

トラヒック状況を考慮したアドホック ルーティングプロトコルの提案

森崎 明

近年、無線 LAN を標準搭載した携帯端末は急速に普及してきている。これに伴い、無線端末のみで自律的に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)の研究が注目されている。また、MANET を応用した技術である無線メッシュネットワークの研究も注目されている。MANET で使用されるほとんどのアドホックルーティングプロトコルは、経路生成の際に経路上のトラヒック状態が考慮されていないため、中継ホップ数が最短であれば比較的負荷の高い経路でも選択してしまうという課題がある。本論文ではアドホックルーティングプロトコルの一方式 OLSR(Optimized Link State Routing)を拡張することにより、経路上のトラヒックを考慮した経路生成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。

A Proposal of Ad-hoc Routing Protocol considered the Traffic Situation

AKIRA MORISAKI

Recently, a portable units equipped with Wireless LAN as standard equipment spread rapidly. With this, the study of a Mobile Ad-hoc Network (MANET : Mobile Ad-hoc Network) building a network autonomously only by Mobile Nodes is paid much attention. In addition, the study of the Wireless Mesh Networks which is the technology applied MANET is also paid much attention. Most of Ad-hoc Routing Protocols used for MANET have the following problems. Because a traffic state on the route is not considered when route generated, protocol choose even a route having comparatively high load if the number of hops is shortest. This paper proposes a Ad-hoc Routing Protocol for route generation considered traffic state by extended OLSR (Optimized Link State Routing).

1. はじめに

近年、無線 LAN を標準搭載した携帯端末は急速に普及してきている。これに伴い、無線端末(以後、ノード)のみで自律的に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)の研究が注目されている。また、MANET を応用した技術として無線メッシュネットワークが注目されている。無線メッシュネットワークは、既存の無線ネットワークの AP 間の有線部分を MANET によって接続するシステムである。これにより既存の無線ネットワークの配線に掛かるコストが高いという問題を解決できる。

MANET のルーティングには無線通信に特化したルーティングプロトコルが使用され、一般にアドホックルーティングプロトコルと呼ばれて

いる。現在まで多くのアドホックルーティングプロトコルが提案されているが、ほとんどが経路生成の際に中継ホップ数が最短となる経路(以後、最短経路)を選択する。しかし、MANET では集中的に通信の中継を行うノードが発生する可能性が高い。このような負荷の高いノードを含む最短経路では遅延が増え、バッテリーも早く消費され、ノードがダウンすることでリンクが切断される。また、ノードの移動によって電波の受信が不可能となるとリンクが切断される。リンクの切断が発生するとパケット損失が発生し、結果的にスループットが低下する。このため、単純に最短である経路は最善な経路とは限らない。

スループットの向上を目的とするアドホックルーティングプロトコルの研究には以下のものが挙げられる。

Reactive 型のルーティングプロトコル ABR (Associativity-Based Long-lived Routing) [10]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が選択される。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。このような持続性が高いリンクから生成された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、スループットの向上が見られない最短経路が選択される可能性がある。

ETR(Estimated-TCP-Throughput Maximization based Routing)[11]は DSR 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スループットを予測し、スループットの良い経路を選択する。スループットは Floyd らが提案した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メッセージを設け、一定間隔で送信する。しかし、一定間隔で送信される新たなメッセージにより、ネットワークへのオーバーヘッドが高くなってしまふ。

本論文ではアドホックルーティングプロトコルの一方式 OLSR(Optimized Link State Routing)を拡張することによって、負荷の低い経路を選択することができるアドホックルーティングプロトコルを提案する。

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 OLSR の拡張方法を説明し、最後に5章でまとめを行う。

2. アドホックルーティングプロトコルの分類

MANET ではノードの移動によるリンク接続状態の急激・頻繁な変化への対応や、各ノードがその無線通信範囲外のノードと通信するために中継機能を持たせる必要がある。そのためには、MANET に特化したアドホックルーティングプロトコルが必要である。現在でも様々なアドホックルーティングプロトコルが開発されているが、全ての環境に適するプロトコルはいまだに開発されていない。今後もこのルーティングプロトコルの開発は大きな課題である。

