

実環境を考慮した 無線 LAN メッシュネットワーク構築法の提案

遠藤零始[†] 白石陽^{††} 高橋修^{††}

無線 LAN メッシュネットワークの研究は広く行われているが、その前提として、メッシュポイントが格子状に配置される場合がほとんどであり、密度が一定の環境で評価を行っている。しかし、実環境への適用を考えた場合、メッシュポイントが格子状に配置され密度が一定になることは考えにくい。そこで、本稿では無線 LAN メッシュネットワーク方式に対して不規則にメッシュポイントが配置されている環境における性能評価を行い、不規則な配置によって発生する部分的な短距離リンクによる問題点を指摘する。そして、その問題点を解決するための実環境を考慮したクラスタリングによる無線 LAN メッシュネットワーク構築方式の提案を行う。

A Method to Construct Wireless LAN Mesh Networks in Real Environments

REIJI ENDOH[†] YOH SHIRAISHI^{††}
OSAMU TAKAHASHI^{††}

Wireless LAN Mesh Network has been researched generally. In case of evaluation, the mesh points are arranged in a grid pattern and uniformity density. However, it is not imagining that the mesh points arranged in a grid pattern and uniformity density when practical use stage of Wireless LAN Mesh Network. So, in this paper evaluate the performance of the Wireless LAN Mesh Network in the random arranged mesh points. We point out problems based on partially short distance link. Then we propose a method to construct Wireless LAN Mesh Networks in real environments.

1. はじめに

近年、パーソナルコンピュータや PDA などの情報端末にとどまらずゲーム機や携帯電話など、データ通信手段として無線 LAN を利用する機器が増えてきている。また、通信インフラとして公衆無線 LAN が広まりつつある。このことから、通信容量の増量と通信範囲の拡大を容易に可能とする技術が求められており、その要求に応えられる技術として、無線 LAN メッシュネットワーク [1][2] (Wireless LAN Mesh Network, 以下 WMN) がある。WMN の概念は、複数の無線 LAN アクセスポイント (Wireless LAN Access Point, 以下 AP) 間を無線通信で接続することにより、バックボーン回線を構築可能とするものである。

WMN における既存研究では、隠れ端末や晒し端末の問題 [3]、輻輳制御 [4]、QoS、スループットの向上に対する取り組み [5] や、使用例として災害時への適用方法の検討 [6][7] が行われている。その条件として、AP が規則的に配置され、設置密度が均一である場合を想定していることがほとんどであり、より実環境に近い不規則に配置された場合の研究事例は無い。

しかし、WMN が実環境へ適用される段階になった場合に、AP が規則的に設置される可能性がほとんど無いと考える。そこで、本稿では規則的ではなく不規則に配置された場合を想定する。その場合に部分的に AP の密度が高くなることで短距離リンクが集中してしまい、ホップ数と遅延時間の増加の可能性があるといった問題点を提示する。また、その問題点を解決する方法として、AP をクラスタリングによって区切り、クラスタ内で特定かつ少数の AP だけを優先的に稼働させるために優先度を設け、最も適切な AP を選出できるようにする。これによって効率的に通信できるようにネットワークの構築を行う方法を提案する。

本稿の流れは以下のようなになる。まず、WMN の概要を説明し、シミュレーション実験によって実用化段階で起こりうる問題点を明示する。その後、対処手法の提案と説明を行い、最後に今後の方針について述べる。

2. 無線 LAN メッシュネットワーク

図 1 に一般的な無線 LAN (802.11a/b/g) のネットワークの概要図を示す。AP は有線ネットワークと無線ネットワークの 2 つのネットワークインタフェースを備えており、無線側で端末 (Station, 以下 STA) を収容し有線側に転送を行っている。

* [†] 公立はこだて未来大学大学院
Graduate School of Future University-Hakodate
^{††} 公立はこだて未来大学
Future University-Hakodate

