

アプリケーション連携による マルチホップネットワークにおける通信性能劣化の改善

長谷川 淳 板谷 聡子 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 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光 2-2-2

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

あらまし アドホックネットワークにおいて中継ノードが複数の通信セッションにより共有されると性能が劣化する問題がある。現状のアドホックネットワークではトラフィックの集中が発生しやすく、帯域が十分にあるにも関わらずパケットエラー率および遅延時間性能が劣化する。本稿では各端末におけるトラフィック監視とアプリケーションレベルで連携を行い、トラフィックの集中を緩和させる方式を提案する。さらに実証実験により5セッションのトラフィックが特定の端末に集中した際には片方向遅延時間が1/100に改善できることを示す。

キーワード 無線アドホックネットワーク, クロスレイヤ, IEEE802.11, VoIP

Improvement of Communication Performance using Application Coordination in Multihop Networks

Jun HASEGAWA, Satoko ITAYA, Peter DAVIS,

Naoto KADOWAKI, and Sadao OBANA

ATR Adaptive Communication Research Laboratories Hikoridai 2-2-2, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto,
619-0288 Japan

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

Abstract There is a problem in adhoc networks that performance can deteriorate when a relay node is shared by two or more traffic streams even when there is wireless bandwidth available. Moreover, convergence of traffic occurs easily for common adhoc routing protocols. We propose a cross layer process between network layer and application layer with monitoring of traffic condition. Moreover, we show experimental results which demonstrate a dramatic reduction in the average of one way packet latency with 5 VoIP sessions.

Key words mobile ad-hoc network, cross layer, IEEE802.11, 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ノードがその場限りの即時的な無線通信網、すなわちアドホックネットワークに関する研究が活発であり、大規模被災地向け無線通信網やITS(車間・路車間通信)でのストリーミングなどさまざまなアプリケーション開発も行われている[1]。これらのアプリケーションの効果を安定的に提供するには、効率的なルーティングやフラッディングによるマルチホップ通信が不可欠である。

アドホックネットワーク上でVoIPなどのトラフィックを複数流すと、使用帯域にはまだ十分に余裕があるにも関わらず、3、4

セッションでパケットエラー率および遅延時間に性能劣化が見られることが報告されている[2][3]。対策としてトラフィックを分散させるルーティングプロトコルが提案されている[4-9]。文献[4]では、各端末においてトラフィック量を監視し、その情報を活用することによりトラフィックを分散する方式をオンデマンド型・テーブル駆動型それぞれで提案した。また、文献[5-7]では、負荷分散を実現するために、端末間の片方向遅延時間を用いているが、遅延時間を使用する方式では負荷分散を開始するまでに時間がかかる。また、文献[8]ではグループ化を使うことによりオーバーヘッドを減少させたルーティングプロトコルが提案されている。しかし、ルーティングプロトコルを用いた対策では、安定した通信が行える隣接端末が複数ある必要がある。

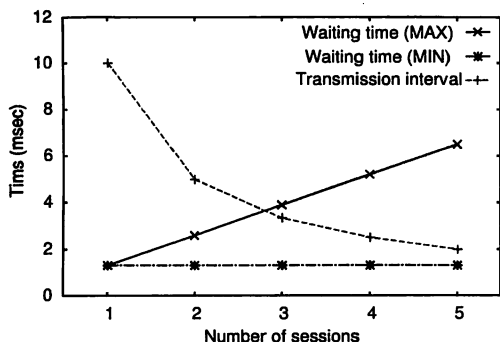


図1 中継端末の最大待ち時間と中継端末の packets 送信間隔 (パケット送信間隔 20ms)

また、トラフィックが増加した際に制御パケットのロスにより、所望の動作をしない場合がある [4] [10].

2章においては、今回行った実験方法について説明し、実験によりトラフィック集中に対する通信性能をスタティックルーティングを用いて検証する。また、実験結果について考察を行い、考察から問題点の回避策を検討する。3章では、提案方式について説明し、実証実験によりその効果を示す。最後にまとめを行う。

2. 検証実験

2.1 トラフィック集中に対する理論的考察

本稿では無線マルチホップ上で動作させるアプリケーションには VoIP を想定し、RTP (Real-time Transport Protocol) パケットを用いる。パラメータは IP 電話で一般的に用いられている 64Kbps の G.711 コーデックを参考に、1 パケット当りの音声データ 160byte、パケット送信間隔 20ms とする。なお、RTP は UDP 上で動作するプロトコルであり、TCP で行われるような再送やフロー制御は行われない。

