

MANET におけるノードの隣接関係を を基にしたアドレス割当手法

植田和憲*, 石本一生, 江波友則

*高知工科大学 工学部

〒 782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

E-mail: *ueda.kazunori@kochi-tech.ac.jp

要約: 固定的なインフラに依存せず柔軟にネットワークを構成し、ノード間で中継しながらデータを送受信するネットワーク利用形態であるアドホックネットワークは、様々な分野への適用が期待されている。しかし、アドホックネットワークにおける代表的なルーティングプロトコルでは、経路発見につながらないパケットが多く送信されることがあり、電力に余裕のない移動ノードには問題となる。経路探索パケットの抑制を期待できる greedy forwarding という手法があるが、転送すべきノードが見つからない local maximum という状態から脱出する方法を別に用意する必要があり、異なる転送手法が併用されるため効率的な経路が選択されない場合がある。そこで本研究では、ノードの隣接関係に基づいて greedy forwarding を行うことで経路探索パケットを抑制しつつ効率的なパケット転送を可能とするルーティング手法を提案する。

1. はじめに

携帯電話や無線 LAN のようにインフラに依存せずノード間で中継しながらデータを送受信するアドホックネットワークというネットワーク形態がある。アドホックネットワークでは、基地局といった集中管理機構やケーブルといったインフラに依存することなくデータの転送をノード間で行う。また、インフラに依存しないセンサネットワークではノード間で無線を用いセンシング情報などを共有することができる。そういった無線で繋がるセンサネットワークでノードが消滅した場合などはアドホックネットワークと同様の形態をとる場合がある。これらのインフラに依存しないネットワークでは、パケットは送信元から送信先までパケットリレーのような形式で転送される。このノード間でのパケットの転送をホップという。ホップを複数回繰り返して目的地へ到達するマルチホップ通信を行うにはルーティング機能が必要となる。

アドホックネットワークを対象とした既存ルーティングプロトコルには AODV¹⁾、OLSR^{2,3)} などがある。これらのプロトコルでは、経路を探索するためにすべての隣接ノードあるいは選択したノードに対し経路探索パケットを転送し、そのパケット受け取ったノードが同様の処理を行うことで、パケッ

ト転送が広く伝播していくような手法がとられる。これは、アドホックネットワークにおけるルーティングプロトコルの多くで経路探索を行う際に用いられる手法である。

インフラに依存しないネットワーク環境におけるアプリケーションでは、ロボットなどの独立した電池駆動のノードが想定されるため、電力消費を招く制御パケットをできるだけ削減する必要がある。ルーティングを行うために経路探索パケットを伝播させていくプロトコルでは、経路発見につながらない経路探索パケットが多く発生する可能性がある。そのような手法を用いないルーティングプロトコルに GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)⁴⁾がある。GPSR では、中継ノードはパケットを受け取ると隣接ノードの位置情報をメトリックとし、自身に隣接しているノードのうち宛先に物理的距離が一番近いノードにパケットを転送する greedy forwarding という手法を用いる。この greedy forwarding では隣接関係にあるノードの中で自身よりも宛先に近いノードがない local maximum という状況に陥る場合があるが、GPSR では perimeter forwarding というパケット転送手法に移行し local maximum である状況から脱出する。

これらのことを背景として本研究グループでは、

ノード間の隣接関係を考慮した新たなメトリックを定義し、このメトリックに基づき greedy forwarding を行うルーティング手法を提案してきた⁵⁻⁸⁾。本研究では、ノード同士の隣接関係を考えることで local maximum という状況に陥らずに宛先に到達させることを考える。これにより、従来手法に比べて経路探索パケット量を削減しつつ転送効率を高めることができることを考える。

2. 既存ルーティング手法

2.1 アドホックネットワーク上の主なルーティング手法

インフラに依存しないネットワークで通信を行うにはルーティングプロトコルが必要である。ルーティングプロトコルにはリアクティブ型とプロアクティブ型がある。

リアクティブ型のルーティングプロトコルは、通信要求があってから経路を確立し通信頻度が少なくネットワークトポロジの変化が大きい場合に有効である。リアクティブ型ルーティングプロトコルの代表的なものに DSR や AODV がある。DSR と AODV は RREQ (Route Request パケット) をフラッディングし経路探索を行う。フラッディングとは経路発見の為に制御パケットをブロードキャスト的に次から次へと転送して経路を発見するものであり、送信元ノードは隣接するノードすべてに制御パケットを送信し、受信した各ノードはそのパケットを送出したノード以外すべての隣接ノードに送信する。ただし一度送信したパケットを再び受信した場合はそのパケットを破棄する。AODV では一度経路探索を行い作った経路表を一定時間保持し、DSR ではホップ数を制限し経路探索時の制御パケットの効率化を図っている。

