

無線 LAN の実験Ⅲ

— モバイル(車両)によるメッシュネットワークの性能 —

2006 年 3 月

モバイルブロードバンド協会
ハードウェア分科会

目次

| | |
|--------------------------------|----|
| 1. 緒言..... | 3 |
| 2. 実験概要..... | 3 |
| 2.1 概要..... | 3 |
| 2.2. メッシュネットワークと GPS について..... | 4 |
| 2.3. 環境・場所..... | 6 |
| 3. 実験方法..... | 7 |
| 3.1. 概要..... | 7 |
| 3.2. 実験システム..... | 7 |
| 3.3. 測定手順..... | 9 |
| 3.4. 集計手順..... | 9 |
| 3.5. 実験機材..... | 10 |
| 4. 結果..... | 11 |
| 4.1. 実験 1 : PING 接続測定..... | 11 |
| 4.2. 実験 2 : ホップ数測定..... | 12 |
| 5. まとめと考察..... | 14 |
| 5.1. 考察..... | 14 |
| 5.2. まとめ..... | 15 |
| 6. 結言..... | 15 |
| 謝辞..... | 16 |

1. 緒言

モバイルブロードバンド協会ハードウェア分科会では、以前より、無線 LAN について、実際の利用環境における性能の評価を行ったり、諸々の規格をさまざまな環境下において性能比較を行うなど各種の実験評価を進めてきた。しかし、これらはいずれも限定された比較的狭い固定エリア内での実用性能を把握するものであった。そこでこの度は、広域エリアにおける無線サービスの実現可能性の高い Adhoc ネットワークである、メッシュネットワークを評価することにした。特にメッシュネットワークの自律構成機能、ホッピング機能に着目し、一般フィールドにおける実用的な性能を把握することをポイントとして実験を企画した。

いうまでもなくメッシュネットワークは複数のクライアントデバイスが瞬時に相互接続して網目（メッシュ）状のネットワークを構築する技術である。クライアントデバイス自身がルーターの機能を持つと言う点が在来の無線 LAN との大きな違いであり、バックボーンにはクライアントデバイスの何れか一台が接続していれば全てのクライアントデバイスでインターネット接続サービスを利用することができる。こうした特徴から、基地局開設の自由度が高まるなど、無線 LAN のあり方が大きく変わる可能性も期待できる。

今回は、いままでの固定基地局方式ではなく、複数の乗用車を使い、ここにメッシュネットワーク装置(AP)をモバイル状かつダイナミックに配置し、市街地を移動させながら通信（ホッピング）の実用性の評価を行ってみた。実験システムは、伊藤忠商事株式会社の協力を得て、MeshNetworks 社製の機器を使用し、またさらに早稲田大学の協力を得て、同学近傍の市街地で実験検証をおこなった。

2. 実験概要

2.1 概要

公衆無線 LAN サービスなどで広範囲のエリアにわたりサービスを提供する場合には、複数のアクセスポイントの設置だけではなく、それぞれバックボーンとして光ファイバ等の敷設が必要となりエリア拡張の柔軟性が限られていたが、近年ではメッシュネットワークの特長であるネットワークの自律構成機能を用いてバックボーンを無線化し、拡張の柔軟性を損なわないようにすることが注目されている。このメッシュネットワークの機能を活用すれば移動中の自動車だけでネットワークを形成する事も可能となり、車車間で相互通信を行うなど幅広く応用できるようになるものと考えられる。

本実験ではこれらの装置を複数台の自動車に搭載して実際に走行し、それぞれの現在位置、接続状況を記録する事、及び実際にネットワークアプリケーションを動作させてその実用性の評価を行う事を目的とする。

2.2. メッシュネットワークと GPS について

本実験では米国モトローラ社のメッシュネットワーク技術を利用した。この技術は下記アドホックネットワーク通信機能をサポートしている。

1) セルフ・フォーミング

ノードが参加／離脱／移動した場合でも、各ノードが構成変化を検出し、ネットワークを自動形成する。

2) セルフ・ヒーリング

中継ノードの停止、或いは障害物または距離による見通し内通信に妨害が起きた場合においても、各ノードはこの変化を検出し、最適な他経路を選択することで、安定したネットワークを保つ。

