

## 無線アドホックネットワークのための リアクティブ型TDMAスロット予約プロトコル

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  
津村 周典 桧垣 博章  
E-mail: {tsumura, hig}@higlab.net

アドホックネットワーク、センサネットワーク、無線マルチホップアクセスネットワークといった無線機能を備えた移動コンピュータのマルチホップメッセージ配送を利用するモバイルワイヤレスネットワークにおいて、大量のセンサデータやマルチメディアデータの配送といった高いスループットを必要とするアプリケーションの研究開発が進められている。高スループットの無線マルチホップ配送を実現する手法として、本論文では、通信経路内および通信経路間の競合、衝突の発生しない各無線通信リンクへのTDMAスロット割り当て手法を提案する。ここでは、無線マルチホップ配送経路に含まれる無線通信リンクによるデータメッセージ配送に用いるスロットのみを割り当てるリアクティブ型(オンデマンド型)手法による割り当て成功率の向上を目的とする。このためのTDMAスロット割り当ての制約条件を明らかにし、スロット割り当てプロトコルおよびスロット解放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従来手法であるプロアクティブ型手法よりも高いスロット割り当て成功率が得られることを示す。

## Reactive TDMA Slot Reservation Protocol for MANETs

Shusuke Tsumura and Hiroaki Higaki  
Department of Computers and Systems Engineering  
Tokyo Denki University  
E-mail: {tsumura, hig}@higlab.net

In mobile wireless networks such as ad-hoc networks, sensor networks and mesh networks, wireless multihop transmission is adopted for data message transmission. For achieving higher throughput and shorter transmission delay, TDMA is one of more effective methods which avoid collisions and contentions than CSMA/CA and RTS/CTS. This paper proposes a reactive TDMA time slot assignment method in which time slot assignment gets active only when wireless multihop transmission is initiated. Here, a slot is assigned not to a mobile computer as in a conventional proactive method but to a wireless communication link included in an active wireless multihop transmission route. TDMA time slot assignment and designs slot assignment and release protocols are designed. Performance of the protocol is evaluated in simulation experiments which show that higher successful assignment ratio is achieved than the proactive methods.

### 1 はじめに

無線通信デバイスを備えた複数の移動コンピュータから構成されるアドホックネットワークの研究開発が活発に行なわれている。アドホックネットワークは、無線基地局やこれに接続する有線固定ネットワークを必要としないことから、災害救済、ITS、展示会、会議等のためのネットワーク構築や、インフラ構築が物理的制約や経済的制約で困難な場合のネットワーク構築などの応用が検討されている。ここでは、移動コンピュータ間の通信は無線信号の交換によって実現されるが、無線通信はブロードキャストを基礎とすることから、互いに隣接する移動コンピュータは通信メディアを共有することになる。競合や衝突の発生回避はデータメッセージ配送遅延の縮小、紛失率の低減、スループットの拡大のための重要な課題である。TDMA (Time Division Multiple Access) 方式を用いることで、無線通信メディアを共有する隣接移動コンピュータの送信する無線信号の衝突を回避することが可能である。TDMA方式における移動

コンピュータへのスロット割り当てでは、隣接移動コンピュータにおける無線信号の衝突を回避する、特に隠れ端末との無線信号の衝突を回避するために、隣接移動コンピュータに加えて2ホップ近隣移動コンピュータにおけるスロット割り当て状況を考慮する必要がある。従来提案されている手法では、2ホップ近隣移動コンピュータがデータメッセージ配送に関わっているか否かに関わらず移動コンピュータネットワークのトポロジのみによって割り当てることができないスロットを判定しているため、割り当てに対する制約条件が厳しい。特に、通信要求発生頻度に対する移動コンピュータ密度が相対的に高い環境では、スロット割り当ての成功率が低下するという問題がある。本論文では、移動コンピュータネットワークのトポロジに加え、データメッセージ配送要求の有無をも考慮に入れることによって、成功率の高いTDMAスロット割り当てを実現する手法を提案する。

