

AODVのマルチパス探索への拡張

長谷部 頌司 梅島 慎吾 松垣 博章

{namu, shin5, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科

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) [1], AODV(Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol) [8] などが提案されている。これらのプロトコルでは、データ通信を開始する直前に送信元から送信先までのルート探索を行い、検出されたルート情報のみを管理し、これを用いてデータ通信を行う。また、1度のルート探索によって得られるルートは1つのみであるシングルパスプロトコルである。しかし、アドホックネットワークでは、ホストの移動、電波の回折や干渉などによる無線信号の到達距離の変動などによってリンクが頻繁に切断されるため、ルート探索時に単一のルートのみを求めるのではなく、迂回路となり得る複数のルートを検出するマルチパスプロトコルが必要である。そこで本論文では、AODVを拡張し、未接続状態のリバースパスを互いに接続することで複数のルートを検出する MPAODV(Multipath Ad-hoc On-Demand Distance Vector) ルーティングプロトコルを提案する。

Multipath Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol

Kenji Hasebe, Shingo Umeshima and Hiroaki Higaki

{namu, shin5, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

Department of Computers and Systems Engineering

Tokyo Denki University

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, multi-path protocols are required. In this paper, we propose a novel multipath protocol MPAODV(Multipath On-Demand Distance Vector Routing Protocol) where separated reverse path fragments are connected to achieve additional paths. According to simulation results, more additional paths are detected in our protocol than MNH protocol.

1 背景と目的

近年、PDA、ノート型PCなどのモバイルコンピュータの普及が進んでいる。また、IEEE802.11やHIPER-LANといった無線LANプロトコル技術の開発、利用が進み、モバイルコンピュータでのネットワーク利用が期待されている。従来のコンピュータネットワークは、固定ネットワークに接続されたルータのみがパケットの配送を行うインフラストラクチャネットワーク(Infrastructure Networks)であった。しかし、固定的にネットワークを構築しなければならない従来手法を、災害救助活動やイベント会場など、移動性を要求される用途に適用するのは、その構築コストが大きいため困難である。そこで、固定されたルータを介してネットワークを構築するのではなく、すべてのモバイルコンピュータがパケット配送を行う、すなわちルーティング機能を持つことによって、ネットワークを構築するアドホックネットワーク(Ad-hoc Networks)への要求が高まり、ホストの移動に対応したルーティングプロトコルの研究が進められている。アドホックネットワークでは、すべてのホストがパケット配送を行い、かつ、これらのホスト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) [2] やリンクステートに基づくOSPF(Open Shortest Path First) [6] といった、定期的ルータ間でルーティング情報を交換し、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きた。しかし、無線ネットワークでは帯域幅に制限があり、ホストの移動によってリンクが頻繁に切断されることから、従来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オンデマンド(On-Demand)型のルーティングプロトコルである。定期的な各ルータの持つルーティング情報を交換し、自身の

ルーティング情報を更新するのではなく、データ通信を開始するとき送信元から送信先までのルート探索を行う。また、検出したルートのみを管理し、ホスト間の定期的なルーティング情報の交換を必要としない手法である。オンデマンド型のプロトコルとしてはDSR [1], LBSR [9], AODV [8] などが提案されている。

これらはフラッディングという手法を用いている。無線メディアはブロードキャストベースであるため、あるホストが送信した無線信号は、その到達範囲内にあるすべてのホストが受信可能である。あるホストがメッセージ m をブロードキャストし、それを受信したすべてのホストが同様に 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任意のホストに 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では、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ると、中間ホストは最初に RREQ を受信したホストを上流としたリバースパスをルーティングテーブルに登録し、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 をリバースパスに沿ってユニキャストする。RREP を受け取った中間ホストは、受信した RREP の送信ホストを下流としたフォワードパスをルーティングテーブルに登録する。RREP を受け取らなかった中間ホストは、設定したリバースパスを解除する。RREP が S に到達することで、 S から D に至るシングルパスが構築される。(図1)