3) セルフ・バランシング

各ノードは、パケット転送処理が混雑しているノードを検出し、一定の条件下で、自動的に負荷の低いノードを選択して、ネットワークとしての混雑を回避する。

4) マルチホップ

各ノードはパケット中継機能も持っており、ノード間をホッピングして通信を行う。

5) 高速ハンドオーバ

マルチホップ通信している状況下で、各ノードが高速移動しても通信が可能である。また、複数のアクセスポイントに跨ったノードの高速移動にも対応している。

メッシュネットワークのクライアントは PC カードの形で提供されており、PC に差し込むだけで簡単に IP ネットワークを構築することができる。それを活かして今回の実験も市販の GPS と組み合わせることで車に持ち込むことによって車車間通信ネットワークを実現し、同時に位置情報を取得した。

| | | |
|----------|-----------|--|
| 無線部仕様 | チップセット | MeshNetworks MN2064 |
| | 出力 | 18dBm 以内 |
| | 無線アクセス方式 | QDMA™ |
| | 利用周波数帯 | 2.4 - 2.4835 (2nd ISM Band) |
| | データ転送速度 | 最大 3Mbps (バーストモード) |
| | 利用帯域 | 80MHz |
| | アンテナ形式 | 無指向、2dBi 他アンテナ (オプション) |
| | アンテナコネクタ | MMCX |
| ネットワーク管理 | 管理プロトコル | SNMP V1/V3 |
| 電気仕様 | 必要電源 | 3.3V (PCMCIA TYPE II) |
| | 消費電力 | 最大 3.3W (送信 1A/受信 450mA) |
| 物理仕様 | 寸法 | 8.6cm×5.4cm×0.5cm (アンテナを除く) |
| | 重量 | 30.8g |
| | インターフェース | PCMCIA TYPE II |
| | LED | 送信および受信 |
| 環境仕様 | 防塵・防水性能、等 | NEMA 4 対応 |
| | 動作温度/湿度範囲 | 温度 -35 ~ 55°C、湿度 0~100% |
| 他 | 対応 OS | Windows2000/XP、PocketPC2002/2003 |
| | 認可 | 日本 (工事設計認証取得)、米国 (FCC)、 欧州 (ETSI)、CE Mark |

表 1 WMC6300(Wireless Modem Card)仕様



図 1 WMC6300(Wireless Modem Card)外観

2.3. 環境・場所

実験コースは東京都新宿区西早稲田二丁目、三丁目及び高田馬場一丁目の早稲田大学近辺の明治通り、早稲田通り周辺とする。実験コースを図2に示す。

道路の両側には、ほぼ常に2階建以上のビルや民家等の建造物が並んでいる。また、実験の時間帯には、バスやトラック等も通行している。特に、明治通りと早稲田通りは交通量が多く、バスやトラックの死角に入ることもしばしばあった。

