

無線メッシュネットワークにおける通信品質向上の提案と評価

樋口 豊章 伊藤 将志 渡邊 晃

名城大学大学院理工学研究科

無線 LAN を通信インフラとして用いるサービスが注目されている。しかし、既存の無線 LAN の AP (Access Point) 間には有線で接続されることが一般的であり、AP の設置に多大なコストを要する。この問題の解決策として、無線メッシュネットワークがある。本論文では、無線メッシュネットワークにおいて AP がアドホックネットワーク側の通信量を把握し、そのトラフィックに応じてネットワークに新規参入する端末、又は移動する端末に適切な AP を選択させることにより、ネットワークの通信品質を向上させる方法を提案する。

Proposal of the Improvement of Traffic Congestion in Wireless Mesh Network

TOYOAKI HIGUCHI MASASHI ITO AKIRA WATANABE

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

Services utilizing Wireless LANs as communication infrastructure are drawing much attention these days. However, Access Points (APs) of existing Wireless LANs are connected by wires and the installation costs of APs are fairly high. Wireless Mesh Networks are one of the ways to solve this problem. In this paper, we propose a method of improving communication quality of Wireless Mesh Networks by selecting an appropriate AP according to the traffic for the node that is moving or newly entering to the network.

1. はじめに

近年、ノートパソコンや PDA といった情報端末だけではなく、携帯電話やゲーム機にも WiFi の技術が用いられるなど、無線 LAN を通信インフラとして用いるサービスが注目されている。しかし、無線 LAN の AP (Access Point) 間には、有線で接続されることが一般的であり、AP の設置場所が制限されたり、配線に多大なコストを要する。

この問題の解決策として、無線 LAN の AP 間をアドホックネットワークで接続する無線メッシュネットワークが提案されている。

無線メッシュネットワークにおける端末/AP 間の通信はインフラストラクチャモードのため、既存の端末が容易にネットワークに参加することが可能である。

無線メッシュネットワークは、様々な研究機関で研

究され、IEEE802.11 Task Group S(IEEE802.11s)においても標準化が進められている。しかし、多くの無線メッシュネットワークでは、その機能がルーティングプロトコルに依存しているため、ルーティングプロトコルを入れかえることができない。また、IEEE802.11s ではハンドオーバーに関する動作の詳細が未検討の状態、シームレスなハンドオーバーを行うことができないなどの課題がある。さらに、AP 間の通信は同一チャネル上でマルチホップ通信を行うため、パケットの衝突がおきやすく、スループットが低下しやすいなどの課題がある。

我々は無線メッシュネットワークの実現手段の一つとして“WAPL”(Wireless Access Point Link)を提案し、上記課題の解決を試みている。WAPLの機能はアドホックルーティングプロトコルから独立して実

現されており、必要に応じてアドホックルーティングプロトコルを選択できる。また、各 AP が通信中のパケットを常時把握することにより端末が移動してもパケットロスのないハンドオーバを実現できる。

本論文では、残された課題となるネットワーク全体の通信品質向上のため、AP の輻輳を改善する方法について提案する。提案方式では、AP が自身の輻輳状態に応じてプローブ応答の電波強度を調整し、端末が輻輳している AP に可能な限り接続しないようにする。この方法により、端末の周囲に AP が複数存在する場合、AP の輻輳状態を考慮して接続関係を確立することにより、輻輳を改善し、ネットワークのスループットの低下を防ぐことができる。提案方式は端末に機能を追加する必要がない。また、WAPLに限らず、一般の無線メッシュネットワークにも提案システムを適用できる。

以下、2章で WAPL の詳細を、3章では既存技術とその課題について明らかにする。4章では WAPL を用いた提案システムについて説明し、5章ではシミュレーションによる評価と考察について述べ、最後に6章でまとめる。

2. WAPL

2.1 概要

図1に WAPL の構成を示す。WAPLにおいて使用される AP を WAP(Wireless Access Point)と呼ぶ。WAP には2つの無線インタフェースがある。一方は端末とインフラストラクチャモードで通信を行い、もう一方はアドホックネットワークによって WAP 同士を接続する。

WAP のアーキテクチャを図2に示す。WAP はアドホックルーティングプロトコルには手を加えず、必要な機能を全てアプリケーションで実現している。そのため、ルーティングプロトコルを自由に選択できる。WAP は、現在、市販 AP と PC を Ethernet で接続することにより試作を行い、動作を検証済みである。

