

平成22年度 修士論文

邦文題目

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

英文題目

**A proposal on an Ad-hoc Routing Protocol
considering Traffic Condition**

情報工学専攻

(学籍番号: 093430034)

森崎 明

提出日: 平成 23 年 1 月 31 日

名城大学大学院理工学研究科

内容要旨

無線 LAN を標準搭載した携帯端末の普及に伴い、無線端末のみでネットワークを構築するモバイルアドホックネットワーク (MANET : Mobile Ad-hoc Network) の研究が期待されている。MANET で提案されている多くのアドホックルーティングプロトコルは、経路生成の際に最短経路を選択する。最短経路が複数存在する場合には、どの経路を選択するかは実装に依存したものとなっている場合が多い。そのため、トラフィックが集中した中継ノードが発生すると、パケットロスが多発し、結果的にスループットが低下してしまうという課題がある。本論文では OLSR (Optimized Link State Routing) を拡張することにより、通信状態を考慮した経路生成を行い、最短経路が複数存在する場合において、効率の良い経路選択が可能なアドホックルーティングプロトコルを提案する。

目次

| | | |
|-----|---------------------|-----------|
| 第1章 | はじめに | 2 |
| 第2章 | 既存のアドホックルーティングプロトコル | 4 |
| 2.1 | Proactive 型 | 4 |
| 2.2 | Reactive 型 | 4 |
| 2.3 | Hybrid 型 | 5 |
| 第3章 | OLSR | 6 |
| 3.1 | 隣接ノードの発見 | 6 |
| 3.2 | OLSR のフラッディング方式 | 6 |
| 3.3 | トポロジー情報の配送 | 7 |
| 3.4 | その他のメッセージ | 7 |
| 3.5 | 各ノードが持つ情報 | 7 |
| 3.6 | 経路計算 | 8 |
| 第4章 | PD-OLSR | 10 |
| 4.1 | PD-OLSR の概要 | 10 |
| 4.2 | PD-OLSR の経路計算 | 10 |
| 第5章 | シミュレータへの実装 | 13 |
| 5.1 | ns-2 の変更部分 | 13 |
| 5.2 | OLSR の拡張方法 | 14 |
| 第6章 | 評価 | 16 |
| 6.1 | 動作検証 | 16 |
| 6.2 | 大規模シミュレーション | 18 |
| 第7章 | まとめ | 21 |
| | 謝辞 | 23 |
| | 参考文献 | 24 |
| | 研究業績 | 26 |

第1章 はじめに

無線 LAN は、配線が不要で端末が自由に移動できるなどの利便性から、ネットワークへの接続方法として需要が高まってきている。無線 LAN を構築する方法には、端末が必ず AP (AccessPoint) を介して通信を行うインフラストラクチャモードによる方法と、端末同士で直接通信を行うアドホックモードによる方法がある。後者は、災害時やイベント会場などで一時的な無線ネットワークを構築できる、モバイルアドホックネットワーク (MANET : Mobile Ad-hoc Network) [1] に応用されている。MANET は、あらゆる無線端末が中継端末となり得るため、その場でネットワークを構築することができるという特徴がある。近年では、インフラストラクチャーモードの AP 間を MANET の技術で結合する無線メッシュネットワークの研究にも注目が集まっている [2-6]。

MANET を構築するには、各端末がアドホックルーティングプロトコルを用いてルーティングテーブルを生成する必要がある。アドホックルーティングプロトコルは、IETF (Internet Engineering Task Force) により、現在まで多くの方式が提案されているが [7-13]、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) を探索することが目的となっており、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実装に任されている場合が多い。そのため、トラヒックが集中した中継ノードが発生すると、パケットロスが多発し、結果的にスループットが低下してしまうという課題がある [14]。

複数経路の中から、適切な経路を選択することを目的としたアドホックルーティングプロトコルの研究として、以下のものが挙げられる。ABR (Associativity-Based Long-lived Routing) [15] の経路選択では、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と期待されるため、安定した経路により通信を行うことができる。しかし、ノードの移動が少ない環境では、ビーコンの受信回数に差が出ないため、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) [16] は DSR (Dynamic Source Routing Protocol) [8] を拡張することにより、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 スループットは所定のモデル式を使って計算される。モデル式には遅延 (RTT: Round-Trip Time) と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。しかし、この方式は TCP スループットだけに着目しており、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り，ネットワークのオーバーヘッドが高くなるという課題がある．

本論文では，MANET のアドホックルーティングプロトコルの中でプロアクティブ型の代表的なプロトコルである OLSR を拡張することによって，経路上の通信状態を考慮したプロトコル PD-OLSR (Protocol Dependent-OLSR) を提案する．具体的には，TCP と UDP の特性を活かせるように，TCP と UDP 用のルーティングテーブルを別々に生成して，通信が行われる経路生成を実現する．今回は，UDP に係る部分についてシミュレーションを実行し，その効果を確認した．

以下，2 章では MANET のルーティングプロトコルの分類を示し，3 章で OLSR の概要について説明する．4 章では PD-OLSR の経路生成方法，5 章で PD-OLSR のシミュレータへの実装方法，6 章でシミュレーションによる PD-OLSR の評価を示し，最後に 7 章でまとめを行う．

第2章 既存のアドホックルーティングプロトコル

MANET では電波到達範囲外の移動可能ノードと通信するため、各ノードは中継機能を持ち、ノードの移動によるリンク接続状態の変化に迅速に対応する必要がある。MANET には様々な用途が考えられ、用途に応じたルーティングプロトコルが存在する。これまで様々なアドホックルーティングプロトコルが検討されているが、全ての環境に適するプロトコルは存在しない。これまでに開発されたアドホックルーティングプロトコルは、表 2.1 に示すように3種類に分類することができる。これらは、その特徴が活かせる環境によって使い分けられる [17-20]。