## 2 TDMA による無線マルチホップ通信

一般に無線アドホックネットワークを構成する移動コンピュータは、外部からの給電機構を備えていない。また、複数の移動コンピュータが送信する無線信号の衝突機会を減少させることが、低遅延、高スループットの通信を実現するために必要である。そこで、すべての移動コンピュータ対がデータメッセージを含む無線信号を直接交換するのではなく、各移動コンピュータは限られた電力を用いてデータメッセージを含む無線信号を送信し、他の移動コンピュータがこれを中継する無線マルチホップ配送が用いられる。配送経路上の各無線通信リンクにおけるデータメッセージ配送には、IEEE802.11 [1]、Bluetooth [2]、ZigBee [3] といった CSMA/CA や RTS/CTS を基礎とする無線 LAN プロトコルを用いることが検討されているが、移動コンピュータ密度の高い環境では、無線信号送信要求の競合発生が高頻度となり、配送遅延の拡大、スループットの低下を招く。そこで、ひとつの無線マルチホップ配送経路内の衝突、競合の発生を回避するプロトコル [5] や複数の無線マルチホップ配送経路間の衝突、競合を回避するプロトコル [9] が提案されている。

一方、TDMA を用いて衝突のない無線マルチホップ配送を行なうことが検討されている [8, 10]。ここでは、図 1 に示すようにデータメッセージを送信する時間スロットを各移動コンピュータに割り当てる。このとき、互いに隣接する移動コンピュータ  $M_i$ 、 $M_j$  に対して同一のスロットを割り当てると、 $M_i$  と  $M_j$  の両方の無線信号到達範囲に含まれる移動コンピュータ  $M_k$  が存在するならば、 $M_k$  は  $M_i$  と  $M_j$  が同一のスロットを用いて送信した無線信号を同時に受信することとなり、これらのいずれかが  $M_k$  を宛先として送られたものであるならば衝突による通信の失敗となる。この現象は、 $M_i$  と  $M_j$  が互いに隣接しない場合においても発生する。これは、隠れ端末問題と呼ばれるものである。したがって、互いに隣接する複数の移動コンピュータに同一のスロットを割り当てず、さらに互いに隠れ端末の位置にある、すなわち互いに 2 ホップ近隣となる複数の移動コンピュータに同一のスロットを割り当てないことによって、送信する無線信号による衝突の発生を回避することが可能となる。

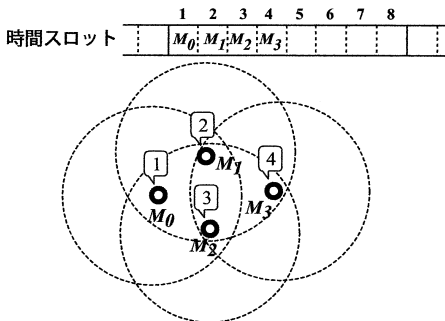


図 1: TDMA スロット割り当て

従来の TDMA スロット割り当て手法では、各移動コ

ンピュータ  $M$  の隣接移動コンピュータと 2 ホップ近隣移動コンピュータを  $M$  の影響圏としている。影響圏に含まれる移動コンピュータ  $M'$  は、 $M$  と同じスロットを用いて同時にデータメッセージを含む無線信号を送信すると衝突が発生する。したがって、 $M$  にスロットを割り当てる場合には、 $M$  の隣接移動コンピュータおよび 2 ホップ近隣移動コンピュータのすべてで割り当てられていないスロットを用いることとしている。USAP [8] および ASAP [10] は、各移動コンピュータに割り当てるスロットをネットワークポロジのみによって決定するプロアクティブ型的手法である。ここでは、各移動コンピュータには、すべての隣接移動コンピュータおよびすべての 2 ホップ近隣移動コンピュータとは異なるスロットを割り当てている。これによって、通信要求発生時には各移動コンピュータが割り当て済みのスロットを用いて、ただちに衝突のない無線通信を行なうことができる。しかし、移動コンピュータ  $M_i$  の隣接移動コンピュータの集合を  $N_1(M_i)$ 、2 ホップ近隣移動コンピュータの集合を  $N_2(M_i)$  とすると、 $M_i$  へのスロット割り当てが成功するためには  $|N_1(M_i)| + |N_2(M_i)| + 1$  以上のスロットが必要であり、ネットワーク全体では  $\max_i \{|N_1(M_i)| + |N_2(M_i)| + 1\}$  以上のスロットが必要となる。このため、移動コンピュータ密度が高い場合、スロット割り当て成功率が低下する問題がある。ASAP では、移動コンピュータの分布に偏りがある場合に対応するために、用意するスロット数を近隣移動コンピュータ数に応じて動的に変更する手法を導入している。ただし、スロット数を増加させることは、割り当てスロット間の周期を延長させることとなる。プロアクティブ型手法では、通信要求の有無とは無関係にスロット割り当てを行なうことから、移動コンピュータ密度が高く、通信頻度が低い場合には、多数のスロットが用意されるにも関わらずわずかなスロットだけが使用され、その周期が長くなることでスループットも低下するという問題がある。