図 2 には WMN の概要図を示す。メッシュポイント (Mesh Point, 以下 MP) は WMN のノードであり、受け取ったフレームを転送する機能を備えている。メッシュアクセスポイント (Mesh Access Point, 以下 MAP) は MP がアクセスポイントの機能を有したものであり、STA は MAP を介して WMN に接続を行う。メッシュポイントポータル (Mesh Point collocated with a mesh Portal, 以下 MPP) は MP が有線ネットワークへゲートウェイ機能を有したものであり、WMN は MPP を介して外部の有線ネットワークへ接続される。MP・MAP・MPP はアドホックネットワーク (Ad-hoc Network) によって接続されており、それにより無線のバックボーン回線を構築している。STA は MAP に収容されるが、この収容するネットワークをインフラストラクチャネットワーク (Infrastructure Network) と呼んでいる。

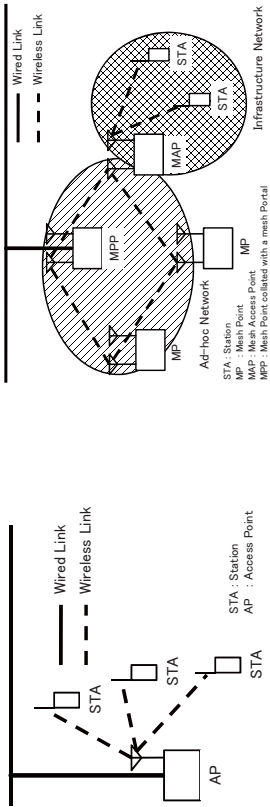


図 1 無線 LAN

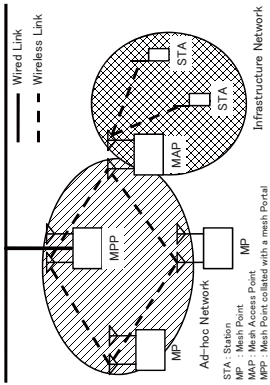


図 2 無線 LAN メッシュネットワーク

本稿で扱う無線 LAN メッシュネットワークは、複数の MP が不規則かつ不均一に配置されている環境で、MP を物理的に移動させないことを条件とする。

一般にこれまでの研究例では、WMN の性能評価を行う場合、MP および MAP・MPP は規則的に配置されている。しかし、実環境へ適用するため、MP などの配置が規則的になることが良いように配置されることが予想されるため、MP などの配置が規則的になることは考えにくい。同様に、情報家電ネットワークへ応用[8]する場合には、端末の密度は場所によって異なるようになり、規則的な配置とはほど遠い配置となりうる。

3. MP の配置と性能の関係

3.1 評価環境

MP (以下では簡略化のために MP と MAP を含めて MP と記す) を規則的な配置ではなく不規則に配置させた場合に起こりうる問題点を明示するために、OPNET[9]を用いてシミュレーションを行った。本稿では WMN の MP 間における通信のみを評価対象としているため MP が直接データの生成と受信を行うこととし、End-End 間の遅延

とパケットドロップ数の比較を行った。また、MP 間のルーティングプロトコルとして、リアクティブ型とプロアクティブ型で性能に差が出る可能性があることを考慮して、リアクティブ型は AODV を、プロアクティブ型は OLSR を用いて評価する。

実験パラメータは表 1 に示す。不規則な配置においては MP 数を規則的な配置と同じにした場合、MP 間の距離が離れすぎでしまい通信不可能になる結果が想定されるため、不規則な配置における MP 数を増やして比較することとする。

表 1 実験パラメータ

パラーン	(1)	(2)	(3)	(4)
配置	格子状			
MP数	9			
通信規格	IEEE802.11g (54Mbps)			
無線出力	0.01W (通信可能距離250m程度)			
エリア保護	1000m x 1000m			
ルーティングプロトコル	AODV			
シミュレーション時間	300sec			

