

MANET (Mobile Ad-hoc Network) 上で映像伝送速度が低下する問題に対する一検討

宮城安敏 島田秀輝 藤川和利 砂原秀樹
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Examination for the problem that streaming picture transmission speed deteriorates on MANET (Mobile Ad-hoc Network)

Yasutoshi Miyagi Hideki Shimada Kazutoshi Fujikawa Hideki Sunahara
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

1. はじめに

Mobile Ad-hoc Network(MANET)[1]とは、インターネットと繋がっていない自律型無線ネットワークであり、サーバや基地局のような集中管理ノードが必要なく、ネットワークのトポロジが動的に変化してもコネクションを維持したまま接続することが可能なネットワークである。また、MANET端末間で直接通信できないような場合でも、近隣の端末を経由(マルチホップ)することによってデータの送受信が可能である。この特性を活かした利用方法として、ネットワークインフラが存在しない軍事における利用、インフラが破壊されてしまっている災害時での安全確保や救急作業への利用、センサネットワークへの応用、ホームネットワーク機器の相互接続利用、交通渋滞や交通事故の起こった経路を回避するなど車々間通信への利用など、様々な利用方法が検討・研究されている。

MANETを利用するシステム例として、MANETを構成した端末にWebカメラを接続し、撮影した動画をMANET参加ユーザにライブ配信するモデルを検討する。ネットワークに参加しているユーザは、複数の地点から撮影している映像を見ることが出来る。本システムを監視カメラに代用すると、MANETが動作する端末と、ウェブカメラのみという少ない設備で簡単に導入できる。したがって、従来の監視カメラよりも安価な監視システム、災害時での映像配信システムとしての利用が期待できる。このシステムを実現する際の初期実験として、複数台の端末でMANETを構成し、映像転送を行った際、画像伝送速度が低下する問題が生じた。この問題の主な原因としてルーティングプロトコルにおける経路の再構築時間の遅延と、トランスポートプロトコルによる再送・輻輳制御による待ち時間の遅延が挙げられる。本稿ではトランスポートプロトコルの改良を検討する。MANET上でデータを転送する際にTCPを用いた場合とUDPを用いた場合でスループットがどれだけ変わるのかを検証する実験を行ったところ、常にUDPのほうがTCPよりスループットが高いが、ホップ数が増加するにつれ、その差はなくなることがわかった。本稿では、実環境を考慮した実験を行うことにより、より現実的なデータを元に検討する。

2. 背景と既存研究

MANETを含むアドホックネットワークの既存研究では、特にルーティング分野についての研究が盛んであり、IETFにおいて、二つのルーティングプロトコルの標準化が進んでいて、実用段階にある。まずMANETの経路制御プロトコルには大きく分けて2種類存在し、経路を探すまでの手法の違いでプロアクティブ型とリアクティブ型に分けられる。プロアクティブ型は、別名テーブル駆動型とも呼ばれる。経路表を探索し、次ホップを決めるというRIP型の経路制御方式である。例として、OLSR(Optimized Link State Routing) [2]/TBRPF(Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding) [3]があ

る。これらは標準化が完了しているが、今後一本化してPMP(Proactive MANET Protocol) OLSRv2となる予定である。リアクティブ型(別名オンデマンド型)は、経路表にすべての経路はない。すなわち経路情報を交換しあっていない経路制御方式である。ノードが常に移動している状況においては、トポロジが動的に変化するために制御トラフィックが増大することの対策として、このような構造になっている。代わりにリアクティブ型経路制御では経路キャッシュを持つことで効率化を図る。例として、DSR(Dynamic Source Routing) [4]/AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing) [5]がある。DSRはInternet Draft、AODVはRFC標準化が完了している。また、これらを一本化してRMP(Reactive MANET Protocol) DYMO(Dynamic MANET On-demand Routing Protocol)[6]とする標準化活動が実行中である。(Internet-Draftが発行済みである)

一方、理論研究が先行しており、MANET上で動作するアプリケーションについての開発や研究例が非常に少なく、キラーアプリケーションの不在は否めない。このような現状を考慮し、MANET上で動作するアプリケーションを検討している。MANETのアプリケーションの研究ではPAVENET(センサネットワーク基盤ソフトウェア) [7]、ワイヤレスP2P(Gnutella) [8]、また、特定の軍事用途関連のアプリケーションなどが存在するが、その数は非常に少ない。本研究において問題となる映像転送遅延に対する関連研究として、ビデオ配信を目的としたオンデマンド型のマルチパスルーティングプロトコルをAODVに実装し、8台程度の端末間で転送効率が向上した結果が出ている研究がある[9]。しかし、トランスポート層での改善手法に対する研究は特に見当たらなかった。