## 3 提案手法

### 3.1 リアクティブ型スロット割り当て

前章で述べた問題を解決するために、本論文では、データメッセージの無線マルチホップ配送要求が発生したときにのみ、その配送経路に含まれる移動コンピュータがスロット割り当てを行なうリアクティブ型(オンデマンド型) TDMA スロット割り当て手法を提案する。提案手法では、データメッセージ配送経路に含まれる移動コンピュータだけがスロット割り当てを行なう。さらに、従来手法では隠れ端末の位置に存在するために潜在的に衝突が発生する可能性を持っている移動コンピュータには同一スロットの割り当てを禁止するのに対して、存在するマルチホップ配送経路によるデータメッセージ配送を行なった場合に衝突が発生する可能性を持つ移動コンピュータにのみ同一スロットの割り当てを禁止する。これによって、より高いスロット割り当て成功率を実現できると考えられる。従来のプロアクティブ型割り当て手法では、各移動コンピュータが自身からすべての隣接移動コンピュータへの無線信号送信に使用するスロットを割り当てる(図 2)のに対して、本論文で提案するリアクティブ型割り当て手法では、構築された無線マルチホッ

ブ配送経路に含まれる無線通信リンクを用いた無線信号送信に使用するスロットを各移動コンピュータが割り当てる(図3)。

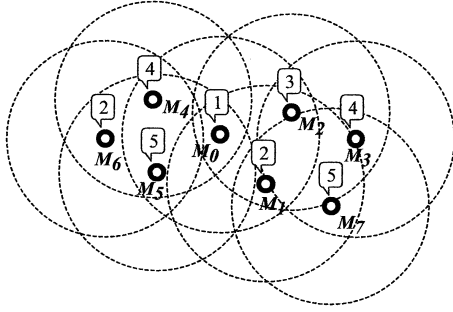


図 2: プロアクティブ型スロット割り当て

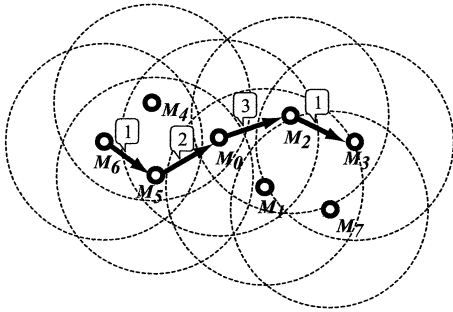


図 3: リアクティブ型スロット割り当て

### 3.2 スロット割り当て条件

無線通信デバイスを備えた移動コンピュータからなるアドホックネットワークにおいて、送信元移動コンピュータ  $M_s (= M_0)$  から送信先移動コンピュータ  $M_d (= M_n)$  までの無線マルチホップ配送経路  $R = \{M_0 \dots M_n\}$  を用いたデータメッセージ配送が、 $R$  に含まれる複数の移動コンピュータから送信される無線信号の間で衝突が発生することなく、他の無線マルチホップ配送経路に含まれる移動コンピュータから送信される無線信号との衝突を回避して実現されるために割り当てスロットが満たすべき条件を明らかにする。以下では、移動コンピュータ  $M$  の無線信号到達範囲に含まれ、 $M$  から1ホップで到達可能な隣接移動コンピュータの集合を  $N_1(M)$ 、 $M$  の無線信号到達範囲には含まれず、 $M$  から2ホップで到達可能な2ホップ近隣移動コンピュータの集合を  $N_2(M)$  とする。