2.1 Proactive 型

Proactive 型のルーティングプロトコルでは、通信の要求が発生する前からルーティングテーブルを生成しておく方式で、通信の要求が発生すると即座に通信を開始できる。各ノードはルーティング情報を格納するためのテーブルを1つ以上持ち、ネットワークトポロジーの変化に応じてネットワーク全体に経路の更新情報を配送する。ルーティングに必要なテーブル数と、ネットワークの構造の変化を知らせるブロードキャスト方式の違いにより、いくつかのプロトコルが存在する。Proactive 型のルーティングプロトコルの特徴として、無通信時にも制御パケットが流れるため、消費電力は大きくなるが、通信を開始する際に遅延が発生しないことから、通信頻度の高いネットワークに適することが挙げられる。

2.2 Reactive 型

Reactive 型のルーティングプロトコルは、オンデマンド型のプロトコルである。すなわち、あるノードにおいて宛先ノードへの経路が必要になった時点で、ネットワーク内で経路探索プロセスを始動する。このプロセスは経路が見つかるか、利用可能なすべての経路パターンを試し終わると終了する。いったん経路が発見され、確立すると宛先へのアクセスができなくなるか経路が不要になるまでは、その経路が維持される。Reactive 型のルーティングプロトコルの特徴として、通信時に経路を決定するまでに遅延が発生してしまうが、オンデマンドで経路を構築するために、ノードの移動が頻繁なネットワークに適することが挙げられる。

表 2.1 MANET のルーティングプロトコルの分類

| 分類 | 方式 | 特徴 | 代表例 |
|-------------|---|---|----------------------------|
| Proactive 型 | 通信要求が発生する前から、ルーティングテーブルを生成 | 通信頻度の高いネットワークに適する | OLSR DSDV TBRPF |
| Reactive 型 | 通信要求が発生した際に、ネットワーク内で経路探索プロセスが始動 | ノードの移動が頻繁なネットワークに適する | AODV DSR TORA ABR |
| Hybrid 型 | ネットワーク内を複数のゾーンに分割し、ゾーンの内外で Proactive 型と Reactive 型を使い分けて経路を構築 | Proactive 型と Reactive 型の両方の特徴を活かすことができる | ZRP |

2.3 Hybrid 型

Hybrid 型のルーティングプロトコルは、Proactive 型と Reactive 型の両方の長所を取り入れた複合プロトコルである。ネットワーク内を複数のゾーンに分割し、ゾーン内では Proactive 型のプロトコルを使用し、定期的な経路情報の更新はゾーン内のノードについてのみ行う。宛先ノードが送信元のゾーン外にある場合は Reactive 型のプロトコルを用いて経路を構築する。Hybrid 型ではこのように両方の特徴を活かすことができるが、ノードが密集するような場合においてはゾーン内の管理すべきノードが多くなり、トポロジー管理が難しいという課題がある。

第3章 OLSR

プロアクティブ型のプロトコルは、ルーティングテーブルを定期的に更新するために送受信される制御メッセージを改造することにより、シンプルに各ノードの情報をネットワーク全体へ通知することが可能で、その情報をもとに経路上の通信状態を計算することができる。そこで、プロアクティブ型の代表的でかつ最も普及している OLSR (Optimized Link State Routing) [7] を提案方式のベースとする。以下に OLSR の原理と経路生成方法について説明する。

3.1 隣接ノードの発見

各ノードは、HELLO メッセージを定期的 (デフォルト送信間隔 2 秒) に、隣接ノードにブロードキャストする。HELLO メッセージは自身のアドレス、シーケンス番号、隣接ノードのアドレスなどの情報をもっている。このため、HELLO メッセージを受信したノードは隣接ノードのアドレス及び隣接ノードの更に隣接ノード、すなわち 2 ホップ先のノード (以後、2 ホップ隣接ノード) のアドレスを得ることができる。また、受信した HELLO メッセージの隣接ノードアドレスの中に自身のアドレスが含まれていれば、自身が送信した HELLO メッセージを隣接ノードが受信したことが確認できる。このことは自身と隣接ノード間で双方向に HELLO メッセージの送受信が可能ということであり、このようなリンクを双方向リンクと呼ぶ。一方、受信した HELLO メッセージの隣接ノードアドレスの中に自身のアドレスが含まれていなければそのリンクは非双方向リンクの状態と認識される。これらリンクの状態も、HELLO メッセージに含められてブロードキャストされる。

3.2 OLSR のフラッディング方式

OLSR の最大の特徴は、効率の良いフラッディングを実現できることである。フラッディングとは、各ノードが自身の情報を、ネットワーク内の全てのノードへ配信する動作である。通常のフラッディングでは、送信元ノードはメッセージを隣接ノードへブロードキャストする。それを受信した隣接ノードはブロードキャストを繰り返し、すべてのノードにメッセージを中継する。同じメッセージを重複して受信した場合は、そのメッセージを破棄する。この方法では、ノード数が多くなるとブロードキャストによるパケット数が急激に増大し、トラヒックを圧迫する。

OLSRでは必要最低限の中継ノード（MPR : Multipoint Relay）を選択し、この中でのみフラッディング動作を行うことにより、すべてのノードにメッセージを届ける。各ノードは自身のMPRを選択すると、その情報をHELLOメッセージで隣接ノードに通知する。これを受信した各ノードは自身をMPRとして選択しているノードを認識できる。このようなノードをMPRセレクトと呼ぶ。各ノードは自身のMPRセレクトからのメッセージのみを中継する。このようにして、ブロードキャストの総数を減少させる。

3.3 トポロジー情報の配送

OLSRはトポロジー情報を定期的にTC（Topology Control）メッセージによってフラッディングする。TCメッセージを生成するのはMPRのみである。TCメッセージの送信間隔はデフォルト値で5秒である。TCメッセージには自身のアドレス、シーケンス番号、自身のMPRセレクトのアドレスなどの情報が入っている。TCメッセージによって配送されるトポロジー情報は、各ノードのMPRセレクトから構成されるトポロジーのみである。

3.4 その他のメッセージ

OLSRには、HELLOメッセージ、TCメッセージ以外にMID（Multiple Interface Declaration）メッセージとHNA（Host and Network Association）メッセージがある。MIDメッセージは、ノードが複数のインターフェースを有する場合にのみ使用され、HNAメッセージは、ノードがゲートウェイとして機能する場合に使用される補助的なメッセージである。本論文の提案方式ではMIDメッセージ、HNAメッセージが使用されるような環境は想定しないため、これらの説明は省略する。