3. 目的

以上の背景を元に、本稿ではMANET上で動作するアプリケーションとして、監視カメラシステムや災害時での映像配信システムを想定する。このようなシステムでは利用可能な高速データ転送の実現が求められる。高速転送が実現すれば、監視カメラシステムが少ない設備で簡単に導入できるため、従来よりも安価な監視システムが期待でき、災害時の映像配信システムとしての利用も期待できる。また、街中に存在するホットスポットの普及にも役立つと考える。従来のホットスポットを設置するためには、一つの設置場所に対して1本の有線を引く必要があり、非常にコストが高い。そこで、ホットスポットのAP(アクセスポイント)同士をアドホックネットワークで接続、運用することで、従来の方式より安価にホットスポットの設置が可能となるため、結果として無線LANの利用範囲が広がることを期待している。映像のような大容量データをスムーズに再生するためには、高速転送可能なルーティングプロトコルと、そのことを前提としたトランスポートプロトコルが必要

である。初期実験として、無線ネットワークカメラを用いて MANET を構成し、その際生じた問題についての解決案を検討する。

4. 初期実験

初期実験として、三台の端末を固定した位置に配置し、アドホックネットワークを構成して、その上で映像情報を転送する。実験環境として、インフラ網とユーザ網の二つに分ける(図1を参照)。

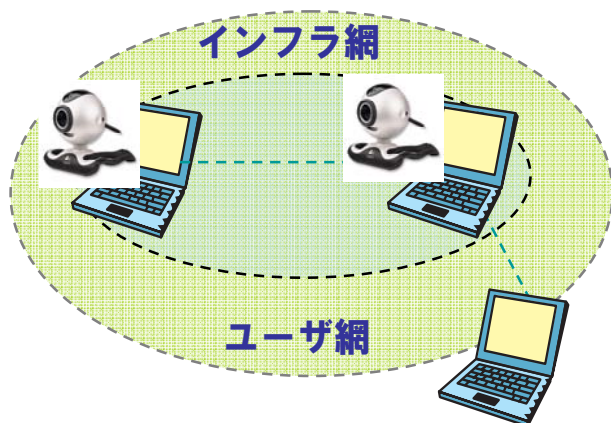


図1 初期実験：MANET 上での動画転送システム

インフラ網とは、WEBカメラを設置した端末同士で構成されたアドホックネットワークのことである。また、ユーザ網とは、インフラ網の映像を見るためにユーザが参加するアドホックネットワークのことである。今回の実験環境の詳細について表1にまとめる。

	インフラ網	ユーザ網
無線 LAN 規格	IEEE802.11a	IEEE802.11g
ルーティングプロトコル	OLSR (olsr daemon)	OLSR (olsr daemon)
WEBカメラ (USB)	Logitech QuickCam Pro 4000	無し
実行アプリケーション	LiveCapture2	ブラウザ (Java)

表1 実験環境

インフラ網ではIEEE802.11aの無線LANインターフェースを利用し、ユーザ網ではIEEE802.11gを利用する。そのため、インフラ網を構成する端末にはIEEE802.11a/gの両方式の無線カードを装着する。また、ルーティングプロトコルは、インフラ網、ユーザ網共にOLSRを用いる。プロアクティブ型であるOLSRは、大規模かつ高密度に強いという特徴があり、本システムの規模を拡張した際にも対応可能である。また、数あるOLSR(QOLSR、OLSR click、pyOLSRなど)の実装の中ではolsr daemon[10]がソース・バイナリ共に公開されており、MANETの接続状況を把握するためのツールもあるため、今回の実験ではolsr daemonを利用する。OLSRの詳細設定はRFCに準拠した設定を用いる。(表2参照) WEBカメラ映像の配信はLiveCapture2[11]を用いて配信し、ユーザ網ではブラウザから配信端末のIPを直接入力し、http経由で閲覧する。また、今回

の実験で使用する端末は全てIBM ThinkpadT43を使用する。スペックはCPUがIntel Mobile PentiumM 1.7Ghz、メモリがDDR-SDRAMの1GBとノートPCとしては十分に高いスペックである。今回はOSにWindowsXP SP2を利用する。

