

VANETにおける経路設定情報を利用した メッセージルーティングプロトコルの一考察

木 谷 友 哉^{†1}

車載カーナビゲーションシステムに設定された目的地情報や、普段の移動経路履歴などを用いることにより、各車両の移動予定経路を高精度で推定可能である。本稿では、対象を2km四方程度の領域内としVANETのみを用いて任意のノード間の通信を行う際のメッセージルーティングプロトコルの考察を行う。各車両の予測経路情報を利用して今後のどの時点でどのノード間が無線通信可能になるかを判断するためのノード接続性グラフを作成する方法、および、制御情報である各ノードの予定経路情報を領域内で早く共有するためのブルームフィルタを用いた領域内ノード位置推定法について述べる。

A Discussion about Message Routing Protocols on VANET with Predictable Node Mobility

TOMOYA KITANI^{†1}

It can allow a prediction of each car's route-to-go with a high degree of accuracy to use the current preset destination information and the past travel history on the car-navigation system on each car in VANET. In this paper, we discuss about message routing protocols on VANET with predicatable node mobility. By using such predicated route information of each node on VANET, a node connectivity graph including temporal information can be obtained. We describe that it can be reduce the message overhead of the information and it's propagation time to adopt the bloom filter.

^{†1} 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点

Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

1. はじめに

車車間通信ネットワーク (VANET: vehicular ad-hoc networks) は、無線通信機器を搭載する車両によって自律的に作られるネットワークである。VANET は MANET (mobile ad hoc networks) の一種であるが、通信ノードとなる車両の移動性に特徴がある。一般的な MANET では人間の持つ携帯情報端末などがノードとなるため、その移動性として速度は遅いが経路の自由度が高いものが想定される。対照的に VANET では、車両が通信ノードとなり、その車両の移動速度は大きくノード間の接続性の変化が頻繁に起こる。しかし、車両は道路上を移動するため経路に対する制約がきつく将来の移動経路の推定が比較的容易であるという特徴を持つ。また、通信ノードに備えられる機器の大きさや電源について、車両で要求される制約はハンドヘルドデバイスと比較して小さい。

現在の GPS 付きカーナビゲーションシステム (以下カーナビ) は、内蔵する渋滞の統計情報を用いたり、国土交通省の VICS が配信する交通情報を受信したりすることができ、質の高い経路案内を実現している^{1),2)}。日本においてはカーナビの普及率が高く、2007年現在において新車の7割以上に設備されている。しかし、高性能なカーナビは高価であるため、アメリカやヨーロッパ諸国において普及率は高くなかった。近年、GPS 内蔵の携帯電話やスマートフォンなどの普及に伴い、スマートフォン上で動作するアプリケーションとしてナビゲーションが安価で人気を博してきている。そのため、日本のみならず諸外国においても、今後、カーナビ機能のある GPS 付きデバイスを車両に持ち込む機会が増えてくると考えられる。

カーナビに目的地情報が設定されているとき運転手は高い確率で案内された経路上を移動する。また、日常の業務に使用しており、目的地情報が設定されていないときでも、運転者が利用する経路は今までの履歴にある経路であることが多い。このカーナビ内の移動予定経路情報を VANET 内で流通させることで他車両の経路予測も行え、渋滞の回避や、車車間通信における効果的なメッセージ伝播を行えると考えられる。

VANET を用いたサービスとしては、各車両がセンシングした交通情報を流通・収集するプローブや局所的な広告配信などの情報配信サービスが考えられる。現在、自動車メーカー各社がデータセンタを用意し、携帯電話網などの広域無線通信網を介して各車両の位置情報や交通情報を収集・配信するテレマティクスが実用化されてきている³⁾。テレマティクスでは、局所的に流通される情報も全て携帯通信網越しに情報センタを介して配信される。VANET において、各車両が自立的に収集・プローブする情報は、局所的な交通情報であったり、地

域の広告情報であったりすることが多い。このような局所的に消費される情報を VANET を用いて流通させることができれば、広域無線通信網の負荷低減やそれともなうサービスを低価格化、局所的な情報を外に極力出さないことによるセキュリティの強化なども期待される。このように VANET がインターネットなどの広域通信網と、ビルや家庭内のプライベートネットワークの間を埋める地域ネットワークの担い手として利用できると考えられる。

文献 4) において、筆者は VANET のみで情報流通を行える環境などについて考察した。また、各車両が装備するカーナビに設定された移動予定経路情報を用いて、近い未来のノード接続可能性グラフを構築することができ、それを利用して効果的なメッセージルーティングができることを述べた。