無線リンク  $|M_i M_{i+1}|$  において、あるスロット  $s$  を割り当てることのできないのは、以下の場合である。

- $s$  を用いてデータメッセージを含む無線信号を  $M_i$  が送信すると、 $M_i$  がこれまで衝突なく受信可能であった無線信号との衝突が発生する場合。
- $s$  を用いてデータメッセージを含む無線信号を  $M_i$  が送信すると、 $M_{i+1}$  以外の  $M_i$  の隣接移動コン

ピュータがこれまで衝突なく受信可能であったいずれかの無線信号との衝突が発生する場合。

- $s$  を用いてデータメッセージを含む無線信号を  $M_i$  が送信すると、 $M_{i+1}$  において  $M_{i+1}$  の隣接移動コンピュータが送信した無線信号との衝突が発生する場合。

論文 [11] では、無線マルチホップ配送経路上の無線通信リンクへのスロット割り当てが制約される3つの条件が示されている。これにより、データメッセージを含む無線信号の衝突を回避したスロット割り当てを無線通信リンク  $|M_i M_{i+1}|$  に行なうためには、 $M_i$  の隣接移動コンピュータと2ホップ近隣移動コンピュータからのすべての無線通信リンクで割り当てられているスロットの割り当てを禁止する必要はないことが分かる。 $M_i$  の隣接移動コンピュータまたは2ホップ近隣移動コンピュータ  $M$  から  $M$  の隣接移動コンピュータ  $M' \in N_1(M)$  への無線通信リンク  $|MM'|$  であっても、 $M$  が  $M_{i+1}$  の隣接移動コンピュータでなく、すなわち  $M \notin N_1(M_{i+1})$  かつ  $M' \notin N_1(M_i)$  であるならば、 $|MM'|$  に割り当てられているスロットを  $|M_i M_{i+1}|$  に割り当てることが可能である(図4)。したがって、データメッセージを含む無線信号の衝突が回避できる  $|M_i M_{i+1}|$  への割り当て可能スロットは以下の条件を満足するものである。

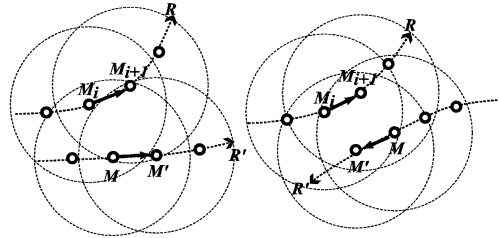


図 4: 同一スロット割り当て可能な無線通信リンク

#### [割り当て可能スロット条件]

無線通信リンク  $|M_i M_{i+1}|$  に割り当て可能なスロット  $s$  は、以下の条件を満足する。

- $s$  は  $M_i$  の隣接移動コンピュータ  $M \in N_1(M_i)$  の隣接移動コンピュータ  $M' \in N_1(M)$  から  $M$  への無線通信リンク  $|M'M|$  に割り当てられていない。
- $s$  は  $M_{i+1}$  の隣接移動コンピュータ  $M \in N_1(M_{i+1})$  から  $M$  の隣接移動コンピュータ  $M' \in N_1(M)$  への無線通信リンク  $|MM'|$  に割り当てられていない。

### 4 スロット割り当てプロトコル

本章では、前章で提案したスロット割り当て手法を実現するプロトコルを設計する。ここで、送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでのマルチホップ配送経路  $R = \{M_0 \dots M_n\}$  は構築済みであり、 $R$  に含まれる各移動コンピュータは、自身の前ホップ移動コンピュータと次ホップ移動コンピュータにメッセージを送信することが可能であるとする。また、複数の空きスロットが割り当て可能である場合には、前ホップ移動コ

ンピュータからのデータメッセージ受信スロット以降で最も近い、すなわちデータメッセージ転送待ち時間が最小となるスロットを選択する方法を用いる。ひとつのフレームに含まれるスロット数は固定とする。各移動コンピュータ  $M_i$  は、以下のデータを保持している。