3.5 各ノードが持つ情報

各ノードはルーティングテーブル（以後、RT）を生成するために、リンク集合、隣接ノード集合、2ホップ隣接ノード集合、MPR集合、MPRセレクト集合、トポロジー集合、複製集合の7つのテーブルからなるリポジトリを持つ。これらのテーブルは隣接ノードだけに届くHELLOメッセージ、ネットワーク全体にフラッディングされるTCメッセージによって生成される。リンク集合は、ローカルノード自身のアドレス、隣接ノードのアドレス、リンクが双方向とみなされる時間、レコードの生存時間から構成される。隣接ノード集合は、隣接ノードのアドレス、リンクが双方向か非双方向であるかの状態、MPRとして選択されるための指標（willingness）から構成される。2ホップ隣接ノード集合は、隣接ノードのアドレスと双方向の2ホップ隣接ノードのアドレス、レコードの生存時間から構成される。MPR集合は、MPRとして選択されたノードのアドレスとレコードの生

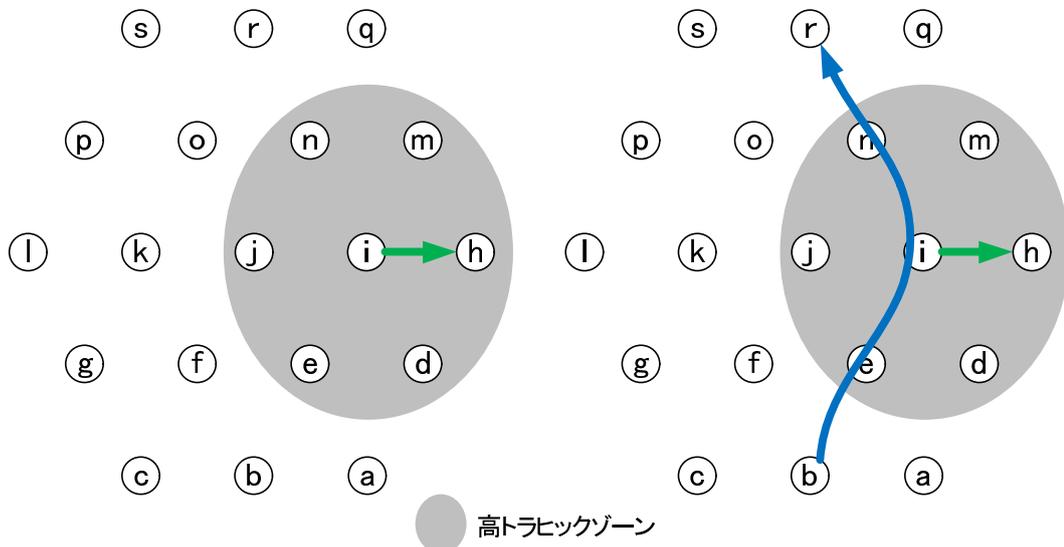
存時間から構成される。MPR セレクタ集合は、MPR セレクタとして選択されたノードのアドレスとレコードの生存時間から構成される。トポロジー集合は、宛先となるノードのアドレス、宛先へ1ホップで到達できるノードのアドレス、レコードの生存時間から構成される。複製集合は、受信したメッセージの重複した処理を避けるために設けられるテーブルである。

3.6 経路計算

OLSR の RT は、宛先ノード (Dest) , Dest への次ホップノード (Next) , Dest までのホップ数 (hop) から構成され、各 Dest に対して 1 つの経路を保持する。図 3.1 に OLSR の経路生成手順を示す。簡単のためノードは規則的に配置されており、電波到達範囲は隣接ノードまでとしている。図 3.1 において、2 つの RT はノード b が持つ RT であり、左側の RT は、ノード a からノード s のうち、ノード a からノード q までの経路が途中まで生成された状態、右側の RT は、さらにノード r とノード s までの経路が生成し終わった状態を示す。以下に左側の RT から右側の RT が生成される過程を示す。左側の RT に Dest がノード r となる経路が新たに追加される時、Dest が r となるレコードの Next には r の隣接ノードであるノード n とノード o のうち、右側の RT のように RT を上から順に探索したときに、最初に発見されるノード n の Next であるノード e が設定される。Dest がノード s の経路も同様に追加される。

同様の方法で全ノードの RT が生成されると、ノード r への経路が決まり、図 3.1 右に示す青経路 [b → e → i → n → r] という 1 つの最短経路が完成する。このように OLSR では、単純に最初に発見された最短経路が選ばれる。すなわち、選択される経路は実装に依存したものとなっている。

もし、ノード i からノード h への通信が既に行われている状態で、ノード b からノード r への通信が青経路で行われると、パケットロスが発生しスループットが低下する可能性がある。このように OLSR では、新たなトラヒックが発生したときに、効率の良い経路選択ができないという課題がある。



ノードbのRT

| Dest | Next | hop |
|------|------|-----|
| a | a | 1 |
| c | c | 1 |
| d | a | 2 |
| e | e | 1 |
| f | f | 1 |
| g | c | 2 |
| h | a | 3 |
| i | e | 2 |
| j | e | 2 |
| k | f | 2 |
| l | c | 3 |
| m | e | 3 |
| n | e | 3 |
| o | e | 3 |
| p | f | 3 |
| q | e | 4 |

ノードbのRT

| Dest | Next | hop |
|------|------|-----|
| a | a | 1 |
| c | c | 1 |
| d | a | 2 |
| e | e | 1 |
| f | f | 1 |
| g | c | 2 |
| h | a | 3 |
| i | e | 2 |
| j | e | 2 |
| k | f | 2 |
| l | c | 3 |
| m | e | 3 |
| n | e | 3 |
| o | e | 3 |
| p | f | 3 |
| q | e | 4 |
| r | e | 4 |
| s | e | 4 |

New

図 3.1 OLSR による RT 生成手順

第4章 PD-OLSR

4.1 PD-OLSRの概要

本論文では OLSR をベースにし、通信状態を考慮してプロトコル毎に効率の良い経路選択を行う PD-OLSR (Protocol Dependent-OLSR) を提案する。本提案では OLSR の基本部分はそのまま用い、経路選択指標については、TCP 通信と UDP 通信の特性の違いに着目した。

