

6X-1

複数チャンネルによる高スループット無線マルチホップ配送の実装手法*

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科[†]
木ノ内 隆幸 桧垣 博章[‡]

1 はじめに

無線ノード群によって構成されるアドホックネットワーク、センサネットワーク、メッシュネットワークでは、送信元ノードから送信先ノードへデータメッセージが無線マルチホップ配送される。各中継無線ノードは、IEEE802.11等の無線LANプロトコルを用いて無線マルチホップ配送経路の次ホップ無線ノードへとデータメッセージを転送する。無線通信では、各無線ノードが信号到達範囲を占有してメッセージをブロードキャスト送信することから、互いに晒し端末、隠れ端末となる無線ノード間の干渉によるメッセージの紛失、配送遅延の延長を回避することが求められる。無線信号の衝突を回避するために、RTS/CTS制御による時間的手法、構築経路の選択や送信電力制御による空間的手法に加え、複数のチャンネルを使い分ける手法が提案されている。本論文では、チャンネルを無線マルチホップ配送経路の各無線リンクに割当てる手法を対象として、これをソフトウェア無線を用いて実装する手法について議論する。

2 関連研究

無線LANプロトコルを用いて通信する無線ノード群から構成されるネットワークでは、単一チャンネルを用いて通信する場合、複数の隣接無線ノードから同一の無線ノードへ同時に送信されたメッセージは、衝突によりいずれも受信することができない。送信無線ノードが互いの信号到達範囲に含まれる晒し端末である場合には、CSMA/CAにより衝突を回避し、互いの信号到達範囲に含まれない隠れ端末である場合には、RTS/CTS制御により衝突を回避する。しかし、このような時間的手法は、送信無線ノードの待機による配送遅延の延長や中継ノードでのバッファオーバーフロー等の問題を招く。一方、異なる配送経路に含まれる中継無線ノード間の干渉を経路選択によって回避/削減する手法 [1] や送信電力制御によって単一配送経路内の中継無線ノード間の干渉を回避する手法 [2] が提案されているが、配送経路長 (中継無線ノード数) の増加の問題がある。

多くの無線LANプロトコルでは、異なる周波数を用いることで互いに干渉しない複数のチャンネルを用いることが可能である。ただし、一般にチャンネル数はネットワーク内の無線ノード数や無線リンク数よりも少ないことから、各チャンネルを複数の無線ノード、無線リンクで使用することが必要であり、干渉を回避/削減する割当て手法の導入が求められる。この割当て手法として、各無線マルチホップ配送経路に単一のチャンネルを割当てる手法、各無線ノードに割当てる手法、各無線リンクに割当てる手法が提案されている。論文 [5] では、図1に示すように各無線マルチホップ配送経路にチャンネルを割当てる手法が提案されている。本手法によって、近接する複数の経路に含まれる中継無線ノード間の干渉による衝突を回避することができる。しかし、単一経路内

に含まれる中継無線ノード間の干渉は回避することができない。特に、経路内の2ホップ隣接無線ノードは互いに隠れ端末になることから、RTS/CTS制御等の導入が必要となり、配送遅延の延長を招く。MACA-CT [3] では、配送経路の有無とは無関係に各無線ノードに対してチャンネルを割当てる (図2)。同一配送経路に含まれる無線ノード間の干渉回避も考慮したチャンネル割当てを行なうことから、経路内と経路間の双方で生じる干渉が回避可能である点が優れている。しかし、配送経路に含まれていない場合でもチャンネルの割当てが必要であり、無線ノードが移動する場合には、チャンネルの再割当てに要するオーバーヘッドが問題となる。

