

有線リンクと無線リンクの混在するネットワークにおける

AODV ルーティング方式に関する検討

高梨 健一[†] 加藤 聡彦[‡] 伊藤 秀一[†]
菅田 明則[§] 児島 史秀[§] 藤瀬 雅行[§]

現在広く検討が進められているアドホックネットワークは、基本的に移動端末間の無線リンクによって構成されることを前提としていられる。しかしながら、アドホック技術を用いて実際のネットワークを構築する場合は、ネットワークの一部に有線リンクを用いる必要が生ずる場合や、既存の IP ルーティングを用いたネットワークをその一部に含むことが必要となる場合などが考えられる。そこで本稿では、アドホックルーティングプロトコルの一つである AODV を対象とし、有線リンクと無線リンクの混在したネットワークにおいて、アドホックルーティングを実現するための手法について、方式の詳細設計と、AODV ソフトウェアの動作と性能評価について述べる。

A Study for AODV Routing on Ad hoc Network

Consisting of Wired and Wireless Links

Ken-ichi Takanashi[†] Toshihiko Kato[‡] Shuichi Itoh[†]
Akinori Sugata[§] Fumihide Kojima[§] Masayuki Fujise[§]

Recently, ad hoc networks are being studied widely, and most of them are intended to consist of wireless links among mobile nodes. But, in order to construct actual networks, such as a network supporting fire fighting, it is sometimes required to use wired links in a portion where wireless propagation is degraded and to use conventional IP routing equipment within the network. In this paper, we discussed a method for constructing an ad hoc network including both wireless and wired links based on AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) routing studied in IETF. We describe the detailed procedure of our protocol and the result of implementing our protocol on top of free AODV routing software.

1. はじめに

近年アドホックネットワークに関する研究開発が活発に行われており、各種のルーティングプロトコルや、実ネットワークへの適用方法などに関する検討が広く行われている。これらの検討においては、アドホックネットワークに参加するノードは無線インタフェースを有することを前提としている場合が多いと考えられる。例えば、IETF の MANET ワーキンググループ[1]において標準化されているオンデマンド型の AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)ルーティング[2]では、経路を検出するために無線リンク上に制御メッ

セージをブロードキャストするなど無線ネットワークの使用を想定している。またこれまでにアドホックネットワークを消防活動支援に適用した例が報告されているが[3]、ここでも無線回線を用いたネットワークを利用している。

しかしながら、実際の利用状況を考慮すると、ネットワークの一部に有線リンクが存在する場合や、既存の IP ルーティングを用いた有線ネットワークに接続されたノードとの間で通信を行う場合が考えられる。例えば、消防活動を支援するためのアドホックネットワークを構築しようとする、消防隊員からの情報を現地の指揮本部などへ転送する際に、防火扉などの金属扉により電波が遮断された場合に、この部分に有線ケーブルを設置し、無線リンクを用いた通信を有線リンクへ切り替えることによって通信障害を克服することが考えられる。また、指揮本部などでは通常の有線リンクを用いた IP ネットワークが使用されていること

[†] 独立行政法人消防研究所
National Research Institute of Fire and Disaster

[‡] 電気通信大学
University of Electro-Communications

[§] 独立行政法人情報通信研究機構
National Institute of Information and
Communications Technology

も想定され、その場合、消防隊員の持つアドホックノードが通常の IP ノードと通信する必要が生ずる。

このような背景から筆者らは、AODV を対象として、有線リンクと無線リンクの混在するようなアドホックネットワークを構成する手法について検討を行ってきた[4]。本稿では、その手順の詳細と、AODV をサポートするソフトウェアである AODV-UU [5]上に提案する方式を実装した結果について述べる。以下、2 節において設計方針を示す。次に 3 節において、ネットワークを構成するために必要となる AODV 対応ルータの機能、ルート検出手続き、提案する方式に従った通信シーケンスについて示す。また 4 節において、実装した AODV 対応ルータの実装とその動作について示す。最後に 5 節において、まとめと今後の課題について述べる。