		TC redundancy	0
Poll interval	0.1sec	MPR coverage	1
Hello Interval	2.0sec	HELLO hold	6.0sec
MID Interval	5.0sec	MID hold	15.0sec
HNA Interval	5.0sec	HNA hold	15.0sec
TC Interval	5.0sec	TC hold	15.0sec

表2 OLSR 設定詳細

5. 考察および問題点

このような環境で動画を転送した(図2を参照)ところ、中継端末において以下の三つの問題が生じた。

- 画像伝送速度が低下する問題
- 転送自体が止まってしまう問題
- 不要な経路制御情報発生問題

一つ目に、運用後しばらく経過すると画像伝送速度が低下してしまい、映像の停止時間が延び、コマ落ちなども生じた。二つ目に、配信動画のフレーム数を増加することによって、転送そのものできない症状が発生した。ストリーミング映像をエンコーディング処理することや、MANETのマルチホップ通信処理によってCPU負荷が増大したのか、最悪なときにはCPU利用率が100%になり映像配信が停止することもあった。三つ目に、構成したMANETの端に位置する端末で、一度接続を作成した後に、再接続した際に切断した経路情報が消えずに残ったまま新たな経路を作成してしまい、不要な経路制御情報が発生した。本システムがより大規模なシステムになった場合、中継ノードにおいて処理するルーティング情報がより膨大になるため、非常に大きなCPU負荷がかかってしまい、とても配信どころではなくなると予想される。また、転送する情報量がさらに増えることで、輻輳制御がボトルネックになり、転送できなくなる可能性が高くなると予想される。

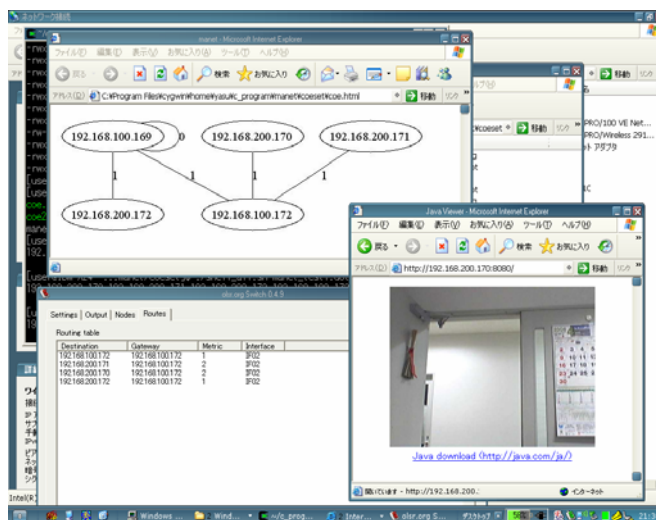


図2 映像転送時のユーザ端末画面

6. MANET 上での動画転送に適したトランスポート層の検討

先述した初期実験から得た知見を元に、三つの問題点のうち一つ目の、伝送速度の低下問題について解決手法を検討する。画像伝送速度が低下してしまう理由として考えられる要素は非常に多いが、特に影響が高いと考えられる要素を以下に列挙する。これらの問題点について考えていく際に気をつけることとして、アドホックネットワーク独自の問題点であるのか、無線 LAN としての問題点であるのかを明確にし、混同しないよう注意することが挙げられる。

- データリンク

IEEE802.11 の方式自体についての問題であり、隠れ端末問題や無線状態の不安定さによる制御パケットロスがある。

- ルーティングプロトコル (プロアクティブ・リアクティブ)

既存研究において述べたルーティングプロトコルのうち、今回の実験は、ノードが頻繁に移動しない環境であることを考慮し、大規模かつ高密度に強い特性を持つ OLSR を用いた。逆に頻繁に移動するような環境であれば、既存研究でも述べたように AODV での実装が適している。

- トランスポートプロトコル

今回映像配信用のアプリケーションとして LiveCapture2 を用いた。これは TCP を利用している。そのため、コネクション管理が複雑になり転送の遅延を招いているのではないかと考えられる。インターネット上でのストリーミング配信には一般的にコネクションレスの UDP が利用されており、映像配信に適した方式だと考えられている。しかし、無線環境において UDP を利用する場合、相手端末の通信状態を考慮せずに一方的にデータを送信し続けると、相手が居ないような場合でも、限りのある無線帯域を使用し続けることになってしまう。そのため、単純に UDP で転送したことで効率が上がるかどうか検証する必要がある。

