

研究種目：若手研究 (B)  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19700062  
研究課題名 (和文) 車車間ネットワークの流動性を隠蔽する静的オーバーレイネットワーク  
研究課題名 (英文) Virtually-static Overlay on V2V Networks  
研究代表者  
山口 弘純 (YAMAGUCHI HIROZUMI)  
大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号：80314409

## 研究成果の概要：

本研究では、車車間ネットワークの流動性を隠蔽しその上位に安定して存在する静的なネットワークを構築する手法を考案している。これにより、多地点間データ共有アプリケーションや無線スポットのエリア拡張によるインターネットサービスの提供、交通量に応じた連動信号制御などのアプリケーションを容易に展開できるプラットフォームの実現を目指す。車車間通信を用いてデータをより多くの車両に配信するシナリオに基づくシミュレーション実験により、高いデータ配信率で安定的にデータ配信を行えることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：車車間通信，ネットワーク，無線通信，プロトコル設計，性能評価

## 1. 研究開始当初の背景

近距離無線通信を用い、近接する移動端末間で一時的に構築される移動通信体ネットワーク (MANET) が注目されている。MANET では、情報を転送するルータの役割を各移動端末が果たすことで、互いの無線を直接受信できない位置に存在する端末同士が通信できる。中でも、移動端末が車両である場合は VANET (Vehicular Ad hoc Network) とよば

れ、事故情報や渋滞情報の共有によるドライバーナビゲーション、安全運転支援、ドライバー間コミュニケーション、基地局エリア拡張などへの応用など、次世代通信基盤としての期待が高まっている。低速な歩行者が保持する携帯端末などを想定している MANET と異なり、VANET では高速に移動する車両間でネットワークを構成するため、流動性が高く、ワイヤレスリンクの切断やパケット損失などが極めて高い頻度で発生する。このため、例

例えば MANET の標準的ルーティングプロトコルである AODV や OLSR など、頻発する経路切断により VANET 上では十分な性能を発揮できない。

## 2. 研究の目的

これまでは、GVGrid を含む VANET ルーティングプロトコル (GPCR, MDDV, RBM など) やアプリケーションは、それら自身が VANET の流動性に対処するように設計が工夫されてきた。しかし、個々のプロトコルやアプリケーションでネットワークの流動性を考慮した設計を逐一行なうことは、それぞれの設計開発者に負担を強いるだけでなく、流動性の予測が困難であるためにシステムの性能を保証しにくいといった課題がある。このことは VANET のアプリケーション開発や普及に大きな障壁となると予想される。そこで本研究では、アプリケーションや通信プロトコルを容易に VANET に展開できるように、VANET の流動性を隠蔽しその上位に安定して存在する静的なオーバーレイネットワークを構築する手法を提案する。このオーバーレイネットワークは、VANET を構成する車両の物理的な移動に関わらず、一定の地理区画ごとに、ルータ機能とストレージ機能を備えた静的仮想ノードを提供する。隣接区画の仮想ノード間はオーバーレイリンクで接続され、ある仮想ノードへ送信されるデータはその仮想ノードの区画の車両へと転送される。したがって、全体としてはあたかも静的なメッシュネットワークのように振舞う。

このオーバーレイネットワークを用いることで、多地点間でデータを共有するようなアプリケーション (例えば交通量情報や道路情報の相互共有) や無線スポットのエリア拡張によるインターネットサービスの提供、交通量に応じた連動信号制御など、多様なアプリケーションをあたかも静的ネットワークで実装するように実現できる。また仮想ノードは地理区画と対応しているため、GHT (Geographic Hash Table) のような地理的 P2P システムの実装も容易になるなどの利点もある。仮想ノード間のルーティングには有線ネットワークや静的な無線ネットワークで利用されている多くのルーティングプロトコルが容易に流用できる。

## 3. 研究の方法

まず、オーバーレイネットワーク基本アーキテクチャおよび各コンポーネントの設計を行う。具体的には、下位ネットワークとなる VANET の基本アーキテクチャ設計を行い、次にオーバーレイネットワークの基本アーキテクチャ設計を行う。その後、仮想ノード担当