- 自身および自身の隣接移動コンピュータ  $M$  が  $M$  の隣接移動コンピュータ  $M' \in N_1(M)$  への無線通信リンク  $|MM'$  によるデータメッセージ送信のために割り当てているスロットの集合  $SS_i$ 。
- 自身および自身の隣接移動コンピュータ  $M$  が  $M$  の隣接移動コンピュータ  $M' \in N_1(M)$  からの無線通信リンク  $|M'M$  によるデータメッセージ受信のために割り当てているスロットの集合  $RS_i$ 。

前章で述べた条件から  $s \notin RS_i \cup SS_{i+1}$  を満足するスロット  $s$  を  $|M_i M_{i+1}|$  で用いれば、衝突の回避が可能である。そこで、 $M_i$  では  $s$  を  $|M_i M_{i+1}|$  を用いたデータメッセージ送信のために割り当て、 $M_{i+1}$  では  $s$  を  $|M_i M_{i+1}|$  を用いたデータメッセージ受信のために割り当てる。 $M_i$  は、 $s$  をデータメッセージの送信のために用いることを  $M_i$  の隣接移動コンピュータに通知する。また、 $M_{i+1}$  は、 $s$  をデータメッセージの受信のために用いることを  $M_{i+1}$  の隣接移動コンピュータに通知する。スロット割り当てに要する制御メッセージ数を削減し、時間を短縮するために、無線通信リンク  $|M_i M_{i+1}|$  に割り当てるスロットを  $M_{i+1}$  で決定する。

#### [スロット割り当てプロトコル]

(送信元移動コンピュータ  $M_0$ )

- 1) 送信元移動コンピュータ  $M_0$  は、 $RS_0$  を含むスロット割り当て要求メッセージ  $Sreq$  を次ホップ移動コンピュータ  $M_1$  へユニキャスト送信する。
- 2)  $M_1$  から  $|M_0 M_1|$  の割り当てスロット  $s$  を含むスロット割り当て応答メッセージ  $Srep$  を受信した  $M_0$  は、 $s$  を  $SS_0$  に追加するとともに、 $s$  を含む割り当て送信スロット追加メッセージ  $SS^+req$  をブロードキャスト送信する。

(中継移動コンピュータ  $M_i$ )

- 1) 前ホップ移動コンピュータ  $M_{i-1}$  から  $RS_{i-1}$  を含む  $Sreq$  メッセージを受信した移動コンピュータ  $M_i$  は、 $RS_{i-1} \cup SS_i$  に含まれないスロット  $s$  を選択する。このような  $s$  の候補が複数存在する場合、 $M_1$  では任意のスロットをひとつ選択し、 $M_i (i \neq 1)$  では受信した  $Sreq$  に含まれる  $|M_{i-2} M_{i-1}|$  で割り当てたスロット  $s^-$  以降で最も近いスロットを選択する。
- 2)  $M_i$  は、 $s$  を  $RS_i$  に追加するとともに、 $s$  を含む  $Srep$  メッセージを  $M_{i-1}$  へユニキャスト送信し (図 5)、 $s$  を含む割り当て受信スロット追加メッセージ  $RS^+req$  をブロードキャスト送信する (図 6)。
- 3)  $M_i$  は、 $s$  および  $RS_i$  を含む  $Sreq$  メッセージを次ホップ移動コンピュータ  $M_{i+1}$  へユニキャスト送信する (図 7)。
- 4)  $M_{i+1}$  から  $|M_i M_{i+1}|$  の割り当てスロット  $s^+$  を含むスロット割り当て応答メッセージ  $Srep$  を受信した  $M_i$  は、 $s^+$  を  $SS_i$  に追加するとともに、 $s^+$  を含む割り当て送信スロット追加メッセージ  $SS^+req$  をブロードキャスト送信する (図 8)。

(送信先移動コンピュータ  $M_n$ )

