

無線 LAN におけるアドホックネットワークの通信グレーゾーン問題の検討

溝 口 和 寛[†] 北 須 賀 輝 明^{††}
中 西 恒 夫^{††,†††} 福 田 晃^{††}

アドホックネットワークを無線 LAN を利用して形成した場合、通信グレーゾーンが存在する。通信グレーゾーンとは、ブロードキャストは行えるがユニキャストは行うことが出来ない範囲である。アドホックネットワークのルーティングではブロードキャストを利用するものが多いが、既存のルーティング手法ではこの通信グレーゾーンに対応することが出来ない。そのため、通信グレーゾーンでパケットロスが増大する。本論分では、アドホックネットワークにおける通信グレーゾーン問題を軽減する手法について検討し、AODV の改良方法を提案する。

A Consideration of Communication Gray Zone Problem in Ad-hoc Networks using Wireless LAN

KAZUHIRO MIZOGUCHI,[†] TERUAKI KITASUKA,^{††}
TSUNEO NAKANISHI^{††,†††} and AKIRA FUKUDA^{††}

There are communication gray zones in case that ad-hoc network is formed with wireless LAN. In communication gray zones, a node can broadcast a packet to neighbor nodes but cannot unicast. Some ad-hoc network routing protocols use broadcast packets but existing routing protocols cannot cope with these communication gray zones. Therefore packet drop rate increases there. In this paper, we propose the way of reducing the effect of communication gray zones and improve AODV.

1. はじめに

現在、携帯電話をはじめとする無線通信機能を備えた携帯端末が発達し、それらを自由に持ち運び様々な場所で利用する機会が増加している。しかし、現在の無線通信技術では既存のインフラストラクチャを利用しなければ様々なサービスを利用できない。そこで、これらのインフラストラクチャがない場所でも無線モバイルノードで動的にネットワークを形成する、アドホックネットワークという技術が研究されている。各モバイルノードの無線通信範囲は限られているので、直接通信できないノードには間にあるノードにパケットを中継してもらうことにより通信する。そのため、各モバイルノードはホストだけでなくルータとしての

役割も担わなければならない。

アドホックネットワークのルーティングプロトコル^{1),2)} は大きく分けて 2 種類に分類される。1 つはオンデマンドルーティングである。これは送信ノードがパケット送信要求を受けたときに、宛先ノードまでの経路を探索し始める手法である。経路が形成されるまで送信ノードはパケットを送信することはできない。しかし、それ以外は経路制御パケットを送信する必要はない。オンデマンドルーティングプロトコルとして、DSR (Dynamic Source Routing)³⁾、AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)⁴⁾ などがある。もう 1 つはプロアクティブルーティングである。これはネットワークの全宛先への経路を各ノードが常に管理しておく手法である。そのため各ノードは定期的にアップデートパケットを送信しなければならない。これは特に規模の大きいネットワークでは大きなオーバーヘッドになってしまう。また、遠くのノード情報は信頼性が低くなる。しかし、常に全ノードへの経路情報を維持しているので直ちにパケットを送信することが出来る。プロアクティブルーティングプロトコルとして、DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector

[†] 九州大学大学院システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical
Engineering, Kyushu University

^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究院
Faculty of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University

^{†††} 九州大学システム LSI 研究センター
System LSI Research Center, Kyushu University

Routing)⁵⁾, OLSR (Optimized Link State Routing)⁶⁾, TDBRF (Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding)⁷⁾ などがある。

アドホックネットワークではオンデマンドルーティング、プロアクティブルーティングにかかわらず、ブロードキャストパケットを使用するものが多い。そのため2つのノード間に通信グレーズーン⁸⁾が存在する。通信グレーズーンとはブロードキャストは行えるが、ユニキャストは行うことが出来ない範囲である。この通信グレーズーンではパケットロスが増大する。そのため通信グレーズーンの影響により、マルチメディア通信やリアルタイム通信の品質を低下させてしまう。しかし、多くのアドホックネットワークの研究ではシミュレーションによる評価だけを行っており、この通信グレーズーンはシミュレーションでは表すことが出来ない。本研究ではアドホックネットワークルーティングプロトコルの1つであるAODVを改良し、この通信グレーズーンの影響を軽減する手法について検討する。

2章ではAODVの概要を述べ、3章では通信グレーズーンとその問題について述べる。次に4章で通信グレーズーンの影響を軽減するためにAODVの改良を提案し、5章でまとめを述べる。

2. Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV)

