

[依頼講演] データの地産地消を促進する時空間データ利活用のための 情報流通基盤に関する研究

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

[†] 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 工学府 〒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

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

あらまし 本研究は、時空間データがユーザの生活空間に強く依存する点に着目し、その空間に存在する情報処理機器を用いて、時空間データの地産地消を促進する新しい情報基盤を構築することを目的とする。本稿では、高い移動性、計算処理能力、そして無線通信機器を搭載可能な車両を用いることで最もユーザに近い位置で時空間データを提供・活用可能にする情報滞留方式を紹介し一部成果を報告する。また、物理位置に基づき階層的な構造で構成するエッジネットワークとの連携についても紹介する。

キーワード 時空間データ, 情報滞留, 車両ネットワーク, エッジネットワーク連携

[Invited Lecture] Information Distribution Platform for Realizing Local Production and Consumption of Spatio-temporal Data

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

[†] Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

^{††} Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology

1-1 Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 804-8550, Japan

^{†††} Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

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

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

Abstract With the spread of Internet of Things (IoT) technology, the number of devices connected to the Internet is increasing, and various kinds of data are generated from IoT devices. Some data generated from IoT devices depends on time and location. We refer to such data as spatio-temporal data (STD). Therefore, we aim to achieve an information distribution platform for realizing “local production and consumption of STD.” In this paper, we introduce our proposed STD retention system that is one solution for STD distribution, and we will report some of the simulation results.

Key words Spatio-temporal Data, Data Retention, Vehicular Networks, Edge Networks

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の発展により、通信業界だけでなく、医療、産業、観光など、様々な分野において様々なタイプのデータ利活用が検討されている。総務省

情報通信白書令和2年度版[1]によると、世界のIoTデバイス数は2021年までに300億台を突破すると予測されている。このようなIoT技術により収集されたデータを活用し、新しい情報や価値を生活空間上のユーザに提供することで、産業の活性化や地域社会の問題を解決す

る IoT/CPS (Cyber-Physical System) 技術が注目されている。このような IoT デバイスから生成されるデータは、インターネット上に設置されたクラウド等において蓄積し活用される。つまり、IoT デバイスが生成するサイズの小さな膨大な量のデータがインターネットに流入する。これにより、データセンタの肥大化や運用管理コストの増大が懸念される。また、IoT 技術を用いたサービス展開に着目すると、現状ではデータ収集と提供はサービス事業者毎に実施されている。そのため、ユーザが複数の種類のデータを同時に利用するためには、複数のサービスを個別に契約する必要があるため、効果的なデータ利活用が困難である。

一方で、IoT デバイスから生成されるデータには、時間的・空間的にその発生位置に強く依存するものがある。例えば、交通量・事故情報、商店街や都市における人流情報、各地域の災害情報、地域毎・家屋毎の電力需要状況、店舗における時限的な広告や来訪客の混雑状況など、その場所・時間で活用できるデータ等である。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あるサーバ/クラウドで収集して活用するよりも、データが発生した場所で活用する方が、利便性が高まる可能性がある。ここで、救急車両の道路状況に基づく走行ルート決定を例に挙げる。救急車両が目的地へ向けて走行中、走行予定であった経路において交通事故が原因で渋滞が発生した場合、救急車両は迂回路を検索する必要がある。しかし、クラウドサービスのような既存のインターネットのアーキテクチャを利用する場合、次のような問題が発生する。

- 救急車両は事故が起きている事実を受動的に知る手段がない。つまり、救急車両が能動的にサーバにクエリを送信しない限り、経路中で何が発生しているのか把握できない。
- 迂回路を探索するためにはその時間における他の経路のリアルタイムな状況を把握する必要がある。インターネットは場所や時間を意識した検索が得意ではない。

これに対して、その場所で起きている事象を時空間データとして、その場所にいるユーザ（この例では救急車両）に直接提供するアーキテクチャが実現すると、次のようなメリットがある。

- 時空間データに基づく事故情報が直接救急車両に提供されるため、救急車両が事故に関わる様々なデータの存在を意識して取得する必要が無い。
- 救急車両はその場所にいるだけで事故情報のみならず、様々な時空間データを受動的に取得できるため、それらを組み合わせたデータ分析に基づいた総合的な状況判断が可能となる。この際、デー

