

## MANETにおける移動ノード位置広告手法

東京電機大学理工学部情報システム工学科

尾根田 倫太郎 梶垣 博章

E-mail: {oneda, hig}@higlab.net

データメッセージを無線マルチホップ配送で送信元無線ノードから送信先無線ノードへと配送するアドホックネットワークでは、中継無線ノード列である配送経路決定が重要な問題である。データメッセージごとに経路を定めるGEDIR、GPSR、COMPASS等のプロトコルでは、次ホップ中継無線ノードを決定するために隣接無線ノードと送信先無線ノードの位置情報が必要となる。各無線ノードの位置情報をすべての無線ノードが完全分散方式で保持する方式のひとつであるDREAMでは、無線ノードの移動による位置情報の変化を近隣のノードにのみ通知することによって、接続性の低下を押さえながら更新オーバーヘッドを削減している。ここでは、更新要求を全方向の無線ノードへ送出しているが、無線ノードの方向の変化は移動方向との作る角によって異なるため、この角が大きな方向に位置する移動ノードのみ更新要求を送出しても接続性を低下させることはない。本論文では、位置情報の更新要求転送を移動方向と作る角が小さい場合には抑制する手法を導入した新しい位置情報広告手法を提案する。簡易なシミュレーション実験によって、更新要求転送条件と接続性、通信オーバーヘッドの関係を評価した。

## Location Information Advertisement Method with Consideration of Mobility Direction in Wireless Mobile Ad Hoc Networks

Rintarou Oneda, Hiroaki Higaki

Tokyo Denki University

E-mail: {oneda, hig}@higlab.net

In a wireless mobile ad-hoc network, it is critical to determine a wireless multihop transmission route from a source wireless node to a destination one. In flooding-free ad-hoc routing protocols such as GEDIR, GPSR and COMPASS, a wireless multihop transmission route is determined for each data message. On receipt of a forwarded data message, an intermediate wireless node determines one of its neighbor wireless node as its next-hop one and forwards the data message to it. Here, location information of not only neighbor wireless nodes but also the destination wireless node is required. In DREAM, all wireless nodes keep location information of all wireless nodes. When a wireless node moves, it advertises its new location information. For reduction of communication overhead, the new location information is advertised to only nearer wireless nodes which are required to change its next-hop wireless node to transmit data messages to the moving node. Here, control messages for location information advertisement are transmitted equally to all directions. However, it is not required for wireless nodes which locate the same direction as the moving direction to receive the advertisement since their next-hop wireless nodes are not changed. This paper proposes a novel location information advertisement method where control messages with updated location information are forwarded only when difference of direction of moving wireless node is larger than predetermined threshold. By the proposed method, communication overhead for location information advertisement is expected to be reduced even though connectivity of the ad-hoc network is kept high.

## 1 はじめに

無線通信機能を備えた移動無線ノードのみから構成されるモバイルアドホックネットワーク (MANET) の研究が盛んに行なわれている。移動無線ノードは一般に電力供給源を持たないこと、無線通信がブロードキャストを基礎とし隣接移動無線ノードとの通信メディアの共有による衝突と競合を回避あるいは削減する必要があることから、各移動無線ノードは限られた送信電力による無線信号到達範囲に含まれる隣接移動無線ノードとのみ直接通信が可能である。そのため、送信元移動無線ノードから送信先移動無線ノードまでのデータメッセージ配送には、他の移動無線ノードを中継移動無線ノードとする無線マルチホップ配送が用いられる。このとき、無線ノードの移動による隣接移動無線ノードの変化、省電力のためのスリープモードによるネットワークからの一時的離脱、故障による永続的離脱などによりネットワークポロジが経時的に変化するため、データメッセージの配送経路を決定するルーティングプロトコルが重要となる。隣接移動無線ノードの位置情報を用いてデータメッセージごとに次ホップ移動無線ノードを決定するプロトコルを用いる場合、送信先移動無線ノードの位置情報が必要となる。そのため、送信先移動無線ノードの位置を取得する機構が DREAM [1] や HRLI [7] で提案されている。DREAM では、すべての移動無線ノードが他の移動無線ノードの位置情報を保持する分散的手法を用い、その更新を移動した無線ノードの近隣無線ノードのみに伝達する手法を提案している。本論文では、更新の伝達基準を角度の変化のみに限定することで、位置情報更新に要するオーバーヘッドを削減する手法を提案する。