規則的な配置、不規則な配置それぞれにおける MP の位置を図 3、図 4 に示す。

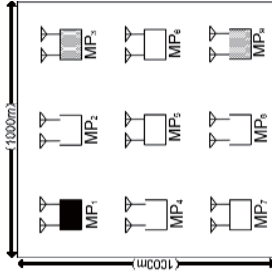


図 3 規則的な配置

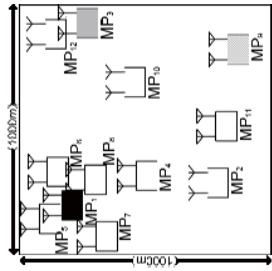


図 4 不規則な配置

本論文では MP 間の通信品質に着目しているため、網掛けで塗られている MP₃ および MP₉ がデータの生成を行っており、黒の塗り潰しがされている MP₁ がそのデータを受け取るように設定している。

3.2 シミュレーション評価

本評価において、MP_α から MP_β へ通信を Com (MP_α, MP_β) と定義する。遅延時間のグラフは、縦軸が遅延時間 (sec) で、横軸が評価時間 (sec) となっている。ドロップパケット数のグラフは、縦軸が 1 秒間あたりにドロップしたパケットの個数で

横軸が評価時間 (sec) となっている,

(1) 規則的な配置で AODV を用いた場合

MP を図 3 のような規則的な配置にし、ルーティングプロトコルとして AODV を用いた場合におけるシミュレーションを行った。

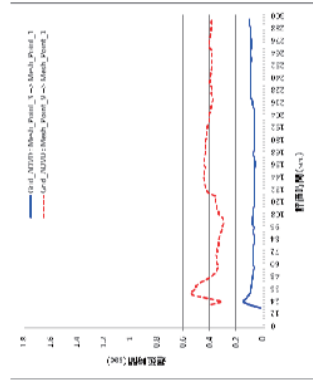


図 5 平均遅延時間 (規則的, AODV)

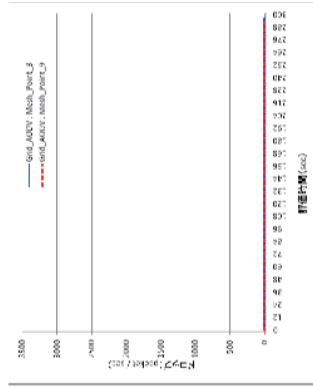


図 6 ドロップパケット数 (規則的, AODV)

Com (MP₃, MP₁) は平均して約 2 ホップの通信で, Com (MP₉, MP₁) は平均して約 3 ホップの通信であった。図 5 から, Com (MP₃, MP₁) よりも Com (MP₉, MP₁) の平均遅延時間が大きいことがわかり, そこから遅延は距離 (ホップ数) に応じて増えているといえる。また, 図 6 ではパケットのドロップは確認されなかった。

(2) 規則的な配置で OLSR を用いた場合

MP を図 3 のような規則的な配置にし、ルーティングプロトコルとして OLSR を用いた場合におけるシミュレーションを行った。

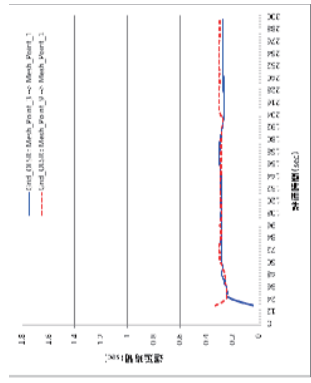


図 7 平均遅延時間 (規則的, OLSR)

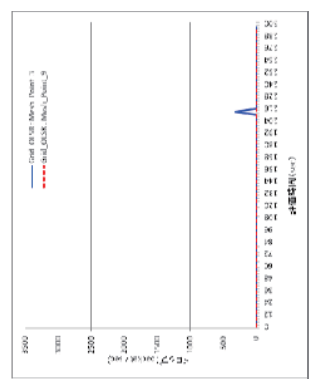


図 8 ドロップパケット数 (規則的, OLSR)

