

片方向通信路対による無線マルチホップ アクセス通信における経路構成手法

榑谷 智史^{†1} 榑垣 博章^{†1}

広域分布する無線ノードとアクセスポイントから構成される無線マルチホップアクセスネットワークにおいて、無線ノード間の通信を無線ノードと近隣アクセスポイントとの間の無線通信路とアクセスポイント間の有線通信路の組合せで実現する場合を考える。このとき、無線通信路におけるデータメッセージのスループットを改善するために、無線ノードと有線ネットワークとの間の通信を無線ノードと異なる2つのアクセスポイントとの間の2つの片方向通信路対によって実現する手法を提案する。また、これを実現するために、各無線ノードがいずれのアクセスポイントに近隣に位置するかを検出するとともに、各無線ノードから複数の近隣アクセスポイントへの無線マルチホップ配送経路を同時に構成する手法を提案する。これは、すべてのアクセスポイントが同時に制御メッセージをブロードキャスト送信することによって開始され、各無線ノードが異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージを複数回ブロードキャスト送信することが許されたフラディングの拡張によって実現される。

Routing Protocol for Wireless Multihop Access Communication with Pair of Uni-Directional Transmission Routes between Wireless Node and Access Point

SATOSHI KUSHIYA^{†1} and HIROAKI HIGAKI^{†1}

In wireless multihop access networks composed of widely distributed wireless nodes and wireless access points, data message transmissions are realized by combination of wireless multihop transmissions between wireless nodes and access points and wired transmissions between access points. For improvement of data message throughput in wireless multihop transmissions, this paper proposes that data messages are transmitted along two different uni-directional wireless multihop transmission routes from a wireless node to an access point and from another access point to the wireless node. In addition, this paper proposes routing protocols to detect a wireless multihop transmission route from an access point to a wireless node to transmit a communication request control

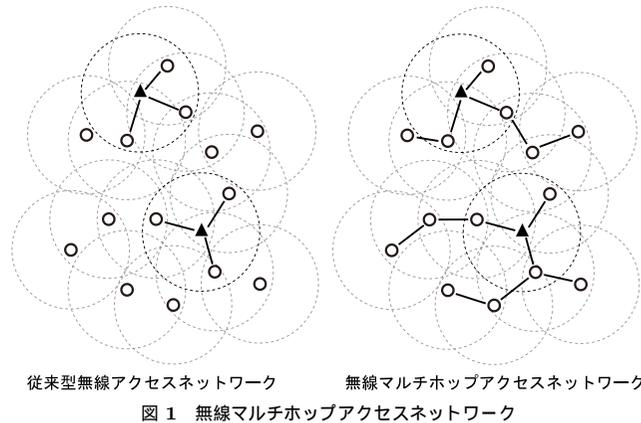
message and to detect multiple wireless multihop transmission routes between each wireless node and multiple access points for data message transmissions. The proposed protocol is an extended flooding protocol of a control message in which all access points broadcast the control message simultaneously and each wireless node broadcasts the control message in multiple times where received control messages have been broadcasted by different access points.

1. はじめに

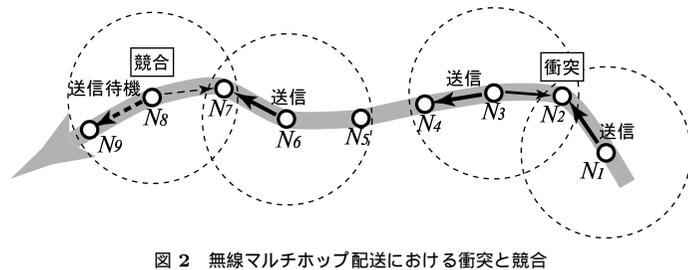
IEEE802.11⁵⁾ や Bluetooth⁶⁾ などの無線 LAN 通信プロトコルが適用可能な無線ノードが広く普及し、アクセスポイントを経由して他の無線ノードと通信を行なうアプリケーションが増加している。このようなアプリケーションでは各無線ノードが直接アクセスポイントとデータメッセージを交換することで通信を実現している。そのため、アクセスポイントと直接通信を行なうことができない領域に位置する無線ノードは、通信を行なうことができない。また、直接通信可能な領域の拡大にはアクセスポイントの増設が必要であり、設置コストと維持管理コストが増大する。そこで、各無線ノードがアクセスポイントを経由して通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マルチホップアクセスネットワークを考える(図1)。