## 2 関連研究

アドホックネットワークを対象としたルーティングプロトコルは、無線ノードの移動性と故障に対する脆弱性によるネットワークポロジの動的変化の問題への対処が要求されることから、従来の有線ネットワークよりも困難な問題として多様なアプローチがなされてきている。AODV や DSR は、データメッセージ配送要求時に経路を探索、検出するリアクティブ (オンデマンド) 型アドホックルーティングプロトコルとして研究開発されたものである。ここでは、経路検出に通信オーバーヘッドと時間オーバーヘッドを要することから、検出経路が一定数以上のデータメッセージ配送に使用される必要があり、検出経路が一定期間安定に使用可能である程度の移動速度と移動頻度が適用対象の前提となる。

これに対して、GPSR [3]、GEDIR [5]、COMPASS [8] 等のプロトコルでは、各データメッセージごとに配送経路を動的に決定する手法が用いられており、移動速度、移動頻度の高い移動無線ノードを含むアドホックネットワークへの適用可能性を備えている。隣接移動無線ノード  $M_p$  からデータメッセージを受信した移動無線ノード  $M_i$  は、自身とすべての隣接移動無線ノードの位置および送信先移動無線ノード  $M_d$  の位置に基づいて、データメッセージ転送先である次ホップ隣接無線ノード  $M_n$  を選択する。COMPASS では、 $M_i$  から  $M_d$  と  $M_n$  を見込む角  $\angle M_n M_i M_d$  が最小となる  $M_n$  を次ホップ隣接無線ノードと定める。すなわち、 $M_d$  と「同じ方向」にある隣接無線ノードを次ホップとしてデータメッセージを転送する手法である (図 1)。

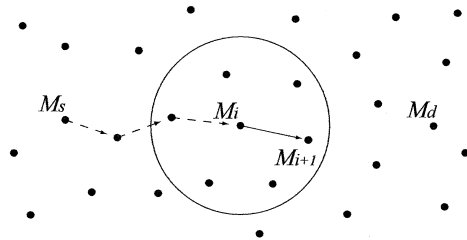


図 1: COMPASS における次ホップ隣接無線ノード

これらのプロトコルでは、中継移動無線ノードが次ホップ移動無線ノードを選択するために、データメッセージの送信先移動無線ノードの位置情報を必要とする。HRLI [7]、Homezone [2]、GLS [4]、Octopus [6] 等では、動的に決定される位置情報サーバに各移動無線ノードの位置情報を分散的に配置する手法が用いられている。ここでは、送信元移動無線ノードが限定的なフラッディングを用いて位置情報取得要求メッセージを送信先移動無線ノードの位置情報を格納したサーバノードへ到達させ、得られた位置情報をデータメッセージのヘッダに格納することで各中継移動無線ノードが次ホップ移動無線ノードを決定することを可能としている。

一方、DREAM では、各移動無線ノードにすべての移動無線ノードの位置情報を格納する完全分散的手法を採用している。データメッセージを中継する移動無線ノードは、自身に格納された隣接移動無線ノードと送信先移動無線ノードの位置情報に基づいて次ホップ移動無線ノードを選択し、データメッセージを転送する。ここでは、無線ノードの移動にともなって各移動無線ノードに格納された位置情報を更新する必要がある。各移動無線ノードの位置の変化をすべての移動無線ノードに伝

達するために要する通信オーバーヘッドは大きく、これを削減することが求められる。DREAM では、各移動無線ノードの位置の変化に対する次ホップ移動無線ノード変更の必要性は、無線ノードの移動距離と移動した無線ノードまでの距離に依存することから、位置情報の更新を移動した無線ノードから移動距離に基づいて定められたホップ数以内に含まれる近隣移動無線ノードにのみ伝達する手法を提案している。

### 3 提案手法

#### 3.1 移動検出手法

DREAM では、各無線ノードが GPS 等の自身の位置情報を取得するためのデバイスを備えていることを前提とし、自身の位置があらかじめ定められた閾値以上に変化した場合に自身の位置変更を通知する制御メッセージを送信する。つまり、アドホックネットワークの存在領域に定められた固定座標系に対して閾値以上の移動を行なうことを位置変更通知のトリガーとしている。しかし、他の無線ノードから自身への経路を変更するという観点で考えた場合、他の無線ノードから見た自身の位置(方向)を変更する必要性は無線ノード間の相対位置の閾値以上の変化がトリガーとなるべきである。本論文では、各無線ノード  $M_i$  が隣接無線ノード  $M_j$  の位置を観測し、その位置が閾値以上に変化した場合に  $M_j$  の位置情報更新のためのメッセージを  $M_i$  が送信する手法を提案する。相対位置の変化を検出する手法には、以下のようなものが考えられる。