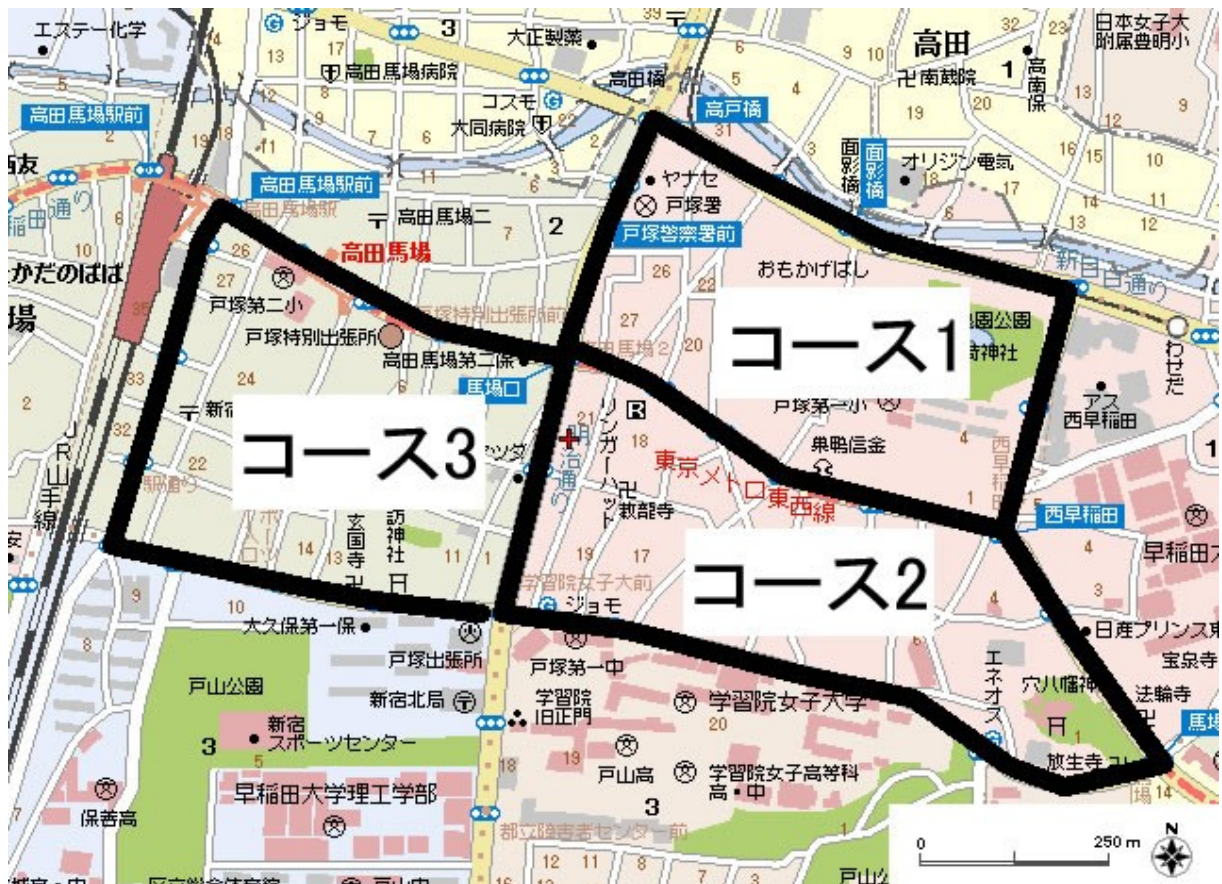


図2 実験コース

コース1は2周、コース2は3周、コース3は2周、それぞれ反時計回りに周回した。

コース1は早稲田通り、明治通り、新目白通りに囲まれた部分で、一周約1.8kmである。早稲田通り以外の道路では、比較的平坦な道が続いており、直線上での見通しは比較的よい。しかし、早稲田通りでは、緩やかなカーブと下り坂のため、あまり見通しはよくない。

コース2は早稲田通り、明治通り、諏訪通りに囲まれた部分で、一周およそ2.3kmである。諏訪通りの部分は総じて緩やかな下り坂が続いている。

コース 3 は早稲田通り、明治通り、諏訪通り、高田馬場駅通りに囲まれた部分で、一周およそ 1.8km である。高田馬場駅通りは緩やかな上り坂になっている。また、高田馬場駅通りは今回走行する他の道路の中でやや道幅が狭い。

3. 実験方法

3.1. 概要

実走行環境下でのメッシュネットワークの接続性能を確かめる実験を行った。実験機材を搭載した車両を 6 台用意し、最大 6 ノードからなるメッシュネットワークの構成状況を観察した。交差点、ビルなどの建物、他の走行車両等が存在する実際の道路上を走行させることで、実使用環境下での接続性能を確かめた。

3.2. 実験システム

実験システムは、ノート PC、PC カード型 MEA 端末、無指向型アンテナ、GPS 受信装置で構成される (図 3)。



図 3 実験機材

上記システムは、自動車に搭載される。それぞれの受信感度を良くするため、無指向型アンテナは自動車のボディー外側のルーフ中央部に、GPS受信装置はダッシュボード上に設置した(図4、図5)。この実験システムを搭載した自動車を6台用意した。



図4 アンテナ



図5 GPS

3.3. 測定手順

各ノード間のネットワーク疎通を確かめるため、ping コマンドを利用した。各ノードでは、1 秒おきに自分以外の全ノード（5 台）に対して、ping コマンドを行うスクリプトを動作させ、その結果を保存した。また、メッシュネットワークのノード構成状態の変化を確認するため、MEA に付属するソフトウェア「Mesh Viewer」を使い、観察した。このソフトウェアは、リアルタイムでメッシュネットワークのトポロジーの様子をグラフィカルに表示するものである。今回は機材の関係上、1 つのノード上での表示の様子をビデオカメラで撮影した。