プロアクティブ型のルーティングプロトコルは通信要求がある前にあらかじめ経路表を作成しておくものであり通信頻度が多い場合に有効である。代表的なものに OLSR がある。OLSR ではネットワークトポロジが変化するたびにノードが経路表を更新する。OLSR は必要最小数の再送信ノードの集合 MPR を規定し、フラッディングを行う際に制御パケットを流す範囲を MPR を用いて限定することで効率化を図っている。

フラッディングを行わないルーティングプロトコルに GPSR がある。GPSR は隣接ノードの物理的な位置情報をメトリックとして greedy forwarding (貪欲転送法) というパケット転送手法を行うものである。送信元からパケットを受け取ったノード

は、自身よりも物理距離的に宛先に近い隣接ノードにパケットを転送していく。しかし Greedy forwarding では、宛先までノードを転送する際に、自身よりも宛先に近いノードを持たない場合、転送先となるべきノードが存在しない local maximum という状態に陥ってしまう。GPSR では local maximum に陥った場合、perimeter forwarding という右手の法則に即した転送手法に移行して local maximum から抜け出す。

3. 隣接関係を基にしたメトリック決定法の提案

GPSR のように greedy forwarding によってパケットを転送するルーティングプロトコルでは local maximum に陥った際の脱出方法を規定しているのが普通である。そのため、local maximum に陥った場合、経路を探索してからルーティングを行う場合に比べて効率的でない経路においてパケットが転送されることになる。

この問題を解決するため、ノードの位置情報ではなくノード同士の隣接関係を基にしたメトリック決定法を採用した新しいルーティング方法を提案する。本手法におけるノード同士の隣接関係は電波の受信強度によって表されるパラメータである。これにより、ノード同士の隣接関係を表現する新たな空間を定義することでマルチホップによる転送コストを空間上の距離として反映させることができる。これにより、greedy forwarding を採用する際に問題となる local maximum による転送効率の低下を回避することができる。

本章ではこの考え方に基づいて仮想空間 Multiple Branch Collection (以下、MBC) を定義しその基本的な概念について説明する。

3.1 Multiple Branch Collection の基本概念

MBC はノード同士の隣接関係を表すグラフとして定義され、複数の「枝」の組み合わせによって表現される。各ノードは一次元的な隣接関係を持つノードが同一の枝に並ぶように配置される。また MBC 上のノード間の距離はノード同士の電波強度を反映している。つまり MBC 上では、隣接関係にないノードは離れた場所に配置され、電波強度の強いノード同士の距離は短くなることになる。

図1は現実に存在していると仮定したノードを表したもので、点線はノードの電波範囲を表わしている。図2は、これらのノード同士の位置関係から形成した MBC である。ノードはアルファベット順に

参加したものとする。たとえば、ノード A からノード D までは一次元的に存在しているため、同一の枝上に配置されている。一方、ノード E あるいはノード F に関してもノード A とノード B との間に一次元的な位置関係を仮定できるが、すでにある枝上に配置することはできないため、ノード B から新たな枝を生成する。

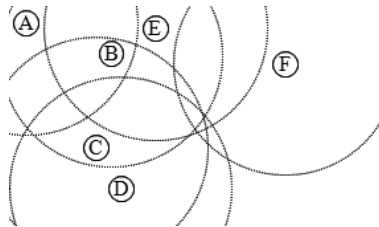


図1 実際のノード配置

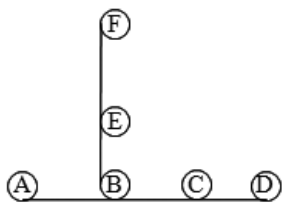


図2 MBC 上のノード配置

3.2 MBC 上のノード配置

MBC に新規に参加してくるノードはすでに存在しているノード群との位置関係により3つのパターンに分類して配置されていく。図3において、ノード A とノード B がすでに MBC 上にある枝上の末端周辺に位置するノードとして配置されており、ノード C から E は新規に参加してくるものとする(ただし、ノード C から E が参加してくる場合を独立に考える、つまり、すべて、すでに存在するノードの数が2であり、新規参加ノードの数は1とする)。3つのパターンは以下のとおりである。