2. 設計方針

(1) 想定するネットワークは、図 1 に示すように、移動ノードが主に無線リンクを介して通信する「移動ノードネットワーク部」と、IP ルーチングを行う既存ネットワークを含む「既存 IP ネットワーク部」から構成されるものとする。想定するネットワークは、独自の範囲の IP アドレスが割り当てられており、さらに移動ノードネットワーク部と、既存 IP ネットワーク部の区別についても、IP アドレスにより可能であることとする。

(2) 移動ノードネットワーク部では、ノードはすべて AODV に対応することを想定する。また、必要に応じて有線リンクを使用することとし、通常の AODV をそのまま適用する。

(3) 既存 IP ネットワーク部は、既存の IP ルータ・ノードのほか、AODV に対応するルータ (AODV 対応ルータ) と、移動ノードからの通信を収容するアクセスポイントを含む。AODV 対応ルータおよびアクセスポイントは、移動ノードネットワーク部へのパケットに対しては、AODV に従ったルーチングを行い、外部ネットワークまたは既存 IP ネットワーク部へのパケットに対しては、通常の IP ルーチングを行う。

(4) AODV 対応ルータの間に非対応ルータが存在する場合には、AODV 対応ルータ間に IP トンネルを確立し、AODV の制御メッセージの転送および AODV によるパケットフォワーディングを AODV 対応ルータ間で行う。また AODV 対応ルータが AODV ルーチングを行う場合は、既存 IP ネットワーク部内のホップカウントを 1 として扱う。

(5) 一方、AODV 非対応のルータまたはノードからデ

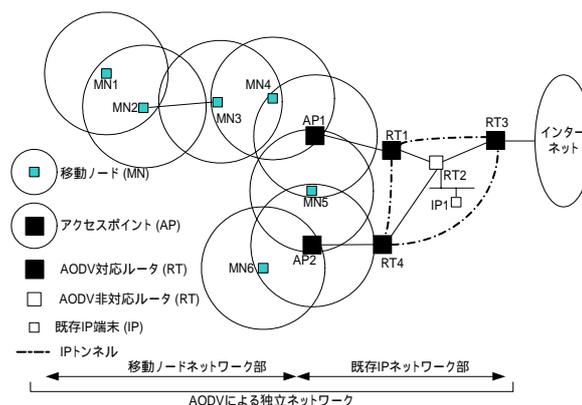


図 1 想定するネットワークの例

フォルトの経路を用いて送信されるパケットは、そのたどる経路上において、必ず一度は AODV 対応ルータを経由するものとする。

3. AODV 対応ルータ機能とルート検出手続き

3.1 AODV 対応ルータの機能

AODV 対応ルータは以下の機能を持つこととする。

(1) 2 節の設計方針に従い、AODV 対応ルータはルーチングテーブル中に AODV によって設定されるルーチングエントリ (以下、「AODV エントリ」という) と、手動または通常の IP ルーチングのためのエントリ (以下、「通常のエントリ」という) の双方を持つ。
(2) IP パケットを受信したときには、AODV 対応ルータは次の手順で IP パケットを処理する。

(ア) IP パケットの宛先が自分自身であるか否かをチェックする。自分自身宛のパケットならば、通常の IP パケットの処理を行う。

(イ) IP パケットの宛先が自分自身以外の場合には、ルーチングテーブル中に、その IP パケットの宛先に対応するエントリがあるかをチェックする。デフォルトのエントリ以外に対応するエントリが存在した場合には、そのエントリに従ってパケットをフォワーディングする。

(ウ) ルーチングテーブル中に、デフォルト以外に対応するエントリがなかった場合には、IP パケットの宛先アドレスが AODV によってルーチングされる移動ノードネットワーク部の IP アドレスか否かをチェックする。そうならば、3.2 に述べるルート検出手続きを開始する。

(エ) IP パケットの宛先が AODV によってルーチングされる範囲に含まれておらず、デフォルトのエントリがあれば、そのエントリに従ってフォワーディングする。デフォルトのエントリがなければ ICMP 到達不能エラーを IP パケットの発信元

へ返す。

3.2 ルート検出手続き

AODV 対応ルータは、そのルーティングテーブルに、AODV エントリのほか通常のエントリを持つため、既存の AODV のルート検出手続きを一部修正しなければならない。修正したルート検出手続きを以下に示す。