また、アプリケーションレベルで、メッシュネットワークの接続性を確かめるため、VoIP やチャットソフトを利用し、適宜通信実験を試みた。

なお、今回のこの実験では、それぞれのノード（ノート PC）が時系列データを扱うため、測定開始の直前に全てのノードで時刻合せを行った。

各ノード間の距離は、信号や渋滞の状況により刻々と変化するものと予想される。

3.4. 集計手順

測定データとして、GPS ログ（位置情報）、PING ログ（他端末との接続の有無）、ROUTE ログ（ホップの状況）の三つが車両毎に得られる。これらは電子テキストファイルの形で PC に収集され、各レコードは秒単位の時刻情報を含んでいる。この秒単位の時刻をキーとして三つの測定データを統合し、「何時何分何秒にどの位置でどの端末とどのようなホップ形態で通信できたか、また相手端末との間には他に何台の端末が存在していたか¹」を車両毎に取りまとめる。

これらを車両間で照合し、GPS 位置情報²から同一時刻に於ける 2 端末間の距離を算出し、各距離段階別の接続可否の比率を集計する。これを同一距離に於ける接続率と呼ぶ事とし、2 端末の間に存在する他の端末の台数別に集計する。この一連の集計と分析を実験 1 とする。ここで接続率は次式によって表される値である。

$$\text{接続率(\%)} = \text{PING 成功回数} / \text{PING 実行回数} * 100$$

また、同じ照合作業から接続が可能であった場合のホップ数の状況について、距離段階別、間に存在する他の端末の台数別に集計を行う。この一連の集計と分析を実験 2 とする。

1 相手端末との間に存在する端末の数とホップ数とは、状況によって、一致するとは限らない。

2 測地系は実験全般について WGS-84 による事とし、GPS 及び GIS 等には然るべく設定を施した。

3.5. 実験機材

実験で使用した機材と数量の一覧を表 2 に示す。実験で使用した PC を表 3 に示す。それぞれの PC の仕様を表 4 に示す。

| 号車 | CPU | メモリー | OS |
|----|--------------------|-------|-----------------|
| 1 | Celeron 2.2GHz | 256MB | Windows2000 |
| 2 | PentiumIII 700MHz | 256MB | Windows2000 |
| 3 | PentiumM 1.0Ghz | 256MB | XP Professional |
| 4 | PentiumM 1.6GHz | 512MB | XP Professional |
| 5 | PentiumM 1.4GHz | 768MB | WindowsXP |
| 6 | PentiumIII 1130MHz | 128MB | Windows2000 |

表 2 PC の仕様

4. 結果

4.1. 実験 1：PING 接続測定

図 6 に実験 1 の測定結果を示す。

何れの場合も、距離が大きくなるにつれて、接続率が低下している。間 0 台存在（隣接ノード）よりも間 1 台存在、間 1 台存在よりも間 2 台存在、間 2 台存在よりも間 3 台存在の方が、ほぼすべての距離において高い接続率である。

間 0 台存在の場合、距離が 80m 以内であれば、接続率はほぼ 100 パーセント弱であるが、距離が 140m 以上になると接続率が約 50 パーセント前後まで低下する。一方、間 3 台存在の場合、距離が 140m でも接続率は 80 パーセント以上である。距離が 300m 付近になると、何れの場合も接続率は 20 パーセント前後まで低下する。