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

^{†1} 東京電機大学大学院未来科学研究科ロボット・メカトロニクス専攻
Department of Robotics and Mechatronics, Tokyo Denki University

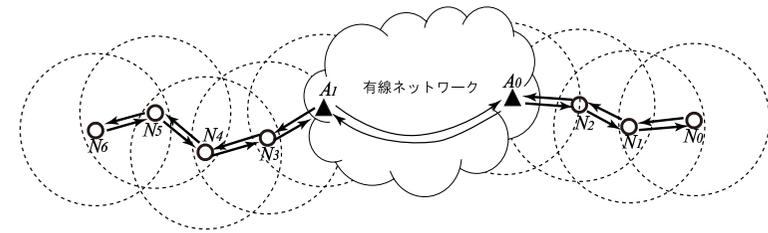


には、衝突と競合の回避が重要課題となる(図 2)。



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 3 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、テレビ電話等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、比較的狭帯域幅を用いた無線通信が行なわれる



アクセスポイントと無線ノードとの間の無線通信路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、無線通信路における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 IEEE802.11⁵⁾ や Bluetooth⁶⁾ 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 MARCH³⁾ 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、隠れ端末となる次々ホップ無線ノードとの間の衝突を回避するための RTS/CTS 制御に要する通信オーバーヘッドを削減し、無線マルチホップ配送のスループットを改善している。

LBAR¹⁾ 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⁷⁾ 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。

RH2SWL²⁾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. 片方向通信路対による無線マルチホップ通信

3.1 想定システム

図4のように、無線マルチホップアクセスネットワーク \mathcal{N} は、複数の無線ノード N_m と有線ネットワークへの複数のアクセスポイント A_m から構成される。 \mathcal{N} 内に含まれる N_j と A_m との間では、 \mathcal{N} 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、 \mathcal{N} の任意の無線アクセスポイント A_m と A_n 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。

各無線ノード N_m は、同一の無線マルチホップネットワーク \mathcal{N} に含まれる他の無線ノード N_n とは \mathcal{N} 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ことも可能である。しかし、このマルチホップ配送経路が長い場合には、 N_m と N_n との間の通信を、 N_m と A_m との間の \mathcal{N} 内での無線マルチホップ通信、 A_m と A_n との間の有線ネットワークによる通信、 A_n と N_n との間の \mathcal{N} 内の無線マルチホップ通信を組み合わせて実現することで、配送遅延の短縮、データメッセージスループットの向上、信頼性の改善(データメッセージ紛失率の低下)を期待することができる。

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

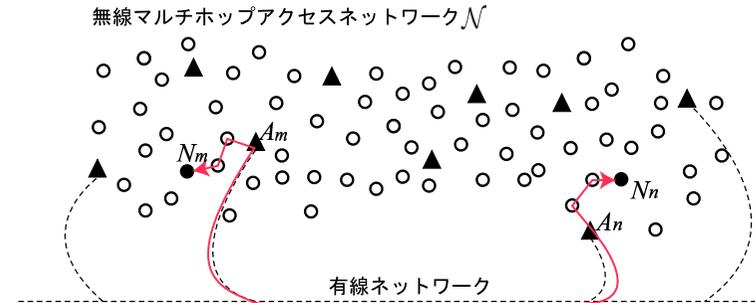


図4 無線マルチホップアクセスネットワークによる無線ノード間通信

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 $N(=N_0)$ と無線アクセスポイント $A(=N_n)$ との間の双方向通信路 $R = \{N_0 \dots N_n\}$ を用いた無線マルチホップ通信を考える。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 $|N_iN_{i+1}|$ 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5に示すように $|N_iN_{i+1}|$ を用いたデータメッセージ転送は、無線通信リンク $|N_{i-1}N_i|$, $|N_{i-1}N_{i-2}|$, $|N_{i+1}N_{i+2}|$, $|N_{i+1}N_i|$, $|N_iN_{i-1}|$ 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。

