

# 片方向通信路対による高スループット 無線マルチホップアクセス通信

櫛谷 智史<sup>†1</sup> 松垣 博章<sup>†1</sup>

無線マルチホップ配送で到達可能なアクセスポイントを介して他のノードと双方向にデータメッセージを交換する無線ノードを対象として、高スループット通信を可能とする手法を提案する。単一のアクセスポイントとの無線マルチホップ配送を用いる従来手法では、双方向に配送されるデータメッセージの転送による競合、衝突によってスループットが低下する。そこで、この無線ノードを含む2つのアクセスポイント間のマルチホップ配送経路を片方向にデータメッセージを配送することによって競合と衝突を削減し、スループットを改善する。提案手法を単一の無線ノード対に適用する場合の性能評価実験により、提案手法が優れた性能を示すための無線ノード位置の制約を明らかにする。また、従来手法と提案手法の選択を各無線マルチホップアクセスネットワークごとに独立に行なうことができることを示す。

## High Throughput Wireless Multihop Access Communication by Pair of Uni-Directional Multihop Routes

SATOSHI KUSHIYA<sup>†1</sup> and HIROAKI HIGAKI<sup>†1</sup>

In a wireless multihop network, a wireless node exchanges data messages with another node out of the network through an access point to which the data messages are transmitted by using wireless multihop transmission. High throughput bi-directional data message transmission as in P2P network applications is required; however, in bi-directional wireless multihop data message transmission, frequent contentions and collisions reduce the throughput. This paper proposes a novel data message transmission method in which data messages are transmitted along a uni-directional wireless multihop transmission route from an access point to another one through the wireless node. Since the effect on data message throughput depends on locations of access points and wireless nodes. The proposed uni-directional data message transmissions are applied selectively for each wireless nodes.

### 1. はじめに

IEEE802.11<sup>5)</sup> や Bluetooth<sup>6)</sup> などの無線 LAN 通信プロトコルが適用可能な無線ノードが広く普及し、アクセスポイントを経由して他の無線ノードと通信を行なうアプリケーションが増加している。このようなアプリケーションでは各無線ノードが直接アクセスポイントとデータメッセージを交換することで通信を実現している。そのため、アクセスポイントと直接通信を行なうことができない領域に位置する無線ノードは、通信を行なうことができない。また、直接通信可能な領域の拡大にはアクセスポイントの増設が必要であり、設置コストと維持管理コストが増大する。そこで、各無線ノードがアクセスポイントを経由して通信を行なうアプリケーションにおいて、無線ノードとアクセスポイントとの間の通信を無線マルチホップ配送により実現する無線アクセスネットワークを考える(図1)。

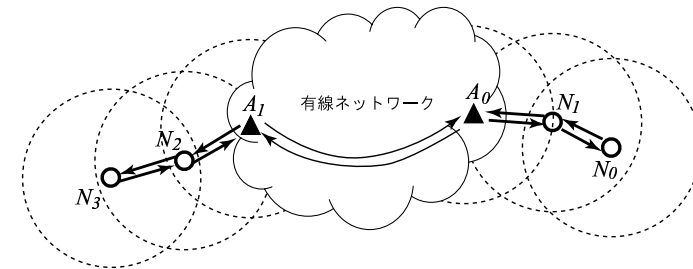


図1 対象ネットワークアプリケーションモデル

無線マルチホップ配送とは、隣接無線ノードを中継してデータメッセージを配送することで自身の無線信号到達範囲外の無線ノードとの間の通信を実現する手法である。この無線マルチホップ配送を、アクセスポイントとその無線信号到達範囲外に位置する無線ノード間の通信に適用することで、アクセスポイントの増設等を行わずに通信可能領域の拡大が可能となる。一方、無線マルチホップ配送ではデータメッセージの配送に電波を使用しているため、近隣の無線ノードが同時にデータメッセージを送信すると衝突が発生し、正しくデータメッセージを受信することができない。この衝突を回避するために各無線ノードは、自身の

<sup>†1</sup> 東京電機大学大学院未来科学研究科ロボット・メカトロニクス学専攻  
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

データメッセージ送信時に近隣で通信が行なわれている場合には、その通信が終了するまでデータメッセージ送信を延期する。この状態を競合といい、競合の発生によりデータメッセージの衝突は回避されるが、データメッセージの送信機会は減少するためスループットは低下する。そのため、無線マルチホップ配送を用いた通信で高スループットを実現するためには、衝突と競合の回避が重要課題となる(図2)。

