

移動車両群を用いた効率的な時空間データ拡散手法に関する検証

山崎 駿平[†] 野林 大起^{††} 塚本 和也^{†††} 池永 全志^{††} 宮地 利幸^{††††}

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

^{††} 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

^{††††} 情報通信研究機構 北陸 StarBED 技術センター 〒923-1211 石川県能美市旭台 2 丁目 12 番地

E-mail: [†]tp232087s@mail.kyutech.jp, ^{††}{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, ^{†††}tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp,

^{††††}miyachi@nict.go.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。それらのデータには、特定の時間・場所でのみ必要とされるデータ（時空間データ）が含まれる。先行研究では、時空間データを特定の期間・範囲に滞留し続ける新たなネットワークの構築を目指し、車両を用いた時空間データ滞留システムを提案してきた。本稿では、時空間データ滞留システムの「拡散」「滞留」「削除」の各フェーズのうち、拡散フェーズに着目したデータ送信間隔決定手法を提案する。具体的には、各車両が、自身の周囲の車両密度、残りの拡散距離及び時間を考慮して、拡散送信間隔を決定し、自律的に STD 送信を行う。そして、提案する STD 拡散手法の有効性をシミュレーションを通じて評価する。最後に、時空間データ滞留システムの実用性検証のために、NICT が保有する StarBED 上で行ったエミュレーション検証の結果を示す。

キーワード 時空間データ、時空間データ滞留、STD 拡散送信間隔決定手法、大規模エミュレーション

Performance Evaluation of the Efficient Diffusion Method for Spatio-temporal Data Retention System using Crowds of Vehicles

Shumpei YAMASAKI[†], Daiki NOBAYASHI^{††}, Kazuya TSUKAMOTO^{†††}, Takeshi IKENAGA^{††},
and Toshiyuki MIYACHI^{††††}

[†] Graduate School of Computer Science and Systems Engineering

680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, 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

^{††††} National Institute of Information and Communications Technology, Hokuriku StarBED Technology Center

2-12 Asahidai, Nomi-shi, Ishikawa, 923-1211, Japan

E-mail: [†]tp232087s@mail.kyutech.jp, ^{††}{nova,ike}@ecs.kyutech.ac.jp, ^{†††}tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp,

^{††††}miyachi@nict.go.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). In the previous works, we have proposed a spatio-temporal data retention system using vehicles, aiming to construct a new network that keeps STD in a specific period and area. In this system, the STD retention is divided into three phases: “diffusion,” “retention,” and “elimination.” In this paper, we propose a method to determine the data transmission interval focusing on the diffusion phase. Furthermore, we confirm the effectiveness of the proposed diffusion method in an environment where vehicles randomly select their route by the simulation experiments. Finally, we show the results of emulation verification on StarBED owned by NICT in order to verify the practicality of the spatio-temporal data retention system.

Key words Spatio-temporal Data, Data Retention, Dynamic Transmission Interval Control

1. はじめに

M2M (Machine-to-Machine) 通信や IoT 技術 (Internet of Things) の発展及び普及により、多くの IoT デバイスや新たなアプリケーションの登場が加速している。Cisco Annual Internet Report (2018 ~ 2023 年) ホワイトペーパー [1] によると、世界的な M2M 接続は 2018 年の 61 億から 2023 年までに、2.4 倍の 147 億に成長すると見込まれている。この傾向から、IoT 機器 (センサーなど) で生成された大量のデータがネットワークを介して流入することが予想される。

一方で、IoT 機器から生成されるデータの中には、時間や場所に依存したデータがある。例えば、交通情報、災害情報、期間限定の店舗広告などのデータであり、本研究ではこのようなデータを時空間データ (STD) と定義する。このような STD の活用を想定したとき、既存のネットワークアーキテクチャでは、インターネットに接続された遠隔のサーバやクラウドに STD を収集・処理し、ユーザへ配信することになる。一方で、ユーザは適切な STD を検索・要求する必要がある。しかし、交通事故による渋滞情報の様に、素早い配信が求められる情報を遠隔のサーバに収集し、配信することは非効率と言える。一方、STD の生成場所の周辺には、信号機や車両などの機器が存在すると考えられ、これらの機器で直接 STD を収集し、ユーザに配信することが望ましい。そこで、本論文では「STD の地産地消」を目的とした新たなシステムに着目した。