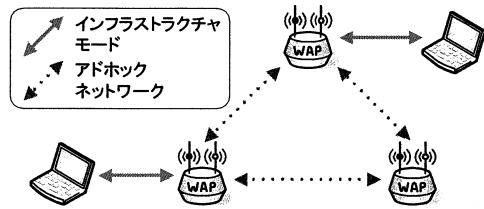


図1 WAPL の構成

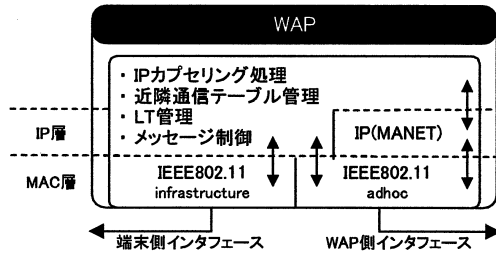


図2 WAP のアーキテクチャ

2.2 通信方式

パケットを目的の WAP へ適切に転送するために、WAP は端末の MAC アドレスとその端末が所属する WAP のアドホック側インタフェースの IP アドレスの対応関係を管理する独自の LT (Link Table) を生成する。WAP は、端末からの ARP 要求を受信すると、他の WAP へ LT 生成要求メッセージをフラッディングにより広告する。LT 生成要求メッセージには探索端末の IP アドレス、送信元端末の IP アドレス、MAC アドレスが記載されており、LT 生成要求メッセージを受信した全 WAP は LT に送信元端末の MAC アドレスと送信元 WAP の IP アドレスの対応関係を記録する。同時に配下に ARP 要求を送信し、目的端末が存在するかどうかを確認する。ARP 応答を受信した WAP はユニキャストで送信元 WAP に LT 応答メッセージを送信する。LT 応答メッセージには探索端末と送信元端末の IP アドレスと MAC アドレスが記載されており、送信元 WAP は LT 応答メッセージを受信すると宛先端末の MAC アドレスと宛先 WAP の IP アドレスの関係を LT に記録する。ARP が終了すると端末

は IP パケットの送受信を開始する。WAP は LT をもとに MAC フレームを WAP の IP アドレスでカプセル化して宛先 WAP に送信する。カプセル化されたパケットはアドホックルーティングにより宛先端末が所属する WAP へ転送される。宛先 WAP はカプセル化を開放して宛先端末へと転送する。LT の内容は、一定時間通信が行われない状態が続くと削除される。LT をオンデマンドで生成するため、制御メッセージによるトラフィックを削減することができる。

WAPL には、端末が通信中に WAP 間を移動してもパケットをロスすることなく通信を継続できるシームレスハンドオーバーを実現できるという特徴がある。各 WAP は通信中のパケットを常時監視しており、周辺端末の IP アドレス、及び MAC アドレスと WAP の IP アドレスを記録するテーブルを保持している。このテーブルを近隣通信テーブルと呼ぶ。これにより WAP は近隣の通信状態とその経路を常に把握している。端末が移動すると、LT を書き換える必要があるが、WAP は近隣通信テーブルを用いて、LT を修正すべき WAP を割り出し、ユニキャストで修正内容を通知する。ユニキャストは信頼性が高く、LT の修正を確実に行うことができる。このようにしてパケットロスの少ないシームレスハンドオーバーを実現する。

3. 端末のネットワーク参入方法

IEEE802.11 では、端末が AP を認識する方法は、パッシブスキャンとアクティブスキャンの 2 種類が規定されている。

パッシブスキャンは、AP が定期的かつ一方的にビーコン信号を端末へ送信する方法で、端末はビーコンに対して応答はしないが、ビーコンを監視することにより、端末/AP 間の接続を確立するために必要な情報を得る。

アクティブスキャンは、端末が積極的に周囲の AP を探索する方法である。端末は AP に対してプローブ要求信号を送信し、AP が返すプローブ応答を受信することにより、AP との接続確立に必要な情報を得る。

以上の処理に対して、基本的に端末は受信したビーコン信号、或いはプローブ応答信号の受信電波強さ (RSSI) が最も強い AP と接続関係を確立する。そのため、電波強度が強ければ、通信状態が悪化している AP であつたとしても、ネットワークに新たに参入した端末によって選択され、一層通信状態が悪化させてしまうという課題がある。

