とし、以下の式(3)で計算する。

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

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、 λ は波長を示している。最後に、ここで計算されたデータの受信信号強度の想定値と実測値を比較し、データ送信の判断を行う。実測値の方が大きい場合は、自身の周囲には十分な信号強度があることからデータ送信の必要性は低いため、現在のデータ送信周期ではデータを送信しないよう制御し、エリア全体でのデータ送信を削減する。一方、実測値の方が小さい場合は、周囲の信号強度が不十分であることから、自身のデータ送信によって十分な信号強度を確保するため、引き続きデータ送信時刻まで待機し、データを送信する。このように、実際に受信したデータの信号強度を想定される値と比較し、これを基にデータ送信を制御することで、電波の減衰に対応したデータ送信制御ができると考えられる。

5. LuST モデルを用いたシミュレーション評価

本節では、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 LuST

提案手法の性能をより現実的に評価するため、本シミュレーションでは車両の移動および信号等の交通モデルに LuST(Luxembourg SUMO Traffic)[16] を用いた。LuST はルクセンブルク市の 24 時間の交通流を模擬した、車両ネットワークシミュレーションのための交通モデルである。LuST はルクセンブルク市を中心とし、住宅地や郊外を含めた 155.95km^2 のエリアで構成されている。シミュレーションエリア内には高速道路、幹線道路、住宅道路が含まれ、時刻に応じて道路上を移動する車両台数が、現実の交通量と同じように変化する。また、各車両は交通状況に応じて動的にルートを変更し、信号機も交通状況に応じて作動時間が変化する。



図5 シミュレーションエリア

5.2 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++[13] と交通シミュレータである SUMO[14] を統合的に利用可能で、IEEE802.11p を実装した車両ネットワークシミュレーション用のフレームワークである Veins[15] を用いて提案手法の性能評価を行う。本シミュレーションでは、都市部における滞留を想定し、図5で示すようなルクセンブルク市の中心部に滞留エリアを設定した。滞留エリアの半径は 750m とし、滞留させる期間は 2 分間とした。滞留開始時刻は交通量の少ない午前 5 時(滞留エリア内約 25 台)、午前 6 時(滞留エリア内約 120 台)、午前 7 時(滞留エリア内約 300 台)、そして交通量のピークである午前 8 時(滞留エリア内約 450 台)に設定した。その他のパラメータについては、車両の最大通信距離は 300m、データ送信周期は 5s、データサイズは 1000Byte、ビットレートは 6Mbps とした。比較手法には、全車両が時空間データを送信する naive 手法と先行研究[3]におけるデータ送信確率制御手法を用いる。naive 手法は全車両が時空間データを送信することから、本研究の手法の中で最も高いカバー率を達成できるが、時空間データ送信数は最も多くなる手法である。なお、データ送信確率制御手法におけるパラメータは、文献[3]に基づき、滞留エリア境界から外側 250m の範囲に補助エリアを設定し、ビーコン送信間隔は 5s、移動平均係数は 0.5、受信データの目標値は 4 に設定した。

5.3 性能評価

本評価では、滞留開始 1 分後から滞留が終了するまでの計 1 分間を評価区間とした。また、シミュレーションは 5 回行った。

まず、カバー率を評価する。図6はデータ送信周期毎の平均カバー率を示している。これより、交通量の少ない午前 5 時台では naive 手法においてもカバー率は約 93% とやや低い。これは、滞留エリア内に車両が 25 台程しか存在しない環境では、効果的なデータ滞留ができていないことを示している。しかし、午前 6 時台になると全ての手法で 99% に近づき、その後は高いカバー率を維持できている。これらの結果は、都市部の半径 750m の範囲に効果的にデータを滞留させるには、少なくとも 120 台程の車両が必要であることを示している。

次に時空間データ送信数を評価する。図7は評価区間において送信された時空間データの総数を示している。これより、naive 手法は交通量が多くなると共に、時空間データ送信数も比例して増加しているが、既存手法および提案手法は、時空間