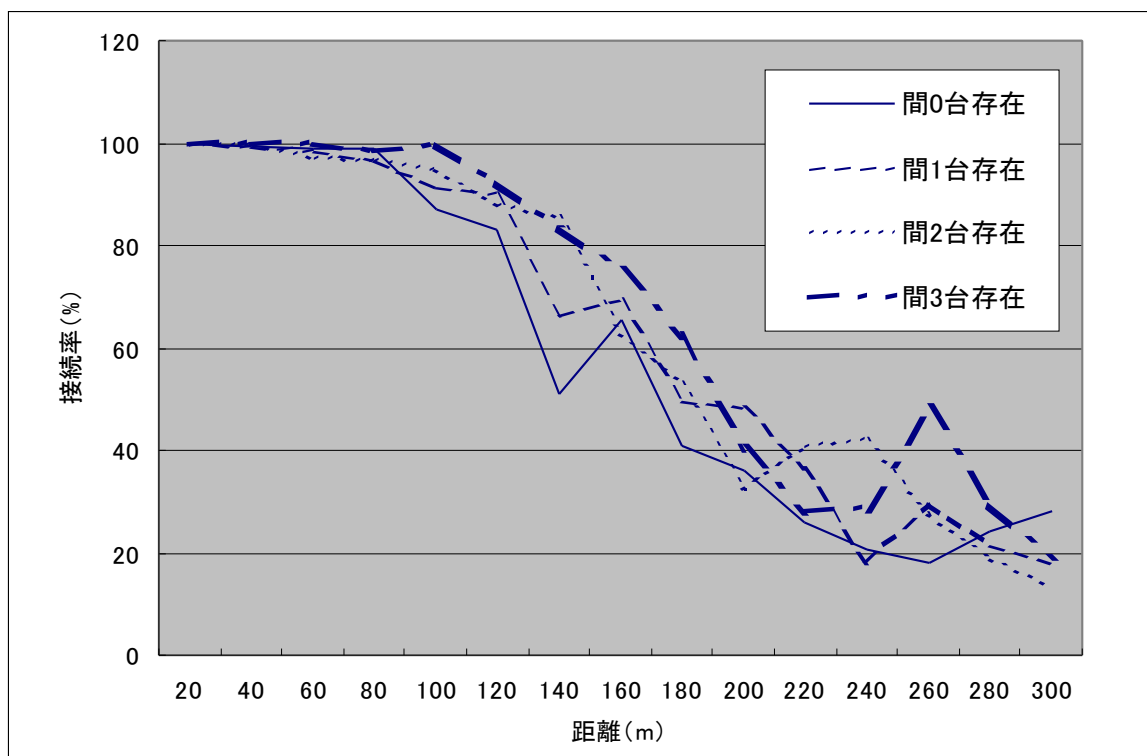


図 6 PING 接続測定の結果

4.2. 実験 2： ホップ数測定

図 7 に実験 2 の測定結果を示す。また、ホップ数が 2 の例を図 8 に、ホップ数が 4 の例を図 9 に示す。

間 0 台存在よりも間 1 台存在、間 1 台存在よりも間 2 台存在、間 2 台存在よりも間 3 台存在の方が、ほぼすべての距離においてホップ数が多い。通信端末間の距離が 60m 以内という比較的近い距離であれば、何れの場合もホップ数は 1 強で、それほど大きな差はない。しかし距離が大きくなるにつれて、間に端末が 1 台以上存在する場合、ホップ数が増加する。