TCP/IP では UDP と TCP という特性が全く異なる 2 種類のトラフィックが存在する。UDP は端末側が意図した流量のトラフィックがそのままネットワークへ送出される。ネットワーク内でパケットロスが発生してもそれは変わらない。これに対して、TCP は輻輳制御の機能により、順調に ACK が返ってくれば、ウインドウサイズを大きくし、帯域を有効に使おうとする。パケットロスが発生すると、ネットワークに輻輳が発生したものと判断し、ウインドウサイズを小さくする。このようにしてウインドウサイズが適切な大きさに調整され、ネットワークがさらに輻輳することを防止する。このような特性の違いから、ネットワーク上のトラフィックは、以下ようになる。まず送信された UDP パケットの合計より UDP が占めるトラフィック量が定まり、残りの余裕がある帯域分を複数の TCP セッションが分け合う。UDP のパケットロスはそのまま消滅するが、TCP の場合は再送処理を行いながら、スループットが最大になるように輻輳制御が働く。TCP の効率は、TCP の輻輳制御がうまく機能するかどうかにによって決まる [21–23]。

以上の考えに基づき、UDP 通信と TCP 通信の経路選択に用いる指標を別々に考える。UDP 通信の経路選択指標を UDP Traffic、TCP 通信の経路選択指標を TCP Session と定義する。UDP Traffic は自身が検出するネットワーク上のキャリアの総量とし、TCP Session は自身が検出する TCP セッション数の合計とする。

4.2 PD-OLSRの経路計算

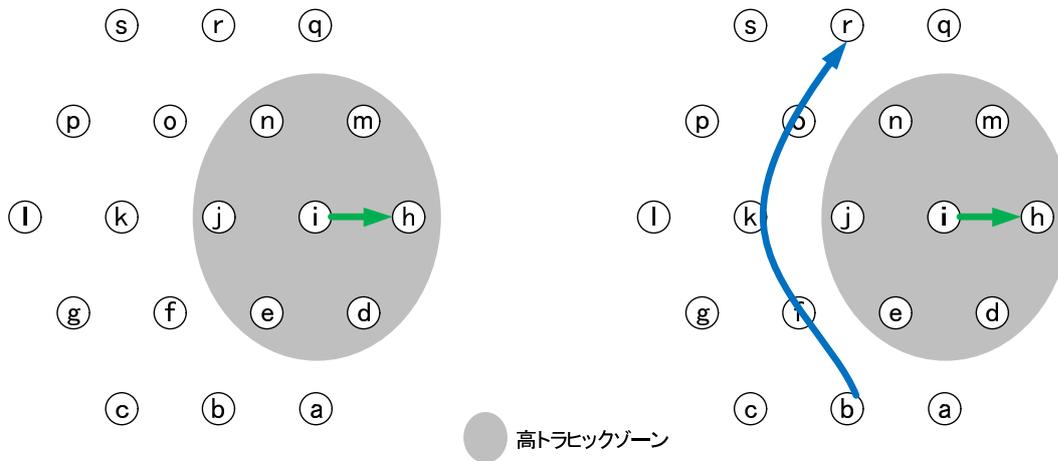
PD-OLSR では UDP 通信用と TCP 通信用の RT を別々に生成する。以下、図 4.1 を用いて UDP 通信用の RT 生成を例にして、PD-OLSR の経路生成手順を示す。図 4.1 左のテーブルは、各ノードが計算した UDP Traffic の情報である。ノード i からノード h への UDP 通信が行われているため、ノード d, e, h, i, j, m, n では UDP トラフィックが検出されている。ここでは仮に検出されるトラフィック量を 8 としている。図 4.1 中央のテーブルは、UDP 通信用の RT を生成するためにノード b が持つ、新たに定義したルーティング

メトリックテーブル (RMT:Routing Metric Table) である。RMT は宛先ノード (Dest) , 宛先への次ホップノード (Next) , ホップ数 (hop) , Next の UDP Traffic から構成され、最短経路候補を複数有する。図 4.1 右のテーブルは、ノード b が持つ RMT をもとに生成された UDP 通信用 RT である。

PD-OLSR では各ノードが計算した自身の通信状態を表す UDP Traffic 情報を HELLO メッセージと TC メッセージに乗せて隣接ノードへ広告する。各ノードは HELLO メッセージと TC メッセージを受信すると、その情報を情報リポジトリの中のリンク集合、2 ホップ隣接ノード集合及びトポロジー集合に格納する。そして、情報リポジトリに格納された情報をもとに RMT を生成する。

RMT が生成されると、RMT の各 Dest に対して最小 UDP Traffic となる経路が UDP 用 RT へ選択される。同様にして、各ノードで RMT から RT が生成されると、各宛先への経路が完成する。例えば、図 2 でノード b からノード r へ UDP 通信が行われると高トラフィックゾーンを避けた青経路 [b → f → k → o → r] が生成される。

TCP 通信用の RT 生成については、図 2 と上記の説明において、UDP Traffic を TCP Session に置き換えることで生成することができる。TCP 通信用の RT 生成の場合、RMT から TCP 通信用 RT に選ぶ経路は、各 Dest に対して最小 TCP Session となる経路が選択される。もし、TCP Session が同じであった場合は、UDP Traffic の少ない経路が選択される。

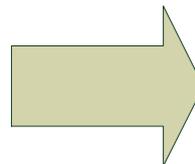


各ノードの通信状態

| Node | UDP Traffic |
|------|-------------|
| a | 0 |
| b | 0 |
| c | 0 |
| d | 8 |
| e | 8 |
| f | 0 |
| g | 0 |
| h | 8 |
| i | 8 |
| j | 8 |
| k | 0 |
| l | 0 |
| m | 8 |
| n | 8 |
| o | 0 |
| p | 0 |
| q | 0 |
| r | 0 |
| s | 0 |