車両選出アルゴリズムの考案を行い、仮想リンクの実現方法を検討する。また、ネットワークシミュレータによる性能評価を行い、有効性を確認する。

## 4. 研究成果

提案手法の前提条件として、各ノードは近距離デバイスを装備し、一意な ID を持つとする。また、GPS などの測位装置と電子地図を装備しているとする。電子地図は有向グラフ  $G=(E, V)$  で表される。E は道路セグメントの集合、V は交差点の集合とする。道路セグメントは隣接する 2 つの交差点間の道路を表し、各方向 1 セグメントとする。また、各セグメントには国道番号などの道路識別子が与えられているとし、各ノードは道路セグメントが同じ道路上のものかの判断が可能とする。各交差点にはその位置情報も付随しているものとする。各ノード  $u$  は測位装置と電子地図により、自身の位置  $P(u)$ 、自身の存在するセグメント識別子  $S(u)$  及び道路識別子  $R(u)$ 、そのセグメントの両端の交差点識別子及びそれら交差点の位置情報がわかっているとする。

提案手法は地理領域をグリッドに分割する。あるグリッドに隣接する周囲 8 グリッドをそのグリッドの隣接グリッドと呼ぶ。グリッドにある各ノードは隣接グリッド内のすべてのノードと通信可能なように、グリッドサイズ  $w$  と無線範囲  $r$  の関係を  $w=\sqrt{2} \cdot r/4$  と定義する。なお、グリッドサイズ  $w$  が各ノードにおいて既知の場合、経度  $x$  分、緯度  $y$  分の座標にあるノード  $v$  の存在するグリッド ID  $G(v)$  を下記のように定義する。

$$G(v) = G_x(v) * W + G_y(v)$$

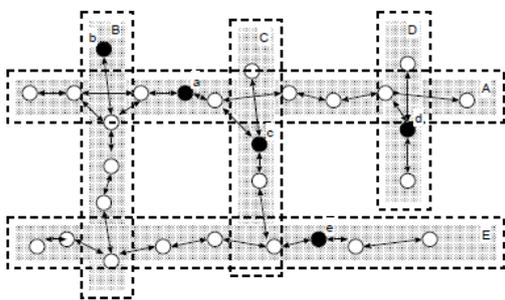
ただし、 $G_x(v)$  は  $x$  のメートル表現の  $w$  による商、 $G_y(v)$  は  $y$  のメートル表現の  $w$  による商、 $W$  は  $G_y(v)$  の最大値よりも大きい定数とする。そのため、グリッド ID は  $x$  及び  $y$  より一意に決定される。これにより、各ノードは共通パラメータ  $w$  及び  $W$  からある位置を含む一意なグリッド番号を計算することができる。

提案手法では、道路空間をサブエリアと呼ばれる部分道路に分割する (この分割はグリッドを最小単位として行う)。各サブエリアには、DSRC 路側機などの固定の無線基地局が存在するとし、これをサブエリアサーバと呼ぶ。サブエリアサーバは、自身が存在するサブエリアの領域および内部に存在する車両を把握し、後述するサブエリア内ネットワークのゲートウェイとなるとともに、隣接サブエリアサーバとの通信経路を構築、維持する役割を負う。このサブエリアサーバ間通信経路は、車車間位置情報ルーティングプロトコル GVGrid を用いて構築、維持する。したが

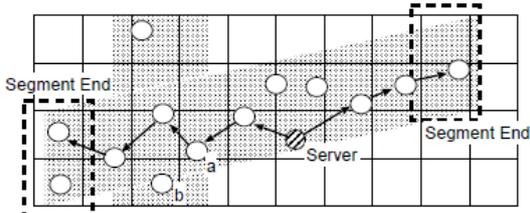
って、サブエリア間通信路（車車間マルチホップ通信路）をリンクとみなした場合に、サブエリアサーバをノードとした、静的なネットワークが仮想的に実現される。