DSR, AODV はいずれもシングルパスのルーティングプロトコルである。検出されたルートを用いてデータ通信を行っているときに、そのルート上のホストが移動するなどしてルート上のリンクが切断された場合、再度ルート探索を行わなければならない。ルート探索はルート要求をフラッディングするため、衝突、競合の発生頻度が高くなる。そこで、1回のルート要求で複数のパスを発見するマルチパスルーティングプロトコルへ

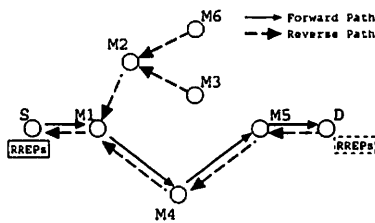


図 1: AODV

の要求が高まっている。すでにマルチパスプロトコルとして、MultipathDSR [7]、SMR [5]、AODV-BR [4]、MNH [3] などが提案されている。

MultipathDSR と SMR は DSR と同様、ソースルーティングを行なう。送信元からルート要求メッセージ (RREQ) がフラッディングされ、送信先に到達すると、送信先ホストは到着した複数の RREQ の中から重複部分のないルートを選別してルート応答メッセージ (RREP) を送信元に送信することで、送信元ホストから送信先ホスト、あるいは中間ホストから送信先ホストというマルチパスを構築する。

一方、AODV-BR、MNH では、AODV を拡張してマルチパスを構築する。AODV をマルチパスに拡張するために AODV-BR は、無線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 によって検出されるルート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中間ホストも RREP 受信する。そこで、新たな制御メッセージの送受信を要することなく、プライマリルート以外の迂回ルートを構築することが可能。

MNH は、2 回目以降に受信した RREQ に対し、1 回目同様リバースパスを登録する。ただし、RREQ をブロードキャストせずには破棄する。RREP は複数登録されたリバースパスに沿って送信される。また、中間ホストが複数回 RREP を受信する場合は、受信した RREP の送信ホストへフォワードパスのみ登録し、2 回目以降に受信した RREP を破棄する。これによりマルチパスが構築される。

しかし、MNH の手法ではマルチパスを構築できるケースはむしろ希である。図 1 において、 $S \rightarrow M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M5 \rightarrow D$ という迂回ルートを構築できるのは、 $M5$ が $M4$ 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 $M3$ によって受信される) までの間に $M3$ が RREQ をブロードキャストした場合のみである。もし、 $M3$ のブロードキャストよりも $M5$ のブロードキャストが先に行われたならば、リバースパスは図 2 のように構築されマルチパスとはならない。

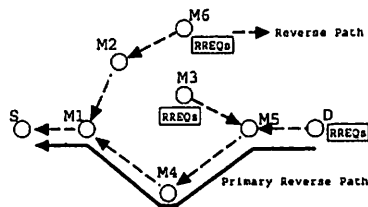


図 2: MNH におけるリバースパス問題

以上のことから、本論文では図 2 のような状況でもマルチパスを構築することが可能な MPAODV (Multipath 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距離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、片方向通信が行われる場合がある。DSR、LBSR は片方向通信路をルート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。

2 MPAODV ルーティングプロトコル

2.1 AODV のマルチパス拡張

AODV は、送信元ホスト 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ノードの上流、下流の関係を暫定的に決定する。このとき、各中間ノードは唯一の上流ノードを持ち、この上流ノードに対してリバースパスを設定する。よって、リバースパスのうち、連続した 1 つのリバースパスだけが送信先ホスト D に到達する。つまり、 D から S までの 1 つのリバースパス (プライマリリバースパス) と、プライマリリバースパスに接続し、途中まで延びた複数のリバースパス (部分リバースパス) が構築される。(図 1)

D から S までのリバースパスに沿って RREP を送信し、中間ノードがルーティングテーブルに D についてのバケットの配送先が RREP の送信ホストであることを登録することによってフォワードパス (プライマリパス) を作成する。このとき RREP を受信しない中間ホストは、タイムアウトによって自身が設定した部分リバースパスを削除する。AODV がシングルパスプロトコルであるのは、作成したリバースパスのうち、1 つのみが送信先に接続するためである。そこで、部分リバースパスを互いに接続することでマルチパスプロトコルへ拡張することが可能である。

