

## 無線マルチホップ配送における後方型チャンネル割当てプロトコルの提案と割当て成功率の評価

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

河合 健宏 桧垣 博章

E-mail: {kawai, hig}@higlab.net

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。本論文では、無線マルチホップ配送経路の中継ノードそれぞれにチャンネルを割当てる手法を対象として、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する。また、この条件を適用するための割当て済みチャンネル情報の管理手法と割当てプロトコルを設計する。また、シミュレーション実験により提案手法の有効性を示す。

## Backward-Type Channel Assignment Protocol in Wireless Multihop Networks and Performance Evaluation

Takehiro Kawai and Hiroaki Higaki

Department of Computers and Systems Engineering

Tokyo Denki University

E-mail: {kawai, hig}@higlab.net

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, this paper proposes a novel method of channel assignment for wireless multihop networks. This paper provides weaker restrictions of channel assignment for avoiding contention and collision of wireless signal transmission and designs a backward-type channel reservation protocol according to the restrictions. Simulation results show that our proposed protocol achieves higher assignment ratio than the conventional protocols with more than 6 channels in each wirelesscommunication link.

### 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パケット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、ノイズの影響により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。本論文では、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でチャンネルを割当てることによって、高いスループットを得るための手法を提案する。また、この手法を適用した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、チャンネル割当て成功率をシミュレーション実験で評価する。

## 2 関連研究

無線マルチホップネットワーク  $(N, C)$  は、無線通信機能を備えた無線ノード  $N_i \in N$  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  $|N_p N_q|, |N_q N_p| \in C$  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 [2] 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 [1] 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解消するものではない。

論文 [4] 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て手法を提案し、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 [3] 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て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

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。

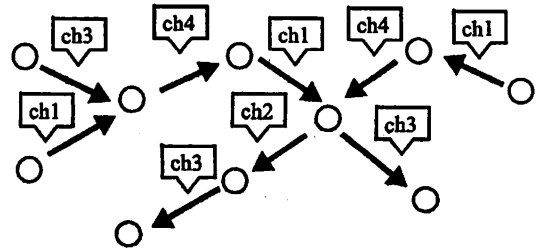


図 1: 複数チャンネル無線マルチホップ通信

## 3 チャンネル割当て条件

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て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  $|N N_i|$  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。□

[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  $N \in NE_1(N_i)$  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  $N_i (0 \leq$

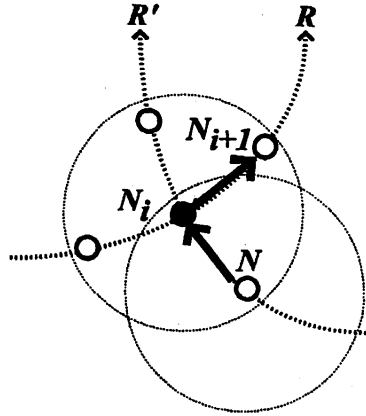


図 2: チャンネル割当て制約条件 (1)

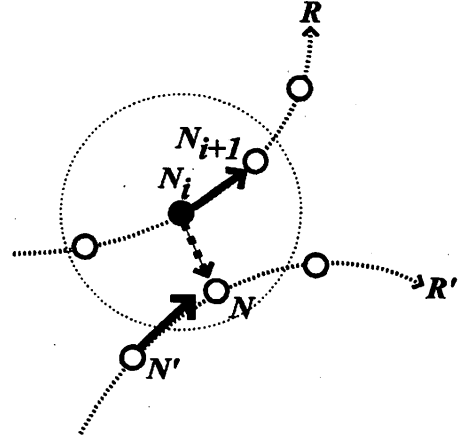


図 4: チャンネル割当て制約条件 (3)

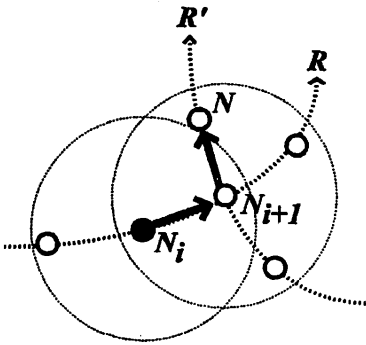


図 3: チャンネル割当て制約条件 (2)