ここで、無線マルチホップアクセスネットワーク \mathcal{N} の無線ノード N_m と N_n との間の通信を有線ネットワークを経由して実現する場合を考える。このとき、 N_m とアクセスポイ

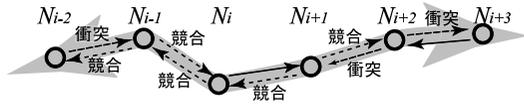


図 5 双方向配送における競合と衝突

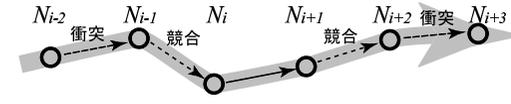


図 6 片方向配送における競合と衝突

ント A_m との間および N_n とアクセスポイント A_n との間の 2 つの無線通信路において双方向通信路 $R_m = \langle\langle N_m \dots A_m \rangle\rangle$ および $R_n = \langle\langle N_n \dots A_n \rangle\rangle$ 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_m および R_n 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 片方向通信路対による無線マルチホップアクセス通信

前節で述べた問題を解決するために、無線ノード $N(=N_0)$ からアクセスポイント $A(=N_n)$ への片方向通信路 $R = \langle\langle N_0 \dots N_n \rangle\rangle$ を用いた無線マルチホップ配送を考える^{*1}。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、図 6 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 $|N_{i-1} N_i|, |N_{i+1} N_{i+2}|$ 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。

そこで、無線マルチホップアクセスネットワーク \mathcal{N} における無線ノード N_m, N_n と有線ネットワークとの間の 2 つの無線通信路をそれぞれ 2 つの片方向通信路対 $R'_m = \langle\langle A'_m \dots N_m \rangle\rangle, R_m = \langle\langle N_m \dots A_m \rangle\rangle$ および $R'_n = \langle\langle A'_n \dots N_n \rangle\rangle, R_n = \langle\langle N_n \dots A_n \rangle\rangle$ によって実現する(図 7)。これによって、無線通信路におけるデータメッセージ群配送による衝突、競合が削減される。ただし、アクセスポイントの配置によって無線通信路のホップ数が提案手法の適用によって一般的には増加することから、データメッセージスループットへの影響を評価した上で適用する必要がある。

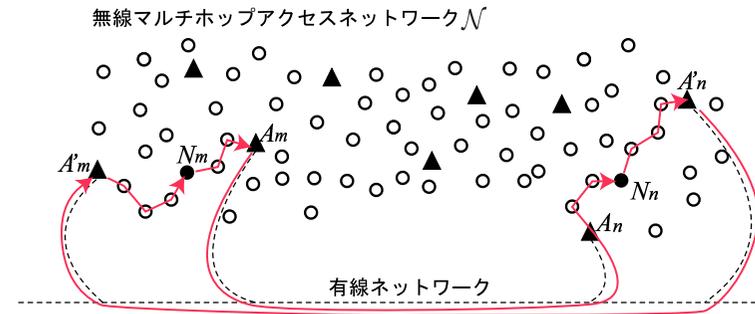


図 7 アクセスポイント間片方向配送

3.4 片方向通信路対構成手法

無線ノード N_m と無線ノード N_n との間の通信を有線ネットワークを経由することで実現し、また、各無線ノードと有線ネットワークとの間の無線通信を片方向通信路対 $R_m := \langle\langle N_m \dots A_m \rangle\rangle, R'_m := \langle\langle A'_m \dots N_m \rangle\rangle$ および $R_n := \langle\langle N_n \dots A_n \rangle\rangle, R'_n := \langle\langle A'_n \dots N_n \rangle\rangle$ によって実現する手法において、これらの片方向通信路対を構成する手法を考案する。

一般に、 N_m と N_n との間の通信は、これが本論文で対象とする対等なノード間の P2P 型通信である場合においても、いずれかの無線ノードにおいて通信要求が発生し、その要求を他の無線ノードに通知することによってデータメッセージの配送が開始される。ここで

