

PD-OLSRにおけるプロトコルごとの経路制御に関する検討

三嶋 勇太¹ 旭 健作¹ 鈴木 秀和¹ 渡邊 晃¹

概要: アドホックネットワークにおいて最適な通信経路を選択するために、様々なルーティングプロトコルが提案されている。しかし、これまで提案されているものは、IP 網における TCP と UDP という特性の全く異なる通信に対し、同一の制御を行っており、特性を経路選択に生かし切れていないという課題がある。我々はこの課題に着目し、TCP と UDP で別々にルーティングテーブルを生成し通信タイプの特性を活かすと共に、特定のノードへの負荷集中を抑制する通信制御を実現するアドホックルーティングプロトコル PD-OLSR (Protocol Dependent - OLSR) を提案している。本稿では、提案方式の実装方法、特に PD-OLSR の最も大きな特徴である TCP と UDP で別々にルーティングテーブルを生成する部分について検討を行った。

1. はじめに

タブレットやスマートフォン等、無線通信機能を標準搭載した端末の登場から、配線が不要で端末が自由に移動できる無線 LAN の需要が高まってきている。中でも、中継機器を介さず端末が直接通信し、ネットワークを構築することができるアドホックネットワークに注目が高まっている。

アドホックネットワークでは、通信時のルーティングテーブル (以下 RT と記述) を各端末がアドホックルーティングプロトコルを用いて生成する。アドホックルーティングプロトコルは、IETF (Internet Engineering Task Force) において、現在まで多くの方式が標準化されている [1-7]。しかし、これらの方式は、経路生成の際に中継ホップ数が最短となる経路 (最短経路) を探索する方法を規定しており、最短経路が複数存在する場合に、どの経路を選択するかは規定されていない。そのため、トラフィックが集中したノードが発生すると、パケットロスが多発し、スループットが低下するという課題がある [8]。この課題に対し、様々な視点から標準化されたプロトコルを拡張したものが提案されている。例えば ABR (Associativity Based Routing) [9] では、リンク切断が長時間起こらない、安定した経路を選択する。各ノードは、一定間隔ごとに隣接ノードへビーコンを送信する。より多くのビーコンを受信したノードからなるリンクは、持続性が高いことが期待できるため、安定した経路が生成できる。しかし、ノードの移動が少ない環境等、ビーコンの受信回数に差が出ない環境で

は、スループットの向上が期待できない経路が選択される可能性がある。ETR (Estimated-TCP-Throughput Maximization based Routing) では、DSR (Dynamic Source Routing Protocol) [2] を拡張し、宛先への複数の経路候補に対して TCP スループットを予測し、スループットの高い経路を選択する。TCP のスループットは、所定のモデル式を用いて計算される。モデル式には、遅延 (RTT : Round-Trip Time) および往復パケット喪失率 (RTPL : Round-Trip Packet Loss ratio) の情報が必要であり、これらの情報を収集するために新たな制御メッセージを設け、一定間隔で送信する。ETR は TCP スループットのみに着目しており、UDP スループットは考慮していない。また、新たな制御メッセージによるネットワークオーバーヘッドが高くなるという課題がある。

また、IP ネットワークには、TCP と UDP という、スループット特性が全く異なる通信タイプが存在する。しかし、現在提案されているルーティング方式では、両者に対し同一の制御を行うことを想定しており、性能を引き出し切れていないという課題がある。この課題に対し、著者らはアドホックルーティングプロトコルの中で Proactive 型の代表的プロトコル OLSR (Optimized Link State Routing) を拡張することにより、RT を TCP 用と UDP 用で別々に生成し、TCP と UDP の通信特性を活かした最適な経路選択を可能とする PD-OLSR (Protocol Dependent-OLSR) を提案している [10]。本稿では、PD-OLSR の概要と最も大きな特徴である TCP と UDP で RT を分ける機能の実装に関する検討を行った。

