

片方向無線通信リンクを含む MANET における マルチキャストグループへの参加/離脱プロトコル

鈴木和久^{†1} 桧垣博章^{†1}

MANET においてマルチキャスト配送木を構成するためには、漸次追加される受信無線ノードからマルチキャスト配送木に含まれる無線ノードのひとつへとマルチキャスト参加要求メッセージを配送することが必要である。MANET が双方向無線通信リンクのみではなく、片方向無線通信リンクをも含む場合には、参加要求メッセージが配送された無線マルチホップ配送経路の反転経路をデータメッセージ配送経路として用いることは必ずしも可能ではない。また、受信無線ノードがマルチキャスト配送木から離脱する際にはマルチキャスト配送木に含まれる無線通信リンクのみを用いてすべての離脱可能な中継無線ノードへ通知することも不可能である。本論文では、片方向無線通信リンクを含む無線マルチホップ配送経路を探索する LBSR プロトコルを拡張し、片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木を構成する際の参加/離脱プロトコルを提案する。

Joining/Leaving Protocol for Multicast Tree with Uni-Directional Wireless Communication Links in MANET

KAZUHISA SUZUKI^{†1} and HIROAKI HIGAKI^{†1}

In order to configure a multicast tree in a MANET (Mobile Ad-Hoc Network), each additional destination mobile computer transmits a joining request control message to one of the mobile computers already included in the tree. In case that the MANET consists of uni-directional (asymmetric) links, a multi-hop transmission route along which the request control message is transmitted is not always available for data message transmission. In addition, in order for a receiver mobile computer to leave from the multicast tree, the leaving request is also impossible to be transmitted along the tree. This paper proposes a novel multicast tree joining / leaving protocol which is an extension of LBSR, a unicast routing protocol supporting MANETs with uni-directional links. Here, control messages for joining / leaving are transmitted along a local looped route.

1. はじめに

近年、無線コンピュータネットワーク技術の発達にともない、モバイルアドホックネットワーク (MANET) の研究開発が活発に行なわれている。MANET では基地局を必要とせず、無線ノード同士が直接通信を行なうことでネットワークを構築する。イベント会場や災害現場など、様々な場面において一時的なネットワークを構築するための基礎技術として重要な役割を果たすものである。MANET では送信元無線ノードからの無線信号到達範囲に含まれない送信先無線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。しかし、各無線ノードに搭載されている無線デバイスの性能差や送信電力制御によって、相互通信することができない片方向無線通信リンクで接続される隣接無線ノード対が存在する。片方向無線通信リンクを経路に含むことを許すことで接続性向上を実現するアドホックルーティングプロトコルも提案されている。

一方、災害現場でのラジオ放送やニュース配信、イベント会場での広告情報配布などのような、同一のデータメッセージ群を複数の受信無線ノードに配送する場合には、各無線ノードが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。マルチキャスト配送構造のひとつとして、1台の送信元無線ノード N^s を根、複数受信無線ノード N_i^d および中継無線ノードを葉および接点とするマルチキャスト配送木がある。配送木内の無線ノードには識別子としてマルチキャスト ID が設定され、 N^s はマルチキャスト ID を宛先としてデータメッセージを送信する (図 1.a)。また、一般的なマルチキャストサービスでは N^s から各 N_i^d への一方方向のデータメッセージ配送のみが求められるため、これが実現可能であるならば片方向無線通信リンクを配送木に含むことも可能である。

マルチキャスト配送木は、受信無線ノードが漸次追加されることによって構成される。マルチキャスト配送に参加する受信無線ノード N_i^d は N^s からのデータメッセージを受信するために、既存の配送木に含まれるいずれかの無線ノード N からのマルチホップ配送経路を検出し、配送木に接続することが必要である (図 1.b)。しかし、片方向無線通信リンクを含む MANET においては参加要求メッセージの配送に用いられる N_i^d から N までのマルチ

^{†1} 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
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

ホップ配送経路の反転経路をデータメッセージの配送経路として用いることができるとは限らない。そのため、片方向無線通信リンクへの対応を可能とした DSR1) のように、複数の制御メッセージのフラッディングを用いることが考えられるが、通信オーバーヘッドの拡大を避けることができない。我々は論文 4) マルチキャスト配送木から追加される受信無線ノードへのデータメッセージ配送経路を低い通信オーバーヘッドで検出する手法を提案した。ここでは、片方向無線通信リンクを含むユニキャスト配送経路の検出のために設計された LBSR プロトコルを拡張している。本論文では、マルチキャスト配送木に片方向無線通信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配送木からの離脱手法を提案する。