3.2.1 RREQ メッセージの処理

(1) ルート検出を開始する AODV 対応ルータは、RREQ (Route Request) メッセージをブロードキャスト可能なインタフェースおよび IP トンネルを用いて送信する。送信される RREQ のホップカウントは、通常の AODV と同様に 0 とする。

(2) RREQ を受け取った AODV 対応ルータは、通常の AODV の処理と同様にホップカウントを 1 増加させた後、RREQ の Originator IP Address に対する処理を行う。ルーティングテーブル内に、Originator IP Address フィールドに格納された IP アドレスに対応するエントリが存在しなければ、対応する新たな AODV エントリを作成しホップカウントをセットする。既に AODV エントリが存在したならば、AODV エントリの内容を更新する。通常のエントリが存在していた場合には、エントリの更新は行わない。

(3) 次に RREQ の Destination IP Address に対して、下記のいずれかの処理を行う。

(ア) Destination IP Address フィールドに格納された IP アドレスと、自分自身の IP アドレスのうちの一つが等しい場合、RREQ の Originator IP Address フィールドに格納された IP アドレスへ向けて、RREQ を受信したインタフェースから RREP (Route Reply) メッセージを送信する。

(イ) Destination IP Address フィールドの IP アドレスに対応する AODV エントリが存在する場合、Originator IP Address に格納された IP アドレスへ向けて RREP を送信するとともに、Destination IP Address フィールドに格納された IP アドレスへ Gratuitous RREP を送信する。

(ウ) Destination IP Address フィールドの IP アドレスに対応する通常のエントリが存在する場合、Originator IP Address フィールドに格納された IP アドレスへ向けて RREP を送信する。もし(2)において Originator IP Address に対応する AODV エントリを作成していた場合には、その precursor リストへは、RREQ の Destination IP Address フィールドに格納された値を追加しない。

(4) (3)のいずれにも該当しない場合には、RREQ を受

信したノードは RREQ をブロードキャスト可能なインタフェース及び IP トンネルに対して再ブロードキャストする。このとき、RREQ を受信したインタフェースが有線インタフェースであり、送信するインタフェースも有線インタフェースであれば、ホップカウントを(2)において増加させる前に戻して RREQ を送信する。

3.2.2 RREP メッセージの処理

RREQ に対応して送出される RREP により Forward Path が設定されるが、有線ネットワーク部分のホップカウントの整合性を保つために、RREP の処理のアルゴリズムも修正する必要がある。

(1) RREP を送信するノードの IP アドレスが受信した RREQ の Destination IP Address フィールドに含まれる IP アドレスに等しい場合、そのホップカウントを 0 として送信する。

(2) RREP を返すノードの IP アドレスが、受信した RREQ の Destination IP Address フィールドに含まれる IP アドレスと異なる場合、すなわち、中間ノードが RREP を送信する場合、AODV 対応ルータは、次の条件に従って動作する。

(ア) 受信した RREQ の Destination IP Address フィールドに含まれる IP アドレスへの経路が通常のエントリとしてルーティングテーブルに登録されている場合には、RREP のホップカウントを 1 にセットして RREP を送信する。

(イ) RREQ を有線インタフェースで受信し、受信した RREQ の Destination IP Address フィールドに含まれる IP アドレスへの経路が、ルーティングテーブル中に AODV エントリとして存在し、さらにそのエントリのネクストポップと有線インタフェースにより接続される場合には、RREQ の Originator IP Address へ向けて送信される RREP のホップカウントには、そのエントリに記述されたホップカウントから 1 減じた値をセットする。

(ウ) 上記の(ア)、(イ)以外の場合には、通常どおり、当該エントリのホップカウントをセットして RREQ の Originator IP Address へ向けて RREP を送信する。

また、3.2.1 の(3)(イ)に従って、RREQ の Destination IP Address へ向けて Gratuitous RREP を送信する場合は、そのホップカウントは、次の条件に従う。

(ア) RREQ を受信したインタフェースが有線インタフェースであり、RREP を送信するインタフェースも有線インタフェースである場合には、RREP のホップカウントの値を受信した RREQ

