

## 宛先端末の移動予測を用いた無線アドホックネットワークにおける Carry and Forwardに基づく経路制御に関する一検討

村井翔悟† 石原進††

筆者らは、アドホックネットワークにおいて任意の端末からの Geocast によるデータ要求に対して、応答が要求の逆経路に従い返信される環境を想定した位置依存情報共有アプリケーションの利用を検討してきた。このようなシステムを車々間アドホックネットワークで用いることを考える。車々間アドホックネットワークでは、交差点付近では車両密度が高いため、端末間の持続性が維持されるが、それ以外の場所では車両密度の変化によって持続性の維持が困難である。このような環境では Geocast での要求及びそれに対する応答の到達性が低くなってしまふ。この問題に対し、端末間の直接通信ができない場合、端末自身の移動によりメッセージを運搬する Carry and Forward という手法がある。Geocast による要求メッセージを送る場合、Carry and Forward の実現は比較的容易だが、それに対する応答を要求者に返信するのは、要求者が移動する場合容易ではないと考えられる。そこで本稿では、Carry and Forward に基づく Geocast を要求送信時のみならず応答返送時にも使うことを検討する。また時間経過と共に要求者が要求発生位置から移動することを考慮に入れる。応答転送端末は応答を転送する度に、要求者の移動先を予測することで信頼性の向上を計る。

### A study on the path control with carry and forward that forecast the movement of the node on mobile ad hoc network

SHOGO MURAI<sup>†</sup> and SUSUMU ISHIHARA<sup>††</sup>

We have been examining the use of the a system to share location-dependent information on ad hoc networks. We assume a request messages are sent to an interested location by geocast and the reply message from a node which is located at the interested location is sent back to the requesting node. The reverse route of the request message. If such a system is used on vehicular ad hoc networks, it is difficult to send geocasting message due to the small connectivity at areas where the density of vehicles is low. To solve this problem, it is proposed that using carry and forward for forwarding packets. When carry and forward is used, if a forwarding node has no neighbor to route a packet, the node carries the packets until a new neighbor appears. It is easy to use carry and forward to send request messages. However it is difficult to use it for sending reply messages because the requesting node may move from the origine position. In this paper, we propose a scheme to use carry and forward for sending reply messages. In the proposed scheme, forwarding nodes predict the current position of a requesting node and forward in packets using GPSR and carry and forward. We conformed the basic characteristics of the scheme by simulation.

#### 1. はじめに

既存のインフラを利用することなく無線端末のみで一時的なネットワークを構成するアドホックネットワークが、災害時やインフラが整備されていない場所でも使えるネットワークとして注目されている。アドホックネットワークは通信を行う端末同士が直接通信可能でない場合でも、他の端末を中継することにより間接的な通信が可能であるため、遠距離の情報を取得する手法として期待されている。

筆者らは移動端末間でアドホックネットワークを構成し、各端末が移動先で収集した特定位置に関連付けられた情報(以下、位置依存情報)を共有するアプリケーション(SOLA

: System for Sharing Objects with Location information on Ad hoc networks)の利用を検討している(図1)。

SOLAではGeocast<sup>1)</sup>により要求を送信することで位置依存情報を共有する。従来のSOLAでは、任意の端末が特定位置の端末に対し要求の送信を行う際にフラッディングベースのGeocastを採用していた。また、要求に対する応答には要求時の逆経路を応答経路としていた。しかし遠距離通信や端末密度が高いネットワークを想定した場合、フラッディングベースのGeocastでは冗長なパケットが多く、通信時のトラフィックが増加してしまう。また、端末密度が疎の場合、自身の通信範囲に転送先となる端末が存在せずメッセージの転送経路が途切れてしまう問題がある。さらに、移動速度が速い車々間通信を想定した場合、端末の移動に伴うネットワークポロジの変化が起りやすい。そのため特定位置の端末から位置依存情報を取得しようとした場合、事前に探索した特

† 静岡大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Shizuoka University

†† 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

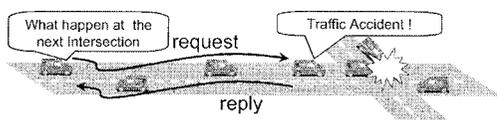


図1 アドホックネットワークにおける位置依存情報共有システム (A System for Sharing Objects with Location Information on Ad-hoc Networks)

定の経路を維持した通信が困難である。このような環境で要求時の逆経路を応答の返送に使用した場合、要求時に使用した経路情報は信頼性が低く、動的な経路制御が必要となる。

これらの問題の解決策として、本稿では無線アドホックネットワーク上で位置依存情報を共有する際の要求及び応答メッセージの送信における経路制御に着目し、通信の信頼性の向上と効率化を目的とした Carry and Forward (CaF) によるユニキャストベースの Geocast を用いて移動端末の位置予測に基づく動的な経路制御手法を提案する。

