

屋内環境におけるアドホックルーティングの性能評価

長谷川 淳 嶋田 智也 板谷 聡子 小菅 昌克

デバイス・ピーター 田中 信介

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,t-shimada,itaya,kosuga,davis,shinsuke}@atr.jp

あらまし 我々は、屋内環境における無線アドホックルーティングの実験結果について報告する。今回対象としたルーティングプロトコルは、オンデマンド型の AODV, テーブル駆動型の OLSR, FSR で、2 ホップおよび 3 ホップの通信で選択可能な経路数を変更し実験を行った。特にパケット誤り率と制御トラフィックについて評価する。また、電波強度の弱いリンクを避けるように FSR を改良した FSR-SS の屋内環境における有効性を示す。

キーワード 無線アドホックネットワーク, FSR, OLSR, AODV

Performance evaluation of ad-hoc routing in an office environment

Jun HASEGAWA, Tomonari SHIMADA, Satoko ITAYA, Masakatsu KOSUGA,

Peter DAVIS, and Shinsuke TANAKA

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

E-mail: †{hasegawa,t-shimada,itaya,kosuga,davis,shinsuke}@atr.jp

Abstract We report results of an experimental evaluation of wireless ad hoc routing in an office environment. We focused on the stability of two and three hop data streams through static nodes under typical operating conditions with large variations in wireless link quality. We compared performance of latest versions of on-demand type AODV and table-driven types OLSR and FSR, in particular with respect to packet-errors and control overhead. We show that a modified-FSR protocol FSR-SS which avoids links with low signal strength had comparably good performance in terms of both stability and control overhead.

Key words mobile ad-hoc network, FSR, OLSR, AODV

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る。最近では、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]。そ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向けのルーティング方式は、様々提案されている [2] [3] [4]。現在では、4 つの方式 (AODV, DSR, OLSR, TBRPF) が実験的 RFC として IESG(Internet Engineering Steering Group) に提出されている [5]。また、この他にも大規模で移動性の高いネットワークに適応したルーティング

プロトコルとして FSR [6] [7] がある。本報告では、それらのインターネットドラフトを元に実装された AODV [8], OLSR [9], FSR, および改良版 FSR を用いて、屋内環境下におけるルーティング性能を評価するために実験を行った。改良版 FSR は、電波環境的な要因を考慮しルーティング方式の安定性を高めるという考え [3] [10] から FSR を元に改良を加えたものである。

アドホックネットワーク向けルーティング方式に関する実験は、今までにも片方向通信の配信率について [11] や双方向通信の配信率および遅延時間について [12] 報告されている。我々は、特に屋内環境に特化した実用的な評価を行うために、実際のオフィスで使用可能な状態に各ノードを配置した。

2 章では、今回使用したルーティング方式、および実験方法について説明する。3 章では、実験結果を制御トラフィックと CPU 使用率、ノード数による違い、ホップ数による違いの観点から報告し、最後にまとめを行う。

2. 実験環境

2.1 ルーティングプロトコル

アドホックネットワーク向けルーティングプロトコルは、大きくテーブル駆動型とオンデマンド型に分類される。オンデマンド型ルーティングは、データ送信の要求が発生した際に初めて経路を構築する方式であり、AODV、DSR などがある。テーブル駆動型ルーティングは、定期的に経路に関する制御情報のやりとりし、あらかじめ経路表を作成しておく方式であり、OLSR、FSR、TBRPF などがある。

本実験においては、AODV、OLSR、FSR の最新版を用い、各パラメータはすべてデフォルト値を使用した。

AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Protocol) は、ホップバイホップ経路制御手法を用いており、各ノードにおいて直接通信可能な転送先を決定する。ノードはルートを切断後、送信元から送られてくるパケットを破棄せずにバッファに保持しルートを確立後送信する。

OLSR(Optimized Link State Routing Protocol) はトポロジ情報の交換を効率的に行うために、MPRs(multipoint relays)を用いている。MPRsはすべての2ホップ先のノードにパケット転送可能な最少の隣接ノードの集合であり、結果として各ノードは2ホップ先までの経路情報を知ることができる。

