

## 位置情報ルーティングによる車車間オーバレイネットワークの検討

孫 為 華<sup>†</sup> 山 口 弘 純<sup>†</sup>  
楠 本 真 二<sup>†</sup> 東 野 輝 夫 <sup>†</sup>

本稿では、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、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レイネットワークを構築する手法を検討する。このオーバレイネットワークは、静的なサーバノードを位置情報車車間ルーティングプロトコルで接続することで実現し、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る舞う。このオーバレイネットワークを持ちいることで、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と考えられる。

### A Study on Overlay Networks on VANETs using Geographic Routing Protocols

WEIHUA SUN,<sup>†</sup> HIROZUMI YAMAGUCHI,<sup>†</sup> SHINJI KUSUMOTO<sup>†</sup>  
and TERUO HIGASHINO <sup>†</sup>

In this study, we propose a method to build a static overlay network over VANET. This enables us to deploy communication protocols and applications easily over highly dynamic, mobile ad-hoc networks. This overlay network is built by connecting geographically adjacent static nodes using our geographic inter-vehicle routing protocol GVGrid. Using the overlay networks, many services such as traffic information dissemination and sharing, Internet services and traffic control can be implemented and deployed, as if we implement them over static networks.

#### 1. はじめに

近年、世界各国で高度な交通システム (ITS) の実現を目指し、DSRCや VICS ピーコンなどの狭域通信機が徐々に路側や店舗などに設置されつつある。しかし、インフラの完全な整備と展開には膨大なコストと年月がかかる。さらに、維持整備コストの観点から機器の更新は安易にできないといった問題点もある。これに対し、各車両に安価な短距離無線通信デバイスを装備し、車車間で無線データ配送をバケツリレー方式で行うマルチホップ無線通信技術を利用することで、固定基地局との通信範囲を拡大する補完的な役割を持たせることなどが、車車間通信の有用な応用として考えられてきている。

マルチホップ車車間通信による情報配布や通信を扱った研究はこれまでに多く存在し、主に明示的な通信経路を決定しない手法及び決定する手法に分類さ

れる。その中で、明示的に経路を構築しないブロードキャストベースの情報散布プロトコルとして、UMB1)、MDDV2)などが知られている。UMBは各車両(ノード)が道路に沿ってなるべく遠方にあるノードにメッセージを送信し、経路のホップ数の減少を図っている。MDDVは各車両が位置情報と電子地図を利用し、道路経路に沿ったメッセージの配信経路を設定し、その道路にそったメッセージ配布を行う。

明示的に経路を構築する手法は継続的なリアルタイム通信などに向いている。GPCR3)は、通信経路に存在する障害物も迂回可能な位置情報ルーティングGPSRを車車間に応用したプロトコルで、電波の届く範囲で最も宛先領域に近い車両を転送先として選択する手法である。我々の研究グループが提案している車車間通信プロトコルGVGrid4)、5)は、なるべく多くの車両がそれに沿って移動していると想定される道路に沿った通信経路を探索することで、高い耐切断性を持つ通信経路を発見する。また、その道路上に発見した通信経路は十分な耐切断性を持ち合わせているとの仮定のもとで、その通信経路の切断時にはその道路に

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technol-  
ogy

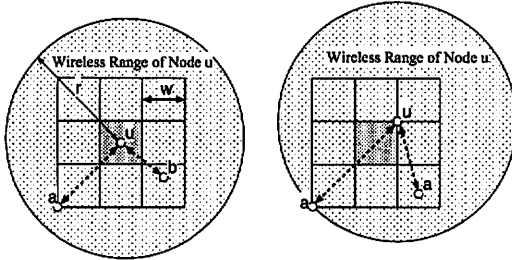


図2 グリッド

沿った通信経路を再構築する。これらにより、生存時間が長い通信経路を復元する。

これまで、GVGridを含むVANETルーティングプロトコル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、高速に移動する車両ノードの動きを隠蔽し、各ノードがあたかも静止しているような仮想ネットワークを提供することで、上位に位置するアプリケーションやプロトコルの設計開発がより容易に展開ができるようになると考えられる。

本稿では、そのような機能を提供する車車間オーバレイネットワークを構築するプロトコルを提案する。提案手法では、現実空間を道路単位に複数の領域に分割し、各区域に移動車両の協調もしくは固定局による静的な仮想ノードを実現し、広域内の任意の地点間の通信を容易にする仮想ネットワークを実現することを目的とする(図1)。これにより、静的なネットワーク用のアプリケーションやプロトコルを容易に展開させることができる考えられる。

