

片方向リンクを含む MANET のための マルチキャスト木参加/離脱手法の評価*

東京電機大学大学院未来科学研究科ロボット・メカトロニクス学専攻†

鈴木 和久 梶垣 博章‡

1 はじめに

モバイルアドホックネットワーク (MANET) では送信元ノードから送信先ノードへのデータメッセージ配送に対して、他の無線ノードを中継する無線マルチホップ配送を用いることで高い接続性を得ている。このとき、無線デバイスの性能差や送信電力制御によって、片方向リンクで接続される隣接無線ノード対が存在する。一方、同一のデータメッセージ群を複数の受信ノードに配送する場合には、各ノードが 1 度だけデータメッセージを送信するマルチキャスト配送が有効である。本論文では、マルチキャスト木に片方向リンクを含む場合における受信無線ノードのマルチキャスト木からの離脱手法を提案する。

2 関連研究

論文 [2] では、双方向リンクのみを用いてデータメッセージのマルチキャスト配送を行なう手法を提案している (図 1)。一方、マルチキャスト配送では多くの場合、各中継ノードは次ホップノードとの間で 1 ホップ毎の受信確認を行なわない。したがって、マルチキャスト木においては、親ノードから子ノードへの片方向リンクが存在すればデータメッセージ配送実現に十分である。ただし、片方向リンクを含むマルチキャスト木 *Tree* への参加に論文 [2] の手法を適用することはできない。なぜならば、マルチキャスト参加要求メッセージ *Mreq* のマルチホップ配送経路 $\{N_i^d, \dots, N\}$ に片方向リンクが含まれることがあるため、反転経路 $\{N, \dots, N_i^d\}$ をデータメッセージ配送経路として必ずしも用いることができないためである。このため、論文 [1] で指摘されているように、マルチキャスト参加応答メッセージ *Mrep* のフラッディングが必要となる。しかし、論文 [2] の手法では、*Mreq* が *Tree* に含まれる複数のノードに受信され、各無線ノードから *Mrep* がフラッディングされるため、通信オーバーヘッドが大きくなる。

3 提案手法

3.1 マルチキャスト木参加手法

本論文では、片方向リンクを含む無線マルチホップ配送経路の検出を低通信オーバーヘッドで実現する LBSR プロトコル [1] の拡張によってマルチキャスト木への参加を実現する手法を提案する。LBSR では、片方向リンクを含むことを前提として、送信元ノード N^s から送信先ノード N^d を経由して N^s へと戻る無線マルチホップループ経路を 1 回の制御メッセージのフラッディングと複数回の制御メッセージのユニキャスト配送によって実現する。そこで、これを拡張してマルチキャスト木への参加を要求する無線ノード N_i^d を加えてマルチキャスト木を拡大する手法について述べる (図 2)。こ

