

トポロジの変化を考慮したMANETテストベッドの性能評価

肥山 昌弘[†], 池田 誠^{††}, バロリ レオナルド[†]

[†] 福岡工業大学情報工学部情報通信工学科 ^{††} 福岡工業大学大学院工学研究科知能情報システム工学専攻

あらまし 本稿では Optimized Link State Routing protocol (OLSR) を用いた Mobile Ad-hoc Network (MANET) テストベッドを実装し、屋内におけるノードのネットワークへの参加と離脱、つまりトポロジの変化によるスループットの影響について報告する。ノードは一定の速度で移動し、曲がり角や折り返し地点では3秒間停止する。また、実験時間は150秒とし、開始から50秒に移動ノードのOLSRを停止させ、さらに開始から100秒後にOLSRを再起動させる。この時のOLSRのトポロジ管理とノードのネットワークへの参加と離脱による影響を調査する。評価パラメータは、スループット、往復遅延時間、ジッタとパケット棄却率を測定した。実験を行った結果、ノードの参加と離脱の影響によりUDPよりTCPのほうがスループットと遅延時間は低下したことが分かった。

Performance Evaluation of a MANET Testbed Considering Topology Changing

Masahiro HIYAMA[†], Makoto IKEDA^{††}, Leonard BAROLLI[†]

[†] Department of Information and Communication Engineering, Fukuoka Institute of Technology
s05b2030@bene.fit.ac.jp, barolli@fit.ac.jp

^{††} Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology
bd07001@bene.fit.ac.jp

Abstract In this work, we implemented a mobile ad hoc network testbed. We analysed our testbed considering the Optimized Link State Routing protocol (OLSR), mobility and topology changing in indoor scenarios. When the mobile nodes arrive at the corner, they stop for about three seconds. Experimental time is 150 seconds. At 50 seconds, one of OLSR daemons is stopped and it starts at 100 seconds. We assess the performance of our testbed in terms of throughput, round trip time, jitter and packet loss. From our experiments, we found that the node join and leave operations affect more the TCP throughput and RTT than UDP.

1 はじめに

近年、多くの人がノートパソコンや携帯電話などの小型の移動ノードを所有しており、それらからネットワークに接続することは、もはや一般的になっている。しかし、インフラが整備されていないルーラル地域や整備が困難な場所では通信を行う事ができない。例えば、災害時などでネットワークが遮断された地域や山中、砂漠などの場所が挙げられる。そこで、インフラを利用せず付近にある移動ノードを経由するその場限りのネットワークを形成し、通信を行う Mobile Ad-hoc Network (MANET) が注目されている。また、MANET のプロトコルをメッシュネットワーク、センサネットワークや車車間ネットワークに最適化されるための研究も行われている¹⁾。マルチホップ通信の問題点として、複数のフローが同時に通信を行う場合などに、不公平性や衝突による

パケット棄却などが発生し、スループットが低下する問題がある^{2, 3)}。本稿では、MANET の経路制御プロトコルである Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) を用いた屋内における移動ノードのモビリティを考慮し、さらにノードの参加と離脱などのトポロジの変化を考慮したテストベッドを実装し、性能評価を行った結果を報告する。実験は全ノードを停止させて行った実験 (STA)、ノードを1つ移動させた実験 (MV1)、移動するノードをネットワークから参加・離脱させる実験 (MV2) の計3種類の実験を行った。

以下、まず2章では関連研究について、3章では MANET について、4章で OLSR について説明する。続いて、5章では実験モデルについて、6章では実験結果と考察を述べる。そして、最後に7章では今後の課題を述べる。

2 関連研究

本稿のテストベッド同様に、これまでに様々なテストベッドが実装されている⁴⁾。文献^{1, 5)}では、新潟大学の大規模アドホックネットワークテストベッド上で実験的にエンド・エンドでより高いスループットを実現する手法について検討し、一定のパケット配信率閾値を指標として設定することで高いスループットが得られたと報告している。これはスケラビリティを考慮しているためテストベッドの規模が異なるが、本稿ではノード数が少ないためネットワークの分析が比較的容易に分析ができる。