Maximizing Local Throughput (MLT) [1]では、接続端末数とパケットエラーレート (PER : Packet Error Rate) からスループットを推測することで、端末が接続先 AP を決定する。また、接続関係確立後にも端末が周辺 AP のビーコンフレームを取得することにより、常に自身の予想スループットが最大となる AP を選択する。しかし、AP を頻繁に変更するような手法では、ネットワークアドレスが異なる AP 間で移動が発生する場合、IP アドレスの再取得に時間が掛ってしまいという課題と、端末に改造を加える必要があるため、既存の端末には接続関係を確立することができないという課題がある。

ビーコン・プローブ応答信号拡張方式[3]では、ビーコンフレームやプローブ応答フレームを拡張し、そこに AP が定期的にモニタリングした各配下端末の送受信スループットや、受信電波強度、パケットエラーレートといった情報を格納することで、端末がスループットを推定し、最適な AP を選択する。しかし、この方法は、MLT のように頻繁な AP 変更は行わないものの、ビーコン信号やプローブ応答信号を拡張するため、MLT と同様に端末側にも改造を加える必要があり、既存の端末には接続関係を確立することができないという課題がある。

4. 提案システム

本論文では、端末に改造を加えることなく、より通信状態の良い AP を端末が選択できる手法を提案する。

3.1 提案システムの概要と構成

図 3 に提案システムの構成を示す。ここでは、端末

がネットワークへの新規参入，又は WAP を介した通信中に移動し，新しい WAP を探す場合の動作を示している。

新規参入端末，及び接続関係を確立していた旧 WAP との通信ができなくなった移動端末は，周辺の新しい WAP を探すため，チャンネルスキャンを行う。プローブ要求を受けた周辺 WAP はプローブ応答を返す。移動端末は受信したプローブ応答の中から最も電波強度が強い WAP と接続関係を確立する。

提案システムにおいて WAPL は，WAP が常に自身のアドホックモード側のトラフィックを把握している。この情報を基に，プローブ要求を受け取った時の自身のトラフィックの状態に応じて，プローブ応答の電波強度を調整する。

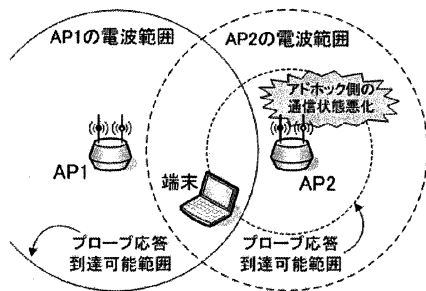


図 3 プローブ応答の電波強度

3.2 提案システムの動作

提案システムにおいて，各 WAP は端末からプローブ要求が届くと，自身のトラフィックが少ない場合は通常の電波強度でプローブ応答を返し，輻射している場合は新たな端末が参入することを防ぐため，プローブ応答の電波強度を弱める。この方法により，端末はトラフィックの少ない WAP を経由して通信を行う可能性が高くなり，スループットの改善が期待できる。

例えば，図 3 に示す環境において提案システムを適用すると，移動端末は WAP_A と WAP_B の両方からプローブ応答を受け取るが，WAP_A の方が WAP_B より電波が強いため，WAP_A と接続関係を確立することになる。この方法で WAP の輻射状態が平均化さ

れ，ネットワーク全体のスループット改善を図ることができる。

図 4 に WAP の輻射状態と電波強度の関係を示す。WAP のアドホックモード側の帯域利用率が増加して輻射状態が悪化すると，図中の実線が示すようにプローブ応答の電波強度を輻射状態に対し反比例するように弱める。プローブ応答の電波強度の下限は端末の電波強度より若干強めに設定する。例えば，図 4 においては，WAP の電波到達可能範囲の上限は約 100m，下限は 50m となる。

図 5 に提案方式における WAP と移動端末の動作を示す。図 5 は移動端末が移動後，チャンネルスキャンを開始したところから記述している。移動端末は全てのチャンネルに対してプローブ要求を発信し，プローブ応答の有無を確認する。プローブ応答があった場合は電波強度を記憶しておく。チャンネルスキャンが終了すると，受け取ったプローブ応答の中から最も電波強度が強い WAP を選択し，接続関係を確立する。WAP との接続確立は，認証要求／応答とアソシエーション要求／応答により完了する。