サブエリア内では、サブエリアサーバから道路セグメントの両端グリッド（セグメントエンドとよぶ）まで、GVGridを用いて経路を構築・維持する。これをサブエリアネットワークと呼ぶ。これにより、サブエリアを覆うサブネットを構成する。あるサブエリア内の車両がいずれかのサブエリアの車両との通信を行いたい場合、このサブエリア内ネットワークに接続することで、サブエリアサーバへの到達経路を確保するとともに、サブエリア間ネットワークを用いて宛先車両への経路を確保する。宛先車両が存在するサブエリアの検索方法についてはサブエリアサーバへのブロードキャスト検索などを行うことが考えられる。

車車間ネットワークのリンク接続率については、これまでに、交差点で右左折回数が少ない場合にリンク接続率が高く、右左折の増加に対する接続率の低下が著しく見られ、右左折数が支配的な要素であることがわかってきている。また、同じ道路を走行するノード間の相対速度が低いことが、リンクの生存時間を長くすることもわかってきている。この知見を元に、提案手法では、右左折を含まない複数の道路セグメント及びそれらに接続する交差点、すなわち、道路の適当な空間をサブエリアとする。



上図では、サブエリア A は 3 つの交差点及び往復 8 セグメントからなる。固定ノード a はサブエリア A のサーバとなり、サブエリア A 内のすべての通信を取りまとめる。その他の B, C, D, E も同じく、道路ごとサブエリアに設定をした状況を表している。サブエリアは一道路上に設定しているため、サーバから両端のセグメントエンドまでのネットワークを構築すれば、サブエリア全体を覆うネットワークになると考えることができる。



また、上図のように、サーバノードは両端のセグメントエンドに対し、GVGridを使用して経路を構築する。経路上の各ノードは、自身の電波範囲内（自身のグリッドとその隣接グリッドの範囲）に対しゲートウェイ的な機能を提供する。例えば、経路上のノード a 付近のある一般ノード b がサブエリアサーバにデータを送信したい場合、b は自分の周囲にある最も近い経路ノード a に対し、送信要求を発送する。これを受信した a は b と接続を確立し、b のメッセージをサブエリアサーバに送信する。サブエリアサーバは担当サブエリアの全ノードの情報を管理する。各ノードは一定間隔で自身の位置情報を格納した Hello メッセージを周囲ノードと交換するため、経路ノードは自身の周囲にあるノードの情報を把握している。これらの情報を定期的にサーバノードに送信することで、サーバは低いコストでエリア全体のノード情報を管理することができる。ノード情報のフォーマットは