しかし、部分リバースパスを接続するためには上流、下流の区別を壊すことなく接続しなければならない。図 3 のように異なる部分リバースパスのホスト間 ($M2, M3$) を接続する場合、送信元から遠いリバースパス $M3 \rightarrow M5$ は $S \rightarrow M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M5 \rightarrow D$ という迂回パスを構築するために、上流、下流の関係を反転させなければならない。

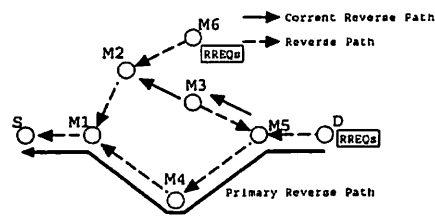


図 3: リバースパスの接続・反転

そこで、リバースパス $M2 \rightarrow M1$ 、 $M3 \rightarrow M5$ は、それぞれプライマリパス上の 1 つのノードに接続していることに着目する。

プライマリパスは上流、下流の関係が確定したパスであり、それに接続する $M2 \rightarrow M1$ 、 $M3 \rightarrow M5$ のような枝となるパスは、接続点となるノード ($M1, M5$) の S からのホップ数 (枝番号) を基準とした上流、下流の区別がなされると考えられる。そこで、MPAODV では確定されたパスとの接続点を求め、それぞれの枝番号を比較することでパスの接続を行う。

2.2 枝番号による上流、下流の判別

MPAODV では、RREP をプライマリリバースパスのみでなく、部分リバースパスにも配送する。検出済みのプライマリパスとの接続点となるノードの送信元ノード S からのホップ数を枝番号とするため、MPAODV

では RREP をプライマリリパスパスに沿って配送する際に枝番号を割り当てる。

RREQ 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、プライマリリパスパス (図 3) に沿って配送しながら 1 ずつデクリメントすることで、プライマリリパスに含まれるノードに枝番号が与えられる。プライマリリパスに含まれるノードは RREP を必ず下流ノードのうちの 1 つから受信し、それを唯一の上流ノードと他の下流ノードに送信する。この下流ノードは部分リパスパスに含まれる。このように、部分リパスパスに含まれるノードは上流ノードから RREP を受け取ることを利用して、自身がプライマリリパスではなく部分リパスパスに含まれることを認識する。RREP を上流ノードから受信したノードは、RREP に格納されたホップ数を自身の枝番号として保存する。

例えば図 4 の場合、プライマリリパス $S \rightarrow M1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M4 \rightarrow D$ に対し、ノード $M4$ で接続しているリパスパス $M9 \rightarrow M4$ は枝番号 4、ノード $M1$ で接続しているリパスパス $M8 \rightarrow M6 \rightarrow M5 \rightarrow M1$ 、 $M7 \rightarrow M5 \rightarrow M1$ 上のノードは枝番号 1 を持つ。

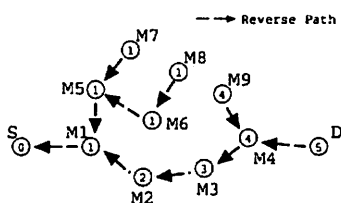


図 4: 同一枝番号であるリパスパス

ノード $M7$ 、 $M8$ 、 $M9$ は部分リパスパスの終端ノードである。 $M8$ と $M9$ は直接通信可能であるが、異なる部分リパスパスに含まれている。 $M8$ 、 $M9$ の枝番号を比較すると $M8$ の方が小さいことから $M8$ を含む部分リパスパス $M8 \rightarrow M6 \rightarrow M5 \rightarrow M1$ が $M9$ を含む部分リパスパス $M9 \rightarrow M4$ に対して上流であると判別される。

