

アドホックルーティングプロトコルA²P²における 負荷分散のための中継ノード選定

栗田 崇徳 井手口 哲夫 奥田 隆史 田 学軍

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

無線LANアクセスポイントを利用したネットワークアクセスが普及してきているが、利用できるエリアは限られている。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、このような目的でのアドホックネットワークの利用において、一般的なルーティングを用いるよりも効率的なルーティング方式であるA²P² (Ad hoc based Access Point Protocol) を提案している。そして、A²P²の課題である中継するノードへの負荷集中を考慮した中継ノードの選定手法について述べ、計算機シミュレーションにより評価を行う。

The selection of node relaying packets for decentralizing a load on Ad hoc routing protocol A²P²

Takanori Kurita Tetsuo Ideguchi Takashi Okuda Xuejun Tian

Graduate School of Information science and Technology, Aichi Prefectural University

Recently, network access using the wireless LAN Access Point is widespread. However some problems are remained unsolved, one of which is limited service area. As a potential method, Ad hoc networks can be used for overcoming this problem. Basing our research work of A²P² (Ad hoc based Access Point Protocol), in this paper, we propose the selection method of the node relaying packets for decentralizing a load on A²P² in order to avoid traffic bottleneck. And we evaluate the performance of A²P² using computer simulation.

1. はじめに

近年、無線 LAN が急速に普及し、今後も伸びが期待されている。無線 LAN の大きな特徴は、企業や家庭内での利用に加えて、カフェ、レストラン、ホテルなどの公衆の場にアクセスポイント (AP) を設置することによって、インターネットなどへのネットワークアクセスを可能にする点である。しかし、このようなサービスを受けることはもちろん、AP と通信が可能であることが前提であり、電波の到達距離の制限を受ける。この制限を緩和し、AP のサービスエリアを拡大するには、AP と直接通信のできる端末が直接通信のできない端末に対してデータの中継をするという方法がある。そして、このように中継するのに、マルチホップ特性を備えたアドホックネットワークを利用することができる。

アドホックネットワークでは、各端末がルータのデータ中継の役割を持ち、専用のルーティングプロトコルによって無線のマルチホップ通信を実現する。ここで、AP をアドホックネットワークの構成端末の一つとして扱うことにより、他の端末は AP までの経路を提供され、AP を介したネットワーク

アクセスが可能となる。そこで我々は、このような AP の利用エリア拡大を目的とした専用のルーティングプロトコル、A²P² (Ad hoc based Access Point Protocol) を提案している [6][10][11]。

ここで、一般的なルーティングプロトコルを用いても、各端末は AP までの経路は提供される。しかし、想定する環境では AP への経路のみを要求され、一般的なルーティングを行うと、余分な経路の提供、すなわち余分なルーティングオーバーヘッドを発生させてしまうことになる。

このA²P²では検討しなくてはいけない課題が複数残されているが、その中に中継端末における負荷の分散がある。A²P²の構造上、一つ、または少数の端末にトラフィックが集中する恐れがあるが、一般的な利用者の端末に負荷が集中することは望ましくなく、できる限り負荷を分散する必要がある。本稿ではこの負荷の分散についての改善案を述べる。

以下、2章でA²P²について述べ、3章で改善案を説明する。4章でA²P²のシミュレーション評価を行い、5章でまとめとする。

2. A²P² (Ad hoc based Access Point Protocol)

2.1. A²P²のリンク構造

A²P²は1章で述べたように、APを介したネットワークアクセスをするために、APまでの通信をマルチホップで確保するアドホックルーティングプロトコルである。A²P²を利用する端末は、APまでの経路を提供される。ただし、ここで用いるAPは、一般的な無線LANで用いられるものではなく、A²P²利用のための機能をいくつか備えていることを前提とする。特にインフラモードではなく、アドホックモードを利用することによって、各端末は各モードを切り替えることなく利用できるものとする。

では、実際にどのようにAPまでの経路を作成するのか説明する。まずA²P²の大きな特徴として挙げられるのが、木構造のリンクを用いることである。図1に概念図を示す。図が示すようにAPは根の部分に位置する。そして、各端末間は親と子の関係を持ち、各端末は単純に親のノードにデータを中継してもらい動作を繰り返すことによって、最終的にはAPにデータが届く、いわゆる上りの通信ができる。逆に親から子に送っていくことによって、下りの通信ができる。

ここで、APまでのデータ中継を担うノードをV-AP (Virtual Access Point) と定義する。V-APも他の端末と同じAPを利用するノードであるが、特別に中継することを義務付けられたノードである。この木構造において、基本的に横の (APからのホップ数と同じ) 端末同士のリンクは必要ない。また、木構造であるため、ネットワークの管理という視点にからも有効と考えられる。