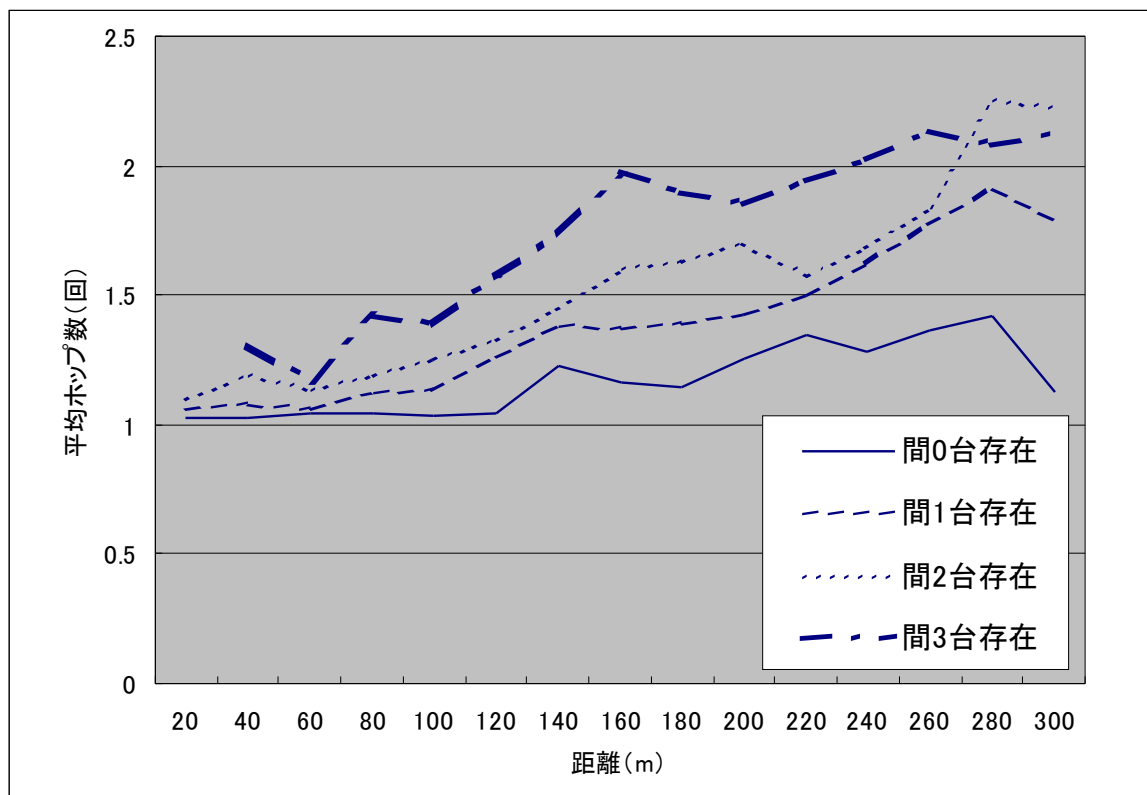


図 7 ホップ数測定の結果

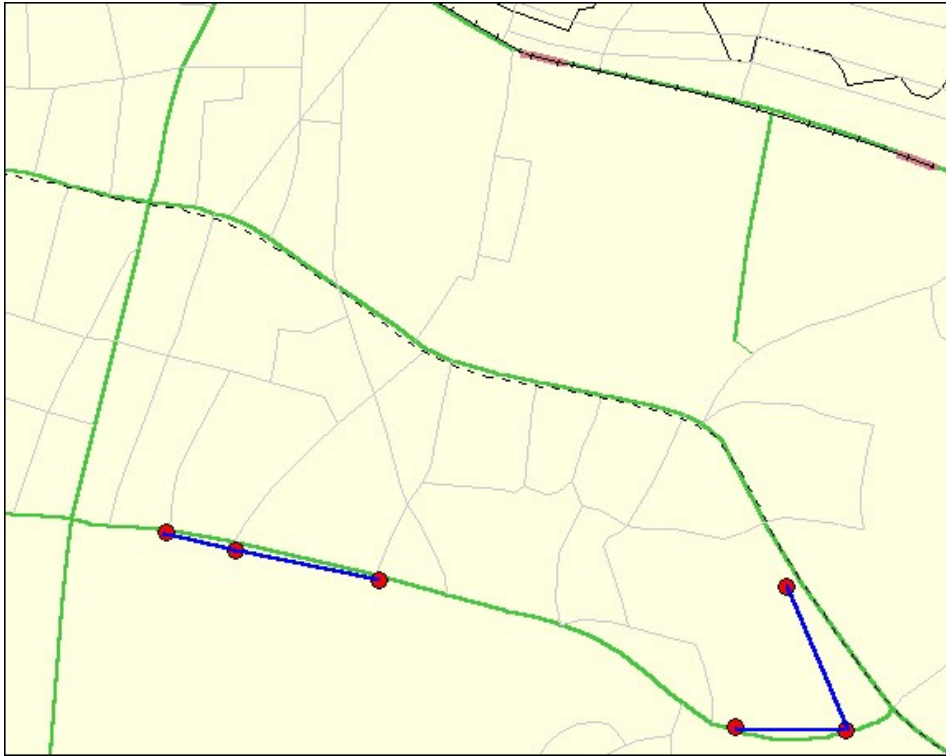


図 8 ホップ数が 2 の例

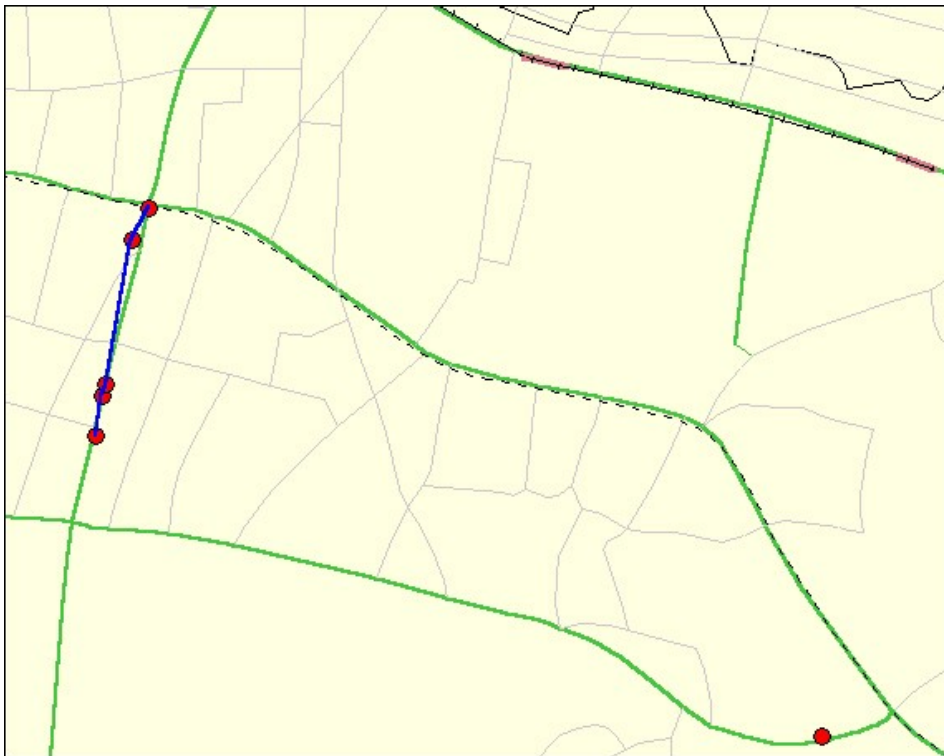


図 9 ホップ数が 4 の例

5. まとめと考察

5.1. 考察

5.1.1. 接続率に関する考察

実験の結果より、通信端末間の距離による接続状況の変化の傾向がわかった。一般に、通信端末間に他端末がより多く存在した方が接続率は上がっている。これは、障害物等の影響で、通信している2端末同士が直接通信できなかった際に、間に存在している他の端末が中継の役割を果たし、別経路が生成された為である。また、間により多くの端末が存在した方が、より多くのパターンの経路を生成することができ、その為に接続率が上がったと考えられる。

80m から 200m くらいまでの距離では、間に存在する端末数によって顕著に接続率に差が表れるが 300m 付近になるとあまり差は見られない。これは、通信距離が長くなり過ぎたために、間に存在している端末同士の通信がうまく行われなくなったからと考えられる。