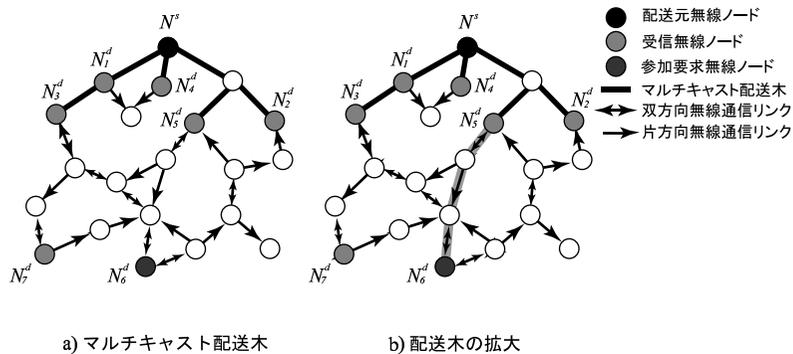


図 1 マルチキャスト配送木

2. 関連研究

2.1 アドホックマルチキャスト

アドホックネットワーク $(\mathcal{N}, \mathcal{L})$ は、無線ノード N_i の集合 \mathcal{N} と無線通信リンク $|N_i N_j\rangle$ の集合 \mathcal{L} によって定められる。ここで、無線ノード N_i の無線信号到達範囲に隣接無線ノード N_j が含まれるとき、無線通信リンク $|N_i N_j\rangle$ が存在する。 $|N_i N_j\rangle \in \mathcal{L}$ かつ $|N_j N_i\rangle \in \mathcal{L}$ であるとき、互いに隣接する無線ノード N_i と N_j は双方向無線通信リンク $\langle N_i N_j \rangle$ で接続されているという。一方、 $|N_i N_j\rangle \in \mathcal{L}$ かつ $|N_j N_i\rangle \notin \mathcal{L}$ であるとき、無線ノード N_i と N_j は N_i から N_j への片方向無線通信リンク $|N_i N_j\rangle$ で接続されているという。

アドホックネットワークでは、送信元無線ノード N^s の無線信号到達範囲に送信先無線ノード

N^d が含まれない場合には、他の無線ノードを中継ノードとする無線マルチホップ配送が用いられる。データメッセージは、無線マルチホップ配送経路 $R = \{N_0 (= N^s) \dots N_n (= N^d)\}$ に沿って配送される。 R は無線通信リンク $|N_i N_{i+1}\rangle$ ($0 \leq i < n$) の列である。各中継無線ノード N_i ($0 < i < n$) は、前ホップ無線ノード N_{i-1} から転送されたデータメッセージを受信し、次ホップ無線ノード N_{i+1} へと転送送信する。

マルチキャスト配送サービスは、単一の送信元無線ノード N^s から複数の受信無線ノードへデータメッセージ群を配送する通信サービスである。ここで、受信無線ノードの集合を RS とすると、データメッセージを N^s からすべての受信無線ノード $N_i^d \in RS$ へ配送するためには、 N^s から N_i^d へのマルチホップ配送経路 $R_i = \{N^s \dots N_i^d\}$ が必要である。ただし、各 R_i を独立に構成する手法には、以下の問題がある。

- 複数の無線マルチホップ配送経路に含まれる中継無線ノードが存在する。
- 互いの無線信号到達範囲に含まれる中継無線ノードが存在する。

複数の無線マルチホップ配送経路に含まれる中継無線ノードは、各データメッセージを繰返し送信する。これは、この中継無線ノードの消費電力を増加させる。さらに、互いに無線信号到達範囲に含まれる中継無線ノードが存在することで、これらの間の競合と衝突の発生機会が増加し、データメッセージの紛失率の上昇、配送遅延の延長、スループットの低下を招く原因となる。ここで、各無線マルチホップ配送経路に対する次ホップ無線ノードはこの中継無線ノードの無線信号到達範囲に含まれることから、転送送信されたデータメッセージはすべての次ホップ無線ノードによって受信されることを利用して通信オーバーヘッドを削減することができる。