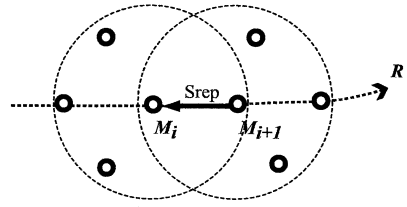


図 5:  $Srep$  のユニキャスト送信

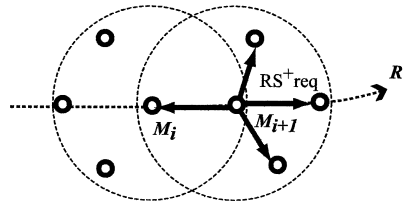


図 6:  $RS^+req$  のブロードキャスト送信

- 1) 前ホップ移動コンピュータ  $M_{n-1}$  から  $RS_{n-1}$  を含む  $Sreq$  メッセージを受信した移動コンピュータ  $M_n$  は、 $RS_{n-1} \cup SS_n$  に含まれないスロット  $s$  を選択する。このような  $s$  の候補が複数存在する場合、受信した  $Sreq$  に含まれる  $|M_{n-2} M_{n-1}|$  で割り当てたスロット  $s^-$  以降で最も近いスロットを選択する。
- 2)  $M_n$  は、 $s$  を  $RS_n$  に追加するとともに、 $s$  を含む  $Srep$  メッセージを  $M_{n-1}$  へユニキャスト送信し、 $s$  を含む割り当て受信スロット追加メッセージ  $RS^+req$  をブロードキャスト送信する。

(移動コンピュータ  $M_j$ )

- 1) 隣接移動コンピュータ  $M_i$  から  $s$  を含む  $RS^+req$  を受信した移動コンピュータ  $M_j$  は、 $s$  を  $RS_j$  に追加する。
- 2) 隣接移動コンピュータ  $M_i$  から  $s$  を含む  $SS^+req$  を受信した移動コンピュータ  $M_j$  は、 $s$  を  $SS_j$  に追加する。

□

無線マルチホップ配送経路  $R$  を用いたデータメッセージの配送が終了すると、この経路が解放される。これにともなって、 $R$  に含まれる各移動コンピュータに割り当てられているスロットを解放する。

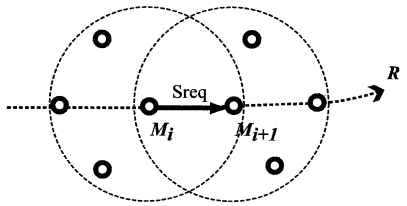


図 7:  $Sreq$  のユニキャスト送信



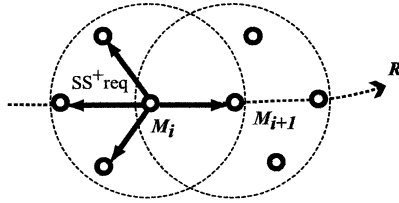


図 8:  $SS^+req$  のブロードキャスト送信

[スロット解放プロトコル]

(送信元移動コンピュータ  $M_0$ )

- 1) 無線通信リンク  $|M_0M_1|$  におけるスロット割り当てが経路の解放によって不要となったことを検出した  $M_0$  は、この無線通信リンクに割り当てたスロット  $s$  を  $SS_0$  から削除するとともに、割り当て送信スロット削除メッセージ  $SS^-req$  をブロードキャスト送信する。

(中継移動コンピュータ  $M_i$ )

- 1) 無線通信リンク  $|M_{i-1}M_i|$  におけるスロット割り当てが経路の解放によって不要となったことを検出した  $M_i$  は、この無線通信リンクに割り当てたスロット  $s$  を  $RS_i$  から削除するとともに、割り当て受信スロット削除メッセージ  $RS^-req$  をブロードキャスト送信する (図 9)。
- 2) 無線通信リンク  $|M_iM_{i+1}|$  におけるスロット割り当てが経路の解放によって不要となったことを検出した  $M_i$  は、この無線通信リンクに割り当てたスロット  $s$  を  $SS_i$  から削除するとともに、割り当て送信スロット削除メッセージ  $SS^-req$  をブロードキャスト送信する (図 10)。

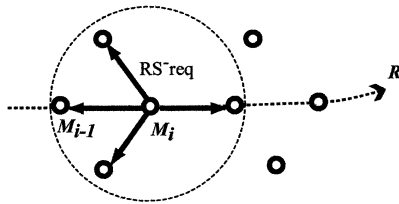


図 9:  $RS^-req$  のブロードキャスト送信

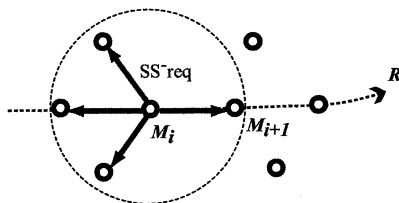


図 10:  $SS^-req$  のブロードキャスト送信

(送信先移動コンピュータ  $M_n$ )