文献 [2] では、エッジネットワークとアドホックネットワークを組み合わせて STD を配信する Geolocation-Centric Information Platform (GCIP) を提案した。しかし、基地局や Wi-Fi AP など、エッジネットワークが何らかの原因で故障した場合、STD の収集と配信を継続させることができない可能性がある。したがって、本論文では、ネットワークインフラの異常時でも STD の収集・配信を継続させるための代替手段に着目する。先行研究 [3] は、既存のネットワークインフラに依存せず「STD の地産地消」を実現するため、車両を用いた時空間データ滞留システム (STD-RS) を提案した。STD-RS では、高い移動性を有し、高性能な CPU や無線通信 I/F を搭載する可能性がある車両を情報を中継するハブ (Information Hub, InfoHub) として扱い、特定のエリアにおいて STD をブロードキャストさせることで時空間データ滞留を実現する。これにより、特定のエリア内のユーザは、InfoHub からリアルタイムな STD を受動的に受信することが可能となる。つまり、本システムには、ユーザが検索や要求を必要としない受動的な STD の取得、リアルタイムな STD の収集と配信、耐障害性の提供、ネットワークインフラの負荷削減のような 4 つの利点がある。しかし、特定のエリア内の全車両がブロードキャストによりデータを送信すると、ブロードキャストストームが発生し、フレームの衝突も頻発することから効果的な情報滞留が実現できない。そのため、[3] 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。しかし、STD の種類ごとに有効時間や拡散が完了するまでの時間などの条件が異なることは考慮されていない。例えば、利用可能な無線帯域やチャネルなどの無線

資源情報を拡散・滞留することを想定すると、利用可能な無線帯域やチャネルなどの無線資源情報は短期間のうちに変化する傾向があるため、STD として効率的に利用するためには迅速な拡散が不可欠である。しかし、[3] の STD-RS は、(1) ユーザが十分に利用できる時間までに、特定のエリア全体に STD を拡散できない可能性がある、(2) STD の有効期間を超えても、STD が不必要に残存する場合があります、無線資源の冗長な消費に繋がる可能性がある、という 2 つの課題を持つ。

そこで本論文では、上記の STD-RS の課題を解決する、効率的な STD 拡散制御手法を提案する。本手法では、STD を拡散完了目標時間を定義し、STD 送信回数やパケットロス数を抑制しつつ、その目標時間までに特定エリア全体に STD を拡散させることを目指す。具体的には、STD 滞留の制御を維持しつつ STD 拡散を達成するために、データ送信間隔が STD の拡散速度に直接影響することに着目し、STD 拡散送信間隔を周囲のノード密度や残りの拡散距離及び時間に基づいて動的に決定する手法を提案する。そして、提案手法の有効性をシミュレーション、STD-RS の実用性をエミュレーションにより検証する。

2 節では関連研究について述べ、3 節では STD-RS の目的や STD 滞留のための STD 送信制御について説明する。本研究で提案する STD 拡散送信間隔の決定手法については 4 節で述べる。5 節で提案手法のシミュレーション評価を行い、6 節では STD-RS の実用性検証について示す。最後に 7 節でまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

