

複数経路を用いた安定な通信のための AODVアドホックルーティングプロトコルの拡張

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科

長谷部 顕司 梅島 慎吾 桧垣 博章

E-mail: {namu, shin5, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

アドホックネットワークのためのルーティングプロトコルとして DSR(Dynamic Source Routing Protocol)、AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol) などが提案されている。これらのプロトコルでは、メッセージ配送を開始する直前に送信元から送信先までの経路構築を行ない、構築された経路情報のみを管理し、これを用いてメッセージ配送を行なうオンデマンド型のプロトコルである。また、構築される経路が1つのみである単一経路構築プロトコルである。しかし、アドホックネットワークでは、コンピュータの移動などによる無線信号の到達範囲の変動やコンピュータの電源断などによってリンクが頻繁に切断される。このため、単一の経路のみではなく、迂回経路となり得る複数の経路を構築する複数経路構築プロトコルが必要である。本論文では、AODV を拡張し、未接続状態のバックワードリンクを互いに接続することによって複数の経路を構築する MRAODV(Multiple-Route Ad-hoc On-Demand Distance Vector) ルーティングプロトコルを提案する。

Multiple-Route Adhoc Ondemand Routing (MRAODV) Protocol

Kenji Hasebe, Shingo Umeshima and Hiroaki Higaki

Department of Computers and Systems Engineering

Tokyo Denki University

E-mail: {namu, shin5, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

Several routing protocols, e.g. DSR(Dynamic Source Routing Protocol) and AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol), have been proposed for routing data packets in ad-hoc networks. These are on-demand routing protocols. Only when a node requires to transmit data packets, it searches a route to a destination node. In addition, these are single-path protocols which detect only one route. However, in an ad-hoc network, due to mobility of nodes and instability of communication links, multiple-route protocols are required. In this paper, we propose a novel multiple-route protocol MRAODV(Multiple-Route On-Demand Distance Vector Routing Protocol) where separated reverse path fragments are connected to achieve additional routes. According to simulation results, more additional routes are detected in our protocol than MNH protocol.

1 背景と目的

近年、PDAやノート型PCなどの移動コンピュータの普及が進んでいる。また、IEEE802.11 [1]やHIPERLAN [2]といった無線LANプロトコル技術の研究開発、利用が進み、移動コンピュータでのネットワーク利用が期待されている。従来の移動コンピュータネットワークは、有線ネットワークに接続されたルータのみがメッセージの配送を行なうインフラストラクチャネットワーク (Infrastructure Networks) であった。移動コンピュータは、有線ネットワークに接続されたアクセスポイントの無線信号到達範囲内に位置するときのみ、これを經由して他のコンピュータと通信することができる。しかし、インフラストラクチャネットワークを対象とした従来の構築、管理、運用手法を、災害救助活動やイベント会場などに利用されるコンピュータネットワークのように、移動性、緊急性、一時性を要求される用途に適用することは、その構築コストが大きいため困難である。そこで、ルータのみによってメッセージが配送される従来のネットワークに代わって、すべての移動コンピュータがメッセージの配送を行なう、すなわち、すべての移動コンピュータがルーティング機能を持つネットワークであるアドホックネットワーク (Ad-hoc Networks) への要求が高まっている。アドホックネットワークでは、すべてのコンピュータがメッセージ配送を行ない、かつ、これらのコンピュータが移動することから、既存の有線ネットワークを対象としたルーティングプロトコルとは異なるルーティングプロトコルが必要とされる。有線ネットワークでは、距離ベクトルに基づくRIP(Routing Information Protocol) [4]やリンクステートに基づくOSPF(Open Shortest Path First) [9]といった、各ルータが定期的に経路情報を交換し、ネットワーク全体のトポロジーを管理するプロアクティブ (Proactive) 型の手法が採られている。DSDV [11]は、この手法をアドホックネットワークに適用したルーティングプロトコルである。しかし、無線ネットワークでは、通信帯域幅が十分ではないため、通信要求の有無に関わらず経路情報を交換するためのメッセージが必要となるこれらのルーティングプロトコルをアドホックネットワークに適用するのは困難である。