- パターン 1: 新規参加ノードの隣接ノード数が1で、その隣接ノードが枝上のノード列の端にいる(図3においてノード C が新規参加ノードの場合)

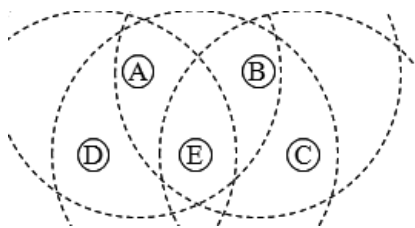


図3 新規参加ノードと既存ノードとの位置関係

- パターン 2: 新規参加ノードの隣接ノード数が1で、その隣接ノードが枝の中点にいる場合(図3

においてノード D が新規参加ノードの場合)

- パターン 3: 新規参加ノードの隣接ノード数が2で、その隣接ノードの両方が同一の枝にいる場合(図3においてノード E が新規参加ノードの場合)

パターン 1 の場合、新規参加ノードは MBC 上において隣接ノードから枝を伸ばし末端に配置される。パターン 1 では、電波到達距離を単位距離として、隣接ノードから新規参加ノードまでの距離を MBC 上の位置決定に用いる。

パターン 2 の場合、隣接ノードから新たな枝を生成しその端点に配置するものである。パターン 1 と同様に電波到達距離を単位距離としたときの隣接ノードまでの距離だけ離して新たに生成した枝上に配置する。

パターン 3 の場合、新規参加ノードは MBC 上で両隣接ノードの間(同一枝上)に配置される。このときの新規参加ノードが隣接ノード間のどの位置に配置されるかはそれぞれのノードからの電波の受信強度から自身の位置を推定する。

実際、現実でのノード数は変わる可能性があり、ノード同士の位置関係はこれら3パターンだけではない。そのような場合は、隣接ノードを同一枝上のノードでグループ化し、グループごとに MBC 上の位置関係から対応するパターンに分類し MBC 上の位置を決定する。このことは、1つのノードが同時に MBC 上の複数の位置に存在可能であることを示している。

3.3 MBC 上でのルーティング

既存の greedy forwarding を用いるルーティングプロトコルでは各ノードの物理的な位置情報を基にパケット転送を行うが、提案手法におけるルーティングでは MBC 上の位置情報を用いて行われる。各ノードはパケット転送の際、MBC 上で宛先に最も近い位置に配置されていると思われる隣接ノードを次ポップとして選定する。パケットを持つノードと宛先ノードとが異なる枝上に存在する場合は、上位方向にまず転送し、宛先ノードを持つ枝が派生するノードに送り、そのノードから下位方向に向かって転送することで宛先まで到達させる。ここで上位方向とは MBC において初めのほうに生成された枝への方向であり、下位方向とは派生した枝への方向である。

4. プロトコルの詳細

本章ではより詳細な MBC の仕様について説明する。

4.1 MBC 座標フォーマット

算出された MBC 上の位置は図4で示される (α, β, γ) のような座標として表現される。この座標の α は MBC 形成の初めに配置された MBC 枝上の位置である。 β は α から枝分かれした枝上の位置で、 γ は β から枝分かれした枝上の意味である。MBC 座標は最も初めに形成されたノードからの距離を表している。1 項目の α は MBC において一番初めに形成された枝上の位置を示し、1 項目に α を持つノードはその位置から派生した枝上に存在していることを示す。2 項目の β は「初めの枝から派生した枝」の「枝上の位置」を示す。たとえば、図4におけるノード E あるいはノード F はノード B から派生した枝上に配置されているが、これは、もっとも初期に生成された枝上の 0.7 という位置から派生した枝上に配置されていると言い換えることができる。