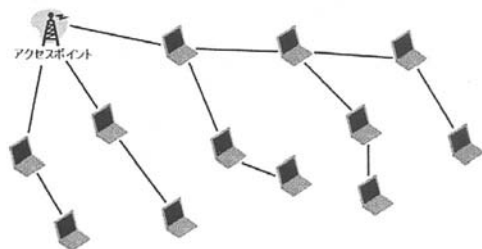


図1 A²P²の概念図

2.2. A²P²で利用するメッセージ

どのように木構造のリンクを構築するのか説明する前に、そのルーティングに用いるメッセージを列挙する。

- **AP message**
このメッセージは、APまたはV-APが定期的に発信するメッセージであり、ブロードキャストを用いる。一般的なルーティングプロトコルのHello messageに相当する。このメッセージを受け取ったノードは、メッセージ発信者を親ノードとすることができる。
- **RE message**
このメッセージはAP messageに回答するメッセージであり、ユニキャストを用いる。しかし、全てのAP messageに回答するわけではなく、親として利用するAPまたはV-APにのみ回答する。
- **V-AP message**
このメッセージは親ノードがV-APの選定を告げるメ

ッセージであり、ユニキャストを用いる。親のノードが子のノードに対して送信し、受け取った子のノードはV-APとして動作する。

- **LOST message**
このメッセージはV-APがAPとの通信ができなくなったことを周囲に告げるメッセージであり、ブロードキャストを用いる。

2.3. A²P²のルーティング

A²P²はProactive型のルーティングプロトコルであり、利用者の通信要求の発生の有無に関わらず、あらかじめ経路を作成する。そしてA²P²の木構造の根であるAPから経路探索を開始する。APは定期的にAP messageで自己の存在を周囲に伝える。これを受信したノードはRe messageで応答することにより、APと双方向リンクを確立することができ、APを利用することができる。このAP messageとRe messageのやり取りは定期的に行われる。

次の段階として、APはV-APを選定する。APはリンクの確立した子のノードに対してV-AP messageを送信し、それを受信したノードはV-APとして他のノードのデータの中継する役割を持つことになる。ただし、APは全てのノードに対してV-AP messageを送信するのではなく、電波強度やバッテリー、ノードの能力などを考慮して、データの中継するのにふさわしいノードかどうかを判定し、一定の基準を満たしたノードだけに送信する。これをV-APの下位選定と呼ぶ。

V-APとなったノードはAP同様にAP messageを定期的に送信する。また、AP messageによりリンクを確立したノードに対してV-AP messageを送信することもでき、V-AP選定を繰り返していくことによって、APまでのマルチホップ通信を行うことができる。

つまり、APではない利用者側の端末がネットワークに参加するときは、APまたはV-APのAP messageの受信待ち状態になる。AP messageを受信出来ればAPを利用できるし、受信できなければ利用できない。また、Re messageにより応答するのは単一のノードとすることにより、木構造を形成する。たとえば、異なるAPに属するノードからのAP messageでも、同様に単一のノードにししか応答しないことにより、複数のAPに属することを回避し、ルーティングオーバーヘッドの増大を回避する。

ここまでのルーティングの流れを図2に示す。ノードに付加してあるホップ数はAPからのホップ数である。

2.4. A²P²の特徴

A²P²の特徴についてまとめる。

- **Proactive型**
あらかじめAPまでの通信を確保しておくことにより、通信要求から通信開始までの遅延が少ない。また、Reactive型 (オンデマンド方式) に比べて各ノードの移動によるリンク切断に強い。反面、常に経路維持のためのオーバーヘッドが発生する。
- **経路生成における低ネットワーク負荷**
ネットワーク内の全てのノードではなく、特定のあて先を対象にした経路生成を行うため、パケットサイズ、パケット量はともに少なく抑えることができる。また、単にV-APではないノードとしてインターネットに接続するだけならば、そのノードにかかる負荷は極めて小さい。ただし、V-APに負荷が集中することが懸念される。

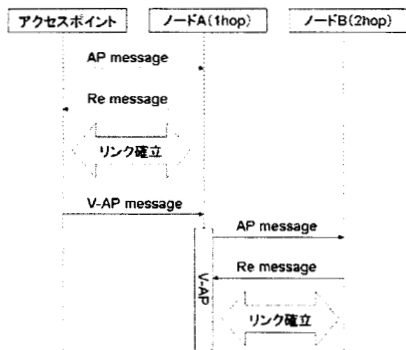


図 2 ルーティングの流れ

● 木構造のネットワーク

AP を根とした木構造を用いることにより、各ノード間には親と子の関係が生じ、各ノードはあたかも親ノードとパケットを交換するだけでインターネットにアクセスできる。また、V-AP は自身を中継ノードとする配下ノードの通信を管理することができ、アドホックネットワークにおけるノード管理の実現に有効であると考えられる。