*1 $A(=N_0)$ から $N(=N_n)$ への片方向通信路 $R = \langle\langle N_0 \dots N_n \rangle\rangle$ としても同様の考察となる。

は、 N_m において通信要求が発生したものとすると、 N_m と N_n との間のデータメッセージ配送を開始するために、通信要求を N_m から N_n へと通知することが必要である。本論文で対象としている無線マルチホップアクセスネットワーク \mathcal{N} は、多数のアクセスポイントを含んでおり、各無線ノードとアクセスポイントとの間の通信にはデータメッセージの無線マルチホップ配送が用いられる場合を想定していることから、多数の無線ノードが広域に分布する無線ネットワークである。したがって、 N_m から N_n への通信要求の通知に \mathcal{N} の全域に渡るフラディングを用いることは通信オーバーヘッドが大きく、一般的に困難である。そこで、通信要求の通知にも有線ネットワークを活用し、各無線ノードと近隣アクセスポイントとの間の通信のみに無線マルチホップ通信を用いることが望ましい。このとき、 N_m から近隣アクセスポイントへの通信要求制御メッセージの配送には、ホップ数を限定したフラディングを用いることで、通信オーバーヘッドの削減が可能である*¹が、 N_n の近隣アクセスポイントから N_n への通信要求制御メッセージの配送を行なうためには、 N_n がいずれのアクセスポイントの近隣に存在するかの情報が不可欠である。

そこで本論文では、通信要求制御メッセージを N_m から N_n へと配送し、 N_m および N_n から近隣アクセスポイントへの片方向通信路対を構成するために、各アクセスポイントがその近隣に位置する無線ノード群を定期的に調査し、また、各無線ノードが近隣に位置するアクセスポイントを定期的に調査する手法を提案する。

まず、各無線ノード N が単一の近隣アクセスポイント A を検出することで、同時に N が近隣無線ノードであることを A が検出する手法について述べる。一般に、ある無線ノードを起点とした制御メッセージのフラディングによって、この無線ノードを根無線ノードとした木構造を定めることができる。ここでは、各無線ノードが最初に受信した制御メッセージの送信無線ノードをその親無線ノードと定める。また、ブロードキャスト送信する制御メッセージに親無線ノードの ID を含めることによって、各無線ノードは隣接無線ノードが子無線ノードであるか否かを検出することができる。したがって、隣接無線ノードから自身の ID を含む制御メッセージを受信することができない場合には、この無線ノードは葉無線ノードであることが分かる。そこで、この手法による制御メッセージのフラディングを、すべてのアクセスポイントが同時に制御メッセージをブロードキャストすることによって開始することによって、いずれかのアクセスポイントと無線マルチホップ通信可能なすべての無線ノードは、いずれかひとつのアクセスポイントを根無線ノードとした木構造に含

*1 ただし、ホップ数の上限を定めるためには、アクセスポイントの配置密度などの \mathcal{N} に関する情報を必要とする。

まれることとなる(図8)。さらに、葉無線ノードから木構造に沿って応答制御メッセージを無線マルチホップ配送によって根無線ノード(アクセスポイント)へ配送し、各無線ノードがこの応答制御メッセージに自身のIDをピギーバックすることによって、各アクセスポイントは自身の近隣無線ノードを検出することができる(図9)。各アクセスポイントが検出した近隣無線ノード集合を有線ネットワークを経由した制御メッセージの交換によってすべてのアクセスポイントで共有することによって、無線ノード N の近隣アクセスポイント A を得ることができる。また、各無線通信リンクが双方向であることから、応答制御メッセージの配送によって近隣アクセスポイントから各無線ノードへの無線マルチホップ配送経路も検出されるため、通信要求制御メッセージを A_n から N_n へと配送することが可能となる。なお、この近隣アクセスポイントおよび近隣無線ノード検出手法は、無線ノードの移動や無線ノードとアクセスポイントの故障に対応するために、定期的に繰返される必要がある。繰返し頻度(間隔)は、無線ノードの移動特性に依存する。