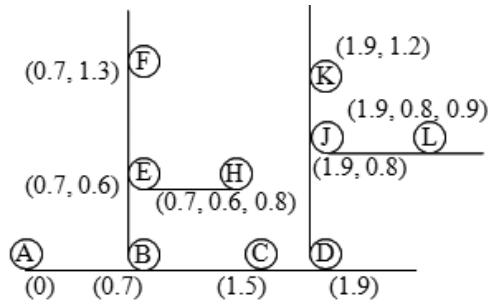


図4 MBC 座標

新規参加時のパターン分けの際、隣接ノードの MBC 座標のみでは端に位置するかどうかわからないため端点フラグを用いて判断する。フラグは座標の1項目ずつにある。フラグがオフになっている項に枝を伸ばす事はできない。端点フラグは、パターンごとの処理の内容に応じてオンからオフに変更されることになる。例えば、図4におけるノード J の座標は $(1.9, 0.8)$ であるが、ノード D から派生した枝上にいるためノード D の端点フラグのうちオフのものを受け継いでおり、座標の1項目の端点フラグはオフである。また、ノード K が配置されていることにより、ノード J はノード D から派生した枝の端点でもないため、2項目の端点フラグもオフである。さらに、ノード J からは MBC 座標として $(1.9, 0.8, \dots)$ というものを持つノードが配置される枝が派生しているため、3項目の端点フラグもオフである。よって、ノード J の端点フラグは、(オフ、オフ、オフ、オン、...)となる。一方、ノード H は派生した枝の端点に位置しているため、3項目の端点フラグはオンである。

ノードの枝上の位置は座標で使用されている最後の項が示す数値である。ノードが保持している座標のうち、利用している項数を n とした場合 n 番目の数値を示す。例として座標 $(1.9, 0.8, 0.9)$ の場合では 0.9 である。ノードが存在する枝は、そのノードの MBC 座標の最後よりも一つ前の項までの数値を用いて示す。ノードが保持している座標のうち、利用している項数を n とした時の $n-1$ 項目までの数値を表す。例として座標 $(1.9, 0.8, 0.9)$ の場合では $(1.9, 0.8)$ である。

4.2 座標決定処理

新規参加ノードはすでに MBC 上に参加している隣接ノードの情報を集める。隣接ノードのうち一つのノードに着目し、その隣接ノードからどのパターンに合致するかを判定する。これをすべてのリスト内の隣接ノードに対して行い、座標情報を自身(新規参加ノード)の座標として通知する。

パターン1は新規参加ノードが枝を伸ばす様な形で配置される。隣接ノードの「枝上の位置」を取得し、最大到達距離を1としたときの電波の受信強度から算出した推定距離を足した座標である。パターン2は隣接ノードから枝分かれして、新たに枝が作られる様に形成される。まず、隣接ノードの「枝上の位置」と「ノードがいる枝の座標」を取得する。それら新しい枝の座標として扱い、「枝上の位置」を示す項に新たにパターン1と同じ算出方法による推定距離を加えたものを新規参加ノードの座標とする。パターン3は2つの隣接ノードの間に入る形で配置される。枝を表す数値は隣接ノードのものを使用し、2つの隣接ノードから測定された電波強度より位置関係を算出し、その値を自身の座標として設定する。その値は次式で与えられる。

$$L_{M_1 M} = \frac{L_{M_1 M_2}}{1 + \sqrt{\frac{P_{M_2}}{P_{M_1}}}}$$

このとき、電波の受信強度を P 、新規参加ノードを M 、2つの隣接ノードをそれぞれ $M_1 \cdot M_2$ 、ノード間の距離を L とする ($L_{M_1 M_2}$ とは、ノード M_1 とノード M_2 との距離を表す)。

パターン毎の処理によって得られた座標リストから、新規参加ノードの座標情報を隣接ノードに通知する。その座標情報は各隣接ノードに蓄積され、転送処理が発生した場合に用いられる。

4.3 MBC 座標を用いた greedy forwarding

パケットの転送は、MBC 座標を基に greedy forwarding 手法を用いて行う。greedy forwarding はパケットを転送する際、自身に隣接するノードの中で、宛先に一番近いノードを選択し転送させて宛先に到達させる。ノード同士の MBC 上の距離は、座標を用いて計算することができる。二つのノードの座標が $(a1, a2, a3, a4, a5, a6, 0, 0)$ と $(a1, a2, a3, b4, b5, b6, 0, 0)$ の場合式 $|a4-b4| + a5 + b5 + a6 + b6$ で計算することができる。

5. 提案手法の有効性検証

まず、MBC 生成にかかわるアルゴリズムの検証のため、ノード配置から MBC 座標決定アルゴリズム実装した。そのプログラムを用いてノード数 20 において実際に MBC 座標を算出した結果を図 5 と図 6 に示す。