FSR(Fisheye State Routing) は、Fisheye(魚眼)という近いものほどよく見えるという性質を利用し、近くのノードとは情報交換を密にし、遠くのノードとの情報交換を減らしてトラフィックを軽減する方式である [6]。遠くのノードの経路情報の正確性は低いが、パケットが宛先に近づくにつれ経路情報が正しくなる。電波が弱く、通信が断続的になるノードが含まれるルートが、最短経路となる場合に、その経路を選択してしまい通信の品質が劣化してしまう。

そこで、我々は、FSR に Hello パケットの電波強度を取得し、設定した閾値よりも小さければ、経路情報に採用しないように改良を加えた。閾値の決定方法に関しては、別途発表予定である。この改良版 FSR を、FSR-SS(Signal Strength) と呼ぶ。

一般的に 802.11 を用いたアドホックネットワークにおいて、ノード発見のための Hello パケットがブロードキャストを用いて 2Mbps で送信される。一方、実際の通信をそれ以上のデータレートで行うとき、電波強度が弱いとパケットが受信できない場合がある。アドホックネットワークにおけるルーティングでもこれは問題となり、ノードの発見はできても通信ができない領域が存在する (文献 [12] では、グレーゾーンと呼ばれている)。この問題の回避方法として、実際のデータをやりとりするレートを 2Mbps に設定する方法と、不安定なリンクを排除する方法が考えられるが、FSR-SS では後者の方法を採用している。

2.2 実験方法

我々は、典型的なオフィス環境における各ルーティングプロトコルの性能を評価するため、最大 8 ノード用いて実験を行った。各ノードはすべて東芝製 Libretto で、OS は RedHat 9 を使用した。また、各ノードにはアドホックネットワーク用とノードの操作やトラフィックおよび CPU 使用率の取得、時間同期を

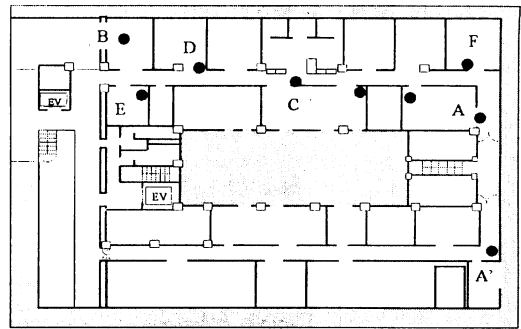


図 1 実験ノード配置図

行う実験制御用の 2 つの無線インターフェースを用意した。アドホックネットワーク用のインターフェースには、無線 LAN カードで Buffalo Melco 製 WLI-PCM-L11GP を使い、11Mbps 固定で使用した。実験制御用には、corega 製 Wireless LAN USB Stick-11 を使用した。

図 1 に本実験に使用したオフィス環境とノード配置図を示す。図 1 中の ● はノードを示している。ノード BF 間の距離は約 25m で、内部壁は金属製密閉型パーティションになっている。3 ノード測定時は {A・C・B} でノード C が中継ノードとなる。4 ノード測定時は {A・C・D・B} で、ノード C、D のどちらかが中継ノードとなる。static ルートでは、ノード C を選択している。8 ノード測定時は 4 ノード測定時のノード A、C の間に 2 台のノードと、ノード E、F を追加し、AB 間の通信実験を、3 ホップ測定時はノード E を A' へ移動させ、A'B 間の通信実験を行った。static ルートの場合、A' ↔ A ↔ C ↔ B を選択した。図 1 の配置において、ノード A' からみたノード F はグレーゾーンとなっている。

制御トラフィックと CPU 使用率については、MRTG [13] を使用し、ルーティングプロトコルを起動させ、ルーティングに関する通信以外は何もない状態で、30 分間同時に計測した。MRTG は SNMP(Simple Network Management Protocol) を使用して、ネットワークの負荷等を監視するツールである。

