

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

板谷 聡子 長谷川 淳 デイビス ピーター 門脇 直人 小花 貞夫

ATR 適応コミュニケーション研究所

〒619-0224 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

E-mail: {itaya, hasegawa, davis, kadowaki, obana}@atr.jp

あらまし 無線メッシュネットワークにおいて、アクセスポイント配下に存在する複数の子機が、同時に他のアクセスポイント配下に存在する子機と VoIP (Voice over IP) やネットワークゲームのようなリアルタイム性が要求される通信を行う場合がある。本論文では、アクセスポイント間でやりとりするパケットを複数個束ねることにより、低パケットロス・低遅延なパケット転送方法を提案する。提案方式を使用することにより、通常のユニキャスト通信を使用し、5セッションまで通話を増加させた場合に平均 350 ミリ秒だった片方向遅延を 20 ミリ秒まで抑えることに成功した。

キーワード 無線メッシュネットワーク, 802.11, リアルタイム通信, VoIP

Proposal of Efficient Transmission Method for Wireless Mesh Network

Satoko ITAYA, Jun HASEGAWA, Peter DAVIS, Naoto KADOWAKI, Sadao OBANA

ATR Adaptive Communications Research Laboratories

Hikariday 2-2-2, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0224, Japan

E-mail: {itaya, hasegawa, davis, kadowaki, obana}@atr.jp

Abstract We propose a method for improving capacity for real time applications as VoIP (Voice over IP) and network games in wireless mesh networks which use the 802.11 media access protocol. In this paper, we present experimental results which demonstrate a dramatic reduction in the average of one way packet latency from over 350 to 20 milliseconds in the case of 5 concurrent VoIP sessions.

Keyword Wireless mesh network, 802.11, real-time communication, VoIP

1. はじめに

近年、無線 LAN や Bluetooth などの短距離無線技術の急速な発展と普及により、無線デバイスを有する端末のその場限りの即時的な無線通信網（アドホックネットワーク）に関する研究活動が活発であり、様々なアプリケーションの開発が行われている。その中で、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いる。特に、無線メッシュネットワークにおいて、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に對して期待が高い。

しかし、非常に単純なネットワーク構成であっても、無線メッシュネットワーク上に複数の VoIP トラフィックが存在するとき、使用帯域にまだ十分余裕があるにもかかわらず、通信性能劣化が見られることを報告

したが[1,2]、この通信性能劣化の重要な要因のひとつとして IEEE802.11 プロトコルを使用することによるオーバーヘッドがある。文献[3,4]においては、著者らは RTS/CTS (Request-to-Send/Clear-to-send) によるオーバーヘッドを抑えるため、一回のチャンネル予約に對して複数のパケットを集中的に送信する方法を提案しているが、VoIP のようなリアルタイム性が要求されるようなアプリケーションでは、RTS/CTS を使わない場合でさえ IEEE802.11 のオーバーヘッドが問題となる[5,6]。本稿では、短いデータパケットを連続的に送信するような場合に、通信品質を改善する方法を提案する。

2. 802.11CSMA/CA の限界

本研究では、図1のようなモデルネットワークを構築し、実験を行った。各アクセスポイントは二つの IEEE802.11 インターフェースを持ち、ひとつをインフ

ラストラクチャーモードで動作させ子機との通信に用い、もうひとつをアドホックモードで動作させ他のアクセスポイントとの通信に用いる。

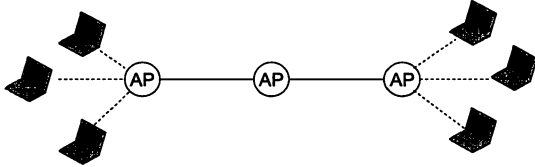


図 1. モデルネットワーク. 異なる AP 配下に存在する子機同士が VoIP 通信を行うことを想定する。

まず、図 1 に示したモデルネットワークでは、2 ホップはなれた二つのアクセスポイント配下にある子機同士が G711 コーデックを用いた VoIP 通信を行う場合を想定し、RTP(Real-time Transport Protocol)パケットを以下の条件で送信した。なお、RTP は UDP 上で動作するプロトコルであり、フロー制御などは行われない。