そこで、マルチキャスト配送木を構成することで、この問題を解決することが一般に行なわれている。ここでは、送信元無線ノード N^s を根、受信無線ノード $N_i^d \in RS$ を葉または節点、中継無線ノードを節点とし、無線通信リンクを枝とする根付き木を用い、木に沿ってデータメッセージを配送する。各無線ノードは、配送木の親ノードから受信したデータメッセージを子ノードへと転送する。これによって、すべての受信無線ノードへのデータメッセージ配送をより低い通信オーバーヘッドで実現することができる。

2.2 マルチキャスト配送木に対する受信無線ノードの参加と離脱

前節で述べたマルチキャスト配送木の構成方法は、あらかじめ受信無線ノード集合 RS が確定しているか否かによって異なる。本論文では、あらかじめ RS が確定していない場合を対象とする。すなわち、マルチキャスト識別子 MID で指定されるマルチキャスト配送によるデータメッセージ群の受信への要求が受信無線ノード N_i^d において漸次発生し、 N_i^d が

漸次マルチキャスト配送木へ参加する場合を想定する。このとき、送信無線ノード N^s から $RS(\not\subseteq N_i^d)$ へのマルチキャスト配送木 $Tree(MID)$ が構成されている。ここで、受信無線ノード集合を $RS' := RS \cup \{N_i^d\}$ としたマルチキャスト配送木 $Tree'(MID)$ を構成し、 N_i^d へのデータメッセージ配送を実現するためには、以下の2点が求められる。

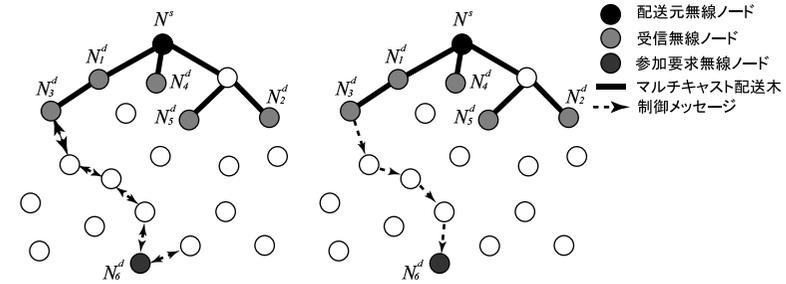
[要求条件]

R1: N_i^d のマルチキャスト配送への参加要求を $Tree(MID)$ に含まれるいずれかの無線ノード N へ通知する。

R2: $Tree(MID)$ に含まれるいずれかの無線ノード N' から N_i^d への無線マルチホップ配送経路 $\|N' \dots N_i^d\|$ を検出する。

論文3)では、すべての無線通信リンクが双方向であることを前提として(双方向無線通信リンクのみを用いることを前提として)、 N_i^d から MID を含むマルチキャスト参加要求メッセージ $Mreq(MID)$ をフラッディングによって配送する手法を提案している(図2.a)。 N_i^d から開始された $Mreq(MID)$ メッセージのフラッディングは、これを受信したマルチキャスト配送木 $Tree(MID)$ に含まれない無線ノードが $Mreq(MID)$ メッセージをブロードキャスト送信することによって進行する。この $Mreq(MID)$ メッセージを $Tree(MID)$ に含まれる無線ノード N が受信することによって、要求条件 R1 が充足される。

本手法では、すべての無線通信リンクが双方向であることを前提としていることから、 $N = N'$ とすることによって N_i^d から N への $Mreq$ メッセージの無線マルチホップ配送経路 $\|N_i^d \dots N\|$ の反転経路 $\|N \dots N_i^d\|$ をデータメッセージ配送経路の候補とすることができる。そこで、参加応答メッセージ $Mrep$ を N から N_i^d へこの経路に沿ってユニキャスト配送する(図2.b)。 N_i^d は、この $Mrep$ メッセージを受信することでデータメッセージ配送経路の候補が検出されたことを知る。ただし、 $Mreq$ メッセージはフラッディングによって配送されることから、これを $Tree(MID)$ に含まれる複数の無線ノードが受信し、複数の $Mrep$ メッセージがそれぞれ異なる無線マルチホップ配送経路に沿って N_i^d へと転送されることが考えられる。つまり、 N_i^d へのデータメッセージ配送経路の候補が複数検出される。そこで、 N_i^d はあらかじめ定められた一定時間内に受信した $Mrep$ メッセージに対応する配送経路候補からひとつを選択する。論文3)では、配送経路に含まれる各無線ノードの負荷の総和を指標とし、これが最小である経路を選択している。 N_i^d は選択した経路に沿って経路決定通知メッセージ $Mconf$ をユニキャスト配送することで、経路に含まれる中継無線ノードの経路表に MID に対応する次ホップ無線ノードを登録する。これによって要求条件 R2 が充足される。



