

L\_017

## リアルタイム通信向け広域無線マルチホップネットワークの設計

## Real-time communications in wide-area wireless multi-hop networks

板谷 聡子 長谷川 淳 長谷川 晃朗 デイビス ピーター 門脇 直人 小花 貞夫

Satoko Itaya Jun Hasegawa Akio Hasegawa Peter Davis

Naoto Kadowaki Akira Yamaguchi Sadao Obana

## 1. はじめに

近年、IEEE802.11 アドホックモードを利用した広域無線アドホックネットワークや、アクセスポイント間の通信を無線アドホック通信で行う無線メッシュネットワークが商業的無線通信システムの新しいプラットフォームとして注目を集めており、特に VoIP やネットワークゲームのようなリアルタイム性があり相互対話的なアプリケーションが安定に使用できることが期待されている。本稿では、メッシュ型のネットワークを含む広域無線マルチホップネットワークシステムにおいて、リアルタイム性が要求されるアプリケーションをサポートするための課題について考察する。

## 2. ネットワークの安定化

本章では、リアルタイム通信をサポートするため 802.11 アドホックモードを使用し安定したネットワークを構成するための課題について述べる。

## 2-1. 使用する通信方式やデバイスの考慮

IEEE802.11 アドホックモードを用いて広域無線マルチホップネットワークや無線メッシュネットワークを構築する場合、ネットワーク全体として、かなりのトラフィック量が予想されるため、できるだけ多くの帯域を使用できるよう工夫するのが一般的である。

複数の無線インターフェースが使用できる場合、周波数が異なる複数のチャンネルを使用することにより、使用できる帯域を増加させることが可能である[1,2]。このとき、チャンネルの割り当て方式や、チャンネルの選択方式は重要な課題である。

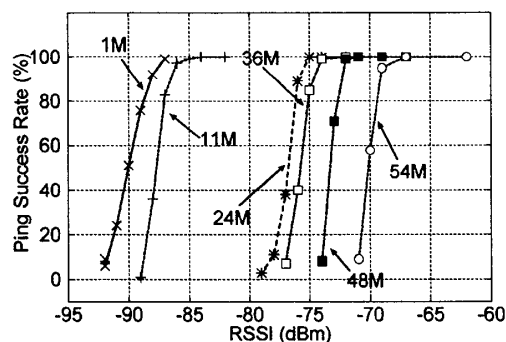


図 1. 受信信号強度 (RSSI) と送信成功率の関係 (802.11g).

また、使用できる無線インターフェースが一つの場合、最大転送レートが 54Mbps である IEEE802.11a や g のデバ

ATR 適応コミュニケーション研究所

619-0288 「けいはんな学研都市」光台 2-2-2

イスを使用することが考えられるが、日本国内では 5GHz 帯の屋外使用に制限があるため、広域無線マルチホップネットワークには 802.11g が選択されることが多い。

図 1 は 2 枚の 802.11g 対応無線 LAN カードの RF 出力端子をアッテネータを介して接続し、RSSI と ping の成功率との関係を送信レート毎に実測した結果である。この結果から、高い送信レートでエラー率の低い通信を行うには、非常に大きな RSSI が必要であることがわかる。一般に端末間の距離が離れると RSSI は弱くなるため、広域に端末が分布したネットワークでは、高い送信レートで安定して通信が行えない端末が存在することは避けられない。このように、802.11g を使用して広域ネットワークを構成する際には、端末の環境やネットワークの特性に応じた転送レートの設定や制御を行うためのメカニズムの開発が鍵となる。また、見通しが良い環境であれば、11Mbps で数百メートル離れた端末間でデータ通信が可能であるが、見通しの良いホップを確保するには、アンテナを屋根の上に設置する等の工夫が必要である。さらに、端末間の距離が離れる場合、IBSS セルのマージ問題や、隠れ端末問題が顕著に現れるため、注意が必要である。

## 2-2. トラフィック集中の回避

無線マルチホップネットワークでは、安定した通信をサポートするために、各端末が自律的に安定した経路を選択したり、不必要な経路変更の発生を抑えたりすることが必要である。また、ネットワーク上に複数のリアルタイム通信が存在する場合に、ボトルネックとなる端末の存在を避けることが重要である。特に、無線メッシュネットワークの場合、アクセスポイントへのトラフィックの集中は深刻な問題であり[5]、安定に通信を行うためには、何らかのトラフィック制御の導入が重要である。

図 3 はボトルネック AP が存在するようなネットワークの例である。

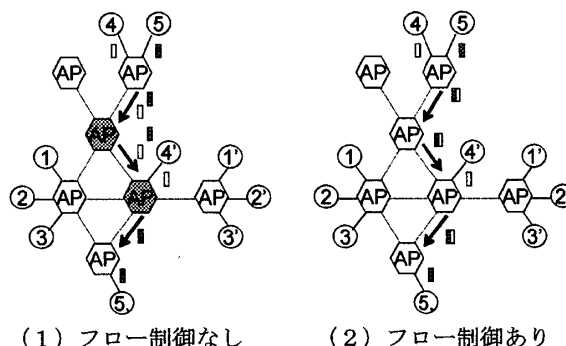


図 2. メッシュネットワークにおけるボトルネック AP の例。

端末1~5が1'~5'とVoIP通信を行うと仮定すると、トラフィック制御を行わない場合(図2(1)), 図中灰色の2つのAPがボトルネックとなり、通信が不安定になることが予測される。電波が干渉する範囲に存在するリンクの数を $M$ , 1リンクあたりに送信しなければならないパケットの数を $N$ , 各APがバックボーンに対してパケットを生成する時間間隔を $D$ , 1パケットあたりの典型的な転送時間を $L$ とすると,