仮に、間により多くの端末が存在すれば、例えば距離が 300m であっても、高い接続率になる。距離が 50m 以内という近い距離でも接続率が 100 パーセントになっていないのは、今回の実験は市街地で行ったためだと考えられる。実験時の実感として、曲がり角を曲がった瞬間など、通信端末間の直線距離が近くても接続が途切れる場合がしばしばあった。曲がり角に固定の端末、もしくはアクセスポイントを設置すれば、近距離においての接続率が大きく向上すると考えられる。

5.1.2. ホップ数に関する考察

実験の結果より、通信端末間の距離の違いによるホップ数の傾向がわかった。一般に、通信端末間に他端末がより多く存在した方が、平均ホップ数が多くなっている。これは、通信している2端末間に他端末が存在すると、その端末を経由して接続が行われ勝ちになることを示す。しかし、たとえ通信する2端末間に他の複数の端末が存在したとしても、60m 以内の近距離の場合にはそれらの端末を経由せずに、直接接続を行う場合が多い。仮に、もっとより多くの端末が間に存在していたとしても、近距離の場合にはそれほど平均ホップ数は変わらないと推測される。ところが、距離が長くなるにつれて、間に存在する端末を経由する傾向がある。これは、メッシュネットワークのマルチホップ機能が効率よく機能している為と考えられる。