a) $Mreq$ メッセージのフラッディング b) $Mrep$ メッセージのユニキャスト

図2 双方向無線通信リンクのみを用いる従来手法

一方、送信無線ノード N^s から受信無線ノード集合 RS へのマルチキャスト配送木 $Tree(MID)$ から受信無線ノード $N_i^d \in RS$ が離脱し、受信無線ノード集合を $RS' := RS - \{N_i^d\}$ としたマルチキャスト配送木 $Tree'(MID)$ とするためには、以下が求められる。
[要求条件]

R3: N_i^d のマルチキャスト配送からの離脱要求を子孫受信無線ノードとして N_i^d のみを持つすべての中継無線ノードへ通知する。

すべての無線通信リンクが双方向であることを前提としている(双方向無線通信リンクのみを用いることを前提としている)論文3)の手法では、 N_i^d からの MID を含むマルチキャスト離脱要求メッセージ $MLreq(MID)$ をマルチキャスト配送木に沿って祖先ノードへと配送することで、R3 を満足することができる。 $MLreq(MID)$ を受信した N_i^d の祖先ノードには、以下の3つの場合が考えられる。

- N_i^d を唯一の子孫受信ノードとする中継無線ノード
- N_i^d 以外の子孫受信ノードを持つ中継無線ノード
- 他の受信無線ノード

a) の場合のみ、この祖先ノードをマルチキャスト配送木から離脱させることができ、さらに祖先のノードを離脱させる可能性がある。b) と c) の場合には、この祖先ノードをマルチキャスト配送木から離脱させることはできず、さらに祖先のノードをも離脱させることは不可能である。以上の判断をするために、マルチキャスト配送木の葉ノードは、その子ノードの集合を管理する必要がある。

2.3 片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木への参加

論文 3) では、双方向無線通信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 2.a)。一方、マルチキャスト配送では多くの場合、各中継無線ノード N^p は次ホップ無線ノード N^c との間で 1 ホップ毎の受信確認を行われない。すなわち、無線通信リンク $|N^p N^c\rangle$ はデータメッセージ転送に用いられるが、受信確認メッセージの配送に無線通信リンク $|N^c N^p\rangle$ が用いられることはない。これは、すべての次ホップ無線ノードが中継無線ノードの無線信号到達範囲に含まれていることから、各中継無線ノードが転送するデータメッセージのブロードキャスト送信 (ネットワーク層においては MID を指定したマルチキャスト送信) を 1 回だけ行なうことによって、低遅延、高スループットのマルチキャスト配送が実現可能となることによるものである。したがって、マルチキャスト配送木においては、親ノードから子ノードへの片方向無線通信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り、双方向無線通信リンクは必要とはされない。

また、片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木を用いることには、双方向無線通信リンクのみを含むマルチキャスト配送木を用いることに比べて以下の利点がある。

- マルチキャスト配送の到達率を向上させることができる。送信元無線ノードから双方向無線通信リンクのみではマルチホップ配送経路が存在しない無線ノードであっても、片方向無線通信リンクを含むマルチホップ配送経路が存在する場合には、マルチキャスト配送サービスの受信無線ノードとなることができる。
- 送信元無線ノードからより少ないホップ数の配送経路を用いてデータメッセージを配送することができる。マルチホップ配送経路に片方向リンクを含むことを許すことによって、より短い配送経路に沿ってデータメッセージを配送することが可能となる。

ただし、片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木への参加に論文 3) の手法をそのまま適用することはできない。なぜならば、 $Mreq(MID)$ メッセージのマルチホップ配送経路 $\|N_i^d \dots N\rangle$ の反転経路 $\|N \dots N_i^d\rangle$ 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。これは、 $\|N_i^d \dots N\rangle$ に片方向無線通信リンクが含まれることがあるためである。

このため、データメッセージの無線マルチホップ配送のための N から N_i^d への経路 $\|N \dots N_i^d\rangle$ の検出が必要である。論文 2) で指摘されているように、このためには $Mrep(MID)$ メッセージのフラッディングを用いることが求められる。ところで、論文 3) の手法では、 $Mreq(MID)$ メッセージは $Tree(MID)$ に含まれる複数の無線ノードによって受信されることが考えられる。このとき、各無線ノードによって $Mrep(MID)$ メッセージ