我々はこれまでに屋内・屋外におけるアドホックネットワークのテストベッドを実装し、複数のフローによるトラフィックの不公平性やMANETプロトコルのホップ数におけるスループットへの影響について分析を行った^{6, 7)}。その結果、屋外における場合、ホップ数が3を超えるとスループットが低下することが分かった。しかし、これらのテストベッドはモビリティを考慮していなかった。そこで、文献^{8, 9)}ではOLSRのLink Quality Window Size (LQWS)におけるモビリティによる分析を行った。LQWSを10と100で比較した場合、移動ノードが複数または一台でもある場合にはLQWSを10にしたほうが、より高いスループットを得ることが可能となりモビリティをサポートすることが分かった。

そこで、本稿ではノードが移動することによるトポロジの変化とノードの参加と離脱を考慮した環境をテストベッドに実装し評価を行う。これは、通信の途中にOLSRを停止させ、一定時間経過後に再起動を行うことによりノードの参加と離脱による影響を評価する。トラフィックとしてTCPとUDPのシングルフローを用いてスループット、往復遅延時間、ジッタおよびパケット棄却率への影響について評価する。

3 MANET

MANETは無線ネットワークの一種で、移動無線ノード同士の動的な通信をするネットワークの事である。各ノードがルータの機能を持ち、ノード同士の直接通信を行ってパケットリレーの要領で目的のノードまでパケットを送信する。これにより自ノードと目的のノードが直接通信を行えなくても通信を行う事ができるようになる。MANETでは、現在ルーティングプロトコルの研究が盛んである。これは、使用される環境などにより最適なプロトコルが

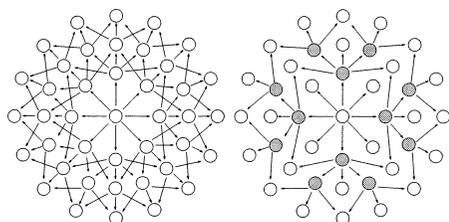
異なるため、万能なルーティングプロトコルが存在しないためである。現在、MANETではReactive型とProactive型の2種類のルーティングプロトコルが主に研究されている。

Reactive型は、通信要求が来てから情報交換を行うプロトコルである。通信要求が無ければ、そのまま何も起こらない。通信要求が来ると、ルーティングプロトコルが動作して周りのノードと情報交換を行う。そして、経路表を作成し、通信可能な状態になる。欠点として、通信可能になるまでのタイムラグが必ず発生してしまうという点が挙げられるが、無駄な通信を極力行わないのでノードの消費電力を抑えることができ、ノードの寿命が長いという長所も挙げられる。代表的なプロトコルは、Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV), Dynamic MANET On-demand Protocol (DYMO), Dynamic Source Routing (DSR)がある。

Proactive型というのは、常に隣接するノードと情報交換を行い、通信要求があれば即座に通信を開始することができるプロトコルの事である。欠点として、常に情報交換を行うため、無駄なパケットが少なからず発生し、ノードの寿命が短いという点が挙げられる。また、情報交換を頻繁に行うためブロードキャストストームを発生させる可能性も高くなる。ブロードキャストストームとは、送信元ノードがブロードキャストを送信した時にネットワークを延々と巡ってしまう現象である。こうなると、帯域がブロードキャストに占有されてしまい正常な通信を行う事ができなくなる。代表的なプロトコルは、OLSR, Topology Broadcast Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)が代表例である。

4 OLSR

OLSRとは、MANETのルーティングプロトコルの一種でProactive型のプロトコルである¹⁰⁾。周囲との情報交換では、Helloメッセージなどの4種類のメッセージが使用される。OLSRの一番の特徴はフラッディングを効率良く行う事である。フラッディングは、一つのノードから全ノードに同一情報を送信することである。制御情報を含むパケットは、ネットワークに参加している全ノードに配信される場合が多いため、フラッディングは重要である。一般的なフラッディングでは、全ノードが一回以上送信を行う(図1(a))。ここでProactive型の欠点となるブロードキャストストームが発生する。しか