- GPS による手法: 各無線ノードが GPS を備える場合には、自身の位置を定期的に隣接ノードへブロードキャスト送信する。 $M_i$  は  $M_j$  までの距離  $|M_i M_j|$  や  $M_j$  の方向 ( $M_i$  の定める基準点  $B_i$  に対して  $\angle B_i M_i M_j$ ) の変化が閾値を超えることによって検出する。
- 無線信号受信強度による手法: 相対位置を確認するために指向性を持つビーコン信号を各無線ノードが定期的に送信する。 $M_i$  からの受信電波強度を  $M_j$  が  $M_i$  に通知することで、 $M_i$  は隣接無線ノードの相対的な方向を得ることができ、これによって方向の変化を検出する。
- 画像による手法: 全方向カメラを用いて隣接無線ノードを検出する手法 [9] を適用することで、その方向の変化を検出する。

#### 3.2 位置情報広告手法

送信先移動無線ノードと隣接移動無線ノードの位置から各データメッセージの転送先を決定する多くの手法では、「送信先移動無線ノードのある方向」に位置する隣接移動無線ノードが選択される。すなわち、中継移動無線ノードからのこれらの無線ノードを見込む角が小さいものが次ホップとして選択される傾向があり、この見込む角の変化が各移動無線ノードからの距離が大きいほど変化しにくいという性質を持つと考えられる。

例えば、図2において、移動する  $M''$  からの距離が大きく方向の変化が小さな  $M$  では、 $M''$  への無線マルチホップ配送経路の次ホップ無線ノードは変化しない。したがって、 $M''$  の位置情報が更新されない場合でもデータメッセージを  $M''$  に到達させることができる。一方、 $M''$  からの距離が小さく方向の変化が大きな  $M'$  では、 $M''$  への無線マルチホップ経路の次ホップ無線ノードが変化する。このため、 $M''$  の位置情報が更新されない場合には、データメッセージが  $M''$  に到達しなくなることが考えられる。DREAM では、この性質に基づいて  $M''$  の移動距離に応じて更新した位置情報の広告範囲をホップ数で指定して変更している。

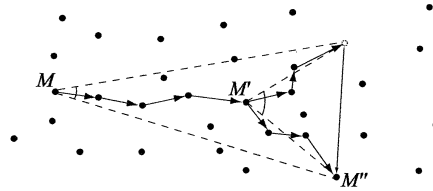


図2: 位置情報更新による次ホップ無線ノードの変更

ここで、見込む角の変化は距離だけではなく、移動方向にも依存する。例えば、図3の移動無線ノード  $M$  に保持される  $M'$  の位置情報は更新することが求められるが、 $M''$  の位置情報は更新の必要性が低い。そこで、この見込む角の変化を基準として位置情報更新要求の伝達範囲を制約する手法を導入することで、要する通信オーバーヘッドの削減効果が期待される。

これを実現する手法は具体的に以下になる。各移動無線ノードは、すべての移動無線ノードまでの距離と自身の基準方向に対する角を位置情報として保持する。ただし、自身の基準方向が変化する場合、その変化分だけ見込む角を補正する。受信無線信号強度等を用いて隣接移動無線ノード  $M_i$  の基準方向に対する角  $A_i(M_i)$  が閾値以上に変化したことを検出した移動無線

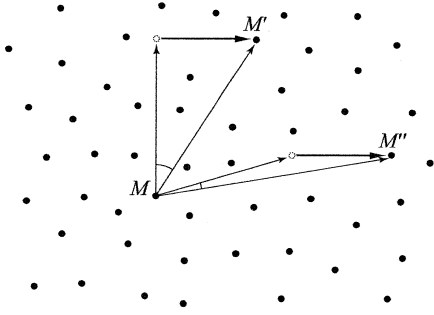


図 3: 見込む角に基づく位置情報更新の必要性判定

ノード  $M_i$  は、自身の保持する  $M_t$  の位置情報である基準方向に対する角  $A_i(M_t)$  と距離  $D_i(M_t) = |M_i M_t|$  を更新するとともに、位置情報更新要求メッセージ  $Ureq$  をブロードキャスト送信する。 $Ureq$  には、 $A_i(M_t)$ 、 $D_i(M_t)$  とともに、 $M_i$  のすべての隣接移動無線ノード  $M_n$  の基準方向に対する角  $A_i(M_n)$  を含む。この  $Ureq$  を受信した  $M_n$  は、次式から  $M_t$  までの距離  $D'_n(M_t)$  と基準方向に対する角  $A'_n(M_n)$  を求める (図 4)。