ノードbのRMT

| Dest | Next | hop | UDP Traffic |
|------|------|-----|-------------|
| a | a | 1 | 0 |
| c | c | 1 | 0 |
| d | a | 2 | 0 |
| d | e | 2 | 8 |
| e | e | 1 | 8 |
| f | f | 1 | 0 |
| g | c | 2 | 0 |
| g | f | 2 | 0 |
| h | a | 3 | 0 |
| h | e | 3 | 8 |
| i | e | 2 | 8 |
| j | e | 2 | 8 |
| j | f | 2 | 0 |
| k | f | 2 | 0 |
| l | c | 3 | 0 |
| l | f | 3 | 0 |
| m | e | 3 | 8 |
| n | e | 3 | 8 |
| n | f | 3 | 0 |
| o | e | 3 | 8 |
| o | f | 3 | 0 |
| p | f | 3 | 0 |
| q | e | 4 | 8 |
| q | f | 4 | 0 |
| r | e | 4 | 8 |
| r | f | 4 | 0 |
| s | e | 4 | 8 |
| s | f | 4 | 0 |



最小UDPTraffic
となる経路を選択

ノードbのUDP用RT

| Dest | Next | hop |
|------|------|-----|
| a | a | 1 |
| c | c | 1 |
| d | a | 2 |
| e | e | 1 |
| f | f | 1 |
| g | c | 2 |
| h | a | 3 |
| i | e | 2 |
| j | f | 2 |
| l | c | 3 |
| m | e | 3 |
| n | f | 3 |
| o | f | 3 |
| p | f | 3 |
| q | f | 4 |
| r | f | 4 |
| s | f | 4 |

図 4.1 PD-OLSR による UDP 用 RT の生成手順

第5章 シミュレータへの実装

PD-OLSR をネットワークシミュレータ ns-2 [24] へ実装する方法を検討した。今回は UDP 通信の RT 生成機能を実装した。その概要を以下に示す。

5.1 ns-2 の変更部分

図 5.1 に ns-2 の内部構造と変更部分を示す。MAC 層に PD-OLSR の UDP Traffic を計測するモジュールを追加した。また、UDP Traffic 計測モジュールで計測した UDP Traffic をルーティングエージェントで呼び出せるようにし、ルーティングエージェントの OLSR を PD-OLSR の経路生成動作が行えるように拡張した。

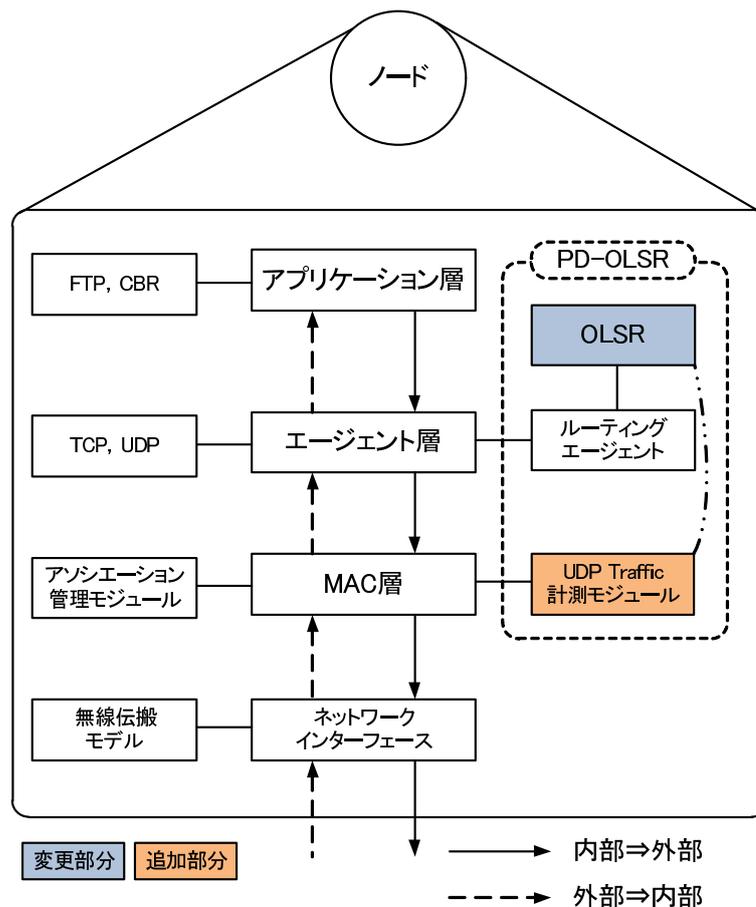


図 5.1 ns-2 の内部構造と変更部分

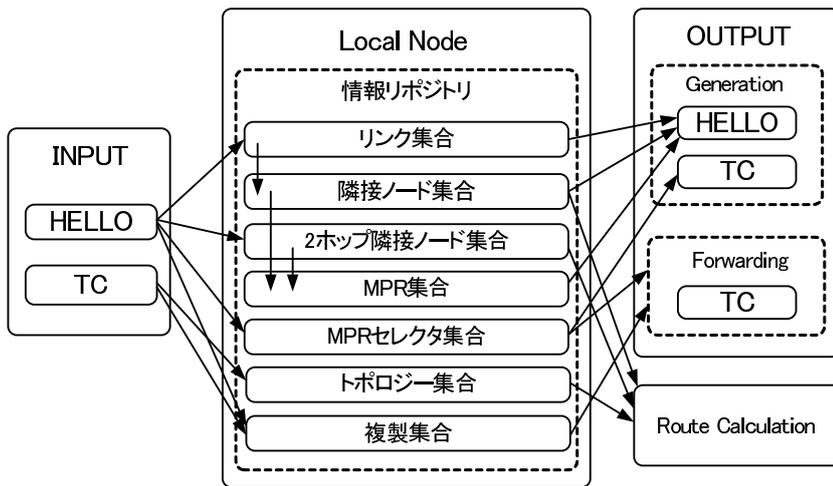


図 5.2 制御メッセージと情報リポジトリの関係

5.2 OLSR の拡張方法

OLSR では、制御メッセージと情報リポジトリに図 5.2 の関係がある。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 セレクトタ集合、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ー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基に新しい HELLO メッセージ及び TC メッセージを生成する。また、TC メッセージは MPR セレクトタ集合と複製集合を基に生成する。さらに、隣接ノード集合、2 ホップ隣接ノード集合、トポロジー集合の情報を基にルーティングテーブルを生成する。