パケットのホップカウンターの値(すなわち 3.2.1(2)で増加させる前の値)にセットして送信する。

(イ) それ以外の場合には、RREP のホップカウンターの値を、3.2.1(2)で増加させた値として送信する。

(3) RREP を受け取った AODV 対応ルータは、通常の AODV の処理と同様にホップカウンタを 1 増加させた後、まず Destination IP Address に対する処理を行う。ルーチングテーブル内に、RREP の Destination IP Address に格納された IP アドレスに対応するエントリが存在しなければ、対応する新たな AODV のエントリを作成しホップカウンタをセットする。また、AODV により設定されたエントリが存在したならば、通常の AODV と同様にエントリの内容を更新する。通常のエントリが存在した場合には、エントリの変更は行わない。

(4) 次に、受信した RREP の Originator IP Address に格納された IP アドレスが自分自身の IP アドレスではない場合には、次の条件により RREP を転送する。

(ア) RREP を受信したインタフェースが有線インタフェースであり、その RREP を転送する送信インタフェースも有線インタフェースだった場合には、送信する RREP のホップカウンタを(3)において増加される前の値に戻し、受信した RREP の Destination IP Address に対応するエントリのネクストホップへ向けて送信する。

(イ) それ以外の場合には、ホップカウンタを(3)において増加された値にセットして、受信した RREP の Destination IP Address に対応するエントリのネクストホップへ向けて送信する。

3.3 通信シーケンス

図 1 に示したネットワークを用いて、想定されるいくつかの通信シーケンスについて以下に示す。

3.3.1 有線リンクを介して移動ノードが通信を行う場合

図 1 のネットワークにおいて、移動端末 MN1 と MN4 が通信を行う場合について考える。

まず、MN1 が Destination IP Address に MN4 の IP アドレスを指定して RREQ をブロードキャストする。このとき、RREQ のホップカウンタは 0 に設定される(図 2 (1)に相当)。

MN2 がこの RREQ を受信すると、MN1 に対する AODV エントリを作成し、そのネクストホップを MN1 に、ホップカウンタを 1 にセットする。続いて MN2 は、無線インタフェースと有線インタフェースの双方に、ホップカウンタを 1 にセットした RREQ

を再ブロードキャストする(図 2 (2)に相当)。

無線インタフェースから送信された RREQ を MN1 が受信すると、MN1 は通常の AODV と同様にこれを無視する。一方、有線インタフェースから送信された RREQ を受信した MN3 は、MN1 に対する AODV エントリをルーチングテーブル中に作成し、そのネクストホップとホップカウンタをそれぞれ MN2 と 2 にセットする。

最後に MN3 が、無線インタフェースと有線インタフェースの双方に RREQ を送信する(図 2 (3)に相当)。このとき、RREQ のホップカウンタは 2 にセットされる。この RREQ を受信した MN2 は、既に同一の RREQ を MN1 から受信しているため、これを廃棄する。一方、MN4 は、MN1 に対する AODV エントリを新たに作成し、そのネクストホップを MN3 に、ホップカウンタを 3 にそれぞれセットする。

MN4 は、受信した RREQ の Destination IP Address に自分自身が指定されていることから、RREP を MN1 宛のネクストホップである MN3 に対して送信する(図 2 (4)に相当)。このとき、RREP メッセージのホップカウンタは 0 にセットされる。

これを受信した MN3 は、MN4 に対する AODV エントリをルーチングテーブル中に作成し、そのネクストホップを MN4 に、ホップカウンタを 1 にセットする。続いて MN3 は、ホップカウンタを 1 にセットした RREP を MN2 にユニキャストで送信する(図 2 (5)に相当)。この RREP を受信すると、MN2 は MN4 宛の AODV エントリを作成し、そのネクストホップを MN3 に、ホップカウンタを 2 にセットする。

最後に、MN2 が MN1 へ向けてホップカウンタが 2 にセットされた RREP メッセージを送信する(図 2 (6)に相当)と、MN1 は MN4 への AODV エントリを作成し、そのネクストホップに MN2 を、ホップカウンタに 3 を設定する。これにより、双方向のパスが完成して MN1 と MN4 の通信が可能となる。

