

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

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、マルチキャスト参加要求メッセージを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。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プロトコルを提案する。シミュレーション実験により、提案手法が従来手法と比較してより低い通信オーバーヘッドでマルチキャスト配送木を構成できることを確認する。

Multicast-Tree Configuration in MANET with Uni-Directional Links

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 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 multihop transmission route along which the request control message is transmitted is not always available for data message transmission. This paper proposes a novel multicast tree configuration protocol which is an extension of LBSR, a unicast routing protocol supporting MANETs with uni-directional links. The result of simulation experiments shows that the proposed protocol requires lower communication overhead.

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 (図 1) 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

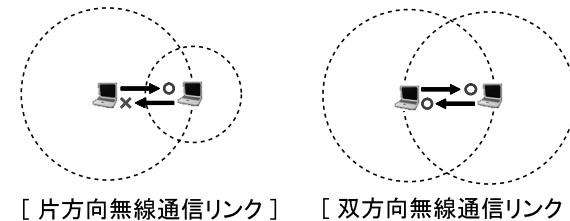


図 1 片方向無線通信リンクと双方向無線通信リンク
Fig.1 Uni- and Bi-Directional Communication Links

^{†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

としてデータメッセージを送信する(図2.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。追加される受信無線ノード 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2.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。そこで本論文では,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する。

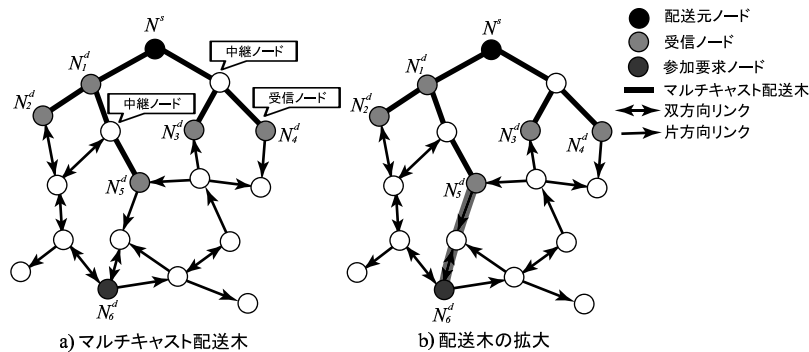


図2 マルチキャスト配送木
Fig.2 Multicast Tree

2. 従来手法

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 $[N_i N_j]$ 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 $[N_i N_j]$ が存在する。 $[N_i N_j] \in \mathcal{L}$ かつ $[N_j N_i] \in \mathcal{L}$ 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, $[N_i N_j] \in \mathcal{L}$ かつ $[N_j N_i] \notin \mathcal{L}$ 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 $[N_i N_j]$ 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 $[N_i N_{i+1}]$ ($0 \leq i < n$) 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 配送木構成

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 $RS(\not\exists N_i^d)$ 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3.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3.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。

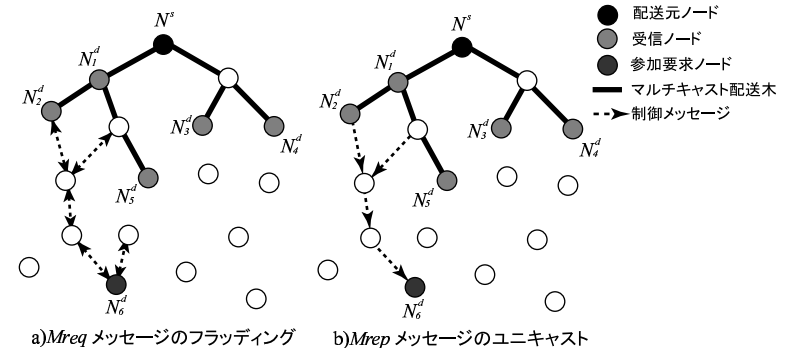


図3 双方向無線通信リンクのみを用いる従来手法

Fig. 3 Conventional Multicast Configuration Method with only Bi-directional Communication Links

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

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3.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 $[N^p N^c]$ 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 $[N^c N^p]$ 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の構成に論文 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 $\|N_i^d \dots N\|$ の反転経路 $\|N \dots N_i^d\|$ 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。これは、 $\|N_i^d \dots N\|$ 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 $\|N \dots N_i^d\|$ 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 $\|N \dots N_i^d\|$ 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、全体で $n+1$ 回の制御メッセージのフラッディングが必要となる (図 4)。

3. 提案手法

3.1 LBSR を用いたマルチキャスト配送木構成

本論文では、到達率がより高く、配送経路長がより短いマルチキャスト配送木の構成を片方向無線通信リンクを含むことによって実現する手法を提案する。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、本論文では、片方向無線通信リンクを含