以下、2章に関連研究、3章に従来の SOLA における経路制御手法とその問題点を述べ、4章に従来の経路制御の改善案となる応答返送時における要求元端末の移動を予測した経路制御手法を述べる。5章でシミュレーション評価の方法を説明し、6章でその結果を示す。最後に7章で本稿のまとめを述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 Geocast に基づく経路制御

Geocast はフラッディングベースとユニキャストベースの手法に大別される。フラッディングベースの Geocast はフラッディングを用いて複数の経路でメッセージを Geocast Region に転送する。フラッディングベースの Geocast の一例として、Location Based Multicast (LBM)<sup>2)</sup>がある。LBM は、送信元端末と目的地を含む Forwarding Zone と呼ばれる領域内に存在する端末のみに転送を行う端末を限定することでフラッディングを効率化しつつ目的地に要求を届ける手法である。

一方、ユニキャストベースの手法は、hello パケットを用いて近隣端末と互いの位置情報を交換しておき、近隣端末の中で転送する端末を選択し、ユニキャストでメッセージを転送する。最も単純なユニキャストベースの経路制御には Greedy Forward がある。Greedy Forward では、宛先方向に最も近い隣接端末を次の転送先とするが、宛先方向の隣接端末がない場合には通信が途切れてしまう問題がある。このような問題に対し、目的方向の隣接端末が存在しない時には自身の通信範囲内で迂回路を探索する GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)<sup>3)</sup>が提案されている。迂回路を使用している状態を Perimeter モード

といい、Greedy Forward と同じ動作をする状態を Greedy モードと呼ぶ。GPSR ではメッセージを受け取った端末の通信範囲内に隣接端末が存在しない場合、通信が途切れてしまい次端末へメッセージを転送することもなくメッセージが破棄されてしまう問題がある。

この問題の解決策として、隣接端末が存在しない場合には、メッセージを保持したまま自らが運び、自身の通信範囲内に隣接端末が現れたときに転送を再開する Carry and Forward (CaF) を用いた手法がある<sup>4)</sup>。CaF を用いた経路制御の例として、Zhao らは、デジタルマップに基づく車両密度の情報と交差点での隣接車両位置と移動方向の情報を用いた CaF による経路制御手法を提案している<sup>7)</sup>。また Little らは、同方向に移動する端末でクラスターを形成し、そのヘッダーとなる端末が CaF により次のクラスター内の端末と通信を行う手法を提案している<sup>6)</sup>。これらの Geocast 手法は主に位置が固定された宛先への要求送信時に使用される経路制御である。一方、彼らの論文では要求に対する応答を受け取る移動中の端末への応答返送時における経路制御については述べられていない。そこで本稿では、応答の返送時に Geocast に基づく経路制御手法を使用することに焦点を当てる。

## 3. 無線移動端末間通信を想定した情報共有時の経路制御手法

本章では従来の SOLA での経路制御手法とその問題点について述べる。

### 3.1 前提条件

SOLA では移動無線端末がアドホックネットワークを構成し、各端末が移動先で取得した位置依存情報を固定のサーバを用いることなく他の端末と共有する環境を想定している。各端末は自身の現在位置、移動方向、移動速度を知ることのできるデジタルマップを持っていることとする。SOLA では固定のサーバがないため、各端末は他の端末が保持している情報を知ることができない。そこで SOLA では、特定位置に関連付けられた情報なら、その位置にいる端末が情報を保持していると仮定する。特定位置の情報を得ようとする要求者は、その位置に向けて Geocast により要求を送信する。要求メッセージの内容に見合う情報を持っている端末がメッセージを受信した場合、要求元端末に対し要求送信時に使用した逆経路に従い応答メッセージを返送する。

### 3.2 位置ベースルーティングの問題

位置依存情報を共有する際、要求送信時に使用される Geocast にはフラッディングベースとユニキャストベースを用いた手法がある。要求時の経路制御にフラッディングベースの Geocast を使用した場合、要求が要求先の地域に到達するまでに多くの端末が要求を受け取るため、要求に合った情報を保持している端末への高い要求到達

率が期待できる。しかし冗長なパケットが多いため、通信トラフィック削減の観点から遠距離通信や端末密度が高いネットワークで、この方法を使用するのは好ましくない。

一方、ユニキャストベースの Geocast を使用した場合、限られた端末のみにパケットが転送されていくため通信トラフィックを抑えることが出来る。しかし限られた端末にパケットが転送されるため情報保持端末への要求到達率がフラッディングベースの手法と比較して低くなる事が考えられる。

