

## 5D-3

モバイルアドホックネットワークにおける  
パケットロス率と遅延を考慮した経路制御機構高橋 ひとみ<sup>1</sup> 齊藤 匠人<sup>2</sup> 間 博人<sup>3</sup> 徳田 英幸<sup>1,3</sup><sup>1</sup>慶應義塾大学 環境情報学部 <sup>2</sup>総合政策学部 <sup>3</sup>政策・メディア研究科

## 1 はじめに

無線通信技術の発達や無線端末の急速な普及に伴い、無線端末同士が瞬時に動的なネットワークを組めるモバイルアドホックネットワーク (MANET) に注目が集まっている。MANET の経路制御プロトコルは多く提案されているが、そのほとんどはホップ数を経路制御の指標とし、同じ宛て先に経路が複数存在した場合には単純に最短経路を選択する。しかし、無線環境では有線環境と異なり、使用する経路の電波品質により通信性能が大幅に変動し、必ずしも最短経路が最善な経路にならない場合がある。そのため、MANET 上で効率の良い通信の実現には電波品質を考慮したホップ数以外の指標を用いた経路制御が必要である。

本研究では、MANET 上でソースルーティングを行うプロトコルで動作する、遅延とパケットロス率を指標にした経路制御機構 PDR (Packet loss rate and Delay based Routing) を提案する。

## 2 関連研究

現在、MANET 環境を構築する多くのルーティングプロトコルが提案されている。しかし、そのほとんどの経路制御は単純にホップ数を指標とし、最短経路を選択する [1, 2]。

また、本研究で提案する PDR と同じように、ソースルーティングを行う MANET 上の QoS ルーティングとして、C.R.Lin が提案する QoS ルーティング [3] がある。この QoS ルーティングでは経路選択の指標として TDMA 方式のフリースロットを用いる。送信元は宛て先までの経路を要求する際に必要なフリースロット数と共に経路要求パケットを送信する。もし、要求したフリースロット数以上を確保できる経路が存在した場合にのみ、フリースロットを予約しデータ送信を行う機構である。しかし、指標はフリースロット数のみに限定しているため、要求したスロット数以上を確保できても電波品質が悪い場合は通信性能は低下する。また、フリースロット数を発見し、スロットを確保するのはデータ送信の最初のみである。この方法では頻繁に経路における電波品質の状態が変化する MANET 環境において不十分である。

本研究で提案する PDR は、経路の電波品質を考慮した指標としてパケットロス率と遅延を用い、かつ経路に定期的なプローブを行い電波品質の状態が変化した場合でも柔軟に対応する。

## 3 MANET におけるルーティングの問題

前節で述べたように MANET を構築するプロトコルの多くは複数経路があった際、指標にホップ数を用い最短経路を選択するものである。しかし、通信性能は経路のホップ数ではなく、パケットロス率や遅延によって左右する。MANET 環境では経路のパケットロス率、遅延が電波状態やノードの位置により変動することが予想され、ホップ数が少なくてもパケットロス率や遅延が大きい場合、通信性

能は悪くなる。そのため、最短経路が通信性能において最善な経路とは限らない。

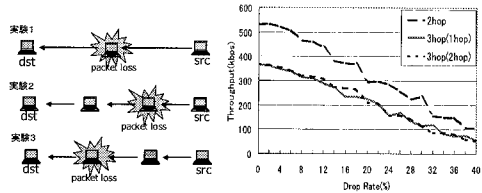


図 1: 実験内容

図 2: パケットロス率と TCP 転送性能

パケットロス率が通信性能にどのような影響を及ぼすかを考察するため、以下の基礎実験を行った。実験環境として、FreeBSD3.3R+PAO [4] および MANET を構築するルーティングプロトコルの一つである DSR (Dynamic Source Routing) [1] を用いて実際に MANET 環境を構築し、2, 3 ホップのパケットロス率と TCP 転送性能の関係を調べた。転送性能の測定には netperf [5] を利用し、10 秒間の TCP データの送受信を 10 回行い TCP 転送性能の平均値を求めた。また、中間ノードにおいてパケットをランダムに破棄させるコードを加え、パケットロスが発生させた。