- ・パケットサイズ 200 バイト
- ・送信間隔 20 ミリ秒
- ・5000 パケット
- ・試行回数 10 回

これを、1セッションから5セッションまで増加させて計測を行った。ここで、1セッションは双方向の通信を示す。本実験では、各端末をオフィス内に配置し、アクセスポイントには Montavista Linux edition 3.0 (kernel version 2.4.20), 子機には Red Hat Linux 9 (kernel version 2.4.25)がオペレーティングシステムとして搭載されている。また、アドホックネットワーク用インターフェースには IEEE802.11b 準拠の PLANEX 製 GW-CF11H (Prism Chip 2.5)を用い、ドライバには orinoco_cs0.15rc2STA を使用した。各アクセスポイント間はスタティックルートとした。

図 3 にセッション数に依存してパケットエラー率と平均片方向遅延が増加する様子を示す。

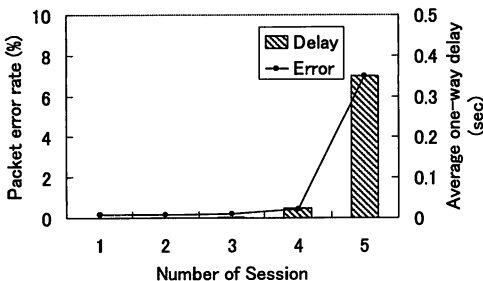


図 2. セッション数に依存したパケットエラー率と平均片方向遅延 (実験結果)。

次に、図 3 に見られる現象が 802.11 アドホックモードの CSMA/CA メカニズムに基づいて理論的に理解できることを示す。802.11 を用いて 1 パケットを送信するための典型的な時間 T は理論的に見積もることができ [7-10], これはプロトコルオーバーヘッドを含めると、おおよそ 1 ミリ秒である。中継アクセスポイントは両端のアクセスポイントからのパケットを受信・転送しなければならないため、最悪の場合中継端末が 1 パケットを転送するために待たなければならない時間 T_1 は

$$T_1 = 4T \quad (1)$$

となり、 $T = 0.63$ ミリ秒としたものが、図 4 の点線である。次に、もし各子機が単位時間当たり G 個のパケットを生成し、 n セッションの通信が存在するとすると、平均転送時間間隔 T_2 は

$$T_2 = G/2n \quad (2)$$

となり、これが図 4 の曲線である。

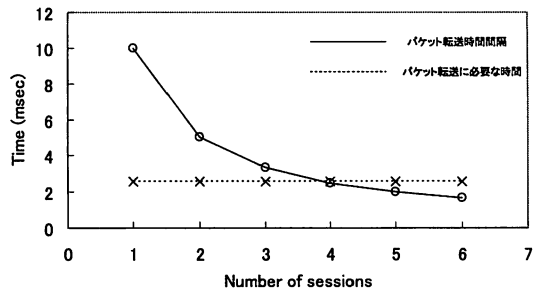


図 3. パケット交換に必要な時間とパケット転送時間間隔のセッション数依存性 (理論)。

これらの二つの線が交わるところで、帯域混雑による転送遅延とパケットエラー率の増加が予想される。この解析により、4セッション以上のトラフィックが集中することにより帯域混雑によりパケットの遅延時間やエラー率の増加などの問題が発生することが予想され、これは図 3 に示される実験結果に一致している。

3. パケット充てん方式

ここで、4セッション以上の安定した VoIP 通信を実現しようとする場合、前章で述べた混雑による問題点の発生を避ける必要がある。1つの方法として、比較的小さなサイズのパケットを複数個束ねて転送するパケット充てん方式を導入することにより、アドホックメッシュバックボーンを流れるパケットの数を制限し、トラフィックを制御することが有効である。本方式では、各アクセスポイントは配下に存在する複数の子機が生成するパケットを一つのパケットに充てんし、隣接のアクセスポイントに転送する。このようなパケッ

ト充てん方式は、宛て先ごとに複数のキューを持つことにより、様々なルーティングプロトコルに適応可能である。一方で、“フラディング”型の転送方式に組みこみ、すべてのメッシュアクセスポイントに同じパケットを転送することにより、特定の経路を使用せずに通信する実装も考えられる。フラディング型の実装については、ブロードキャストを用いる方式と、ユニキャストを用いて各隣接端末に対して同じパケットを転送する方式とが考えられる [5]。