そこでユニキャストベースとフラッディングベースの経路制御の併用を考える。要求メッセージを転送する端末は、メッセージが宛先位置の付近に達するまでユニキャストベースの経路制御を続け、宛先位置の付近の限られた範囲にメッセージが達したところでフラッディングを行う。こうすることでトラフィックの増加を抑えながら、目的データを保持している端末までの要求到達率の向上が期待できる。しかしながら市街地等での車々間通信のように、交差点とそれ以外の場所で車両密度に大きな差がある場合、パケットを転送する端末の周りに隣接端末が存在しない状態が存在すると予想される。このような場合、単一な経路を利用する単純なユニキャスト送信では、転送可能な隣接端末が存在しないときに通信が途切れてしまう。そこで通信の信頼性を向上させるために CaF によるユニキャスト通信を経路制御に導入する。

前章で述べたように SOLA 環境での経路制御について、応答返送時に Geocast を使用する手法は考えられていない。端末の移動が激しくトポロジが頻繁に変化してしまうような環境、特に CaF で要求が届けられる場合は、端末が移動することを前提としているため、応答の返送に単純に要求の転送経路の逆経路を利用することは困難であると考えられる。そこで要求応答送信時に要求元端末の位置に向かい Geocast を使用することで応答メッセージの到達性が向上することが期待される。

#### 4. Carry and Forward 経路制御に基づく要求・応答転送手法

これまでの Geocast 手法では、主に固定された宛先へのパケット送信を前提としていた。SOLA で移動する端末間で情報を共有する場合、要求の送信は、特定の ID の端末ではなく特定の位置にいる端末に向けて行えば良いので、従来の Geocast の考え方が利用できる。しかし、応答の場合は、移動中の端末に向けてパケットを送る必要がある。要求の送信に CaF を使う必要がある場合や、端末の密度が低い、あるいは粗密のばらつきが大きい場合、単純に要求時の逆経路を使うことはできない。なぜならその逆経路は車両の移動によってネットワークトポ

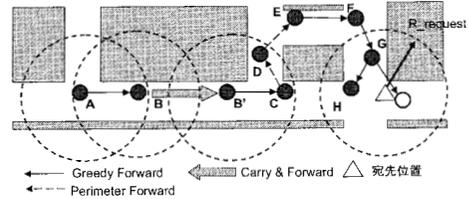


図 2 要求送信時の経路制御

ロジが変更されたものを含むため、返送時には使えない可能性が高いためである。また、従来の Geocast を用いる場合でも、端末が移動してしまっている単純に要求送信時の端末位置を宛先として使ったのではパケットが要求元の端末へ返送されない可能性が高い。

そこで、要求元端末の移動を予測し、GPSR と CaF により応答メッセージを移動予測範囲に向けてユニキャスト送信することでメッセージの到達性を向上させる手法を検討する。また要求元端末の予測位置の誤差を補うため、移動予測範囲同範囲内でのフラッディングによるメッセージの転送を行う。以下に要求送信時及び応答返送時の経路制御について述べる。

##### 4.1 要求送信方法

要求の転送には通信トラフィックを抑え、なおかつメッセージの到達性を保障することを目的として CaF を併用した GPSR を使用する。また情報保持端末へのメッセージの到達性を高めるため宛先領域内でのフラッディングを行う。

GPSR は定期的に Hello パケットを隣接端末と交換することで隣接端末の位置情報を取得し、その情報を元にルーティングを開始する。以下に要求時の経路制御の手順を示す。また具体例を図 2 に示す。

- (1) 位置依存情報の要求者及び中継ノードは GPSR に従ってメッセージを目的先の領域に向かい転送する。
- (2) GPSR での処理で宛先への経路が発見できなくなったとき、新たな隣接端末が現れるまでメッセージの転送を  $t[s]$  間延期する(図 2 B → B')。
- (3) 転送の延期期間中に端末の通信範囲内に、以前は存在していなかった端末を発見したら GPSR に基づき Greedy モードで転送を再開する。
- (4) 宛先の領域内にいる端末がメッセージを受信したら、その領域内でフラッディングを行う。

##### 4.2 応答返送方法

###### 4.2.1 要求元端末の移動予測に基づく経路制御

Geocast と CaF を用いた応答時の経路制御手法について述べる。応答の返送時に宛先を単純に要求発生位置にしてしまうと、要求元端末が移動してしまった場合、応答メッセージの到達性の低下が考えられる。そこで要求元端末の移動先を予測してこれを宛先とする。中継端末