タ自体を検索する必要が無い。

以上より、本研究では、時空間データがユーザの生活空間に強く依存する点に着目し、その空間に存在する情報処理機器を用いて、時空間データの地産地消を促進する新しい情報基盤を構築することを目的とする。

これまで我々は時空間データの地産地消を実現するための情報流通基盤を実現するために、高い移動性、高性能な計算処理機器、大容量ストレージ、そして近距離無線通信機器を搭載可能な車両に着目し、ユーザに近い位置で時空間データを提供・活用可能にする車両ネットワークを用いた時空間データ滞留方式を提案してきた。本稿では、2 節において我々が提案してきた時空間データ滞留方式について紹介する。3 節ではシミュレーション評価に基づいて時空間データ滞留方式の実現可能性について議論し、4 節において時空間データの利活用に関するこれまでの課題と将来の展望について議論する。最後に 5 節でまとめる。

2. 時空間データ滞留方式

我々はこれまで車両を用いた時空間データ滞留方式を提案してきた。その概要を図 1 に示す。この方式では、1. 送信者が時空間データを発信する、2. 車両は近隣の車両と連携することで、時空間データを滞留させるエリア内全域を無線通信でカバーするように時空間データの転送を続ける、最後に 3. ユーザは滞留エリア内に進入することで受動的に時空間データを取得する。このとき、ユーザがこのエリア内で常にデータを受信できるようにするために、車両は送信者が指定する一定の間隔毎に、時空間データを滞留エリア内全域に送信する。これにより、ユーザのクエリ送信が必要なくなるため、既存のインターネットのアーキテクチャの問題点を解決できる。

時空間データ滞留方式に対する関連研究としては、車両ネットワークを利用してデータを空間に留める事を目的とした Floating Content [2], Locus [3] が提案されている。これらの方式では、任意に設定されたデータを保持する空間内に位置する各車両はデータリストに基づき所有するデータを近隣の車両と交換することでその空間にデータを維持する。データ交換の際、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ことで、中心に近づくほどデータを所有する車両が多くなるよう制御されている。これらの方式では、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、データ利活用のオーバーヘッドが大きい。

一方で、車両を用いてデータを収集管理するクラウド

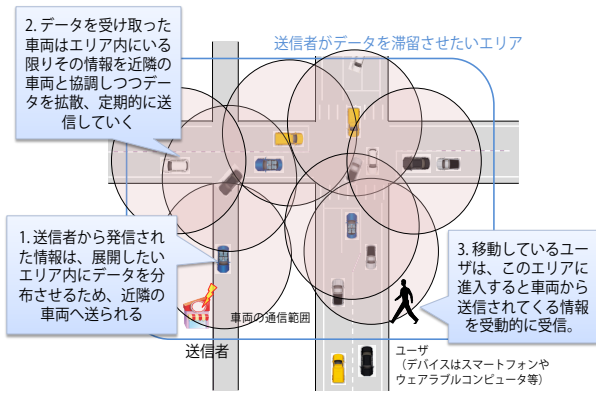


図 1 情報滞留システム 概要

コンピューティングを形成する Mobile Vehicular Cloud (MVC) の研究が行われているが、これはクエリ・レスポンス型の情報流通であるため、ユーザが要求するデータのリクエスト、データの発見、ユーザ位置までの転送という一連のシステムが必要となり、常に移動する車両でこれを実現することは困難である [4] [5]。本研究では、手段等の詳細は後述するが、ある一定の空間に車両を用いて時空間データを拡散・維持させることで、ユーザが受動的にそのデータを取得し活用する。そのため、その空間内のセンサデータを、事業者を問わず取得することが可能となる。この点は MVC と大きな違いである。また、時空間データ滞留方式を商店街や自治体において導入することで、その空間特有の新しい価値を提供することが可能となるため、地方活性化の効果も期待できる。

以降、時空間データ滞留方式の詳細について記述する。

2.1 前 提

時空間データ滞留方式を構成する車両には無線 LAN や車載用無線通信規格などの短距離無線通信インターフェースが搭載されているものとする。また、各車両は Global Positioning System (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ものとする。また、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、滞留エリア内におけるデータの送信間隔といった時空間データ滞留に必要な情報が付加されるものとし、これらの情報は情報送信者が付加しデータを送信するものとする。

2.2 システム要件

時空間データ滞留を実現するためには、滞留エリア全域を複数の車両の通信範囲でカバーする必要がある。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を受信できるよう、一定時間毎に滞留エリア全域に車両からデータを発進する必要がある。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