Com (MP₃, MP₁) も, Com (MP₉, MP₁) も共に平均して約 2 ホップの通信であった。図 7 から, 遅延時間は安定しており, その値は前記(1)の図 5 の 2 つの値の平均値と近いものになっていることがわかる。また, 図 8 ではパケットのドロップが確認されている。

(3) 不規則な配置で AODV を用いた場合

MP を図 4 のような不規則に配置し, ルーティングプロトコルとして AODV を用いた場合におけるシミュレーションを行った。

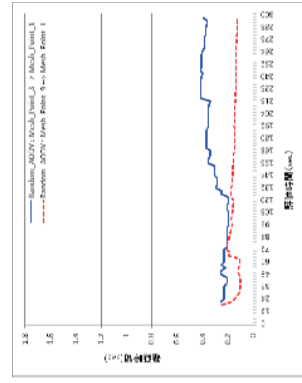


図 9 平均遅延時間 (不規則, AODV)

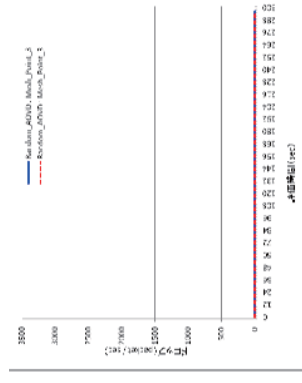


図 10 ドロップパケット数 (不規則, AODV)

Com (MP₃, MP₁) も, Com (MP₉, MP₁) も共に平均して約 3 ホップの通信であった。図 9 から, Com (MP₃, MP₁) の平均遅延時間が Com (MP₉, MP₁) の場合よりも大きくなっていることがわかる。これは Com (MP₃, MP₁) の通信経路上で中継している MP への負荷が高まってしまったことが原因であると考えられる。また, 図 10 ではパケットのドロップは確認されなかった。

(4) 不規則な配置で OLSR を用いた場合

MP を図 4 のような不規則に配置し, ルーティングプロトコルとして OLSR を用いた場合におけるシミュレーションを行った。

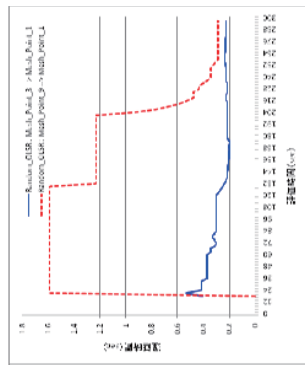


図 11 平均遅延時間 (不規則, OLSR)

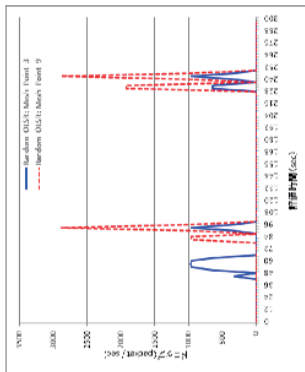


図 12 ドロップパケット数 (不規則, OLSR)

その結果から、Com (MP₃, MP₁) の場合も、Com (MP₉, MP₁) の場合も共に平均して約3ホップの通信であった。図 11 から Com (MP₉, MP₁) の平均遅延時間が非常に大きいことがわかる。この原因として、図 12 からわかるとおりパケットのドロップ数が非常に多いことが関連していると考ええる。また、Com (MP₉, MP₁) の通信が断続的になっており、ほとんど通信ができない状態があった。

3.3 評価結果のまとめ

3.2 節から、MP が図 4 の不規則な配置の場合には通信品質が低下することがわかる。これは MP を不規則配置したために、図 13 の波線で囲まれた部分のように MP が密に配置される部分ができしまい、短距離リンクが多く生成されていたことが原因であると考えられる。規則的な配置の場合には、遅延時間に大きなばらつきもなく、パケットのドロップもほとんど発生していないことから、通信は安定していると言える。