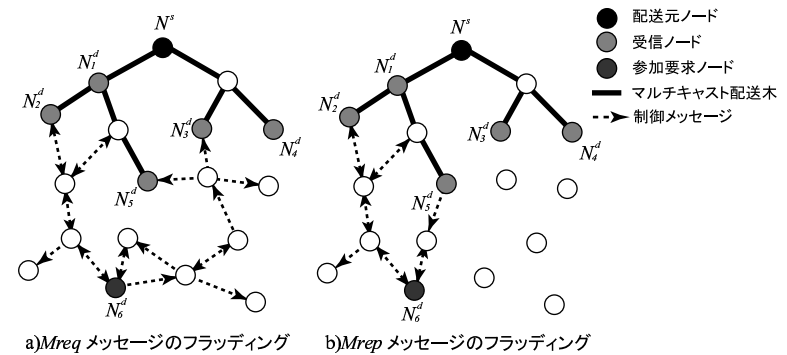


図 4 従来手法の拡張による片方向無線通信リンクを含む配送木構成
 Fig. 4 Multicast Tree Configuration with Bi- and Uni-directional Communication Links based on Conventional Protocol

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の構成を実現する手法を提案する。

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 3.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 を含むように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 5)。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 $Mconf$ 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 $Mconf$ 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プ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

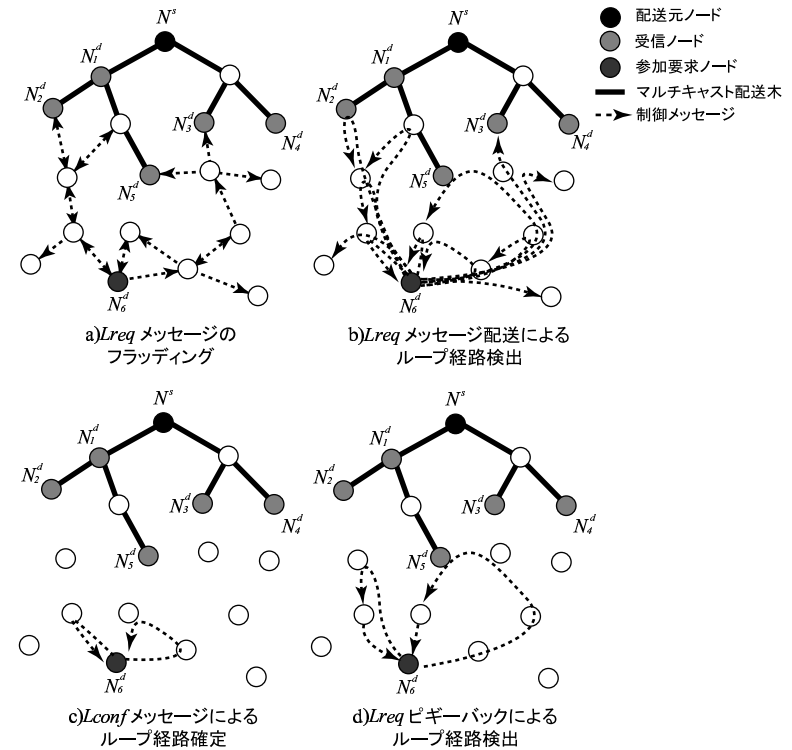


図 5 提案手法

Fig. 5 Multicast Tree Extension by Proposed Protocol

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。

4. 性能評価

本論文で提案し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 LBSR プロトコルのマルチキャスト拡張によって検出する手法の性能を評価する。

まず、マルチキャスト配送木に片方向無線通信リンクを含むことによる到達率向上およびマルチキャスト配送経路短縮の効果を評価する。ここでは、 $1000m$ 平方のフィールドに 100–500 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。送信元無線ノードをランダムに選択し、他のすべてのノードに対する到達率 (無線マルチホップ配送経路の存在率) と最短マルチホップ配送経路長を双方向無線通信リンクのみを用いた場合と片方向無線通信リンクを含むことを許した場合とで比較評価する。図 6 に到達率、図 7 に片方向無線通信リンクを用いることによって配送経路長を短縮することができる無線ノード数、図 8 に平均経路長の測定結果を示す。片方向無線通信リンクを経路に含むことによって、特に無線ノード密度が低い環境での到達率が改善される^{*1}。また、片方向無線通信リンクを含むことによって、10–40%程度の無線ノードへの配送経路長を短縮することができる。その経路長短縮率は無線ノード数によらず概ね 10%程度である。以上により、片方向無線通信リンクを含むことにより、到達率の向上と経路長の短縮が期待できるといえる。