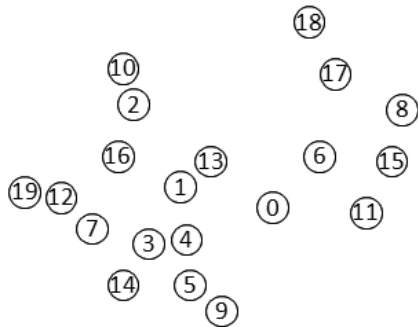


図 5 ノードの物理配置

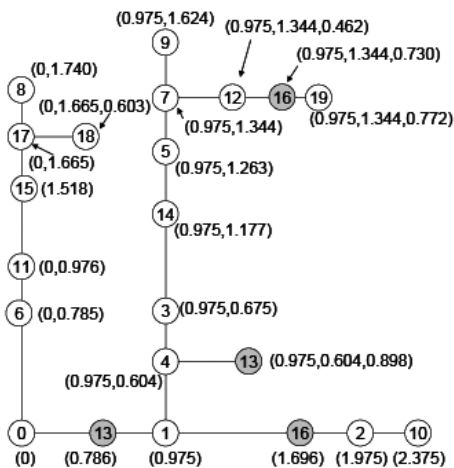


図 6 各ノードの MBC 座標

次に、MBC 座標データ量についてのシミュレーションを行った。実装の際、座標を表現するためのデータサイズは限られているため、枝数は限定され場合により分岐不可能になる。さらに、MBC 上では、ノードが複数アドレスを持つことのできるた

め、その個数についても検討する必要がある。これらについて調べるため、シミュレーションでは、座標の項数(枝数)と持てる座標の個数を変化させ最大ノード数 1000 において MBC 座標を生成させた。シミュレーションを行った結果、電波到達距離と正方形のフィールドの一辺との比が 1:10 程度である場合、アドレス数は 6 で十分であるということがわかった。これは、比較的パターン 3 の頻度が増え、既存の枝に配置されるケースが多かったものと思われる。

6. まとめ

本研究では、アドホックネットワークにおける経路探索パケットの抑制を目的とした新しいルーティング手法について提案した。既存のルーティングプロトコルは一般的にフラッディングを用いて経路探索・構築を行う。フラッディングにより無駄な経路探索パケットが発生している事から、本研究ではフラッディングを行わない greedy forwarding を用いたルーティング手法を用いた。しかし、greedy forwarding は中継ノードに隣接したノードの中に自身よりも宛先に近いノードを持たない場合 local maximum という状況に陥ってしまう。local maximum から脱出するために別の手法を組み合わせるのが一般的である。そこで、提案手法としてネットワークトポロジを考慮し、宛先に到達できる経路を使いパケットを転送する方法を考える。その方法として電波強度と隣接関係をメトリックとして表した MBC を定義し、それに基づき greedy forwarding を行う手法を提案した。今後は既存のルーティングプロトコルと転送効率や経路探索のためのパケット量などについて比較していく予定である。

謝辞

この研究は、日本私立学校振興・共済事業団から私立大学等経常費補助金の特別補助によって一部援助を受けた。

文献

- 1) C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF RFC 3561, July 2003.
- 2) T. Clausen, C. Dearlove, and P. Jacquet, "The Optimized Link State Routing Protocol version 2," IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-olsrv2-07, June 2008.

- 3) T. Clausen and P. Jacquet. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). IETF RFC 3626, Oct. 2003.
- 4) B. Karp and H. T. Kung. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, pages 243-254, New York, Aug. 2000.
- 5) 江波友則、石本一生、植田和憲、“MANETにおけるノードの隣接関係を基にしたルーティング手法の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告、vol.108、No.481、pp.13-18、Mar. 2009。
- 6) 石本一生、植田和憲、“アドホックネットワークにおける制御パケットの抑制を目的としたルーティング手法,” 電子情報通信学会技術研究報告、vol.107、No.448、pp.45-50、Jan. 2008。
- 7) 石本一生、植田和憲、“アドホックネットワークにおけるアドレス割当手法 Connectivity Based Link Layer の提案,” 電子情報通信学会 2007 年 ソサイエティ大会、Sept. 2007。
- 8) 石本一生、植田和憲、“アドホックネットワークにおけるアドレス割当手法の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告、vol.107、No.30、pp.105-110、May 2007。

Proposal of Addressing Method based on Information of Neighboring Nodes for MANET

Kazunori Ueda * , Issei Ishimoto and Tomonori Enami

* Faculty of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami city, Kochi 782-8502 JAPAN

E-mail: *ueda.kazunori@kochi-tech.ac.jp

Abstract: IN ad-hoc network environments mobile nodes need to exchange information about network topology or connectivity among the nodes to establish a route from a sender node to a destination node. Network packets include the information about network connectivity consume battery of the nodes. It is important for mobile nodes to save battery. We propose a new routing method with greedy forwarding, with which mobile nodes do not need to exchange routing information among the nodes.