以下 2 章で PD-OLSR の概要を説明し、3 章で UDP 用

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Nagoya, 468-8503, Japan

RT 生成機能の実装方法を示す。4章で TCP と UDP による RT 切替手法についての検討を行い、5章で UDP に関するシミュレーション評価を示す。最後に6章でまとめる。

2. PD-OLSR

2.1 特徴

PD-OLSR は、次のような特徴を持つアドホックルーティングプロトコルである。

(1) TCP と UDP で別々の RT を生成

異なる特性を持つ TCP と UDP に対し、別々の RT を用いて通信制御を行うことにより、通信特性を活かした経路選択を行う。

(2) 通信状態による経路選択

ノードの通信状態を計測し、ノードへのトラフィック集中を抑制する。各ノードは、トラフィック情報を常に計測する。計測した情報は制御メッセージに載せ広告、共有することで経路選択に用いる。このとき、制御メッセージの送受信、ノードが保持する情報の更新といった基本部分は OLSR のものをそのまま利用し、制御メッセージにトラフィック情報を追加するものとする。

2.2 TCP と UDP による経路選択基準

無線マルチホップ通信では、TCP と UDP でスループット特性に大きく違いがある。図1に、ホップ数を変化させた場合の UDP, TCP それぞれに対するスループットの変化をシミュレーションで測定した結果を示す。TCP では、順調に ACK が返ってくるとウィンドウサイズを拡大し、パケットロスを検出するとウィンドウサイズを縮小する輻輳制御により、ネットワーク帯域を使い切ろうとする特性がある。マルチホップ通信の場合には、各ホップで帯域を分け合うため、ホップ数に反比例する形でスループットが低下する。これに対し UDP では、帯域に余裕がある限り、ホップ数が増加してもスループット低下は見られない。このことから、UDP では最短経路よりもホップ数を伸ばした冗長経路が許容できると考えられる。

よって PD-OLSR では、TCP では最短経路の中から最適な経路を、UDP では取り得るすべての経路の中から最適な経路を選択することとする。

TCP と UDP のそれぞれで RT を生成するために、経路選択に用いるトラフィック情報を別々に計測する。TCP では TCP セッション数、UDP では UDP トラフィックをトラフィック情報とする。ここで、TCP において、TCP セッション数が同一の場合は、UDP トラフィックの小さい経路が選択されるものとする。

2.3 経路生成

2.3.1 ダイクストラ法

経路探索には、グラフ理論における最短経路解決アルゴ

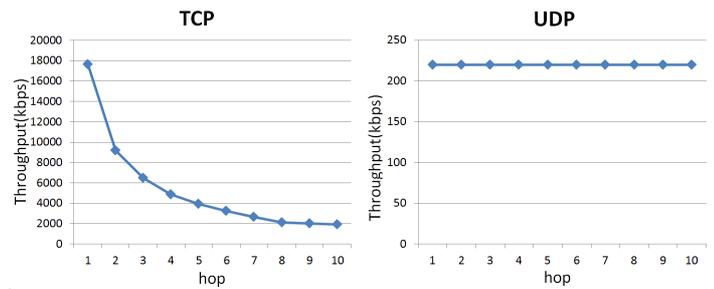


図1 TCP および UDP のマルチホップ通信時のスループット
Fig. 1 TCP and UDP throughput in multi-hop communication