そこで注目されているのがリアクティブ (Reactive) 型あるいはオンデマンド (On-Demand) 型のルーティングプロトコルである。各ルータのルーティングテーブルに格納された経路情報を定期的に交換し、自身のルーティングテーブルの経路情報を更新するのではなく、メッセージ配送を開始するときに送信元から送信先までの経路構築を行なう。そして、各移動コンピュータは構築した経路のみを管理し、移動コンピュータ間の定期的な経路情報の交換は必要とされない。オンデマンド型のプロトコルとして、DSR [3]、LBSR [14]、C-LBSR [15]、AODV [12]などが提案されている。

しかし、アドホックネットワークでは、コンピュー

タの移動やバッテリー切れによる電源断、電磁波ノイズなどによって移動コンピュータ間のリンクが頻繁に切断される。このため、単一経路構築のルーティングプロトコルでは、経路上のリンクが切断された場合、再度経路構築を行なわなければならない。そこで、経路構築時に迂回経路となり得る複数の経路を構築するプロトコルが必要である。本論文では、AODVを拡張し、未接続状態の枝経路 (ブランチルート) を互いに接続することで複数の経路を構築するMRAODV (Multiple-Route Ad-hoc On-Demand Distance Vector) プロトコルを提案する。また、シミュレーションによって既存のルーティングプロトコルと性能を比較する。

2 従来手法

これまでに提案された多くのアドホックルーティングプロトコルは、Message Diffusion Protocol [8]を無線LAN環境に適用したフラッディングという手法を用いている。無線LANに利用される無線通信メディアの多くはブロードキャストベースであるため、ある移動コンピュータが送信した無線信号は、その到達範囲内にあるすべての移動コンピュータが受信することができる。ある移動コンピュータがメッセージ m をブロードキャストし、それを受信したすべての移動コンピュータが同様に m をブロードキャストする。これを繰り返すことによって、マルチホップで到達可能なすべての移動コンピュータに m を配送することが可能である。これがフラッディングである。

AODV [12]では、送信元 S からルート要求メッセージ RREQ (Route Request) がフラッディングされると、中間移動コンピュータ M_i は最初に受信した RREQ を送信した移動コンピュータを上流移動コンピュータとした逆リンク (バックワードリンク) を設定し、RREQ を再ブロードキャストする。RREQ が送信先 D に到達すると、 D はルート応答メッセージ RREP (Route Reply) をバックワードリンクに沿ってユニキャストする。RREP を受信した中間移動コンピュータ M_i は、この RREP を送信した移動コンピュータを下流 (次ホップ) 移動コンピュータとした順リンク (フォワードリンク) をルーティングテーブルに登録し、設定したバックワードリンクに沿って RREP をユニキャストする。RREQ を受信したが RREP を受信しなかった中間移動コンピュータは、タイムアウトによって設定したリバースリンクを解除する。RREP が S に到達すると、 S から D に至る経路 $R_{S \rightarrow D}$ が構築される (図1)。すなわち、 S および経路 $R_{S \rightarrow D}$ 上にあるすべての中間移動コンピュータ M_i のルーティングテーブルにフォワードリンクが設定され、これに沿ってアプリケーションメッセージを転送することによって、 S から D までの配送が可能となる。

AODV [12]、DSR [3]、LBSR [14]、C-LBSR [15]は、いずれも単一経路構築のルーティングプロトコルである。構築された送信元 S から送信先 D への経路を用い