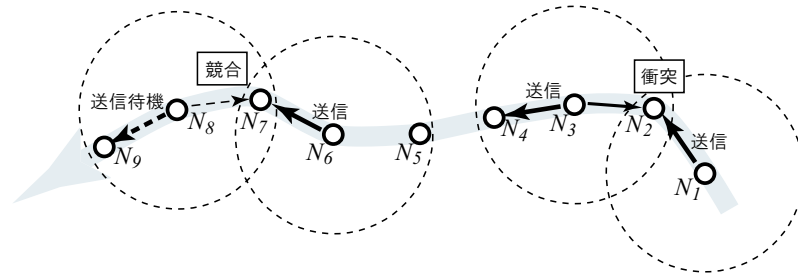


図2 無線マルチホップ配送における衝突と競合

無線マルチホップ配送とアクセスポイントを併用したアプリケーションでは、図1のように無線通信路と有線通信路で構成される配送経路を用いて通信が実現される。適用アプリケーションとして、アクセスポイントを介してインターネットを経由し、他の無線ノードと通信を行なうWEB閲覧やファイル転送、テレビ電話等が挙げられる。WEB閲覧やファイル転送では、要求とそれに対する応答という同期的な形式で通信が行なわれるのに対し、テレビ電話では通信を行なう各無線ノードが各々のタイミングで非同期的にデータを送信するため、配送経路上で双方向に配送されるデータメッセージの間で衝突や競合が発生し、スループットが低下する。

このようなアプリケーションにおいては、無線により通信が行なわれる無線ノードとアクセスポイントとの間のスループットを向上させることによって配送経路全体のスループット向上を図ることができる。本研究では、衝突と競合の発生を減少させ、無線ノードとアクセスポイントとの間のスループットを向上することを目的とする。

## 2. 関連研究

無線マルチホップネットワークにおけるデータメッセージの配送スループット改善については、これまで様々な研究がなされている。

隣接無線ノード間の1ホップ通信に用いるIEEE802.11<sup>5)</sup>やBluetooth<sup>6)</sup>といった無線LANプロトコルは、データメッセージがマルチホップ配送されることを考慮した設計とはなっていない。そこでMARCH<sup>3)</sup>では、前ホップ無線ノードからデータメッセージを受信した無線ノードが次ホップ無線ノードへデータメッセージを転送することを考慮することで、無線マルチホップ配送のスループットを改善している。

LBAR<sup>1)</sup>は、無線マルチホップ配送経路検出時に既存のマルチホップ配送経路に含まれないあるいはより少ないマルチホップ配送経路にしか含まれない無線ノードを中継ノードに含むように選択することで、他のマルチホップ配送経路に含まれる無線ノードによるデータメッセージ転送との競合、衝突を回避、削減し、スループットを改善する手法である。論文<sup>7)</sup>では、データメッセージ配送時に他のマルチホップ配送経路に含まれる無線ノードによるデータメッセージ転送との競合、衝突を回避、削減するように経路を変更する手法を提案している。ここでは、無線ノードの無線送信電力を変更し、中継無線ノードの追加、変更を行なう。データメッセージ配送時に経路の変更を行なうことから、無線ノードの移動によって競合、衝突が発生する場合においても再経路探索を行なうことなく高スループットを得られる経路に修正することができる点に優れている。

RH2SWL<sup>2)</sup>は、マルチホップ配送経路内での競合、衝突を回避、削減することで高スループットを得るためのルーティングプロトコルおよびデータメッセージ配送プロトコルである。ここでは、無線マルチホップ配送経路を順次短縮する無線通信リンク列によって構成することで、配送経路内における隠れ端末問題を回避している。送信元無線ノード $N_0$ から送信先無線ノード $N_n$ までの $n$ ホップ無線マルチホップ配送経路 $R = \{N_0 \dots N_n\}$ の中継無線ノード $N_i$ では、前ホップ中継無線ノード $N_{i-1}$ と次ホップ中継無線ノード $N_{i+1}$ との間で $|N_{i-1}N_i| > |N_iN_{i+1}|$ を満たしている。そこで、 $N_i$ が無線信号到達範囲に $N_{i+1}$ を含み $N_{i-1}$ を含まないように無線送信電力を調節することで、 $N_i$ と $N_{i-2}$ との間の隠れ端末問題を解消する。