(a) 一般的なフラッディング (b) MPR 集合

図1 フラッディング手法

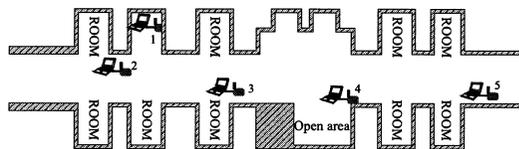
し、OLSRではMulti Point Relay (MPR)と呼ばれるノードの集合を定義し、その選ばれたノードだけが再送信を行う事で無駄なパケットの送信を削減することができる(図1(b))。これにより、ブロードキャストストームの発生を防ぐ事ができ、さらにノードの無駄な消費電力を抑える事もできる。OLSRでは、ヒューリスティックなMPRノード選定を行う。一般的に、全ノードは単純なDijkstraアルゴリズムによって最短経路を決定するが、これではパケット棄却率が高くなり良い方法とは言えない。そこで、OLSR daemon (OLSRd)¹¹⁾ではLink Quality (LQ)の拡張を行う。このLQとは、最短経路を決定するアルゴリズムでパケット棄却率の平均をメトリックとしている。ブロードキャストストームとは、送信元ノードがブロードキャストを送信した時にネットワークを延々と巡ってしまう現象である。こうなると、帯域がブロードキャストに占有されてしまい正常な通信を行う事ができなくなる。

5 実験モデル

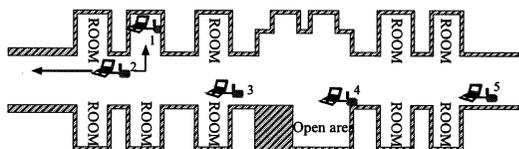
5.1 モデル設定

本稿では、ノードのネットワークへの参加と離脱による影響を調査するために、屋内で図2のような三種類のモデルを実装し検証を行った。

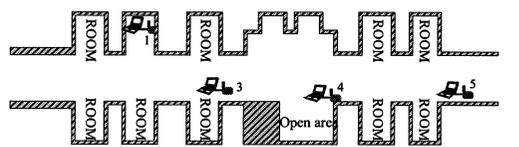
図2(a)は、全ノードが停止した状態での実験モデルでSTAと呼ぶ。図2(b)は、ノード2が矢印のように移動を続けた実験モデルでMV1と呼ぶ。そして、MV2は、実験開始から50秒までが図2(b)と同じ移動パターンであり、50秒から100秒までが図2(c)に示すようにノード2をネットワークから離脱させた状態で実験を行う。さらに、実験開始から100秒になったら再びネットワークへノード2を参加させる。また、図3は、MV2におけるノード2のOLSRの活動状況を示している。



(a) STA



(b) MV1 および MV2 の 1 から 50 秒と 100 から 150 秒間



(c) MV2 の 50 から 100 秒間

図2 実験モデル

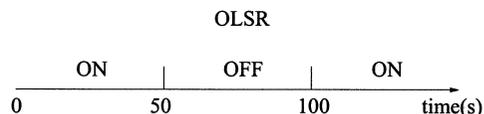


図3 ノードの離脱と参加 (MV2)

5.2 トラフィックと移動パターン

ノード1はゲートウェイ機能を有しDNSとルータ機能を可動させ、全ての測定をするためのスクリプトを実行する。また、ウェブツールによる実験の管理を行えるようにしている。ノード2は以下の四つのルールで移動する。

1. 直線では一定速度で移動する(人間の歩行速度)。
2. 曲がり角や折り返し地点にきた場合、3秒間停止する。
3. ノード2の往復時間は約50秒である。
4. ノード2のネットワークへの参加と離脱はノード1と同じ部屋内の折り返し地点で行う。

ノード1とノード5間の距離は約100メートルで、障害物の影響により1ホップで通信を行う事はできない。STAのノード1とノード2間はコンクリート

表 1 実験結果 (平均値) - (\hat{T} , \widehat{RTT} , \hat{J} , \widehat{P}_L)

