

高通信頻度環境を対象とした無線マルチホップ配送 におけるチャンネル割当てプロトコル

河合 健 宏^{†1} 桧 垣 博 章^{†1}

無線ノードによるマルチホップメッセージ配送を利用す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において高スループットのデータメッセージ配送を実現するために、各中継無線ノードが持つ複数の無線チャンネルのひとつを次ホップ無線ノードへの通信リンクに割当てて使用することで、通信経路内および通信経路間の競合、衝突を回避あるいは削減する手法が提案されている。我々はこれまでに、チャンネル割当ての制約条件を従来手法より緩和することで、割当て成功率を向上させる手法を提案した。本論文では、未割当てチャンネルが不足した場合に近隣無線通信リンクに割当て済みのチャンネルのひとつを割当てて 3 つの方式を提案する。これらを従来手法と制約を緩和した我々の割当て手法に適用した場合の性能を、シミュレーション実験により評価し、提案手法の有効性を示す。

Channel Assignment Protocol for High Throughput Transmissions in MANET with Frequent Communication Requests

TAKEHIRO KAWAI^{†1} and HIROAKI HIGAKI^{†1}

Mobile wireless networks such as ad-hoc networks, sensor networks and mesh networks consist of multiple wireless nodes. Here, for achieving higher connectivity even with limited battery capacity, wireless multihop message transmission is adopted. For providing higher end-to-end throughput to network applications which require large-scale data transmission such as sensor data and multimedia data, channel assignment methods for wireless multihop networks have been proposed. These methods avoid collisions and contentions under assumption that enough communication channels are available in each wireless links. However, in widely available wireless networks, only limited numbers of channels are used. This paper proposed 3 methods for channel assignment in which a channel already assigned to another neighbor wireless link is additionally assigned even though collisions and contentions might occur.

1. 背景と目的

無線通信機能を備えた様々な無線ノードが広く利用され、それらが互いに情報を交換するアプリケーションが研究開発されている。従来の無線基地局を介した通信に加え、無線ノードがデータメッセージをマルチホップ配送することで、限られた無線信号送信電力で高い接続性を得ることが可能となっている。この無線マルチホップ配送を実現するために、多様なアドホックルーティングプロトコルが提案されている。無線通信はブロードキャストを基礎としており、送信無線ノードの無線信号到達範囲に含まれるすべての無線ノードが無線信号を受信することができる。無線ネットワークは、有線ネットワークに比べて狭帯域であり、ノイズの影響によるパケット紛失率の高い低信頼なネットワークである。このため、アプリケーションに対して高いスループットを提供することが困難であるが、この問題を解決する様々な MAC プロトコルやルーティングプロトコルが提案されている。論文 [3] では、各無線通信リンクが複数のチャンネルで多重化されている無線マルチホップネットワークを対象に、配送経路決定後に経路上の各無線通信リンクに割当てられたチャンネルを用いてデータメッセージをマルチホップ配送することによって、衝突や競合の発生を回避あるいは削減し、高いデータメッセージ配送スループットを得るための手法を提案し、この手法を適用した送信先無線ノードから送信元無線ノードへの方向に順に無線通信リンクへチャンネルを割当ててバックワード型のチャンネル割当てプロトコルを設計した。ここでは、衝突と競合が完全に回避可能なチャンネル割当て条件を与えているが、チャンネル不足が発生しないことを前提としている。本論文では、このチャンネル割当て条件を満足することができない場合のチャンネル割当て手法を提案し、シミュレーション実験により、その性能を評価する。

2. 関連研究

無線マルチホップネットワーク $(\mathcal{N}, \mathcal{L})$ は、無線通信機能を備えた無線ノード $N_i \in \mathcal{N}$ から構成され、互いに無線信号到達範囲に含まれる無線ノード N_p と N_q との間では、無線通信リンク $|N_p N_q\rangle, |N_q N_p\rangle \in \mathcal{L}$ が利用可能である。各無線通信リンクでは、波長の異なる電磁波を用いることによって多重化された通信路が提供される。それぞれの通信路をチャンネル

^{†1} 東京電機大学大学院 理工学研究科 情報システム工学専攻
Department of Computers and Systems Engineering, Tokyo Denki University