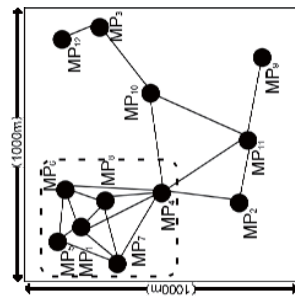


図 13 不規則配置のトポロジ

また、ルーティングプロトコルによる違いでは、規則的な配置の場合に、OLSR でパケットのドロップが確認された。これは AODV の場合よりホップ数が小さいことがか

ら、通信可能距離の限界付近で通信していたため発生したと考えられる。不規則な配置の場合には、通信不可能な状況が発生したことから遅延時間が非常に大きくなる場合とが確認されている。しかし、OLSR の場合には規則的な配置でホップ数が大きい場合にも遅延時間が安定するという結果も出ており、ホップ数が小さい場合にはリアクティブ型を適用し、ホップ数が大きい場合にはプロアクティブ型を適用する、といったように場合によってルーティング方式を切り替える仕組みが必要であると考ええる。

4. 提案方式

4.1 基本的な考え方

3.3 節で述べたように通信品質の劣化は、MP の配置密度にむらがあり、そのために短距離リンクが発生してしまったことが原因であると考ええる。そこで図 14 のように複数の MP を正方形のクラスタによってクラスタリングを行い、クラスタ内で中継機能の有効な MP を制限することで、問題の解決をする方式を提案する。提案方式ではクラスタ生成の容易さと、提案方式適用後の WMN が規則的な配置に近くなることから、クラスタの形状を正方形とした。なお、本稿ではクラスタの位置はあらかじめ定義されていると仮定する。

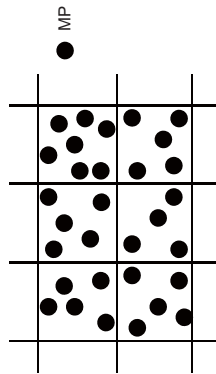


図 14 クラスタリング

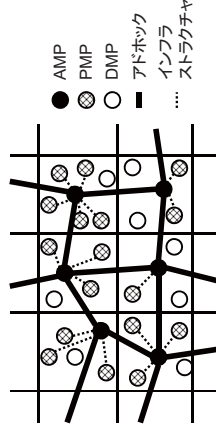


図 15 分類後の WMN

MP のクラスタリングを行ったあと、クラスタ中の特定の MP 以外の MP はアクセスポイント機能を停止させ、STA として機能させるか、または休止させるようにする。これによって、アクセスポイント機能が有効な MP を減らしながらも、STA として機能する MP などが送信する情報も相互に交換することができ、正方形のクラスタを並べ、格子状にクラスタリングすることによって、WMN を図 15 のような格子状に近い形に近づき、密度を一定に近づけることが可能となることにより、通信品質の劣化をおさえる。

提案方式は以下の手順で構成される。

1. ビーコンによる情報共有
各 MP は自身の状態を定期的に周囲へ通知する。
2. クラスタリング
クラスタ毎に割り当てられた ID を元にクラスタを形成する。
3. MP の分類
ビーコンの情報を元に MP を以下の 3 つに分類し、動作させる。
Active Mesh Point : クラスタ内でアクセスポイント機能を有効化できる MP
Pause Mesh Point : クラスタ内でアクセスポイント機能を無効化する MP
Dead Mesh Point : クラスタ内で全く機能できない MP
4. クラスタ間で WMN の構築
AMP 間にリンクを生成して WMN の構築する。
5. WMN を用いて通信
AMP が収容した STA・PMP のデータを WMN で送受信する。

4.2 詳細手順

本節では、MP の分類、ビーコンに含める情報、クラスタ間のリンク生成方法、WMN による通信方法についての詳細を説明する。

4.2.1 MP の分類

クラスタ内の MP は必ず以下の 3 つの MP のいずれかに分類され、それぞれが特定の動作で機能することによって、提案方式が有効に稼働する。

(1) AMP(Active Mesh Point)