群	因子		1 → 2				1 → 3			
	Flow	Model	\hat{T}	\widehat{RTT}	\hat{J}	\widehat{P}_L	\hat{T}	\widehat{RTT}	\hat{J}	\widehat{P}_L
A	UDP	STA	492.650	0.007	0.001	1.43	499.233	0.003	0.001	0.10
B	UDP	MV1	153.143	3.208	0.032	68.88	489.400	0.004	0.002	2.08
C	UDP	MV2	71.386	5.725	0.058	80.23	493.069	0.004	0.001	1.33
D	TCP	STA	499.618	0.120	0.006		499.595	0.087	0.005	
E	TCP	MV1	3.143	93.688	1.345		497.719	2.149	0.010	
F	TCP	MV2	32.947	30.342	0.192		499.676	1.600	0.010	

群	1 → 4				1 → 5			
	\hat{T}	\widehat{RTT}	\hat{J}	\widehat{P}_L	\hat{T}	\widehat{RTT}	\hat{J}	\widehat{P}_L
A	490.541	0.001	0.001	1.84	435.546	1.606	0.010	5.59
B	399.679	0.935	0.007	20.02	238.592	1.857	0.106	46.13
C	381.534	0.884	0.170	23.50	285.418	2.984	0.158	42.54
D	499.594	0.238	0.006		489.904	2.132	0.011	
E	440.536	2.069	0.012		499.738	0.009	0.001	
F	490.759	0.128	0.005		224.203	7.911	0.030	

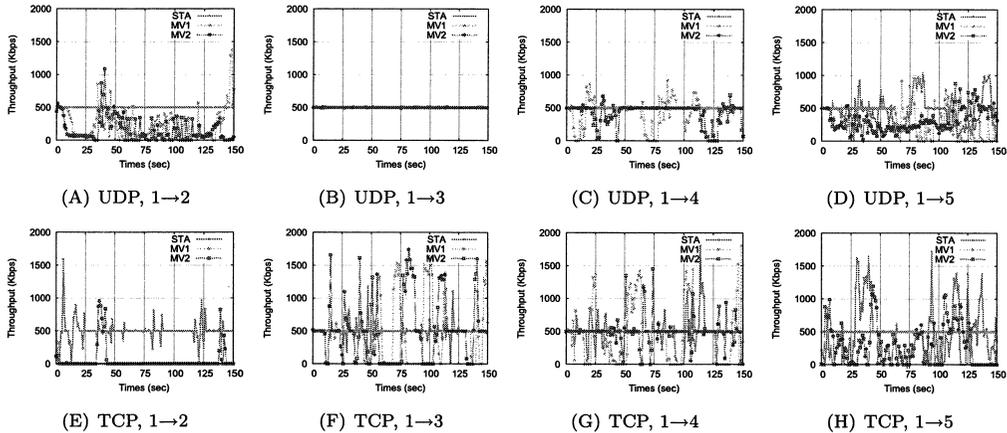


図 4 TCP を用いた場合のスループット

壁があるため直接波が期待できない見通し外通信である。トラフィックの種類としてUDPとTCPの2種類を利用した。パケットサイズを512Kbytes, パケットレートを122pps. 実験時間を150秒とする。利用したハードウェアとソフトウェアの構成は以下である。

- OS: Fedora Core 4
- Wireless card: WUSB54G-JP
- Traffic generator: D-ITG^[12]

6 実験結果

実験結果として図4にUDPとTCPのそれぞれのスループット [Kbps], 図5に往復遅延時間 [sec], 図6にジッタ [sec], 図7にパケット棄却 [pkt] を示し, 表1にスループット (\hat{T}), 往復遅延時間 (\widehat{RTT}), ジッタ (\hat{J}), およびパケット棄却率 (\widehat{P}_L) のそれぞれの平均値を示す。