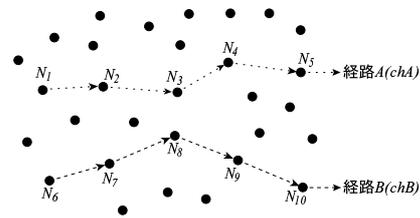


図1: 経路へのチャンネル割当て手法

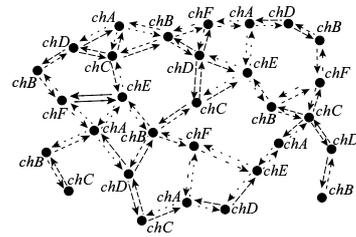


図2: 無線ノードへのチャンネル割当て手法

論文 [6] および WR-B [4] では、チャンネルを無線マルチホップ配送経路に含まれる各無線リンクへ割当てる手法を提案している (図3)。ここでは、無線マルチホップ配送経路に含まれる無線リンクにのみチャンネルを割当て、経路内外の近隣無線ノードとの干渉を回避する。割当てがより細粒度で行なわれることから、他の手法に比べて干渉を回避したチャンネル割当ての成功率が高い点で優れている。論文 [6] では、チャンネル割当て対象無線リンクの送信無線ノードの隣接無線ノードおよび2ホップ隣接無線ノードからのすべての無線リンクに割当てられていないチャンネルのうちの一つをこの無線リンクに割当てる。一方、WR-Bでは、チャンネル割当て対象無線リンクの送信無線ノードの隣接無線ノードへのすべての無線リンクと受信無線ノードの隣接無線ノードからのすべての無線リンクへ割当てられていないチャンネルのうちの一つをこの無線リンクに割当てる。後者は前者よりも割当て制約が緩和されており、より高い割当て成功率を得ることができる。

*Implementation of Multi-Channel Wireless Multihop Transmission for Higher Throughput of Data Messages

[†]Tokyo Denki University

[‡]Takayuki Kinouchi and Hiroaki Higaki

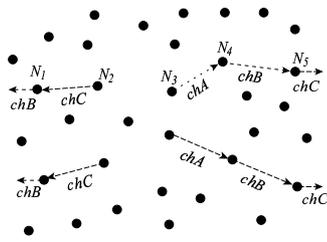


図 3: 無線リンクへのチャンネル割当て手法

3 実装手法

3.1 問題点

前章で述べた各経路へチャンネルを割当てる手法と各無線リンクへチャンネルを割当てる手法では、無線マルチホップ配送経路が互いに中継無線ノードで交差する場合、この中継無線ノードへは各経路の前ホップ無線ノードからの無線リンクを通して異なるチャンネルを用いてデータメッセージが転送される。また、各無線ノードにチャンネルを割当てる手法では、複数の隣接無線ノードを持つ無線ノードは、これらの隣接無線ノードからの無線リンクを通して異なるチャンネルを用いてデータメッセージが転送される。しかし、現在広く用いられている無線 LAN インタフェース (NIC) には、同時には単一のチャンネルのみを用いた通信のみが可能である。すなわち、単一の周波数の無線信号のみを受信処理できる単一のトランシーバのみが備えられている。このため、複数の隣接無線ノードから異なるチャンネルを用いて転送されるデータメッセージを受信するためには、(1) 隣接無線ノードが同時にデータメッセージを送信することを回避する、(2) 複数のトランシーバを備え、同時に異なる周波数の信号を受信可能な NIC を導入する、という手法が考えられる。しかし、前者では、RTS/CTS 制御等の単一チャンネルにおける衝突回避手法をそのまま導入することになるため、複数チャンネルを用いることの優位性が損なわれる。また、後者では、チャンネル数だけのトランシーバを各無線ノードに備えることは現実的ではなく、2つのトランシーバを用いて同時に異なる2つのチャンネルを用いて送信されたメッセージを受信可能とする手法のみが提案されている。