F. Li ら [4] は、VANET の問題点であるデータ拡散やデータ共有について議論し、特定エリア内の位置情報に基づく Geocast Routing を用いて、情報発信源から全ノード (車両) にデータを送信するプロトコルを提案した。

C. Maihofer ら [5] は、データのある特定のエリア内の車両に配信し、一定の期間内で保存する方式を提案している。さらに、保持領域の位置に応じた geocast message を保持・配信するために、(1) server approach, (2) election approach, (3) neighbor approach の 3 つの方法を提案した。まず、server approach では、固定のサーバがデータを保持し、Geocast Routing Protocol に基づいて対象とするエリア内にデータを送信する。この場合、サーバは各ノードの位置情報を交換する必要があるため、ネットワークの負荷が増大する可能性がある。次に、election approach では、選択されたノードがデータを保持し、対象エリア内にデータ送信を行う。しかし、これら 2 つの方式は、データの保持やデータ送信を担う特定のサーバやノードに負荷が集中するため、何らかの故障が発生した場合に、データ送信が継続できない可能性がある。最後に、neighbor approach は、移動ノードのみで構成されたシステムである。G. Rizzo ら [6] は、災害時などに、ネットワークインフラを利用せず移動ノードのみで災害情報を交換・共有するアプリケーションを提案している。また、移動ノードのみで構成されるシステムとして、文献 [7], Floating Contents [8], Locus [9] が提案されている。[7]

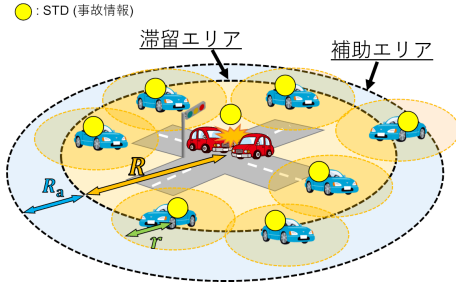


図 1: STD-RS の構成

では、各ノードのナビ情報を交換することで対象エリアに向かうノードを把握し、効率的なデータ送信を行う。また、[8][9]では、各ノードが保持しているデータのリストを持ち、周辺のノード同士でデータリストを交換する。データリストに自信が保持していないデータが存在する場合、周辺のノードへデータの要求を送信することでデータを取得する。このとき、ノードのデータ送信は、対象エリアの中心からの距離に応じた送信確率で決定されるため、中心から遠ければデータ取得の機会が減少し、逆に中心に近いと多くのノードがデータ送信を行うことでデータ衝突が頻発する可能性がある。

このような関連研究の問題点を解決するために、先行研究では、対象エリア内の車両が定期的に STD をブロードキャストすることで STD の滞留を行う STD-RS を提案している。これにより、エリア内の全てのユーザは、STD の送信周期で受動的に STD を受信することが可能となる。次節では、STD-RS の目的や、車両密度に基づいたデータ送信確率制御について説明する。

3. 時空間データ滞留システム (STD-RS)

本節では、まず、先行研究 [3] で提案した STD-RS の目的と応用例について述べる。そして、STD-RS の前提条件、要件を示した後、データ送信確率制御の説明をする。最後に、この STD-RS の問題点について述べる。

3.1 STD-RS の目的

まず、STD を滞留させる対象のエリアを滞留エリアと定義する。STD-RS の目的は、滞留エリア全体に STD を拡散した後、車両が定期的に STD をブロードキャストし続けることで、STD を滞留エリア内で滞留させることである。その結果、滞留エリア内に位置する全てのユーザは、周囲の車両の少なくとも 1 つのノードから受動的に、つまりデータの要求を行わずに STD を受信することができる。さらに、既存のネットワークインフラに依存することなく STD の分散管理を行うことができるため、サーバの負荷を効果的に軽減できるだけでなく、システムの耐障害性を向上させることができる。

3.2 システムの前提条件及び要件

本来 STD-RS は、滞留エリアの場所が情報発信源の位置に依存せず、任意の形状の範囲で STD 滞留を行うことを前提としている。しかし本論文では、図 1 に示すように、固定された情報発信源を中心とした半径 R の円を滞留エリアとし、ルーティングを行わずに STD が滞留することを想定する。無線到

達範囲を r と定義し、各車両の r は同じであると仮定する。各ノードは GPS を利用して自身の位置情報を取得しているものとする。各ノードは自身の ID を含むビーコンを一定間隔 b でブロードキャストする。このビーコンにより、各ノードは周囲のノードに自身の存在を知らせることができるとともに、周囲のノード数を把握することができる。

STD に関して、各ノードは滞留エリア内で独立して STD をブロードキャストする。STD には滞留エリアの情報（中心座標、滞留エリア半径 R 、補助エリア幅 R_a ）及び、データ送信間隔 d が含まれており、これらは情報発信源によって決定される。各ノードは、STD に含まれる滞留エリアの情報を基に情報発信源からの距離を算出することができる。