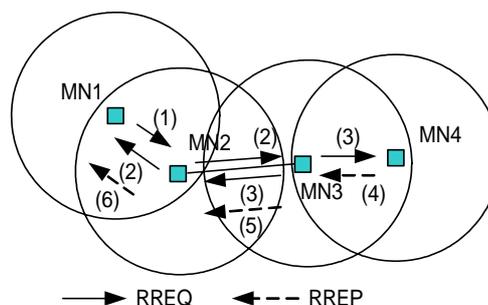


図 2 MN1 から MN4 へのルート検出シーケンス

3.3.2 移動ノードが既存 IP ノードと通信を行う場合

図 1 のネットワークにおいて、MN5 が、AODV 非対応ルータ RT2 のもとの通常の IP ノード IP1 へ通信を行う場合を考える。ここで RT2 は、デフォルトの経路として RT4 を指定しているものとする。また、有線リンクで接続された AODV ルータは、全て RT2 のサブネットへの経路を通常のエン트리として有しているものと仮定する。更に、RT1-RT3 間、RT3-RT4 間、RT1-RT4 間に IP トンネルが設定されているとする。

まず、MN5 から IP1 に対する RREQ がブロードキャストされると、AP1 と AP2 が、この RREQ を受信する(図 3(a) (1)に相当)。AP1 と AP2 はそれぞれ、MN5 に対する AODV エントリを作成し、そのネクストホップを MN5 に、ホップカウントを 1 にセットする。

AP1 と AP2 は双方とも IP1 への通常のエントリをルーチングテーブル中に持つため、双方とも MN5 に対して IP1 への経路を示す RREP を送信するが、この例では、AP1 が先に RREP メッセージを送信したと想定する(図 3(a) (2)に相当)。このとき、AP1 が送信する RREP は、そのホップカウントとして 1 を持つ。この RREP を受信した MN5 は、IP1 に対する AODV エントリを作成し、そのネクストホップを AP1 に、ホップカウントを 2 にセットする。

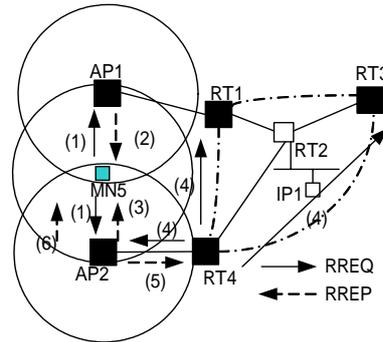
次に AP2 が同様にホップカウントを 1 に設定して RREP メッセージを MN5 へ送信する(図 3(a) (3)に相当)が、同一ホップカウントであるためこれを無視する。

MN5 は、IP1 への経路が形成されたため、AP1 へ向けて IP1 宛の通信を開始する。この際パケットは、AP1、RT1 において通常のエントリに従ってフォワーディングされ、RT2 経由で IP1 に到達する。

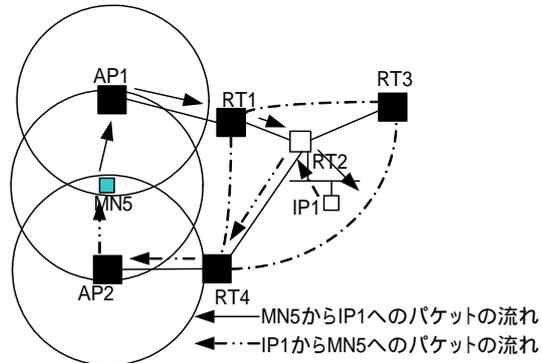
IP1 が MN5 に対して応答を行うと、IP1 および RT2 は MN5 への経路をもたないため、デフォルトの経路である RT4 に対してパケットを送信する。

RT4 も MN5 への経路を持たないため、ルート検出を開始し、ホップカウントを 0 にセットした RREQ を有線インタフェースおよび IP トンネルから送信する(図 3(a) (4)に相当)。これらの RREQ を受け取ったノードのうち、RT2 は RREQ を無視する。その他のノードでは、RT4 に対する AODV エントリが作成され、そのネクストホップが RT4 に、ホップカウントが 1 にセットされる。