AMP はクラスタ内でアクセスポイント機能を有効化できる MP のことを示す。クラスタ内にあるすべての MPP は AMP になることができる。クラスタ内に MPP が無い場合、またはアクセスポイント機能を持たない MPP しかない場合には 1 つの MP のみが AMP に選ばれる。

AMP の選出は表 2 の優先度に従って行われる。

表 2 AMP 選出の優先度

MP の種類		優先度
MPP	中継のみ	5
	中継以外も	4
MAP	中継以外も	3
	中継のみ	2
MP	中継以外も	1

優先度が 4 以下で同一の MP が複数個ある場合には図 16 に示すフローチャートに従って AMP の選出を行う。MP を稼働させている電源がバッテリーである場合には、最もバッテリー残量が多い MP が AMP となる。このとき一度 AMP となった MP は残量が

5%を下回るまで AMP として機能し、5%を下回った際に再度選出を行い、AMP を切り替える動作を行う。電源が有線からの給電である場合には、クラスタの中央に最も近い MP が優先的に AMP に選ばれる。

(2) PMP(Pause Mesh Point)

PMP はクラスタ内でアクセスポイント機能を無効化する MP のことを示す。単に通信の中継のみをしていた MP は、機能を休止状態にして待機状態となる。一方、通信の中継以外にも機能していた MP は、アクセスポイント機能を無効化してクラスタ内の AMP の STA となり通信を行う。これによりインフラストラクチャネットワーク側の通信チャネルに余裕を持たせることが可能となると同時に、WMN の簡略化しながら必要な通信を継続させることが可能となる。

(3) DMP(Dead Mesh Point)

DMP はクラスタ内で全く機能できない MP のことを示す。電源がバッテリーによる稼働でその残量が尽きた場合や、何らかの理由で MP が故障した場合などに機能できなくなった MP が DMP となる。DMP はネットワークに参加することが不可能なため、その存在を周囲の MP は DMP を検知できないが、それは問題とならない。

4.2.2 ビーコン

MP の分類に用いるための情報は、各 MP が定期的にビーコンを送信し自身の状態を周囲に通知することによって得る。表 3 にビーコンに含まれる情報を示す。固定情報は MP が初めから保持している情報であり、Location Data は世界測地系の位置情報、Mesh Point ID (Mesh Point ID, 以下 MPID) は MP の識別子、クラスタ ID (Cluster ID, 以下 CID) は MP が所属しているクラスタとの位置関係 (Neighbor Relation, 以下 NR) は周辺のクラスタとの位置関係を示す。可変情報は MP の状態によって変化する情報であり、Power Supply は MP への電供給方法の情報、Battery Remaining は MP がバッテリー内蔵である場合にその残量の情報、MP Type は MP が MPP・MAP・MP であるかを示す情報、MP Class は MP が AMP・PMP・DMP であるかを示す。

表 3 ビーコン情報

固定情報	Location Data (WGS84)
	Mesh Point ID
	Cluster ID
	Neighbor Relation
可変情報	Power Supply
	Battery Remaining
	MP Type
	MP Class

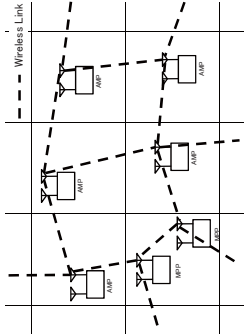


図 17 メッシュネットワーク構成例

分類に用いるピーコンは、CID が同じ情報のみを利用するように設定されており、これによってクラスタ内にのみ有効となるように送信される。

4.2.3 クラスタ間リンクの生成

各クラスタには AMP または MPP が存在し、AMP の場合には 1 つのクラスタに 1 つの AMP のみが MP として機能しており、MPP の場合にはそのクラスタに存在するすべての MPP が機能している。WMN は図 17 のような無線リンクを形成する。なお、図 17 では MPP が 1 つのクラスタに複数ある場合を示すために、AMP ではなく MPP と表記している。リンクは上下左右の近接クラスタに対してのみ生成され、これにより格子状に近いネットワークを形成することが出来る。