なお，プローブ応答の電波強度を弱めている WAP は，自身のトラフィックが改善されるに従い，プローブ応答の電波強度を元の電波強度まで戻していく。以上の動作により，端末はトラフィックの少ない WAP と接続関係を確立することができ，スループットが改善される。

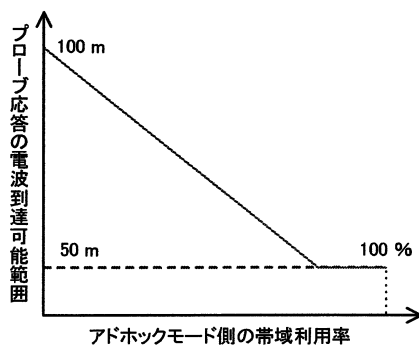


図 4 輻射状態と電波強度の関係

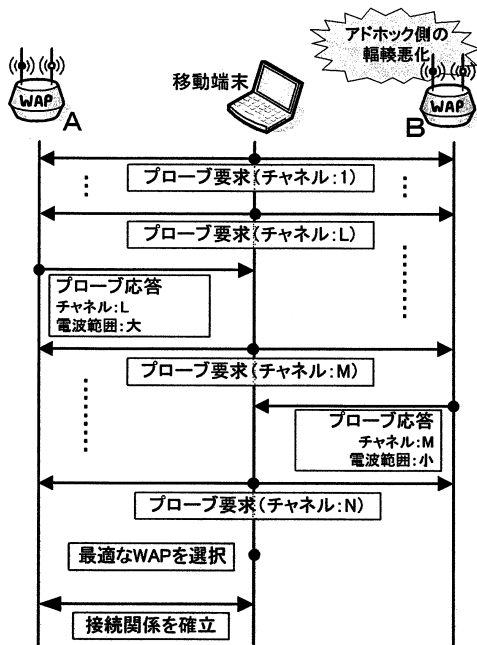


図 5 WAP と移動端末の動作

5. 評価

5.1 シミュレーション環境の構築

提案システムの有効性を示すため、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて、提案システムを WAPL に実装し、提案機能を適用した場合とそうではない場合の比較評価を行った。評価項目は移動端末間におけるスループットとした。

無線メッシュネットワークでは、AP にインフラストラクチャモードとアドホックモードの 2 種類のインタフェースが必要である。しかし、ns-2 に WAPL の機能を実装した当時は、ns-2 に無線 LAN インフラストラクチャモードの機能がなかったため、AP と端末の接続には IEEE802.11 モジュールにビーコンの発信、電波強度による AP 離脱と再参入の判断、離脱・参入処理を行う機能を独自に追加することによって実現した。また、WAP に 2 種類のインタフェースを持たせるために、各インタフェースをもつ 2 つのノードの内部モジュールを直接リンクすることによって、シミュレーション環境を実現した。

図 6 に提案システムにおいて想定する WAP の配置を示す。各 WAP は、自身の電波が届く距離にある WAP に対し等間隔に 6 角形になるよう配置する。また、WAP のインフラストラクチャモード側とアドホックモード側の電波強度は等しく、全 WAP の電波強度は一定であり、固定された 6 個の WAP に電波が届くものとする。これに対し、移動端末はバッテリーで駆動する 경우가多く、電力消費を抑えるため、電波強度が低く設定されることがある。そのため、提案システムにおいて想定する端末の電波強度は、WAP の電波強度より低いと仮定する。具体的には、図 6 に示すように WAP と端末の電波到達可能範囲を、それぞれ 100 m と 40m、各 WAP 間の距離を 80m とする。

今回のシミュレーションでは、インフラストラクチャモード側で用いるチャンネルを全て同一とした。

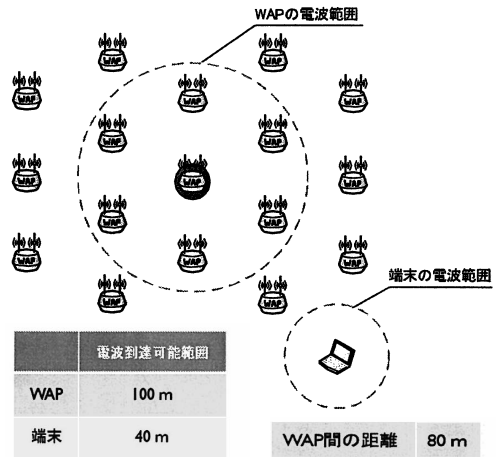


図 6 WAP の配置

5.2 端末間におけるスループットの比較

図 7 に示すようなネットワーク構成で提案システムと既存システムの比較評価を行った。フィールド上には、WAP を等間隔に 6 台配置し、背景負荷として通信経路が WAP_E と F を中継するような配置で 2 台の端末 (端末 C と D) に TCP 通信を行わせる。その上