OLSR の改造において図 5.2 の情報リポジトリ内のリンク集合、隣接ノード集合、2 ホップ隣接ノード集合、トポロジー集合に通信状態情報である UDP Traffic の項目を追加した。また、情報リポジトリ内に新たに宛先ノード (Dest)、宛先への次ホップ (Next)、ホップ数 (hop)、通信状態情報 (Next の UDP Traffic) から構成され、複数の最短経路候補を有する RMT を追加した。

OLSR の送信ノードと受信ノードにおける制御メッセージの処理の流れは図 5.3 のようになっている。PD-OLSR の処理が行えるように、この処理に以下の拡張を行った。

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 Traffic を付加

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レコードに送信元ノードの通信状態情報を記録

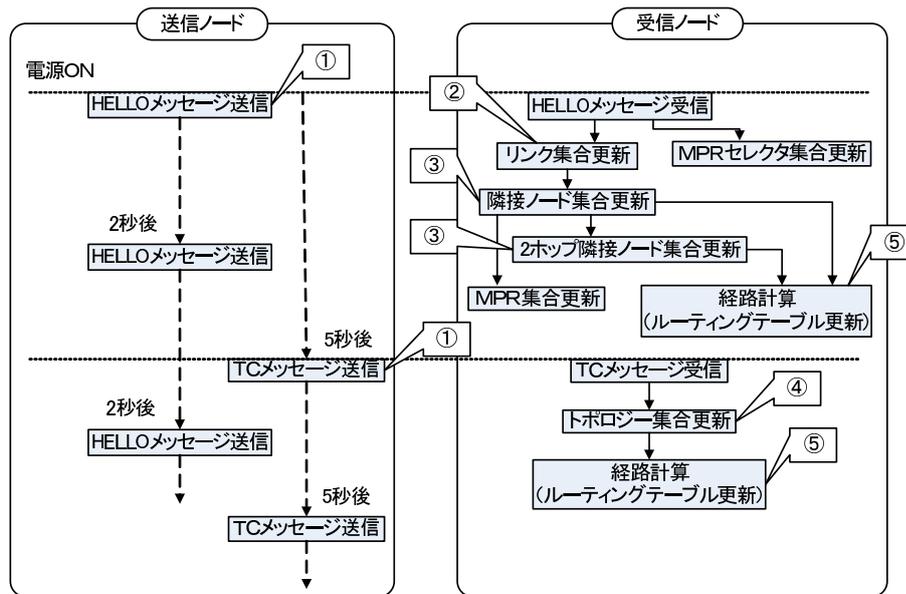


図 5.3 OLSR の改造箇所

- 一致するレコード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レコードを作成
- 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レコードに通信状態情報を記録
- ④ トポロジー集合の更新
 - TCメッセージの送信元ノードと一致する宛先ノードのレコードに通信状態情報を記録
 - 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レコードを作成
- ⑤ 経路計算
 - 経路計算 (RT 更新) プロセスに先立ち、4.2節の方法でRMTを生成
 - RMTの中からUDP通信用RTを生成

第6章 評価

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 に実装し、その有用性を示すためのシミュレーションを行った結果を以下に示す。

6.1 動作検証

PD-OLSR の UDP 通信用の RT 生成機能により、トラヒックの高いノードを避けて経路が生成されることを確認した。

6.1.1 動作検証の環境構築

図 3.1 の状況を想定し、アドホックネットワークを表 6.1 のように構成した。無線規格は表 6.2 の IEEE802.11 g を使用した。図 3.1 において UDP 通信が 2 セッション行われるだけでは明確な違いが得られないため、ノード i からノード h への通信を UDP、ノード b からノード r への通信を TCP として、UDP 通信用 RT を用いて TCP スループットを測定した。それぞれの通信を表 6.3 のように設定した。シミュレーションの開始から終了までの時間を 60 秒とし、シミュレーション開始 30 秒後に背景負荷通信としてノード i からノード h へ UDP 通信を開始させ、シミュレーション開始 45 秒後にノード b からノード r へ TCP 通信を開始させた。以上のシミュレーション内容を OLSR を使用した場合と PD-OLSR を使用した場合において行った。

表 6.1 シミュレーションパラメータ 1

| アドホックネットワーク | |
|-------------|---------------|
| ノード数 | 19 [台] |
| 電波到達範囲 | 100 [m] |
| 端末間距離 | 95 [m] |
| フィールド | 700 × 700 [m] |
| ルーティングプロトコル | OLSR, PD-OLSR |

表 6.2 シミュレーションパラメータ 2

| 802.11 g | |
|--------------------------------|----------------------|
| Frequency | 2.4 [GHz] |
| Band Width | 54 [Mbps] |
| Data Rate | 54 [Mbps] |
| Basic Rate | 6 [Mbps] |
| Minimum Contention Window Size | 15 [units of Slot] |
| Maximum Contention Window Size | 1023 [units of Slot] |
| SIFS Time | 16 [μ s] |
| DIFS Time | 34 [μ s] |
| Slot Time | 9 [μ s] |
| PLCP Preamble Length | 16 [bit] |
| PLCP Header Length | 4 [bit] |
| PLCP Data Rate | 6 [Mbps] |

表 6.3 シミュレーションパラメータ 3

| 通信ノード | | |
|---------------------------|--|---------------------------------------|
| ノード i \rightarrow ノード h | 通信タイプ トランスポートプロトコル パケットサイズ データ転送量 | CBR UDP 200 [Byte] 1 [Mbps] |
| ノード b \rightarrow ノード r | 通信タイプ トランスポートプロトコル パケットサイズ 最大衝突ウィンドウサイズ | FTP TCP 1000 [Byte] 20 [pkt] |