とよぶ．同一無線通信リンクの複数のチャンネルは，無線信号の送受信に独立に利用することができる．しかし，無線通信はブロードキャストを基礎としているため，同一の無線ノードに接続する異なる無線通信リンクの同一波長を用いる複数のチャンネルは，それぞれ独立に利用することはできない．このように各無線通信リンクに複数のチャンネルが多重化される場合，各無線ノードがどのチャンネルを用いて通信するかによってネットワークの性能が異なる．

無線マルチホップ配送においては，各無線ノードから隣接無線ノードへの通信がブロードキャストを基礎としているため，送信元無線ノードから送信先無線ノードまでの配送経路に含まれる無線ノードが送信する無線信号による競合や衝突，他の配送経路に含まれる無線ノードが送信する無線信号との競合や衝突により，データメッセージ紛失率の上昇，遅延の拡大，スループットの低下といった問題が発生する．前者の問題に対して論文 [5] では，送信電力を制御することにより，経路上の無線ノードの無線信号送信機会を拡大することで，スループットの低下を縮小する手法が提案されている．また，後者の問題に対して，データメッセージ配送中に検出した他の通信経路との干渉（競合や衝突の発生）に基づいて，通信経路を部分的に変更する手法が論文 [2] で提案されている．これらは，各無線通信リンクにはひとつのチャンネルしか存在しないことを前提とした提案であり，複数のチャンネルを活用して競合や衝突を回避あるいは削減するものではない．

論文 [1] では，各無線通信リンクが複数チャンネルを持つ無線マルチホップネットワークを対象として，マルチホップ配送経路を単位として異なるチャンネルを割当てる手法を提案し，その有効性を実験評価によって示している．しかし，ここではひとつの経路に含まれるすべての無線通信リンクに同一のチャンネルが割当てられるため，異なる経路に属する無線ノード間の衝突，競合は回避できるものの，単一経路内の無線ノード間の衝突，競合は回避することができない．

これに対して，論文 [6] では，マルチホップ配送経路上の各無線通信リンクに異なるチャンネルを割当てる手法を提案している．ここでは，各無線通信リンクに割当て可能なチャンネルは，その送信無線ノードの 2 ホップ隣接無線ノードが割当てていないチャンネルであるとし，割当て可能な候補チャンネル集合から指標に基づいて割当てチャンネルを決定する手法を提案している．この制約を満たすチャンネル割当てを行なうことで，互いに隠れ端末の位置にある無線ノードが送信する無線信号による衝突，競合をも回避することができる．しかし，2 ホップ隣接無線ノードが割当て済みのすべてのチャンネルを割当て不可としているため，各無線通信リンクが選択可能なチャンネル数が十分には多くなく，ネットワークの使用率の上昇とともに，チャンネル予約成功率が大きく低下する問題がある．

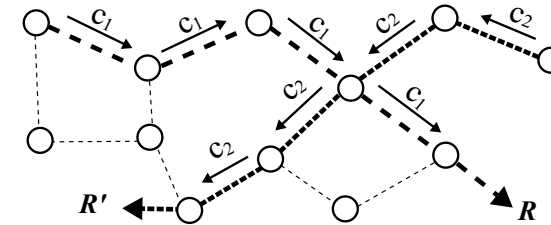


図 1 マルチホップ配送経路ごとのチャンネル割当て手法

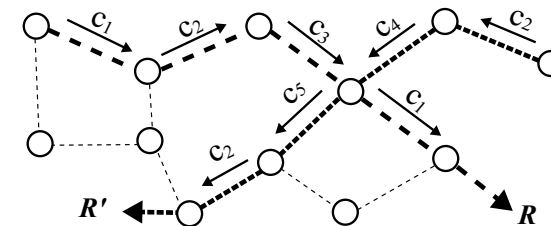


図 2 無線通信リンクごとに送信無線ノードの 2 ホップ近隣送信ノードに未割当てチャンネルを割当てる手法

3. 制約条件緩和によるチャンネル割当て成功率の改善

3.1 無衝突・無競合の制約条件緩和

無線マルチホップネットワークにおける，送信元無線ノード $N^s (= N_0)$ から送信先無線ノード $N^d (= N_l)$ までの無線マルチホップ配送経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ において， R に含まれる複数の無線ノードからの無線信号送信の競合と衝突を回避し，他の経路に含まれる無線ノードからの無線信号送信との競合と衝突をも回避するチャンネル割当てを実現するために， R 上の各無線通信リンクで割当てるチャンネルが満足しなければならない条件について考える．以下では，無線ノード N_i から 1 ホップで到達可能な無線ノードを隣接無線ノードとし，その集合を $NE_1(N_i)$ ，2 ホップで到達可能な無線ノードを 2 ホップ隣接無線ノードとし，その集合を $NE_2(N_i)$ で表す．このとき，チャンネル割当てに対する制約条件は，以下