一方、 $M7$ 、 $M8$ 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、 $S \rightarrow M1 \rightarrow M5 \rightarrow M7 \rightarrow M8 \rightarrow M9 \rightarrow M4 \rightarrow D$ という迂回パスを構築することが可能であることから $M7$ と $M8$ を接続することが望ましい。 $M8$ と $M9$ の接続により上流、下流の区別がされた $M1 \rightarrow M5 \rightarrow M6 \rightarrow M8$ と $M9 \rightarrow M4$ を接続することで新しく確定したパスに含まれるノードでは、新たに上流、下流関係が定められる。新しく確定されたパス $S \rightarrow M1 \rightarrow M5 \rightarrow M6 \rightarrow M8 \rightarrow M9 \rightarrow M4 \rightarrow D$ はノード $M1$ 、 $M4$ を接続点としてプライマリパスに接することから、 $M1$ 、 $M4$ から再番号割り当てメッセージ RNUM を送信することで $M5$ 、 $M6$ 、 $M8$ 、 $M9$ のホップ数とこれらに接続する枝 (部分木) の枝番号を割り当てる。(図 5)

再番号割り当てを行うことで、接続できなかった部分リパスパスは新しく確定されたパスに含まれる 1 つのノードに接続する部分リパスパスとなる。これらの部分リパスパスのいくつかは、新しい枝番号を用いてプライマリリパスパスに直接接続する部分リパスパスと同じように上流、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パスを検出することができる。

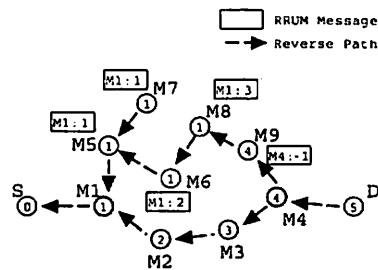


図 5: 枝番号再割り当て

2.3 近隣テーブル

無線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 などルート探索に用いるメッセージは、メッセージを送信した周囲のノードすべてが受信できる。各ノードはこれらの制御メッセージを受信することによって、周囲のノードの上流、下流関係を把握することができる。

MPAODV では各ノードが持つ枝番号を比較することでパスを接続することから、各ノードが接続可能な近隣ノード情報が必要となる。各ノードが近隣ノードとの上流、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ノードの上流ノードアドレスをメッセージに格納すればよい。これにより近隣ノード情報交換のための制御メッセージを用いることなく近隣ノード情報を保存することができる。

近隣ノード情報は、近隣テーブルに保存され、RREQ、RREP など制御メッセージを受信することに更新する。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。

- 近隣ノードのアドレス
- 自ノードとの関係 (上流、下流、その他、未定義)
- 枝番号

自ノードとの関係は制御メッセージに含まれる上流ノードアドレスから、自ノードと同じパスを構成する、「上流」、「下流」、他の部分リパスパスに所属している「その他」のいずれかを判別し、保存する。

2.4 マルチパス探索プロトコル

[RREQ の送受信]

ルート要求メッセージ RREQ には、以下の情報が格納されている。

RREQ (送信元アドレス、送信先アドレス、上流アドレス、ホップカウント)

(送信元ホスト S)

- S は、 D へのルート $R_{S \rightarrow D}$ が自身のルーティングテーブルに存在しているかを確認する。
- $R_{S \rightarrow D}$ が存在する場合は、このルートを使用する。
- $R_{S \rightarrow D}$ が存在しない場合、 S は、上流アドレスフィールドに自身の IP アドレスを格納したルート要求メッセージ RREQ を無線到達範囲内のすべてのモバイルコンピュータ M_i にブロードキャストする。

(中間ノード M_i)

- M_i が最初の RREQ を受信した場合 (RREQ の送信先アドレスが自身のアドレスと異なる場合)、RREQ を送信したノードにリパスパスを設定し、そのノードを上流ノードとして近隣テーブルに登録する。RREQ の上流アドレスフィールドに、受信した RREQ を送信したノードのアドレスを格納し、ホップカウントフィールドをインクリメントして、自身の無線到達範囲内に存在するすべてのモバイルコンピュータにこの RREQ をブロードキャスト