双方向通信の実験としては、PING を使用した。送信条件は以下のとおりである。この際、中継ノード情報も採取した。

- (1) 100 パケット
- (2) パケットサイズ 512byte
- (3) 送信間隔 1s
- (4) 試行回数 10 回
- (5) 試行間隔 5s

片方向通信の実験としては VoIP ツールを想定し RTP(Real-time Transport Protocol) パケットを以下の条件で送信した。

- (1) 2000 パケット
- (2) パケットサイズ 400byte
- (3) 送信間隔 50ms
- (4) 試行回数 10 回
- (5) 試行間隔 5s

本稿でのアドホックネットワークにおいて、すべてのノード

は同一セグメントのため、通常の設定では、中継ノードは送信元に対して宛先への直接送信を要求する ICMP リダイレクトメッセージを送信元へ送り返す [14]。ICMP リダイレクトメッセージにより、ルーティングテーブルの書換えや、余分なトラフィックによるパケット衝突が起こる可能性があるため、ルーティング機能以外での通信性能劣化が考えられる。したがって本実験においては、ICMP リダイレクトの送受信を行わないように設定した。

3. 実験結果

本稿の各ルーティングの実験結果は、測定日時を変更して数回行い、10 試行の平均値が最も良いものを採用している。また、ICMP リダイレクト機能を停止しないときに比べ、停止時、RTP の PER(Packet Error Rate) は、約 30%ほど改善することを確認している。

双方向通信実験として PING の送信を行ったが、PING 送信時の PER は RTP の片方向通信よりも 2 倍以上高くなっていた。しかしながら、相対的な性能は片方向通信と同じような傾向を示しているため、本稿では、片方向通信の結果の詳細を示す。ここで、PING の PER が RTP よりも 2 倍以上高くなっているのは、経路が往復であることだけではなく、RTP ユニキャストのように MAC レベルでの再送が起こらないためであると考えられる。

3.1 トラフィックと CPU 使用率

図 2 に 8 ノード 2 ホップ時の CPU 使用率を示す。なお、CPU 使用率はノード数に関係なくほぼ同じ値となっていた。図 2 より、AODV の CPU 使用率が一番小さくなっている。これは、AODV がオンデマンド型のルーティングであり、送信要求のない状態での計測であるために小さくなっている。また OLSR の CPU 使用率は、他に比べ高くなっている。FSR-SS が FSR に比べ小さくなっているのは、グレーズーンにあたるノードの経路情報が減り、ルートの計算量が減ったためと考えられる。

入力制御トラフィックの平均は FSR-SS、FSR、OLSR、AODV の順に多くなっていた。OLSR が FSR より多くなっていたのは、1 ホップ圏内の隣接ノードから受信したパケットをフラッディングするため、3 ノード時において最大隣接ノードが 2 であることを考慮すると、FSR の 2 倍のトラフィックが発生するためである。AODV がさらにそれよりも多くなっているのは、Hello パケットの送信間隔が OLSR が 2 秒、FSR が 5 秒であるのに対し、1 秒間隔で送信しているためだと考えられる。また、ノード数が増加すると、パケット誤り率が上昇することが考えられ、そのため入力トラフィックを各ルーティング方式の実質的な制御トラフィックの差を見ることが困難になる。

3.2 RTP パケット誤り率

図 3, 4, 5 にそれぞれ、3 ノード、4 ノード、8 ノード 2 ホップ時の RTP の PER を示す。ルートを static に設定した場合、経路情報等の制御パケットは発生せず、データ通信による通信のみであるため、static の結果は、3・4・8 ノードで同じ結果を採用している。基準となる static ルートを決定する際には、AB 間通信の中継ノードを変更して PER を計測し平均的に PER が最

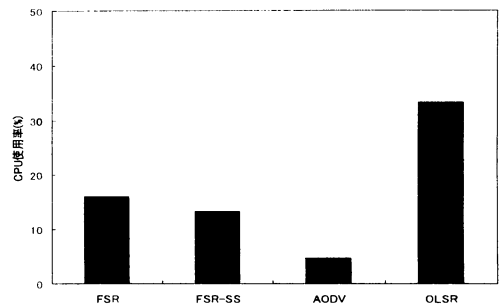


図 2 CPU 使用率

も低いルートを採用した。電波環境の揺らぎは、ノードが固定された環境でも発生する。これは、人や物の動き、その他の通信や、シャドローイング・フェージングなどが原因と考えられる。手動で設定された static 環境でのパケット誤り率に関しても、10%程度の揺らぎが見られることから、本稿の図では、10%以下を影つきにしている。