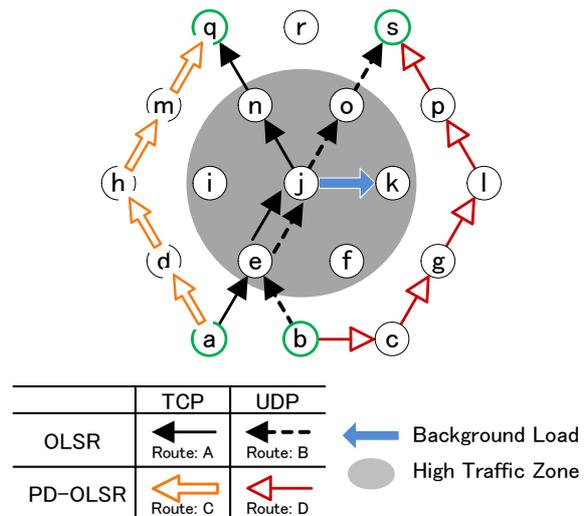


図2 OLSR および PD-OLSR の経路比較

Fig. 2 Route comparison of OLSR and PD-OLSR

リズムであるダイクストラ法 [11] を用いる。ダイクストラ法では、ノード間のエッジコストをもとに2ノード間において最小コストとなる経路を得る。

PD-OLSR では、エッジコストとしてリンクメトリックを使用し、リンクメトリックは、トラフィック情報と1ホップ分のコスト（以下ホップ数コストと記述）から求める。

2.3.2 リンクメトリック

リンクメトリックをトラフィック情報のみで求める場合、過剰に迂回する経路を選択する可能性がある。そこで、ホップ数に対してもコストを設定することにより、その大きさによって迂回度を決定できるようにする。リンクメトリックは、リンク両端ノードのトラフィック情報とホップ数コストの和によって求める。ホップ数コストを大きくすることにより経路の迂回度は小さくなり、逆にホップ数コストを小さくすることにより迂回度は大きくなる。ホップ数コストを十分大きくすると、最短経路の中から最適な経路選択をする方式と等価となる。TCP 用の RT 生成時にはこの手法を用いる。

2.4 生成経路

OLSR と PD-OLSR によって選択される経路例を図2に

示す。ネットワーク構成は、ノード 19 台が等間隔で配置されており、電波到達範囲は隣接ノードまでとする。また、背景負荷としてノード j から k に UDP による通信が行われており、隣接ノード e, f, i, n, o では UDP トラフィックが検出されているものとする。図中では、ノード a から q への TCP、ノード b から s への UDP のふたつの経路が生成される例を示している。

OLSR の場合、経路 A および B のような、ホップ数を基準とした最短経路が選択される。最短経路が複数存在する場合、どの経路を選択するかは規定されていない。このため、OLSR では特定のノードに負荷が集中することにより、パケットロスが多発し、スループットが低下する可能性がある。PD-OLSR では、ノードが計測した通信状態をもとに経路選択を行うことにより、TCP では経路 C のような最短経路の中から、UDP では経路 D のようなすべての経路の中から負荷の高いノードを避けた経路を選択する。

3. 実装

PD-OLSR における UDP 通信用の RT 生成機能をネットワークシミュレータ ns-2 [12] に実装した。本章では、実装内容について示す。

3.1 OLSR の改造

UDP 用 RT 生成を例にした PD-OLSR のフローを図 3 に示す。OLSR では、主に HELLO と TC というふたつの制御メッセージによって情報を収集し、RT 生成を行っており、PD-OLSR においても同様の手順を踏む。以下に、それぞれ処理における改造内容を示す。図中の番号は以下の番号に対応している。

- (1) 制御メッセージの送信
 - HELLO メッセージと TC メッセージに送信元ノード自身の UDP トラフィックを追加
- (2) リンク集合の更新
 - HELLO メッセージの送信元ノードと一致する隣接ノードの記録に送信元ノードのトラフィック情報を記録
 - 一致する記録が存在しないときは、新たに送信元ノードを隣接ノードとする記録を生成
- (3) 隣接ノード集合と 2 ホップ隣接ノード集合の更新
 - (2) の更新と対応する隣接ノードの記録にトラフィック情報を記録
- (4) トポロジ集合の更新
 - TC メッセージの送信元ノードと一致する宛先ノードの記録にトラフィック情報を記録
 - 一致する宛先ノードが存在しないときは、新たに送信元ノードを宛先ノードとする記録を生成
- (5) RT 生成
 - 3.3 節に示す方法で RT を生成