する。

- M_i が 2 回目以降の RREQ を受信した場合、その RREQ の上流アドレスフィールドが、自身のアドレスであるかを確認する。自身のアドレスであるならば、RREQ を送信したノードが自身の下流のノードであることを近隣テーブルに登録する。
- 自身のアドレスでないならば、送信したノードは自身の周囲に存在するノード (異なる部分リバースパスに含まれる) として登録し、その RREQ メッセージを破棄する。

(送信先ホスト D)

- D が最初の RREQ を受信した場合、自身宛であるならば、近隣テーブルに RREQ を送信したノードを上流として記録する。RREQ 内のホップカウンフィールドをインクリメントした値を送信元 S からのホップ数とし、ルート応答メッセージ RREP を生成し、リバースパスを設定したノードに対してブロードキャストする。

[RREP の送受信]

ルート応答メッセージ RREP には、以下の情報が格納されている。

RREP (送信元アドレス、送信先アドレス、上流アドレス、ホップカウント)

(送信先ホスト D)

- RREQ を受信した D は、上流アドレスフィールドを近隣テーブルに登録されている上流ノードのアドレス、ホップカウンフィールドを S からのホップ数としたルート応答メッセージ RREP をブロードキャストする。

(中間ノード M_i)

- RREP を受信した M_i は、RREP 内の上流アドレスフィールドに自身のアドレスが格納されているかを確認する。
- 自身のアドレスが格納されている場合、自身がプライマリパス上に存在することを認識し、RREP を送信したノードに対してフォワードパスを設定する。RREP の上流アドレスフィールドに自身の上流ノードを格納、ホップカウンフィールドをデクリメントし、再ブロードキャストする。
- 自身のアドレスが格納されていない場合、RREP を送信したノードが、自身の上流ノードであるかを確認する。
- 自身の上流ノードからのメッセージである場合には、RREP 内のホップカウント、送信者アドレスを自身の枝番号として近隣テーブルに保存する。その後、再ブロードキャストする。
- 上流ノード以外からのメッセージである場合には、RREP 内のホップカウント、送信者アドレスを、そのノードの枝番号として近隣テーブルに保存し、RREP を破棄する。

[枝番号の比較]

(枝刈り)

- 近隣テーブルに上流ノードのみが登録されている場合、そのノードに対するリバースパスを削除し、ルート削除メッセージ RDEL をブロードキャストする。

(部分リバースパスの接続)

- 近隣テーブルに下流ノードが登録されておらず、その他のノードのみが登録されている場合、その他のノードの枝番号と、自身の枝番号を比較する。
- 自身の枝番号が大きい場合、相手 (その他のノード) に対し、リバースパスを設定する。自身の上流として登録されていたノードに対し、自アドレスを含め

たシーケンスナンバを格納した下流接続メッセージ RREV を送信する。その後、自身の上流ノードとして相手を登録、既存の上流ノードとして登録されていたノードを下流ノードとして登録変更する。

- 自身の枝番号が小さい場合、相手 (その他のノード) に対し、フォワードパスを設定する。自身の上流として登録されているノードに対し、自アドレスを含めたシーケンスナンバを格納した上流接続メッセージ RFOR を送信する。その後、相手を自身の下流ノードとして登録する。
- 近隣テーブルに上流、下流ノードが登録されており、その他のノードが登録されている場合、その他のノードの枝番号と自身の枝番号を比較する。
- 自身の枝番号が大きい場合、相手 (その他のノード) に対し、リバースパスを設定し、相手を上流ノードとして登録する。自身のホップ数を 0 とし自アドレスを含めたシーケンスナンバを格納した再番号割り当てメッセージ RNUM をブロードキャストする。
- 自身の枝番号が小さい場合、相手 (その他のノード) に対し、フォワードパスを設定し、相手を自身の下流ノードとして登録する。自身のホップ数を 0 とし、自アドレスを含めたシーケンスナンバを格納した再番号割り当てメッセージ RNUM をブロードキャストする。

[RFOR の送受信]