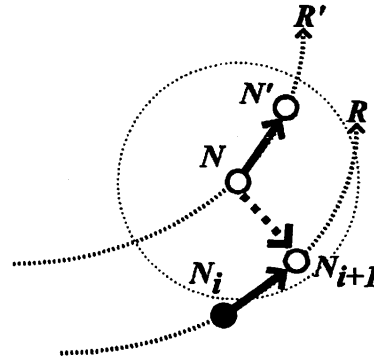


図 5: チャンネル割当て制約条件 (4)

$i < l$ )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  $|NN'|$  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。□

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。

## 4 チャンネル割当てプロトコル

### 4.1 割当てチャンネル管理手法

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、本論文では、 $|N_p N_n|$  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、 $N_i$  への無線通信リンク  $|N_j N_i|$  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  $|N_{i+1} N|$  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  $|N_k N_j|$  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。

#### 4.2 後方型チャンネル割当て手法

前節の問題を解決するために本論文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割当て制約条件を満足する無線通信リンク  $|N_i, N_{i+1}\rangle$  チャンネルを  $N_i$  が決定可能とする手法を提案する。ここでは、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ン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。

#### 4.3 WR-B プロトコル

3 章で述べた従来手法よりも緩和した割当て条件を用いたチャンネル割当てプロトコル WR (Weaker Restriction) プロトコルを設計する。提案プロトコルは、送信元無線ノードから送信先無線ノードまでの無線マルチホップ配送経路が検出済みであることを前提としている。経路探索要求メッセージ  $Rreq$  のフラグディングを用いるルーティングプロトコルでは、無線マルチホップ配送経路は送信先無線ノードで検出される。すべての無線通信リンクが双方向であるならば、この検出時点からチャンネル割当てプロトコルを開始できるバックワード型割当て手法は、データメッセージの配送を開始するまでの時間を短縮することができる。そこで、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割当てを行なうバックワード型手法を採用した WR-B プロトコルを設計した。

##### [チャンネル割当て WR-B プロトコル]

- 1) 送信先無線ノード  $N_i$  は、割当て情報要求メッセージ  $Aireq$  を  $N_i$  の無線信号到達範囲に含まれるすべての無線ノードにブロードキャスト送信する。
- 2)  $N_i$  から  $Aireq$  メッセージを受信した無線ノード  $N$  は、 $N$  を含むすべての経路の次ホップ無線ノード  $N_n$  への無線通信リンク  $|N, N_n\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_n(N)$  と前ホップ無線ノード  $N_p$  からの無線通信リンク  $|N_p, N\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_p(N)$  を含む割当て情報通知メッセージ  $Airep$  を  $N_i$  にユニキャスト送信する。