## 2. 提案するオーバレイネットワーク

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、各方向ごと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

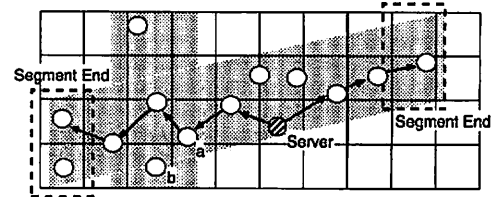


図3 エリア内のネットワーク

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(Grid)に分割する(図2)。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。図でノード  $u$  から隣接グリッド内のノード  $a$  に通信する場合、最も距離の遠い対角の位置にあっても相互通信ができるようにグリッドサイズ  $w$  を設定することで、隣接グリッドとの通信を保証するものとする。

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、我々の研究グループで提案している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、サブエリアサーバをノードとした静的なメッシュ状の

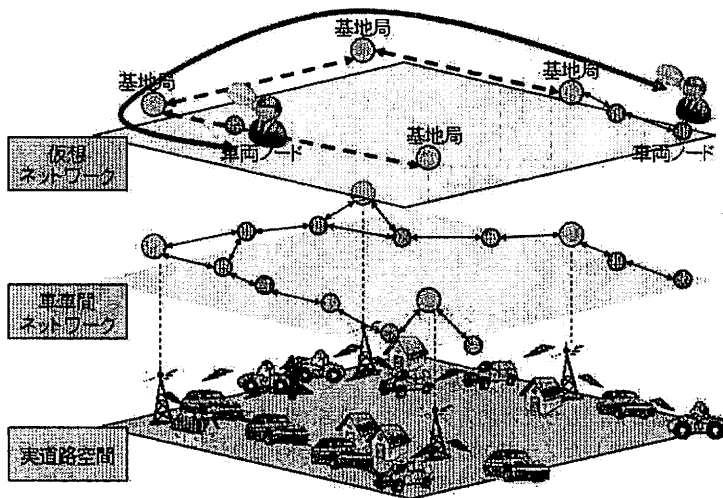


図1 オーバーレイネットワークを応用した車間通信

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。また、アドレッシングについては現在検討中であるため、本研究ではふれないものとする。

### 2.1 GVGrid

GVGridは、車両密度の高い都市部などを対象とした位置情報ベースの車間ルーティングプロトコルであり、固定送信元 $s$ から目的地座標 $d$ を含むグリッド $G(d)$ への通信経路をオンデマンドに構築する。道路に沿って移動するという車両の移動特性を考慮し、道路に沿った通信経路を探索することで耐切断性の高い通信経路の構築を実現している。GVGridは、初期経路を構築するための経路探索プロセスと、経路切断時に再構築するための経路維持プロセスからなる。

**経路探索プロセス:**送信元ノード $s$ が目的地座標 $d$ までの通信経路を構築する際、 $G(s)$ と $G(d)$ を含む最小の長方形領域を転送領域として設定し、この領域

内でのみRREQメッセージを転送する。

$s$ は、転送領域に含まれる各隣接グリッドからノードを1つずつ選択し、RREQメッセージを送信する。RREQメッセージを受信したノードが同様にRREQメッセージを転送していく。各ノードはRREQメッセージを転送する際は、RREQメッセージ内に自身のノードIDとグリッドID(道路経路に関する情報として)を追加する。 $G(d)$ の隣接グリッドに存在するノードがRREQメッセージを受信すると、 $G(d)$ 内に存在するノードのうち、もっとも車両IDの小さなノード(以下、このように $G(d)$ を代表するノードを $d'$ とし、目的地の代表ノードと呼ぶ)へRREQメッセージを転送する。 $d'$ は最初のRREQメッセージを受信後、一定時間他のRREQメッセージを待つ。そして受信した複数のRREQメッセージの中から、最もその生存時間が長いと想定される経路を1つ選択し、その経路を用いてRREPメッセージを $s$ へ送信する。RREPメッセージには、RREQメッセージの通信経路に関する情報がコピーされており、RREPメッセージを受信した各ノードはRREPメッセージ内の情報から自身の前後ノードのIDとグリッド列を記録し、後方ノードへ転送する。

**経路維持プロセス:**経路構築プロセスによって構築された経路は、中間ノードや $d'$ の移動により切断される。経路中のノードが切断を検出した場合、自身が現在存在しているグリッドが記録していたグリッド列に含まれないと判明すれば、リンクがまだアクティブである隣接ノードに対してLEAVEメッセージを送信