- 1) 無線通信リンク  $|M_{n-1}M_n|$  におけるスロット割り当てが経路の解放によって不要となったことを検出した  $M_n$  は、この無線通信リンクに割り当てたスロット  $s$  を  $RS_n$  から削除するとともに、割り当て受信スロット削除メッセージ  $RS^-req$  をブロードキャスト送信する。

(移動コンピュータ  $M_j$ )

- 1) 隣接移動コンピュータ  $M_i$  から  $s$  を含む  $RS^-req$  を受信した移動コンピュータ  $M_j$  は、 $s$  を  $RS_j$  から削除する。
- 2) 隣接移動コンピュータ  $M_i$  から  $s$  を含む  $SS^-req$  を受信した移動コンピュータ  $M_j$  は、 $s$  を  $SS_j$  から削除する。

□

5 評価

本章では、提案するリアクティブ型 TDMA スロット割り当て手法と従来手法であるプロアクティブ型 TDMA スロット割り当て手法の性能をシミュレーション実験によって比較評価する。

まず、リアクティブ型手法がプロアクティブ型手法と比較して、各移動コンピュータのスロット割り当てが他の移動コンピュータのスロット割り当てをより制約しない手法であることを実験によって確認する。ここでは、300-500 台の移動コンピュータを  $1200m \times 1200m$  のフィールドに一様分布に基づく乱数を用いて配置し、ランダムに選ばれた送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータへの無線マルチホップ配送経路を AODV によって探索、検出する。この経路に含まれるすべての移動コンピュータとその隣接移動コンピュータ、2 ホップ近隣移動コンピュータからそれらの隣接移動コンピュータへ接続するすべての無線通信リンク数に対して、提案手法において配送経路に含まれる無線通信リンクに対して制約を与える無線通信リンク数かどの程度削減されるかを測定する。ただし、各移動コンピュータの無線信号到達距離は 100m とする。

測定結果を図 11 に示す。ここでは、それぞれの移動コンピュータ数について、送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでの距離に対する割り当てを制約する無線リンク数の割合を示している。測定結果は最小 0.508、最大 0.813、平均 0.761 となった。以上により、提案手法は従来手法に比べて平均 33.9% 緩和された制約条件のもとで割り当てスロットを決定することが可能であることが分かる。

次に、移動コンピュータ数と無線マルチホップ配送経路数を変えたときのスロット割り当て成功率をリアクティブ型手法とプロアクティブ型手法について比較評価する。ここでは、200-800 台の移動コンピュータを  $1000m \times 1000m$  のフィールドに一様分布に基づく乱数を用いて配置する。この配置に対してプロアクティブ型手法を用いてスロット割り当てを行なう場合の割り当て成功率と、ランダムに選ばれた送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでの無線マルチホップ配送経路を AODV によって探索し、前章で提案したスロット予約プロトコルを用いてスロット割り当てを行なう場合の割り当て成功率を測定し、比較評価する。ただし、移動コンピュータの無線信号到達距離は 100m、TDMA

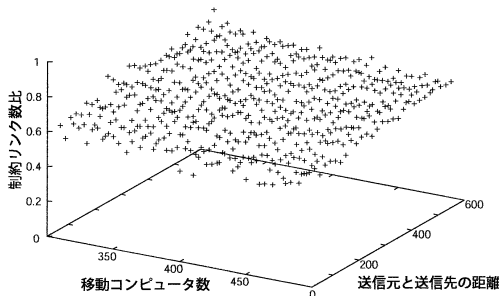


図 11: 提案手法による制約条件の緩和

スロット数は 16 とする。また、リアクティブ型手法の割り当て成功率は通信頻度すなわち既存の無線マルチホップ配送経路数に依存することから、経路数を 1-30 の範囲内で変化させて測定する。

