

# アドホックルーティングプロトコル A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>における 中継ノード選定手法の検討評価

栗田 崇徳 井手口 哲夫 田 学軍 奥田 隆史

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

近年、公衆無線 LAN を利用したインターネット接続が普及してきている。しかし、その利用エリアは限られたものとなっており、携帯電話のようにどこでも利用できるものではない。この利用エリアを拡大する方法として、アドホックネットワークによる中継機能を利用して、利用エリア外のノードが利用エリア内のノードに中継してもらうことが挙げられる。そこで我々は、アクセスポイントに接続するためのアドホックネットワーク専用のルーティングプロトコル A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> (Ad hoc based Access Point Protocol) を提案している。本稿では A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> において中継ノードを hop 数や配下ノード数から総合評価して選定する手法を提案し、計算機シミュレーションにより評価を行う。

## The selecting method of relay node with ad hoc routing protocol A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> and its evaluation

Takanori Kurita Tetsuo Ideguchi Xuejun Tian Takashi Okuda

Graduate School of Information science and Technology, Aichi Prefectural University

Recently, internet access using the public wireless LAN is widespread. However its service area is limited and isn't able to use anywhere like the cellular phone. As a potential method, Ad hoc networks can be used for expanding this area. Basing our research work of A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> (Ad hoc based Access Point Protocol), in this paper, we propose the selecting method of relay node with A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>. And we evaluate the performance of A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> using a computer simulation.

### 1. はじめに

近年、オフィス・家庭、外出先などでシームレスなブロードバンド環境を実現する一つの形として、家庭やオフィスで利用している無線 LAN 端末を適用した公衆無線 LAN サービスが展開されている[1]。しかし、公衆無線 LAN は携帯電話によるネットワーク接続に比べ、安価で高速な通信を利用できるが普及度が低い。その理由として、公衆無線 LAN の利用エリアが局所的であることが挙げられる。

無線 LAN は、ユーザの無線端末と無線 LAN アクセスポイント (以下、AP とする) が接続することにより利用可能になる。つまり、無線 LAN の利用可能エリアは両者の無線通信範囲に制限を受ける。この範囲は両者の距離と、遮蔽物などの周辺環境による。一般に無線 LAN の通信可能距離は数十メートルから数百メートルとされている。この利用エリアを拡大するために、図 1 に示すようなユーザ端末と AP との通信にアドホックネットワークを用いる方式がある。アドホック

クネットワークは無線マルチホップ通信であり、無線端末同士の通信を第三者の無線端末がデータ中継をすることにより、直接電波が届かない二者間の通信を可能にする。つまり、公衆無線 LAN にアドホックネットワークを組み合わせることで、利用エリアを擬似的に拡大することができる。

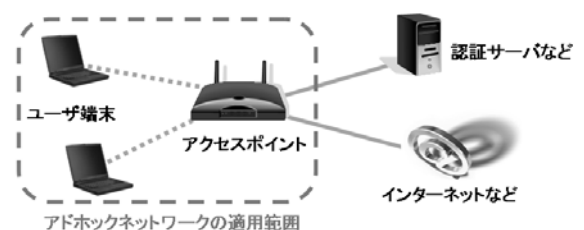


図 1 アドホックネットワークの適用範囲

現在、アドホックネットワークでは多数のルーティングプロトコル（経路制御方式）が提案されている。しかし、アドホックネットワークは利用環境により最適なルーティングが異なり、AP との接続という特殊なアドホックネットワークの利用には、専用のルーティングプロトコルが必要と考えられる。そこで、我々は A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> (Ad hoc based Access Point Protocol) [2]を提案している。本研究ではルーティングの最適化の一検討として、中継ノードを hop 数や配下ノード数から評価・選定する方式を提案評価する。

以下、2章で関連研究、3章で A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> についてそれぞれ述べる。続いて4章で提案方式、5章でシミュレーション評価を行い、6章でまとめとする。