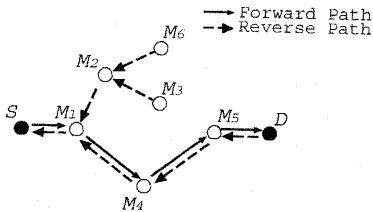


図 1: AODV

てメッセージ配送を行なっているときに、その経路上にある中間移動コンピュータの移動やバッテリー容量切れによる電源断によって経路上にあるいずれかのリンクが切断された場合、再度経路構築を行なわなければならない。経路構築では、ルート要求メッセージをフラッディングするため、衝突、競争が発生する [13]。経路上にはない移動コンピュータもルート要求メッセージをブロードキャストするため、要する通信コストが大きい。そこで、複数経路構築ルーティングプロトコルへの要求が高まっている。これまで、複数経路構築プロトコルとして、MultipathDSR [10]、SMR [7]、AODV-BR [6]、MNH [5] などが提案されている。

MultipathDSRとSMRは、ソースルーティングを行なうDSRを拡張したプロトコルである。送信元Sからルート要求メッセージRREQがフラッディングされ、送信先Dに到達すると、Dは到達した複数のRREQに格納された経路の中から重複部分のない経路を選別する。これらを格納したルート応答メッセージRREPをSに送信することで、Dへの複数の経路をSが得ることができる。

一方、AODV-BR、MNHでは、テーブルベースルーティングを行なうAODVを拡張して複数の経路を構築する。AODVを複数経路構築プロトコルに拡張するためにAODV-BRでは、無線通信メディアがブロードキャストベースであることを利用する。ここで、AODVによって構築される経路をプライマリルートと呼ぶことにする。プライマリルートに含まれない移動コンピュータもRREPを受信する。リンクの切断を検出した中間移動コンピュータがルート変更要求メッセージを無線信号到達範囲内にブロードキャストし、このメッセージをRREPを受信した移動コンピュータが受信することによって、この移動コンピュータを中間移動コンピュータとして含む迂回経路への切替えを行なう。ただし、この方法では、プライマリルートから1ホップ外れた経路への切替えしか行なうことができない。

MNHは、RREQのフラッディングをAODVと同様の方法で行なう。中間移動コンピュータは、2回目以降に受信したRREQに対して、1回目と同様にバックワードリンクを設定する。ただし、RREQをブロードキャストせずに破棄する。RREPは複数設定されたバックワードリンクに沿って配送される。また、中間移動コンピ

ュータが複数回RREPを受信する場合は、受信したRREPを送信した移動コンピュータへのフォワードリンクを設定し、2回目以降に受信したRREPを破棄する。これにより複数の経路が構築される。しかし、MNHの手法では複数の経路を構築できるケースは稀である。図1において、 $S \rightarrow M_1 \rightarrow M_4 \rightarrow M_5 \rightarrow D$ というプライマリルートに対して、 $S \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_5 \rightarrow D$ という迂回路を構築できるのは、 M_5 が M_4 からのRREQを受信してからRREQをブロードキャストする(これは M_3 によって受信される)までの間に M_3 がRREQをブロードキャストする場合のみである¹。もし、 M_3 よりも先に M_5 がRREQをブロードキャストするならば、バックワードリンクは図2のように設定され、複数の経路を構築することができない。

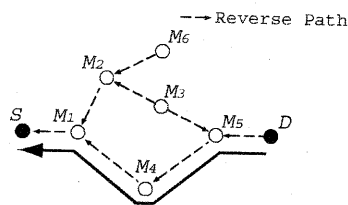


図 2: MNHにおける複数経路構築失敗例

以上のことから、本論文では図2のような状況でも複数の経路を構築することが可能なMRAODV(Multiple Route Ad-hoc On-Demand Distance Vector)ルーティングプロトコルを提案する。

なお、無線ネットワークでは、電波の回折、干渉などによる無線信号の到達範囲の変動が起こるため、有線ネットワークのように通信が常に双方向で行なわれるとは限らない。一方からのみ送信可能な、片方向通信が行なわれる場合がある。DSR、LBSR、C-LBSRは片方向通信路を経路として利用可能であるルーティングプロトコルである。本論文では、すべての通信路は双方向であると仮定する。