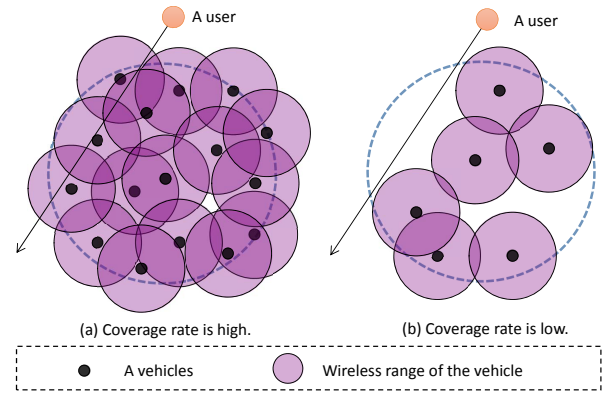


図 2 カバー率

タ滞留状態を示す指標として、データ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 2 にカバー率の例を示す。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、紫の円は車両の通信範囲を示している。図 2(a) が示す様にカバー率が高い場合、ユーザは滞留エリアのどの位置を通過してもデータを受動的に受信できることを示す。一方で、図 2(b) の様にカバー率が低い場合、データを受信できない場所が多く存在することになる。つまり、データ滞留においては高いカバー率を維持することが、ユーザエクスペリエンスの向上につながる。

2.3 車両によるデータ送信制御手法

前述のように、時空間データ滞留方式では、車両がデータを中継することで時空間データを滞留エリア全域に拡散・維持し、最終的にはユーザにデータを提供することになる。このとき、全車両が自律分散的に滞留エリア全域にデータを拡散しようとする場合、モバイルアドホックネットワークにおけるフラグディングのように各車両がデータを送信すると、データ衝突が頻発し、データ滞留の性能に悪影響を与える可能性がある。データ滞留を実現するに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。

そこで、我々はこれまでに、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ことで高いカバー率を維持しつつデータ送信数を抑制するデータ送信制御手法を提案してきた [6]-[13]。この方式では、各車両は一定間隔で車両情報を含むビーコンを送信し、周辺の車両からのビーコンの受信数を基に隣接車両台数を推測する。また、各車両は受信したデータ数も同様に測定し、データ送信周期毎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

定する。これにより、隣接ノード密度とデータの実際の送信数に基づいたデータ送信制御を行うことで、データ送信数を削減しつつ高いカバー率の維持を実現した。

同様に、[14] では上記と同様にビーコンを用いて送信確率を制御するが、こちらの方式ではビーコンに GPS から取得可能な位置情報を付加して送信し、ノード同士の位置情報に基づき適切なデータ送信確率を計算することで、高いカバー率を維持しつつデータ送信数を削減する。この方式は [7] と比べ、より効果的な滞留を実現できることがシミュレーションにより確認できたが、ビーコンに位置情報を付加するため、無線チャネル資源を多く消費してしまうという問題がある。

上記の [7] および [14] の方式では、ビーコンを用いて送信確率を制御するため、滞留エリア内の全車両がビーコンを送信する必要がある。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する。従って、車両密度が高い環境ではデータ送信確率制御により時空間データ自体の送信数は削減できていたが、一方ではビーコン送信数が増加するため、データ衝突が頻繁に発生する。また、これらの手法では障害物等による電波の減衰を考慮していないため、隣接車両の信号強度が低く、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ず、カバー率の低下を招く可能性がある。

そこで、この問題に対応するため、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した [15]- [17]。この送信制御手法では、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。これを滞留エリア内で実施することで、ビーコンを用いない時空間データ滞留が実現可能となるため、先の方式と比べより効果的なデータ滞留を実現できることを明らかにした。

一方で、滞留エリア全域に対してデータを拡散する点に着目した場合、時空間データのタイプによってはデータの活用期限と拡散時間の制約が厳しいデータが存在する。例えば、常に状態が変化する無線資源の利用状況を時空間データとして滞留させたい場合、非常に短い時間で滞留エリア全域にデータを拡散する必要がある。先の [7] では、時空間データにあらかじめ設定されていたデータ送信周期に基づき送信タイミングを設定するため、データのタイプに基づく拡散方法の制御については考慮して

いなかった。そこで、滞留させる時空間データに拡散完了目標時間を新たなパラメータとして設定し、情報発信源周辺と各車両周辺の車両密度に基づき拡散完了目標時間内でのデータ拡散を実現するためのデータ送信制御手法を提案し、その有効性を評価した [18]- [20]。