## 2. 関連研究

ここで関連研究として、本研究と同様に無線 LAN の利用エリア拡大のための方式、ワイヤレスメッシュネットワーク [3] (図 2) について述べる。ワイヤレスメッシュネットワークは IEEE802.11s において標準化が進められている。これはインフラである AP 同士でアドホックネットワークを展開することにより、それぞれの AP までの配線コストを省くことができる。つまり、従来の AP よりも容易に多数の AP を設置することができる結果として無線 LAN 利用エリアを拡大することができる方式である。構成要素として、外部ネットワークとのゲートウェイの役割である MP collocated with a mesh Portal (MPP)、中継ノードとしての Mesh Point (MP)、AP である Mesh Access Point (MAP) がある。我々の研究とは異なるアプローチであり、双方の方式を組み合わせることも可能であると考えられる。

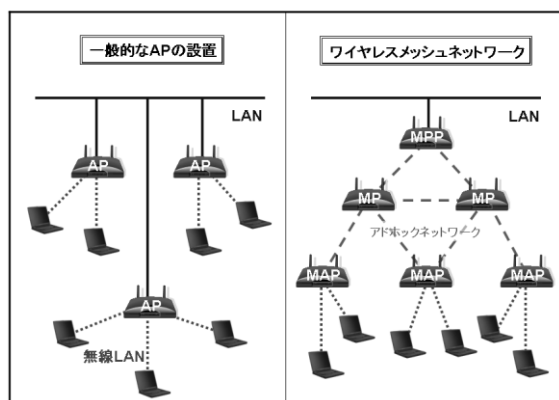


図 2 ワイヤレスメッシュネットワーク

## 3. A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> (Ad hoc based Access Point Protocol)

本章では AP に接続するためのアドホックネットワークにおける、専用のルーティングプロトコル A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> について述べる。このアドホックネットワークの特徴は、宛先が AP に集中するという点である。無線 LAN

を利用するには AP との通信が必要となるが、この目的に絞るならば他のノードへの経路は必要ない。このような環境であるため宛先を AP 単一に絞り、ネットワークトラフィックの発生を低減することと、従来の直接 AP と通信を行う無線 LAN のように簡単に、かつ素早くネットワーク環境を提供することをコンセプトとする。

### 3.1. A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> の特徴

A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> の大きな特徴として、木構造のネットワークトポロジを形成することと、擬似的な AP を定義することが挙げられる。

まず、木構造のトポロジについて述べる。従来の有線ネットワークでは、木構造のネットワークトポロジは一般であった。一方、アドホックネットワークにおいては、木構造のように親と子や上流と下流といった階層の発想は無く、全てのノードがホスト端末でありルータでもある対等の関係にあるのが一般である。

しかし、本環境では AP という他のノードとは異なった特別なノードがあり、全てのノードは AP との通信を目的とするため木構造を用いることができる (図 3)。AP を木構造の根の部分に位置づけ、全ての端末は親に親にと上流にパケットを中継することで、最終的には根である AP に到達することになる。また、下りのパケットはその逆の経路を辿る。このような仕組みにより、各ノードは親、または子にあたるノードと 1 ホップの通信を考えるだけで AP を利用でき、マルチホップを意識して経路を探索する必要が無い。そして、フラディングのようにネットワーク全体に情報を送信することが無いため、ネットワークトラフィックも低減できる。

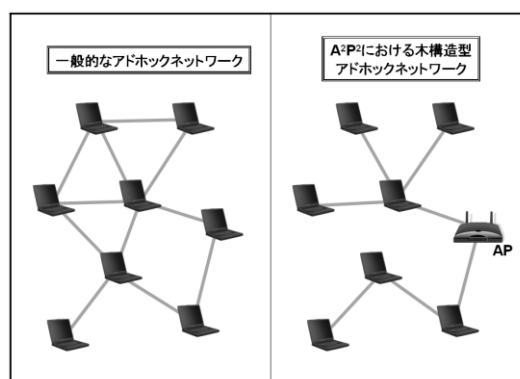


図 3 ネットワークトポロジの違い

次に擬似的な AP について述べる。A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> では V-AP という中継の役割を担うノードを定義する。従来の無線 LAN では利用できる AP を発見するとサービスを利用できるが、A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> では V-AP を発見することがサービスの利用可能を意味する。そのため、中継ノードを V-AP (Virtual Access Point : 擬似的な AP) と呼ぶ。この仕組みは後述する木構造のトポロジを形成する手