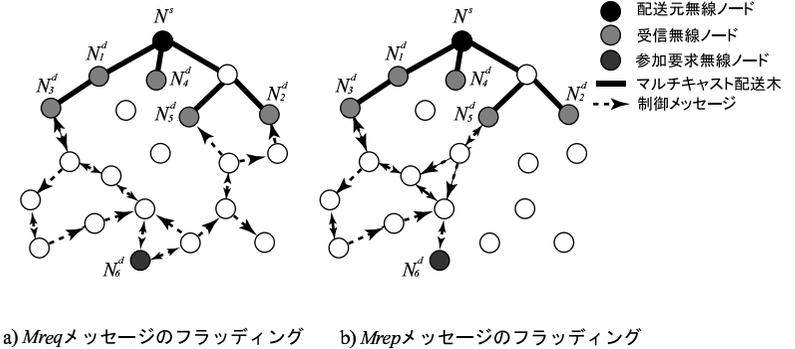


図 3 従来手法の拡張による片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木構成

のフラッディングを開始する必要がある。これは、 $Tree(MID)$ に含まれる無線ノード N から N_i^d への無線マルチホップ配送経路 $\|N \dots N_i^d\rangle$ が必ずしも存在するとは限らないからである。 $Mreq$ メッセージが配送木に含まれる n ノードに受信される場合、最大で $n+1$ 回の制御メッセージのフラッディングが必要となる (図 3)。

3. 提案手法

3.1 LBSR を用いたマルチキャスト配送木への参加

論文 4) では、到達率がより高く、配送経路長がより短い片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送木への参加手法を提案している。2.3 節で述べたように、論文 3) の手法をそのまま適用した場合、制御メッセージの複数のフラッディングを用いることが必要とされる。これは、2.2 節で述べた 2 つの要求条件 R1 と R2 を独立に満足するプロトコルを構成したことによるものである。そこで、論文 4) では、片方向無線通信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 (Loop-Based Source Routing) プロトコル 2) の拡張によってマルチキャスト配送木への参加を実現する手法を提案した。

LBSR では、片方向無線通信リンクをも含むことを前提として、送信元無線ノード N^s から送信先無線ノード 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。ここでは、その概要について述べる。

まず、 N^s からループ経路探索要求メッセージ $Lreq$ のフラッディングを行なう。 $Lreq$ メッ

セージは、 M^s 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、 $Lreq$ メッセージは、次のいずれかとなる。

- 無線マルチホップループ経路に沿った配送によって M^s に受信される。
- 既に $Lreq$ 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。

$Lreq$ メッセージの受信によってループ経路を検出した M^s は、検出したループ経路に沿ってループ経路確認メッセージ $Lconf$ をユニキャスト配送する (図 2.b)。このとき、検出したループ経路に含まれる無線ノードが $Lreq$ メッセージのブロードキャスト送信後に受信した $Lreq$ メッセージを $Lconf$ 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、 $Lreq$ メッセージを M^s 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 $Lconf$ 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^s から M^d を経由して M^s へと戻るループ経路を検出する。なお、論文 2) では、 $Lreq$ メッセージのフラッディングと $Lconf$ メッセージのユニキャスト配送とが並行に進行することを考慮したプロトコルが設計されている。

3.2 LBSR のマルチキャスト拡張

本節では、3.1 節で概要を説明した LBSR を拡張することによって、マルチキャスト配送されるデータメッセージの受信を要求する無線ノード N_i^d がマルチキャスト配送に参加し、マルチキャスト配送木を拡大する手法について述べる (図 4)。ここでは、 N_i^d から $Tree(MID)$ 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検出することによって、2.2 節の要求条件 R1 と R2 を同時に充足する。

ここで、検出される無線マルチホップループ経路に含まれる $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードはいずれのノードであっても構わない点が単一の特定された送信先無線ノードを含む無線マルチホップループ経路を検出する LBSR とは異なる。そこで、LBSR では送信元無線ノードからフラッディング配送される $Lreq$ メッセージに送信先無線ノード ID をピギーバックするのに対して、本論文で提案する LBSR のマルチキャスト拡張では、マルチキャスト ID MID をピギーバックした $Mreq(MID)$ メッセージをフラッディング配送する。さらに、 $Mreq(MID)$ メッセージには、 $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードを通過したか否かを示す *Detected* フラグを付与する。フラッディング開始時には $Detected := False$ とし、 $Tree(MID)$ に含まれない無線ノードは *Detected* フラグを変更せずに $Mreq(MID)$ メッセージをブロードキャスト送信する。一方、 $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードは $Detected := True$ として $Mreq(MID)$ メッセージをブロードキャスト送信する。 N^s がフラッディングもしくは