RH2SWLは、データメッセージを片方向に配送するときには有効に機能するが、双方向にデータメッセージを配送することは考慮されていない。MARCHも同様に片方向に配送されるデータメッセージのスループット改善を実現するものであり、双方向に配送されるデータメッセージを対象とはしていない。

### 3. 片方向無線マルチホップ通信

#### 3.1 想定システム

図3のように、無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  は、複数の無線ノード  $N_l^i$  と有線ネットワークへの複数のアクセスポイント  $A_m^i$  から構成される。 $\mathcal{N}^i$  に含まれる任意の  $N_l^i$  と  $A_m^i$  との間では、 $\mathcal{N}^i$  内の無線ノードを介してデータメッセージを無線マルチホップ配送することが互いに可能である。また、無線アクセスポイントは互いに有線ネットワークを介してデータメッセージを交換することが可能である。ここでは、同一の無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  に含まれる無線アクセスポイント  $A_m^i$  と  $A_n^i$  との間のみでなく、異なる無線マルチホップネットワーク  $\mathcal{N}^i$  と  $\mathcal{N}^j$  にそれぞれ含まれる無線アクセスポイント  $A_m^i$  と  $A_n^j$  との間でもデータメッセージの交換が可能である。

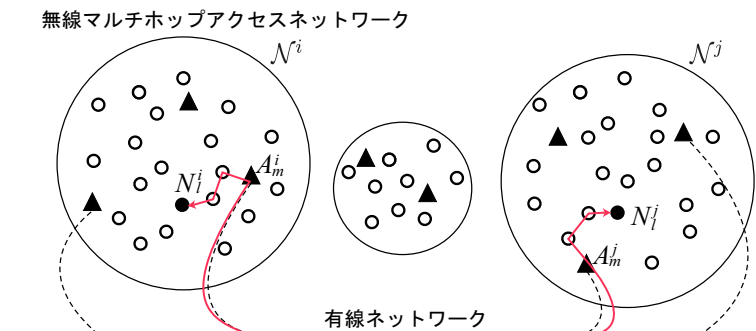


図3 無線マルチホップアクセスネットワーク間通信

各無線ノードは、同一の無線マルチホップネットワーク  $\mathcal{N}^i$  に含まれる他の無線ノードとは  $\mathcal{N}^i$  内の無線ノードやアクセスポイントを中継ノードとした無線マルチホップ通信を用いてデータメッセージを交換する。一方、各無線ノード  $N_l^i$  と有線ネットワークに接続された固定ノード  $F$  との間の通信は、 $N_l^i$  と  $A_m^i$  との間の  $\mathcal{N}^i$  内での無線マルチホップ配送と  $A_m^i$  と  $F$  との間の有線ネットワークによる配送を用いることによって実現する。さらに、他の無線マルチホップネットワーク  $\mathcal{N}^j$  を構成する無線ノード  $N_l^j$  との間の通信では、 $N_l^i$  と  $A_m^i$  との間の  $\mathcal{N}^i$  内の無線マルチホップ配送、 $A_m^i$  と  $A_n^j$  との間の有線ネットワークによる配送、 $A_n^j$  と  $N_l^j$  との間の  $\mathcal{N}^j$  内の無線マルチホップ配送を用いることで実現される。

データメッセージを交換する各無線ノードは対等であり、これらの間の通信は P2P 型を想定する。つまり、クライアントサーバ型通信における上り下りの概念はなく、データメッセージ配送方向と配送量には特定の関係を想定しない。

#### 3.2 問題点

無線マルチホップアクセスネットワークの無線ノード  $N^s(=N_0)$  と  $N^d(=N_n)$  との間の双方向経路  $R = \langle \langle N_0 \dots N_n \rangle \rangle$  を用いた無線マルチホップ配送通信を考える。ここで、すべての無線ノードは隣接無線ノードと双方向の無線通信リンクで接続されているものとする。すなわち、中継ノード  $N_i$  とその次ホップ中継ノード  $N_{i+1}$  との間には、無線通信リンク  $|N_i N_{i+1}|$  と  $|N_{i+1} N_i|$  の両方が存在する。このとき  $N_i$  は、 $R$  に含まれる隣接無線ノード  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  の無線信号到達範囲に含まれる。したがって、CSMA/CA を用いる無線 LAN プロトコルにおいては、 $N_i$  は  $N_{i-1}$  および  $N_{i+1}$  と競合し、これらの隣接無線ノードが無線信号を送信していない時間のみ無線信号を送信することができる。一方、 $N_i$  の無線信号到達範囲には  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  が含まれる。したがって、 $N_i$  が送信した無線信号は、これらの隣接無線ノードが他の無線ノードから受信する無線信号と衝突し、どちらの無線信号の受信も失敗する。 $R$  を用いてデータメッセージが無線マルチホップ配送されるとき、 $N_{i-2}$  および  $N_{i+2}$  から送信された無線信号との衝突が発生する可能性がある。以上により、図4に示すように  $|N_i N_{i+1}|$  を用いたデータメッセージ転送は、無線通信リンク  $|N_{i-1} N_i|$ 、 $|N_{i-1} N_{i-2}|$ 、 $|N_{i+1} N_{i+2}|$ 、 $|N_{i+1} N_i|$ 、 $|N_i N_{i-1}|$  を用いたデータメッセージ転送と競合し、 $|N_{i-2} N_{i-1}|$ 、 $|N_{i+2} N_{i+3}|$ 、 $|N_{i+2} N_{i+1}|$  を用いたデータメッセージ転送と衝突する。