順が関係する。V-AP を定義することで各ノードは従来の無線 LAN において AP を探すように V-AP を探すことで、サービス利用エリアであるかどうかを確認することができる。

### 3.2. A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> で利用するメッセージ

A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> の動作について述べる前に、そのために利用するメッセージについて紹介する。

#### (1) AP message

AP または V-AP が定期的にブロードキャストするメッセージである。他のアドホックルーティングプロトコルの Hello message に相当する。周辺に自己の情報を送信し、AP によるサービスが利用可能であることを通知する。

#### (2) RE message

AP message の応答として子のノードがユニキャストで送信するメッセージである。AP または V-AP は RE message を受信することにより、子のノードとしての情報を登録することができる。

#### (3) V-AP message

AP または V-AP が子のノードに対して V-AP の動作をするように命じるメッセージである。ユニキャストで送信される。このメッセージを受信したノードは V-AP として動作する。

#### (4) LOST message

V-AP が AP までの経路を消失したことを、子のノードをはじめ周辺ノードに通知するメッセージである。ブロードキャストで送信される。

### 3.3. A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> の動作

#### (1) 木構造の形成

先述したように A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> では V-AP を定義し、サービスを利用するには V-AP を探索する。つまり、A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> はオンデマンドに動作するのではなく常に動作をして、必要に応じて常時 V-AP の機能を持たせて置く Proactive 型のルーティングを行う。図 4 に木構造のトポロジが形成される手順を示す。

AP は定期的に AP message をブロードキャストして周辺に自己の存在を通知し、それを受信したノードは AP に接続可能となる (手順 1)。AP message を受信し、その AP を利用する場合には RE message で応答する (手順 2)。複数のノード (AP または V-AP) から AP message を受信している場合には、実際に親として利用するノードにのみ RE message を送信する。この時点で AP と隣接ノード (ノード A) の間に親と子の関係が成立する。次に AP は子ノードに対して V-AP の動作をするように V-AP message で命じ、受信したノードは以降 V-AP として動作する (手順 3)。この V-AP message は全ての子ノードに対して送られるわけではなく、一定の条件を満たしたノードにだけ送られる (V-AP 下位選定、後述)。V-AP となったノードは AP と同様に定期的に AP message を送信して AP の利用エリアを拡大したり (手順 4)、V-AP message でさらに下流のノードを V-AP に命じたりすることができる。このようにして多段に V-AP を増やしていき、

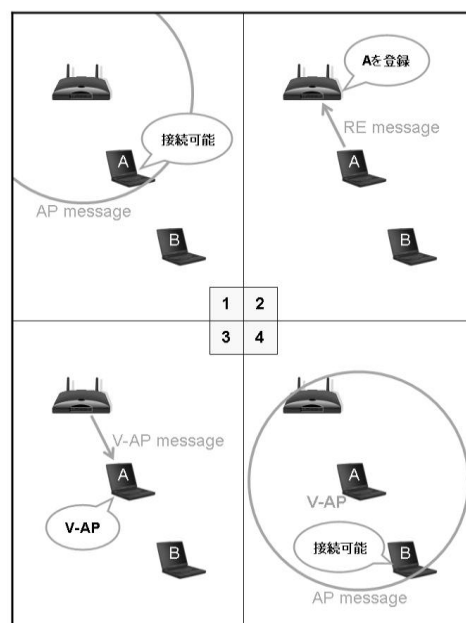


図 4 木構造の形成手順

利用エリアを拡大していく。

#### (2) 経路の維持

A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> においても他のアドホックネットワークと同様に、ノードの移動や消失に伴った経路の消失が発生する。AP までの経路が消失した場合には、経路の切り替え (親 V-AP の変更) が必要となる。AP までの経路が消失した場合には、まず他の V-AP の情報を保持していないかどうかリストをチェックし、リストに V-AP があれば親ノードを変更する。もしリストに V-AP がなければ、LOST message により周囲に経路の消失を伝達する。LOST message を受信した子ノードは同様に V-AP のリストをチェックし、親ノードを変更するか LOST message を送信する。このように経路を消失した場合は、木構造の上流から順々に処理を行う。また、3章の提案方式ではリストの V-AP の情報により、より効率の良い親ノードに切り替えていく V-AP の上位選定の方式について検討している。上位選定により V-AP を切り替える際には、これまで利用していた親ノードに対して予め RE message で親ノードを変更することを通知する。