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つの型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。

表 2.1 MANET のルーティングプロトコル

分類	プロトコル例
Proactive 型	OLSR, DSDV, TBRPF
Reactive 型	AODV, DSR, TORA, ABR
Hybrid 型	ZRP

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ことにより、通信の要求が発生するとすぐに通信を開始できる。このようなプロトコルでは、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つ以上持つ。そして、ネットワークトポロジーの変化に反応してネットワーク全体に経路の更新情報を配送する。それぞれのルーティングプロトコルの違いには、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がある。Proactive 型のルーティングプロトコルの特徴として、通信を行う際に遅延が発生しないこと、データの非通信時にも制御パケットが流れること、Reactive 型のプロトコルに比べて消費電力は大きくなるが、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 Proactive 型のプロトコルとは違い、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不可能になるか経路が不必要になるまでは、何らかの手段によって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の遅延が発生すること、データの非通信時には制御メッセージが流れないこと、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。

2.3 Hybrid型

Hybrid 型のルーティングプロトコルは、Proactive 型のルーティングプロトコルと Reactive 型のルーティングプロトコル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生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ってしまいうため、逆にトポロジー管理が難しくなってしまうという問題がある。

2.4 OLSRの選択

本論文で提案する経路選択方法は、トラフィック量が最少となる最短経路を選択するという方法である。この方法によって、負荷の低い経路を選択することができ、スループットが向上する。

経路上のトラフィック量はルーティングプロトコルが働いている最中にも刻々と変化していく。MANET のルーティングプロトコルを拡張する上で、この変化に対応していくことが重要である。Reactive 型のプロトコルでは一度確立した経路は、宛先へのアクセスが不可能になるか経路が不必要になるまでは再計算が行われない。そのため、トラフィック量の変化に対応するのは難しい。

一方、Proactive 型のプロトコルでは定期的にルーティングテーブルを更新することが可能である。よって、本論文では、Proactive 型のルーティングプロトコルを検討対象とし、その中の代表的でかつ最も普及している OLSR を提案方式の対象とした。

3. OLSR

OLSR(Optimized Link State Routing)は INRIA のプロジェクト Hipercom[12] で提案された MANET を構築する Proactive 型のルーティングプロトコルである。以下に OLSR の概要を示す。

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にブロードキャストする。HELLOメッセージの送信間隔のデフォルト値は2秒である。HELLOメッセージには自身のアドレス、シーケンス番号、隣接ノードのアドレスなどの情報が入っている。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メッセージに含めて送信される。

図3.1ではノードAのHELLOメッセージをノードBが受信し、ノードCは受信失敗となっている。その後、ノードBからのHELLOメッセージがノードAとCによって受信され、その中にノードAのアドレスが含まれていることを検知することにより、ノードAはAB間のリンクを双方向リンクと認識する。また、ノードCはノードAを2ホップ隣接ノードと認識する。さらにその後、Cから送信されたHELLOメッセージがノードAで受信されると、その中にはノードAのアドレスが含まれていないため、ノードAはAC間のリンクを非双方向リンクと認識する。

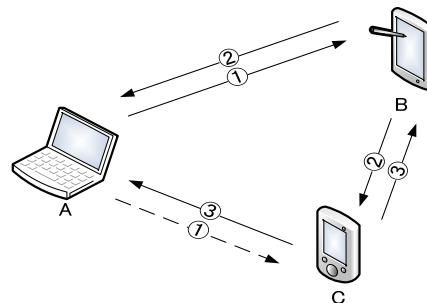


図3.1 HELLOメッセージの送受信

3.2 OLSRのフラッディング方式

OLSRの最大の特徴として、効率の良いフラッディングが挙げられる。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ことである。

通常のフラッディングは図3.2に示すように、メッセージの送信元である中心ノードがメッセージを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す、すべてのノードにメッセージを届ける。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。