次に、STD-RS の満たすべき要件について述べる。STD-RS の利点は、ユーザが滞留エリアのどこにいても受動的に STD を受信できる点にある。そこで、システムの要件として、滞留エリア内で STD を受信できる確率をカバー率と定義する。カバー率は以下の式 (1) で表される。

$$\text{カバー率} = \frac{AREA_{trans}}{AREA_{whole}}, \quad (1)$$

ここで、 $AREA_{trans}$ は、滞留エリア内に位置するユーザが d 以内に確実に STD を受信できる総領域、 $AREA_{whole}$ は滞留エリア全体を示している。具体的なカバー率の計算方法については、文献 [10] で述べている。

3.3 ノード密度に基づくデータ送信確率制御

本節では、先行研究 [3] 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。各ノードは、前述したように、STD 送信とビーコン送信を独立して行う。STD の送信では、STD に含まれているデータ送信間隔 d に従って送信を行う。しかし、複数のノードが同じ STD を同時に受信すると送信周期が重複し、データ衝突が頻発する可能性があるため、 d ごとにランダム時間 s ($0 < s \leq d$) を決定し、送信を行う。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 STD 送信確率を決定する。各ノードは、ビーコンの送信によって、自身の周囲のノード台数（隣接ノード台数）を把握し、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 台以下の場合には送信確率を 1 に設定し、必ず送信を行う。しかし、隣接ノード台数が 4 台以上で、自身の東西南北方向にノードが存在する理想的な配置の場合、自身がカバーできるエリアを他のノードがカバーすることができる。そこで、隣接ノード台数から、次周期の隣接ノード台数や STD 受信数を推定し、送信確率を決定する。詳細については、文献 [3] で述べている。

3.4 STD-RS の問題点

先行研究 [3] では、STD の種類によっては、有効期限が短く素早く拡散が求められる場合があることを考慮していない。さらに、データ送信間隔 d の具体的な制約を想定しておらず、 d の設定方法についても言及していない。例えば、送信間隔 d が STD の有効期限よりも長く設定された場合、STD が滞留エリア全体に拡散されない可能性があり、ユーザは滞留エリア内にいるにも関わらず、STD を受信できない可能性がある。した

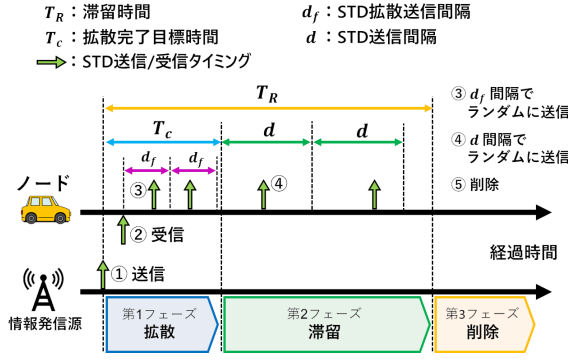


図 2: 本提案手法における STD 滞留のフェーズ遷移図.

がって、 d は $0 < d < (STD \text{ の有効期限})$ となるよう設定する必要があるが、それでもユーザは STD を十分に活用できない場合がある。例えば、STD の有効期限が切れる直前に拡散が終了した場合、滞留エリアの境界に存在するユーザは、受信した STD を十分に利活用することができない。

そこで、本論文では、拡散に厳しい制約がある STD を想定し、STD の拡散完了までの目標時間を定め、効率的に滞留エリア全体を満たす手法を提案する。

4. 提案手法

本節では、STD の迅速な拡散手法について提案する。提案手法の目的は、ユーザが STD を有効期間内に十分に利用することである。そのために、拡散完了目標時間を定めて STD を滞留エリア全体に拡散させるだけでなく、STD の有効期間後に STD を削除する必要がある。そのため、STD の滞留は拡散、滞留、削除の 3 つフェーズを遷移すると定義した [11]。図 2 は滞留のフェーズ遷移と STD 送信の動作について示している。