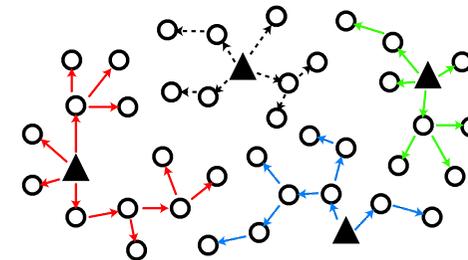


図8 アクセスポイントからの同時フラディングによる近隣アクセスポイント検出

N_m および N_m からの通信要求制御メッセージを受信した N_n は、近隣の2つのアクセスポイント A_m, A'_m および A_n, A'_n を検出(選択)し、それらとの間の片方向無線マルチホップ配送経路を構成する。ここで、本節で述べたすべてのアクセスポイントにおける同時ブロードキャストによって開始される制御メッセージのフラディングを拡張することによって、各無線ノードが複数の近隣アクセスポイントとそれらとの間の無線マルチホップ配送経路を検出する手法について述べる。

一般的に制御メッセージのフラディングでは、各無線ノードは最初に制御メッセージを受信した場合においてのみこのメッセージのブロードキャスト送信を行ない、2回目以降の受信においてはブロードキャスト送信しない。ここで述べる提案手法についても、同じアク

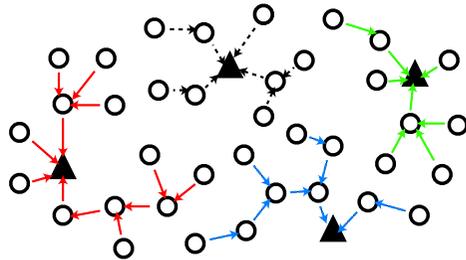


図 9 各アクセスポイントにおける近隣無線ノード検出

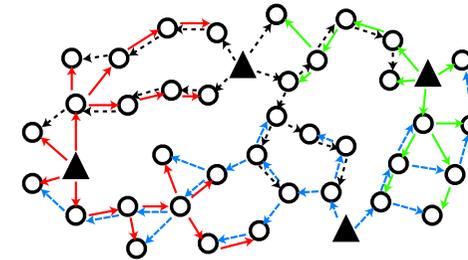


図 10 複数の近隣アクセスポイントと片方向通信路の検出

セスポイントがブロードキャスト送信した制御メッセージを異なる隣接無線ノードから複数回受信しても、各無線ノードはこれらを繰返しブロードキャスト送信しない。ただし、異なるアクセスポイントがブロードキャスト送信した制御メッセージを隣接無線ノードから受信した場合にはこれをブロードキャスト送信することとする。これによって、各無線ノードは異なるアクセスポイントを根無線ノードとする複数の木構造に含まれることとなる(図 10)。各無線ノードが含まれる木構造の数は、異なるアクセスポイントがブロードキャスト送信した制御メッセージであれば繰返しブロードキャスト送信することが許される回数と等しい。また、この木構造の数は、各無線ノードが検出する近隣アクセスポイントの数に等しく、この数だけ異なるアクセスポイントへの無線マルチホップ配送経路を検出することとなる。本論文で提案する片方向通信路対によって各無線ノードが有線ネットワークと接続する手法では、各無線ノードが 2 回制御メッセージをブロードキャスト送信することによって、追加の制御メッセージ交換を要することなく 2 つの異なるアクセスポイントとの間の無線マルチホップ配送経路を得ることができる。また、3 回以上制御メッセージをブロードキャスト送信することで、各無線ノードが 3 つ以上の異なるアクセスポイントとの間の無線マルチホップ配送経路を得ることができ、これらから適切な片方向通信路対を選択することができる。ただし、各無線ノードに n 回のブロードキャスト送信を許す場合、無線マルチホップアクセスネットワーク全体で交換される制御メッセージ数も 1 回の場合の n 倍となることから、その効果が通信オーバーヘッドの拡大に対して有効であるかを評価する必要がある。

無線ノード N_m が A_m および A'_m を検出(選択)し、これらとの間の無線マルチホップ片方向通信路対を用いてデータメッセージの交換を行なうことで無線ノード N_n との通信を実現する場合、各片方向通信路をどの方向に用いてデータメッセージの配送を実現するか、すなわち、 $\|N_m \dots A_m\|$ と $\|A'_m \dots N_m\|$ とを用いるのか、 $\|N_m \dots A'_m\|$ と $\|A_m \dots N_m\|$