の4つにまとめることができる。

[チャンネル割当て制約条件 (1)]

経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ 上の無線ノード $N_i (0 \leq i < l)$ は、無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ において、 N_i の隣接無線ノード $N \in NE_1(N_i)$ から N_i への無線通信リンク $|NN_i|$ に割当てられていないチャンネルを割当てなければならない。

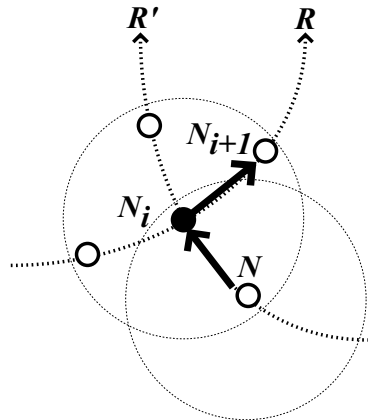


図3 チャンネル割当て制約条件 (1)

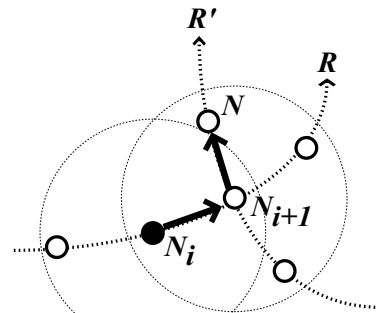


図4 チャンネル割当て制約条件 (2)

[チャンネル割当て制約条件 (2)]

経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ 上の無線ノード $N_i (0 \leq i < l)$ は、無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ において、 N_{i+1} から N_{i+1} の隣接無線ノード $N \in NE_1(N_{i+1})$ への無線通信リンク $|N_{i+1} N|$ に割当てられていないチャンネルを割当てなければならない。

[チャンネル割当て制約条件 (3)]

経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ 上の無線ノード $N_i (0 \leq i < l)$ は、無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ において、 N_i の2ホップ隣接無線ノード $N' \in NE_2(N_i)$ から N_i の隣接無線ノード $N \in NE_1(N_i)$ への無線通信リンク $|N' N|$ に割当てられていないチャンネルを割当てなければならない。

[チャンネル割当て制約条件 (4)]

経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ 上の無線ノード $N_i (0 \leq i < l)$ は、無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ において、 N_{i+1} の隣接無線ノード $N \in NE_1(N_{i+1})$ から N_{i+1} の2ホップ隣接無線ノード $N' \in NE_2(N_{i+1})$ への無線通信リンク $|N N'|$ に割当てられていないチャンネルを割当てな

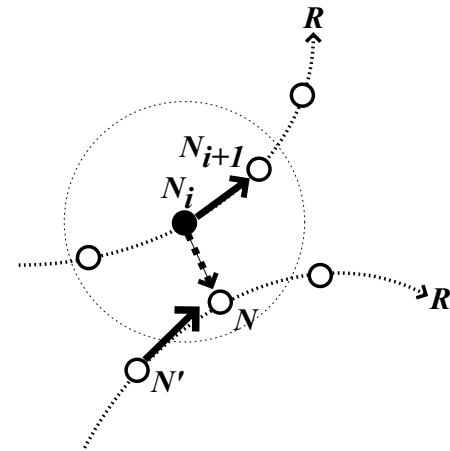


図5 チャンネル割当て制約条件 (3)

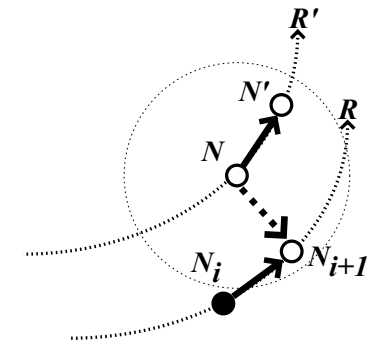


図6 チャンネル割当て制約条件 (4)