RT4 からの RREQ を受信した AP2 は、以前 MN5 から送信された RREQ を受信しているため、MN5 に対する AODV エントリを保持している。このため、AP2 は、RREP メッセージを RT4 に対して送信する(図 3(a) (5)に相当)とともに、MN5 に対して



(a) ルート検出手順のシーケンス



(b) IP パケットの流れ

図 3 MN5 から IP1 へのルート検出シーケンス

Gratuitous RREP を送信する(図 3(a) (6)に相当)。このとき、双方の RREP のホップカウントは 1 にセットされる。AP2 からの RREP を受信した RT4 は、MN5 への AODV エントリを作成し、そのネクストホップを AP2 に、ホップカウントを 2 にセットする。また、AP2 からの Gratuitous RREP を受信した MN5 は、RT4 に対する AODV エントリを作成し、そのネクストホップを AP2 に、ホップカウントを 2 にセットする。これにより、RT4 から MN5 への双方向のパスが確立され、IP1 からの IP パケットが MN5 へ到達するようになる。

この場合に形成される経路によるパケットの流れを図 3(b)に示す。この場合は MN5 から IP1 へのパケットと、IP1 から MN5 へのパケットは、別の経路を介して転送されることになる。

3.3.3 移動ノードが既存 IP ネットワークを介して通信を行う場合

図 1 において、MN4 から MN6 への通信を行う場合について考える。

まず、MN4 がホップカウントを 0 にセットした RREQ をブロードキャストする(図 4 (1)に相当)。これ

を受信した AP1 は、MN4 に対する AODV エントリを作成し、そのネクストホップを MN4 に、ホップカウントを 1 にそれぞれセットする。

引き続き AP1 は、RREQ を無線インタフェースと有線インタフェースの双方から再ブロードキャストする(図 4 (2)に相当)。このとき、それぞれの RREQ メッセージでは、ホップカウントは 1 にセットされる。AP1 からの RREQ を受信した MN5 と RT1 は、MN4 に対する AODV エントリを作成し、ネクストホップを AP1 に、ホップカウントを 2 にセットする。

続いて MN5 が RREQ を無線インタフェースへ再ブロードキャストするとする(図 4 (3)に相当)。このとき、RREQ のホップカウントは 2 にセットされる。この RREQ は、AP1 と AP2 によって受信されるが、AP1 では無視される。一方、AP2 では、MN4 に対する AODV エントリが作成され、ネクストホップが MN5 に、ホップカウントが 3 にそれぞれセットされる。

一方、RT1 も有線インタフェースと IP トンネルに対して RREQ を送信する(図 4 (4)に相当)。有線インタフェースから受信した RREQ を有線インタフェースへ送信するため、RREQ のホップカウントは 1 にセットされたままである。RT1 が送信した RREQ は、RT4 に受信され、RT4 において、MN4 への AODV エントリが新たに作成される。このエントリのネクストホップは RT1 に、ホップカウントは 2 に設定される。

続いて AP2 が RREQ を無線インタフェースと有線インタフェースに再ブロードキャストしたとする(図 4 (5)に相当)。この RREQ を MN6 が受信して MN4 へのパスが完成する。このとき、同時に有線インタフェースへ送信された RREQ メッセージは、RT4 がすでに同一の RREQ を受信しているため無視される。

また、MN6 は受信した RREQ の Destination IP

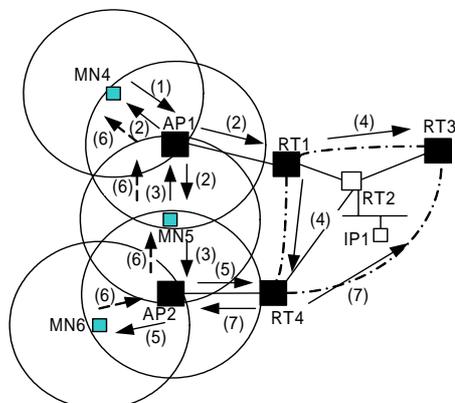


図 4 MN4 から MN6 へのルート検出シーケンス

Address フィールドに自分自身の IP アドレスが指定されているため、RREP を AP2 に対して送信する(図 4 (6)に相当)。この RREP を受信した AP2 は、MN6 に対する AODV エントリを作成し、そのホップカウントを 1 にセットする。引き続き、AP2、MN5、AP1 が順次 RREP のホップカウントを 1 ずつ増やしながら転送することによって、MN4 から MN6 への双方向パスが完成する(図 4 (6)に相当)。