4.1 拡散フェーズにおける前提

まず、STD の有効期間を滞留時間 T_R 、STD の拡散完了目標時間を T_c と定義する。 T_c は STD の種類によって異なるため、 T_c は $0 < T_c \leq T_R$ の範囲で、情報発信源によって設定される。例えば、無線資源情報を STD として扱う場合、 T_R は短くなる傾向があるため、 T_c も短い値に設定する必要がある。

次に、 T_c までに STD 拡散の完了を達成する方法を考える必要がある。そこで、我々は STD の送信間隔が拡散速度に直接影響することに着目し、拡散のための送信間隔 $d_f (< d)$ の決定手法について提案する。図 2 に示すように、拡散フェーズにおいて、各ノードは滞留エリア全体に素早く STD を拡散させるために、 d_f ごとに STD を送信する。 T_c が経過し拡散フェーズが終了した後、各ノードは滞留フェーズ中の不要なデータ送信を抑えるため、送信間隔を d に再設定する。

4.2 拡散送信間隔 d_f の決定手法

ここでは、先行研究 [11] で提案した拡散送信間隔の決定手法について説明する。まず、STD を全方向に拡散させるための最小ノード数を γ と定義する。情報発信源が STD を送信した後、ノードはランダム時間で送信を行うが、情報発信源の無線到達範囲内のノード全て (n 台) が STD 送信を行わない場合でも、STD 送信が γ 回行われた場合、STD が全方向に拡散され

ると仮定する。このとき、 γ 番目の STD 送信が完了するまでの推定時間は、 $\frac{\gamma}{n} \times d_f$ と表すことができる。また、 T_c までに必要なホップ数は $\frac{nT_c}{\gamma d_f}$ となる。さらに、情報発信源から γ ノードの中で最も遠いノードまでの距離を x と定義する。加えて、ホップ数 n_h 回で滞留エリア全体の STD 拡散を完了させる必要があるため、 d_f は式 (2) として導出される。

$$d_f = \frac{n}{\gamma} T_c \times \frac{x}{R}. \quad (2)$$

各ノードの STD 送信タイミング s_j はランダムに決定されるため、情報発信源が前もって拡散距離 x を知ることはできない。そこで、拡散距離 x を推定する必要がある。以下の 3 つのケースを考える。まず、情報発信源の無線到達範囲 r 上にノードが存在する O_case である。この場合、1 回の送信でカバーできる最大距離で拡散できるので、最も効率良く拡散が行える。次に、拡散距離 x が期待値となる E_case である。ノードが滞留エリア内で一様に分布していると仮定したとき、 $x = \frac{1}{\sqrt{2}}r$ となる。最後に、拡散距離 x が期待値よりも小さい P_case では、 $x = \frac{r}{2}$ と定義する。この場合、 d_f は最も短くなるため、最も迅速に拡散できる。

先行研究 [11] では、式 (2) に 3 つの拡散距離 (O, E, P_case) を適用させシミュレーション評価を行った結果、E_case で d_f を決定することで、 T_c までに拡散を完了しつつ、STD 送信回数及び STD ロス数を抑制可能であることを示した。

4.3 拡散間隔決定手法の発展

先行研究 [11] では、情報発信源が自身の隣接ノード台数を基に動的に d_f を決定し、全車両はこの d_f に従って STD を拡散する。そのため、滞留エリア内で車両密度が変化する場合、特に情報発信源周辺が高密度の場合は d_f が大きくなるため、外側エリア内の車両密度が低い環境では、データ送信回数が減少し、 T_c までに拡散できない可能性がある。

そこで、先行研究 [12] では、各車両の STD 受信時刻や位置、自身の隣接ノード台数に応じて、 T_c を満たすための d_f を動的に変更する手法を提案した。ここでは、 T_n を現在時刻、 T_s を STD 配信開始時刻、 r_c を情報発信源から車両までの距離とし、 γ 台のうち情報発信源から最も遠いノードまでの距離 x は [11] の結果に基づき、E_case ($x = \frac{r}{\sqrt{2}}$) を用いる。このとき、STD を受信した車両は、 T_c までの残拡散完了時間 ($T_c - (T_n - T_s)$)、及び現在位置から滞留エリア端までの残拡散距離 ($R - r_c$) を考慮し、式 (3) により拡散送信間隔 d_f を決定する。

$$d_f = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{n}{\gamma} \{T_c - (T_n - T_s)\} \times \frac{r}{R - r_c} \quad (3)$$