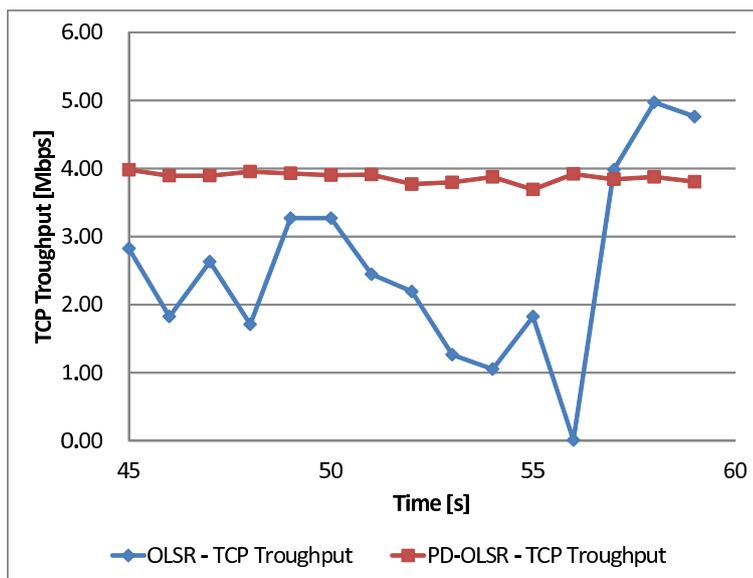


図 6.1 ノード b からノード r のプロトコル毎 TCP スループットの変化

6.1.2 動作検証の結果

OLSR を使用した場合のノード b からノード r 間通信の経路は $[b \rightarrow f \rightarrow j \rightarrow n \rightarrow r]$ となり、背景負荷通信からのトラヒックを受けるノード j とノード n が経路に選択されていた。一方、PD-OLSR を使用した場合のノード b からノード r 間通信の経路は $[b \rightarrow f \rightarrow k \rightarrow o \rightarrow r]$ となり、背景負荷通信からのトラヒックを受けないノードのみで経路が生成されていた。図 6.1 に OLSR と PD-OLSR のノード b からノード r 間の TCP スループットの変化を示す。TCP スループットの平均は、OLSR では 2.5Mbps, PD-OLSR では 3.9Mbps であり、約 1.5 倍の違いがあった。以上より、PD-OLSR の UDP 通信用の RT 生成機能が正しく実装されていることが分かった。

6.2 大規模シミュレーション

図 3.1 の構成を拡大して、37 台のノードを図 6.2 のように配置し、大規模なシミュレーションを試みた。UDP 通信は VoIP を想定し、ネットワークに高負荷を与えた場合に、UDP 通信用 RT がパケット到達率に与える影響を調べた。

6.2.1 シミュレーション条件

ノードの構成は表 6.1 と同様とした。VoIP を想定した UDP セッションは表 6.4 の通りにした。シミュレーションの開始から終了までの時間を 530 秒とし、シミュレーション開始 30 秒後から 10 秒間隔で UDP セッションを 50 セッションまで増加させていった。UDP 通信を行う送信元ノード及び宛先ノードの組合せはランダムに選定した。以上のシ

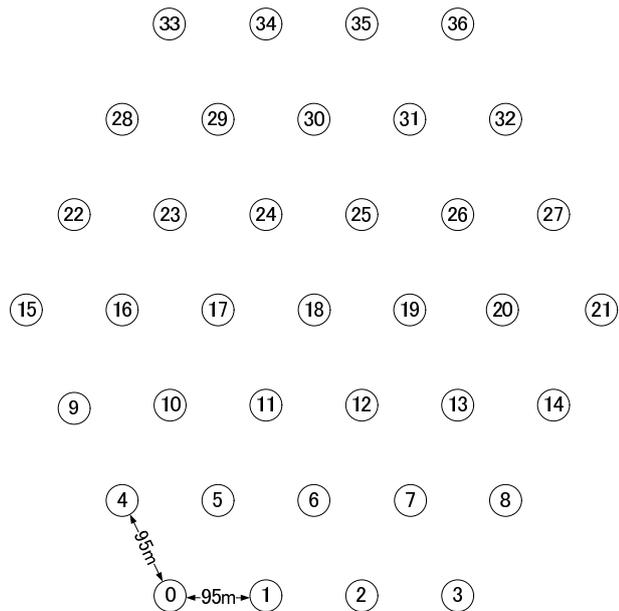


図 6.2 大規模シミュレーションのトポロジー

表 6.4 シミュレーションパラメータ 4

| 通信ノード | |
|--------------|------------|
| 台数 | 2 台 1 ペア |
| 選び方 | ランダム |
| 通信タイプ | CBR |
| トランスポートプロトコル | UDP |
| パケットサイズ | 200 [Byte] |
| データ転送量 | 64 [Kbps] |

シミュレーション内容を OLSR を使用した場合と PD-OLSR を使用した場合において、10 回ずつ行った。

6.2.2 結果

ネットワーク全体で UDP セッションの送信元ノードが送信したパケット数の合計と宛先ノードが受信するパケット数の合計からネットワーク全体のパケット到達率を求め、OLSR と PD-OLSR で比較した。図 6.3 に OLSR と PD-OLSR によるシミュレーション 10 回分の結果を示す。シミュレーション毎の改善率を求めた結果を表 6.5 に示す。PD-OLSR を用いた場合はどのシミュレーションでも改善が見られ、PD-OLSR を用いると OLSR に比べて平均で約 6% の改善が得られた。