- 3) すべての隣接無線ノードから  $Airep$  メッセージを受信した  $N_i$  は、無線通信リンク  $|N_{i-1}, N_i\rangle$  で割当て制約条件 (4) を満足する割当て候補チャンネル集合  $A_c(N_i) = \cup_N A_n(N)$  を求める。
  - 3-1)  $A_c(N_i) \neq \emptyset$  ならば、チャンネル割当て要求メッセージ  $Areq(A_c(N_i))$  を  $N_{i-1}$  へユニキャスト送信する。
  - 3-2)  $A_c(N_i) = \emptyset$  ならば、割当てプロトコルを終了する。
- 4) 次ホップ無線ノード  $N_{i+1}$  から  $Areq(A_c(N_{i+1}))$  を受信した無線ノード  $N_i$  は、 $Aireq$  メッセージを  $N_i$  の無線信号到達範囲に含まれるすべての無線ノードにブロードキャスト送信する。
- 5)  $N_i$  から  $Aireq$  を受信した無線ノード  $N$  は、 $N$  を含むすべての経路の次ホップ無線ノード  $N_n$  への無線通信リンク  $|N, N_n\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_n(N)$  と前ホップ無線ノード  $N_p$  からの無線通信リンク  $|N_p, N\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_p(N)$  を含む  $Airep$  メッセージを  $N_i$  へユニキャスト送信する。
- 6) すべての隣接無線ノードから  $Airep$  メッセージを受信した  $N_i$  ( $0 < i < l$ ) は、無線通信リンク  $|N_i, N_{i+1}\rangle$  ですべての割当て制約条件を満足するチャンネル  $c_i \in A_c(N_{i+1}) \cap \cup_N A_p(N) \cup A_p(N_i)$  を求める。
  - 6-1)  $c_i$  が存在するならば、 $A_n(N_i) := A_n(N_i) \cup \{c_i\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_i, N_{i+1}\rangle$  にチャンネル  $c_i$  を割当て、チャンネル割当て応答メッセージ  $Arep(c_i)$  を  $N_{i+1}$  にユニキャスト送信する。また、無線通信リンク  $|N_{i-1}, N_i\rangle$  で割当て制約条件 (4) を満足する割当て候補チャンネル集合  $A_c(N_i) = \cup_N A_n(N)$  を求める。
    - 6-1-1)  $A_c(N_i) \neq \emptyset$  ならば、 $Areq(A_c(N_i))$  を  $N_{i-1}$  へユニキャスト送信する。
    - 6-1-2)  $A_c(N_i) = \emptyset$  ならば、 $A_n(N_i) := A_n(N_i) - \{c_i\}$  とすることで無線通信リンク  $|N_i, N_{i+1}\rangle$  からチャンネル  $c_i$  を解放し、否定応答メッセージ  $Anack(c_i)$  を  $N_{i+1}$  へユニキャスト送信する。
  - 6-2)  $c_i$  が存在しないならば、 $Anack()$  を  $N_{i+1}$  にユニキャスト送信する。
- 7)  $Arep(c_{i-1})$  を  $N_{i-1}$  から受信した  $N_i$  は、 $A_p(N_i) := A_p(N_i) \cup \{c_{i-1}\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_{i-1}, N_i\rangle$  にチャンネル  $c_{i-1}$  を割当てる。
- 8)  $Anack(c_{i-1})$  を  $N_{i-1}$  から受信した  $N_i$  は、 $A_p := A_p - \{c_{i-1}\}$  および  $A_n := A_n - \{c_i\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_{i-1}, N_i\rangle$  からチャンネル  $c_{i-1}$  および無線通信リンク  $|N_i, N_{i+1}\rangle$  からチャンネル  $c_i$  を解放し、 $Anack(c_i)$  を  $N_{i+1}$  へユニキャスト送信する。
- 9)  $Anack(c_{i-1})$  を  $N_{i-1}$  から受信した  $N_i$  は、 $A_p(N_i) := A_p(N_i) - \{c_{i-1}\}$  とすることで、無

線通信リンク  $|N_{i-1}N_i\rangle$  からチャンネル  $c_{i-1}$  を解放し、割当てプロトコルを終了する。

- 10) 次ホップ無線ノード  $N_1$  から  $A_{req}(A_c(N_1))$  を受信した無線ノード  $N_0$  は、 $A_{Ireq}$  メッセージを  $N_0$  の無線信号到達範囲に含まれるすべての無線ノードへブロードキャスト送信する。
- 11)  $N_0$  から  $A_{Ireq}$  メッセージを受信した無線ノード  $N$  は、 $N$  を含むすべての経路の次ホップ無線ノード  $N_n$  への無線通信リンク  $|NN_n\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_n(N)$  と前ホップ無線ノード  $N_p$  からの無線通信リンク  $|N_pN\rangle$  に割当てられたチャンネルの集合  $A_p(N)$  を含む  $A_{Irep}$  メッセージを  $N_0$  へユニキャスト送信する。
- 12) すべての隣接無線ノードから  $A_{Irep}$  メッセージを受信した  $N_0$  は、無線通信リンク  $|N_0N_1\rangle$  ですべての割当て制約条件を満足するチャンネル  $c_0 \in A_c(N_1) \cap \bigcup_N A_p(N) \cup A_p(N_0)$  を求める。
  - 12-1)  $c_0$  が存在するならば、 $A_n(N_0) := A_n(N_0) \cup \{c_0\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_0N_1\rangle$  にチャンネル  $c_0$  を割当て、チャンネル割当て応答メッセージ  $A_{rep}(c_0)$  を  $N_1$  へユニキャスト送信する。
  - 12-2)  $c_0$  が存在しないならば、 $A_{nack}()$  を  $N_1$  へユニキャスト送信する。□