で、スループット測定用に設置した2台の端末（端末AとB）に10秒間のTCP通信をさせ、そのスループットを計測した。なお、端末AはWAP_AとCの間のややWAP_Cに近い場所に配置した。

図8にスループットの比較を示す。既存システムのスループットが約2.5Mbpsであったのに対し、提案システムのスループットは約4.2Mbpsであった。既存システムのスループットが低いのは、WAP_Cが端末CとDの通信経路上にあるWAP_Eから発せられる電波の影響を受けた事が原因である。つまり、既存システムでは、よりプローブ応答の電波強度が強いWAPと接続関係を確立するため、端末AはWAP_Cと接続関係を確立してしまい、端末A・Bと端末C・Dの通信がWAP_CとEによって互いに干渉しながら通信を行うのに対し、提案システムではWAP_Cが発するプローブ応答の電波強度が弱くなるため、よりプローブ応答の電波強度が強いWAP_Aと接続関係を確立したため、端末A・Bの通信と端末C・Dの通信は互いに干渉することなく行われるためである。

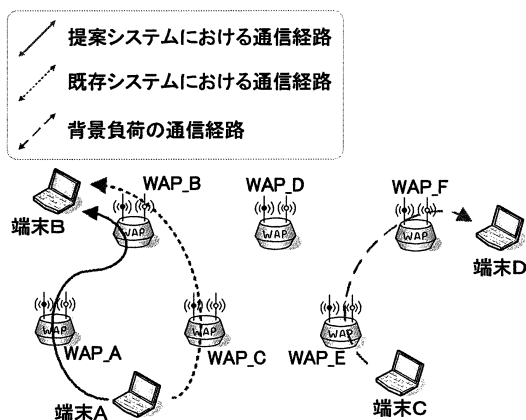


図7 端末間のスループット比較におけるシミュレーションのネットワーク構成

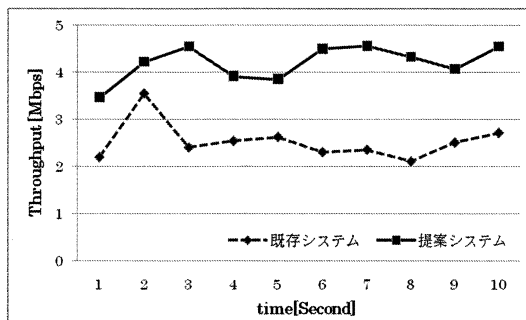


図8 スループットの比較 (その1)

5.3 通信が集中するネットワーク構成におけるシミュレーション

ネットワークにゲートウェイなどが存在することにより、通信が一つのWAPに集中してしまう環境が考えられる。そこで、図9に示すようなネットワーク構成で提案システムと既存システムの比較評価を行った。フィールド上には、WAPを等間隔に7台配置し、中央のWAPをゲートウェイと見立て、隣接するWAPから通信が集中するように、背景負荷端末を隣接WAPの配下にそれぞれ1台ずつ配置する。その上で、スループット測定用に2台の端末をランダムに設置し、10秒間のTCP通信をさせ、そのスループットを計測した。また、背景負荷を増すために背景負荷端末が発するパケットのデータサイズを大きくしていく。

図10にスループットの比較を示す。既存システムのスループットが約1.57Mbpsであったのに対し、提案システムのスループットは約2.43Mbpsであった。

提案システムでは、スループットを計測用の通信が端末輻輳状態に陥っている中央のWAPとの接続を極力避けるため、場合によっては既存システムより冗長な経路を通ってしまいスループットの低下を招く可能性があるが、それ以外の場合においてスループットが向上するため、結果として既存システムよりスループットが高くなったものと考えられる。