通常のフラッディングでは図3.2のように2ホップ隣接ノードが同じメッセージを重複して受信する場合があることがわかる。OLSRでは必要最低限の中継ノードを定義し、この中でフラッディングを行う。このようなノードを

MPR(Multipoint Relay)と呼ぶ。図 3.3 では、中心ノードは灰色の4個のMPRを選択している。選択されたMPRがメッセージのブロードキャストを行うことにより、すべての2ホップ隣接ノードにメッセージが到達する。このようにして、OLSRではブロードキャストの総数を減少させ、同一パケットの重複受信を減少させる。

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セクタと呼ぶ。これにより、各ノードは自身のMPRセクタからのメッセージのみを中継する。

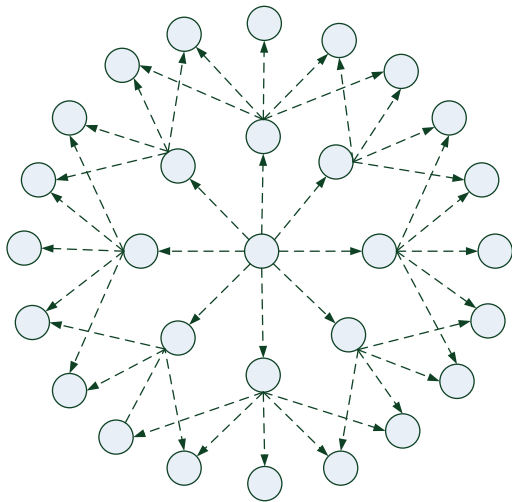


図 3.2 通常のフラッディング

3.3 トポロジー情報の配送

OLSR では、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セクタ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全てのリンクから構成されるトポロジーではなく、各ノードのMPRセクタから構成されるトポロジーのみである。