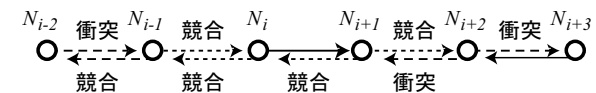


図4 双方向配送における競合と衝突

ここで、無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  の無線ノード  $N_l^i$  と固定ノード  $F$  あるいは他の無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^j$  の無線ノード  $N_l^j$  との通信を考えると、 $\mathcal{N}^i$  内では  $N_l^i$  と無線アクセスポイント  $A_m^i$  との間の双方向経路  $R = \langle \langle N_l^i \dots A_m^i \rangle \rangle$  を用いた無線マルチホップ配送を用いることとなる。このため、中継ノードが次ホップ中継ノードへデータメッセージを転送する際に、 $R$  に含まれる2ホップ近隣無線ノードが用いる多数の無線通信リンクを用いたデータメッセージ転送と競合、衝突する可能性がある。こ

れによって、データメッセージの配送スループットが低下する。

### 3.3 提案手法

前節で述べた問題を解決するために、送信元無線ノード  $N^s (=N_0)$  から送信先無線ノード  $N^d (=N_n)$  への片方向経路  $R = \{N_0 \dots N_n\}$  を用いた無線マルチホップ配送を考える。すなわち、データメッセージは中継無線ノード  $N_i$  から次ホップ中継無線ノード  $N_{i+1}$  へ転送されるのみであり、 $N_{i+1}$  から  $N_i$  へと転送されないこととする。ただし3.2節と同様に、すべての無線ノードは隣接無線ノードと双方向の無線通信リンクで接続されているものとする。このとき  $N_i$  は、 $R$  に含まれる隣接無線ノード  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  の無線信号到達範囲に含まれる。したがって、CSMA/CA を用いる無線 LAN プロトコルにおいては、 $N_i$  は  $N_{i-1}$  および  $N_{i+1}$  と競合し、これらの隣接無線ノードが無線信号を送信していない時間のみ無線信号を送信することができる。一方、 $N_i$  の無線信号到達範囲には  $N_{i-1}$  と  $N_{i+1}$  が含まれる。したがって、 $N_i$  が送信した無線信号は、これらの隣接無線ノードが他の無線ノードから受信する無線信号と衝突し、どちらの無線信号の受信も失敗する。 $R$  を用いてデータメッセージが無線マルチホップ配送されるとき、 $N_{i-2}$  および  $N_{i+2}$  から送信された無線信号との衝突が発生する可能性がある。以上により、 $\{N_i, N_{i+1}\}$  を用いたデータメッセージ転送は、無線通信リンク  $\{N_{i-1}, N_i\}, \{N_{i+1}, N_{i+2}\}$  を用いたデータメッセージ転送と競合し、 $\{N_{i-2}, N_{i-1}\}, \{N_{i+2}, N_{i+3}\}$  を用いたデータメッセージ転送と衝突する。これは、3.2節で述べた双方向無線マルチホップ配送経路を用いる場合よりも競合、衝突の機会が減少する可能性があることを示している。