以上のように、我々はこれまでに、時空間データの地産地消を実現するための 1 つの解として、車両を用いた時空間データ滞留方式を提案してきた。また、この時空間データ滞留方式において、高いカバー率を維持しつつデータ送信数を抑制可能にするために、車両密度等を用いたデータ送信制御手法を提案してきた。これらの提案手法の有効性はネットワークシミュレータを用いて評価してきたが、そのシミュレーションシナリオ、特に車両の移動については人工的に生成したモデルを利用していた。そこで本稿では、より現実的な車両移動モデルを利用して提案手法の性能を評価する。

3. シミュレーション評価

本稿では、ネットワークシミュレータである OMNeT++ [21] と交通流シミュレータである SUMO [22] を総合的に利用可能で、IEEE802.11p を実装している Veins [23] を用いる。時空間データ滞留方式の実現可能性を評価するため、本シミュレーションでは、車両の移動モデルとしてルクセンブルク市街の移動モデルを模擬した LuST [24] を用いる。図 3 に使用した都市モデルの詳細を示す。本シミュレーションではルクセンブルクの市内に、データ送信源を 1 台設置し、走行する車両が実施するデータ滞留の結果を評価する。このとき、滞留させる時空間データの滞留半径は 750m とし、滞留させる時間を約 2 分間とした。また、LuST では午前 0 時から 24 時間分の車両の走行量が変化する。そこで、今回のシミュレーションでは、午前 5 時 (市内全域の走行台数 724 台) と午前 6 時 (同 1674 台) 時点でのシミュレーション結果を取得した。その他、情報滞留に必要なパラメータは [7] に基づき設定し、車両の最大通信距離は 300m、ビーコン送信間隔とデータ送信周期を 5s に設定した。なお、今回の比較手法として時空間データ滞留方式の最も基本的な動作を行う proposed と、この方式における全車両の送信確率を 1 に設定した naive 手法を採用した [7]。naive 手法は送信確率が 1 であるため、カバー率は最大になるが、データ送信数も最大となる手法である。

図 4 に平均カバー率、図 5 に総データ送信数を示す。平均カバー率は午前 5 時時点で両手法共に約 93%、6 時時点でほぼ 100% に達したことが確認できる。午前 5 時時点では走行している車両台数が少ないためカバー率が低下しているが、午前 6 時になり一定の車両台数がデータを滞留させることにより高いカバー率を実現できることが

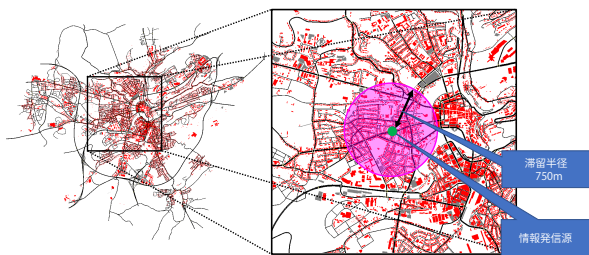


図 3 LuST 都市モデル

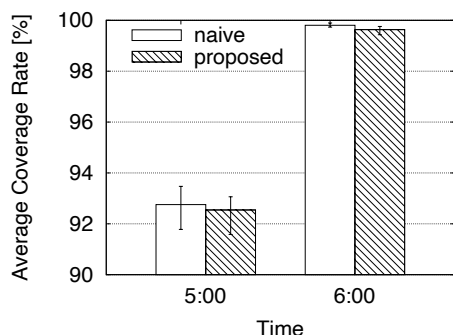


図 4 平均カバー率

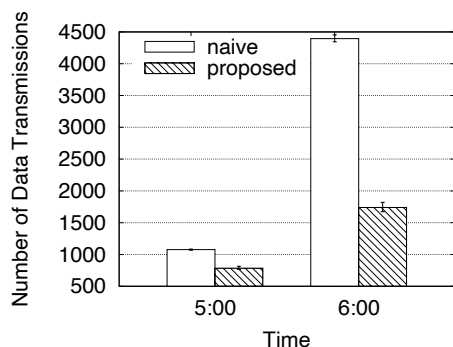


図 5 総データ送信数

分かる．次に，総データ送信数に着目すると，proposed 手法は午前 5 時時点では naive 手法の約半分，午前 6 時時点では約 3 分の 1 まで削減できていることが確認できた．カバー率については両手法共に差が小さいことから，proposed 手法は理想的なカバー率を達成しつつ，データ送信数を著しく削減できることが確認できた．また，LuST による車両の移動は実際の道路上を走行することから，都市圏内における車両の移動であったとしても，時空間データを滞留させることが可能であることが明らかとなった．