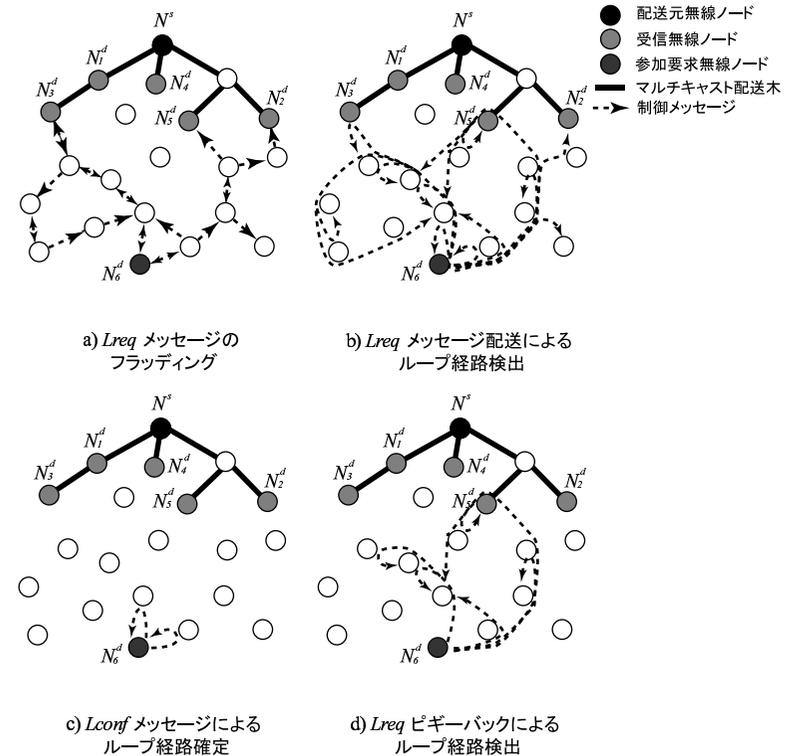


図 4 LBSR のマルチキャスト拡張

$Mreq(MID)$ メッセージへのピギーバックとして受信した $Mreq(MID)$ メッセージの *Detected* フラグが *False* であるならば、この $Mreq(MID)$ メッセージは $Tree(MID)$ に含まれない無線ノードのみからなる無線マルチホップループ経路に沿って配送されたものであり、逆に *Detected* フラグが *True* であるならば、この $Mreq(MID)$ メッセージは $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードをひとつ以上含む無線マルチホップループ経路に沿って配送されたものである。

$Mreq(MID)$ メッセージがフラッディングによって配送されることと N^s が複数の $Mreq(MID)$ メッセージを送信する可能性があることから、複数の無線マルチホップループ経路が並行に検出される。このため、 $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードを含む複数の無線マルチホッ

ループ経路が並行に検出される可能性がある。LBSR プロトコルのマルチキャスト拡張では、すべての $Mconf$ メッセージのユニキャスト配送は N^s で開始され、 N^s で終了する。そこで、 $Detected$ フラグが $True$ である $Mreq(MID)$ メッセージに対する $Mconf$ メッセージを 1 度だけ N^s からユニキャスト配送する手法を用いる。なお、これ以降に受信した $Mreq(MID)$ メッセージに対する $Mconf$ メッセージのユニキャスト配送は行なわない。これによって、 $Mreq$ メッセージと $Mrep$ メッセージのフラッディングを用いる手法と比較して、検出される無線マルチホップ配送経路候補数が減少するものの、より低い通信オーバーヘッドでの経路検出 (マルチキャスト配送木の拡大) が実現できる。なお、 $Detected$ フラグが $True$ である $Mreq(MID)$ メッセージに対する $Mconf$ メッセージをユニキャスト配送する無線マルチホップループ経路の選択手法は様々に定めることができる。