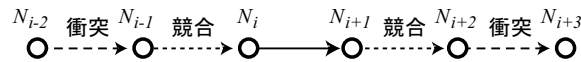


図5 片方向配送における競合と衝突

そこで、無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  に複数のアクセスポイント  $A_m^i$  が存在するならば、無線ノード  $N_i^i$  と固定ノード  $F$  もしくは他の無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^j$  に含まれる無線ノード  $N_j^j$  との間のデータメッセージ配送を、 $N_i^i$  から  $A_m^i$  への無線マルチホップ配送と  $A_n^i$  から  $N_l^i$  への無線マルチホップ配送との組合せによって実現する(図6)。すなわち、 $N_i^i$  から  $F$  もしくは  $N_j^j$  へのデータメッセージは、 $\mathcal{N}^i$  内では  $N_i^i$  から  $A_m^i$  へのマルチホップ配送経路を片方向に配送し、逆に、 $F$  もしくは  $N_j^j$  から  $N_l^i$  へのデータメッセージは、 $\mathcal{N}^i$  内では  $A_n^i$  から  $N_l^i$  へのマルチホップ配送経路を片方向

に配送する。

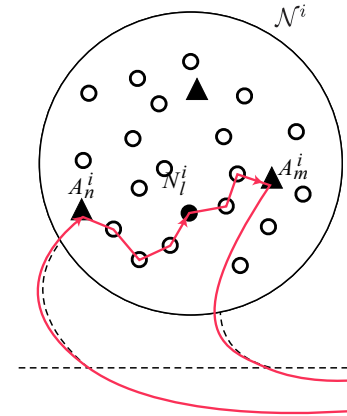


図6 アクセスポイント間片方向配送

## 4. 片方向配送経路探索

無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  に含まれる無線ノード  $N_j^j$  が  $\mathcal{N}^i$  に含まれないノードと3章で提案したデータメッセージの片方向配送を用いて双方向通信する場合、 $\mathcal{N}^i$  に含まれる2つのアクセスポイント  $A_m^i$  と  $A_n^i$  を検出し、 $A_n^i$  から  $N_l^i$  までの無線マルチホップ配送経路と  $N_i^i$  から  $A_m^i$  までの無線マルチホップ配送経路とを検出することが必要である。このとき、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は、よりホップ数の小さい経路が求められる。さらに、この2つの配送経路に含まれる無線ノードによるデータメッセージ転送が互いに競合、衝突しないことが望ましい。ただし、以下の条件を満たす場合には、提案手法ではなく従来手法を適用するべきである。

- $N_i^i$  といずれかのアクセスポイントとの間のホップ数が閾値  $h_t$  よりも小さい場合
- $\{A_n^i \dots N_l^i\}$  と  $\{N_i^i \dots A_m^i\}$  との間に閾値  $ch_t$  以上の中継ノードが共通に含まれる場合

5章の評価実験結果でも示されるように、アクセスポイント間のホップ数に対して無線ノードからアクセスポイントまでのホップ数が閾値よりも小さい場合には、従来手法の方が高いスループットが得られる。また、無線マルチホップアクセスネットワークの周縁部に位

置する無線ノードでは、2つのアクセスポイントとの間の無線マルチホップ配送経路に共通に含まれる中継ノードが多く、従来手法に対する衝突、競合の回避、削減効果が得られにくい一方、全体のホップ数は大きいことから、従来手法の方が高いスループットが得られる。

以上により、提案手法を適用するために、上記の2条件を考慮しながら無線ノードからより近い2つのアクセスポイントを選択する。ただし、基準となる閾値には、実験で得られた値を適用する。

## 5. 評価

本論文で提案した片方向無線マルチホップ配送経路を用いたデータメッセージ配送手法によるスループットの改善効果について、簡単なシミュレーション実験による評価を行なう。

まず、 $n$ ホップの双方向無線マルチホップ配送経路  $BR = \langle\langle N_0 \dots N_n \rangle\rangle$  の端点無線ノード  $N_0$  と  $N_n$  が  $BR$  を用いて互いにデータメッセージを無線マルチホップ配送する場合と  $m$ ホップの片方向無線マルチホップ配送経路  $UR = \langle\langle N_0 \dots N_m \rangle\rangle$  の端点ノード  $N_0$  から  $N_m$  へ  $UR$  を用いてデータメッセージを無線マルチホップ配送する場合のスループットを測定する。ここでは、隣接無線ノード間の距離を 50m、データメッセージが受信可能な無線信号到達距離を 60m とし、無線 LAN プロトコルに IEEE802.11 を用いた場合について GloMoSim<sup>4)</sup> を用いてスループットを測定した。