#### (3) 複数の AP が存在するとき

近辺に複数の AP が存在し、複数の A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> によるアドホックネットワークが展開されている場合には、どれか一つしか利用できず、複数のネットワークに含まれることがないこととする。理由として、複数のネットワークを同時に利用すれば、ネットワークのトラフィックが増大してしまうからである。もし現在利用しているのとは違う AP に所属する V-AP から AP message を受信した場合には、無視をするか、利用する AP を変更するかを選択できる。変更する場合には、LOST message を送信して下流のノードに現在のネットワークから抜けることを通知した後に、新しい AP に所属

するノードに RE message で応答する。なお、各 AP や V-AP は IP アドレスの他にネットワークの識別子を AP message に乗せて送信するものとし、その識別子を用いて異なるネットワークであることを識別する。

#### (4) V-AP の下位選定

AP または V-AP が子ノードに V-AP message で V-AP の動作を命じる際に、単純に全ての子ノードに対してメッセージを送信するのではなく、一定の条件を満たしたノードだけに送信することを V-AP の下位選定[4]と呼ぶ。下位選定は通信効率を向上させたり、各ノードへの負荷を考慮したりするために行う。下位選定を行う際の条件としては、RE message の応答頻度や受信電波強度、バッテリー残量などが挙げられる。

### 4. A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>における中継ノード上位選定

#### 4.1. 中継ノード上位選定の必要性

アドホックネットワークにおいて、中継ノードはユーザ端末である。そのため、中継ノードに過剰な負荷がかかることは望ましくない。ここで負荷と呼ぶのは、通信帯域、バッテリー、ルーティング処理による演算などが挙げられる。特に A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>では木構造というトポロジのため、一つ、または少数の V-AP (中継ノード) に負荷が集中しやすい。そこで、各ノードは利用する親ノード (V-AP) を選定する必要が生じる。中継ノード選定を的確に行えば、中継ノードへの負荷を減らすだけでなく、通信の信頼性向上や通信遅延の低減といった通信品質の向上に繋がる場合もある。なお、先述した親ノードが子ノードの中から V-AP を選定する下位選定に対し、上位選定と呼ぶ。

#### 4.2. V-AP の上位選定

V-AP 上位選定を行うタイミングは二つある。一つ目はネットワークにノードが参加する際に、親ノードを決めるための選定である。二つ目はネットワークに参加した後時間経過と共に通信環境が変わった時に、より良い親ノードに切り替えるための選定である。前者は必ず必要となり、後者は任意で必要に応じて行う。

次節以降で中継ノードへの負荷を配慮した V-AP 上位選定方式を述べるが、通信の信頼性や通信遅延を悪化させるような上位選定になってはいけない。そこで、通信品質を配慮したパラメータと組み合わせて選定することを提案する。そのパラメータとして、AP までの hop 数と受信電波強度を用いる。アドホックネットワークにおいて、hop 数は通信遅延の増大だけでなく、通信の信頼性の低下にも繋がる重要な要素として挙げられる。また、受信電波強度は送受信間における地理的な距離や遮蔽物などにより変化する。受信電波強度が十分でない場合は経路の切断の可能性が高いため、予め中継ノードとして選択しないことが通信の信頼性を向上させることになる。

よって、通信品質と中継ノードへの負荷を配慮したパラメータを総合して評価値  $S_{ij}$  を (ノード  $i$  が算出した V-AP ノード  $j$  に対する評価値) を求め、選択肢とし

て存在する V-AP の上位選定を行う。総合評価値  $S_{ij}$  は式 (1) により算出する。

$$S_{ij} = \alpha H_j + \beta E_{ij} + \gamma N_{ij} \dots (1)$$

$H_j$  は V-AP ノード  $j$  の AP までの hop 数、 $E_{ij}$  はノード  $i$  が受信した V-AP ノード  $j$  からの AP message の受信電波強度、 $N_{ij}$  は後述する中継ノードの負荷を配慮した選定方式、それぞれにおける評価値である。 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は重みである。