なければならない。

以上により、衝突しないチャンネル割当てを無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ に行なうためには、 N_i の隣接無線ノードと2ホップ隣接無線ノードからのすべての無線通信リンクに割当てられているチャンネルの割当てを禁止する必要はない。 N_i の隣接無線ノードまたは2ホップ隣接無線ノード $N \in NE_1(N_i) \cup NE_2(N_i)$ から無線ノード N' への無線通信リンク $|NN'|$ であっても、 N が N_{i+1} の隣接無線ノードでなく、 N' が N_i の隣接無線ノードでない、すなわち $N \notin NE_1(N_{i+1})$ かつ $N' \notin NE_1(N_i)$ であるならば、 $|NN'|$ に割当てられているチャンネルを $|N_i N_{i+1}|$ に割当てることができる。

3.2 チャンネル割当てプロトコル

経路 $R = \{N_0 \dots N_l\}$ 上の無線ノード N_i が無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ のチャンネルを割当てるとき、前章に示した制約条件を満足するチャンネルを検出しなければならない。そのためには、隣接無線ノードおよび2ホップ隣接無線ノードに接続する無線通信リンクのチャンネル割当て情報を得なければならない。

この割当て情報取得に要する時間オーバーヘッド、制御メッセージ交換による通信オーバーヘッドを削減するために、論文 [3] では、 $|N_p N_n|$ に c_i が割当てられていることを N_p と N_n の両方で管理する手法を用いる。このとき、無線通信リンク $|N_i N_{i+1}|$ に割当てられるチャンネルを決定するために、割当て制約条件 (1) を満足するチャンネルを検出するには、 N_i への

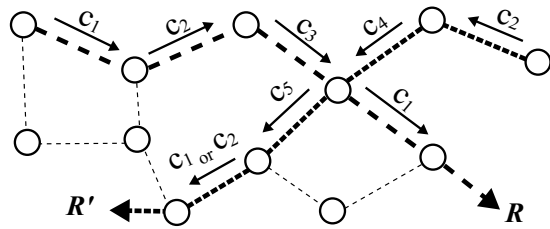


図7 緩和された制約条件に基づいた無線通信リンクごとのチャンネル割当て

無線通信リンク $|N_j N_i\rangle$ に割当てられているチャンネル情報が必要であるが、これは N_i でも管理されているため、制御メッセージの交換なく N_i が取得できる。割当て制約条件 (2) を満足するチャンネルを検出するには、 N_{i+1} からの無線通信リンク $|N_{i+1} N\rangle$ に割当てられているチャンネル情報が必要であるが、これは N_{i+1} で管理されている。また、割当て制約条件 (3) を満足するチャンネルを検出するには、 N_i の隣接無線ノード N_j への無線通信リンク $|N_k N_j\rangle$ に割当てられているチャンネル情報が必要であるが、これは N_i の隣接無線ノードで管理されている。したがって、 N_i が割当て情報要求メッセージを隣接無線ノードにブロードキャスト送信し、隣接無線ノードが割当て情報通知メッセージを N_i へユニキャスト返送することで N_i が取得できる。しかし、割当て制約条件 (4) を満足するチャンネルを検出するには、 N_{i+1} の隣接無線ノード $N_{j'}$ からの無線通信リンク $|N_{j'} N_{k'}\rangle$ に割当てられているチャンネル情報が必要であり、これは N_{i+1} の隣接無線ノードすなわち N_i の2ホップ隣接無線ノード $N_{j'}$ で管理されている。

この問題を解決するために論文 [3] では送信先無線ノードに近い無線通信リンクから順にチャンネルを割当てるバックワード型手法を用いることによって無線通信リンク $|N_i N_{i+1}\rangle$ へ割当てるチャンネルを N_i が決定可能とする。ここでは、 $|N_i N_{i+1}\rangle$ に対して割当て制約条件 (4) を満足するチャンネルを N_{i+1} が検出し、これを N_i に通知する。 N_{i+1} の隣接無線ノード $N_{j'}$ からの無線通信リンク $|N_{j'} N_{k'}\rangle$ に割当てられているチャンネル情報は $N_{j'}$ が管理していることから、 N_{i+1} が割当て情報要求メッセージを隣接無線ノードにブロードキャスト送信し、隣接無線ノードが割当て情報通知メッセージを N_{i+1} へユニキャスト返送することで N_{i+1} が取得できる。 N_i は通知されたチャンネルから割当て制約条件 (1)(2)(3) をも満足するチャンネルを検出する。結果として、経路 R 上の無線ノードの隣接無線ノードからのみチャ