● V-AP 選定方式による高信頼な経路生成

V-AP 選定方式を用いることにより、中継ノードである V-AP の信頼性を確保することができる。結果として通信の安定性の向上や、無駄な経路生成パケットの低減を図ることができる。

● V-AP アドレスの複数保持

木構造であるため親ノードは一つである。よって、他の親となり得るノードの情報を蓄えておき、現在の親ノードとの通信が切断されるなど都合が悪くなった際に他の親ノードに切り替えることによって、経路の冗長性を確保し、通信の安定性を向上させる。

3. A²P²における負荷分散方式

3.1. V-AP への負荷

A²P²における大きな課題のひとつはV-APへの負荷の集中が挙げられる。ここで負荷というのは、送受信の際の通信回線とバッテリーへの負荷と、ルーティング処理による演算の負荷のことである。V-APは一般的な無線端末を想定しておりホストでもあるので、極度な負担を強いことは望ましくない。ところがV-APとなると、AP messageを定期的送信することや、他のノードのデータ中継などに加えて、もし木構造を利用したネットワーク管理をするとなれば、さらに負荷がかかってしまう。また、この負荷は上位 (APに近い) ノードになればなるほど増加する。そこで、本稿では改善案を述べる。

3.2. 負荷分散方式の提案

基本的にネットワーク全体の負荷を減らすことはできない。そこで、それぞれの中継ノードにかかる負荷を分散させてやることを提案する。その基本的な考え方は配下 (木構造において自身より下流にある) ノードの数を分散させることである。配下ノードが多ければ多いほど、扱う通信要求が多くなり、また、管理をする場合にも負荷となる。

本提案ではこの配下ノード数を比較して親のノード (経路)

を選択したり、親ノードを切り替えたりする。そのタイミングとしてネットワーク参加時と、参加後がある。まず、ネットワーク参加時というのは、2章で説明したRe messageを応答する前のタイミングである。一定時間AP messageを受信待ちし、複数のノードからAP messageを受信したら、その親となるノードと、さらに上位のノードの配下ノード数を比較する。次にネットワーク参加後は、長時間同じ親ノードを利用していると、親ノードやその上位のノードの配下ノード数が変化することが考えられるので、定期的と比較し、ある一定の基準を上回る差異が見られた場合に、親ノードの切り替えを行う。このように親のノードを比較して選ぶことを、先述したAPやV-APが下位のノードに対してV-APの役割を与える下位選定と区別して上位選定と呼ぶ。なお、従来のA²P²のルーティングでは、ホップ数のみを考慮して親ノードの選択を行っている。

また、上位選定時に親ノードのホップ数を絶対的な指標とするのではなく、いくつかある内の一つの指標とすることにより、負荷の集中に対して柔軟なルーティングをすることができる。ここで例として、ホップ数と配下ノード数に加えて、AP messageによる電波強度の指標を追加する。電波強度を判定することにより、リンクの信頼性の向上を図ることが出来る。なお、他の指標としては、GPSの位置情報を利用したノードの移動方向、中継しているトラフィック状況などが挙げられる。上位選定の評価値 S_{ij} を求める式を (1) に示す。

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

それぞれの項にある値は、経路*j*に対するホップ数 H_j 、ノード*i*の経路*j*に対する配下ノード数の評価値 N_{ij} 、ノード*i*が経路*j*の親ノードから受信したAP messageの受信電波強度 E_{ij} である。また、 α, β, γ はそれぞれの指標に対する重み係数である。ここで N_{ij} は式 (2) に示すような配下ノード数の評価式で求められた値である。式 (2) の概念図を図 3 に示す。

$$N_{ij} = \frac{1}{x} \left(1 - \frac{n_{jx}}{m_{ix}} \right) \cdots \cdots \cdots (2)$$

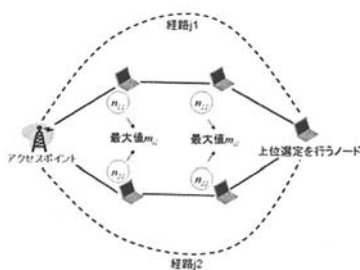


図 3 配下ノード数の評価式 の概念図

n_{jx} はパス *j* 上の AP から数えて *x* 番目の V-AP の配下ノード数を、 m_{ix} は *i* が配下ノード数を比較した際の n_{jx} の最大値をそれぞれ示す。木構造において、上位に位置するほど配下ノード数が多くなり、一番配下ノード数が多くなる V-AP は 1 ホップ目の V-AP となる。そこで、1 ホップ目の配下ノード数を比較、

同じであれば2ホップ目を比較、と順に比較していくものを指標としたのが N_{ij} である。つまり、 x は配下ノード数が同じであるときに1から次第に増やしていく。 N_{ij} は選択肢にあるそれぞれの経路中で、より上位のノードを考慮した値となる。