まず、トラフィックが特定の中継端末に集中する場合の影響を理論的に考えるため、802.11MAC プロトコルの CSMA/CA メカニズムに注目する。CSMA/CA では、キャリアセンスにより帯域の使用状況を確認して送信を行い、同一チャンネルでは同時に一つの端末しか通信を行うことができない。ここで、CSMA/CA による中継端末がパケット転送を行うにあたっての最大待ち時間を見積もる。具体的には、送信元端末が片方向に毎秒 M 個のパケットを生成するような双方向セッションが N セッション存在すると仮定する。中継端末は、中継元と中継先の両方の端末から電波が届く範囲に存在する。また、CSMA/CA メカニズムにより同一電波範囲内の複数の端末は同時に通信できないため、1 パケット当たりの典型的な通信時間を T とすると、中継端末が中継パケットを送信するまでに待たなければならない最大待ち時間は、 $T \times 2N$ となる (図 1 の実線)。また、待ち時間の最小は、 $T \times 2$ となる (図 1 の一点破線)。一方で、 N セッションすべてのフローが一つの中継端末に集中する場合、中継端末が 1 秒当りに転送しなければならないパケット数は、 $N \times 2 \times M$ となる。このとき、実際に中継端末からパケット

表 1 端末構成

PC	IBM ThinkPad X32
OS	Redhat 9
カーネル	2.4.25
無線デバイス	PLANEX GW-CF11H (Prism chip 2.5)
無線規格	IEEE802.11b
無線ドライバ	orinoco_cs0.15rc2STA

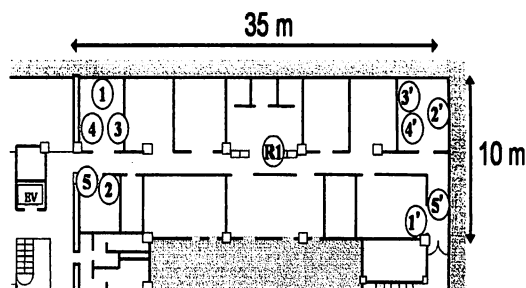


図 2 実験ノード配置図

が送信される時間間隔は、この値の逆数となる (図 1 の破線)。そして最大待ち時間がパケット送信の時間間隔を上回るところで、中継端末において転送パケットのバッファリングが起こる可能性がある。

2.2 トラフィック集中実験

前節の考察を踏まえトラフィック集中実験を行った。実験の使用した端末の構成を表 1 に示す。配置図を図 2 に示す。本実験では、端末をオフィス内に配置し、端末 5-5' 間は約 35m、金属製密閉型パーティションで区切られた小部屋が通路沿いにある。中継端末 R1 は見通しのある通路に配置した。端末 1~5 から端末 1'~5' へは R1 を経由しなければ電波的に届かない距離にある。

実験パラメータを以下に示す。

- パケット数 5000 パケット
- 1 パケット当りの音声データ 160byte
- パケットサイズ 200byte
- 送信間隔 20ms
- 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計測を行った。ここで 1 セッションは双方向の通信を示し、それぞれ同じ番号のノードに対し、R1 をマルチホップし通信を行う。本稿では片方向遅延時間、およびパケットロスに注目する。片方向遅延時間の計測は NTP (Network Time Protocol) を用いた時間同期方法では、数 ms 単位の計測が正確に実施できない。そのため、受信端末から送信端末に有線を用いてパケットを送り返し、送信端末のタイマを用いて計測している。ここで、有線を用いた場合の RTT (Round Trip Time) は、5 セッション時でも往復で数百 μ s であるため無視できると考えられる。パケットロスの計測は、RTP ヘッダにあるシーケンス番号を用いて算出する。