ネル割当て情報を取得するだけで、すべてのチャンネル割当て制約条件を充足するチャンネルを決定することが可能である。

4. チャンネル不足時のチャンネル割当て

無線マルチホップネットワークでは、送信元無線ノードから送信先無線ノードまでのマルチホップ配送経路を構成するために、互いに無線信号到達範囲に含まれる中継無線ノード列を検出しなければならない。このためには、比較的高密度な無線ノード分布が求められる。論文 [4] のシミュレーション実験結果では、各無線ノードの無線信号到達距離が l であるとき、1辺 l の正方形領域面積あたり 8 台以上の無線ノードが分布することが示されている。このように高密度に分布する無線ノードから構成される無線マルチホップネットワークにおいて、高い頻度で各無線ノードから無線マルチホップ通信が要求される場合には、中継無線ノード、隣接無線ノード、2ホップ隣接無線ノードからメッセージ送信される無線通信リンクに既に多数のチャンネルが割当て済みであることが考えられる。現在広く普及している IEEE802.11a、IEEE802.11b、IEEE802.11g では、衝突しないチャンネル数がそれぞれ 19、4、3 となっており、無線通信リンクへのチャンネル割当てを行なう中継無線ノードの近隣には未割当てチャンネルが存在しない場合が考えられる。

3章で述べた割当て条件および論文 [6] による割当て条件では、互いに隠れ端末の位置にある無線ノードも含めて衝突と競合を完全に回避するチャンネル割当てを実現している。しかし、構築された無線マルチホップ配送経路のデータメッセージトラフィックが比較的低い場合には、割当て条件を満足しない同一チャンネル割当てを近隣無線通信リンクで行なった場合でもデータメッセージスループットへの影響を小さく抑えることができることが考えられる。そこで、本論文では、チャンネル割当てプロトコルにおいて無線マルチホップ配送経路の中継無線ノードが次ホップへの無線通信リンクに対して割当て可能な制約条件を満足する通信チャンネルを検出することができない場合、既に自身、隣接無線ノード、2ホップ隣接無線ノードからの無線通信リンクに割当て済みであるチャンネルと同一のチャンネルを割当てる手法を考案する。

第1の手法として、通信チャンネル割当てを行なっている無線マルチホップ配送経路の前ホップ無線ノード N_{i-1} あるいは次ホップ無線ノード N_{i+1} からの無線通信リンク $|N_{i-1} N_i\rangle$ あるいは $|N_{i+1} N_{i+2}\rangle$ に割当て済みの通信チャンネルを無線通信リンク $|N_i N_{i+1}\rangle$ へ割当てることが考えられる。すなわち、チャンネル割当て制約条件 (1) を満足しない通信チャンネル割当てを空きチャンネルが存在しない場合には可とする手法である。これらの無線通信リンクの送

信無線ノードである N_{i-1} と N_{i+1} は、 N_i の無線信号到達範囲に含まれていることから、同一の通信チャンネルを割り当てても CSMA/CA の機能によって高い確率で衝突を回避することが可能である。また、この無線マルチホップ配送経路を用いて配送される各データメッセージの送信間隔が比較的に長い場合には、 N_i によるデータメッセージ転送時には N_{i-1} および N_{i+1} に転送すべきデータメッセージが存在しないことも考えられる。理論的には、無衝突無競合の通信チャンネル割り当てに対して最大スループットが $1/2$ になることから、本方式を Half 方式と呼ぶ。

第 2 の手法として、各通信チャンネルが割り当てられている N_i 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無線通信リンク数を調べ、それが最小である通信チャンネル、すなわち N_i の隣接無線ノードがデータメッセージ転送のために最も使用していない通信チャンネルを N_i に割り当てることが考えられる。これは、それぞれの無線マルチホップ配送経路におけるトラフィックについての前提を置かないという前提で、同一チャンネル割り当てによる衝突と競合の発生確率が最も低くなると考えられる手法である。論文 [6] の割り当て手法、本論文で述べた緩和された制約条件による割り当て手法ともに中継無線ノードの隣接無線ノード、2 ホップ隣接無線ノードがデータメッセージ転送に各無線リンクに割合た通信チャンネルは、追加の制御メッセージを加えることなく集約することが可能である。本方式を Min 方式と呼ぶ。