5.2. まとめ

本評価実験では、メッシュネットワークの機器を搭載した車両を実際に市街地で走行させた。そこで、ネットワークトポロジを変化させながら通信を行うことで、メッシュネットワークの実用性の評価・解析を行った。

まず、通信する2端末間に他の複数台の端末が存在した場合の、距離毎における接続率を測定した。これにより、接続率の特性や実際に市街地で使用する際の妥当な距離が分かった。続いて、通信する2端末間に他の複数台の端末が存在した場合の、距離毎におけるホップ数を測定した。これにより、メッシュネットワークでの通信経路の傾向が分かった。

これらの結果から、今回の早稲田のような都会の市街地では通信状態が良いとは言えず、ネットワークが切断されやすく、かならずしもホッピングが良好とはいえないことがわかった。しかしながら、モバイル（車両）だけのメッシュネットワークの実験検証は日本でおそらく初めてであり、非常に貴重なデータが得られたものとする。

6. 結言

今回の実験評価では、モバイルのクライアント端末（車）を6台用意して、メッシュネットワークの通信性能の測定を行い、満足の行く結果が得られ、当初の目的を果たすことができた。しかしながら、メッシュ（網目）という意味では、クライアント端末数が6台というのはいささか不十分であったかもしれない。もっと多くのクライアント端末があれば、さらに複雑で、詳細な解析ができる可能性がある。

本来、メッシュネットワークが威力を発揮するのは、固定であれ、モバイルであれ、電波を遮るものが少ない野山、砂漠、農地などといった比較的なだらかで、見通しのよい広いエリアと考えられる。自動車走行による都会の市街地での測定ビルなどの遮蔽物も多いため、はじめから電波環境がよくなり、アドホックネットワークやホッピング以前の問題が生じ易いといえる。

また、このたびの実験では、車の屋根にアンテナを設置したが、短いアンテナであったため、電波が水平方向に伝播しにくかった可能性がある。この点についての解析は行っておらず、今後の課題として残る。

機会があれば、今後、実験環境として地形面での比較を行ったり、さらに大規模で複雑なメッシュネットワークを構成し、その実用性能を解析したいと考える。

謝辞

本評価実験と報告書の作成にあたり、伊藤忠商事 児玉孝雄氏、丸林健氏からメッシュネットワークに関して多大なご協力を戴きました。深く感謝申し上げます。

また、モバイルブロードバンド協会理事長でもある早稲田大学工学部の後藤滋樹教授と、同教授研究室の皆様、とりわけ、実験から解析、論文作成に至るまで、主体的にご活躍戴いた浜崎慎一郎氏に深く感謝申し上げます。

無線 LAN の実験Ⅲ

— モバイル（車両）によるメッシュネットワークの性能 —

この報告書はモバイルブロードバンド協会より無償で配布致します。
モバイルブロードバンド協会はこの報告書の著作権を保有します。

2006年3月

モバイルブロードバンド協会

東京都品川区西五反田 7-21-11 第2TOCビル8階

www.mbassoc.org

実験参加者及び執筆者一覧

(順不同。○は報告書執筆者。所属先等は実験当時のもの。)

■正会員■

三洋電機株式会社

橋爪 淳

ソフトバンク BB 株式会社

朝倉 玉

小島 浩永

任 明

日本アンテナ株式会社

今井 繁雄

片山 典彦

パイオニア株式会社

○ 荒川 克憲

松下電器産業株式会社

○ 若林 則章 (分科会長)

池田 巧

ルート株式会社

○ 山田 敏央

○ 横山 博文

■個人会員■

後藤 滋樹 (理事長／早稲田大学)

太田 昌孝 (理事／東京工業大学)

岡部 寿男 (京都大学)

藤川 賢治 (京都大学)

■特別協力■

伊藤忠商事株式会社

○ 児玉 孝雄

丸林 健

早稲田大学理工学部後藤研究室

○ 浜崎 慎一郎

杉田 隆俊

生井 佑治

三浦 周平

鈴木 幹也

細田 温子

時光 潤

夏目 祐輔

■事務局■

○ 内村 雅生 (モバイルブロードバンド協会)