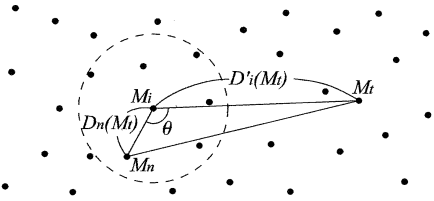


図 4:  $M_n$  における  $M_t$  の位置情報更新

$$D'_n(M_t) = \sqrt{D_i(M_t)^2 - 2D_i(M_t)D_n(M_i) \cos \theta + D_n(M_i)^2}$$

ただし  $\theta = A_i(M_t) - A_i(M_n)$

$$A'_n(M_t) = A_n(M_i) + \cos^{-1} \frac{(D_n(M_i) - D_i(M_t) \cos \theta)}{D'_n(M_t)}$$

ここで、 $M_n$  は  $M_t$  の方向の変化  $|A'_n(M_t) - A_n(M_t)|$  が閾値よりも大きい場合に限り、自身の保持する  $M_t$  の位置情報である基準方向に対する角  $A_n(M_t)$  と距離  $D_n(M_t)$  とをそれぞれ  $A'_n(M_t)$  と  $D'_n(M_t)$  とに更新し、 $Ureq$  メッセージをブロードキャスト送信する。方向の変化が閾値以下である場合には、 $Ureq$  メッセージのブロードキャストを行わないことにより、更新を要する移動無線ノードの分布範囲を図 5 のように縮小し、通信オーバーヘッドを削減することができる。

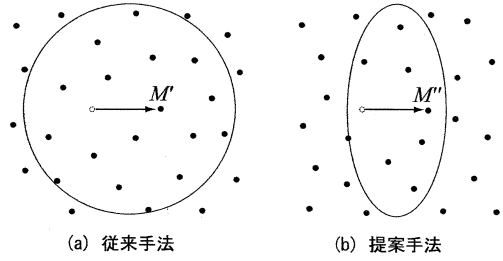


図 5: 位置情報更新要求の伝達範囲

## 4 実験評価

前章で提案した位置情報広告手法では、無線ノード  $M_i$  の更新された位置 (方向) 情報を伝達する制御メッセージの送信を開始する変化角度の閾値、受信した制御メッセージの転送を行なう変化角度の閾値を適切な値に定めることによって、アドホックネットワークの接続性を維持しつつ、位置情報広告のための通信オーバーヘッドを削減することが可能となる。この閾値を小さく設定する場合には、位置情報広告制御メッセージの転送頻度が上昇し、転送範囲が拡大することから、高接続性が得られる一方、高い通信オーバーヘッドを要する。一方、閾値を大きく設定する場合には、位置情報広告制御メッセージの転送頻度が低下し、転送範囲が縮小することから、通信オーバーヘッドは低下するが、各無線ノードの保持する他の無線ノードの位置 (方向) 情報が不正確になるため、データメッセージが送信先無線ノードに到達する可能性が低下する。そこで、この閾値角度と接続性、通信オーバーヘッドの関係をシミュレーション実験によって評価する。

1,000m × 1,000m の正方形領域に無線信号到達距離 100m の無線ノードを 300-500 台、一様分布乱数を用いてランダムに配置する。また、この領域のひとつの対角線上で頂点から  $300\sqrt{2}$ m の位置に送信元無線ノードと送信先無線ノードを配置する。これらも含めてすべての無線ノードは、最大移動速度 10km/h (2.7m/sec)、平均待機時間 60 秒のランダムウェイポイントモードにしたがって移動する。データメッセージが COMPASS プロトコルでルーティングされることとして、位置情報広告の閾値角度を 5-60 度の範囲で変化させた場合の接続性と通信オーバーヘッドを測定する。アドホックネットワークの接続性は、データメッセージがデッドエンドで破棄されずに送信先無線ノードまで配送される確率を測定することで評価する。通信オーバーヘッドは、30sec のシミュレーション時間内にブロードキャスト送信された位置情