3 MRAODV ルーティングプロトコル

3.1 AODVの複数経路構築への拡張

AODVは、送信元移動コンピュータSからRREQをフラッディングすることによって、Sを最上流として中間移動コンピュータの上流、下流の関係を暫定的に決定する。このとき、各中間移動コンピュータは唯一の上流移動コンピュータを持ち、この上流移動コンピュータに対してバックワードリンクを設定する。つまり、Sを根(ルート)とし、マルチホップで到達可能なすべての移動コンピュータに対して張る木(Spanning Tree)が構築される。このとき、バックワードリンクのうち、連続した1組のバックワードリンク列だけがSから送信先コンピュータDに到達する。すなわち、DからSまでの1

¹RTS/CTSを用いて排他的にブロードキャストが行なわれているものと仮定する。

つのバックワードルート(プライマリバックワードルート)と、プライマリバックワードルートに接続し、途中まで延びた複数の枝経路(ブランチバックワードルート)が構築される(図1)。

D から S までのプライマリバックワードルートに沿ってRREPを配送し、中間移動コンピュータがルーティングテーブルに D を送信先とするメッセージの転送先がRREPの送信移動コンピュータであることを設定することによって、フォワードリンクを作成する。このとき、RREPを受信しない移動コンピュータは、タイムアウトによって自身が設定したバックワードリンクを削除する。AODVが単一経路構築プロトコルであるのは、作成したバックワードルートのうち、1つのみが送信先 D に接続するためである。そこで、ブランチバックワードルートを互いに接続することで複数経路構築プロトコルへ拡張することが可能である。

しかし、ブランチバックワードルートを相互接続するときには、上流、下流の区別を壊さず接続しなければならない。図3のように異なるブランチバックワードルートに含まれる移動コンピュータ間(M_2, M_3)を接続する場合、送信元から遠いバックワードリンク $M_3 \rightarrow M_5$ は $S \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow M_3 \rightarrow M_5 \rightarrow D$ という迂回経路を構築するために、上流、下流の関係を反転させなければならない。

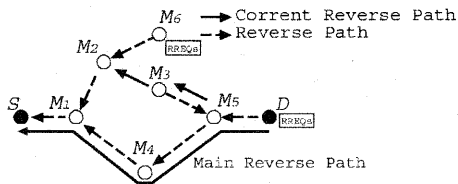


図3: バックワードリンクの接続と反転

そこで、ブランチバックワードルート $M_6 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 、 $M_3 \rightarrow M_5$ は、それぞれプライマリバックワードルート上の1つの移動コンピュータに接続していることに着目する。プライマリバックワードルートは、上流、下流の関係が確定したリンク列であり、それに接続する $M_6 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1$ 、 $M_3 \rightarrow M_5$ のようなプライマリバックワードリンクの枝経路となるブランチバックワードルートは、接続点となる移動コンピュータ(M_1 と M_5)の S からのホップ数(枝番号)を基準として上流、下流の区別がなされると考えられる。そこで、MRAODVでは確定されたリンクとの接続点を求め、それぞれの枝番号を比較することでリンクの接続を行なう。

3.2 枝番号による上流、下流の判別

MRAODVでは、RREPをプライマリバックワードルートのみでなく、ブランチバックワードルートにも配送する。構築済みのプライマリバックワードルートとの接続点となる移動コンピュータの S からのホップ数を枝番号とするため、MRAODVではRREPをプライマ

リバックワードルートに沿って配送する際に枝番号を割り当てる。

RREPのフラッディングの際にホップ数をカウントすることにより、 S から D までのプライマリバックワードルートに沿った経路のホップ数を知ることができる。これをRREPに付加し、プライマリバックワードルートに沿って配送しながら(図3)1ずつデクリメントすることで、プライマリバックワードルートに含まれる移動コンピュータを接点とするブランチバックワードルートの枝番号が与えられる。プライマリバックワードルートに含まれる移動コンピュータはRREPを必ず下流移動コンピュータのうちの1つから受信し、それを唯一の上流移動コンピュータと他の下流移動コンピュータに送信する。この下流移動コンピュータはブランチバックワードルートに含まれる。このように、ブランチバックワードルートに含まれる移動コンピュータは上流移動コンピュータからRREPを受け取ることを利用して、自身がプライマリバックワードルートではなくブランチバックワードルートに含まれることを認識する。RREPを上流移動コンピュータから受信した移動コンピュータは、RREPに格納されたホップ数を自身から分岐するブランチバックワードルートの枝番号として保存する。