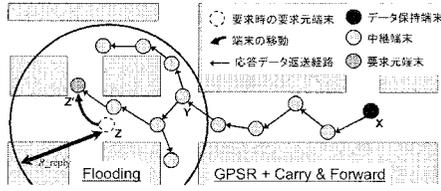


図3 応答転送時の経路制御

は要求元端末の移動予測範囲(後述:4.2.2)を推測し、その範囲に向けてGPSRに基づくCaFによりメッセージの転送を行う。また要求元端末の予測位置の誤差を補うため、移動予測範囲内でフラッディングを行う。以下に応答返送時の経路制御の手順を示す。

- (1) 要求を受信したデータ保持端末は、要求元端末の予測位置範囲の中心に向け、GPSR及びCaFに基づく経路制御に従って返送データを転送する(図3:X~Y)。
- (2) 中継端末は、自身が要求元端末の移動予測範囲内にいることを判定した場合、同範囲内でフラッディングを行う(図3:Y)。

なおGPSRからCaFへの移行処理の詳細については4.3節に後述する。

#### 4.2.2 要求元端末の移動範囲の推測方法

移動予測範囲を決定する際の前提条件として、要求元端末は要求メッセージに自身の移動速度、要求送信時の位置、移動方向、現在の時刻を付加するものとする。情報保持端末と応答メッセージの転送を担う中継端末は中継のたびに、これらの情報を元に要求元端末の移動先範囲を予測する。情報保持端末は、要求元端末の過去 $\tau$ [s]間の平均移動速度 $v$ と、要求発生時刻 $T_0$ から現在時刻 $t$ までの要求元端末の予測移動距離 $L$ を求める。端末の平均移動速度を指標として使用しているため、 $L$ の推定誤差は予測距離の2倍以下になると仮定し $a(1 \leq a \leq 2)$ をパラメータの補正値とすると

$$L = av(t - T_0) \quad (1)$$

となる。求めた値を元に要求元端末の移動予測地点、また移動予測範囲を求める。要求元端末の移動予測地点の決定方法は、カーナビゲーション等の地図情報を基にした予定移動経路の有無により異なる方法が考えられる。

##### ● 予定移動経路が既知の場合(図4)

地図情報が利用可能で要求元端末の予定移動経路が既知である場合、予測移動距離 $L$ の値から応答送信開始時における要求元端末のおおよその位置が予測できる。この求めた位置を包含する領域を移動予測範囲とする。応答メッセージを転送する中継端末は、要求発生からメッセージの転送開始までにかかる経過時間に基づき、要求元端末が移動することができ

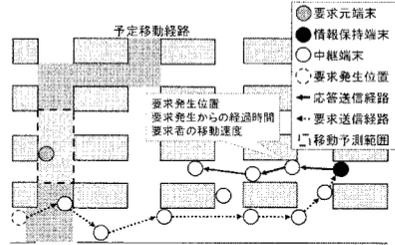


図4 予定移動経路が既知の場合における予測移動範囲

る距離の再計算を行い、これに基づいて移動予測範囲を修正する。

このときの要求元端末の移動予測範囲の決定方法について具体例を図4に示す。要求を受け取った情報保持端末及び応答を中継する端末は、要求メッセージに含まれている要求元端末の位置、時刻情報と応答転送開始時の自身の位置、時刻を式(1)に代入し、要求元端末の予測移動距離を求める。求めた距離と地図情報から予測経路上の移動予測位置が求められる。このようにして求めた予測位置を中心とした半径 $r$ [m]の円を要求元端末の移動予測範囲として扱う。

##### ● 予定移動経路が未知の場合(図5)

要求元端末の予定移動経路が未知である場合、情報保持端末及び中継端末は要求発生から応答メッセージの転送までの経過時間から、その時間内に要求端末が移動可能な距離を、要求発生位置を中心とした周囲の道全てに対して求める。図5では、濃灰色の領域が移動予測範囲となる。中継端末は、メッセージ転送を行う度に移動予測範囲を修正し、更新移動予測範囲は要求発生位置の領域を中心とした円状の範囲に拡大する。

なお、上記のいずれの場合においても、過度に長い応答時間によって移動予測範囲が拡大しすぎてしまうことを防ぐために、応答返送時間の上限を設ける。

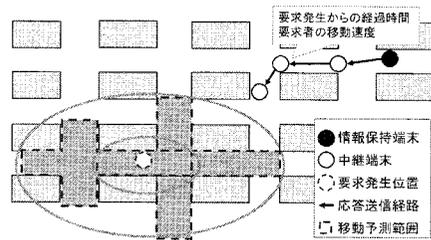


図5 予定移動経路が未知の場合における予測移動範囲

#### 4.3 Carry and Forwardの使用条件

4.1, 4.2章で述べたメッセージの返送方法では、メッセージの転送先となる隣接端末が存在せずGPSRが使用できない場合、GPSRからCaFへ移行し、転送可能な隣