4. パケット充てんの効果

本章では、図1のモデルネットワークにおけるパケット充てんの効果を示す。各アクセスポイントに複数の子機から送られてくるパケットを一つのパケットに充てんする機能を実装し、中継端末が隣接端末に対してユニキャストでこのパケットを転送する場合を考える。図4では、(a)通常のユニキャスト通信を使用した場合、(b)パケット充てん方式を利用した場合における単位時間あたりにアクセスポイントが転送するパケットの数を1方向の通信に注目し、模式的に示したものである。いずれの場合も二つのアクセスポイント A, B 配下にはそれぞれ二つの子機が存在し、異なるアクセスポイント配下の端末と通信していると仮定する。また、アクセスポイント A, B の間には中継アクセスポイント X が存在する。

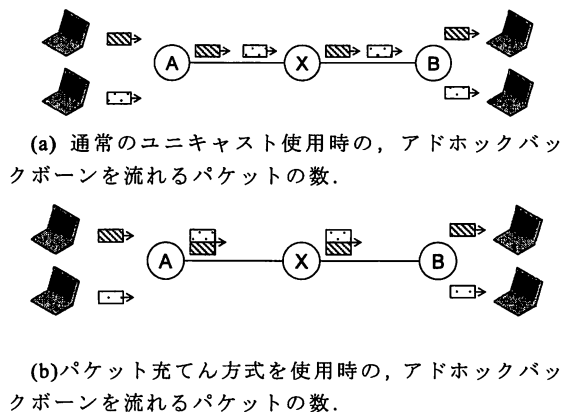


図 4. パケット充てんの効果。

これより、パケット充てんの効果として、アドホックネットワーク上でやり取りされる転送パケットの数を減少することがわかる。図4は、802.11上でユニキャスト通信を行う場合に、個別にパケットを送信する場合と、一つのパケットに充てんして送信する場合の、送信数に依存したパケット送信完了時間を示している。

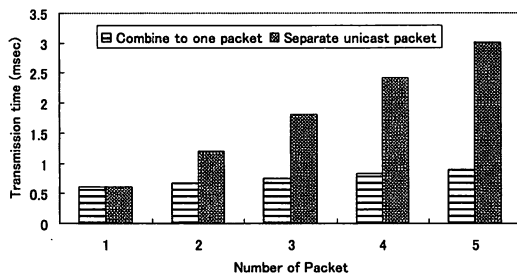


図 5. ユーザーデータ部分が 160 バイトとした場合の送信数に依存したパケット送信にかかる時間。

802.11 のメディアアクセスプロトコルのオーバーヘッドがあるために、もし5つのパケットを一つのパケットに充てんして送信すると、個別に送信する場合の約 1/3 でパケット送信が完了する。このように、パケット充てん方式を使用することにより、バックボーンに流れるパケット数の減少と遅延時間の抑制が期待できる。しかしながら、パケット充てんを行う場合、パケット充てん後パケットサイズが MTU(Maximum Transmission Unit)を越えないよう注意が必要である。充てんした後のパケットサイズが MTU を越えるとパケットが2つまたはそれ以上に分割されて送信されるため、パケットエラー率が高くなる。

5. 実験結果

次に、パケット充てん方式を使用することにより、どの程度子機同士の通信品質が改善されるかを示すため、提案方式をソフトウェアとして実装し、実験を行った。実装形態として、ブロードキャストを利用した場合(ブロードキャスト版)と、ユニキャストを利用した場合(ユニキャスト版)を準備したが、本稿では、パケット充てんによる効果を調べるために、各アクセスポイント間を通常スタティックルーティングとし、子機同士の通信を通常ユニキャストで行った場合と、提案方式のユニキャスト版を使用した場合に、図1に示されるトポロジで実験を行った場合の結果について比較する。

図4はセッション数に依存した平均片方向遅延時間を示している。セッション数が4セッション未満のときは、通常スタティックルーティングの平均遅延時間が、提案方式使用時に比べて少なくなっている。これは、提案方式ではパケットを充てんする際に待ち時間があるためである。しかしながら、通常ユニキャスト通信を行った場合はセッション数が5を超える場合に、平均遅延時間が350ミリ秒を超える。一方で、同様の場合に提案方式を使用すると、遅延時間が