本稿では、対象を 2km 四方程度の領域内とし VANET のみを用いて任意のノード間の通信を行う際のメッセージルーティングプロトコルの考察を行う。各車両の予測経路情報を利用することにより、今後のどの時点でどのノード間が無線通信可能になるかを判断するためのノード接続性グラフを作成することができる。また、任意のノードの位置に関する情報を領域内のノード間で早く把握するためのブルームフィルタを用いた領域内ノード位置情報の共有についても述べる。

2. VANET による情報流通

2.1 想定する VANET の環境

文献 4) において、VANET のみを用いた情報流通では、2km 四方程度の領域を対象とすることが以下の理由などから妥当であると述べた。VANET におけるメッセージの伝達は (1) マルチホップ無線通信を用いて車両間でメッセージを中継する (2) ある程度のメッセージ伝達遅延が許容される (DTN: 遅延耐性ネットワーク) ときはマルチホップ無線通信と併用して、ノードとなる車両の高い移動性を利用してデータを持つ車両が運搬する Carry and Forward を用いる、といった方法で実現される。このとき、一般に通信帯域幅には上限があるため、領域が広くなり領域内の車両台数が大きくなると車両一台あたりの通信量が小さくなり、メッセージ到達率は著しく小さくなる。また、車両密度の小さい郊外や、市街地においても信号による停止などでノードの接続性が一時的に分断されることが多いため Carry and Forward が用いられるが、車両の平均移動速度を 10m/s (36km/h) とすると 30km 移動するには 50 分、往復で 100 分かかるため遅延が大きくなる。

VANET において交通情報を収集・配信する場合、データの収集に即応性は求められない DTN となるが、交通情報などで許容される遅延は高々 10 分である。市街地での平均車

速は 5m/s (約 20km/h) 程度であることを考えると、メッセージの伝達に全て Carry and Forward を用いた場合は高々 3km しか運搬できない。ここで、VICIS の電波ビーコンは、高速道路であれば 2~4km 毎に一機設置されていることを考えると、交通情報の収集装置を半径 1~2km に一機設置するという仮定は不自然ではない。

本稿では一辺 2km 四方の領域を対象領域とし、その中心にインターネットと接続された路側ユニット (RSU: roadside unit) が存在するとする。各 VANET がカバーする領域外のノードへの通信や、領域間をまたがる車両ノード間の通信は路側ユニット (RSU: roadside unit) を介して行う。

2.2 関連研究: VANET におけるメッセージルーティングプロトコル

1 章で述べたように、車両をノードとする VANET では移動速度が速く頻りにネットワークの分断が起こるため、歩行者などがノードとなる一般的な MANET で使用される AODV⁵⁾ や DSR⁶⁾ といった汎用のルーティングプロトコルは VANET ではうまく動作しない。

本稿で想定する領域でのデータ伝播では、車両密度が不均衡であり、目的地へのエンドツーエンドのパスが存在しないことが考えられる。このような環境に対し、中継先ノードがない場合には、そのデータをストレージに保存し、中継先ノードが現れた時にデータを送信することで、配送先までデータの運搬を行う Carry and Forward⁷⁾ と呼ばれる手法が提案されている。Carry and Forward を用いた最も簡素なルーティングプロトコルとして、Vahdat らによって Epidemic Routing が提案されている⁷⁾。

Epidemic Routing は、フラッディングをベースにしたルーティングプロトコルであり、全てのノードは感染ノードと非感染ノードに分類される。感染ノードが非感染ノードの通信範囲内に入った時、感染ノードは非感染ノードに対して、ある確率でメッセージを複製する。移動中に出会う全てのノードに対してこの動作を繰り返すことで、単純なフラッディングに比べて少ないメッセージ量で輻輳を起こさずに情報を届けることができる。この手法は、ノードの密度や移動性に応じた適切な感染率を決定することが困難であることが知られている。

一方、地理情報を利用してルーティングを行う手法に、Geocast⁸⁾ がある。Geocast では、宛先としてノードではなく地理的な位置を指定し、その周辺領域に存在するすべてのノードにパケットを転送することを目標とする。宛先への直線距離に応じたルーティングをするため、Geocast はノード密度が十分高いや、宛先への直線上の経路が存在する場合には有効な手法であるが、宛先地点までの直線上の領域に存在するノード密度が低い場合などには、

宛先へ至るパスがあるにも関わらず、宛先にパケットを送信できない場合が発生する。

3. VANET における経路設定情報を利用したメッセージルーティングの考察

本研究では、2km 四方の領域を対象とし、その領域内の車両によって構成された VANET において、任意の 2 ノード間でメッセージを伝達するためのルーティングプロトコルについて提案を行う。また、この領域中心には情報収集装置がインフラとして設置されており、それは他の領域の情報収集装置と接続されているものとする。各車両は近隣のノードと通信可能な無線装置、および、GPS 付きカーナビゲーションシステムが搭載されていると仮定する。さらに、各車両はあらかじめ設定された経路情報、または今までの履歴に沿った経路を進むものとする。