例えば図4の場合、プライマリバックワードルート $D \rightarrow M_4 \rightarrow M_3 \rightarrow M_2 \rightarrow M_1 \rightarrow D$ に対し、移動コンピュータ M_4 で接続しているバックワードルート $M_9 \rightarrow M_4$ 上の移動コンピュータには枝番号4、移動コンピュータ M_1 で接続しているバックワードリンク $M_8 \rightarrow M_6 \rightarrow M_5 \rightarrow M_1$ 、 $M_7 \rightarrow M_5 \rightarrow M_1$ 上の移動コンピュータは枝番号1を持つ。

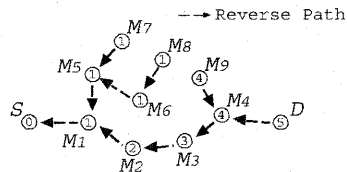


図4: 同一枝番号をもつバックワードルート

移動コンピュータ M_7, M_8, M_9 はブランチバックワードルートの終端コンピュータである。 M_8 と M_9 は直接通信可能であるが、異なるブランチバックワードルートに含まれている。 M_8, M_9 の枝番号を比較すると M_8 の方が小さいことから M_8 を含むブランチバックワードルート $M_8 \rightarrow M_6 \rightarrow M_5 \rightarrow M_1$ が M_9 を含むブランチバックワードルート $M_9 \rightarrow M_4$ に対して上流であると判別される。

一方、 M_7, M_8 に注目すると、これらも互いに直接通信可能であるが、枝番号が共に1であり、上流、下流の区別ができない。しかし、 $S \rightarrow M_1 \rightarrow M_5 \rightarrow M_7 \rightarrow M_8 \rightarrow M_9 \rightarrow M_4 \rightarrow D$ という迂回経路を構築することが可能であることから M_7 と M_8 を接続することが望ま

しい。 M_8 と M_9 の接続により上流、下流の区別がされた $M_8 \rightarrow M_6 \rightarrow M_5 \rightarrow M_1$ と $M_9 \rightarrow M_4$ を接続することで新しく構築されたルートに含まれる移動コンピュータでは、新たに上流、下流関係が定められる。新しく構築された経路 $S \rightarrow M_1 \rightarrow M_5 \rightarrow M_6 \rightarrow M_8 \rightarrow M_9 \rightarrow M_4 \rightarrow D$ は移動コンピュータ M_1 、 M_4 を接続点としてプライマリバックワードルートに接することから、 M_1 、 M_4 から再番号割り当てメッセージ RNUM を送信することで M_5 、 M_6 、 M_8 、 M_9 のホップ数とこれらに接続する枝 (ブランチバックワードルート) の枝番号を割り当てる (図 5)。

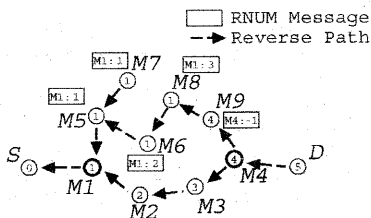


図 5: 枝番号再割り当て

再番号割り当てを行なうことで、接続できなかったブランチバックワードルートは新しく構築された経路に含まれる 1 つの移動コンピュータに接続するブランチバックワードルートとなる。これらのブランチバックワードルートのいくつかは、新しい枝番号を用いてプライマリバックワードルートに直接接続するブランチバックワードルートと同じように上流、下流の区別をすることが可能となり、互いに接続される。この手続きを再帰的に適用することにより多数の迂回経路を構築することができる。

3.3 近隣テーブル

無線通信メディアがブロードキャストベースであることから、RREQ、RREP など経路構築に用いる制御メッセージは、無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータに受信される。各移動コンピュータはこれらの制御メッセージを受信することによって、周囲の移動コンピュータとの上流、下流関係を把握することができる。