これらのグラフは実験の違いを判断しやすくするため, 送信ノード別に表示させている。ノード1からノード2への実験の場合, 1→2としている。

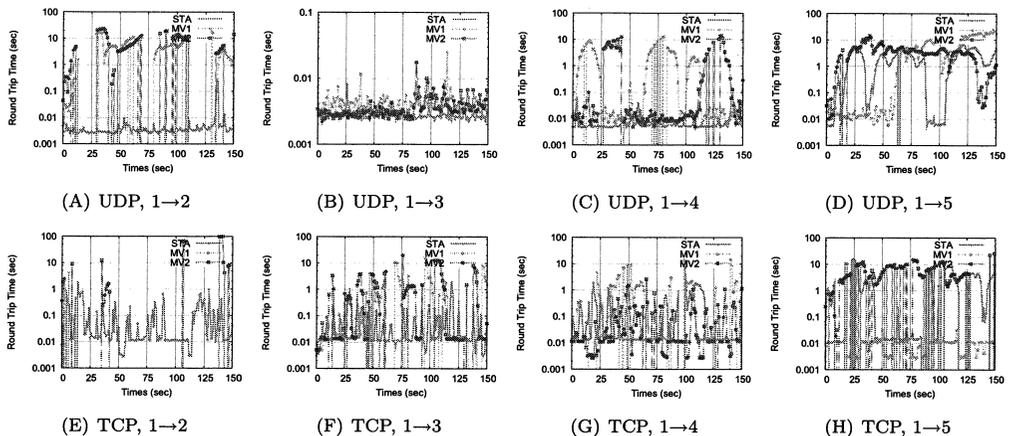


図 5 往復遅延時間の結果

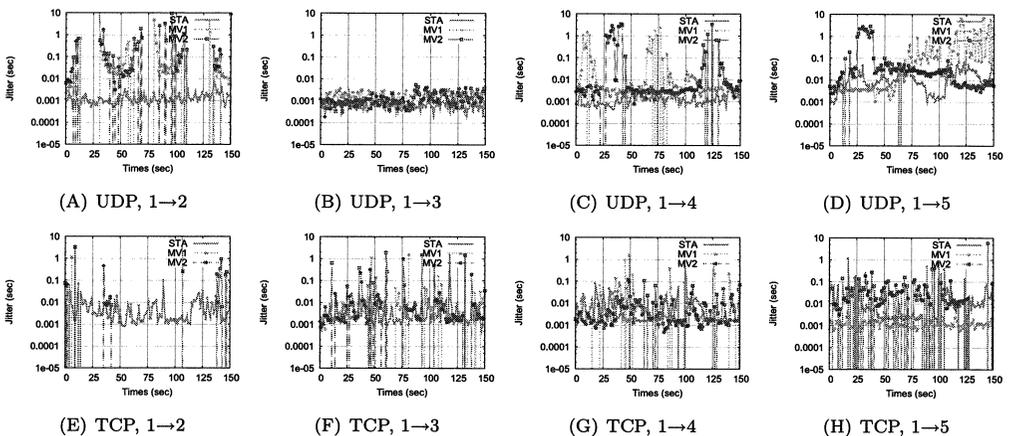


図 6 ジッタの結果

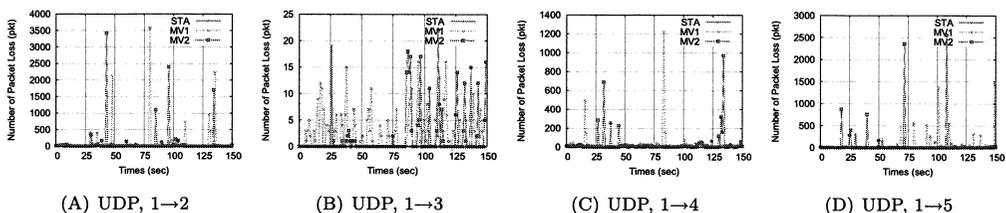


図 7 パケット棄却の結果

まず、図4 (C) と図4 (D) の結果からスループットに関しては、UDPはノード2のOLSR停止・再起動による影響が小さい。しかし、図4 (F) と図4 (H) の結果からTCPでは、ノードの離脱と参加が起こる50と100秒付近でスループットの低下が見られ、影響が大きい。これは、トポロジが変化する事が原因でパケット棄却が発生し、それに対するパケットの再送信が行われ、スループットが低下していると思われる。次に往復遅延時間の結果として、図5からもスループットの結果と同じく、UDPはトポロジの変化による影響が少ないことが分かった。また、図5 (C) のノード1→4の結果では、スループットの結果とは異なり、良い結果が得られている。これは、OLSRを停止させることにより移動するノードが無くなるため効率良い通信が行われていると考えられる。しかし、TCPではトポロジの変化による影響を受け、往復遅延時間が若干ではあるが増加している事がジッタの図6からも分かる。図7の結果として、1ホップで通信を行っている1→2 (図7 (A)) と1→3 (図7 (B)) では移動モデルのMV1とMV2では大きな差が出た。これは、表1の \bar{P}_L の結果からも分かる。原因として、ノード1とノード3も見通し外であり、ノード3の周辺にコンクリートの遮蔽物が少なく、ノード1から1ホップでデータを伝送できたためである。

7 むすび

本稿ではトポロジの変化を考慮したMANETテストベッドを3種類のモデルとして実装し、UDPとTCPの2種類のシングルフローを利用しOLSRの性能評価を行った。結果として、UDPではパケット棄却の再送信の機能が無いため、トポロジの変化による影響が小さい。一方TCPでは、OLSRの停止・再起動によるパケット棄却への再送信スループットの低下が見られる。

今後の課題として、本稿ではノードを1台のみを移動させて行ったため、移動させるノードを増やして今回の結果と比較を行うことと、屋外での実験を行うことである。

謝辞

本研究は日本学術振興会からの研究費による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Y. Takahashi, Y. Kaneko, and K. Mase, "Experiments on route selection for achieving high throughput in wireless mesh networks," *IEICE technical report. Information networks*, vol. 106, no. 42, pp. 25–30, September 2006.
- 2) M. Durvy and P. Thiran, "Understanding the gap between the IEEE 802.11 protocol performance and the theoretical limits," *SECOM-2006*, vol. 2, pp. 324–339, 2006.