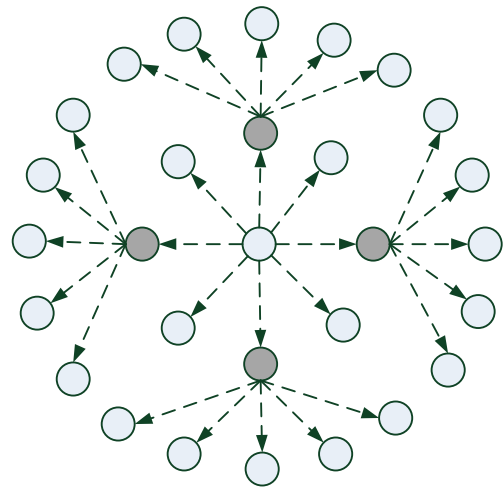


図 3.3 MPRによるフラッディング

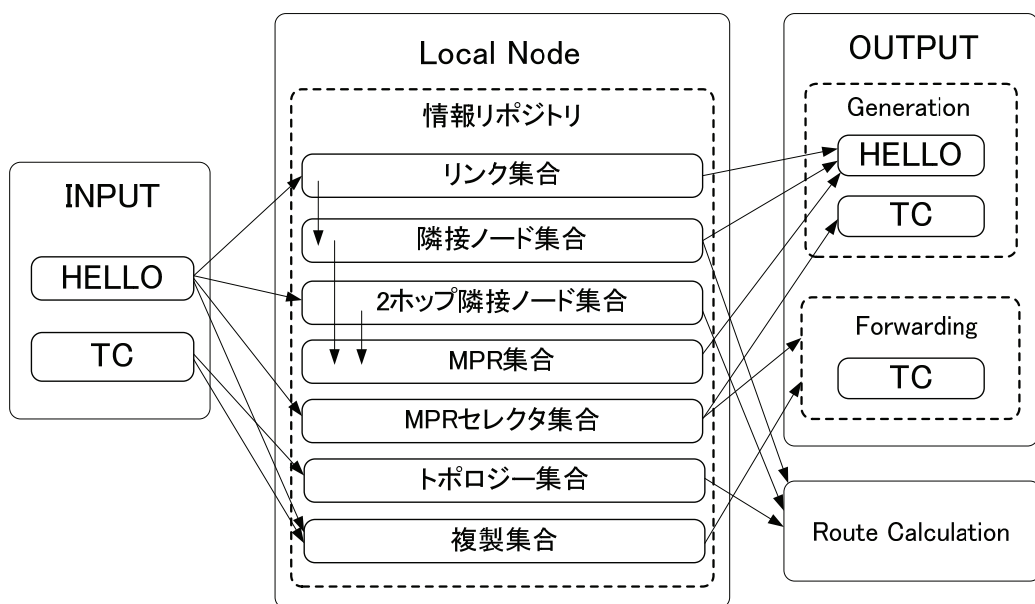


図 3.4 制御メッセージと情報リポジトリの関係

3.4 各ノードが持つ情報

OLSR には、HELLO メッセージ、TC メッセージ以外に MID(Multiple Interface Decraration)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 メッセージに手を加えないため、これら制御メッセージの説明は省略する。

各ノードは図 3.4 に示す 7 つのテーブルからなる情報リポジトリを持つ。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リンクな 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。

以下に図 3.4 の説明をする。HELLO メッセージを受信したノードは情報リポジトリ内のリンク集合、2 ホップ隣接ノード集合、MPR セレクタ集合、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 集合も更新される。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 メッセージが生成される。また、中継される TC メッセージは MPR セレクタ集合と複製集合を基に生成される。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(RT)が生成される。

3.5 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。以下に OLSR の経路生成の方法を示す。図 3.5 はノード s が持つ RT にノード a~d までの経路が既に作成された状態から、ノード e への経路を新たに作成する過程を示している。Dest が e となるタプルの Next には e の隣接ノードである c、d のうち最初に発見されたノード c のタプルの Next の値(a)が設定される。ノード a~d の RT においても同様の方法で e への経路が決まり、図 3.5 に示すように、s→a→c→e という 1 つの最短経路が完成する。

しかし、この方法では単純に最初に発見された最短経路が選ばれる。この経路が図 3.5 のように負荷が高く通信状態が悪いリンクから成る経路であった場合、ノードの処理によるオーバーヘッドやパケット損失によるスループットの低下が発生する。