MRAODV では各移動コンピュータが持つ枝番号を比較してブランチバックワードルートに接続することから、各移動コンピュータが接続可能な近隣移動コンピュータ (互いの信号伝達範囲内にあり、直接メッセージ交換可能な移動コンピュータ) の情報を持つことが必要となる。各移動コンピュータが近隣移動コンピュータとの上流、下流関係を把握するためには、制御メッセージを送信する移動コンピュータの上流アドレスをメッセージに格納すればよい。これによって、近隣移動コンピュータの情報を交換するための追加制御メッセージを用いることなく、近隣移動コンピュータの情報を獲得、保存することができる。

近隣移動コンピュータの情報は、近隣テーブルに保存され、RREQ、RREP などの制御メッセージを受信することに更新される。枝番号比較のため、近隣テーブルには以下の情報を保存する。

- 近隣移動コンピュータのアドレス
- 自身との関係 (上流、下流、並行、未定)
- 枝番号

自身との関係は、制御メッセージに含まれる上流移動コンピュータアドレスを用いて決定することができる。自身と同じ経路に含まれている場合は、送信元に近い方が「上流」、遠い方が「下流」である。「並行」とは、自身が含まれているものとは異なる他のブランチルートに含まれていることを示す。これらのいずれでもない場合は「未定」とする。

4 性能評価

MRAODV と MNH、AODV-BR が構築する経路数を以下の条件でシミュレーションにより計算した。ただし、AODV-BR では、リンクの切断が検出されてから近接経路の 1 ホップ探索が行なわれるため、このような代替が可能ならすべての経路を数え上げることとする。

- エリアサイズ: 500(m) × 500(m)
- 信号伝達距離: 100(m)
- コンピュータの分布: 一様 (ランダム)
- シミュレーション回数: 100 回

移動コンピュータの数を 20, 40, 60, 80, 100 とした場合の平均構築経路数を図 6 に、移動コンピュータの数を 50、移動速度を 0~5km/h の一様分布とし、移動方向と速度を一定時間で変化させた場合の構築開始からの経過時間と構築経路数との関係を図 7 に示す。

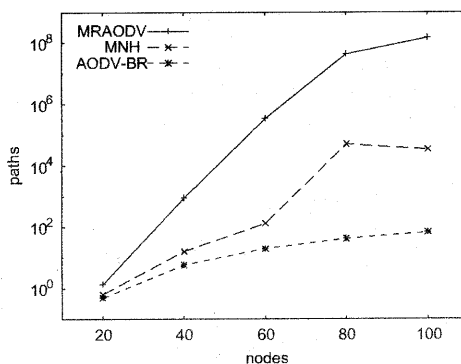


図 6: 構築経路数 (対ノード数)

図 6 に示されるように、いずれのルーティングプロトコルにおいてもコンピュータの分布が密になるにつれ、構築された経路数が増加しているが、その数を比較すると MRAODV の方がより多くの経路を構築している。これは、MNH ではバックワードリンクを正しく構

築できなかった場合、それを使用することができなくなるが、MRAODVでは、上流、下流の区別を壊すことなく迂回経路の構築に使用することが可能であるためである。しかし、MRAODVでは比較可能な枝番号を受け取るまでブランチバックワードルートの接続処理を行わないため、図7に示すように複数の経路構築に要する時間が長い。しかし、最初の経路を構築するまでの時間、すなわち、メッセージ配送の開始までにかかる時間は図8に示すように他のプロトコルと同じである。

また、図7に示すように、モバイルコンピュータの移動速度を0~5km/hとした場合、MRAODVは、AODV、MNHと比較すると、それぞれ120[s]、80[s]長く送信元から送信先まで通信が可能であった。これは、MNHでは正しく構築できなかった経路をMRAODVでは使用することができるため通信可能時間を延長できることを示している。また、経路構築に用いる制御メッセージは約100msで収束することから、モバイルコンピュータの多少の移動にかかわらず、多くの経路を構築することができ、多くの経路を構築することで、送信元から送信先まで安定したメッセージ配送を行うことが可能であるといえる。