この時点で RT4 が RREQ を送信したと想定する(図 4 (7)に相当)。この RREQ のホップカウントは先に受信したものより小さくなっている。しかしこれを受信した AP2 は、すでにこの RREQ を受信しているため、無視する。

以上のように、移動ノードのみを介しただけでは、直接通信ができない場合も、既存 IP ネットワーク部(上記の例ではアクセスポイント)を経由することにより通信を行うことが可能となる。

4. AODV 対応ルータの実装と動作の検証

AODV-UU は、Uppsala 大学の Department of Information Technology の CoRe グループで開発されたソフトウェアであり、GNU GPL(General Public License) に基づいて公開されている。今回、AODV-UU を改良して AODV 対応ルータの実装を行った。以下では、その実装の動作の検討と、基本的な性能を測定した結果について示す。

4.1 AODV 対応ルータの動作の検証

動作の検証を行うため、実際にネットワークを構築して、パスの形成される状況について検証を行った。検証にあたって、パケットの送受信を監視するためにフリーのパケットキャプチャリングソフトである Ethereal [5]を利用し、Ethereal と AODV デモンのログをもとに解析を行った。図 2 の内、3.3.1 節と同

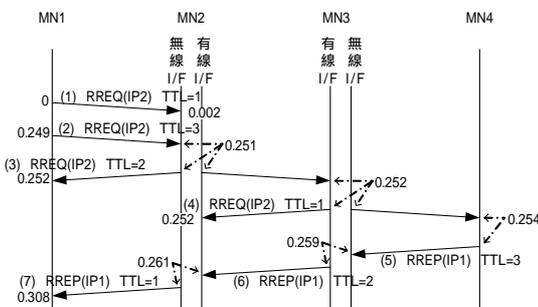


図 5 ルート検出手続きの動作例

様のネットワークを構築した場合の動作例を図5に示す。図中の矢印はパケットを示し、それぞれの矢印に付随した括弧で囲んだ数字はパケットの送受信の順番を示している。また、矢印の始点と終点の数字はAODV デーモンによりパケットが処理された時間である。この例では、経路が確立されるまでに約308ミリ秒を要していることがわかる。

4.2 通信性能の検証

動作の検証に加えて、実際に構築したルータがどの程度の性能を持つか実験的に検証を行った。

4.2.1 基本的な性能

基本的な性能として、まず、無線リンクのみを用いた場合のスループットを、4台の端末を図6のように配置して測定した。各端末は建築物に遮られ、隣接する端末からのみパケットを受信する状態とした。また、各端末の無線LANの通信速度は、2Mbpsに統一するとともに、地上ではなく高さ54cmのプラスチック製コンテナ上に設置した。スループットの測定は、nttcp[6]によりTCPで8MBのデータを送信し、各端末間で4回ずつ行った。

スループット測定結果を表1に示す。表中、網掛け部分は、その上に示した実測値の平均値である。

ホップ数によるスループットの変化をみると、1ホップの通信(A-B, B-C, C-D, D-C, C-B, B-A)では平均1395.11kbps、2ホップの通信(A-C, B-D, D-B, C-A)では平均506.28kbpsのスループットが得られた。また、3ホップの通信(A-D, D-A)では、スループットは平均275.95kbpsとなった。

ホップ数が多くなるほどスループットが下がっていくことがわかるが、この理由としては、建築物による反射でマルチパスが発生している可能性や、端末Bや

表1 スループット計測結果

From	To			
	端末A	端末B	端末C	端末D
端末A		1290.9	489.7	303.8
		1449.3	488.7	367.9
		1354.1	522.1	330.9
		1443.6	533.6	321.1
		1384.475	508.525	330.925
端末B	1451.3		1301.7	567.8
	1441.7		1469.5	591.7
	1459.8		1397.3	631.8
	1488.3		1450.2	625.2
	1460.275		1404.675	604.125
端末C	448.2	1424.9		1490.9
	441.6	1442.1		1490.3
	446.5	1397.3		1498.9
	418	1440.3		1484.4
	438.575	1426.15		1491.125
端末D	181.4	485.5	1251.9	
	273.4	469.1	1250.7	
	228.7	457.2	1147.7	
	200.4	483.8	1165.5	
	220.975	473.9	1203.95	

