

## 送信電力制御と複数チャネル使用による経路内衝突のない 無線マルチホップ配送\*

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科<sup>†</sup>

松村 真吾 桧垣 博章<sup>‡</sup>

### 1 はじめに

送信元無線ノード  $M_s (= M_0)$  から送信先無線ノード  $M_d (= M_n)$  までのデータメッセージ配送を中継無線ノード  $M_i (1 \leq i < n)$  を含むマルチホップ配送経路  $R = \{M_0 \dots M_n\}$  を用いて行なう無線アドホックネットワーク、センサネットワーク、無線メッシュネットワークにおいて、データメッセージのエンドエンドスループットを向上させる手法が求められている。ブロードキャストを基礎とするために隣接無線ノードと通信媒体を共有する無線マルチホップネットワークにおいて高スループットなマルチホップ配送を実現するためには、衝突、競合を回避することが有効である。論文 [1] では、順次短縮する無線通信リンクで構成された無線マルチホップ配送経路を用いることによって単一マルチホップ配送経路における隠れ端末間の競合を解消し、高スループット配送を実現する手法を提案した。しかし、無線通信リンクを順次短縮させなければならぬという制約条件から、特に広域な無線マルチホップネットワークでは経路検出率が低下するため可用性が損われる問題がある。本論文では、各無線ノードで複数チャネルが使用可能であることを前提とし、マルチホップ配送経路の中継ノードで異なるチャネルを用いてデータメッセージを転送することで経路検出率を改善する手法を提案する。

### 2 関連研究

無線マルチホップネットワークにおいては、単一マルチホップ配送経路内における衝突、競合を削減、回避するための手法と複数マルチホップ配送経路間における衝突、競合を削減、回避する手法とが提案されている。本論文では、前者の問題について議論する。

無線マルチホップ配送経路  $R$  に含まれる各中継無線ノード  $M_i$  は、前ホップ無線ノード  $M_{i-1}$  から受信したデータメッセージを次ホップ無線ノード  $M_{i+1}$  へ転送する。したがって、 $M_i$  は  $M_{i-1}$  の無線信号到達範囲に含まれ、 $M_i$  の無線信号到達範囲には  $M_{i+1}$  を含む。各無線ノードの無線信号送信電力が一定である場合、隣接無線ノードは互いに相手を無線信号到達範囲に含むことになる。したがって、 $M_i$  の無線信号到達範囲には  $M_{i-1}$  を含み、 $M_i$  は  $M_{i+1}$  の無線信号到達範囲に含まれる (図 1)。すなわち、 $M_i$  は  $M_{i-1}$  と  $M_{i+1}$  の無線信号到達範囲に含まれることとなり、 $M_{i-1}$  と  $M_{i+1}$  は互いに隠れ端末の関係となる。そのため、これらの送信する無線信号の  $M_i$  における衝突によって無線通信リンク  $|M_{i-1}M_i|$  を転送されるデータメッセージが再送信されることによるスループットの低下を回避するためには、RTS/CTS 制御の導入によって隠れ端末問題を

を解決することが考えられる。しかし、RTS/CTS 制御によって  $M_i$  における衝突は回避可能となるものの、 $M_{i-1}$  と  $M_{i+1}$  は同時にデータメッセージを転送することができない競合が発生することとなり、データメッセージの転送待ちによってエンドエンドのスループットが低下する。なお、RTS/CTS 制御のオーバーヘッドによるスループット低下を縮小するための手法として MARCH [2] があるが、競合発生の問題を解決するものではない。