測定結果を図7に示す。ここでは、 $UR$  を用いた片方向配送のスループット  $T_{UR}$  を実線、 $BR$  を用いた双方向配送のスループット  $T_{BR}$  を破線で表している。同一ホップ数で比較した場合、 $T_{UR}$  は  $T_{BR}$  よりも 22.9–29.0%程度のスループット向上がなされている。これは、3.2節と3.3節で考察したように、データメッセージの配送方向を片方向とすることによって、2ホップ近隣無線ノードによるデータメッセージ転送との競合、衝突の機会が減少したためであると考えられる。

提案手法では図8に示すように、データメッセージを送受信する無線ノード  $N_i^j$  は、自身からのホップ数が小さい2つのアクセスポイント  $A_m^i$  と  $A_n^i$  を経由したデータメッセージ配送を用いる。すなわち、 $N_i^j$  が送信するデータメッセージは  $N_i^j$  から  $A_m^i$  への  $h_m^i$  ホップの無線マルチホップ配送経路  $UR_m = \langle\langle N_i^j \dots A_m^i \rangle\rangle$  を用いて配送され、 $N_i^j$  へ送信されるデータメッセージは  $A_n^i$  から  $N_i^j$  への  $h_n^i$  ホップの無線マルチホップ配送経路  $UR_n = \langle\langle A_n^i \dots N_i^j \rangle\rangle$  を用いて配送される。したがって、提案手法と従来手法におけるデータメッセージ配送スループットを比較するには、 $UR$  を用いた  $h_U^i = h_m^i + h_n^i$  ホップの無線マルチホップ配送における

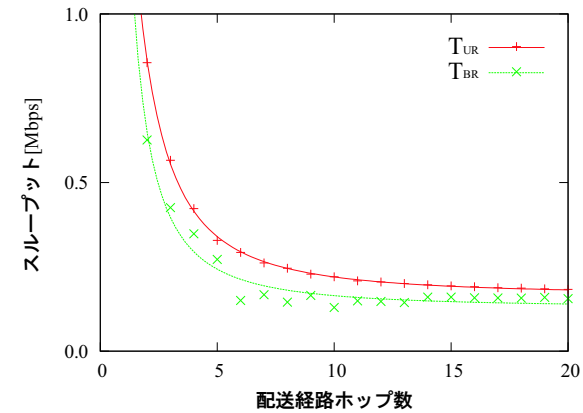


図7 マルチホップ配送のスループット

スループットの2倍のスループット<sup>\*1</sup>  $\bar{T}_{UR} = 2T_{UR}(h_U^i)$  と  $BR$  を用いた  $h_B^i = \min(h_m^i, h_n^i)$  ホップの無線マルチホップ配送におけるスループット  $\bar{T}_{BR} = T_{BR}(h_B^i)$  とを比較しなければならない。ここで、図7から経路のスループットは双方向、片方向ともにホップ数に対して単調減少することから、双方向配送では  $N_i^j$  から最も近い(ホップ数最小の)アクセスポイントを用い、片方向配送では  $N_i^j$  から最も近い(ホップ数最小の)2つのアクセスポイントを用いる。

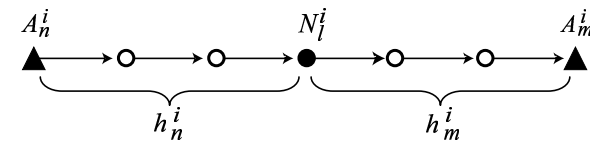


図8 片方向配送経路のホップ数

そこで、 $N_i^j$  からのホップ数が最小であるアクセスポイントを  $A_m^i$ 、2番目に小さいアクセスポイントを  $A_n^i$  とし、それぞれのホップ数  $h_m^i$  と  $h_n^i$  の対とデータメッセージの配送

\*1  $A_n^i$  から  $N_i^j$  を経由して  $A_m^i$  へ至る  $m$  ホップの片方向無線マルチホップ配送経路のスループットが  $T_{UR}$  であるとき、 $A_n^i$  から  $N_i^j$  へのスループットが  $T_{UR}$ 、 $N_i^j$  から  $A_m^i$  へのスループットも  $T_{UR}$  であることから、有線ネットワークと  $N_i^j$  との間のスループット  $\bar{T}_{UR}$  は  $2T_{UR}$  となる。