3 ノードは 1 経路、4 ノードは 2 経路、8 ノードの場合は 4 ノードの 2 経路の周りにノードが増加したような配置になっている。したがって、各ノード数により、最適なルートは変わらないが、その経路を発見し使用できるかどうかルーティング方式の性能を左右している。我々は、安定したルートのまわりに、ノード数を増加させることにより、ルーティングの安定性と、制御オーバーヘッドを調べた。

図 4, 5 の結果より、いずれのルーティング方式でも、条件が良ければ、PER が 0%になっていることがわかる。また、FSR と AODV は経路に多様性がない場合も PER が 10%を超えることがある。また、いずれのルーティング方式でも、8 ノードに増加した場合、static ルート以外は PER の変動が大きくなっており、特に FSR、AODV では顕著に現れている。

図 6 に 8 ノード 3 ホップ時における PTP の PER を示す。3 ホップ時、ノード A' からは、ノード A、F しか発見できない。図 6 のデータでは、AODV の PER は約 80%まで及んでいる。図 6 より、2 ホップの時と同様に、AODV と FSR の結果に大きな変動が見られる。特にグレーズーンにあるノード F を中継ノードとして選択してしまう時、パケットエラーが大量に発生し、PER が劣化している。

今回の実験では、いずれの場合においても、FSR-SS から安定した結果が得られている。これは、グレーズーンのノードを経路情報から排除し、電波強度の閾値により安定したルートを選択できているためと考えられる。

4. まとめ

本稿では、AODV、OLSR、FSR、FSR-SS を取り上げ、屋内環境において、双方向および片方向の通信実験を行った。また、各ルーティング方式の CPU 使用率と制御トラフィックも計測した。CPU 使用率に関しては、AODV が最も少なく、OLSR が最も多いという結果になった。PER に関しては、安定な static

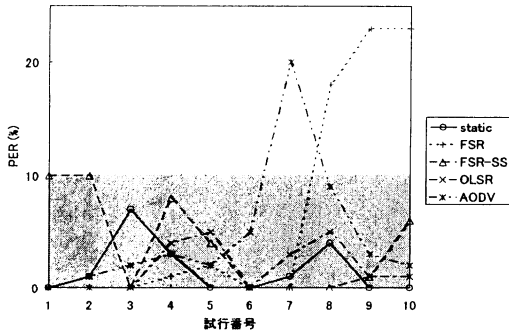


図3 3ノード時 RTP-パケット誤り率

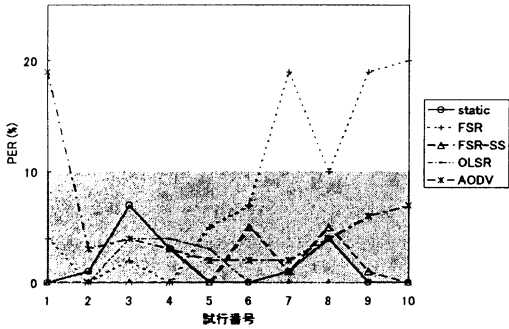


図4 4ノード時 RTP-パケット誤り率

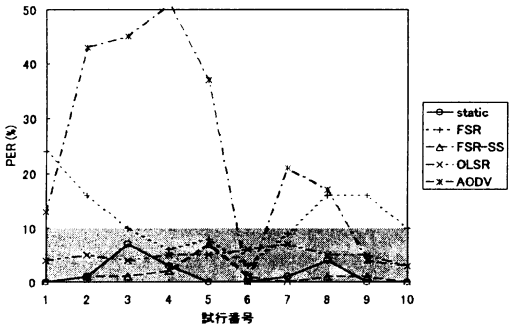


図5 8ノード時 RTP-パケット誤り率

ルートのみを使用した場合でも10%程度の揺らぎが発生し、いずれのルーティングを取っても大きく変動する。そのなかでも、AODVとFSRは、特にこの変動が顕著だった。