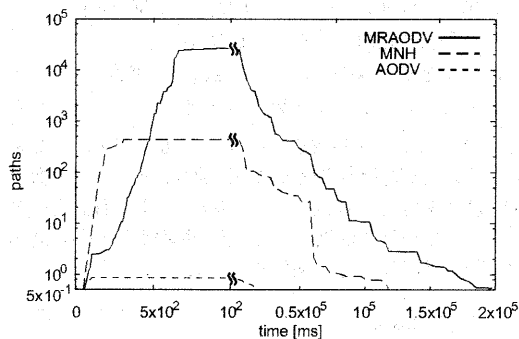


図7: 構築経路数の時間変化

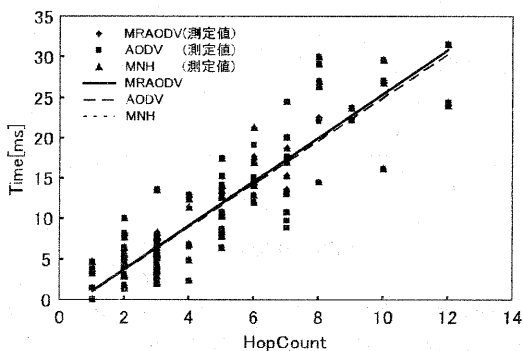


図8: プライマリルート構築時間

5 まとめ

本論文では、AODVを拡張し、ブランチバックワードルートを相互接続することにより、複数の経路を構築するMRAODVを提案した。MRAODVではRREQ、RREPなどの制御メッセージから上流、下流の関係を保存した近隣テーブルを作成し、接続可能なコンピュータが順次、再接続処理を行なうことで複数の経路を構築する。今後は、本プロトコルを非同期プロトコルへ拡張し、経路探索経過時間と構築経路数の関係の評価を行い、有効性を示す。

参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] "Radio Equipment and Systems(RES); HIPERLAN," ETSI Functional Specifications (1995).
- [3] David, B., David, A., Hu, Y.C., Jorjeta, G. and Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [4] Hedrick, C., "Routing Information Protocol," RFC 1058 (1988).
- [5] Jiang, M.H. and Jan, R.H., "An Efficient Multiple Paths Routing Protocol for Ad-hoc Networks," Proc. of the 15th International Conference on Information Networking, pp. 544-549 (2001).
- [6] Lee, S.J. and Gerla, M., "AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1311-1316 (2000).
- [7] Lee, S.J. and Gerla, M., "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks," Proc. of IEEE International Conference on Communications, pp. 3201-3205 (2001).
- [8] Moses, Y. and Roth, G., "On reliable message diffusion." Proc. of the 8th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, pp. 119-128 (1989).
- [9] Moy, J., "Open Shortest Path First specification," RFC 1131 (1989).
- [10] Nasipuri, A. and Das, D.S., "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE 8th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 64-70 (1999).
- [11] Perkins, C.E. and Bhagwat, P., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," ACM SIGCOMM'94, pp. 234-244 (1994).
- [12] Perkins, C.E. and Royer, E.M., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proc. of IEEE 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 90-100 (1999).
- [13] Tseng, Y., Ni, S. and Shih, E., "Adaptive Approaches to Relieving Broadcast Storms in a Wireless Multihop Mobile Ad Hoc Network," Proceedings on the 21st International Conference on Distributed Computing Systems, pp. 481-488 (2001).
- [14] 佐川, 松垣, "アドホックネットワークにおけるループ型ルーティングプロトコル," 第9回マルチメディアと分散処理ワークショップ論文集, pp. 157-162 (2001).
- [15] 佐川, 松垣, "ループ経路接合によるアドホックルーティングプロトコル (C-LBSR)," 情報処理学会第64回全国大会論文集, No. 3, pp. 317-318 (2002).