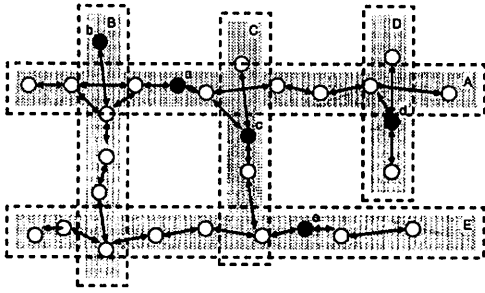


図4 サブエリアの分割例

し、通信経路から離脱する。LEAVEメッセージを受信したノードは同様に記録しているグリッド列上に存在しない場合はLEAVEメッセージを送信し離脱する。前方ノードとのリンクが切断した、もしくは前方ノードからLEAVEメッセージを受信したノードが離脱せずに残った場合は、経路の再構築を行うために自身の存在するグリッドの前方グリッドから代替ノードを選択し、自身が記録しているグリッド列を含むRRPRメッセージを送信する。その際、前方グリッド内に切断した通信経路をキャッシュしているノード、つまり前方ノードとのリンクが存在するようなノードが存在すれば優先して選択することで、残存経路を利用することができる。通信経路をキャッシュしているノードもしくはG(d)から新たなノードが見付かると再構築が完了する。

これらの詳細については文献4)、5)を参照されたい。

## 2.2 サブエリアの分割及びエリア内の通信

我々は、車車間ネットワークのリンク接続率については、文献4)で考察を行っている。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示している。

この考察を元に、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。この区間長についてはどの程度が適切かを今後シミュレーション等で検討するが、図4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。

サブエリアの端の部分にセグメントエンド(SE)と

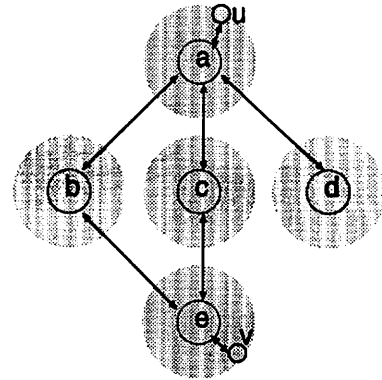


図5 仮想ネットワーク(オーバーレイネットワーク)

呼ぶ。サブエリアは一道路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。図3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、送信要求を発生する。これを受信したaはbとコネクションを確立し、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

$\langle \text{NodeID}, x, y, \text{SegmentID} \rangle$

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。

## 2.3 サブエリア間の通信

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、図4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、 $\langle e, c, a, b \rangle$  の順ではなく、E と B が共有する交差点を通して、 $\langle e, b \rangle$  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(図5)。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。

仮想ネットワーク上でアプリケーションやプロトコルを展開する際、下位の車両の動きを意識しなくても、静的なネットワークと同じ要領で操作することが可能と思われる。例えば、図5のエリア A にあるノード  $u$  からエリア E にあるノード  $v$  に送信する例を考える。 $u$  はまず自身のサブエリアのサーバ  $a$  にマルチホップ車間リンクを利用して接続し、 $a$  に  $v$  の ID を指定したメッセージを送信し、 $a$  は  $v$  が自身の管理するエリアのノードではないと判断し、隣接エリアサーバ  $b, c, d$  に問い合わせメッセージを出す。 $b, c$  も自身の管理するノードでないと判断し、さらに隣接エリアサーバの  $e$  に送信する。 $d$  は  $a$  の他に隣接サーバがないため、探索失敗の通知を  $a$  に送信する。 $b, c$  より問い合わせメッセージを受信した  $e$  は自身の管理するノードと判断し、 $b, c$  にその旨を通知し、さらに  $a$  に到達する。これにより、 $a$  は  $b, c$  のいずれかのルートを経由して  $e$  に  $u$  のメッセージを送信し、 $e$  はこれを  $v$  に配達することで、仮想ネットワークを経由した通信が成立する。