5. シミュレーション評価

本節では、文献 [12] で提案した手法の有効性を示す。なお、本稿では、提案手法の実用性を評価するため、新たにランダム車両移動モデルを導入し、シミュレーションを行った。

5.1 シミュレーション環境

ネットワークシミュレータ OMNeT++ [13]、交通流シミュレータ SUMO [14]、IEEE 802.11p を実装した Veins [15] を用

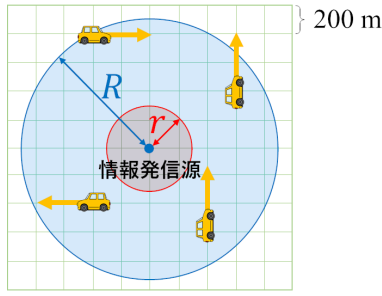


図 3: ランダムな車両移動モデル

いて提案手法の評価を行う。まず、図 3 にシミュレーションモデルを示す。ノードは 2000 m 四方の格子状の道路を時速 40 km/h で走行する。実環境での車両の移動をシミュレートするため、各ノードは初期位置と最終位置をランダムに決定し、距離が最短となるようランダムにルートを選択する。全体のノード密度を変更するため、全体の平均隣接ノード台数が 4, 8, 12, 16, 20 台（総ノード数はそれぞれ 57, 113, 170, 226, 283 台で一定）となる車両移動モデルを用意した。また、本論文では、情報発信源付近の車両密度が高く、その外側が低い場合に、式 (2) による拡散送信間隔では T_c までに十分に拡散できない可能性を評価するため、情報発信源付近 (r 内) の車両密度が、その外側よりも 30% 大きくなるように設定した。その他パラメータに関して、情報発信源およびノードの無線到達範囲は $r = 300$ m, ビーコン送信間隔は 1 s である。さらに、STD について、滞留エリア半径 $R = 900$ m, 滞留時間 $T_R = 7$ s, 拡散完了目標時間 $T_c = 1$ s, データ送信間隔 $d = 2$ s に設定した。平均隣接ノード台数の異なる車両移動モデルにおいて、10 回分の STD 送信を行う。

比較手法については、[11] で提案した情報発信源のみが拡散送信間隔 d_f を決定する固定手法 (fixed) を用いる。また、STD 滞留を行うノード環境下でのカバー率の限界を見るため、STD を受信した全ノードが即時にデータ送信を行う **naïve** 手法を用いる。評価指標については、目標時間までに拡散が完了しているか評価するために T_c 時点でのカバー率を用いる。また、効率的に拡散を行えるか評価するため、 T_c までの STD 送信回数及び T_c までの STD ロス数を用いる。

5.2 シミュレーション結果と考察

図 4 は、平均隣接ノード台数の変化した場合の、各手法における T_c 時点でのカバー率の平均値、最大値、最小値を示している。なお、シミュレーション試行回数は 10 回である。まず、固定手法に着目すると、平均隣接ノード台数によらず、 T_c 時点のカバー率が常に 65% 以下となり、滞留エリア全体への拡散が満たせていないことがわかる。固定手法の場合、情報発信源が自身の隣接ノード台数に応じて決定した d_f が全ノードが従うため、本論文で想定する環境では d_f が大きく設定され、 T_c までの拡散が満たせない結果となった。一方提案手法は、固定手法に比べて大幅に T_c 時点のカバー率を改善している。これは、各ノードが自身の周囲の車両環境に適応して d_f を決定するため、情報発信源付近とのノード密度の差異にも対応し、カバー