- 最初に受信した $Mreq(MID)$ によって検出された無線マルチホップループ経路を選択する。経路検出時間を短縮し、より早くデータメッセージの配送を開始するための手法である。
- 送信したすべての $Mconf$ メッセージ (これらはすべて $Detected$ フラグが $False$ である $Mreq(MID)$ メッセージに対するものとして送信されたものである) が N^s に受信されるまで待機する。この間に受信された $Detected$ フラグが $True$ である $Mreq(MID)$ メッセージの受信によって N^s に検出された $Tree(MID)$ に含まれる無線ノードを含むすべての無線マルチホップループ経路からひとつを選択する。一例として、データメッセージ配送経路が短い ($Tree(MID)$ に含まれる無線ノードから受信無線ノードまでのホップ数が最小である) ものを選択することが考えられる。

3.3 ループ経路を用いたマルチキャスト配送木からの離脱手法

受信無線ノード N_i^d がマルチキャスト配送木 $Tree(MID)$ 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 $MLreq(MID)$ を祖先ノードへと配送する。2.2 節で述べたように、 $Tree(MID)$ に含まれる中継無線ノードのうち N_i^d を唯一の子孫受信無線ノードとして持つものは、 N_i^d の離脱以降に $Tree(MID)$ に含まれる必要がない。ただし、 N_i^d 以外の子孫受信無線ノードを持つ場合には、その受信無線ノードへのデータメッセージ配送が必要であることから、 $Tree(MID)$ から離脱することはできない。

マルチキャスト配送木が双方向無線通信リンクのみによって構成されている場合には、 N_i^d は $MLreq(MID)$ を親ノードへ送信すればよい。これを受信した親ノードは、自身が中継無線ノードであり N_i^d が唯一の子孫受信ノードであるならば、 $MLreq(MID)$ を親ノードへ送信するとともに、 $Tree(MID)$ から離脱する。それ以外の場合、すなわち自身が受信無線

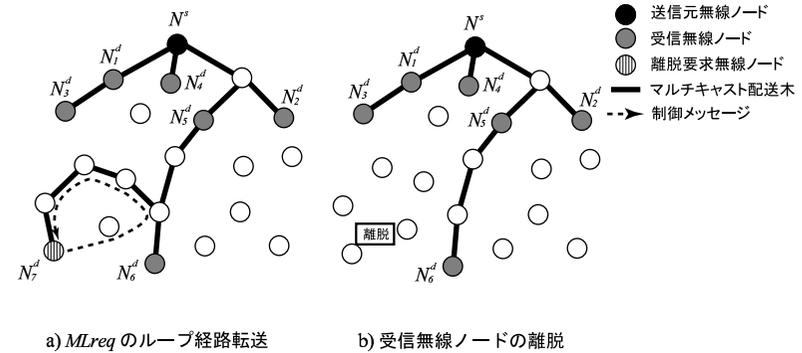


図 5 $MLreq$ のループ経路配送による中継無線ノードの離脱

ノードであるか、他の子孫受信無線ノードである場合には、このメッセージをそれ以上転送しない。一方、マルチキャスト配送木が片方向無線通信リンクを含む場合には、受信無線ノードあるいは中継無線ノードが親ノードに $MLreq(MID)$ を転送することができるとは限らない。このため、離脱可能であるにも関わらず離脱できない中継無線ノードが発生することが考えられる。

この問題を解決するために、本論文では、離脱する受信無線ノード N_i^d がマルチキャスト配送木に参加したときにマルチキャスト参加要求メッセージ $Mreq$ によって検出し、既マルチキャスト配送木に含まれる無線ノードを含むループ経路検出時にユニキャスト配送されたループ経路確認メッセージ $Lconf$ が配送されたループ経路に沿って離脱要求メッセージ $MLreq$ をユニキャスト配送する方法を提案する。 N_i^d のマルチキャスト参加時に $Tree(MID)$ に追加された中継無線ノードはすべてこの $Lconf$ メッセージがユニキャスト配送されたループ経路に含まれている。また、このループ経路に含まれている無線ノード列は、 N_i^d がこのループ経路を検出した際に受信した $Mreq$ メッセージの配送経路であり、 N_i^d が取得可能である。そこで、図 5 に示すように N_i^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。

この $MLreq$ 転送時に N_i^d 以外の子孫受信無線ノードを持つ中継無線ノード N^i は、 $MLreq$ メッセージのユニキャスト転送は行なうが、 $Tree(MID)$ から離脱せず中継無線ノードとしてデータメッセージの転送を続ける。 N^i の最後の子孫受信無線ノード N_j^d が $Tree(MID)$ から離脱するために $MLreq$ メッセージが N_j^d のマルチキャスト配送木への参加時に $Lconf$