各 AMP または MPP がリンクを生成する際に、NR が上下左右のクラスタを認識するために利用される。NR は図 18 のように割り当てられた 9 進数の整数で定義されており、D を正の整数とした場合に、表 4 の関係性から近接クラスタの NR を判断することが可能となっている。

表 4 近隣クラスタの NR の関係性

My NR Value	Upper Cluster NR Value	Bottom Cluster NR Value	Left Cluster NR Value	Right Cluster NR Value
3+D = M	M-3	M+3	M-1	M-2
3+D-1 = M				M+1
3+D-2 = M			M+2	

図 18 NR の割り当て図

そこから NR を指定してメッセージを送り、該当する NR の AMP または MPP が自身の MPID を返信することによって近隣クラスタへのみリンクを生成することが可能となる。

4.2.4 WMN による通信

クラスタ内の通信は AMP が集約して WMN に転送を行う。提案方式では STA への変更最下限にするために、WMN でイーサネットフレームの転送を行う。そのため MAC アドレスを用いたルーティングを行うこととする。3.3 で述べたとおり、転送先へのホップ数に応じてリアクティブ型とプロアクティブ型を切り替え、安定した通信を可能とする。

5. まとめと今後の課題

本稿では WMN が実環境へ適用された場合に、MP が不規則に配置されることによって通信品質の低下の問題が起こる可能性を示した。また、その問題を解決する方法

として、クラスタリングと MP の分類によって WMN の構築を行う方法の提案した。提案方式は、クラスタリングによって密度が一定な WMN の構築を行うが、クラスタリングのための MP の分離によって WMN を構成するリンクが少なくなることから、ネットワークの容量が少なくなること、リンク数に応じてクラスタの大きさを変えるようにする必要がある。また、クラスタリングを行う際に MP が少ない場合にはそもそも MP 間で通信できないということも発生する可能性がある。

今後は、提案方式を拡張するとともに、フレームのルーティングプロトコルの開発を行い、ネットワークシミュレータに実装して、提案方式の有効性を評価する。

参考文献

- 1) Y.Matsumoto, J.Hagiwara, A.Fujiwara, H.Aoki, A.Yamada, S.takeda, K.Yagyu, F.Nuno: A Prospective Mesh Network based Platform for Universal Mobile Communication Service, 電子情報通信学会総大会講演論文集, 2004 年_通信(1), p.732 (2008).
- 2) 間瀬憲一, 阪田史郎: アドホック・メッシュネットワーク ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて, 初版第 1 刷発行, コロナ社
- 3) 新井田博之, ノクパリンタンヌウォン, 藤原敏秀, 阪田史郎, 関屋大雄, 柳生健吾, 藤原淳: 無線 LAN メッシュネットワークにおける隠れ端末問題に起因する不公平性について, 電子情報通信学会総大会講演論文集, 2006 年_通信(2), pp.615 (2006).
- 4) 樋口豊章, 伊藤将志, 渡邊晃: 無線メッシュネットワークにおける輻輳改善の提案, DICO2008 シンポジウム論文集, Vol.2008, No.1, pp. 108 – 111 (2008).
- 5) 高橋義彦, 兼子陽市郎, 間瀬憲一: 無線メッシュネットワークにおける高スループット経路選択に関する実験的検証, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.42, pp.25-30 (2006).
- 6) 間瀬憲一: 大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.9, pp. 796-800 (2006).
- 7) 山崎浩司, 伊藤将司, 渡辺晃: 被災地内にインフラを再構築する研究, DICO2007 シンポジウム論文集, Vol.2007, No.1, pp.744-748 (2007).
- 8) 藤原淳, 青木秀憲, 大矢智之: 無線 LAN メッシュネットワーク (IEEE802.11s) を利用した情報家電ネットワーク, 電子情報通信学会総大会講演論文集, 2006 年_情報・システム(1), pp."SS-6"- "SS-7" (2006).
- 9) OPNET, <http://www.opnet.com>