$$NxMxL=D \quad (1)$$

が、各APが処理できるパケットの限界となる。(1)式左辺が $D$ より小さくなるようにネットワークを設計する必要がある。例えば、各APが自分の配下に存在するトラフィックを束ねて転送するようなトラフィック制御を行う場合(図2(2)), パケットを束ねることにより $L$ は増加するが、APが送信しなければならないパケット数 $N$ が小さくなる。 $L$ の増加率に比べて、 $N$ の減少率が十分に大きいとき、同様のトポロジであってもボトルネックとなる端末の発生を防ぐことができる[6]。

### 3. リアルタイム性サポートの課題

リアルタイム性が要求されるようなアプリケーションの場合、アプリケーションが許容できるチン時間とパケットエラー率などに基づいてシステムを最適化する必要がある。

図3は、通常のアドホックルーティングプロトコル(OLSR[4])を使用した場合の遅延時間の分布の例である。実験には、PLANEX GW-CF11H 無線LANカード(802.11b, 11Mbps, 単一IBSS), OS環境はLinux, PCとPDAを含む合計50台の端末で実験を行った。

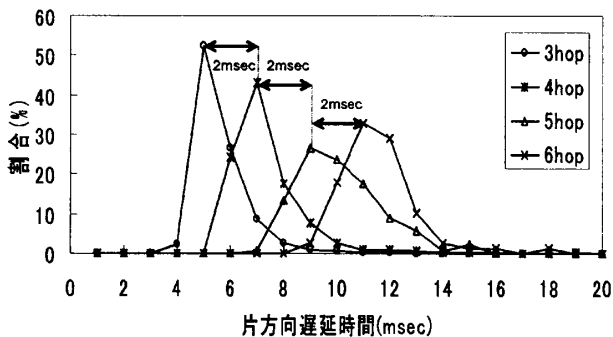


図3. 遅延時間の分布(OLSR使用時).

図3より、ホップ数に依存して、1ホップあたり2ミリ秒程度の遅延が増加していることがわかる。このように遅延時間はホップ数に依存して増加するため、ネットワーク内の最大ホップ数と1ホップあたりの遅延時間の積が、アプリケーションが許容する遅延時間以下になるようにネットワークを構成する必要がある。また、802.11使用により1パケットあたりおおよそ1ミリ秒の転送時間が必要であるため[5], 1ホップあたりの遅延時間をさらに短縮するためには、中継処理の高速化が必要である。

次にパケットエラー率については、経路選択の段階で安定化させることにより、1ホップあたりのパケットエラー率は数%にすることが可能である。しかし、1ホップあた

りのパケットエラー率が $p$ , ネットワークの平均ホップ数を $m$ とすると、end-to-endのパケットエラー率

$$P=1-(1-p)^m \quad (2)$$

となる。これは、たとえ $p=1\%$ であっても、10ホップするとパケットエラー率が10%近くになることを意味しており、アプリケーションが許容できるエラー率より $P$ が小さくなるようにネットワークを設計する必要がある。

### 4. おわりに

本稿では、安定した広域無線マルチホップネットワークを構成し、リアルタイム通信をサポートするための課題について考察した。安定したネットワーク構成に関しては、使用する通信方式やデバイスの特徴を理解して、使用用途に合わせたネットワーク構成を検討する必要がある。また、端末間の距離が離れると、隠れ端末問題が顕著に現れるため、注意が必要である。さらに、リアルタイム性があるアプリケーションをサポートするためには、アプリケーションが許容できる遅延時間やパケットエラー率に基づいてシステムを最適化する必要がある。より高レスポンスなネットワーク実現のため、干渉と衝突回避のための複数無線インターフェースの制御、複数のトラフィック同時サポートのためのトラフィック制御、および1ホップあたりの遅延時間を短縮するための高速転送などが今後の課題である。

### 謝辞

本研究は情報通信機構(NICT)の研究委託により実施したものである。また、図1のデータ取得に関して、ATR波動工学研究所の塚本悟司主任研究員のご協力に深く感謝する。

### 参考文献

- [1] 張, 湯, オユーンチメグ, マハダド, “ワイアレスメッシュネットワークにおけるペアワイズチャンネル割当て手法に関する検討”, IEICE 第3回アドホックネットワークワークショップ, 2006, 1月.
- [2] 柳生, 藤原, 竹田, 大前, 青木, 松本, “Topology and Traffic Aware Channel Assignment for Layer-2 Mesh Networks”, 信学技報, RCS2005-61, pp.127-132, 2005, 7月.
- [3] 飯塚, 江連, 松本, 伊藤, 長谷川, 板谷, 長谷川, デイビス, “無線マルチホップネットワークにおけるファイル転送プロトコルの通信実験”, 信学技報, NS2005-128, pp.83-86, 2005.
- [4] RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)
- [5] Matthew S. Gast, “802.11 wireless networks: The definitive Guide”, O'REILLY, April, 2002.
- [6] 板谷, 長谷川, デイビス, 門脇, 小花, “無線メッシュネットワークにおける効率的な通信方法の提案”, 信学技報, MoMuC2006-212, pp.115-118.