3.1 予定経路情報の利用

VANET でのメッセージ伝達において、同じデータの冗長な送信を避けることで帯域の有効利用ができ、メッセージ到達率を向上させることができる。メッセージを確実に届けるためには、複製を複数の経路を用いてたくさん送信することが有効であるが、ネットワーク内のトラフィックが通信帯域と比較して多い場合は輻輳が起き、著しくメッセージの到達率が低下する。Epidemic Routing では、メッセージの複製を確率的に行うことにより、冗長なデータの送信を低減している。また、GeoCast では宛先と異なる方向にメッセージが伝播した場合は複製をやめることで、無駄なメッセージ伝播を低減している。

ここで、ある車が保持しているメッセージについて、そのメッセージの到達期限までにそのメッセージの宛先のそばをその車両が通過することが分かっているならば、そのメッセージは複製して近隣の車両に伝播する必要はない。そのメッセージの宛先においてのみ、メッセージの送信を行えば十分である。また、メッセージの到達期限までにそのメッセージを伝播させることが不可能な場合においても、近隣ノードへのそのメッセージの送信は行う必要はなく、破棄すればよい。このようにして、無線を使った不要なデータ送信を避けることにより、今までは車車間で伝播できなかった優先度の低いデータも伝播させられるようになる。

3.2 予定経路情報の収集

各車両の通過予定情報は $(c_{id}, time_c, is_{id}, time_p)$ の 4 つ組で表し、 c_{id} は車両識別子、 $time_c$ はデータ作成時刻、 is_{id} は交差点識別子、 $time_p$ はその交差点の通過予定時刻である。また、経路予定情報は通過予定情報の列で表す。通過予定情報の要素をそれぞれ 2 バイトで表すと、1 つの通過予定情報は 8 バイト、VANET の直径を 2km、平均交差点間隔を 100m とすると、中継交差点数は平均 20 個であり、経路予定情報は 160 バイト程度である。2km

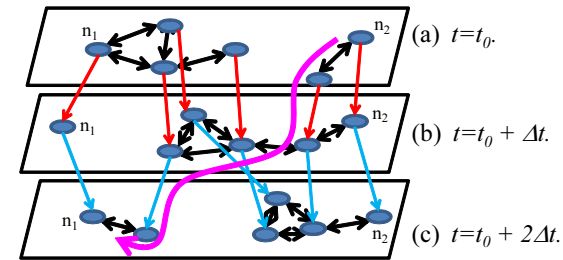


図 1 時間軸を追加したノード接続性グラフ

四方の領域に 100m 間隔で碁盤の目状に片側 1 車線道路があるとすると道路総延長は 80km であり、車両密度を 20m あたり 1 台と仮定すると、領域に存在する車両は 4000 台となる。このとき、領域全ノードの予定経路情報を集めたとしても 640 キロバイト程度である。この情報を VANET 内で流通させ、メッセージのルーティングに利用する。

3.3 時間軸を追加したノード接続性グラフの構築

今、図 1 において n_2 から n_1 へメッセージを伝達したいとする。通常、フラッディングや確率的な複製を行う Epidemic ルーティングを用いて、メッセージを伝達させる。VANET をネットワークの分断（ノードの接続性の分断）が頻繁に起きる DTN と捉えると、図 1 (a)~(c) 各時点において n_1 と n_2 は非連結であるが、時間軸を追加したノード接続性グラフでは経路があることが判断できる。

従来の DTN における Epidemic ルーティングなどのプロトコルでは、メッセージの廃棄ポリシーとして許容遅延に間に合わないものを選択的に廃棄していた。しかしながら、それらの方式では、遅延許容量は大きい伝達経路のないメッセージがネットワーク内に長時間滞留し、全体のメッセージ到達率の低下を招くと考えられる。上記の時間軸を追加したノード接続性グラフを用いることで、そのようなメッセージを早くに廃棄することができる。

提案するノード接続性グラフは、各車両の予定経路情報を用いて、特定の時間間隔での各車両の位置を推定し、通信機会がある車両間に接続性があるとして辺を引いたグラフである。ここで、このノード接続性グラフでは時間軸に沿った辺が有向辺であることに注意する。

3.4 予定経路情報の伝播速度に関する考察

図 2 に示すように、場所によってノードが接続しているかどうかの信頼性が変わってくると考えられる。前節のノード接続性グラフを作成するとき、未来の各車両の位置は予定経路情報から推定した。しかしながら、例え各車両が予定経路情報通りの経路を通過としても、信号や渋滞などの交通事情から特定の時刻における位置を正しく予測することは困難