上流接続メッセージ RFOR には、以下の情報が格納されている。

RFOR (送信元アドレス、送信先アドレス、上流アドレス、シーケンスナンバ、ホップカウント)

- 自身が確定されたパス上に存在するのならば、RFOR を送信したノードにフォワードパスを設定し、RFOR を破棄する。その後、自身をルートとした部分パスに再番号割り当てメッセージ RRUM を送信する。
- そうでなければ、RFOR を送信したノードにフォワードパスを設定し、自身の上流ノードに RFOR を送信する。

[RREV の送受信]

下流接続メッセージ RREV には、以下の情報が格納されている。

RREV (送信元アドレス、送信先アドレス、上流アドレス、シーケンスナンバ、ホップカウント)

- 自身が確定されたパス上に存在するならば、RREV を送信したノードにリバースパスを設定し、RREV を破棄する。その後、RREV を送信したノードを上流ノードとして登録変更し、自身をルートとした部分木に再番号割り当てメッセージ RRUM を送信する。
- そうでなければ、RREV を送信したノードにリバースパスを設定する。自身の上流として登録されていたノードに対するリバースパスを破棄し、RREV をそのノードに対し送信する。その後、自身の上流として登録されていたノードを下流として、新規にリバースパスを設定したノードを上流として登録変更する。

[RNUM の受信]

- 自身の枝番号を 0 とし、受信した RFOR または RREV に格納されたシーケンスナンバを設定した再番号割り当てメッセージ RNUM を無線到達範囲内にブロードキャストする。
- 同じシーケンスナンバを持つ RNUM を以前に受信したかを確認する。すでに同じシーケンスナンバを持つ RNUM を受信したならば、この RNUM を破棄する。

- RNUM 内のシーケンスナンバが、自身が以前送信した RFOR または RREV に格納されたシーケンスナンバと一致するか確認する。
- シーケンスナンバが一致した場合、ホップカウントをインクリメントまたはデクリメントし、自身の枝番号として近隣テーブルに追加登録する。その後、再ブロードキャストする。
- シーケンスナンバが一致しなかった場合、RNUM を送信したノードが上流ノードであるかを確認する。
- RNUM を送信したノードが上流ノードである場合、ホップカウントを自身の枝番号として近隣テーブルに追加登録し、RNUM を再ブロードキャストする。
- それ以外の場合、RNUM を送信したノードの枝番号として近隣テーブルに追加登録し、RNUM を破棄する。

[RDEL の送受信]

- RDEL を送信したノードが下流ノードであるかを確認する。
- 下流ノードである場合、フォワードパスが登録されているならば削除し、そのノードを未定義のノードとして登録変更する。その後自身の下流ノードが他に存在するかを確認し、枝番号比較を行う。

2.5 ルート探索例

- 1 S から RREQ をフラッディングする。RREQ より、S から D に対する暫定的な上流、下流の関係が決定される。(図 6)
- 2 D から RREP をフラッディングし、プライマリパス、枝番号を決定する。(図 7)
- 3 M9 が枝番号比較した結果、M8 にリバースパスを設定し、RREV を以前の上流に送信する。RREV は接続点 M4 に到達する。(図 8)
- 4 同様に M8 が枝番号比較した結果、M9 にフォワードパスを設定し、RFOR を上流に送信する。RFOR は接続点 M1 に到達する。(図 9)
- 5 RFOR、RREV を受信した M1、M4 がそれぞれ RNUM を送信する。(図 10)
- 6 新しく確定されたパスを接続点とした枝番号が振られる。(図 11)
- 7 新しく割り振られた枝番号を用いて M8 が枝番号比較し M7 にリバースパスを設定し、RNUM を送信する。
- 8 新しく割り振られた枝番号を用いて M7 が枝番号比較し M8 にフォワードパスを設定し、RFOR を上流に送信する。RFOR は接続点 M5 に到達する。
- 9 RFOR を受信した M5 が RNUM を送信する。
- 10 S から D までの 3 つのパスが構築されて終了する。(図 12)