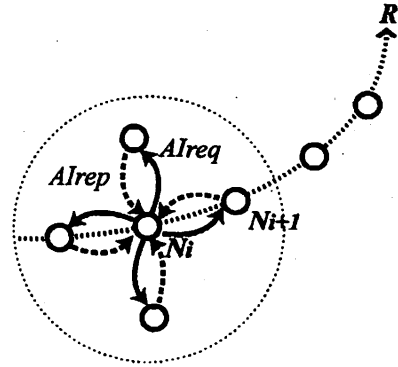


図 8:  $N_i$  の隣接無線ノードのチャンネル割当て情報取得

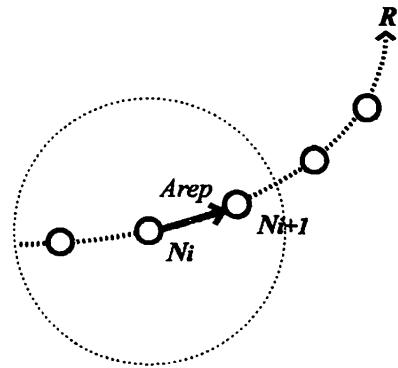


図 9: すべての割当て制約条件を満足するチャンネルの通知

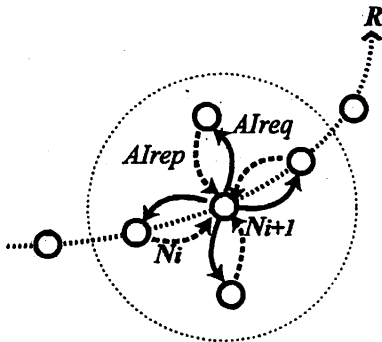


図 6:  $N_{i+1}$  の隣接無線ノードのチャンネル割当て情報取得

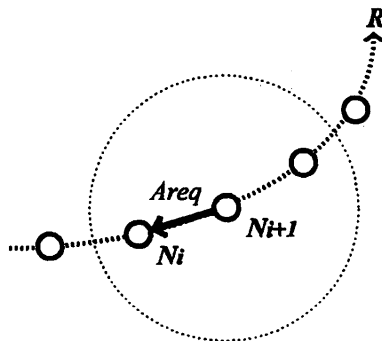


図 7: 割当て制約条件 (4) を満足するチャンネルの通知  
[チャンネル解放プロトコル]

- 1) 送信元無線ノード  $N_0$  は、 $A_n(N_0) := A_n(N_0) - \{c_0\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_0N_1\rangle$  からチャンネル  $c_0$  を解放し、割当てチャンネル解放要求  $A_{elreq}$  メッセージを  $N_1$  にユニキャスト送信する。
- 2) 前ホップ無線ノード  $N_{i-1}$  から  $A_{elreq}$  を受信した無線ノード  $N_i$  は、 $A_p(N_i) := A_p(N_i) - \{c_{i-1}\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_{i-1}N_i\rangle$  からチャンネル  $c_{i-1}$  を解放する。さらに、 $A_n(N_i) := A_n(N_i) - \{c_i\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_iN_{i+1}\rangle$  からチャンネル  $c_i$  を解放し、 $A_{elreq}$  を次ホップ無線ノード  $N_{i+1}$  にユニキャスト送信する。
- 3) 前ホップ無線ノード  $N_{i-1}$  から  $A_{elreq}$  を受信した送信先無線ノード  $N_i$  は、 $A_p(N_i) := A_p(N_i) - \{c_{i-1}\}$  とすることで、無線通信リンク  $|N_{i-1}N_i\rangle$  からチャンネル  $c_{i-1}$  を解放する。□

## 5 評価

前章で設計した WR-B プロトコルの性能をチャンネル割当て成功率によって評価する。比較対象は、経路全体に同一のチャンネルを割当てるプロトコル (PR プロトコルと記す) [4] と、すべての 2 ホップ隣接無線ノードに割当てていないチャンネルから割当てチャンネルを選択する従来手法のプロトコル (SR プロトコ

ルと記す) [3] である。各無線通信リンクで割当て可能なチャンネル数を 4、6、8 とし、1000m 平方の領域に無線信号到達距離が 80m の無線ノードを 500 台ランダムに配置する。ある無線通信リンクで割当て可能なチャンネルが複数存在する場合、WR-B プロトコルと SR プロトコルではランダムにチャンネルを選択する。一方、PR プロトコルでは送信元無線ノードがランダムにチャンネルを選択する。既にマルチホップ配送経路上のすべての無線通信リンクにチャンネルを割当て済みである経路数に対する各プロトコルの割当て成功率を図 10、図 11、図 12 に示す。