(単位: kbit/s)

端末Cにおいて隠れ端末問題が発生している可能性が考えられる。

4.2.2 通信の切り替えに関する性能

AODVの特徴の一つは、動的なトポロジの変化に迅速に対応できることである。そこで、今回、無線リンクから有線リンクへの切り替えに要する時間を測定した。スループットの測定時と同じ配置条件の下で、端末C - 端末D間を無線リンクに加えて有線リンクでも接続し、端末C - 端末D間の経路を二重化した。その上で、端末Dをシールドすることにより経路の切り替えを発生させ、切り替えに要する時間を測定した。その一例を図7に示す。

この例では、経路の切断を検出して経路を無効(invalid)にした時間をゼロとして記載した。同様の測定を複数回行ったところ、その平均時間は約590ミ

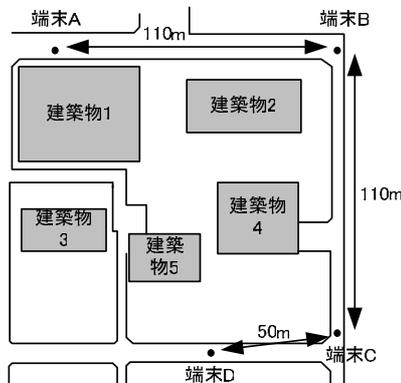


図6 端末の配置図

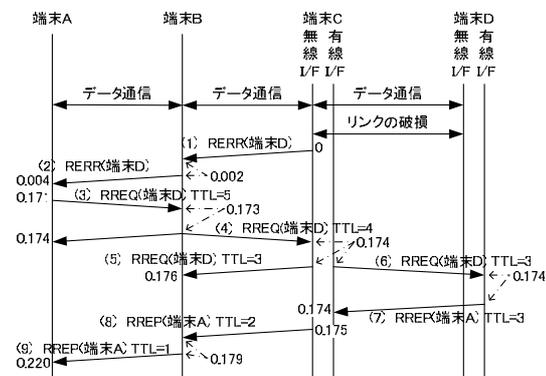


図7 経路切り替えのシーケンス図

り秒であった。実際には、リンクの破損を検出し経路を無効にする条件として、HelloInterval 秒ごとに送信される Hello パケットを Allowed_Hello_Loss 個受信できないことが規定されている。デフォルトの値として、HelloInterval に 1 秒、Allowed_Hello_Loss に 2 が設定されているため、実際の切り替え処理に要する時間に加えて、平均 1.5 秒ほど経路切り替えに要すると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、有線リンクと無線リンクの混在したネットワークに対して、現在盛んに研究が進められているアドホックルーティングプロトコルの一つである AODV を適用する手法について検討を行った。また、我々の検討したプロトコルを、フリーの AODV ソフトウェアである AODV-UU を改修して実装し、その動作を検証した。さらにスループットを測定すると共に、経路切り替えに要する時間の測定を行った。

今後の課題としては、シミュレーションによる大規模なネットワークへ適用した場合の検証を行う必要がある。

参考文献

- [1] Mobile Ad Hoc Networking (MANet), http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html.
- [2] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das: "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, Oct. 2003.
- [3] http://www.rescuenow.net/today_line/topnews/0209/020901nerima.html
- [4] 加藤他: 有線リンクと無線リンクの双方を用いる AODV ネットワークの構築に関する検討, 2004 年信学総合大会, B-6-67, Mar. 2004.
- [5] AODV-UU: AODV-UU@Uppsala University, <http://user.it.uu.se/~henrik/aodv/>
- [6] Ethereal: The world's most popular network protocol analyzer, <http://www.ethereal.com/>
- [7] Elmar Bartel, New TTCP program, <http://www.leo.org/~elmar/nttcp/>