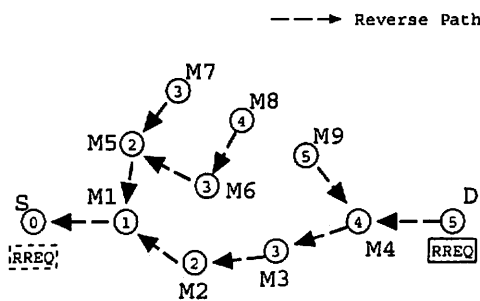


図 6: ルート探索例 (step1)

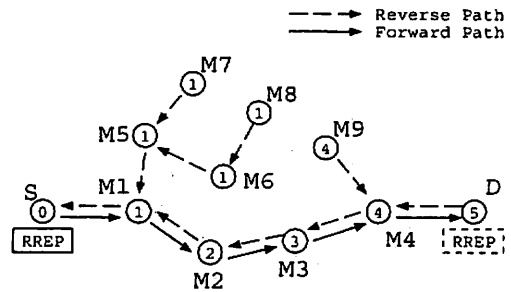


図 7: ルート探索例 (step2)

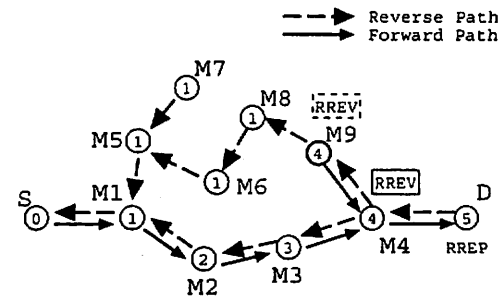


図 8: ルート探索例 (step3)

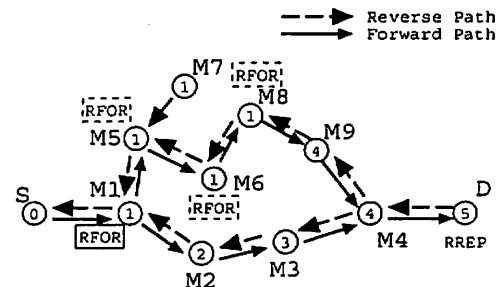


図 9: ルート探索例 (step4)

3 評価

3.1 構築されたパス数

MPAODV、MNH それぞれが構築するパス数をシミュレーションにより比較した。シミュレーション条件は、

- リンク: 双方向
- エリアサイズ: 200(m) × 200(m)
- 通信範囲: 20(m)
- ノードの分布: 一様 (ランダム)
- シミュレーション回数: 1500 回

とし、ノード数を 110, 130, 150, 170, 190 とした場合、1 対 1 通信時の平均パス数を求めた。

図 13 に示されるように、MNH、MPAODV とともにノードの分布が密になるにつれ、探索されたパス数が増加しているが、パス数を比較すると MPAODV の方がより多くのパスを構築している。これは、MNH ではリバースパスを正しく構築できなかった場合、そのパスを使用することができなくなりますが、MPAODV では、上流、下流の区別を壊すことなくパスを構築し使用することが可能であるためである。しかし、MPAODV は比較可能な枝番号が送信されてくるまで接続処理を行わないため、確定されたパスの増加と共にそのパス増加率

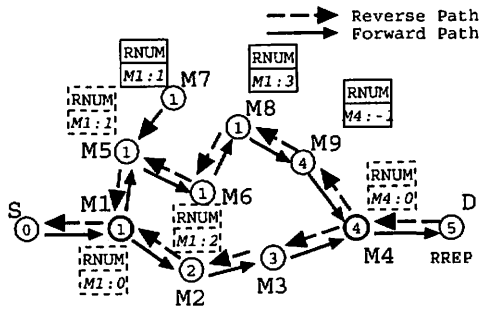


図 10: ルート探索例 (step5)