スループットとの関係をまとめたものを図 9 に示す．図中の曲線は  $\bar{T}_{UR} = \bar{T}_{BR}$  となる  $h_m^i$  と  $h_n^i$  の関係を示す．ただし， $h_m^i < h_n^i$  である．この曲線と直線  $h_m^i = h_n^i$  とに挟まれる領域に含まれる  $h_m^i$  と  $h_n^i$  の対では提案手法の方が高いスループットを得られ，他の領域に含まれる  $h_m^i$  と  $h_n^i$  の対では従来手法の方が高いスループットを得られる．この結果に基づくと，近隣の 2 つのアクセスポイントに対して，提案手法の方が高いスループットを得られる無線ノード分布領域と従来手法の方が高いスループットを得られる無線ノード分布領域とに分けることができる．図 10 は 1 辺 200m の正方形領域の対角をなす 2 つの頂点にアクセスポイントを配置した場合の結果を示している．それぞれのアクセスポイントに近い領域では，従来の双方向配送経路を用いる手法の方が高いスループットを得ることができ，両アクセスポイントから離れている領域では，提案手法である片方向配送経路対を用いる手法の方がデータメッセージスループットが高い．正方形領域の 1 辺の長さを変えて異なるアクセスポイント配置密度に対して  $\bar{T}_{UR}$  と  $\bar{T}_{BR}$  を比較し， $\bar{T}_{UR} > \bar{T}_{BR}$  となる領域の面積比率をまとめたものを図 11 に示す．この結果，アクセスポイントが比較的疎に分布する場合は提案手法によって高いスループットを得られることが分かる．

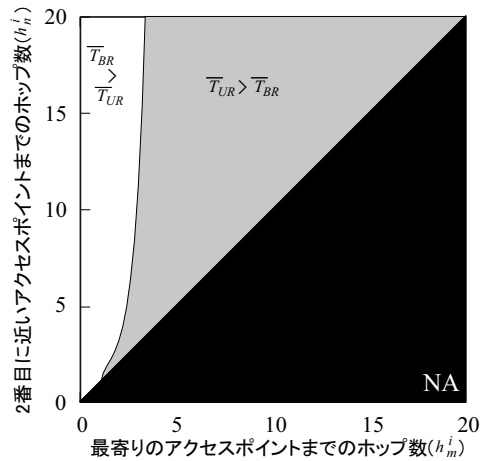


図 9 片方向通信の適用基準

なお，双方向配送経路と片方向配送経路対のいずれを用いるかは，各無線ノードが独立に決定することができる．図 12 では，無線マルチホップアクセスネットワーク  $\mathcal{N}^i$  に含まれる無

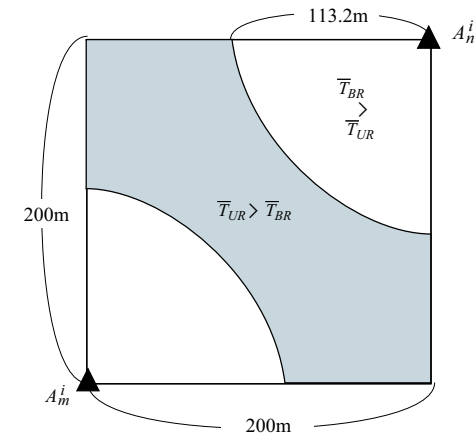


図 10 片方向通信が有効な無線ノード位置

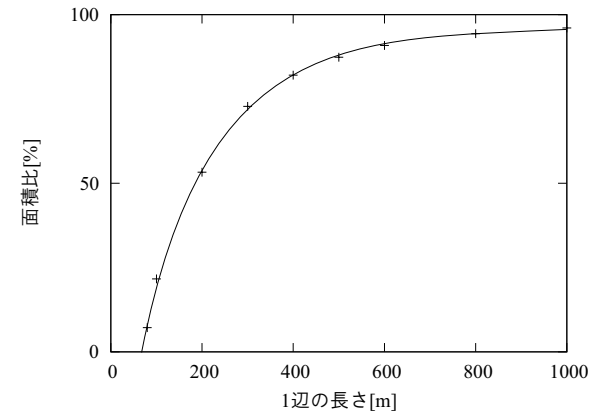


図 11 片方向経路対による配送が高スループットを得られる領域の面積比率

線ノード  $N_i^i$  から最もホップ数  $h_m^i$  が少ないアクセスポイントが  $A_m^i$ ，2 番目にホップ数  $h_n^i$  が少ないアクセスポイントが  $A_n^i$  であり，無線マルチホップネットワーク  $\mathcal{N}^j$  に含まれる無線ノード  $N_i^j$  から最もホップ数  $h_m^j$  が少ないアクセスポイントが  $A_m^j$ ，2 番目にホップ数  $h_n^j$  が少ないアクセスポイントが  $A_n^j$  である．このとき， $\mathcal{N}^i$  においては  $\bar{T}_{UR} = T_{UR}^i(h_m^i + h_n^i)$