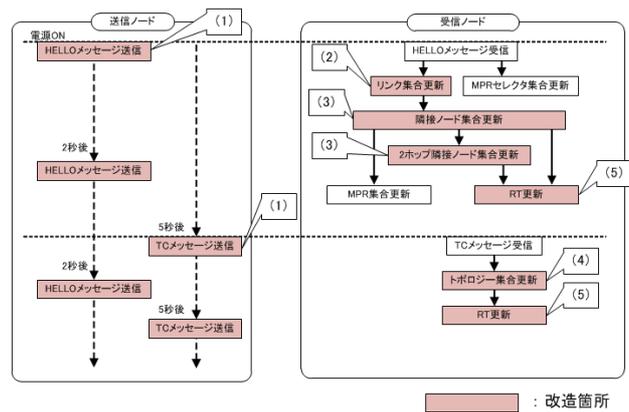


図 3 OLSR の改造箇所
Fig. 3 Alterations of OLSR

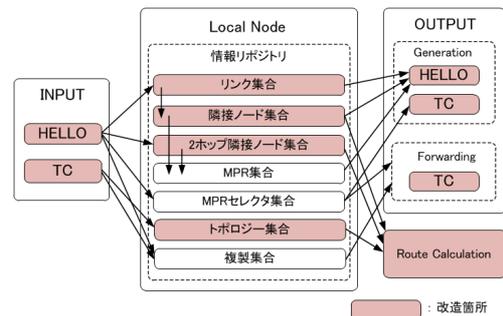


図 4 制御メッセージと情報リポジトリの関係
Fig. 4 Relationship between control message and information repositories

<p>リンク集合</p> <p>自ノードインターフェース 隣接ノード リンクタイプ 有効期間 隣接ノードトラフィック</p>	<p>2ホップ隣接ノード集合</p> <p>隣接ノード 2ホップ隣接ノード 有効期間 隣接ノードトラフィック</p>
<p>隣接ノード集合</p> <p>隣接ノード リンクタイプ 隣接ノードタイプ Willingness 有効期間 隣接ノードトラフィック</p>	<p>トポロジ集合</p> <p>宛先ノード 到達可能ノード 到達可能ノードトラフィック 有効期間 シーケンス番号</p>

太字: 追加情報

図 5 情報リポジトリ
Fig. 5 Repositories

3.2 情報リポジトリ

図 4 に制御メッセージと情報リポジトリの関係を、図 5 に改造した各リポジトリが保持する情報を示す。HELLO メッセージを受信したノードは、リンク集合、2 ホップ隣接ノード集合、MPR セレクト集合、複製集合を更新する。また、リンク集合、2 ホップ隣接ノード集合の更新に伴い、隣接ノード集合と MPR 集合も更新する。一方、TC メッセージを受信したノードは、トポロジ集合と複製集合を更新する。これらの更新されたテーブルを元に、新しい HELLO

メッセージ、及びTCメッセージを生成する。MPR (Multi Point Relay) 集合とは、OLSR の特徴のひとつであるフラディングを効率的に行うために管理するノードの集合、MPR セレクタ集合とは、自身が MPR 集合に含まれる場合に自身を MPR として選択しているノードの集合である。MPR は、隣接ノード集合に含まれる Willingness をもとに決定する。今回は、リンク集合、隣接ノード集合、2 ホップ隣接ノード集合およびトポロジ集合に赤字で示すノードのトラフィック情報を追加した。なお、追加した情報を含めた情報リポジトリは、制御メッセージに載せて広告される。

3.3 RT 生成

制御メッセージにより共有した各ノードのトラフィック情報をもとに、RT を生成する。リンク両端のトラフィック情報およびホップ数コストをリンクメトリックに変換し、ダイクストラ法を用いた経路探索を行う。ダイクストラ法によって、各ノードを宛先 (Dest) とした宛先までの経路の最小コスト (Cost)、距離 (Dist)、経路中のノード (hop1, hop2, ...) が得られる。得られた情報の中から、Dest, Dist, そして hop1 を次ホップ (Next) として RT を生成する。