接端末が現れたところで GPSR での転送を再開するものとしていた。しかし転送先の端末が、自身より宛先から遠い場合、もしくは宛先の位置から離れていく場合、その端末を転送相手として選ぶのは好ましくない。そこで Carry の継続時間や転送を再開する際の転送相手の選出が重要となる。ここでは検討すべき CaF の仕様について、以下に方式を挙げる。なお GPSR を用いる場合、隣接端末の情報はすべて Hello パケットにより管理されているため CaF におけるプロトコルについてもこれを利用する。

- Hello Interval 方式

この方式では CaF に移行した後、Hello パケットの間隔と同時刻だけメッセージ転送を待ち、その後 GPSR での転送を試みる。自身の隣接端末情報に隣接端末が存在していない場合には、再び Hello パケットの間隔だけメッセージの転送を待機させる。Hello パケットの間隔の間待つことにより、新たな隣接端末情報を複数得ることができる場合、より適切な転送先の端末を選出できる。

- New Hello 方式

この手法は CaF に移行した後、新たな隣接端末から Hello パケットを受け取るとまでメッセージの転送を待ち、新規 Hello パケットを取得したところで、直ちにその Hello を送信した相手にメッセージの転送を試みる。HelloInterval 手法に比べ転送再開時刻が早くなることが考えられる。

- Conditional New Hello 方式

New Hello 方式は転送先の選択肢がないため、Hello パケットの送信元が自身より宛先から離れている場合や、宛先から遠ざかる方向に移動している場合にはネットワーク全体としてのメッセージ転送が遅れてしまう可能性が考えられる。

そこで New Hello 方式に転送先端末の選定について条件を加える。具体的には、メッセージ転送を再開する際に送信者となる端末と転送先端末の位置情報を基に、位置・進行方向共に宛先方向に近づいている場合には転送を再開し、そうでない場合には転送を待つ。

## 5. シミュレーションによる評価

応答メッセージ転送時の経路制御は要求転送時の処理の特殊な場合とみなせるので、応答送信時の処理に注目して評価を行った。今回は要求メッセージ転送のためのトラフィックは発生させず、情報保持端末は既に要求を受け取ったものとして扱い、単に応答メッセージが要求元の端末に返送される環境を想定した。また Geocast と CaF を併用することによる通信の効率化に重点を置き、移動する宛先への転送手法として CaF を利用する各手法の基

礎的な評価を行うため、宛先端末の移動位置はすべての端末が既知であることとした。

この環境で、任意の端末が特定の移動端末に対しメッセージを送信したときの通信遅延とメッセージの到達性、通信トラフィックを評価するためシミュレーションを行った。なおシミュレータには JIST/SWANS<sup>8)</sup> を用いた。

### 5.1 シミュレーションモデル

1000[m] × 1000[m] の 2 次元平面上に 100~200 台の端末がいると想定した。すべての端末は受信・送信・移動が可能であるが、宛先となるノードと、その宛先の端末に向けてメッセージを送信するノードは、後述するメッセージ送信モデルに従ってそれぞれ動作させる。残りの端末はメッセージの中継のみを行う。MAC 層プロトコルには IEEE802.11b を用い、通信帯域を 11[Mbps]、通信可能半径を 100[m] とした。メッセージ転送におけるのトランスポート層プロトコルは UDP を用いた。ルーティングはアプリケーションレベルで行い、アドホックネットワーク用の IP ルーティングプロトコルは使用していない。これは端末の位置情報およびメッセージの目的先が自身であるかどうかの判定をメッセージの転送時にアプリケーションレベルで行うためである。

### 5.2 移動モデル

各端末はランダムウェイポイントモデルで移動するものとする。なお端末の移動速度は [5,10],[15,20](m/s) の 2 つのパターンで移動する場合を想定した。また、ランダムウェイポイントモデルにおける Pause Time は 0 秒とした。

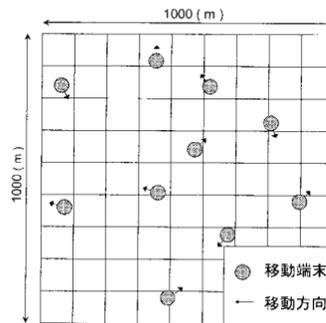


図 6 各端末の移動モデル

### 5.3 メッセージ送信モデル

メッセージ送信を開始する端末は、領域内の全端末の内、1 割がランダムで選出される。また、選出されたメッセージ送信端末はランダムに宛先を選出し、平均 60 秒のポアソンモデルに従い、メッセージを宛先端末に向けて送信する。本来、中継端末は何らかの知識によって宛先端末の位置を予測することになるが、今回のシミュレーションでは全端末は宛先端末の現在位置を完全に分かるもの