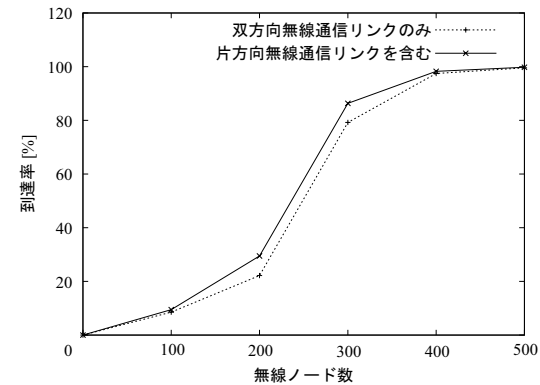


図 6 マルチホップ経路到達率

Fig. 6 Reachability of Wireless Multihop Transmission

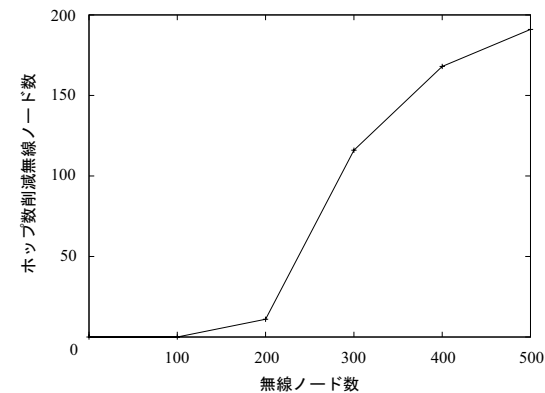


図 7 経路長短縮される無線ノード数

Fig. 7 Number of Wireless Nodes with Shorter Transmission Routes

次に、片方向無線通信リンクを含むマルチキャスト配送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、マルチキャスト配送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。ネットワークシミュレータには GloMoSim を用いる。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

*1 無線ノード数が 100 台の場合は到達率が極端に低く、片方向無線通信リンクを用いても到達率が改善されない。

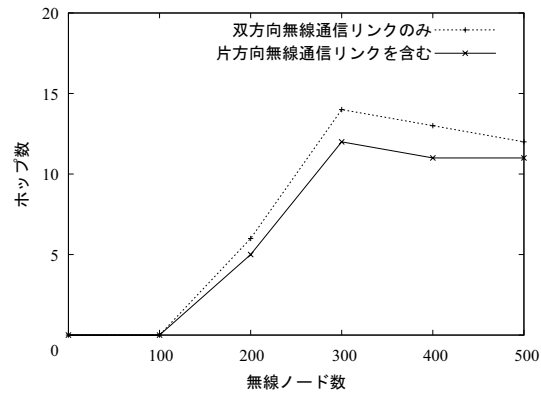


図 8 無線マルチホップ配送経路長

Fig. 8 Length of Wireless Multihop Transmission Routes

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。送信元無線ノードをフィールドの中心に配置し、5-30 台の無線ノードからなるマルチキャスト配送木をあらかじめ構成する。ここで、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する。

受信ノードを 1 台追加するために必要とされる制御メッセージ数の測定結果を図 9 に示す。制御メッセージ数は、シミュレーションフィールドにおける既存配送木の配置には依存せず、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、無線ノード数の増加とともに制御メッセージ数も増加するが、提案手法は従来手法よりもより少ない制御メッセージしか必要としない。その削減率は 50-70% 程度であり、分布密度が高い環境ほど大きくなっている。したがって、提案した LBSR のマルチキャスト拡張プロトコルは、より低い通信オーバーヘッドでマルチキャスト配送木の拡大を実現することが可能である。

5. 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追加され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を提案した。片方向無線通信リンクを含む場合でも低通信オーバーヘッドで経路探索を実現するために LBSR プロトコル

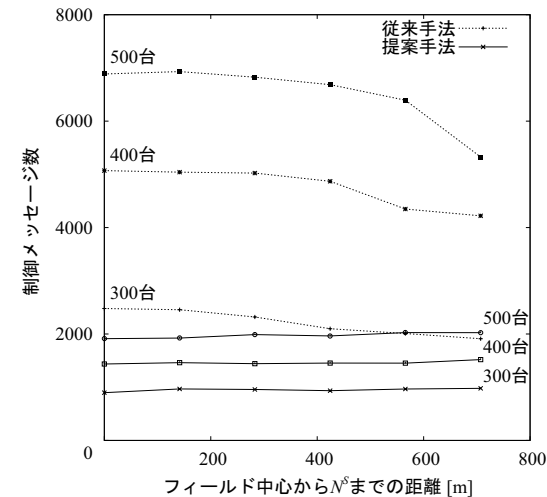


図 9 配送木拡大に要する制御メッセージ数

Fig. 9 Number of Control Messages for Multicast Tree Extension

をマルチキャスト拡張した。シミュレーション実験により、片方向無線通信リンクを用いることが到達性向上、配送経路長短縮に寄与することを確認し、提案プロトコルが従来プロトコルよりも経路探索に要する制御メッセージ数を 50-70% 程度削減することを示した。

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).