報告制御メッセージ数を測定することで評価する。

評価結果を図6-7に示す。図6は、閾値角度に対する接続性を評価したものである。閾値角度が大きくなるにつれて位置情報広告頻度が低下するため接続性は低下するが、その低下幅は比較的小さな値となっている。無線ノード密度が高い環境では、同じように位置情報に不正確さを含む場合でもデータメッセージが送信先無線ノードへ到達する可能性は高い。閾値角度が5度の場合と60度の場合で到達性を比較すると、ノード数300、400、500に対してそれぞれ3.8%、3.1%、0.6%となっており、ノード密度が高い環境の方が低下幅が大きい傾向があるものの大きくは変化しない。一方、図7は、閾値角度に対する通信オーバーヘッドを評価したものである。閾値角度が大きくなるにつれて位置情報広告頻度が低下するため位置情報広告制御メッセージ数が削減され通信オーバーヘッドは小さくなる。広告範囲は送信先無線ノードの移動距離と移動方向によってのみ決まるため、無線ノード密度には依存せず、制御メッセージ数は概ね無線ノード数に比例している。

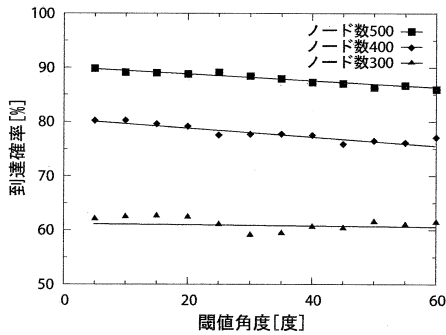


図6: 閾値角度に対する接続性

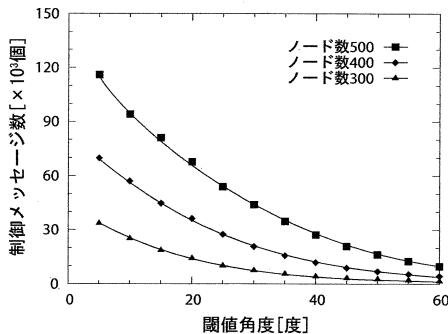


図7: 閾値角度に対する通信オーバーヘッド

以上より、閾値角度の拡大によって接続性が低下し、通信オーバーヘッドが削減されることが確認された。これらのトレードオフは、無線ノード密度、移動速度と移動頻度を変化させた測定を行なうことで検討する必要がある。

## 5 まとめと今後の課題

本論文では、DREAMにおける移動無線ノード位置情報の保持、更新方法を基礎として、その更新に要する通信オーバーヘッドを削減する手法を提案した。ここでは、無線マルチホップ配送の送信先移動無線ノードの位置の変化によって各中継移動無線ノードにおけるデータメッセージの転送先が変更されるのは、中継移動ノードからの方向が変化する場合であることに基づいて、更新位置情報の伝達を角度の変化を基準に制約する。提案手法は、従来手法に対して通信オーバーヘッドの削減を見込むことができるが、更新位置情報転送の閾値の設定によって、データメッセージの到達性と要求される通信オーバーヘッドの間にトレードオフが存在する。シミュレーション実験によりこれらの間の関係の評価をした。この結果に基づいて適切な閾値を無線ノード密度と移動速度、移動頻度に対して定め、従来手法と接続性、通信オーバーヘッドについて比較実験を行なうことが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Basagni, S., Chlamtac, I. and Syrotiuk, V.R., "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," Proceedings of the 4th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 76-84 (1998).
- [2] Giordano, V. and Hamdi, M., "Mobility Management: The Virtual Home Region," EPFL-ICA Technical Report, SSC/1999/037 (1999).
- [3] Karp, B. and Kung, H.T., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 243-254 (1998).
- [4] Li, J., Jannotti, J., DeCouto, D.S.J., Karger, D.R. and Morris, R., "A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing," Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 120-130 (2000).
- [5] Lin, X. and Stojmenovic, I., "Geographic Distance Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Technical Report in University Ottawa, TR-98-10 (1998).
- [6] Melamed, R., Keidar, I. and Barel, Y., "Octopus: A Fault-Tolerant and Efficient Ad-Hoc Routing Protocol," Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Reliable Distributed Systems, pp. 39-49 (2005).

- [7] Nakagawa, H., Ohta, T., Ishida, K. and Kakuda, Y., “A Hybrid Routing with Location Information for Mobile Ad Hoc Networks,” Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, pp. 129–136 (2007).
- [8] Urrutia, J., “Two Problems on Discrete and Computational Geometry,” Proceedings of Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, pp. 42–52 (1999).
- [9] 峯, 桜垣, “全方位カメラを利用した中継ノード検出機構の実装,” 東京電機大学卒業論文 (2009).