このように配下ノード数を用いた上位選定を行うためには、配下ノード数を認識しなくてはならないため、各AP、V-AP間でやりとりするAP messageとRe messageに配下ノードの情報を含めて、配下ノード情報を交換する。

4. シミュレーション評価

A²P²の通信を、ns-2[2]を用いて計算機シミュレーションにより評価する。なお、今回ns-2におけるA²P²はOLSRをベースとした仕様であり、APまでの経路を木構造に構築するが、RE messageはAP messageとともにブロードキャストされるものとする。

4.1. シミュレーション環境

表1にシミュレーション環境を示す。フィールドに送信ノードとAPを固定のノード、他のノードを移動するノードとしてそれぞれ設置。送信ノードがAPにCBRパケットを送信し、その到着率により評価する。フィールドサイズは想定サイズの1000m×1000mを縮小しており、それに合わせて通信半径、最大移動速度も縮小している。比較対象としてOLSRを用いる[3][4]。

表1 シミュレーション環境

フィールド	500 m × 500 m
送信ノード座標	(x, y) = (150, 150)
AP座標	(x, y) = (350, 350)
ノード数	50, 75, 100
最大移動速度	1.0, 3.5, 11.0 m/sec
移動モデル	Random way point
通信時間	40 sec
データサイズ	512 bytes
送信レート	4 pps (CBR)
通信半径	100 m

4.2. シミュレーション結果と考察

シミュレーションの結果を図4に示す。この結果からわかるように、OLSRとA²P²ではパケット到着率に大きな差は見られない。つまり、経路をA²P²のように単純化してもパケット到着率は低下しないことがわかる。同じ通信信頼性でルーティングを単純化できるので、各ノードへの負荷や、ネットワーク全体におけるトラフィックを低減できることになる。

5. まとめと今後の課題

APを利用したネットワークアクセスに特化したアドホックルーティングプロトコルA²P²について説明し、その課題の一つである中継ノードへの負荷集中に対する負荷分散方式を述べた。また、シミュレーション評価により、配下ノードが一つのノードに集中しないように分散させるアルゴリズムを評価した。

今後の課題としては、A²P²、及びその負荷分散方式についてシミュレーション評価を行うことや、実トラフィックに基

づいて上位選定を行うアルゴリズムの提案などが挙げられる。また、A²P²の木構造のリンクを生かしたアドホックネットワークのノード管理方式についても検討したい。

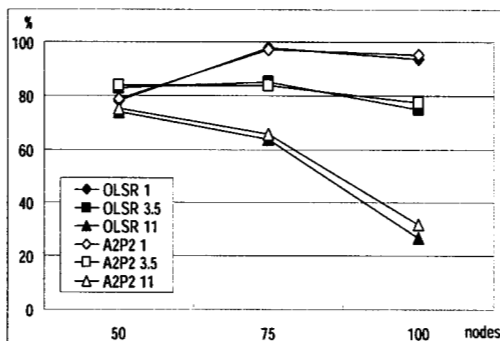


図4 シミュレーション結果 (パケット到着率)

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究(c)No.17500042の支援を受けて行った。

参考文献

- [1] Mobile Ad-hoc Networks (MANET)
<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] ns-2 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [3] OLSR <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [4] UM-OLSR <http://masimum.dif.um.ex/>
- [5] 島田秀輝, 北須賀輝明, 福田晃, 砂原秀樹: 無線マルチホップネットワークにおけるアクセスポイント選択機構の提案, マルチメディア・分散・強調とモバイル(DICOMO2004), pp.321-324 (2004).
- [6] 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A²P²の提案, 情報処理学会第67回全国大会公演論文集, 5T-9 (2005).
- [7] 田内雅之, 他: ユーザ指向タイムクリティカルネットワークにおけるルーティングプロトコルAODV-BAの実装と評価, 情報学ワークショップ(WiNF)2005, pp.266-270 (2005)
- [8] 田内雅之, 井手口哲夫, 奥田隆史, 田学軍: MANETにおける経路切断を回避するルーティング方式の提案と評価, 情報処理学会研究報告, 2006-MBL-36, Vol.2006, No.14, pp.25-30 (2006)
- [9] 西井龍吾, 萬代雅希, 渡辺尚: アクセスポイントからの距離によるゾーン構造を用いたメッシュネットワークの検討, 情報処理学会研究報告, 2006-MBL-36, Vol.2006, No.14, pp.79-84 (2006)
- [10] 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A²P²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)
- [11] 栗田崇徳, 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A²P²によるネットワークアクセス法, マルチメディア・分散・強調とモバイル(DICOMO2006), pp.405-408 (2006)