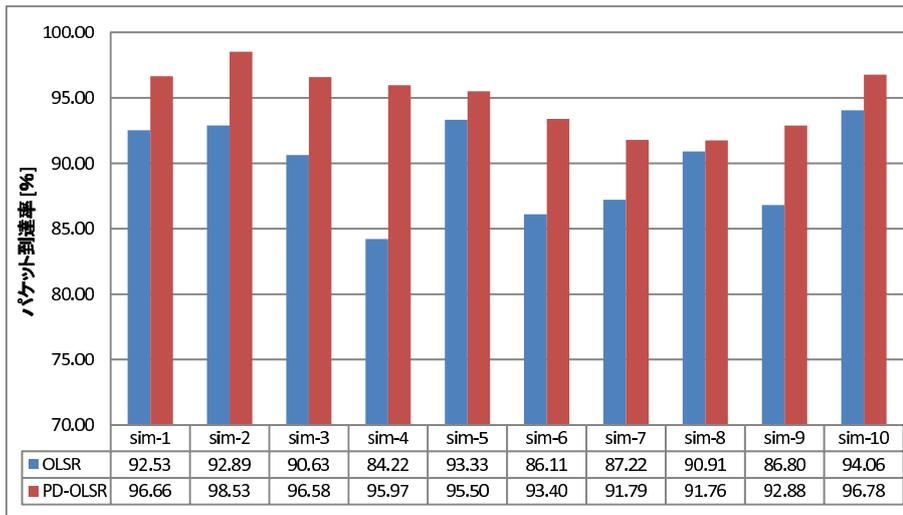


図 6.3 シミュレーション毎の packets 到達率

表 6.5 シミュレーション毎の PD-OLSR による改善率

| | 改善率 [%] |
|---------|---------|
| sim-1 | 4.47 |
| sim-2 | 6.07 |
| sim-3 | 6.57 |
| sim-4 | 13.95 |
| sim-5 | 2.33 |
| sim-6 | 8.47 |
| sim-7 | 5.24 |
| sim-8 | 0.93 |
| sim-9 | 7.00 |
| sim-10 | 2.89 |
| Average | 5.79 |

第7章 まとめ

OLSR を拡張することによって、TCP 用と UDP 用のルーティングテーブルを別々に生成し、経路上の通信状態を考慮して経路を生成できるプロトコル PD-OLSR を提案した。UDP 通信用の RT 生成機能をシミュレータに実装し、VoIP 通信を想定したシミュレーションを行った。その結果 UDP 通信においては、トラヒックの高い経路を避けた通信が行われることにより、パケット到達率が 6 % 程度向上することが分かった。

今後は、TCP 用の RT 生成機能をシミュレータに実装し、動作検証を行う予定である。また、他のプロトコルに提案方式の機能を実装した場合や、新たな経路選択指標と合わせて経路生成が行える方法を検討する。

謝辞

本研究に関して、研究の方向や進め方など終始にわたり御指導、御助言を賜りました指導教官の渡邊晃教授に心より熱くお礼申し上げます。論文作成にあたり、副査の柳田康幸教授、宇佐見庄五准教授、旭健作助教には貴重なコメントや至らないところを指導していただき深く感謝いたします。また、本研究を行うにあたり、鈴木秀和助教、本研究室の皆様、旭研究室の皆様にも多くの方々から多大な助言と協力を承り、深く感謝しております。最後に、研究を進めていく中、いつも暖かく支えて頂いた両親に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Corson: Mobile Ad hoc Networking (MANET) : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations, RFC 2501, IETF (1999).
- [2] MetroMesh: <http://www.tropos.com/>.
- [3] MeshCruzer: <http://www.thinktube.com/>.
- [4] Packethop: <http://www.packethop.com/>.
- [5] Y.Amir, C.Danilov, M.Hilsdale: Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks, *ACM MobiSys* (2006).
- [6] V.Navda, A.Kashyap, S.R.Das: Design and Evaluation of iMesh: An Infrastructure-Mode Wireless Mesh Network, *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp. 164–170 (2005).
- [7] T. Clausen, Ed: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC 3626, IETF (2003).
- [8] D. Johnson: The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4, RFC 4728, IETF (2007).
- [9] C. Perkins: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, RFC 3561, IETF (2003).
- [10] R. Ogier: Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF), RFC 3684, IETF (2004).
- [11] Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman, Prince Samar: The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks, Internet draft, IETF MANET Working Group (2002). Expiration: January, 2003.
- [12] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, *ACM SIGCOMM*, Vol. 24, No. 4 (1994).
- [13] V.Park, S.Corson: Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification, Internet draft, IETF MANET Working Group (2001).
- [14] Douglas S. J. De Couto, Daniel Aguayo, Benjamin A. Chambers, Robert Morris: Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 83–88 (2003).
- [15] Toh, C.-K.: Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks, *Wireless Personal Communications*, Vol. 4, No. 2, pp. 103–139 (1997).

- [16] 高橋ひとみ, 斉藤匡人, 間 博人, 戸辺義人, 徳田英幸 : MANET における TCP ループット推定による経路選択機構の実環境評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 2857–2870 (2005).
- [17] Royer, E.M., Chai-Keong Toh: A Review of Current Routing Protocols for Ad hoc Mobile Wireless Networks, *IEEE Personal Communications*, pp. 46–55 (1999).
- [18] Daniel Lang: A comprehensive overview about selected Ad Hoc Networking Routing Protocols, Technical report, TUM, Department of Computer Science (2003).
- [19] 間瀬憲一, 阪田史郎 : アドホック・メッシュネットワーク-アドホックネットワーク社会の実現に向けて-, コロナ社 (2007).
- [20] C-K.Toh: アドホックモバイルワイヤレスネットワーク-プロトコルとシステム-, 共立出版 (2003).
- [21] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊 晃 : 無線メッシュネットワークにおけるゲートウェイ分散方式の提案と評価, *DICOMO2008*, Vol. DICOMO2008, No. 1, pp. 1873–1879 (2008).
- [22] Masashi Ito, Toshihiro Shikama, Akira Watanabe: A Proposal of Gateway Decentralization Method in Wireless Mesh Networks and Its Evaluation, *ISITA2008* (2008).
- [23] Masashi Ito, Toshihiro Shikama, Akira Watanabe: Proposal and Evaluation of Multiple Gateways Distribution Method for Wireless Mesh Network, *ICUIMC* (2009).
- [24] The Network Simulator - ns-2: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

研究業績

学術論文

なし

研究会・大会等

1. 森崎明, 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検討”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.645-651, Jul.2010.
2. Akira Morisaki, Akira Watanabe, “Researches on an Ad-hoc Routing Protocol considering Traffic Conditions”, Proceedings of the IEEE International Region 10 Conference 2009 (TENCON2009), Nov.2009.
3. 森崎明, 伊藤将志, 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検討”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, pp.1068-1073, Jul.2009.
4. 森崎明, 伊藤将志, 渡邊晃, “無線メッシュネットワーク向けのルーティングプロトコルの提案”, 情報処理学会第71回全国大会講演論文集, Mar.2009.
5. 森崎明, 伊藤将志, 渡邊晃, “無線メッシュネットワーク向けのルーティングプロトコルの検討”, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2008.