測定結果を図 12 に示す。プロアクティブ型手法では通信要求の有無とは無関係に各移動コンピュータへスロットを割り当てることから、その成功率は経路数によらず一定である。また、各移動コンピュータに対して 2 ホップ近隣移動コンピュータと同一のスロットを割り当てることができない制約条件から、移動コンピュータの密度が高い環境ではスロット割り当て成功率は低くなる。一方、リアクティブ型手法では、通信要求に基づいて構成された無線マルチホップ配送経路上の移動コンピュータにのみスロットが割り当てられることから、その成功率は経路数に依存し、経路数が多いほど割り当て成功率は低くなる。スロットの割り当て対象が経路上の移動コンピュータのみであることから、割り当て成功率は移動コンピュータ数(移動コンピュータ密度)に依存しない。図 12 より、移動コンピュータ数が少なく、通信頻度が高い(経路数が多い)場合を除いては、リアクティブ型手法はプロアクティブ型手法よりも高いスロット割り当て成功率を得ることができることが分かる。

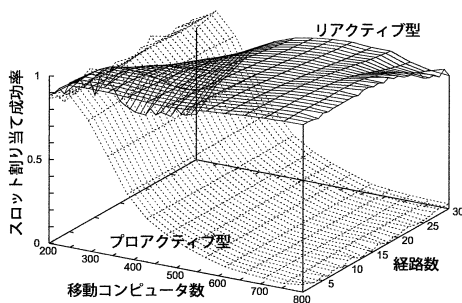


図 12: スロット割り当て成功率

## 6 まとめと今後の課題

本論文では、アドホックネットワークにおける無線マルチホップ配送経路によるデータメッセージ配送におい

て、無線信号の衝突を回避するために TDMA を導入するリアクティブ型手法を提案し、スロット割り当て、解放プロトコルを設計した。提案手法は従来手法であるプロアクティブ型手法と異なり、ひとつの移動コンピュータへのスロット割り当てがその 2 ホップ近隣移動コンピュータのすべてに制約されるのではなく、衝突が発生し得る通信に対する割り当てによるのみ制約される。シミュレーション実験によって提案手法の方がより多数の空きスロットを割り当て可能として保持し、より高い割り当て成功率が得られることを示した。

従来手法では、各移動コンピュータのスロット割り当てには 2 ホップ近隣移動コンピュータのすべてのスロット割り当てが制約となるため、自身および他の移動コンピュータの位置変化によって、いずれかの 2 ホップ近隣移動コンピュータが変化した場合にはそれらのスロット割り当て状況を取得しなければならない。提案手法では、自身の隣接移動コンピュータとの間の無線通信リンクがいずれかの無線マルチホップ配送経路に含まれていない 2 ホップ近隣移動コンピュータが変化してもその割り当て状況を取得する必要がない。また、取得すべき割り当て状況も必ず隣接移動コンピュータが保持していることから、取得に要する通信オーバーヘッドも小さいと考えられる。今後は、この移動に対する耐性を従来手法と比較する実験を行なう。

## 参考文献

- [1] “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs),” Standard IEEE 802.15.1 (2002).
- [3] “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs),” Standard IEEE 802.15.4 (2003).
- [4] Johnson, D.B., Maltz, D.A., Hu, Y.C., and Jetcheva, J.G., “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,” Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [5] Numata, Y. and Higaki, H., “Routing and Communication Protocols for Higher Throughput in Wireless Ad-Hoc Networks,” Proceedings of the 7th International Conference on Wireless and Optical Communications, pp. 68-74 (2007).
- [6] Perkins, C.E., “Ad Hoc Networking,” Addison-Wesley (2000).
- [7] Perkins, C.E. and Royer, E.M., “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing,” Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100 (1999).
- [8] Young, C.D., “USAP: A Unifying Dynamic Distributed Multichannel TDMA Slot Assignment Protocol,” Proceedings of IEEE MILCOM, pp. 235-239 (1996).
- [9] 梅島, 松垣, “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).
- [10] 神崎, 上向, 原, 西尾, “アドホックネットワークにおける端末数の変化に応じた TDMA スロット割り当て手法,” 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.3, pp. 824-837 (2004).
- [11] 津村, 松垣, “マルチホップ経路の存否に基づく TDMA スロット割り当て手法,” 情報研報, Vol.2007, No.91, pp. 73-78 (2007).