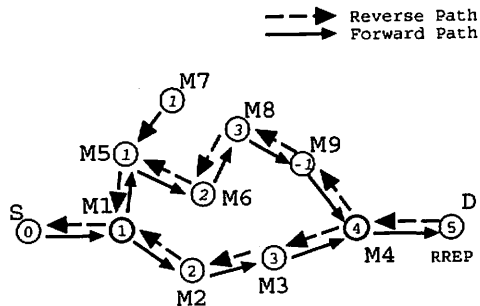


図 11: ルート探索例 (step6)

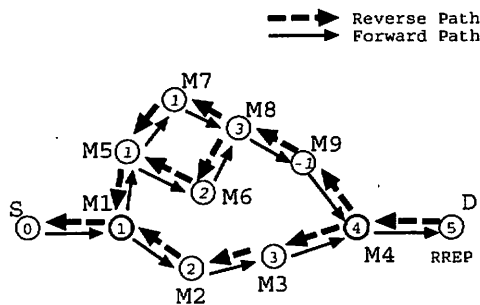


図 12: ルート探索例 (step10)

も増す。ステップ数に対するパス数を比較した場合(図 14)、探索後最初に検出されるパス(プライマリパス)は AODV と同じ時間で検出されるので、データ送信の開始までにかかる時間は同じである。しかし、他のパスを検出するまでの時間は MNH の方が早く、一定数のパスが構築された後のパス数において MPAODV の優位性が認められるものと推察される。

4 まとめ

本研究では、AODV を拡張し、途中まで構築されたリバースパスを、すでに確定されたパスを基準として再接続し、マルチパスを構築する MPAODV を提案した。MPAODV 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、接続可能なノードが順次、再接続処理を行うことでマルチパスを構築する。これにより接続可能性の検証に必要な枝番号を交換することなくマルチパスを構築することができる。

今後は、シミュレーションによりステップ数とパス数の関係を求め、その有効性を検証する。

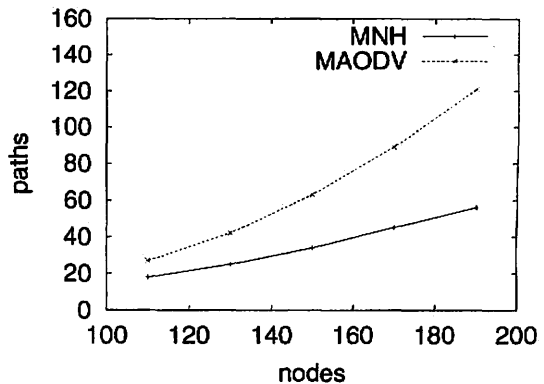


図 13: 平均パス数

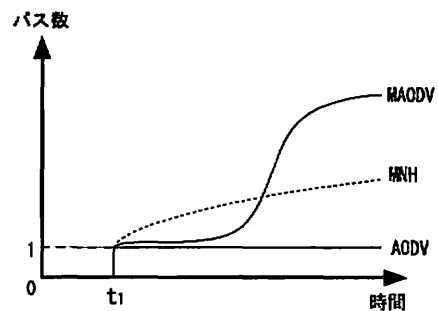


図 14: ステップ数とパス数

参考文献

- [1] David, B., David, A., Yib-Chun, Hu, Jorjeta, G., Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [2] Hedrick, C., "Routing Information Protocol," RFC 1058 (1988).
- [3] Jiang, M.H., Jan, R.H., "An Efficient Multiple Paths Routing Protocol for Ad-hoc Networks," Proceedings of The 15th International Conference on Information Networking, pp. 544-549 (2001).
- [4] Lee, S.J., Gerla, M., "AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks," Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (2000).
- [5] Lee, S.J., Gerla, M., "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (2001).
- [6] Moy, J., "Open Shortest Path First specification," RFC 1131 (1989).
- [7] Nasipuri, A., Das, D.S., "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of IEEE 8th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 64-70 (1999).
- [8] Perkins, C.E., Royer, E.M., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceedings of IEEE 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and applications, pp. 90-100 (1999).
- [9] 佐川, 桧垣, "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," 情報処理学会第 60 回全国大会論文集, No.3, pp.359-360 (2001).