とした。送信されるメッセージは端末位置とメッセージの発生時刻を含み、UDP、IP ヘッダを含めて 1000bytes のパケットで配送されるものとする。

#### 5.4 評価指標

シミュレーションに用いた評価指標を以下に示す。

- メッセージの到達率  $A_s$  (Access success ratio)

$$A_s = \frac{A_c}{S_c} \quad (2)$$

$S_c$  (Send message count) は、任意の端末がメッセージを送信した回数の総和であり、 $A_c$  (Access success count) は応答メッセージが目的先の端末に到達した回数の総和である。

- 通信トラフィック  $T_r$

任意の端末がメッセージを送信して、宛先となる特定の端末がそれを受け取るまでに転送されたメッセージの総数。

- メッセージ転送遅延  $T_d$  (Transfer delay)

メッセージ送信端末から送信されたメッセージの内、目的先端末の受信が成功したものに関し、メッセージが送信されてから受信するまでにかかった時間の長さ。

メッセージの有効期限はメッセージの送信者がメッセージを送信してから 20[s] とした。

i) CaF の併用効果, ii) 宛先周辺でのフラッディングの効果の観点から評価を行うために以下の手法の性能を比較した。

- GPSR

各端末は GPSR に従って、メッセージを転送する。

- GPSR + CaF (Hello Interval, New Hello, Conditional-New Hello)

各端末は CaF を併用した GPSR に従い、メッセージを転送する。CaF によるメッセージのキャッシュ可能時間は設定せず、Carry に移行後、メッセージの有効期限までメッセージを保持していた場合には破棄する。また今回は、Conditional-New Hello 手法について、転送再開の選択は端末の位置情報のみで判断するものとする。これは、端末の移動にフリースペースでのランダムウェイポイントモデルを想定しているため、端末の移動方向を知ることは困難であるためである。

- GPSR + CaF + Flooding

上記の CaF を利用した各手法に加え、宛先端末の移動予測範囲内の端末によるフラッディングを行う。今回使用するフラッディングの範囲は、端末の平均移動速度を  $v$ 、現在時刻を  $t$ 、メッセージ転送開始時刻を  $T_1$ 、通信可能距離を  $D_r$  として

$$r = \min(v(t - T_1) + D_r, 2D_r) \quad (3)$$

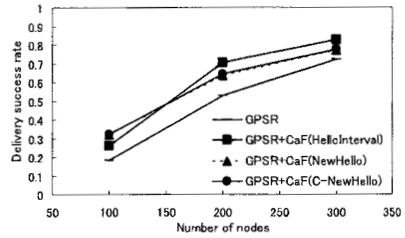


図7 端末数とメッセージ到達率の関係 (端末速度 5-10[m/s])

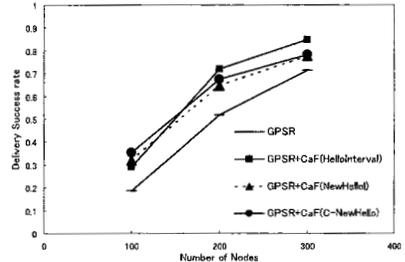


図8 端末数とメッセージ到達率の関係 (端末速度 15-20[m/s])

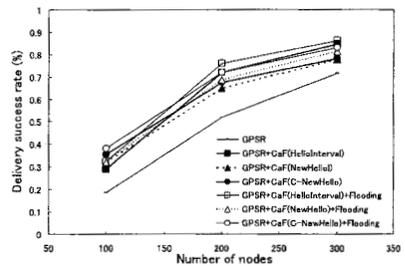


図9 端末数とメッセージ到達率の関係 (端末速度 15 - 20(m/s))

とした。最大値を  $D_r$  の 2 倍としたのは、宛先位置から最大 2hop 先の端末に限ることで、できるだけ冗長な転送を抑えるためである。

フラッディングの対象となる範囲は宛先端末の位置座標なお GPSR における Hello パケットの送信間隔は 0.5[s] とする。また Hello パケットのトラフィックは定常的なものであり評価指標に含めない。

## 6. シミュレーション結果と検討

本章では、提案した各手法のシミュレーション結果に基づく、各提案手法の検討について述べる。以下の結果はシミュレーションエリアにいる端末台数を 100 から 300 台まで 100 台間隔に変化したものである。

### 6.1 メッセージ到達率

図 7、図 8 はそれぞれ端末速度を 5-10[m/s]15-20[m/s] としたときの、CaF を利用した手法について端末台数と宛先端末へのメッセージ到達率の関係を示している。ま