とを用いるのかを選択しなければならない。論文⁸⁾では、複数の片方向通信路が同一のアクセスポイントを終点とする場合にデータメッセージのスループット低下が著しいという実験結果を得ている。そこで、 A_m と A'_m のうち自身を終点とする片方向通信路の少ない方を終点とするようにデータメッセージ配送方向を決めることとする。なお、この決定は N_m と N_n とが地理的に離れており、それぞれの無線マルチホップ配送経路が互いに干渉しない場合には、 N_m と N_n とが独立に行なうことができる。

4. 評価

3.4 節で提案した各アクセスポイントの近隣無線ノード検出および各無線ノードから複数のアクセスポイントへの無線マルチホップ配送経路構成手法は、すべてのアクセスポイントからの制御メッセージの同時ブロードキャスト送信と各無線ノードにおける異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージの複数回のブロードキャスト送信によって実現されている。この提案手法は、各無線ノードからブロードキャスト送信された無線信号の衝突が発生しなければ無線マルチホップ接続されたすべての無線ノードにおいて、定められた数の異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージを受信することが可能である。すなわち、各無線ノードで n 回のブロードキャスト送信が可能であるならば、各無線ノードと n 台の異なるアクセスポイントとの間の無線マルチホップ配送経路が構成される。

しかし、隣接無線ノードが(ほぼ)同時にブロードキャスト送信する無線信号が互いに衝突することによって、制御メッセージの到達率は低下し、構成される無線マルチホップ配送経路は減少する。そこで、各無線ノードがブロードキャスト送信可能な回数を 1,2,3 回とすることによって、無線ノードにおけるこの制御メッセージの受信回数がかかるように分布す

るか、すなわち、構成される無線マルチホップ配送経路数がどのように変化するかをシミュレーション実験によって評価する。

ここでは、2000m × 2000mのシミュレーション実験領域に無線信号到達距離が 100m である無線ノード 1000 台とアクセスポイント 9 台とを一様分布乱数によってランダムに配置する。提案プロトコルに従って制御メッセージをフラッディング配送した場合、各無線ノードが受信した異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージ数を測定する。測定結果を図 11-図 13 に示す。

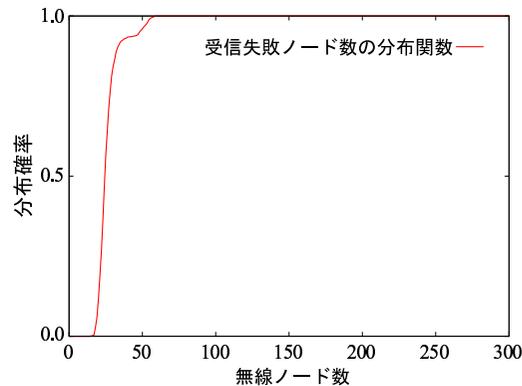


図 11 制御メッセージ受信回数の分布 (ブロードキャスト送信 1 回)

図 11 は、各無線ノードが 1 回だけブロードキャスト送信する場合 (通常のフラッディングの場合)、制御メッセージの受信に失敗した無線ノード数が x 台以下である確率を表したものである。この分布においては、約 17 台の無線ノードがいずれのアクセスポイントとも無線マルチホップ通信ができず、また、制御メッセージが到達しない無線ノードは約 63 台以下であることが示されている。

図 12 は、各無線ノードのブロードキャスト回数を 2 回までとした場合、1 回も制御メッセージを受信できない無線ノードが x 台以下である確率、および制御メッセージの受信回数が 1 回以下 (2 回は受信できていない) である無線ノードが x 台以下である確率を表したものである。各無線ノードのブロードキャスト送信回数が増加したことから、制御メッセージは無線マルチホップ通信ができない約 17 台のノードを除いてほぼすべての無線ノードに到達していることが分かる。ただし、2 つの異なるアクセスポイントからブロードキャスト