実験はスタティックルーティングで R1 を必ず中継するように

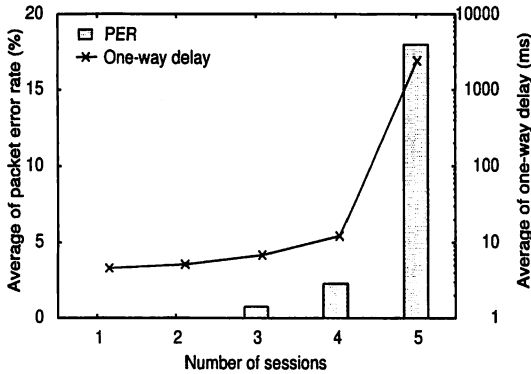


図3 トラフィック集中による平均パケットエラー率と平均遅延時間

表2 実験パラメータ

	実験1	実験2
パケット数 (個)	5000	2000
パケットサイズ (byte)	160	400
送信間隔 (ms)	20	50

設定し、トラフィック集中による負荷に対する傾向を確認する。

2.3 実験結果

図3にセッション数に対するトラフィック集中実験の平均パケットエラー率(棒グラフ)と平均片方向遅延時間(線グラフ)を示す。図3より、スタティックルートである一つのノードにトラフィックを集中させると、3セッション以上でパケットエラーおよび遅延時間に性能劣化が見られる。特に5セッションでは約20%のパケットロスが発生し、片方向遅延時間も平均で約2秒と異常と言える値になっている。本実験では、IEEE802.11bを用いているため、スループットは飽和することが知られており[11]、実効最大帯域は4Mbps程度である。一方で、RTPの片方向は64kbpsであり、5セッションでも必要な帯域は640kbpsである。今回2ホップで実験を行っているため、1セッションあたりの使用可能な帯域を4Mbpsの半分の2Mbpsとしても帯域は十分であるといえるが、実験結果では3セッション以上で通信性能劣化が見られる。また、図1中の交点と、実験において問題が発生するセッション数が一致していることから、中継端末でのバッファリングの発生が、遅延時間やパケットロスの主な発生原因と考えられる。つまり、中継端末におけるトラフィック集中による通信性能の劣化は、無線帯域の不足からではなく、中継端末にトラフィックが集中することにより、中継端末における送信待ち時間がパケット送信時間間隔を上回り、バッファリングが始まることにあるといえる。

3. 提案方式

3.1 パケット送信間隔の違い

検証実験の考察より単位時間あたりに中継端末に集中するパケット数が問題であることがわかる。そこで、パケットの送信間隔による通信性能の違いを検証する。表2に示す実験パラメータはどちらもG.711コーデック方式で規定されているものであ

表3 実験結果

セッション数	パケットエラー率 (%)		片方向遅延時間 (ms)	
	実験1	実験2	実験1	実験2
1	0.024	0.008	4.6	5.3
2	0.043	0.010	5.2	5.4
3	0.748	0.010	6.8	6.3
4	2.277	0.117	12.1	6.3
5	17.939	0.265	2383.9	7.5

り、単位時間当りに送信されるデータ量は同一である。また、パケットの送信間隔が長くなることにより、図1で示す交点が右側にずれるため、送信間隔を長くすれば通信性能の劣化が緩和できると考えられる。本節ではこのことを実験により検証する。端末の配置は図2と同様であり、中継端末はR1となるようにスタティックルートを設定し、端末1~5から端末1'~5'へはスタティックルートにより、R1を経由するものとし、1セッションから5セッションまで増加させ計測を行った。

表3にパケット送信間隔が20msと50msのセッション数に対する、パケットエラー率と片方向遅延時間を示す。両者にはセッション数が少ないときには違いが見られないが、セッション数が増加したとき、パケット送信間隔が20ms間隔の場合には、パケットロスも増加し、遅延時間も数秒と異常な状況が見られるのに対し、50ms間隔の場合には、目立った通信性能劣化は見られない。このように、パケット送信間隔を大きくすることで、遅延時間とパケットエラー率の低減を図ることができる。

一方で、VoIPアプリケーションではパケット生成時間間隔を短くするほうが音声遅延が短く、快適な通信が可能であることから、トラフィックの状況に依存して適応的に送信間隔を変更することにより、安定した音声通信が可能になると考えられる。

3.2 アプリケーション連携方式

前節の実験から、パケットの送信間隔を広げることで、トラフィックに集中による通信性能劣化を緩和できることが分かった。そこで、本稿ではトラフィック監視とアプリケーションで連携し、適応的にパケット送信間隔を変更する方式を提案する。具体的には以下の方法で実装する。

- (1) パケット送信量 $M/\text{秒}$ (自分の送信パケットおよび転送パケット) を監視。
- (2) パケット送信時間間隔 $T=1/M$ が閾値 T_c より小さくなったなら(3)以降の処理を実施する。
- (3) 中継しているパケットの送信元に対して、トラフィックの集中が発生していることを通知。
- (4) (3)の通知を受信した端末はパケットの送信間隔およびサイズを変更する。
- (5) 閾値 T_c を超えた中継端末のパケット送信間隔が閾値 T_{c2} を5回連続で下まわった場合、トラフィックの集中が解消したことを通知。

本提案ではアプリケーションはVoIPに限らず、TCPを用いたものでも、送信間隔を広げたり、再送方式を変更したりすることで、遅延時間の増加を抑え、無駄な再送を減少できる等の効果が考えられる。