3.2 ソフトウェア無線の適用

前節で述べた問題点を解決するために、本論文ではソフトウェア無線を導入する実装手法を提案する。無線 NIC のトランシーバでは、無線信号の増幅、周波数変換、周波数フィルタリング、データメッセージの抽出等がハードウェアで実現されている。ソフトウェア無線では、これらの一部もしくは全部をソフトウェアで処理する。このため、図 4 に示すように、隣接無線ノードから異なるチャンネルを用いて同時に送信されたデータメッセージ、すなわち、異なる周波数を用いて同時に送信された無線信号を受信した中継無線ノードでは、受信した合成波をソフトウェア処理することで、それぞれ異なる周波数の信号を分離し、各データメッセージを抽出することが可能となる。本論文では、USR2P [7] 上に、GNU radio [8] を用いてチャンネルごとにデータメッセージを分離するプログラムを作成した。USR2P は、ソフトウェア無線を実現するためのハードウェアであり、受信した無線信号をソフトウェアで処理可能とするものであり、また、ソフトウェア処理によって生成された無線信号を送信するものである。また、GNU Redio は、受信無線信号および送信無線信号をソフトウェア

処理するためのプラットフォームである。我々は、受信無線信号をチャンネルごとに分離し、IEEE802.11 フォーマットのデータメッセージを抽出するソフトウェアを構築した。これによって、複数のチャンネルがそれぞれの隣接無線ノードとの間の無線リンクに割当てられている中継無線ノードにおいても、RTS/CTS 制御等の時間的手法による衝突回避機構を導入することなく、低遅延でデータメッセージを転送することが可能となる。

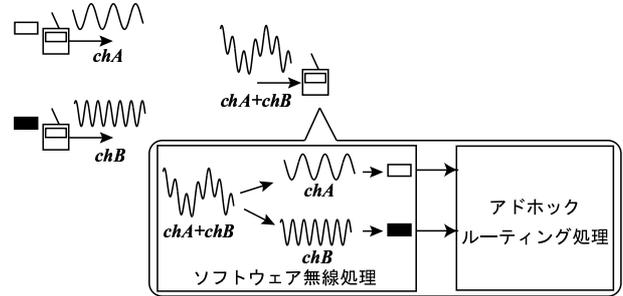


図 4: ソフトウェア無線による無衝突受信処理

4 まとめと今後の課題

本論文では、複数チャンネルを用いた無線マルチホップネットワークにおける衝突回避手法のうち、各無線リンクにチャンネルを割当てる手法を対象として、ソフトウェア無線を導入することによって、複数の隣接無線ノードから異なるチャンネルを用いて同時に送信されたメッセージを受信可能とする実装手法を提案した。これによって、晒し端末と隠れ端末による衝突が回避され、高スループットの無線マルチホップ通信が可能となる。今後は、ソフトウェア無線処理による配送遅延への影響を実験評価する。

参考文献

- [1] Abolhasan, M., Lipman, J. and Wysocki, T.A., "Load-Balanced Route Discovery for Mobile Ad Hoc Networks," *Journal of Telecommunications and Information Technology*, Vol. 2006, No. 1, pp. 38-45 (2006).
- [2] Higaki, H., "Ad-hoc Routing with Transmission Power Control for Avoidance of Hidden Terminal Problem," *Proceedings of the 7th International Information and Telecommunication Technologies Symposium*, pp. 73-80 (2008).
- [3] Joa-Ng, M. and Lu, I.T., "Spread Spectrum Medium Access Protocol with Collision Avoidance in Mobile Ad-Hoc Wireless Networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, Vol. 2, pp. 776-783 (1999).
- [4] Kawai, T. and Higaki, H., "Channel Assignment Protocol with Weaker Restrictions in Wireless Multihop Networks," *Proceedings of the 9th International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks*, pp. 150-156 (2010).
- [5] Turner, S.W., "Dynamic Simple Channel Assignment Strategies for Multiple-Channel Ad Hoc Networks," *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks*, pp. 146-152 (2007).
- [6] 堀部, 張, "アドホックネットワークにおける効率的なチャンネル利用法の提案と評価," *情処研報*, Vol. 2004, No. 21, pp. 87-94 (2004).
- [7] Ettus Research, <http://www.ettus.com/>.
- [8] GNU Radio, <http://gnuradio.org/>.