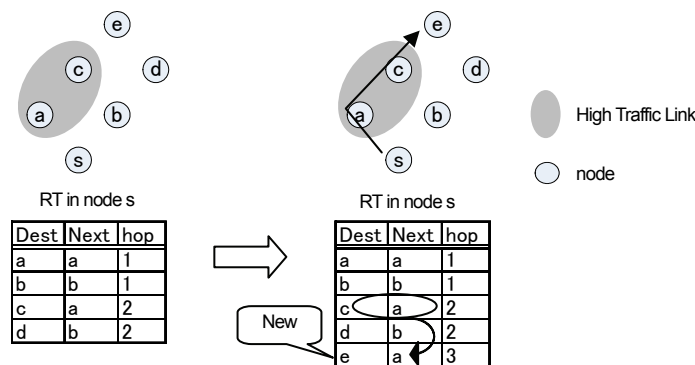


図 3.5 OLSR による RT 生成方法

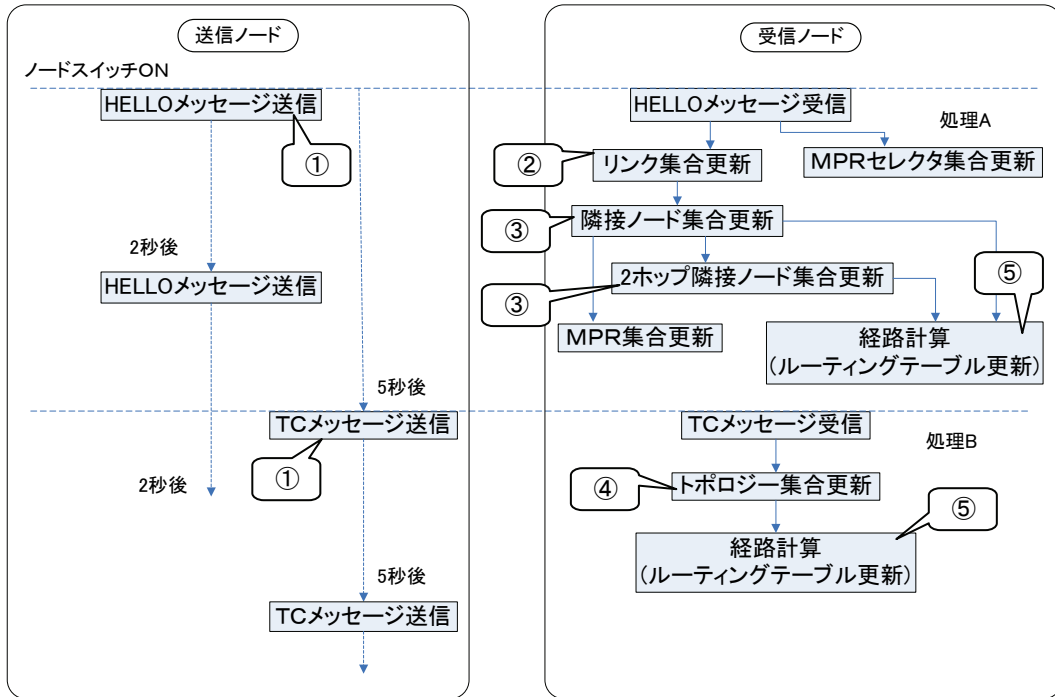


図 4.1 OLSR の拡張部分

4. 拡張OLSR

提案システムでは既存の OLSR に対して、トラフィックを考慮した経路選択を行う。そのため、各ノードはトラフィック量を付加した HELLO メッセージ及び TC メッセージを送信する。これらを受信したノードは RT を生成するのに必要な情報リポジトリ内のテーブルにトラフィック情報を追加する。

図 4.1 は OLSR において制御メッセージの処理の流れを基に OLSR の拡張部分示したものである。吹出し①～③では以下に示す拡張を行う。

- ① HELLO メッセージ及び TC メッセージの送信元ノードは自身のトラフィック量をメッセージに付加し、送信する。
- ② リンク集合にトラフィック量の項目を追加する。HELLO メッセージの送信元ノードと一致する隣接ノードのタプルに送信元ノードのトラフィック量を記録する。一致するタプル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タプルを作成する。
- ③ 隣接ノード集合と 2 ホップ隣接ノード集合にトラフィック量の項目を追加する。②の更新と対応する隣接ノードのタプルにそのトラフィック量を記録する。

- ④ トポロジー集合にトラフィック量の項目を追加する。TC メッセージの送信元ノードと一致する宛先ノードのタプルに送信元ノードのトラフィック量を記録する。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タプルを作成する。
- ⑤ 経路計算(RT 更新)をする際、宛先ノードへの複数の最短経路の合計トラフィックを計算した新たな経路計算テーブル(RCT : Route Calculation Table)を生成する。RCT は、Dest、Dest への経路(Route)、hop、Dest への経路の合計トラフィック(Traffic)から構成される。RCT は 3.5 項の経路生成と同様に作成されていくが、宛先ノードへの複数の経路を保持するため、これらの経路を区別するために経路全体を記録する。RCT の生成が完成すると、RCT の中から最少のトラフィック量を持つ経路を選択し、これをもとに RT を生成する。RT の完成後、不要となった RCT はノードへの負担を減らすため消去する。