率を固定手法に比べて naïve 手法に近づけることができた。

次に、図 5, 6 はそれぞれ、平均隣接ノード台数が変化したときの、各手法における T_c までの STD 送信回数及び T_c までの STD ロス数を示している。naïve 手法に着目すると、隣接ノード台数の増加に従って STD 送信回数が増加し、その結果 STD ロス数も他手法に比べて大幅に増加している。前述のように、 T_c 時点のカバー率は満たせるが、効率的に無線資源を活用できているとはいえない。実環境で滞留する STD の種類が増加することを想定すると、無線資源の圧迫によってデータ衝突が頻発し、結果的に STD の拡散及び滞留が達成できない可能性がある。一方で提案手法は、平均隣接ノード台数の増加によらず、STD 送信回数及びロス数を大幅に削減しつつ、 T_c 時点のカバー率を naïve 手法に近づけることができた。

6. エミュレーション評価

本研究では、STD-RS の実用性について実車両を用いた大規模検証する事を目指している。しかし、実車両を用いた実験を行うことは、多くの実車両や実験場所の確保が困難であり現実的ではない。そこで、NICT が開発中である、車両の移動をシミュレーション、無線通信を実機計算機を用いたエミュレーションで実現可能な Smithsonian を用いて、大規模な車両環境を実現し STD-RS 及び本提案手法の有効性の評価を予定している。本節では、大規模検証に向けた事前検証として、無線通信エミュレータ NETorium を用いた、STD-RS のエミュレーション実験について述べる。

まず、エミュレーション環境について述べる。本研究では、NICT 保有の StarBED 上に環境構築を行った。車両ノード及び情報発信源は全て仮想マシン環境上で構成し、NETorium を用いて有線環境で無線通信をエミュレーションする。なお、通信規格は IEEE 802.11p を用いることを想定する。

次に、図 7 にエミュレーション実験において想定するモデルを示している。車両ノード及び情報発信源は、200 m の間隔で固定で配置した。各ノードの無線到達範囲は $r = 200$ m, 滞留エリア半径は $R = 600$ m と設定する。情報発信源は、中心座標 (1000, 1000), 滞留時間 $T_R = 30$ s, データ送信間隔 $d = 5$ s の STD を、エミュレーション時刻 0 秒の時点から滞留させる実験を行った。今回は STD-RS の事前検証を目的とするため、STD の拡散ではなく、拡散終了後の滞留の様子についてエミュレーション実験を通じて検証する。

図 8 はエミュレーション実験における経過時間に対して、STD を送信した車両の情報発信源からの距離をプロットしたものである。図 8 より、情報発信源から STD が送信され、滞留エリア内のノードに拡散されたのち、滞留時間 30 秒間が経過するまで、間欠的に車両が STD を送信している事が確認できていることから、エミュレーション環境において STD 滞留が実現出来ることを示した。