- 3) A. Aziz, R. Karrer, and P. Thiran, "Effect of 802.11 adaptive exponential backoffs on the fluidity of downlink flows in mesh networks," in *Proc. WinMee-2008*, 2008.
- 4) W. Kiess and M. Mauve, "A survey on real-world implementations of mobile ad-hoc networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 5, no. 3, pp. 324–339, 2007.
- 5) Y. Owada, Y. Takahashi, T. Suda, H. Terui, F. Taki, T. Yagi, and K. Mase, "A large scale wireless mobile ad hoc network testbed," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 324–328, September 2005.
- 6) G. De Marco, M. Ikeda, T. Yang, and L. Barolli, "Experimental performance evaluation of a proactive ad-hoc routing protocol in out- and indoor scenarios," in *Proc. AINA-2007*, Canada, May 2007, pp. 7–14.
- 7) M. Ikeda, G. De Marco, T. Yang, and L. Barolli, "A bat in the lab: Experimental results of new link state routing protocol," in *Proc. AINA-2008*, Canada, May 2008, pp. 295–302.
- 8) M. Hiyama, M. Ikeda, and L. Barolli, "Performance evaluation of an ad-hoc network testbed considering node mobility in indoor environment," *The 61st Joint Conference of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, 11-2A-11*, September 2008.
- 9) M. Ikeda, G. De Marco, M. Hiyama, and L. Barolli, "Effects of mobility in throughput of a MANET Testbed," *Multimedia Communications and Distributed Processing Workshop (DP-SWS'2008)*, vol. 2008, no. 14, pp. 31–36, December 2008.
- 10) T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," RFC 3626 (Experimental), 2003.
- 11) A. Tønnesen, "OLSRd: Implementation code of the OLSR," <http://www.olsr.org/>.
- 12) "D-ITG: Distributed Internet Traffic Generator," <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>.