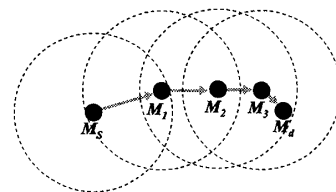


図 1: 従来手法における無線マルチホップ配送経路

論文 [1] では、無線マルチホップ配送経路を順次短縮する無線リンクで構成することによって、互いに隠れ端末である  $M_{i-1}$  と  $M_{i+1}$  との間の競合を解消する手法 RH2SWL を提案している。ここでは、図 2 に示すように各中継無線ノード  $M_i$  において  $|M_{i-1}M_i| > |M_iM_{i+1}|$  を満足する無線マルチホップ配送経路を探索、検出し、 $M_i$  が  $M_{i+1}$  を無線信号到達範囲に含むための最小送信電力でデータメッセージを転送する。このため、 $M_i$  は  $M_{i-1}$  の無線信号到達範囲に含まれる一方、 $M_{i+1}$  の無線信号到達範囲には含まれないため、 $M_{i-1}$  と  $M_{i+1}$  の競合が解消され、これらが同時にデータメッセージを転送することが可能となる。ただし、順次短縮する無線通信リンクによって経路を構成する制約から、経路検出率の低下を避けることができず、特に送信元無線ノードから送信先無線ノードまでの距離が大きくなる大規模無線マルチホップネットワークへの適用が困難である。経路探索プロトコルにおける経路探索要求メッセージ  $Rreq$  のフラッディングでは、各無線ノードがすべての隣接無線ノードによってブロードキャスト送信される  $Rreq$  メッセージを受信することから、次ホップ無線ノードの検出可能性がより高くなる場合には  $Rreq$  メッセージの再送信を行なうことで経路検出率を改善する RH2SWLwRB を論文 [3] で提案している。しかし、再送信による通信オーバーヘッドの拡大が問題である。

### 3 提案手法

前章で述べた経路探索要求メッセージ  $Rreq$  の到達性を順次短縮経路探索において改善する手法を提案する。IEEE802.11 や Bluetooth といった無線 LAN プロトコルでは、互いに干渉しない複数の無線通信チャネルを備えている。異なる無線通信チャネルを用いた無線信号は互いに衝突しない。そこで、無線ノード  $M_i$  が

\*Highly Available RH2SWL with Multiple Wireless Communication Channels

<sup>†</sup>Tokyo Denki University

<sup>‡</sup>Shingo Matsumura and Hiroaki Higaki

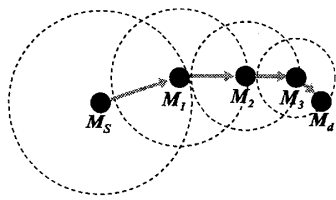


図 2: 順次短縮リンクによる競合の解消

次ホップ無線ノード候補を検出することが不可能あるいは困難と判断した場合には、経路探索に用いる最大送信電力を用いた場合の無線信号到達範囲に含まれるすべての隣接無線ノードを次ホップ無線ノード候補とする手法を用いる。本論文では、マルチホップ配送経路の隣接無線ノード間距離があらかじめ定められた閾値以下となった場合には次ホップ無線ノードの検出が困難であると判断する。図 3 に示すように、無線リンク長  $|M_{i-1}M_i|$  が閾値以下となったならば、 $M_i$  のすべての隣接無線ノードを次ホップ無線ノード候補として  $Rreq$  メッセージのフラッディングを継続する。これによって、 $|M_0M_1| > \dots > |M_{i-1}M_i|$  かつ  $|M_{i-1}M_i| < |M_iM_{i+1}|$  かつ  $|M_iM_{i+1}| > \dots > |M_{n-1}M_n|$  なる無線マルチホップ配送経路  $R$  が検出される。データメッセージは  $|M_iM_{i+1}|$  でのみ他の無線通信リンクとは異なる無線通信チャネルを用い、 $R$  の他の無線通信リンクでは同一の無線通信チャネルを用いて転送される。これによって、 $M_{i-1}$  は  $M_{i-2}$  と  $M_i$  の両方の無線信号到達範囲に含まれるものの、 $M_{i-2}$  と  $M_i$  が異なる無線通信チャネルを用いてデータメッセージを転送することから、無線信号の衝突を回避することが可能である。