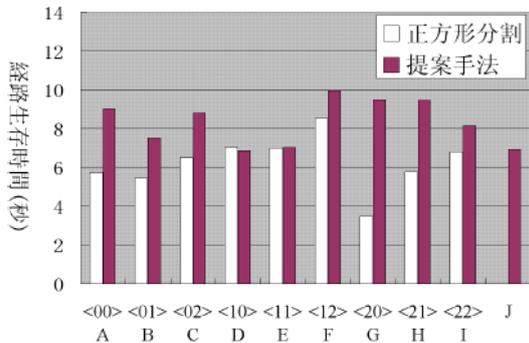
〈NodeID, x, y, SegmentID〉

である。ある一定時間車両からのノード情報が到着しなければ、サーバはノードがエリアから離脱したと判断し、エントリを削除する。

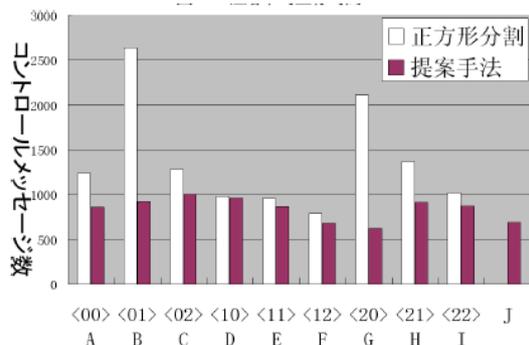
あるサブエリアサーバは隣接サブエリアのサーバへ経路を探索する際、自身の位置を s とし、隣接サブエリアのサーバの位置を G(d) と指定することで、GVGridを利用して経路を探索することができる。GVGrid は右左折交差点の最も少ない道順で車車間経路を探索するため、他の隣接サブエリアをまたがることのない経路を見付けることができる。例えば、前々図でサーバ e からサブエリア B のサブエリアサーバ b に経路を構築する際、〈e, c, a, b〉の順ではなく、E と B が共有する交差点を通過して、〈e, b〉の経路となる。実際、サーバ e はサブエリア E の両端にあるセグメントエンドまでのネットワークをすでに構築しているため、B との交差点までの部分経路としてその一部を利用できる。同様に、サブエリア B 内の部分経路として、サブエリア B 内ネットワークの一部を利用できる。したがって、新たな経路を作ることなく、E と B との交差点付近で両方のネットワークに属する共通ノードに中継させるだけで、隣接サブエリアのネットワークに接続することができる。以降、この共通ノードが交差点から離れて中継できなくなった場合、GVGridを使った両方のサブエリアの経路は、自動的にその交差点付近で代替ノードを見つけて経路を修復するため、サブエリア間のネットワークは常に維持される。このように隣接するサブエリアのサーバが接続することで、全区域のサーバが同じ仮想ネットワークに接続することになる。このネットワークのノードはいずれも固定で、各エリア内の車両は止まら

ずに移動するが、サーバ間の経路は常に維持されるため、車両の流動性が隠蔽され、仮想的な静的トポロジーを持つネットワークになる。

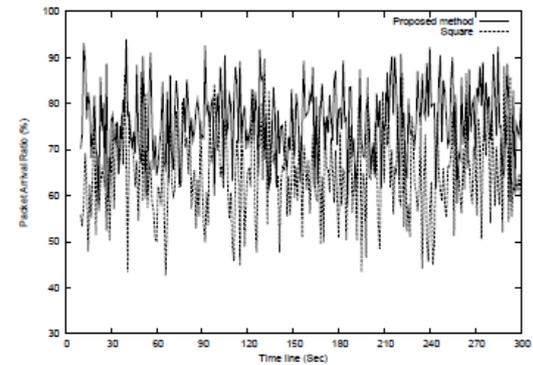
提案したオーバレイネットワークの性能を評価するため、道路形状を考慮しないサブエリア分割方法と比較実験を行った。比較対象は、地理空間を一边 400m の正方形で分割するメッシュトポロジーである。道路地図は約 1000m 四方で、同時に地図上に存在する車両が約 300 台、無線距離を 200m、グリッドサイズは 70m、またビルなどの障害物を想定し、道路 ID の異なる 2 車両間では、どちらかの車両が 2 つの道路に共有される交差点から 30m 以内に存在する場合のみ通信可能とする。シミュレーション時間は 300 秒である。比較対象のメッシュ分割は地理空間を一边 400m の正方形で合計 9 エリアに分割している。これに対し、提案手法のトポロジーは道路ごとにエリアを分割し、合計 10 エリアに分割している。サブエリアサーバの位置は両方とも手動でエリア中心位置の付近に設置した。



サブエリア内の最初に構築した経路の1ヶ所で切断が発生すれば、経路が切断すると定義し、構築から切断までの時間を経路生存時間と定義する。上図で両者のサブエリア内経路の平均生存時間の 10 回平均値を比較した。正方形分割の各サブエリアの中で<10, 11, 12>の道路が単純で、提案手法と近い生存時間を有するが、右左折交差点の多いサブエリアで経路生存時間が低く、経路切断が頻繁に発生することが原因と考えられる。これに対し、提案手法は一道路を 1 つのサブエリアとして分割しているため、車両の右左折による切断が少なく、経路生存時間も全体的に長い。