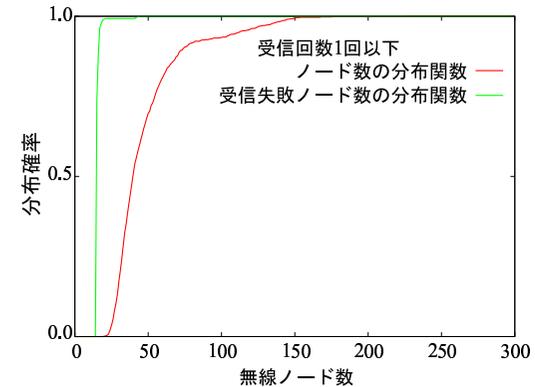


図 12 制御メッセージ受信回数の分布 (ブロードキャスト送信 2 回)

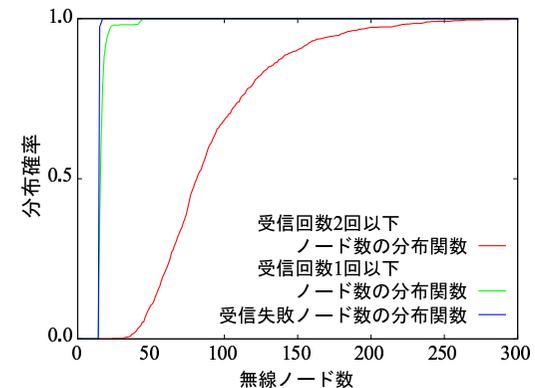


図 13 制御メッセージ受信回数の分布 (ブロードキャスト送信 3 回)

送信された制御メッセージの受信に失敗している無線ノードは 160 台以下の範囲で分布している。これらの無線ノードでは、提案手法の片方向通信路対によるデータメッセージ配送を行なうことができない。

図 13 は、各無線ノードのブロードキャスト回数を 3 回までとした場合、1 回も制御メッセージを受信できない無線ノードが x 台以下である確率、制御メッセージの受信回数が 1 回以下である無線ノードが x 台以下である確率、制御メッセージの受信回数が 2 回以下である無線ノードが x 台以下である確率を表したものである。図 12 と比較すると、ほぼすべ

ての無線ノードで2つの異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージの受信に成功していることが分かる。すなわち、ほぼすべての無線ノードで提案手法の片方向通信路対によるデータメッセージ配送を行なうことができる。ただし、3つ異なるアクセスポイントからブロードキャスト送信された制御メッセージの受信には失敗している無線ノードは存在する。これらの無線ノードでは、3つの片方向通信路を検出し、これらから適切な片方向通信路対を選択する手法を適用することはできない。

なお、3.4節で述べたように、これらの手法では必要とする通信オーバーヘッドが異なることから、要する通信オーバーヘッドと手法の適用による効果(片方向通信路対を用いることによるデータメッセージスループットの改善や検出した3経路から2経路を選択することによる経路長の短縮とデータメッセージスループットの改善など)との関係を明らかにする必要がある。

5. まとめと今後の課題

本論文では、無線マルチホップアクセスネットワークにおいて、無線通信路におけるデータメッセージのスループットを改善するために、無線ノードと有線ネットワークとの間の通信を無線ノードと異なる2つのアクセスポイントとの間の2つの片方向通信路対によって実現する手法を提案した。また、これを実現するために、各無線ノードがいずれのアクセスポイント近隣に位置するかを検出するとともに、各無線ノードから複数の近隣アクセスポイントへの無線マルチホップ配送経路を同時に構成する手法を提案した。さらに、提案した経路構築手法において各無線ノードによる制御メッセージのブロードキャスト送信回数を3回とすることで、ほぼすべての無線ノードが2つの異なるアクセスポイントとの間の経路を構築することができることを明らかにした。今後は、要する通信オーバーヘッドとデータメッセージスループットの改善効果の関係を明らかにする。

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 Ac-

cess 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, 桧垣: "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).
- 8) 櫛谷, 桧垣, "無線ノードと基地局間に片方向通信路対を用いる無線マルチホップ通信," 情処研報, Vol.2009-MBL-49, No.19, pp.1-8 (2009).