#### 4.3. 配下ノード数を用いた選定方式

本方式は、V-AP の配下ノード数を配慮して評価値とする方式である。V-AP の配下ノード数を配慮する理由として、配下ノードが多いほどパケット中継をする機会が増大することや、配下ノードを管理する上での負荷も増大することが挙げられる。つまり単純に、配下ノードが少ない V-AP を選定する。

ただし、AP までの hop 数が 2hop 以上の V-AP (選定するノードは 3hop 以上) を選定する場合には、親となり得る直上の V-AP の配下数だけを配慮するのは問題が生じる。その理由として、A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>において AP に近い (hop 数が少ない) V-AP ほど多くの配下ノードを抱える可能性があるからである。そこで、2hop 以上の V-AP を選定する場合には、さらに上流の V-AP の配下ノード数も比較する。つまり V-AP を選定する際に、その V-AP から AP までの経路として考える。1hop 目、2hop 目と上流の V-AP も含めて、式 (2) に示す評価式にて評価値  $N_{ij}$  を算出する。 $h$  はその V-AP から AP までの hop 数、 $n_{jh}$  は経路  $j$  における  $h$  hop の V-AP の配下ノード数、 $m_{ih}$  はノード  $i$  における  $h$  hop の V-AP の配下ノード数の最大値である。図 5 により例示する。

まずノード E が V-AP 上位選定をする主体のノードである。そしてノード E が利用できる V-AP がノード C とノード D の二つ存在する。ノード C とノード D の上流にはそれぞれノード A とノード B が存在し、ノード C とノード D はどちらも AP まで 2hop である。このときノード C からノード A を辿って AP に到達する経路を経路 C、もう一方の経路を経路 D とする。

ここで、ノード E におけるノード C の配下ノード数の評価  $N_{EC}$  を求める。まず、両経路の同じ hop 数のノード A とノード B、ノード C とノード D の配下ノード数  $n_{C1}$  と  $n_{D1}$ 、 $n_{C2}$  と  $n_{D2}$  を比較して、両者の最大値  $m_{E1}$ 、 $m_{E2}$  を求める。そして、hop ごとに式 (2) に各値を代入し、合計することで  $N_{EC}$  を算出する。なお、本方式のために V-AP が送信する V-AP message には V-AP 自身の配下ノード数情報に加えて、AP までの経路をなす上位の V-AP の配下ノード数情報も乗せる必要がある。そのため、各 V-AP 間では AP message と RE message を用いて配下ノード数情報の交換をする。

$$N_{ij} = \sum_{h=1}^{H_j} \frac{1}{h} \left( 1 - \frac{n_{jh}}{m_{ih}} \right) \dots\dots (2)$$

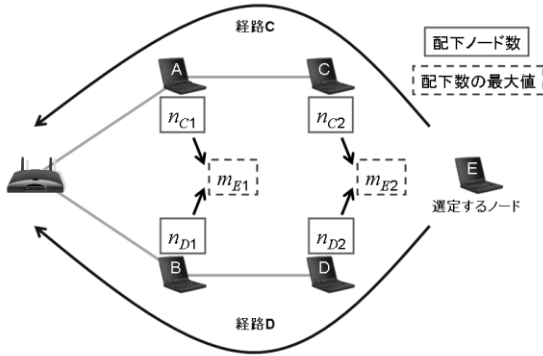


図 5 配下ノード数の評価の算出

## 5. シミュレーション評価

4章で提案した V-AP の上位選定、および配下ノード数を用いた選定方式を、ns-2[5]を用いて計算機シミュレーションにより評価する。

### 5.1. シミュレーション環境設定

二つのシミュレーションを行い評価する。一つ目は配下ノード数の集中回避を評価するシミュレーションであり、配下ノード数を比較する（シミュレーション①）。二つ目は通信の信頼性を評価するシミュレーションであり、パケット到達率を比較する（シミュレーション②）。

シミュレーション①のノード配置を図 6 に示す。AP と 1hop の位置に V-AP となることを想定したノードを 3 つ、それぞれ移動しないノードとして配置する。そして、AP と 2hop 以上でないと通信できない位置にランダムで移動するノードを配置する。このような環境において 1hop のノードの配下ノード数の「最大値-最小値」を比較する。