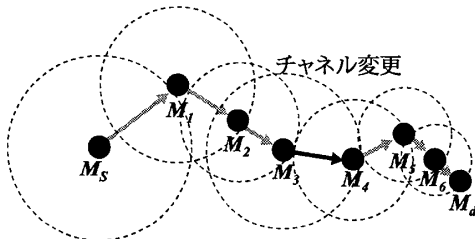


図 3: チャンネル変更による中継無線ノード選択条件の緩和

なお、本手法を実現するプロトコルでは、 $Rreq$  メッセージはすべて同一のチャネルを用いて配送する。 $M_{i-1}$  から受信した  $Rreq$  メッセージには  $|M_{i-2}M_{i-1}|$  の推定値が格納されている。 $M_i$  は  $M_{i-1}$  からの無線信号受信強度から  $|M_{i-1}M_i|$  を推定し、 $|M_{i-2}M_{i-1}| > |M_{i-1}M_i| > D_{threshold}$  であるならば  $|M_{i-1}M_i|$  を格納した  $Rreq$  メッセージをブロードキャスト送信する。一方、 $|M_{i-2}M_{i-1}| > |M_{i-1}M_i|$  かつ  $|M_{i-1}M_i| < D_{threshold}$  であるならば、最大無線信号到達距離を格納した  $Rreq$  をブロードキャスト送信する。

#### 4 評価

本論文で提案するチャンネル変更を導入した順次短縮無線通信リンクからなる経路を用いた無線マルチホップ配送手法が経路検出率を改善することを確認するために、経路探索要求メッセージ  $Rreq$  が送信元無線ノード

からより遠方の無線ノードまで到達することをシミュレーション実験によって評価する。ここでは、シミュレーション領域を  $5,000\text{m} \times 5,000\text{m}$  とし、送信元無線ノードをその中心に、中継無線ノードを一様分布乱数を用いてランダムに配置する。各無線ノードの最大無線信号到達距離を  $100\text{m}$  とし、従来の RH2SWL、チャンネル変更を導入した RH2SWL、順次短縮条件を適用しないフラッディングの 3 つの手法を用いた場合に  $Rreq$  メッセージが到達した最も送信元ノードから離れた無線ノードまでの距離を測定する。無線ノード数を変化させて測定した結果を図 4 に示す。いずれの手法を用いた場合でも、無線ノード密度が高くなることで接続性が向上し、より遠方まで  $Rreq$  メッセージを到達させることができる。順次短縮リンクが構成可能である場合にのみ  $Rreq$  メッセージを転送する RH2SWL に対し、RH2SWL にチャンネル変更を導入することで到達距離を延長することができている。測定範囲全体の平均では、到達距離を  $61.1\%$  延長できていることから、提案手法が RH2SWL の接続性を改善しているといえる。

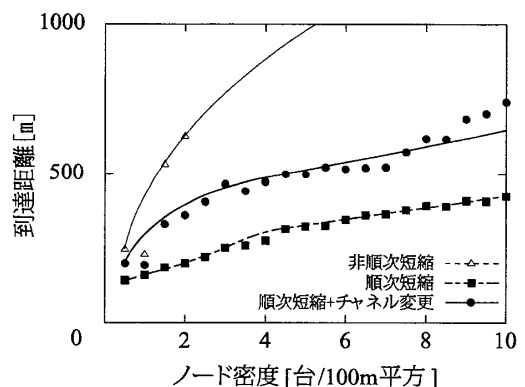


図 4: 順次短縮と提案手法の到達距離

#### 5 まとめ

本論文では、順次短縮リンクからなる無線マルチホップ配送経路の検出率を改善するために一時的にチャンネルを変更してデータメッセージを配送する経路を構築する手法を提案した。また、シミュレーション実験によって経路探索メッセージが送信元無線ノードからより遠方にある無線ノードまで到達可能であることを確認した。経路検出率およびデータメッセージの配送遅延、配送スループットのシミュレーション実験評価が今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] Numata, Y. and Higaki, H., "Routing and Communication Protocols for Higher Throughput in Wireless Ad-Hoc Networks," Proc. of 7th Int. Conf. on Wireless and Optical Communications, pp. 68-74 (2007).
- [2] Toh, C.K., Vassiliou, V., Guichal, G. and Shih, C.H., "MARCH: A Medium Access Control Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," Proc. of 21st IEEE MILCOM, pp. 512-516 (2000).
- [3] 沼田, 桧垣, "RH2SWLwRB: 経路検出率を改善した順次短縮経路検出プロトコル," 情報研報, Vol. 2007, No. 44, pp. 85-90 (2007).