4. TCP と UDP による RT の切替手法

提案方式では、UDP と TCP の通信特性の違いをルーティングに反映させるため、別々の RT を生成している。そのため、受信したパケットの種類により参照する RT を切り替える必要がある。図 6 に、ノードがデータパケットを転送する場合の、パケット受信から RT 切替までの処理フローを示す。パケットを受信した際、IP ヘッダの情報からパケットの種類を識別する。図の例では、UDP であれば 1 を、TCP であれば 2 をマークする場合を示している。ルーティング部分では、マーク値によって参照するテーブルを切り替える。例では、マーク値が 1 ならば UDP 用 RT を、2 ならば TCP 用 RT を参照する。このような手順を踏むことで、パケットの種類による RT 切替が可能となる。

この手法では、実環境、シミュレーション環境問わずパケットの種類によるルーティング切替を実現することができる。例えば Linux において、このような機能を実現する手法として、iptables と iproute2 のふたつの技術を組み合わせるものがある [13]。先述の手法において、受信したパケットの識別からマーキングまでの前半部分を iptables が、マーク値によるテーブル切替の後半部分を iproute2 がそれぞれ担う。

5. シミュレーション評価

本章では、UDP 用 RT 生成機能を用いて、ns-2 によるシミュレーションを行った結果を示す。VoIP を想定した

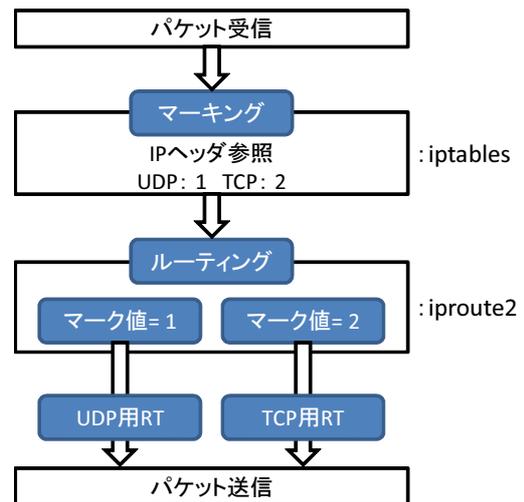


図 6 RT 切替フロー

UDP により、ネットワークに負荷を与えた際、パケットロスにどのような影響を与えるかを調査した。

5.1 リンクメトリックの設定

リンクメトリックは式 1 のように求める。ここで、 L をリンクメトリック、 T_L および T_R をリンク両端ノードのトラフィック、 H をホップ数コストとする。

$$L = T_L + T_R + H \quad (1)$$

また、今回の評価におけるホップ数コスト H は、 α を迂回係数、 T_{max} をネットワーク内のトラフィック最大値とすると、式 2 のように求める。経路の迂回度に関わるホップ数コストは、 T_{max} に依存する。また、経路の迂回度は α によって調整する。

$$H = \alpha T_{max} \quad (2)$$

5.2 シミュレーション条件

シミュレーション条件を表 1 に示す。ノード配置は図 2 と同様とし、ノード数は 37 台とした。シミュレーション時間は 5 分間とし、1 分ごとに 10 本ずつ UDP を増加させる。PD-OLSR のリンクメトリックに係数 α を 0.5, 1~6 とした場合および OLSR の場合について比較を行った。

5.3 評価結果

各方式におけるシミュレーション中のパケットロス数を図 7 に、パケットロス数と改善率を表 2 に示す。ここで、PD-OLSR においてリンクメトリック係数 α が i である場合を PD-OLSR $_i$ と表記している。

測定の結果、今回行った PD-OLSR の係数の範囲では、いずれも OLSR と比較してパケットロスを改善でき、係数 1 とした場合が最もパケットロスが少なく、改善率は

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation conditions

ネットワーク	
形態	アドホックネットワーク
通信規格	IEEE802.11g
ノード数 [台]	37
電波到達範囲	隣接ノード
通信組	2台1組, ランダム
セッション数 [本]	40
通信	
トランスポートプロトコル	UDP
通信タイプ	CBR
パケットサイズ [Byte]	200
レート [kbps]	64