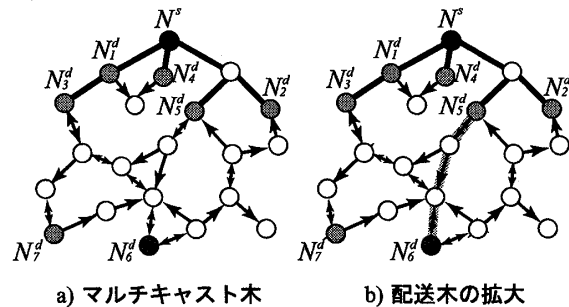


図 1: マルチキャスト木

こでは、 N_i^d から *Tree* に含まれるいずれかの無線ノードを経由して N_i^d へと戻る無線マルチホップループ経路を探索する。

まず、 N_i^d から *Mreq* のフラッディングを行なう。*Mreq* は、 M_i^d からマルチホップ配送で到達可能なすべての無線ノードによって 1 回ずつブロードキャスト送信される。その結果、*Mreq* メッセージは、無線マルチホップループ経路に沿った配送によって M_i^d に受信されるか既に *Mreq* メッセージをブロードキャスト送信済みの無線ノードに受信される。*Mreq* メッセージの受信によってループ経路を検出した M_i^d は、検出したループ経路に沿って *Mconf* をユニキャスト配送する。このとき、検出したループ経路に含まれる無線ノードが *Mreq* メッセージのブロードキャスト送信後に受信した *Mreq* メッセージを *Mconf* メッセージにピギーバックしてユニキャスト転送することによって、*Mreq* メッセージを M_i^d へと到達させ、この配送経路として新たなループ経路を検出することができる。そこで、さらにこの検出したループ経路に沿って *Mconf* メッセージをユニキャスト配送することを繰り返すことによって、 M_i^d から *Tree* に含まれるいずれかの無線ノード M' を経由して M_i^d へと戻るループ経路を検出する。すなわち、 M' から M_i^d へのマルチホップ配送経路が検出され、*Tree* に M_i^d が追加される。

3.2 マルチキャスト木離脱手法

受信無線ノード N_i^d がマルチキャスト木 *Tree* から離脱する場合、 N_i^d が葉ノードであるならば、離脱要求メッセージ *MLreq* を祖先ノードへと配送する。この結果、*Tree* に含まれる中継ノードのうち N_i^d を唯一の子孫受信ノードとして持つものは、 N_i^d の離脱以降に *Tree* に含まれる必要がない。ただし、マルチキャスト木が片方向リンクを含むことを仮定しているため、受信ノードあるいは中継ノードが親ノードに *MLreq* を転送できるとは限らない。そこで、本論文では、 N_i^d が *Tree* に参加したときに *Mconf* が配送されたループ経

*Multicast Tree Maintenance Protocol in MANET with Uni-Directional Links

†Tokyo Denki University

‡Kazuhiisa Suzuki and Hiroaki Higaki

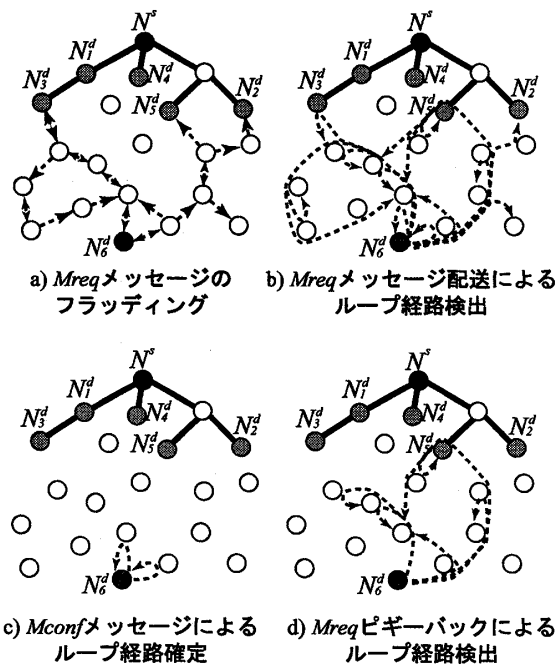


図 2: マルチキャスト木への参加

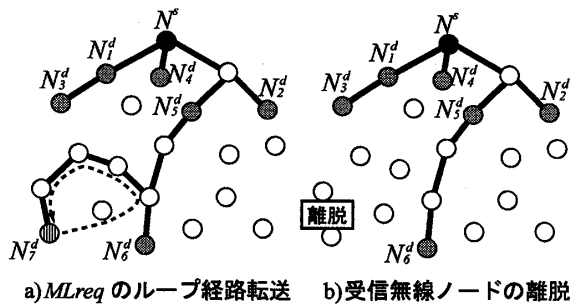


図 3: マルチキャスト木からの離脱

路に沿って *MLreq* をユニキャスト配送する方法を提案する。 N^d のマルチキャスト参加時に *Tree* に追加された中継無線ノードはすべてこのループ経路に含まれている。そこで、図 3 に示すように N^d が送信した *MLreq* メッセージをこのループ経路に沿って順次転送し、離脱可能な中継無線ノードがともに離脱する。