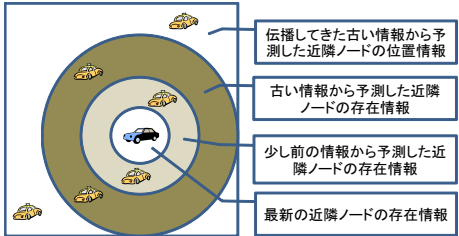


図 2 予定経路情報の伝播速度

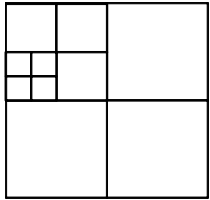


図 3 ブルームフィルタを適用する副領域

である．移動予定経路情報にはデータ作成時刻とそのときの車両の位置情報も含まれるため，逐次新しい予定経路情報を作成し伝播させれば良いが，図 2 に示すように，遠い領域の情報は伝播してくるまで時間がかかるため，自車位置から離れた場所のノード接続性グラフはの精度は低くなる．

予定経路情報の伝播速度を上げるためには，各車両の予定経路情報の生データを伝播させるのではなく，ルーティングに効果的な情報のみを採りあげて送信データサイズを小さくすることで，情報を早く伝播させることが可能である．例えば，領域を図 3 のように副領域に分割していき，その各領域に対してブルームフィルタ⁹⁾を用いて車両 ID のハッシュを取り，それらの車両の領域存在性を表すデータを作成する．こうすることで移動経路の連続性に関する情報は失われるが，このブルームフィルタでは，ある車両がある時点にあるエリアに存在するかどうかを高い確率で推定できるようになる．

領域を図 3 のようにして第 4 階層にまで分割したとすると 64 個の副領域ができる．ここで，ノード数を高々 4000 とすると，1 つの副領域あたり 60 ノード程度であり，これらを識別するために 128 ビット (16 バイト) のブルームフィルタを使ったとしても 1024 バイト，20 単位時間分のブルームフィルタを用意しても，20 キロバイト程度で表現できる．元の予定経路情報を使うことに比べて予測精度は落ちるが，早くに情報が伝播すること，および，宛先のノード位置が不明であったときでも位置を推定できるようになるため，GeoCast を用いたルーティングが可能になり有効である．

4. ま と め

本稿では，ノード間のメッセージ到達率の向上を図るために，各車両の予測経路情報を利用することにより，今後のどの時点でどのノード間が無線通信可能になるかを判断するためのノード接続性グラフを作成する方法について述べた．また，任意のノードの位置に関する

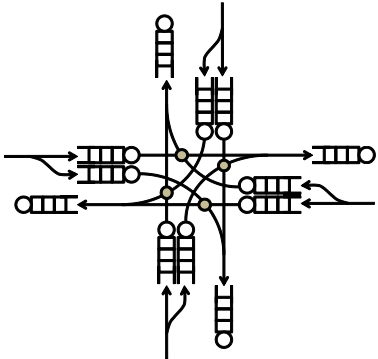


図 4 待ち行列を用いた交通流モデル

情報を領域内のノード間で早く把握するためのブルームフィルタを用いた領域内ノード位置情報の共有についても述べた．

今後の課題として，カーナビの持つ地図情報や今後の移動予定経路情報を用いてメッセージルーティングを行う方法について，定性的な評価を行うため図 4 に示すような待ち行列を用いてモデル化し解析を行う．また，待ち行列モデルを用いた計算機シミュレーションも行い，提案するルーティングプロトコルの定量的な性能評価を行う予定である．

謝辞 本研究は科研費若手研究 B (20700063) の助成を受けて行った．

参 考 文 献

- 1) 国土交通省道路局：ITS ホームページ. www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html.
- 2) (財)道路交通情報通信システムセンター：VICS. www.vics.or.jp.
- 3) 本田技研工業 (株)：インターナビ・プレミアムクラブ. www.premium-club.jp.
- 4) 木谷友哉：移動予定経路情報を利用可能な VANET における時間軸を追加した接続性グラフの構築 (2010).
- 5) Perkins, C. and Royer, E.: Ad hoc on-demand distance vector routing (1999).
- 6) Johnson, D. and Maltz, D.: Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks (1996).
- 7) Vahdat, A. and Becker, D.: Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-partitioned Wireless Ad Hoc Networks (2003).
- 8) Ko, Y. and Vaidya, N.: Geocasting in mobile ad hoc networks:location-based multicast algorithms (1999).
- 9) Bloom, B.: Space/Time Tradeoffs in Hash Coding with Allowable Errors (1970).