また、FSRよりFSR-SSのPERが良くなっており、OLSRとはほぼ同程度の性能を持ちながら、CPU使用率がOLSRより低くなっている。そのため、FSR-SSは軽いインプリメンテーションが必要なモバイルに適していると考えられる。今後は、移動ノードを考慮した場合、さらにノードを増加させた場合、配置を変更させた場合の性能評価を行う。

本稿における実験は、実際のオフィス環境で行った。そのため、人や物の動きなどの環境条件が、実験を行った日時により大きく異なっている。また、電波環境自体も、天候・気温・湿度などに、大きく影響される。さらに、各ルーティング性能は、その実装方法にも大きく依存すると考えられる。このように、た

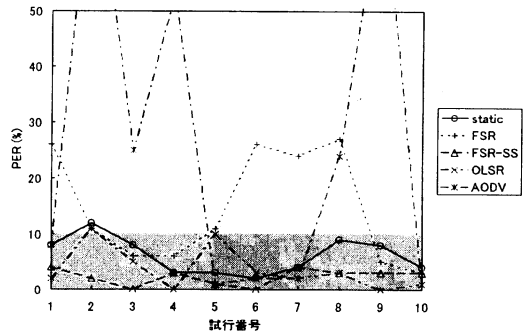


図6 3ホップ時 RTP-パケット誤り率

とえノード数が少ない場合においても、各ルーティング方式の性能を限られた実験データの平均や分散によって、単純に比較することは困難である。そのため、実際に使用する環境において、ルーティング方式の総合的な振る舞いの傾向を調べ、適切なルーティングを選択することが重要である。

謝 辞

本研究は情報通信研究機構の研究委託により実施したものである。また、FSR、FSR-SSの実装および実験計測に関する株式会社ハタシの北本 博義氏の多大な貢献に対して深く感謝する。

文 献

- [1] 小菅 昌克, 板谷 聡子, Peter Davis, 梅田 英和, "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] C.E.Perkins, "AD HOC NETWORKING", Addison-Wesley Pub, 2000.
- [3] C. K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and System", Prentice Hall PTR, 2001.
- [4] X.Hong, K.Xu, M.Gerla, "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Network, pp. 11-21, 2002.
- [5] Mobile Ad-hoc Networks(manet), <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [6] G.Pei, M.Gerla, T.-W.Chen, "Fisheye Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks", Proc ICC 2000, New Orleans, vol.1, pp.70-74, Jun, 2000.
- [7] FSR ver0.3.6, Draft ver2. <http://www.acr.atr.jp/acr/general/product/gsrfsr/>
- [8] AODV-UU ver0.8, Draft ver1.3. <http://user.it.uu.se/~henrikl/aodv>
- [9] UOLSR ver0.4.0, Draft ver1.1. <http://menetou.inria.fr/olsr/>
- [10] 堀沢 伸吾, 昌山 一成, 小菅 昌克, 蓮池 和夫, "無線アドホックネットワーク用ルーティング方式への電波環境情報の利用に関する一検討", 信学技報, RCS2002-8, CQ2002-8, 2002年4月.
- [11] 朴 鍾甲, 須田 利章, 大和田 泰伯, 照井 宏康, 間瀬 憲一, "アドホックネットワークの通信実験-経路制御方式の性能評価-", 信学技報, IN/MoMuC/MVE2003-11, pp.13-18, 2003年11月.
- [12] H.Lundgren, E.Nordstroem, C.Tschudin, "Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks", Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, Atlanta, Georgia, USA, pp.49-55, Sep, 2002.
- [13] MRTG(Multi Router Traffic Grapher), <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/>
- [14] Wireless Howto, <http://www.linux.or.jp/JF/JFdocs/Wiress-HOWTO.txt/>