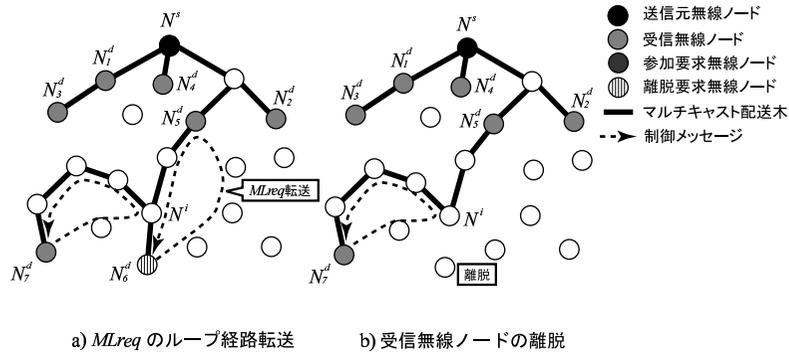


図 6 離脱不能中継無線ノードの発生

メッセージが配送されたループ経路に沿ってユニキャスト配送されるが、このループ経路に N^i の親ノードが含まれていない場合には、 N^i は $Tree(MID)$ から離脱することができない (図 6)。

この問題を解決するためには、 N^i のすべての子孫受信無線ノードが $Tree(MID)$ から離脱するときに、自身の親ノードに離脱要求を伝えることを可能とすることが必要である。そこで、いずれかの子孫受信無線ノードの離脱要求メッセージ $MLreq$ を N^i が親ノードから受信し、他の子孫受信無線ノードが存在する場合には、 N^i がこの $MLreq$ メッセージがユニキャスト配送されるループ経路の情報を保持する。そして、 N^i の最後の子孫受信無線ノードからの $MLreq$ メッセージを受信したならば、この $MLreq$ メッセージをユニキャスト

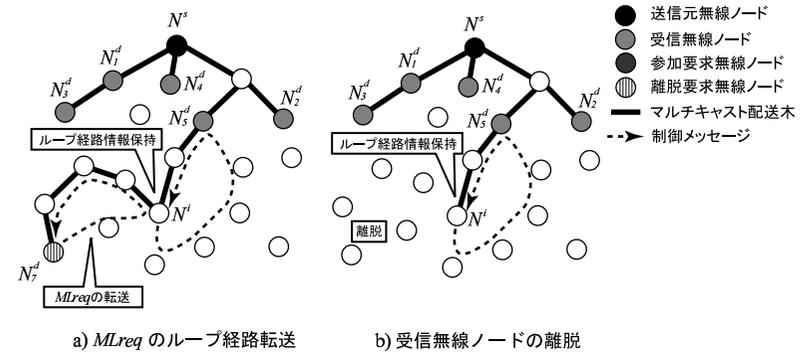


図 7 経路情報の移譲

ト転送するとともに、保持していたループ経路情報にしたがって N^i 自身が $Tree(MID)$ から離脱するための $MLreq$ メッセージをユニキャスト送信する (図 7)。このループ経路には、 N^i の親ノードが必ず含まれることから、 N^i が離脱不能となる問題を解決することが可能である。なお、このような中継移動無線ノードを起点とする $MLreq$ メッセージのループ経路配送は、より上流の中継無線ノードを対象として再帰的に開始することが可能である。

4. まとめ

本論文では、片方向無線通信リンクを含む MANET において、マルチキャスト配送木に含まれる無線ノードのひとつからマルチキャスト配送に参加する受信無線ノードまでの無線

マルチホップ配送経路を探索，検出し，マルチキャスト配送木を漸次拡大する手法に対応するマルチキャスト配送木からの離脱手法を提案した．受信無線ノードとともに離脱可能となる中継無線ノードへの通知は，マルチキャスト配送木への参加時に検出したループ経路を再利用することによって実現する．中継無線ノードが複数の受信無線ノードの祖先ノードである場合に離脱要求メッセージを親ノードへ配送できないために離脱不能となる問題をループ経路情報を中継無線ノードに保持することによって解決した．今後は離脱プロトコルの性能評価を行なう．

参 考 文 献

- 1) David, B., David, A., Hu, Y.C., Jorjeta, G. and Jetcheva, “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,” Internet Draft, draft-ietfmanet-dsr-10.txt (2005).
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) 鈴木, 桧垣, “片方向リンクを含む MANET におけるマルチキャスト配送経路検出手法,” 情処研報, vol.2009-DPS-140, No.7, pp.1-6 (2009)