た図9は端末速度を15-20[m/s]としたときにフラッディングを追加したものを評価したグラフである。図9を別に用意したのは図8の可読性を保つためである。CaFを利用することにより、通常のGPSRに比べてメッセージ到達率が向上していることが分かる。また宛先付近でフラッディングを行う場合、フラッディングを行わない手法に比べて約5%ずつ到達率が上昇していることが分かる。このことから宛先端末付近でのフラッディングが有効に機能していると言える。

端末数が200, 300台の場合、Hello Interval手法が高いメッセージ到達率を示している。これはネットワーク全体としての密度が比較的高い場合、中継端末がCarryに移行後、Hello間隔だけ転送を延期することで、より効率的な経路を発見できるためである。しかし端末数が100台の場合、ネットワーク密度が疎であるため新たな端末が自身の通信範囲内に入る可能性が低い。そのためCarryに移行後、Hello間隔毎に転送可能な端末がいるか判断するより、新たな端末が現れた時点で転送を再開するNew Hello手法のほうがメッセージの到達率が高くなる。

またNew Hello手法と比較してConditional-New Hello手法は、僅かながらメッセージ到達率が高くなった。これは後者ではCarry後の転送再開時の転送先を宛先の位置に近い端末に限定することで、パケットを確実に宛先へと近づけるためである。なお今回使用したConditional-New Hello手法の転送再開相手の判定は、端末の進行方向を考慮していない。しかし転送再開相手の進行方向を考慮している場合、端末が自身より宛先端末から遠方に位置していても、宛先の方向に移動している、もしくは端末密度の高い場所に向けて移動している場合に、その端末に転送したほうが効率が良い可能性があると考えられる。

今回のシミュレーションでは端末速度によるメッセージの到達率の差はあまり見られなかったが、端末数が100台の時にCaFを利用した手法を比較すると、端末の移動速度が速いほどメッセージの到達率は向上していることが見て取れる。これは各端末が限定されたエリア内を高速で移動することで、他の端末と接近する可能性が高くなるためであると考えられる。

## 6.2 通信遅延

図10に端末速度5-10[m/s]、15-20[m/s]における、各手法での平均転送遅延を示す。

全体にわたりHello Interval手法の遅延が大きい。これは、端末密度が高い場合でも、Carry移行後の処理としてHelloの間隔、パケットの転送を延期するためだと考えられる。

GPSRのみを用いた場合遅延が他に比べて極端に小さいが、これは、GPSRではCaFを行わず送信が成功したメッセージのみの遅延を表しているからである。また端

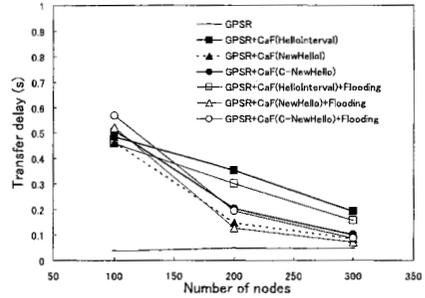


図10 端末数と転送遅延の関係 (端末速度 5-10[m/s])

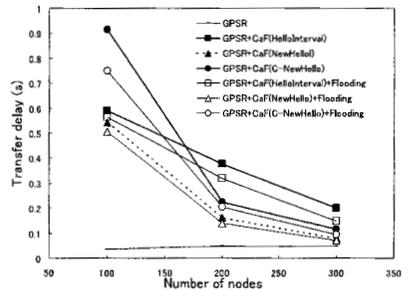


図11 端末数と転送遅延の関係 (端末速度 15-20[m/s])

末台数が100台の場合、CaF(C-NewHello)手法の遅延が他の手法に比べて大きく増えているが、これも他の方式では送信に失敗するような場合でも、この方式では送信が成功するために生じたものだと考えられる。

端末速度と転送遅延の関係をみると、端末台数が100台の場合、端末速度が上がることで遅延が増加してしまうことが見て取れる。これは端末の移動が速いことでネットワークトポロジが頻繁に変化してしまうことに加え、Carryを使用したことの結果であると考えられる。例えば、Carryに移行した端末が宛先から離れる方向に移動すると、移動速度が速い分宛先から離れてしまい、次に転送を再開しても冗長な経路を通る可能性がある。

## 6.3 通信トラフィック

図12に、1メッセージあたりの平均トラフィックを示す。図12において、端末速度によるトラフィックへの大きな影響は見られなかった。続いて各手法を比較する。図12端末数が少なくなるほどトラフィックが増えていることが見て取れる。これは端末数が少なくなるほど転送可能な端末が限られてくるため、より最適な短い経路での転送が困難になるためだと考える。特にNew Hello方式は、他と比べて通信トラフィックが増えているが、これはCarry後の転送先として、新たに転送可能となった端末であればすぐにメッセージを転送するため、冗長な経路を経由する可能性が高いことが挙げられる。