以上のシミュレーション結果から、提案システムがネットワークの輻輳状態を改善し得ることが分かる。

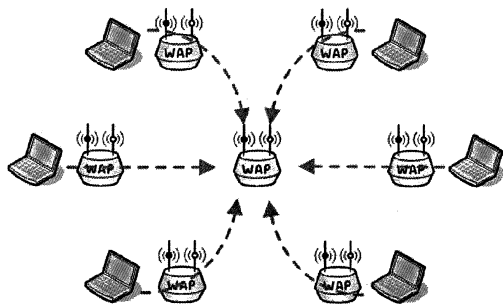


図 9 通信が集中するネットワーク構成におけるシミュレーションのネットワーク構成

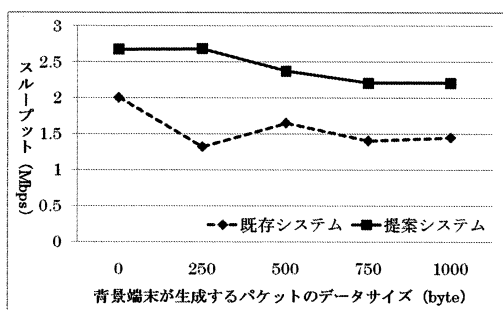


図 10 スループットの比較 (その 2)

6. むすび

WAP が常に自身のアドホックモード側のトラフィックを把握し、プローブ要求を受け取った時の自身のトラフィックの状態に応じて、プローブ応答の電波強度を調整することにより輻輳を改善し、ネットワークのスループットの低下を防ぐ方法を提案した。

プローブ応答の電波強度が弱まると端末に選択される可能性が低くなるため、輻輳が大きい WAP は電波強度を弱めてプローブ応答を返すことにより、輻輳が大きい WAP が端末に選択される可能性を低くなる。

そのため、WAP の輻輳状態が平均化され、ネットワーク全体のスループット改善を図ることができる。

シミュレーションにより簡単なネットワーク構成においては提案システムが有用であることを示した。今後は、大規模なネットワーク構成において移動端末による通信を行った場合などの評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 福田豊, 藤原暁宏, 鶴正人, 尾家祐二: 無線 LAN における AP 選択戦略に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.433, pp. 1-4, Nov, 2004.
- [2] 福田豊, 福田淳平, 尾家祐二: 無線 LAN における自律的なアクセスポイント選択方式-浸透性と強靱性の検証-, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.689, pp. 155-160, Feb, 2004.
- [3] 平田千浩, 渡辺浩文, 大島勝志, 鈴木健二: 無線 LAN における最適なアクセスポイント選択手法, マルチメディア, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02008)シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウム, Vol. 2008, No. 1.
- [4] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワーク”WAPL”の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.-, Jun.2008.
- [5] 加藤佳之, 伊藤将司, 渡邊晃: 無線アクセスポイントリンク”WAPL”の提案と評価, “マルチメディア, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02007)シンポジウム論文集”, 情報処理学会シンポジウム, Vol. 2007, No. 1.
- [6] 大和田泰伯, 照井宏康, 間瀬憲一, 今井博英: マルチホップ無線 LAN の提案と実装, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.11, pp.2092-2102
- [7] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬憲一: アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.6, pp.811-823
- [8] 高橋ひとみ, 斉藤匡人, 間博人, 戸辺義人, 徳田英幸: MANET における TCP スループット

- ト推定による経路選択機構の実環境評価, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2857-2870, Dec.2005.
- [9] MeshNetworks,
<http://www.motolora.com>
- [10] IEEE802.11,
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [11] Packethop
<http://www.packethop.com>
- [12] Metro Mesh
<http://www.tropos.com/>
- [13] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [14] Navda, V., Kashyap, A. and Das, S.R.:
Design and evaluation of iMesh: an infrastructure mode wireless mesh network, World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, pp.164–170, 2005.
- [15] Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005).
- [16] Chen, J. and Chen, Y.-D.: AMNP: Ad Hoc Multichannel Negotiation Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks, IEEE International Conference on Communication (2004).
- [17] A.Yair, et al., "Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks", MobiSys'06, June 19-22, 2006.
- [18] N.Vishnu, et al., "Design and Evaluation of iMesh: an Infrastructure-mode Wireless Mesh Network", WoWMoM2005, 13-16 June 2005.
- [19] Michael Bahr, "Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks", WICON'06, Aug 2-5, 2006.