- アプリケーション

上記のようなアドホックネットワーク特有の問題点を考慮し、マルチホップでの転送を前提としたアプリケーション側での実装が求められる。

以上を踏まえて、限りある資源を有効利用しつつ、効率よく転送するためのトランスポートプロトコルが必要だと考える。その手始めとして、電波干渉やパケットロスの生じる現実的な環境において、MANET 上でのトランスポートプロトコルに着目した検証実験を行う。

7. 検証実験

従来の配信手法である TCP、UDP それぞれについて、MANET 上でホップ数に対応したスループットの計測を行う。実験環境は図 3 に示すように屋内環境で行う。トポロジは初期実験に用いた端末 4 台で直鎖状に 3 ホップの経路が構築できるよう配置する。先に行った初期実験から、1 ホップでの映像配信であれば現状で問題はなかったため、1 ホップから 2 ホップ、3 ホップになる際にスループット低下がどの程度見られるのかを計測する。

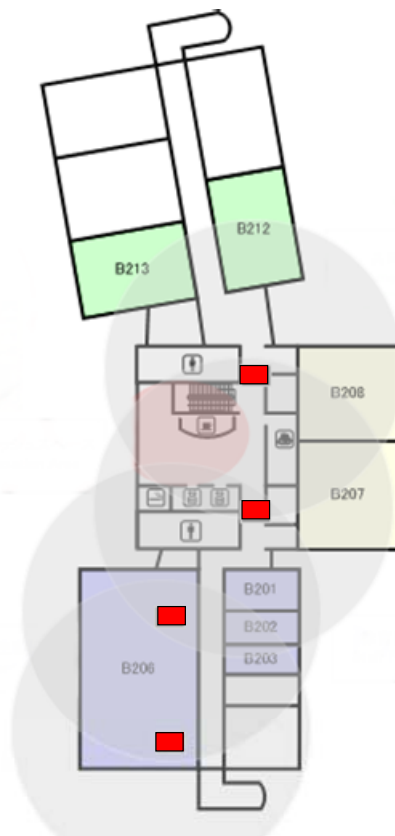


図 3 スループット計測実験環境

実験端末は全て IEEE802.11g で転送し、ルーティングプロトコルは初期実験同様に OLSR (olsr daemon) を利用し、オプションも初期実験と同様に RFC 準拠に設定する。スループットの計測には Iperf[12] を用いて計測する。TCP/UDP のバッファは 8 KB、UDP のウィンドウサイズは 1470 Byte (datagram size) とし、送信 Bandwidth は 500 Kbps から転送開始し、初めてパケットロスが生じた時点の速度を計測する。TCP/UDP のそれぞれ約 10 秒間転送し、Transfer、Bandwidth を算出する。UDP ではジッタ、パケットロス率も算出する。これを 5 回繰り返し、その平均値を取る。

8. 検証実験の考察及び問題点

表 3 と図 4 は計測したスループットの表とグラフである。1 ホップ (2 端末間の直接通信) の場合は、TCP も UDP もスループットに目立った差は出ず、UDP で生じたジッタも 2~3ms 程度であり、パケットロスもほとんど起きなかった。しかし、2 ホップ以上になると TCP、UDP 共にホップ数に依存してスループットが大幅に減少した。2 ホップ時でのスループットは、UDP では 1 ホップ時と比べ 10 分の 1 に、ジッタは平均 38ms に、TCP では 50 分の 1 にも落ち込んだ。3 ホップになると UDP では 2 ホップ時の半分以下に落ち、ジッタは 40~60ms となった。TCP でのスループットは 263.8 Kbps から 200.4 Kbps へ下がりはしたものの、2 ホップと比較してあまり変化は無かった。このことから、1~3 ホップ環境の MANET におけるスループットは、常に UDP の方が TCP より高いが、3 ホップにおいて、その際は殆ど無くなっていることがわかる。また、TCP は 2 ホップ以上になると極端に転送効率が下がってしまう傾向にある。

	TCP	UDP	UDP	UDP
	Bandwidth	Bandwidth	Jitter	Loss
1hop	14.8M	14.7M	2.5ms	0.0154%
2hop	263.8K	1.4M	38ms	15.2%
3hop	200.4K	485.4K	49ms	22.0%

表 3 ホップ数による TCP/UDP のスループット
(Bandwidth の単位は bits/s)