7. ま と め

本研究では、滞留時間が短く、滞留エリア全体への拡散時間の制約が厳しい STD に着目し、効率的な拡散送信間隔決定手

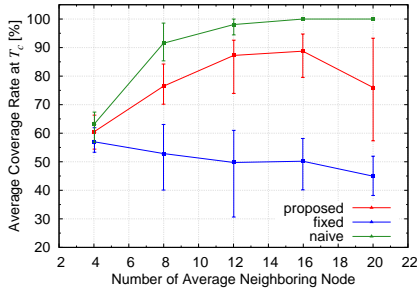


図 4: T_c 時点でのカバー率

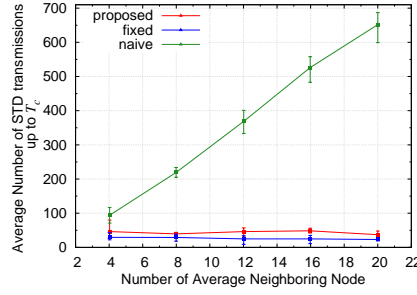


図 5: T_c までの STD 送信回数

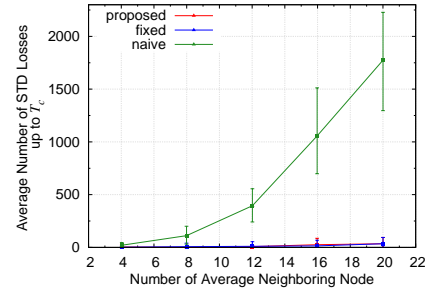


図 6: T_c までの STD ロス数

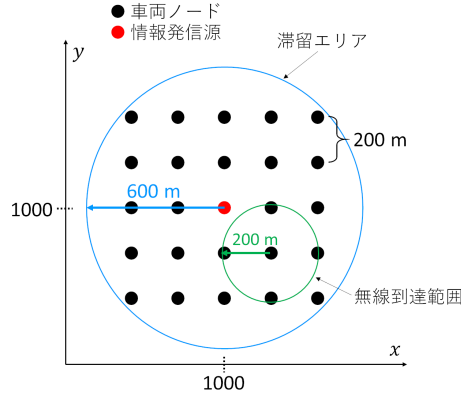


図 7: エミュレーション実験用トポロジ

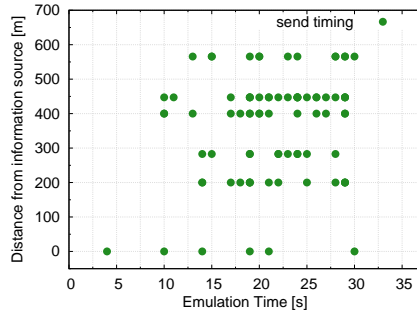


図 8: STD 送信タイミング

法を提案した。先行研究では、ノードの位置によって隣接ノード密度が異なることを考慮しておらず、目標時間までに拡散できないという問題点があった。そこで、各ノードが周囲の車両環境に応じて拡散送信間隔を決定できるように先行手法を改善し、シミュレーション評価を通じてその有効性を明らかにした。

また、STD-RS の事前検証ということで NICT 保有の StarBED 上に車両環境を構築し、エミュレーション環境において、車両が間欠的に STD を送信し STD 滞留が実現出来ている事を示すことができた。今後は、移動車両を想定した STD 滞留のエミュレーションと、本稿で提案した拡散送信間隔決定手法の有効性を検証する予定である。

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] Cisco, “Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper,” <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>, 2020
- [2] K. Tsukamoto, H. Tamura, Y. Taenaka, H. Yamamoto, T. Ikenaga, and M. Lee, “Geolocation-centric Information Platform for Resilient Spatio-temporal Content Management,” IEICE Trans on Commu., Aug. 2020.
- [3] H. Teshiba, D. Nobayashi, K. Tsukamoto and T. Ikenaga, “Adaptive data transmission control for reliable and efficient spatio-temporal data retention by vehicles,” The 16th ICN, pp.46-52, Venice, Italy, 2017.
- [4] 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.
- [5] C. Maihofer, T. Leinumuller and E. Schoch, “Abiding geocast: time-stable geocast for ad hoc networks,” Proc. 2th ACM VANET’05, pp.20-29, 2005.
- [6] G. Rizzo and H. Neukirchen, “Geo-based content sharing for disaster relief applications,” International Conference on IMIS-2017, vol.612, pp.894-903, Torino, Italy, 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, Texas, USA, 2009.
- [8] 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, Seattle, USA, 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, New York, USA, 2010.
- [10] S. Yamasaki, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, and M. J. Lee, “Efficient Data Diffusion and Elimination Control Method for Spatio-Temporal Data Retention System,” The IEICE Trans. on Commu., Vol. E104-B, No.7, 2021.
- [11] S. Yamasaki, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, and M. J. Lee, “On-demand transmission interval control method for Spatio-Temporal Data retention,” WIND-2019, vol.1035, pp.319-330, Oita, Japan, 2019.
- [12] 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データ拡散制御の効率改善手法,” ソサイエティ大会, 2020 年 9 月
- [13] OMNeT++, “OMNeT++ Discrete Event Simulator,” OMNeT++, <https://omnetpp.org>, accessed Dec. 29. 2019.
- [14] SUMO, “SUMO - Documentation,” Institute of Transportation Systems, https://sumo.dlr.de/docs/SUMO_User_Documentation.html, accessed Dec. 29. 2019.
- [15] C. Sommer, “Veins - The open source vehicular network simulation framework.,” Veins, <http://veins.car2x.org>, accessed Dec. 29. 2019.