シミュレーション②のノード配置を図 7 に示す。AP と送信ノードをそれぞれ移動しないノードとして配置し、その周辺に中継ノードとしてランダムで移動するノードを配置する。このような環境において、送信ノードから AP へ向けて送信されたパケットの到達率を比較する。

比較するプロトコルは、提案方式を適用した A<sup>2</sup>P<sup>2</sup>（評価式の重みは表 1 を参照、電波強度の評価は未適用）と、提案方式を適用せず hop 数のみで親ノードを選択する A<sup>2</sup>P<sup>2</sup> である。また、親ノードを切り替えるタイミングの V-AP 上位選定の間隔は 6 秒である。その他の主なシミュレーション環境を表 1 に示す。

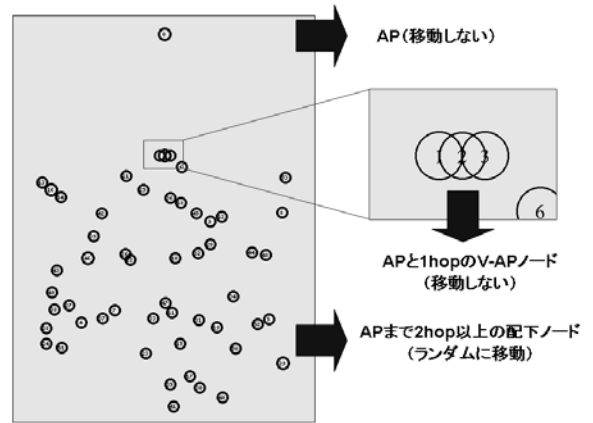


図 6 シミュレーション①のノード配置

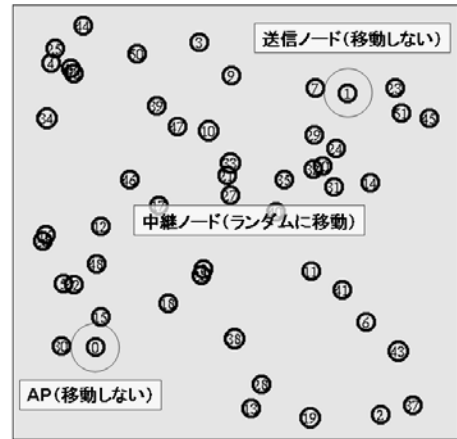


図 7 シミュレーション②のノード配置

表 1 シミュレーション設定

フィールドサイズ	①500m × 800m ②500m × 500m
移動ノード数	50, 100, 150
移動モデル	Random Way Point
移動速度	0.5-1.5 m/sec (walk) 0.5-7.0 m/sec (mix) 4.0-7.0 m/sec (bike)
シミュレーション時間	100sec
通信半径	①250m ②200m
評価値の重み (α=1)	β=0 γ=0.1, 1, 3, 5, 10
AP message 送信間隔	2sec
パケット送信時間	30sec
パケットサイズ	512bytes
パケット送信間隔	0.5sec

## 5.2. シミュレーション結果

シミュレーション①の結果を図8に示す。この選定方式は $\gamma$ の重みは0.1と小さく設定し、hop数による選定を優先して行った場合の結果である。hop数を優先させても十分に配下ノード数の集中を緩和できていることがわかる。

次にシミュレーション①で配下ノード数の評価の重みを変えて、提案方式を比較した結果を図9に示す。重みを大きくすることで効果が得られたが、重みを一定( $\gamma=3$ )以上大きくても結果として大差は見られなかった。

また、二つのグラフに共通して配下ノード数の評価を用いた方式では、ノード数の増加につれてグラフの傾きが急になっていくことがわかる。これは、現状ではAP messageとRE messageのみで配下ノード情報を交換しているため、情報のリアルタイム性に欠けていることが原因で、適切な評価が行えていないものと考えられる。

次にシミュレーション②の結果を図10に示す。結果にばらつきがあるが、配下ノード数の評価の重みを大きくすると、パケット到達率が低下する傾向にある。これは、送信ノードからAPまでのhop数よりも配下ノード数を重視するため、hop数が増加してしまうことが原因と考えられる。