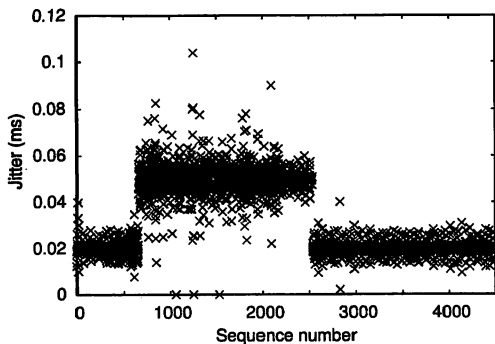


図4 パケットサイズの変動

表4 アプリケーション連携実験結果

パケット送信間隔 (ms)	PER (%)	片方向遅延時間 (ms)
20/50ms 変動	0.4	5.5
20ms 固定	19.7	1485.3

3.3 実証実験

前節で提案した方式の効果を確認するため、以下のような実験を行った。構成は図2で、中継端末はR1のみとする。1セッションでVoIPデータ1.6GByte分の双方向通信を行う。その途中で他の4セッションでVoIPデータ800MByte分の双方向通信を実施した。送信端末でパケットサイズ160byte、パケット送信間隔20msで送信を開始する。そして、中継端末からトラフィック集中の通知を受信した場合、パケットサイズ400byte、パケット送信間隔50msに変更する。逆にトラフィック集中の解消通知を受信した場合、パケットサイズ160byte、パケット送信間隔20msに戻す。以上の実験を10回計測を行った。

図4に1試行内の受信端末におけるパケット到着間隔の変動を示す。図4より、トラフィック集中を検知の通知を受けた送信端末が、パケットサイズおよび送信間隔を変更されていることがわかる。表4に今回行った実験の平均パケット誤り率と平均片方向遅延時間を示す。なお、この実験結果は1.6GByte送信したセッションの平均値である。表4より、パケット送信間隔の適応的に変更することで、パケット送信間隔を20msに固定する場合に比べて、平均パケットロスが10%以上改善するとともに、平均片方向遅延時間についても約1/10に改善した。以上の結果から、パケット送信間隔を適応的に変更することは、パケット中継端末におけるトラフィックの集中を緩和する方式として非常に有効といえる。

4. まとめ

本稿では、アドホックネットワーク上では、使用可能な帯域が十分あるにも関わらず、ある端末にトラフィックが集中すると数セッションで通信性能の劣化が見られる現象の問題点を明確にし、その問題に対するアドホックルーティングプロトコルにおける解決方法を提案した。

具体的には、通信トラフィックが一つの端末に3セッション以上集中すると、パケットロスが増加し、遅延時間も数秒という異

常な状況が発生することがわかった。これはCSMA/CAの仕組みから中継端末において転送パケットのバッファリングが発生することが原因であり、パケット送信間隔を適応的に変更することで従来方式にみられたパケットロスや片方向遅延時間が改善することを示した。特に片方向遅延については、5セッション時に数秒あった遅延時間が10m秒以下に抑えることができていた。

今後はネットワークのスケーラビリティおよびホップ数の増加について検証する予定である。

謝 辞

本研究は情報通信研究機構の研究委託「ユビキタスITSの研究開発」により実施したものである。

文 献

- [1] 小菅, 板谷, Peter, 梅田, "アドホックネットワークが開く新しい世界(後半)", 情報処理, Vol.44, No.11, pp.1060-1063, 2003.
- [2] 板谷, 長谷川, 長谷川, デイビス, 門脇, 山口, 小花, "無線アドホックネットワーク上でのメディア配信実験", FIT2005, pp.131-132, 2005年9月.
- [3] 八木 啓之, "アドホックネットワーク・テストベッド共同実験速報", アドホックコンソーシアム 第2回シンポジウム, pp.52-56, 2005年10月.
- [4] 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.
- [5] Zhou, A., Hassanein, H.: Load-balanced wireless ad hoc routing, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 2, pp.1157-1161 (2001).
- [6] Zhong, X., Mei, S., Wang, Y., Wang, J.: Stable enhancement for AODV routing protocol, 14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Vol. 1, pp.201-205 (2003).
- [7] Zhong, X., Mei, S., Wang, Y., Wang, J.: Experimental evaluation of stable adaptive routing protocol, IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), Vol. 3, pp.1563-1567 (2004).
- [8] Song, J., Wong, W. S., Leung, V.C.M.: Efficient ondemand routing for mobile ad hoc wireless access networks, IEEE Journal on selected Areas in Communications, Vol. 22, pp.1374-1383 (2004).
- [9] Lee, Y. J., Riley, G. F.: A workload-based adaptive load-balancing technique for mobile ad hoc networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 4, pp.2002-2007 (2005).
- [10] 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.
- [11] Itaya, S., Kosuga, M., Davis, P.: Evaluation of packet latency and fluctuation during UDP packet exchange in ad hoc wireless groups, The 24th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'04), pp.684-689 (2004).