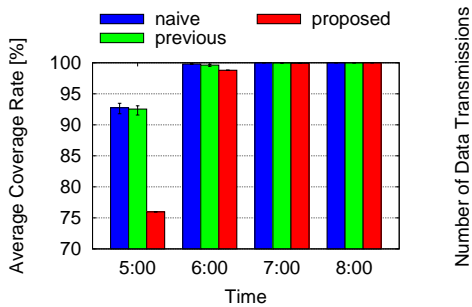


図 6 平均カバー率

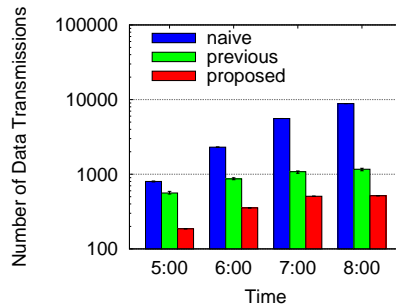


図 7 時空間データ送信数

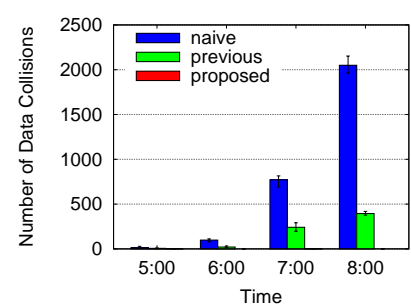


図 8 データ衝突数

データ送信数の増加を大きく抑制し、交通量が多い時間帯でもほぼ一定の値に収束している。しかし、その数は既存手法が 1050 前後なのに対し、提案手法が 500 前後となっており、提案手法は既存手法に比べ、時空間データ送信数を半減できている。

最後にデータ衝突を評価する。図 8 は評価区間における総データ衝突数を示している。これより、naive 手法および既存手法共に、交通量の増加に伴いデータ衝突数も増加しており、午前 8 時台には既存手法では約 400 回も発生している。一方、提案手法は交通量に関わらずデータ衝突はほとんど発生していない。この結果は、提案手法は交通量に関わらずデータ衝突の発生を限りなく抑制し、時空間データを安定して利用者に提供できることを示している。

これらの結果より、提案手法はピーコンを送信することなく、交通量の多い時間帯では約 100% のカバー率を達成しつつ、時空間データ送信数を既存手法の半分まで削減した。また、データ衝突を大幅に削減でき、提案手法を用いることで現実環境においても時空間データ滞留を効果的に実現できることを明らかにした。

6. ま と め

本研究では、データの生成場所や時間に依存する時空間データを、車両を用いて時空間データの生成場所周辺の利用者に提供する時空間データ滞留方式を提案した。また本研究では、ピーコンを送信することなく効果的に時空間データを滞留させるための送信制御手法を新たに提案した。提案手法では、データの受信信号強度を基にデータ送信を制御する。シミュレーション評価から、提案手法は現実環境においても交通量の多い時間帯では約 100% のカバー率を達成しつつ、データ送信数を抑制できるため、データ衝突を効果的に削減した上で時空間データ滞留を実現できることを明らかにした。今後は複数の種類のデータやデータサイズの大きなデータの滞留を検討する予定である。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18H03234, 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] 総務省, “令和 2 年版 情報通信白書”

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/02honpen.pdf/>.

- [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. 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] 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.
- [5] C. Maihofer, “A survey of geocast routing protocols,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 6, Issue 2, pp. 32-42, 2004.
- [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. Soua, 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. Manzo, S. Otalora, T. Braun, M. Marsan, G. Rizzo, and H. Nguyen, “DeepFloat: Resource-Efficient Dynamic Management of Vehicular Floating Content,” 2019 31st International Teletraffic Congress (ITC 31), pp. 46-54.
- [9] 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.
- [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: A Location-based Data Overlay for Disruption-tolerant Networks,” In Proc. ACM CHANTS, pp. 47-54, 2010.
- [13] “OMNeT++,” [Online], Available from: <https://omnetpp.org/>.
- [14] “SUMO,” [Online], Available from: http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/.
- [15] “Veins,” [Online], Available from: <http://veins.car2x.org/>.
- [16] L. Codeca, R. Frank, and T. Engel, “Luxembourg SUMO Traffic (LuST) Scenario: 24 Hours of Mobility for Vehicular Networking Research,” 2015 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 1-8.