74.55%であった。係数を小さく、つまり経路の迂回度を大きくしていくとパケットロス数が減少するが、過剰に迂回するような場合には逆にパケットロスが増加する結果が得られた。迂回度がある程度大きい場合に、改善率が増加することから、最短経路が必ずしも最適な経路ではないことを示している。このとき、どの係数が最もパケットロスが少なくなるか、またどの程度改善されるかは、ネットワークトポロジに依存すると考えられる。今後、様々な環境での評価を行い、最適な迂回度をどのように求めるか検討を行う。

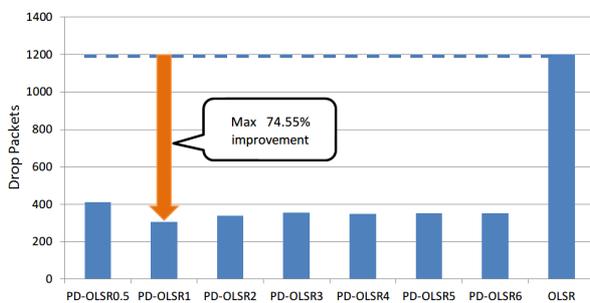


図 7 パケットドロップ数の比較
Fig. 7 Comparison of Drop Packets

表 2 パケットドロップ数と改善率

Table 2 Comparison of Drop Packets and Improvement Rate

	Drop	改善率
PD-OLSR0.5	411.7	65.79 %
PD-OLSR1	306.3	74.55 %
PD-OLSR2	338.2	71.90 %
PD-OLSR3	355.1	70.49 %
PD-OLSR4	349.2	70.98 %
PD-OLSR5	351.9	70.76 %
PD-OLSR6	352.6	70.70 %
OLSR	1203.5	-

6. まとめ

本稿では、TCP と UDP の特性の差を考慮したアドホックルーティングプロトコル PD-OLSR の概要と複数の RT を切り替える機能についての検討を行った。受信したパケットの識別をマーキングし、RT を切り替える機能を実装することにより実現が可能となる。

今後は、RT 切替機能を実装し、TCP と UDP の混在環境における評価を行う。また、端末の移動、メッシュネットワークなど様々な環境での評価を行うため、離散事象シミュレータ Scenargie [14] への移行を行う。さらに、トラフィック情報だけでなく、バッテリー残量や隣接端末数等、環境に合わせた様々なメトリックとの組み合わせを検討する。

参考文献

- [1] T. Clausen, E.: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC 3626, IETF (2003).
- [2] Johnson, D.: The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4, RFC 4728, IETF (2007).
- [3] Perkins, C.: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, RFC3561, RFC 3561, IETF (2003).
- [4] Ogier, R.: Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF), RFC 3684, IETF (2004).
- [5] Haas, Z. J., Pearlman, M. R. and Samar, P.: The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks, Internet-draft, IETF, <http://tools.ietf.org/html/draft-zone-routing-protocol-00.txt> (2002).
- [6] Perkins, C. E. and Bhagwat, P.: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 24, No. 4, pp. 234-244 (1994).
- [7] V. Park and S. Corson: Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification, Internet-draft, IETF, <http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt> (2001).
- [8] Couto, D. S. J. D., Aguayo, D., Chambers, B. A. and Morris, R.: Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 33, No. 1, pp. 83-88 (2003).
- [9] Toh, C.-K.: Associativity-Based Routing for Ad Hoc Mobile Networks, *Wireless Personal Communications: An International Journal*, Vol. 4, No. 2, pp. 103-139 (1997).
- [10] 三嶋勇太, 旭健作, 鈴木秀和, 渡邊晃: 通信状態を考慮したアドホックルーティングプロトコルの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文, DICOMO, Vol. 2013, No. 1, pp. 1563-1568 (2013).
- [11] Dijkstra, E.: A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, Vol. 1, No. 1, pp. 269-271 (1959).
- [12] : The Network Simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [13] : Linux Advanced Routing & Traffic Control HOWTO. <http://linuxjff.sourceforge.jp/JFdocs/Adv-Routing-HOWTO/>.

- [14] : Scenarie Visual Lab & Base Simulator -
Space-Time Engineering. <http://www.spacetime-eng.com/jp/labSimulator.html>.