と  $\bar{T}_{BR}^i = T_{BR}^i(h_m^i)$  とを比較することで双方向配送経路と片方向配送経路との間の選択を行なう．一方， $\mathcal{N}^j$  においても  $\bar{T}_{UR}^j = T_{UR}^j(h_m^j + h_n^j)$  と  $\bar{T}_{BR}^j = T_{BR}^j(h_m^j)$  とを比較することで双方向配送経路と片方向配送経路との間の選択を行なう．したがって， $h_m^i, h_n^i, h_m^j, h_n^j$  の値の組み合わせによって， $\mathcal{N}^i, \mathcal{N}^j$  の両方で双方向配送経路あるいは片方向配送経路対を用いる場合も，いずれかで双方向配送経路，他方で片方向配送経路対を用いる場合もある．いずれにおいても，無線ノード  $N_i^i$  と  $N_j^j$  との間のスループットの和は次式で与えられる．

$$\begin{aligned} & \min(\max(\bar{T}_{UR}^i, \bar{T}_{BR}^i), \max(\bar{T}_{UR}^j, \bar{T}_{BR}^j)) \\ & = \min(\max(2T_{UR}^i(h_m^i + h_n^i), T_{BR}^i(h_m^i)), \max(2T_{UR}^j(h_m^j + h_n^j), T_{BR}^j(h_m^j))) \end{aligned}$$

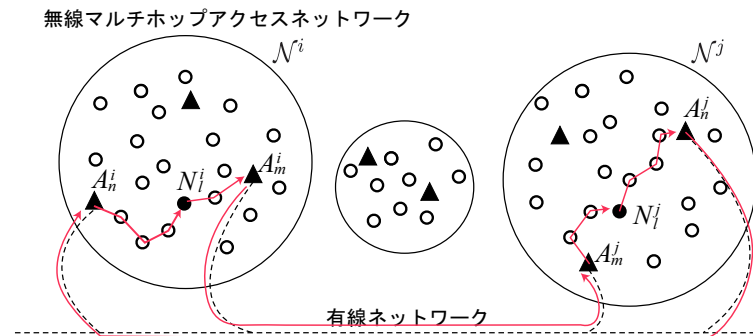


図 12 片方向配送経路対によるマルチホップアクセスネットワーク間通信

## 6. まとめと今後の課題

本論文では，多数の無線ノードと複数のアクセスポイントを含む無線マルチホップアクセスネットワークを対象として，無線ノードが無線マルチホップアクセスネットワークに含まれないノードと通信する場合に，2つのアクセスポイントを送信元と送信先とし，自身を中継ノードに含む片方向配送経路を用いることで，経路に含まれる中継ノード間で発生する衝突と競合の発生機会を削減し，従来の1つのアクセスポイントとの間の双方向配送経路を用いる手法よりも高いスループットを得られることを明らかにした．片方向配送経路対を用

いる提案手法は，無線ノードがアクセスポイントの近隣に位置する場合を除いて，より高いデータメッセージスループットを提供する．双方向配送経路を用いる従来手法との使い分けは，無線ノードの位置と各アクセスポイントの位置によって決定可能であり，各無線ノードごとに通信相手のノード位置とは独立に定めることができる．

## 参考文献

- 1) Hassanein, H. and Zhou, A.: "Routing with Load Balancing in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of the 4th International Symposium on Modeling Analysis and Simulation of Wireless Mobile and Systems, pp.89-96(2001).
- 2) 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).
- 3) Toh, C.K., Vassiliou, V., Cuichal, G. and Shih, C.H.: "MARCH: A Medium Access Control Protocol for Multiple Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of the IEEE Military Communications Conference, pp.512-516 (2000).
- 4) Zeng, X., Bagrodia, R. and Gerla, M.: "GloMoSim: a Library for Parallel Simulation of Large-scale Wireless Networks," Proceedings of the International Workshop on Parallel and Distributed Simulation, pp.154-161 (1998).
- 5) "Local and Metropolitan Area Network Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- 6) "Local and metropolitan area networks Specific requirements Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs(tm)), Standard IEEE 802.15.1 (2002).
- 7) 梅島, 松垣: "電力制御を利用したアドホックネットワークルーティング," 情処研報, Vol.2002, No.12, pp.7-12 (2002).