4. エッジネットワーク連携

2 節で紹介した時空間データ滞留方式を実現する事で，時空間データはその場所に存在するユーザーによって活用されて消化されるという一連のサイクルを構築することが可能となる．一方で，近年では Edge Cloud Network (ECN) 技術の研究が盛んに行われている [26]．ECN では

ユーザーに近い位置にデータを一時的に収集し，分析，配信することでデータ配送に対する低遅延を実現する．また，クラウドサーバやデータセンタにデータを集約する前に ECN において負荷分散することで時空間データ滞留方式と同様の目的を達成することが可能となる．しかし，これらの ECN を用いたとしても依然として異種ネットワーク間連携，サービス提供者間の連携は困難である．ただし，ECN に関してはユーザーに対する地理的近接性に着目すると，クラウドやデータセンタのようなインターネットサービスにより，ユーザーに対して低遅延のサービスを提供できるだけでなく，地理的近接性を考慮したアプリケーション・サービスの拡張を実現する事も可能である．

そこで我々は，時空間データ滞留方式の効果的な活用を促進するため，ECN との連携手法について検討を進めている [25] [26]．物理位置に基づき情報の流通，コンテンツの生成，配信が可能な Geo-centric Information Platform (GCIP) を構成する Geographic hierarchy edge network (GHEN) と連携することで以下の貢献を提供できる．

- データの地産地消を加速：従来の滞留方式のようなユーザーに対して直接的なリアルタイムのデータの配信だけでなく，GCIP により生成される地理的近接性を考慮した時空間コンテンツの提供が可能となる．また，その空間に存在する時空間データを一元的に管理することも可能となるため異種ネットワーク間，異種サービス提供者間の連携が辛なり，空間に依存した潜在的なアプリケーションやデータ提供を促すことが可能となる．
- 車両を用いた時空間データ滞留の拡張：時空間データ滞留方式と GHEN が連携することで，時空間データ滞留方式の弱点を補強できる．車両は高い移動性を有するため，ネットワークポロジは常に変動する．そのため，ノード密度が低い場合にはデータの滞留が困難になるケースが存在した [12]．GHEN において車両の移動性を把握することが可能になると，地域全体の車両の移動動向を予測することが可能になり，ノード密度の変化を考慮した時空間データ滞留の実現が可能となる．なお，エッジ連携による時空間データ滞留方式の性能改善に関しては [27] において基礎的な性能評価を実施した．
- 車両ネットワークを用いた ECN の耐性改善：GHEN による時空間データ滞留方式の性能改善だけではなく，時空間データ滞留方式を用いた GHEN 機能の耐障害性改善を実現できる．時空間データ滞留方式ではユーザーに最も近い位置にある車両で分散的にデータを維持していることから，GHEN が有

する ECN の機能 (データ) を車両で滞留させておくことで、ECN に障害が発生した場合、車両群が ECN の代わりにユーザに ECN の機能を提供することが可能となる。

以上のことから、物理的位置に基づき ECN を形成する GCIP と時空間データ滞留方式は親和性が非常に高いことから、これらが連携することでより高度かつ効果的なデータの地産地消を実現可能な情報流通基盤を構築することが可能なる。

5. ま と め

本稿では、時空間データがユーザの生活空間に強く依存することに着目し、その空間に存在する情報処理機器を用いて時空間データの地産地消を促進可能な時空間データ滞留方式について紹介し、これまでの取り組みとシミュレーションによる実現可能性の評価結果を示した。また、さらなる時空間データの利活用を促進するために、地域主導型階層エッジネットワークとの連携について議論し、今後の展望について議論した。