### 3. 実験と考察

提案したオーバー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

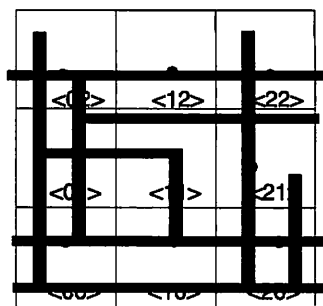


図6 正方形サブエリア分割例

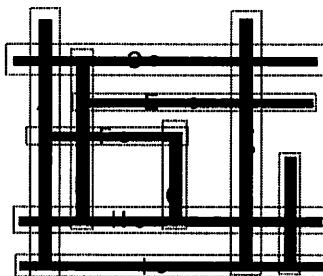


図7 提案手法サブエリア分割例

較実験を行った。比較対象は、地理空間を一辺 400m の正方形で分割するメッシュトポロジーである。道路地図は道路交通流シミュレータ NETSTREAM6) を利用して作った。約 1000mx1000m 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(図6)は地理空間を一辺 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(図7)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。

#### 3.1 各サブエリア内経路の平均生存時間

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。図8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  $\langle 10, 11, 12 \rangle$  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1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

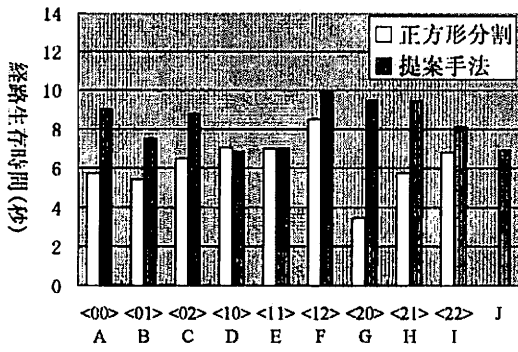


図8 経路平均生存時間

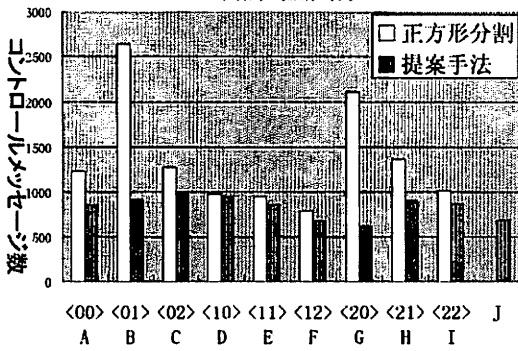


図9 経路維持コスト

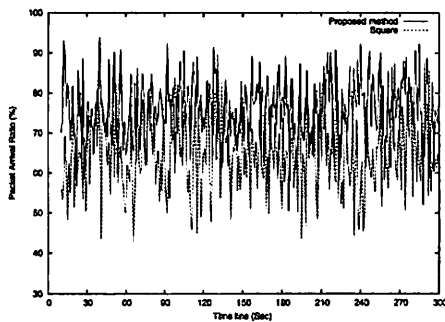


図10 全区域配信到達率

なく、経路生存時間も全体的に長い。

### 3.2 各サブエリア内経路の維持コスト

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。図9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と、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。

### 3.3 全区域配信到達率

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。図10では、正方形分割平均65%より、提案手法は到達率が70%から90%の域で比較的安定している。

## 4. 結論

本稿では、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検討している。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い、各サブエリア内の経路平均生存時間、経路維持コスト及び全区域配信到達率において、提案手法のよい性能を確認した。

今後の課題として、ホップ数のサブエリアへの影響の検討、宛先車両のアドレッシング、その他既存オーバーレイネットワーク構築手法との詳細比較実験も予定している。

## 参考文献

- 1) Korkmaz, G., Ekici, E., Ozguner, F. and Ozguner, U.: Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems, *Proc. of the 1st ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004)*, pp.76-85 (2004).
- 2) Wu, H., Fujimoto, R., Guensler, R. and Hunter, M.: MDDV: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks, *Proc. of the 1st ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004)*, pp. 47-56 (2004).
- 3) Lochert, C., Mauve, M., Fusler, H. and Hartenstein, H.: Geographic routing in city scenarios, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, pp.69-72 (2005).
- 4) Sun, W., Yamaguchi, H., Yukimasa, K. and Kusumoto, S.: GVGrid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks, *International Workshop on Quality of Service (IWQoS2006)* (2006).
- 5) 孫 為華, 山口弘純, 楠本真二: 安定性の高い経路を構築する車車間ルーティングプロトコル, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2141-2150 (2006).
- 6) Teramoto, E., Baba, M., Mori, H., Kitaoka, H., Tanahashi, I. and et. al, Y.N.: Prediction of Conditions for the Nagano Olympic Winter Games Using Traffic Simulator NETSTREAM, *Proc. of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, pp.1801-1806 (1998).