実験内容を図 1 に示す。実験 1 では、3 台のノードで 2 ホップの経路を構築し、1 ホップ目のノードでパケットロスを発生させた。実験 2 では 4 台のノードで 3 ホップの経路を構築し、1 ホップ目のノードでパケットロスが発生させた。実験 3 では実験 2 と同様に 3 ホップの経路を構築し、2 ホップ目のノードでパケットロスを発生させた。

その結果を図 2 に示す。パケットロス率が高くなるにつれ TCP 転送性能が低下する事が分かる。また、2 ホップ、3 ホップの転送性能を比較するとパケットロス率によっては、2 ホップの転送性能よりも 3 ホップの転送性能の方が良い状況が発生することが分かる。この実験により、最短経路が最善な経路ではない状況が発生することが判明した。

## 4 PDR の設計

PDR は MANET において、同じ宛て先に複数の経路が存在した場合、TCP 転送性能が上がる経路に切り替える経路制御機構である。

## 4.1 PDR の経路選択方式

宛て先に複数の経路が存在した場合、より高品質な通信性能が実現できる経路を選択するべきである。PDR では現在多くのアプリケーションで利用されている TCP [6] に焦点を絞り、TCP を想定した通信性能を基準とする。また、PDR ではパケットロス率を要素とする指標を用いるため UDP は想定しない。

前節ではパケットロス率を使い TCP 転送性能を比較したが、本研究のシステムでは DSR に依存しない一般的な TCP 転送性能のモデルとして [7] で提案されている式 (1) を用いる。

$$T \geq \frac{1.5\sqrt{2/3} * B}{R * \sqrt{p}} \quad (1)$$

Packet Loss Rate and Delay Based Routing Scheme in Mobile Ad-Hoc Networks

Hitomi Takahashi<sup>1</sup>, Masato Saito<sup>2</sup>, Hiroto Aida<sup>3</sup>, Hideyuki Tokuda<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Environmental Information, Keio University

<sup>2</sup>Faculty of Policy Management, Keio University

<sup>3</sup>Graduate School of Media and Governance, Keio University  
5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-8520, Japan  
E-Mail: {hitomi.masato, haru, hxt}@ht.sfc.keio.ac.jp

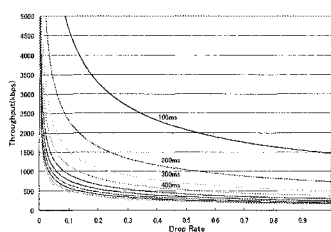


図 3: TCP 転送性能

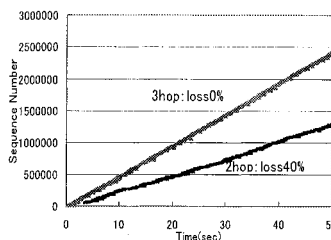


図 4: TCP シーケンス番号の推移

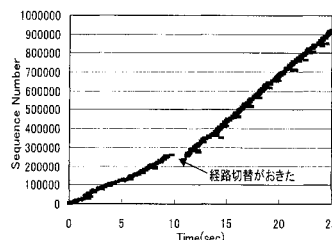


図 5: 経路切替時の TCP シーケンス番号

式(1)では  $B$ :TCPのセグメントサイズ,  $R$ :コネクションの遅延,  $p$ :コネクションのバケットロス率から  $T$ :TCP転送性能の最大値を算出できる。送信元は経路に定期的なロス率要求バケットを送信し,バケットロス率,遅延を取得する。そして,式(1)からTCP転送性能の理論値を算出し経路選択の指標に用いる。

図3は式(1)を用い,セグメントサイズを1500バイト,遅延を100ms毎に100msから1000msまでのTCP転送性能の理論値を算出したものである。これより,バケットロス率がある一定以上に達すると,バケットロス率の変動によりTCP転送性能に与える影響が低下するため,遅延が短い経路を選択することでTCP転送性能が良い経路を選択できる。

式(1)を用い,TCP転送性能の理論値を算出するためにはバケットロス率と遅延の値が必要である。バケットロス率の取得方法として各ノードは今までに転送したバケットからリンク毎のバケットロス率を測定する。送信元は宛て先に対しロス率要求バケットを送信し,宛て先はそれまで計測していたバケットロス率をロス率応答バケットに入れ,送信元に送信する。ロス率応答バケットを受信した中間ノードも同様に計測していたバケットロス率をロス率応答バケットに入れ,送信元まで転送する。