第 3 の手法として、Min 方式とは逆に、各通信チャンネルが割り当てられている N_i 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無線通信リンク数を調べ、それが最大である通信チャンネル、すなわち N_i の隣接無線ノードがデータメッセージ転送のために最も使用している通信チャンネルを N_i に割り当てることが考えられる。これは、既に多数の近隣無線通信リンクに割り当て済みであるチャンネルと同一のチャンネルを割り当てることにより、この割り当てによる衝突と競合の発生確率が高まることは許容し、他の通信チャンネルにおける衝突と競合の発生確率の上昇を回避する手法である。本手法も Min 方式と同様、論文 [6] の割り当て手法、本論文で述べた緩和された制約条件による割り当て手法ともに中継無線ノードの隣接無線ノード、2 ホップ隣接無線ノードがデータメッセージ転送に各無線リンクに割合た通信チャンネルは、追加の制御メッセージを加えることなく集約することが可能である。本方式を Max 方式と呼ぶ。

5. 評 価

前章で述べたチャンネル不足時の 3 つの同一チャンネル割り当て方式を、いずれの 2 ホップ隣

接無線ノードに割り当てていないチャンネルから割り当てチャンネルを選択する論文 [6] の手法 (以下では SR プロトコルと呼ぶ) と緩和された制約条件に基づいて割り当てチャンネルを選択する手法 (以下では WR-B プロトコルと呼ぶ) に適用した場合の性能を評価する。ここでは、一部のチャンネル割り当てにおいて、衝突や競合の発生を許容していることから、データメッセージのスループットの低下とデータメッセージの配送成功率の低下が懸念されるため、これらをシミュレーション実験によって測定する。

無線信号到達距離が 100m の無線ノード 500 台を 1 辺の長さが 1,500m の正方形領域に一樣分布乱数を用いて配置する。通信要求が 1 秒あたり 10 台のポアソン過程に従って到着する。送信元無線ノードと送信先無線ノードの対は、一樣分布乱数に従って選択される。各通信要求の通信時間は、平均 2 秒の指数分布に従うものとし、この間に送信元無線ノードが 2,312 バイトのメッセージを 5-200 ミリ秒間隔で送信し続けるものとする。各中継無線ノードには、10 メッセージ分のバッファがあり、これを超える中継メッセージは破棄される。使用可能な通信チャンネル数を 6 とし、各チャンネル割り当てプロトコルにおいて複数のチャンネルが割り当て可能である場合には、ランダムに選択するものとする。

まず、チャンネル割り当て制約条件を満足する場合にのみチャンネル割り当てを行なう場合の WR-B と SR のデータメッセージスループットとメッセージ配送成功率を図 8 と図 9 に示す。スループットは WR-B が一貫して SR を上回っており、平均 10.9% 高くなっている。また、いずれのプロトコルにおいても無衝突、無競合を実現しているため、配送成功率はバッファオーバーフローの影響を受けるのみで、ほぼ 100% となっている。