4 評価

片方向リンクを含むマルチキャスト木の構成に要する通信オーバーヘッドをシミュレーション実験によって評価する。ここでは、マルチキャスト木の拡大に要する制御メッセージ数を $n+1$ 回の制御メッセージのフラッディングで実現する手法と比較評価する。1000m 平方のフィールドに 300-500 台の無線ノードを一様分布乱数に基づいてランダムに配置する。各無線ノードからの無線信号到達距離は、平均 80m、標準偏差 5m の正規分布に従うものとし、無線ノード位置と無線信号到達距離は変化しないものとする。5-30 台の無線ノードからなるマルチキャスト木をあらかじめ構成し、ランダムに選択された 10 台の受信ノードを追加する場合に交換された制御メッセージ数を測定した結果を図 4 に示す。

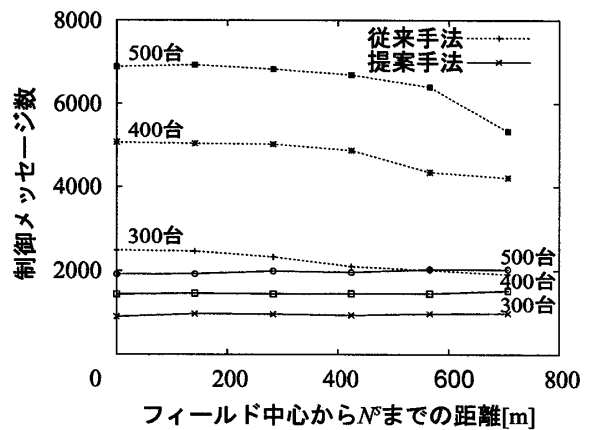


図 4: ノード参加に要する制御メッセージ数

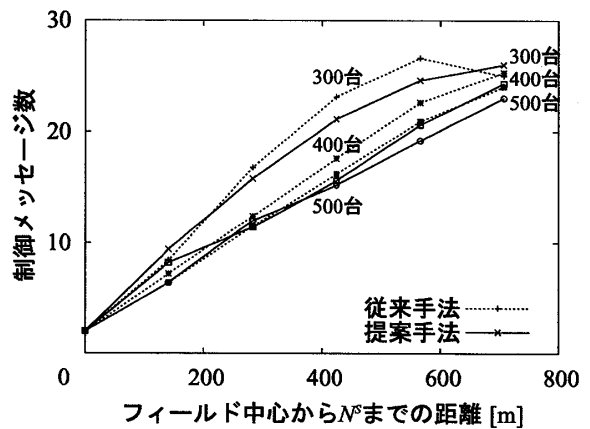


図 5: ノード離脱に要する制御メッセージ数

制御メッセージ数は、既存配送木の位置には依存せず、無線ノード数 (分布密度) に依存する。いずれの環境においても、提案手法は従来手法よりもより 50-70% 程度少ない制御メッセージしか必要としない。また、マルチキャスト木からの離脱に要する制御メッセージ数を図 5 に示す。提案手法では、参加時に検出されたループ経路に沿った配送を必要とするものの、従来手法とほぼ同等のメッセージ数で離脱を実現している。

5 まとめ

本論文では、片方向リンクを含む MANET におけるマルチキャスト木への参加、離脱を LBSR を拡張して実現する手法を提案した。シミュレーション実験により、要する通信オーバーヘッドが参加時は削減され、離脱時は同等であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] Higaki, H., "LBSR: Routing Protocol for MANETs with Unidirectional Links," Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (2007).
- [2] 澤村, 松本, 吉田, "アドホックネットワーク上のマルチキャストにおける動的負荷分散型の経路制御," 情報処理学会/電子情報通信学会 情報科学技術フォーラム 2007 論文集, Vol. 4, pp. 291-294 (2007).