20 ミリ秒程度に抑えられていることが分かる。

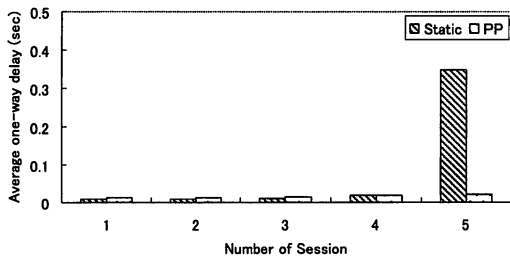


図 6. 平均片方向遅延時間のセッション数依存性の比較 (通常のユニキャスト使用時と提案方式使用時)。

セッション数	通常のユニキャスト	提案方式
1	0.000%	0.002%
2	0.000%	0.000%
3	0.027%	0.320%
4	0.220%	0.353%
5	7.020%	0.033%

表 1. セッション数に依存したパケットエラー率 (通常のユニキャスト使用時と提案方式使用時)。

表 1 はセッション数に依存したパケットエラー率の比較である。提案方式を使用した場合、5 セッションでもパケットエラー率が 1%未満に抑えられていることがわかる。これらの結果より、明らかにパケット充てんを行うことにより、通信性能改善が得られることがわかった。

6. まとめ

本稿では、リアルタイムアプリケーションをサポートするために、遅延時間とパケットロスを抑え、メッシュネットワークのキャパシティを改善するための方法を提案した。具体的には、802.11 メディアアクセスプロトコルによる通信品質の劣化に注目し、キャパシティを改善するための新しい方法を提案した。提案方式では、VoIP のようなリアルタイムアプリケーションにおいて、データパケットが小さいことを利用し、各アクセスポイントは自分の配下に存在する複数の子機が生成するパケットを一つのパケットに充てんし、隣接のアクセスポイントに転送する。提案方式を用いることにより、1パケットあたりの 802.11 プロトコルによるオーバーヘッドを削減し、同時通信数の増加に成功した。提案方式は、メッシュネットワークの新しい利用方法として期待が高い VoIP アプリケーション、相互対戦ゲーム、ネットワークロボットなど、短いデータパケットが頻繁にやり取りされるような場合に極めて有効である。本稿では、非常に単純な構成で提案方

式の検証を行った。今後は、ネットワーク全体を考慮して、提案方式の有効性を示していく予定である。

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。

文 献

- [1] 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 年 11 月.
- [2] 長谷川, 板谷, 長谷川, デイビス, 山口, 門脇, 小花, "アドホックネットワークルーティングの通信トラフィック分散方式の提案", 信学技報, MoMuC2005-81, pp. 45--48, 2006 年 1 月.
- [3] V. Vitsas, P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, P. Raptis K. Paparrizos, D. Kleftouris, "Enhancing performance of the IEEE 802.11 distributed coordination function via packet bursting," Proceeding on IEEE Global Telecommunications Conference (Globe Com) Workshops, 2004, pp. 245 - 252.
- [4] J. Wang, H. Zhai, Y. Fang, M. C. Yuang, "Opportunistic media access control and rate adaptation for wireless ad hoc networks," IEEE International Conference on Communications, 2004, Vol. 1, pp. 154-158.
- [5] J. Weinmiller, M. Schlaeger, A. Festag, and A. Wolisz, "Performance Study of Access Control in Wireless LANs - IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES10 HIPERLAN," IEEE Mobile Networks and Applications (Special Issue on Channel Access), 1997, vol. 2, no. 1, pp. 55-76.
- [6] B. P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim, P. Sakai, "Investigation of the IEEE 802.11 medium access control (MAC) sublayer functions," Proceedings IEEE on Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'97), 1997, Vol. 1, pp. 126 -133.
- [7] S. Itaya, P. Davis, "Robust, low latency wireless transmissions for real-time interaction in small ad hoc groups," The 6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications WPMC'03, 2003, Vol. 2, pp. 497-501.
- [8] S. Itaya, M. Kosuga, P. Davis, "Simulation and analysis of UDP packet exchange in wireless ad hoc groups," CNDOS (San Diego, January 2004).
- [9] S. Itaya, M. Kosuga, P. Davis, "Evaluation of packet latency and fluctuation during UDP packet exchange in ad hoc wireless groups," 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'04), 2004, pp. 684-689.
- [10] S. Itaya, M. Kosuga, P. Davis, "Estimating jitter for real time applications in ad hoc wireless groups using CSMA/CA," International Journal of Wireless and Mobile Networking, 2005.