ロス率応答バケットを受信した送信元はノード毎のバケットロス率から終端ノード間のバケットロス率を算出する。遅延は送信元がロス率要求バケットを送信し,応答されるまでの時間から算出する。

#### 4.2 PDRの実装

本稿はPDRをMANET上でソースルーティングを行うDSRに実装した。ここで,DSRについて簡単に説明する。DSRはCMUのMonarch Project[8]で提案されたMANETを構築するプロトコルである。DSRは送信バケットのヘッダに宛て先までの経路を入れデータを配送をするソースルーティングを行う。送信元の経路キャッシュに宛て先までの経路が存在しない場合は,ブロードキャストにより経路の発見を試みる。発見された経路は全てキャッシュに保持され,明示的に経路が壊れたと分かるまでキャッシュから経路を削除しない。もし,同じ宛て先まで複数経路が存在した場合は,ホップ数の短い経路が選択される。

また,ホップ毎のデータ転送の際,DSR層ではある一定時間にACKが返らなければバケットの再送を行い,2回再送に失敗するとそのバケットを破棄する。そのため,IP層のバケットロス率を測定するにはDSR層での再送を考慮する必要がある。

#### 5 PDRの評価

図4は2ホップと3ホップのTCPシーケンス番号の推移を示したものである。ただし,2ホップでは中間ノードにおけるバケットロス率を40%とし,3ホップではバケットロス率を0%とした。PDRを用いることにより2ホップ

の経路からTCP転送性能が良い3ホップの経路へ切り替えられる。

図5は実際に経路が切り替わった時のTCPシーケンス番号の推移を示したものである。実験内容として経路は2ホップと3ホップに限定し,指標はTCP転送性能の理論値ではなく,DSR層のキューにおけるバケットロス率を使用した。経路のバケットロス率は,2ホップで40%,3ホップで0%とし,切り替えるタイミングは2ホップの経路のバケットロス率が20%以上と判明した時に,経路を2ホップから3ホップへ切り替える固定したアルゴリズムを組み込んだ。また,バケットロス率要求の間隔は3秒に1回とし,TCPフローを送信した。

図5より,TCPフローを送信しはじめ,11秒で経路が2ホップの経路から3ホップの経路へ切り替わり,TCP転送性能が向上したことが分かる。

#### 6 まとめと今後の課題

本研究では,MANET上でソースルーティングを行うプロトコルにおける,バケットロス率と遅延を指標とした経路制御機構であるPDRの概要について述べた。また,Monarch Projectで公開されているDSR上でのTCP転送性能の評価を行い,PDRを用いて経路を切り替えることでTCP転送性能が高い経路でのデータ転送が可能になることを実証した。

しかし,本研究で提案したPDRは経路のバケットロス率と遅延を測定する際,一定間隔でロス率要求バケットの送信を行うため,オーバーヘッドが高くなってしまふ。また,PDRの対象を無線ネットワークとしているが,有線ネットワークにおいても適応可能である。今後の課題として,式(1)を指標としたPDRの実装や,実機だけではなくシミュレータを用いノード数や移動パターンを変更させてPDRの性能を詳細に解析する。また,ネットワーク全体の性能を考慮した負荷分散などのメカニズムも導入する必要がある。

#### 参考文献

- [1] Johnson, D., Maltz, D., Hu, Y. and Jetcheva, J.: The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, IETF Internet-Draft [Work in Progress] (2001).
- [2] Perkins, C., Royer, E. and Das, S.: Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF Internet-Draft [Work in Progress] (2001).
- [3] Lin, C.: An On-demand QoS Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks, in *Proceedings of IEEE INFOCOM'01* (2001).
- [4] FreeBSD, : <http://www.jp.freebsd.org/>.
- [5] Netperf, : <http://www.netperf.org/>.
- [6] Thompson, K., Miller, G. and Wilder, R.: Wide-Area Internet Traffic Patterns and Characteristics, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 11, No. 6, pp. 10-23 (1997).
- [7] Floyd, S. and Fall, K.: Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 7, No. 4, pp. 458-472 (1999).
- [8] The MONARCH Project at Carnegie Mellon University, : <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>.