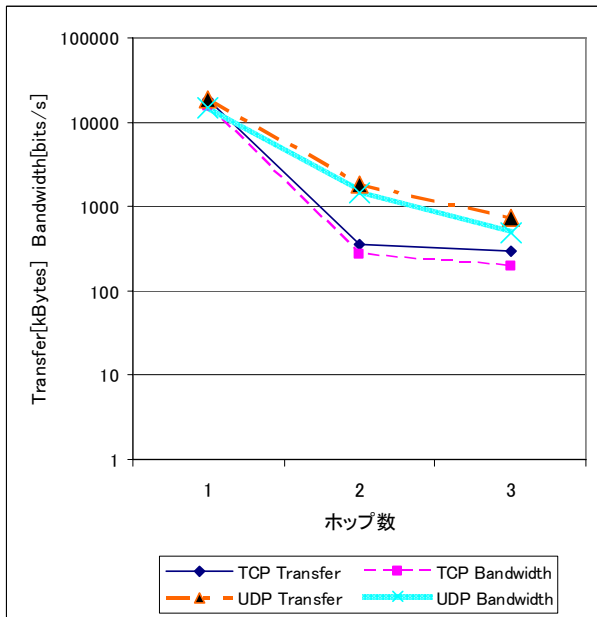


図 4 ホップ数による TCP/UDP のスループット
(対数グラフ)

9. まとめと今後の課題

初期実験として、MANET における映像転送実験を行った。その際、マルチホップでデータを転送すると、極端に転送速度が低下する問題が発生した。その原因として、様々な問題が考えられたが、本稿ではトランスポートプロトコルによる改善を検討した。手始めとして、ホップ数に応じたスループットの変化を TCP/UDP それぞれについて計測した。スループット計測環境は、屋内の実空間に近い環境で計測した。その結果、UDP は常に TCP よりも高速なスループットが計測されたが、2 ホップ以上のデータ転送では TCP/UDP 共にスループットが激減した。2 ホップにおいては TCP ではなく UDP を利用することで転送効率が上がったといえるが、3 ホップとなるとそこまで大きな差は無いことがわかった。

現在、無線通信方式はより高速・安定通信へと発展しているが、例えば高速に転送が可能である転送方式を利用しても、MANET のような無線マルチホップ環境ではスループットが低下してしまう。無線環境におけるパケットロスや、IEEE802.11 において頻繁に発生するバックオフタイム、ルーティングを再構築する際にかかる時間の長さなど、スループット低下の根本的原因を解決しないことには、将来のマルチホップ高速無線通信を実現することは出来ない。また、動画のような広帯域を必要とするデータを送信するのであればなおさらである。また、アプリケーション側が MANET の通信特性を

考慮した実装をする必要があり、今回の実験結果をもとに、新たなトランスポートプロトコルを構築していくことも課題である。今回は端末が移動しない固定トポロジだったため OLSR を用いて転送させたが、AODV などのプロトコルに適した通信状態の転送比較が必要である。

10. 参考文献

- [1] S. Corson, J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", RFC2501, January 1999.
- [2] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC 3626, October 2003.
- [3] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis, "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)", RFC3684, February 2004.
- [4] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", Internet-Draft, July 2004.
- [5] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC3561, July 2003.
- [6] I. Chakeres, C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing", Internet-Draft, March 2006.
- [7] 猿渡 俊介, 鹿島 拓也, 谷田部 智之, 川原 圭博, 森川 博之, 青山 友紀, "PAVENET: 無線センサネットワーク向け基盤ソフトウェア", 電子情報通信学会総合大会, B-15-39, March 2004.
- [8] M. Conti, E. Gregori, G. Turi (Istituto di Informatica e Telematica - CNR) "A Cross-Layer Optimization of Gnutella for Mobile Ad hoc Networks" Mobihoc 2005.
- [9] 谷山健太, 森井健之, 小泉信也, 小谷幸宏, 野口和浩, 甲藤二郎, "アドホックネットワークにおけるライブビデオ配信のためのマルチパスルーティングプロトコル実装", 第3回アドホックネットワーク・ワークショップ, pp7-13, January 2006.
- [10] Andreas Tønnesen, Thomas Lopatic "http://olsr.org/"
- [11] 市川 由紀夫, LiveCapture2 Daddy's HOME, "http://www2.wisnet.ne.jp/~daddy/"
- [12] NLANR/DAST, Iperf version 1.1.1, "http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html"