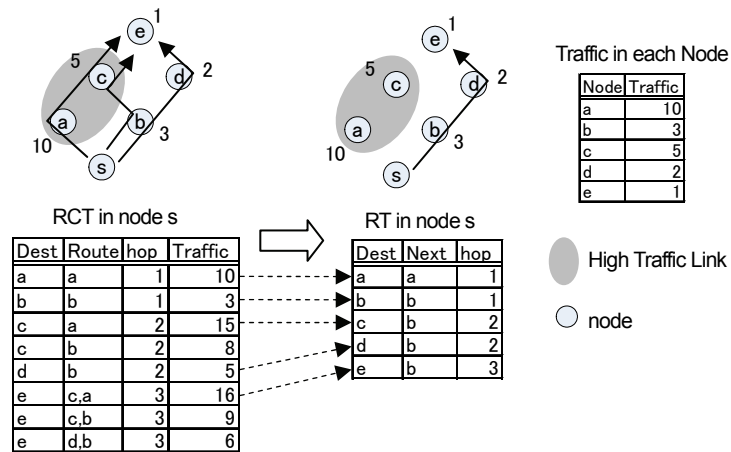


図 4.2 拡張 OLSR による RT 生成方法

図 4.2 に具体的な拡張 OLSR の経路生成方法を示す。図 4.2 では、図 3.5 と同じようにノード s に着目した経路生成方法である。

図 4.2 に示すように HELLO メッセージ, TC メッセージから最短経路候補を RCT に複数生成し、それらの合計トラフィック量を計算する。次に、それら候補のトラフィック量を比較し、最小トラフィックの経路を抽出する。さらに、抽出されたタブルの Route から Next の値を決定して RT を生成する。ノード a~d においても同様の方法で RT を生成することにより、図 4.2 に示すように s→b→d→e というトラフィックの高いリンクを避けた経路が完成する。

5. むすび

本論文では OLSR を拡張することにより、トラフィック状況を考慮した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検討し、その実現方法を示した。今後は検討結果に基づきシミュレーションを実施し、動作検証を行う。

参考文献

- [1] S. Corson : “Mobile Ad hoc Networking (MANET) : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations”, RFC 2501 (1999)
- [2] T. Clausen, Ed. : “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”, RFC 3626 (2003)
- [3] D. Johnson : “The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4”, RFC 4728 (2007)
- [4] C. Perkins : “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, RFC 3561 (2003)
- [5] R. Ogier : “Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)”, RFC 3684 (2004)
- [6] Royer, E.M.; Chai-Keong Toh : “A Review of Current Routing Protocols for Ad hoc Mobile Wireless Networks ”, IEEE Personal Communications Pages:46 – 55 (Apr 1999)
- [7] C-K.Toh 著, 構造計画研究所 訳 : “アドホックモバイルワイヤレスネットワーク”, 共立出版株式会社 (2003)
- [8] 間瀬 憲一, 阪田 史郎 : “アドホック・メッシュネットワーク”, コロナ社 (2007)
- [9] 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 Pages:83 – 88 (Jan. 2003)
- [10] Toh, C.-K.: “Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks”, Wireless Personal Communications, Vol.4 No.2 Pages:103 - 139 (1997)
- [11] 高橋 ひとみ, 齊藤 匡人, 間 博人, 戸辺 義人, 徳田 英幸 : “MANET における TCP ス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 Pages:2857 - 2870 (Dec. 2005)
- [12] Hipercom : <http://www.lix.polytechnique.fr/hipercom/>

謝辞

本研究を行うに当たり、多大なるご指導、ご鞭撻を頂きました渡邊晃教授に心より感謝いたします。また、有益なご助言、及びご検討を頂いた渡邊研究室の皆様にも深く感謝します。

6. 附録

6.1 MANETの概要

MANET とは、無線 LAN で広く使われているアクセスポイントを必要としない、無線通信機能を備えたノードのみで構成されるネットワークである。ノードは無線範囲外のノードと通信する場合には、図 3.1 に示すように中継ノードによって中継される。これをマルチホップ通信と呼ぶ。

MANET における各ノードは一般的に移動端末と想定されており、頻繁にトポロジーの変化が起こる。MANET で形成されたネットワークは管理者を必要としない自立分散型のネットワークであるため、トポロジーの変化が起きると各ノードは互いに協力して動的にネットワークを再構築する。

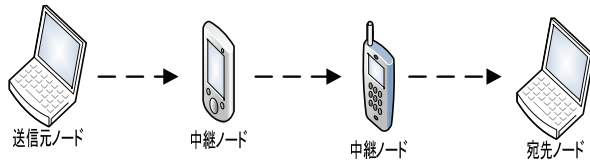


図 3.1 マルチホップ通信