謝辞 本研究の一部は、情報通信研究機構の委託研究、及び JSPS 科研費 18H03234, 20K11792 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 情報通信白書 令和 2 年度, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/>
- [2] 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.
- [3] N. Thompson, R. Crepalda, and R. Kravets, "Locus: A Location-based Data Overlay for Disruption-tolerant Networks," In Proc. ACM CHANTS, pp. 47-54, 2010.
- [4] E. Lee, E.K. Lee, M. Gerla, S. Y. Oh, "Vehicular cloud networking: architecture and design principles," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, Issue 2, pp. 148-155, 2014.
- [5] M. Whaiduzzamana, M. Sookhaka, A. Gania, and R. Buyya, "A survey on Vehicular Cloud Computing Journal of Network and Computer Applications," Vol. 40, pp. 325-344, 2014.
- [6] 手柴 弘樹, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, 樋口 雄大, アルトゥンタシュ オヌル "時空間データ滞留のための車両ノード密度に応じたデータ送信制御手法の検討", 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 116, No. 111, NS2015-46, pp.101-106, 2016 年 6 月
- [7] H. Teshiba, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, "Adaptive Data Transmission Control for Reliable and Efficient Spatio-Temporal Data Retention by Vehicles," The Sixteenth International Conference on Networks (ICN2017), Apr. 2017
- [8] 手柴 弘樹, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, "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
- [9] H. Teshiba, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, "VANET based Effective Data Transmission Control for Spatio-Temporal Data Retention System," Proc. of SmartCom 2017 (Technical Report of IEICE, Vol.117, No.257), SR2017-87, pp. 59-60, Oct. 2017
- [10] 手柴 弘樹, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, "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, NS2017-230, pp.351-356, 2018 年 3 月
- [11] D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, "Autonomous Data Transmission Control Based on Node Density for Multiple Spatio-temporal Data Retention," Proc. of IEEE International Conference on Cloud Networking (CloudNet) 2018, Oct. 2018.
- [12] 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率的なデータ滞留を実現する送信制御手法," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 118, No.465, NS2018-198, pp.27-32, 2019 年 3 月
- [13] I. Goto, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, M. J. Lee, "Transmission Control Method to Realize Efficient Data Retention in Low Vehicle Density Environments," IN-CoS 2019, AISC 1035, pp. 390-401, Sep. 2019.
- [14] T. Higuchi, R. Onishi, O. Altintas, D. Nobayashi, T. Ikenaga, K. Tsukamoto, "Regional InfoHubs by Vehicles: Balancing Spatio-Temporal Coverage and Network Load," Proceedings of First International Workshop on Internet of Vehicles and Vehicles of Internet, pp. 25-30, Jul. 2016
- [15] 後藤 一郎, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, "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," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 120, No.19, NS2020-20, pp.77-82, 2020 年 5 月
- [16] I. Goto, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, M. J. Lee, "Beacon-Less Autonomous Transmission Control Method for Spatio-Temporal Data Retention," INCoS 2020, AISC 1263, Springer, pp. 503-513, Sep. 2020.
- [17] 後藤 一郎, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, "効果的な時空間データ滞留のための適切な送信位置決定手法", 電子情報通信学会 2020 年 ソサイエティ大会, B-6-18, 2020 年 9 月
- [18] 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間隔決定手法の提案," 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol. 118, No.465, NS2018-197, pp.21-26, 2019 年 3 月
- [19] S. Yamasaki, D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, M. J. Lee, "On-demand Transmission Interval Control Method for Spatio-Temporal Data Retention," INCoS 2019, AISC 1035, pp. 319-330, Sep. 2019.
- [20] 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", 電子情報通信学会 2020 年 ソサイエティ大会, B-7-9, 2020 年 9 月
- [21] "OMNeT++," <https://omnetpp.org/>
- [22] "SUMO," http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/
- [23] "Veins," <http://veins.car2x.org/>
- [24] 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.
- [25] D. Nobayashi, K. Tsukamoto, T. Ikenaga, M. Gerla, "Spatio-temporal Data Retention System with MEC for Local Production and Consumption," The 42nd Annual International Computers, Software & Applications Conference (COMPSAC 2018), July 2018
- [26] K. Tsukamoto, H. Tamura, Y. Taenaka, D. Nobayashi, H. Yamamoto, T. Ikenaga, M. J. Lee, "Geolocation-centric Information Platform for Resilient Spatio-temporal Content Management," IEICE Transactions on Communications, Vol.E104-B, No.3, pp.-, Mar. 2021. (Advanced Publication)
- [27] 後藤 一郎, 野林 大起, 塚本 和也, 池永 全志, "エッジ・車両ネットワーク連携型時空間データ滞留方式の提案", 電気・情報関係学会 九州支部第 72 回連合大会, 2019 年 9 月