また、シミュレーションの開始から終了まで、各サブエリア内の経路構築・維持に使用するコントロールメッセージ (RREQ, RREP, RRRP, LEAVE など) の合計を維持コストと定義する。上図で各サブエリア内経路の維持コストの 10 回平均値を比較した。提案手法の経路生存時間が長いので、経路切断回数が少なく、累積維持コストも低い。正方形分割の切断回数が多いサブエリアでは、経路の修復も頻繁に行わなければならないため、経路維持コストは高い。



最後に、ある送信者から全区域に対しメッセージを配信し、そのメッセージを受け取ったノード数が全ノード数に占める比率を全区域配信到達率とする。これを測定するため、それぞれ正方形分割の<11>、提案手法の G サブエリアから全区域に対し 300 秒連続したデータを配信し、全区域配信到達率を測定した。上図より、正方形分割 (平均 65%) と比較し、提案手法は到達率が 70% から 90% の域で安定している。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Kumiko Maeda, Akira Uchiyama, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Keiichi Yasumoto and Teruo Higashino, Urban Pedestrian Mobility for Mobile Wireless Network Simulation, Ad Hoc Networks Journal, Vol. 7, No. 1, pp. 153-170, 2009, 査読有
2. 孫 為華, 福元 淳也, 山口 弘純, 楠本 真二, 東野 輝夫, A Contact-based Hybrid Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 2169-2179, 2008, 査読有
3. 山崎 亜希子, 山口 弘純, 楠本 真二, 東野 輝夫, 都市部における無線端末の移動特性を利用した情報共有方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp. 276-287, 2008, 査読有
4. Akira Uchiyama, Kumiko Maeda, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo

Higashino, Performance Evaluation of Mobile Wireless Communication and Services with Modelling of Real Environment, International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing (IJAHUC), Vol. 2, No. 4, pp. 239-249, 2007, 査読有

[学会発表] (計 8 件)

1. Akira Uchiyama, Sae Fujii, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Neighbor Selection Algorithm for Ad hoc Networks with Highly Dynamic Urban Mobility, Proceedings of the International Wireless Communications and Mobile Computing Conference 2008 (IEEE IWCMC2008), pp. 165-170, 2008 年 8 月 クレタ島
2. 桐村 昌行, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫, 車車間通信を利用した信号機制御手法の評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム論文集, pp. 1089-1096, 2008 年 7 月札幌市
3. 孫 為華, 山口 弘純, 安本 慶一, 伊藤 実, 車車間ルーティングプロトコルによる車両と基地局との通信プラットフォームの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム論文集, pp. 1097-1104, 2008 年 7 月札幌市
4. Thilmee M. Baduge, Kazushi Ikeda, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Stability Oriented Overlay Multicast for Multimedia Streaming in Multiple Source Context, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC2008), pp. 5708-5714, 2008 年 5 月北京
5. 孫 為華, 山口 弘純, 楠本 真二, 東野 輝夫, 位置情報ルーティングによる車車間オーバーレイネットワークの検討, 情報処理学会研究報告(情処技報), Vol. 2007, No. 90, pp. 33-38, 2007 年 9 月 東京都目黒区
6. 濱田 淳司, 孫 為華, 山口 弘純, 楠本 真二, 車車間アドホックルーティングプロトコル GVGrid の実装と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02007) シンポジウム論文集, pp. 540-547, 2007 年 7 月鳥羽市
7. Junya Fukumoto, Hirozumi Yamaguchi, Shinji Kusumoto, A Contact-based Hybrid Routing Strategy for Mobile Wireless Networks: Protocol Design

and Applications, Proceedings of the IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (IEEE WoWMoM2007), 8 pages, CD-ROM, 2007 年 6 月ヘルシンキ

8. Akiko Yamasaki, Hirozumi Yamaguchi, Shinji Kusumoto and Teruo Higashino, Mobility-aware Data Management on Mobile Wireless Networks, Proceedings of the 2007 IEEE 65th Semi-Annual Vehicular Technology Conference (IEEE VTC2007-spring), pp. 679-683, 2007 年 4 月ダブリン

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口 弘純 (YAMAGUCHI HIROZUMI)  
大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 80314409

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