一方、GPSRは端末数が減少してもトラフィックがあまり増加していないのは、転送可能な端末が限られている

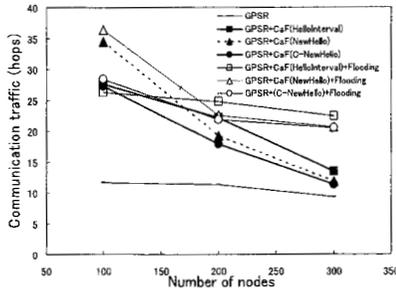


図 12 端末数と平均通信トラフィックの関係  
(端末速度 5-10[m/s])

中, CaF を利用していないため通信が伸びないことが原因であると考えられる。

フラッディングを利用した場合, 端末数が多いときにトラフィックが多く, 少ないときは Flooding を使用していない場合との差が小さくなっている。これは, 端末が多ければフラッディングをした際にパケットを受信する端末が多いためである。端末数が多い場合, すなわち端末密度が高い場合には, フラッディングを用いなくてもメッセージの到達率は高いため, 端末密度に応じたフラッディングの使用の有無を制御する必要があるといえる。

## 7. ま と め

本稿では, 移動端末からなる疎密のあるネットワークで, 任意の端末から特定位置の宛先に送られる要求に対して, それを受け取った端末が応答を返す際の経路制御に着目し, 移動する要求送信端末への応答返信手法として, 要求者の移動予測に基づく CaF を利用した Geocast 手法を提案した。またシミュレーションにより Geocast への CaF の併用効果を比較した。また CaF における転送再開時のパケット転送先選択の手法について, 最も単純な 3 つの方法 Hello Interval 方式, New Hello 方式, Conditional-New Hello 方式について比較した。その結果, CaF を利用した手法は GPSR のみに比べて高いメッセージ到達率を実現することが確かめられた。また, 3 つの方式の中では Conditional-New Hello が端末密度が低い状況で最も良い性能を示した。

本稿では CaF の使用に対し隣接端末位置と転送タイミングのみに焦点を当て, ネットワークの密度や端末の移動方向は考慮していない。これらを考慮すれば, 例えば CaF 後の転送先の端末が自身より宛先から遠方に位置していても, 宛先のいる方角や端末密度の高い地域へに向けて移動してれば, その端末にパケットを転送する等の効率的なパケット転送を行うことが可能になると考えられる。

今後, 端末の移動方向やネットワーク密度を考慮した CaF の利用条件の検討と, 今回のシミュレーションでの

評価項目に入れなかった宛先端末の移動先の予測の検討を進める予定である。

## 謝辞

本研究は, 科学研究費補助金若手研究 (A)18680008 の助成の下実施された。ここに記して謝意を示す。

## 参 考 文 献

- 1) Y. B. Ko, and N. H. Vaidya, "Geocasting in Mobile Ad Hoc Networks Location Based Multicast Algorithms, IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications," pp. 101-110 (1999).
- 2) Y. B. Ko, N. H. Vaidya, "Flooding-based geocasting protocols for mobile ad hoc networks," Mobile Networks and Applications, pp. 471-580 (2002).
- 3) B. N. Karp, et al. "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in proc. of MobiCom, pp.243-254, 2000.
- 4) Jie Wu, Shuhui Yang, Fei Dai, "Logarithmic Store-Carry-Forward Routing in Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. ISSN, 735-748, 2007
- 5) T. Small, Z. J. Haas, "Resource and Performance Tradeoffs in Delay Tolerant Wireless Networks," in Proc. WDTN, 2005
- 6) T. D. C. Little, A. Agarwal, "An Information Propagation Scheme for VANETs," MCL Technical Report No. 07-01-2005
- 7) Christian Maihofer, Reinhold Everhardt, "Geocast in Vehicular Environments: Caching and Transmission Range Control for Improved Efficiency," IEEE intelligent Vehicles Symposium, pp. 951-956, 2004.
- 8) JiST - JAVA in Simulation Time / SWANS - Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator : <http://jist.ece.cornell.edu/index.html>
- 9) Mariko Yamanaka, et al. "A replica distribution scheme for location-dependent information on vehicular ad hoc networks," VANET2006, pp.98-99, 2006.
- 10) David R. Choffnes and Fabian E. Bustamante, "An Integrated Mobility and Traffic Model for Vehicular Wireless Networks," VANET '05, pp.69-78, 2005.
- 11) W Zaho, M Ammar, E Zegura, "A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks-Macro," in proc. of MobiHoc'04, 187-198, 2004.