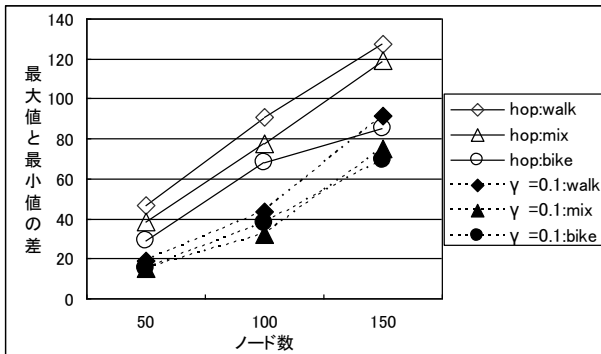


図8 配下ノード数

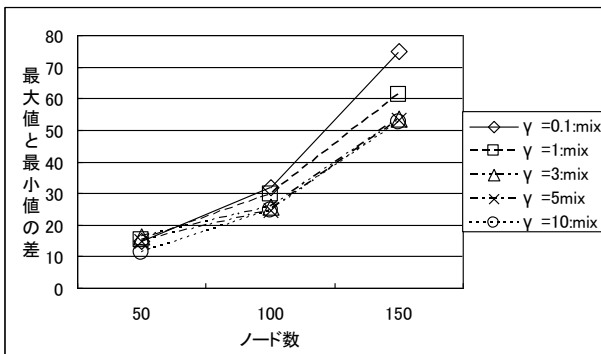


図9 評価式の重みと配下ノード数

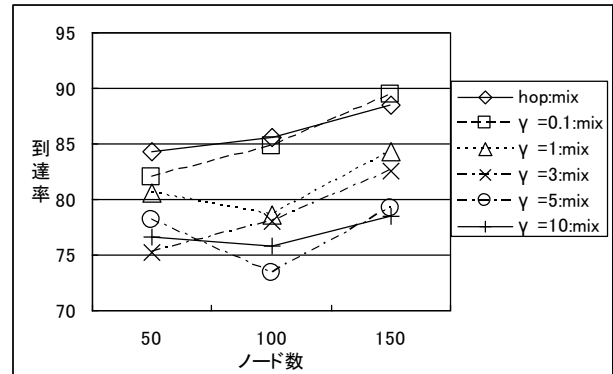


図10 パケット到達率

## 6. まとめ

アドホックネットワークでマルチホップに無線LANアクセスポイントへ接続することにより、無線LANの利用エリアを拡大する方式と、そのためのルーティングプロトコルA<sup>2</sup>P<sup>2</sup>について説明した。また、本研究ではA<sup>2</sup>P<sup>2</sup>の中継ノード選定手法として、配下ノード数を用いる方式を提案し、シミュレーション評価を行った。提案方式による配下ノード数の集中を緩和する効果が示されたが、評価式の重み次第で通信の信頼性が低下することがわかった。

今後の課題として、本提案方式においては配下ノード数情報をリアルタイムに更新するためのメッセージ交換の検討や、評価式に対する適切な重みの考察が挙げられる。また、実トラフィックを用いた上位選定の方式の検討もしていきたい。

## 謝辞

本研究の一部は平成19年度科学研究補助金(基盤研究(c))の支援を受けて行った。

## 参考文献

- [1] 阪田史郎, “ワイヤレス・ユビキタス”, 秀和システム, 2004
- [2] 田中宏明, 井手口哲夫, 田学軍, “アクセスポイント利用エリアを拡大するA<sup>2</sup>P<sup>2</sup>の提案”, 情報処理学会第67回全国大会公演論文集, 5T-9, 2005
- [3] 加藤佳之, 伊藤将志, 渡邊晃, “無線アクセスポイントリンク”WAPL”の提案と評価”, DICO2007, pp.9, 2007
- [4] 栗田崇徳, 鈴木健司, 井手口哲夫, 奥田隆史, 田学軍, “アドホックルーティングプロトコルA<sup>2</sup>P<sup>2</sup>における中継ノードの選定”, 情報処理学会第68回全国大会公演論文集, 4R-7, 2006
- [5] “The Network Simulator ns-2”, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] 小牧省三, “無線LANとユビキタスネットワーク”, pp.129, pp.188, 2005