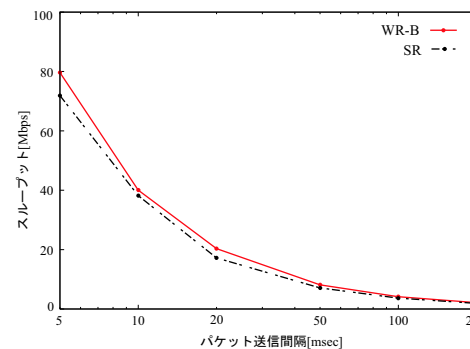


図 8 WR-B と SR のスループット

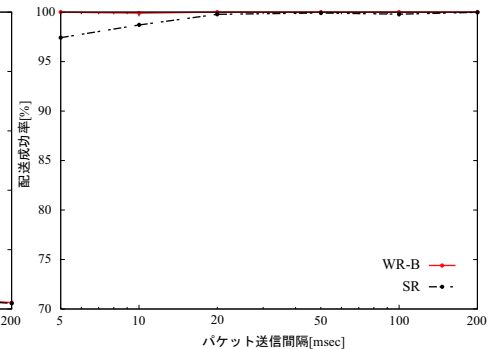


図 9 WR-B と SR の配送成功率

図 10 と図 11 は、Half 方式を WR-B と SR に適用した場合のスループットと配送成功率である。

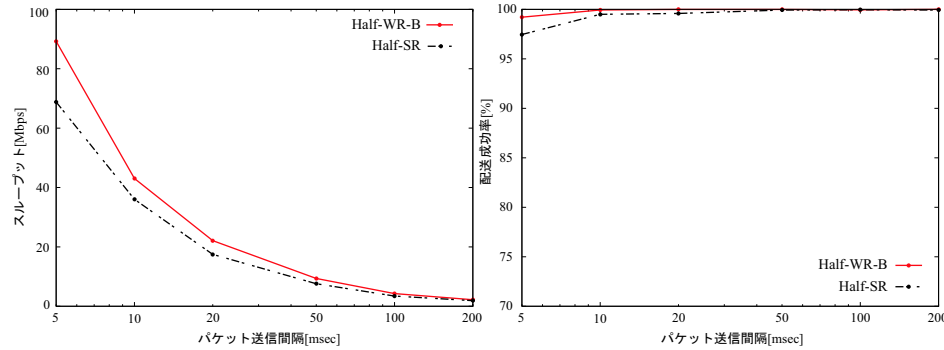


図 10 Half-WR-B と Half-SR のスループット

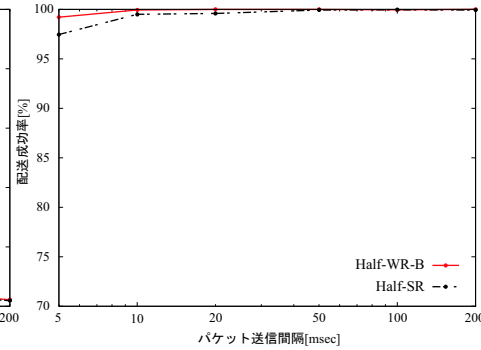


図 11 Half-WR-B と Half-SR の配送成功率

スループットは、いずれの方式においても Half 方式の導入によって低下することなく、配送成功率にも著しい違いは見られない。チャンネル割当てに制約の緩和によって図 12 に示すように WR-B ではチャンネル割当て成功率の改善がなされ、より多くの無線マルチホップ配送経路が同時に使用可能になったことによるスループット上昇効果と、同一チャンネル割当てによって発生する競合によるスループット低下効果が均衡したものと考えられる。

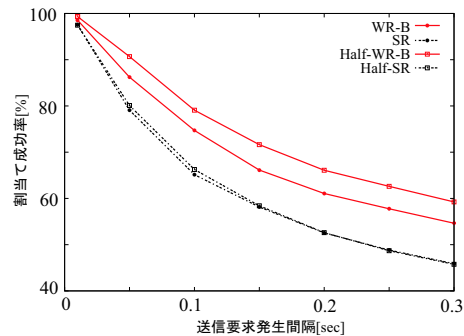


図 12 Half 方式によるチャンネル割当て成功率の改善

なお、配送経路の連続する無線通信リンクにのみ同一チャンネルを割当てていることから、衝突の発生は回避されており、メッセージ配送成功率は図 9 と同等となっている。

Min 方式を WR-B と SR に適用した場合のスループットと配送成功率の測定結果を図 13 と図 14 に示す。

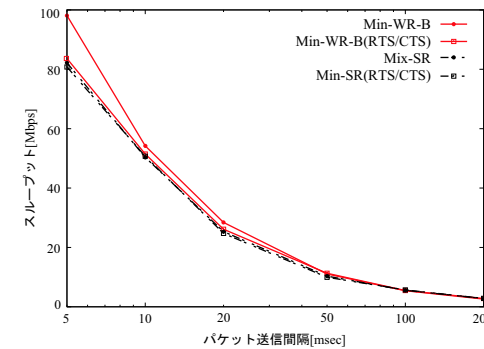


図 13 Min-WR-B と Min-SR のスループット

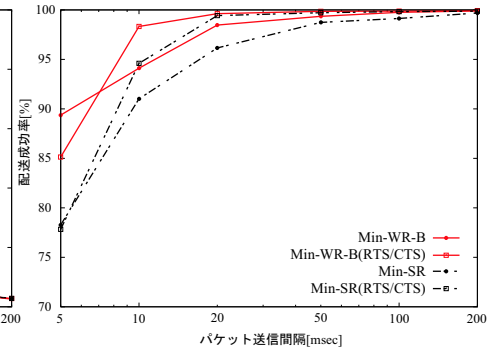


図 14 Min-WR-B と Min-SR の配送成功率

Min 方式では、チャンネル割当て失敗を回避し、より多くの無線マルチホップ配送経路が同時に使用可能となったスループット上昇効果が、同一チャンネル割当てによって発生する競合によるスループット低下効果を上回り、全体として 5.1% のスループット改善がなされた。ただし、隠れ端末の位置にある無線ノードが同時にメッセージを送信することによる衝突の発生により、データメッセージの配送成功率が低下している。RTS/CTS 制御を導入すると配送成功率が改善するものの、スループットの上昇効果が低減される。