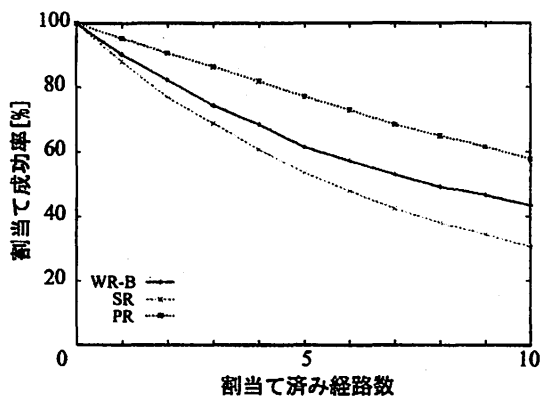


図 10: チャンネル割当て成功率 (4 チャンネル)

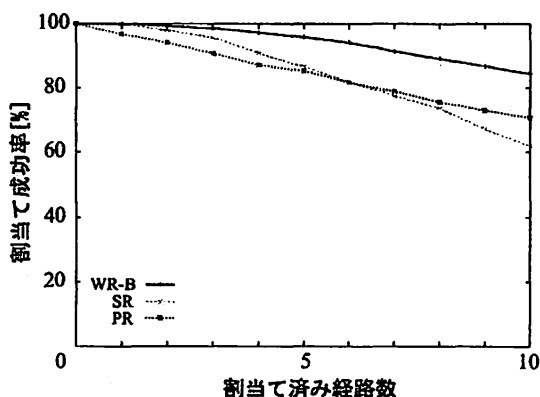


図 11: チャンネル割当て成功率 (6 チャンネル)

割当て成功率は、いずれのチャンネル数、いずれのプロトコルにおいても割当て済み経路数の増加による未割当てチャンネル数の減少にともなって低下している。本論文で提案した WR-B プロトコルでは、チャンネルを無線通信リンクごとに割当てる従来手法である SR プロトコルに対して 17.8% (4 チャンネル)、12.9% (6 チャンネル)、2.65% (8 チャンネル) の割当て成功率改善が達成された。これは、各無線通信リンクで割当て可能なチャンネルに対する条件を緩和した効果である。一方、マルチホップ配送経路上すべての無線リンクに共通のチャンネルを割当てる PR プロトコルに対しては、11.7% (6 チャンネル)、10.2% (8 チャンネル) の割

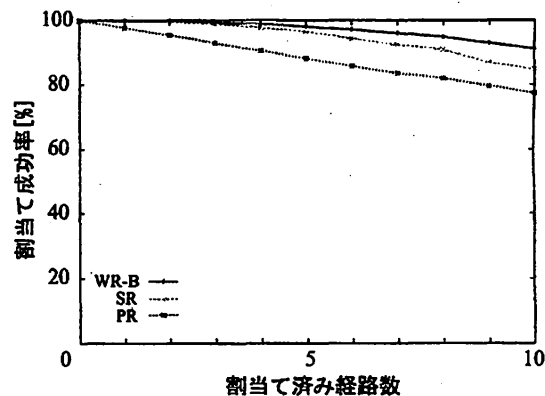


図 12: チャンネル割当て成功率 (8 チャンネル)

当て成功率改善がなされたが、4 チャンネルの場合についてのみ成功率が低く、16.6% 低いものとなった。WR-B プロトコル、SR プロトコルでは、マルチホップ配送経路内での衝突、競合を回避するために、各無線通信リンクに前後の無線通信リンクとは異なるチャンネルを割当てなければならないという制約がある。このため、ひとつのマルチホップ配送経路へのチャンネル割当てに対して最小 3 チャンネルを要することから、各無線ノードが 4 チャンネルしか持たない場合には、PR プロトコルよりも低い割当て成功率となった。今後は、この違いによるデータメッセージのスループットを実験評価する必要がある。

## 6 まとめと今後の課題

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ンネル通信におけるより緩和されたチャンネル割当て条件を明らかにし、条件に基づいたチャンネル割当てプロトコル WR-B を設計した。また、従来手法に対して経路のチャンネル割当て成功率が向上することをシミュレーション実験より明らかにした。今後は、より密に無線ノードが存在し、本論文で提案した割当て条件を満足できない場合において、よりデータメッセージ配送スループットを低下させないチャンネル割当て手法を検討する。また、他の配送スループット改善手法との組み合わせについても検討する。

## 参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] Turner, S.W., “Dynamic Simple Channel Assignment Strategies for Multiple-Channel Ad Hoc Networks,” Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (2007).