Max 方式は、図 15 と図 16 に結果を示すように、メッセージ配送成功率の低下が著しい。各近隣無線ノード群において特定のチャンネルが頻繁に使われるため、衝突、競合頻度の増加は避けられない。逆に他のチャンネルの近隣無線通信リンクへの重複割当てが回避されているために、データメッセージスループットへの影響は小さい。

以上により、チャンネル不足時の近隣無線通信リンクへの同一チャンネル割当てを許容した場合においても、WR-B は SR に対して性能的優位を保っている。各方式のデータメッセージスループット改善効果については、Min 方式が優れており、Half 方式と Max 方式がほぼ同等である。

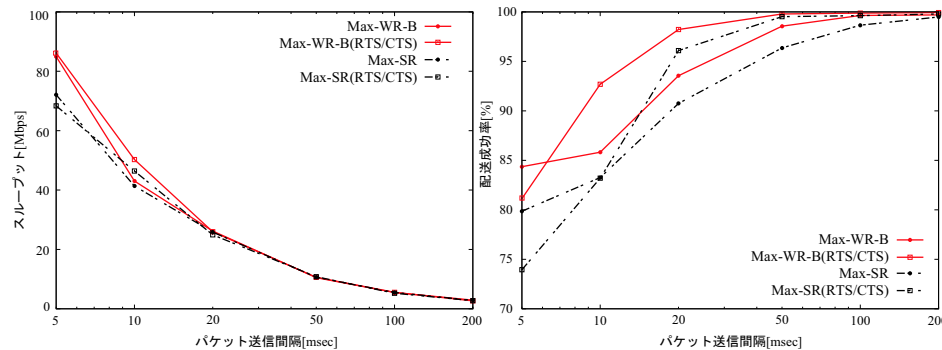


図 15 Max-WR-B と Max-SR のスループット

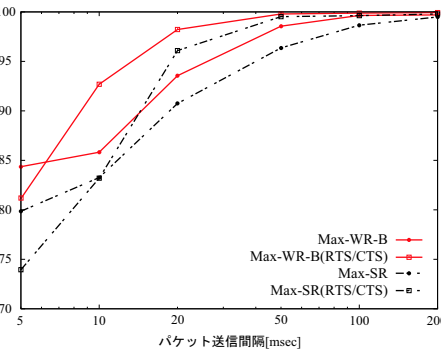


図 16 Max-WR-B と Max-SR の配送成功率

6. ま と め

本論文では、無線マルチホップネットワークを対象として、無線信号送信の競合、無線信号の衝突を回避する複数チャネル通信におけるより緩和されたチャネル割当て条件を明らかにし、条件に基づいたチャネル割当てプロトコル WR-B を設計した。通信頻度の高い環境では割当てチャネル数が増加し、未割当てチャネルが不足することが考えられる。チャネル不足により、衝突・競合回避の条件を緩和した際の割当て手法として Half、Min、Max の 3 方式を考案した。このシミュレーション実験により 3 方式を適用した場合においても WR-B プロトコルはチャネル割当てにより厳しい制約条件を課している SR プロトコルよりも、より高いデータメッセージ配送スループットとデータメッセージ配送成功率を実現することを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) Turner, S.W., "Dynamic Simple Channel Assignment Strategies for Multiple-Channel Ad Hoc Networks," Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (2007).
- 2) 梅島, 桧垣, "電力制御による競合解消を適用したアドホックルーティングプロトコル," 信学技報, Vol.103, No.443, pp.57-60 (2003).
- 3) 河合, 桧垣, "無線マルチホップ配送における後方型チャネル割当てプロトコルの提案と割当て成功率の評価," 第 16 回情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.43-48 (2008).
- 4) 瀬山, 桧垣, "Evaluation of Communication Overhead and Route Shortening in G-AODV and PCMTAG," 情報研報, Vol.2007, No.98, pp.121-128 (2007).

- 5) 沼田, 桧垣, "順次短縮リンクを用いた広帯域無線マルチホップ通信," 情処研報, Vol.2005, No.113, pp.53-59 (2005).
- 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ネル利用法の提案と評価," 情処研報, Vol.2004, No.21, pp.87-94 (2004).