本研究ではアドホックネットワークルーティングプロトコルの1つであるAd hoc On-Demand Distance Vector(AODV)⁴⁾を改良してこの通信グレーズーンの軽減を目指す。本章ではこのAODVについて説明する。

2.1 Hop-by-Hop ルーティング

AODVはhop-by-hopルーティングであり、各ノードは経路表を持つ。経路表は各宛先ノードと、それに対するエントリで成り立つ。エントリには宛先ノードID、宛先ノードシーケンス番号、次ホップ、ホップ数などで形成される。シーケンス番号とは、ノード情報の新しさを示す情報として扱われる。次ホップとは、宛先ノードへパケットを届けるために送り出すべき隣接ノードである。送信ノードはこの経路表を参照して、宛先にパケットを送るためにはどのノードにパケットを渡せばいいかを確認して、そのノードにパケットを送信する。パケットを受信した中継ノードは送信ノードと同様に経路表を参照し、次ホップにパケットを送信する。これを繰り返すことによりパケットは宛先ノードに届く。また、使用されているルータはアクティブ

状態となり、そのノードは定期的にHelloメッセージをブロードキャストする。Helloメッセージを受信した隣接ノードはそのノードとのリンクを確認することが出来る。逆に一定時間(通常3秒間)使用されないリンクはアクティブ状態から無効状態へと変わり、最後には経路表から削除される。

2.2 Route Request

AODVはオンデマンドルーティングである。そのため、送信ノードはパケット送信要求を受けた後に、宛先ノードまでの経路を探索し始める。もし、送信ノードの経路表に宛先ノードへの経路がある場合には、その経路を使用しパケットを送信する。逆に、経路表に宛先ノードへの経路がない場合には、RREQ(Route Request)パケットをブロードキャストする。送信ノードはRREQパケットを送信する際に、送信ノードシーケンス番号を増加させる。このRREQパケットにはRREQパケットID、送信ノードID、送信ノードシーケンス番号、宛先ノードID、宛先ノードシーケンス番号、ホップ数などが含まれる。ホップ数とはこのRREQパケットが中継されたホップ数である。

このRREQパケットを受信した中継ノードは自身の経路表を参照して送信ノードへのエントリがあるかを確認する。もしない場合はRREQパケットの情報を元に、送信ノードへのエントリを作成する。エントリがある場合にはそれを更新する。この作業によりRREQパケットを送信してきた隣接ノードへの逆リンクが形成されることになる。その後最大ホップ数を1つ減らしてRREQパケットを再ブロードキャストする。最大ホップ数が0になった場合は送信しない。また、一度送信したRREQパケットを重複して送信することはない。これらを繰り返すことにより、RREQパケットは宛先ノードへ到達する。

2.3 Route Reply

宛先ノードはRREQパケットを受信すると経路表の送信ノードに対するエントリを作成、または更新する。その後RREP(Route Reply)パケットを作成し、送信ノードへユニキャストする。送信ノードがRREPパケットを受信することにより宛先ノードへの経路が作成され、実際のデータパケットが送信される。

また、RREQパケットを受信した中継ノードがRREPパケットを返信する場合もある。中継ノードがRREQパケットを受信した際、宛先ノードへの経路を所持していて、さらにそれが有効であった場合である。これにより、無駄なRREQパケットがネットワークに流れるのを防ぐことが出来る。

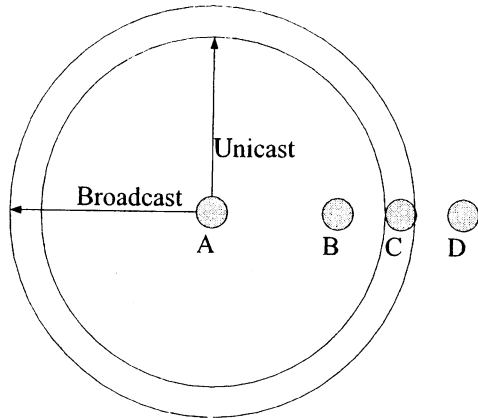


図1 通信グレーゾーン

2.4 Route Error

AODVではリンクに障害が起こったことを確認すると、経路表のそのリンクを無効化し、影響を受ける宛先ノードを不達宛先ノードとしてRERR(Route Error)パケットに付加し、ブロードキャストする。RERRパケットを受信したノードはRERRパケットに付加されている不達宛先ノードへのリンクを所持していた場合、同様の処理をして再ブロードキャストする。これにより次回パケットを送信する際には、再度ルート探索を行わなければならない。

3. 通信グレーゾーン問題

3.1 通信グレーゾーンとその問題

アドホックネットワークでは無線でネットワークを形成する。無線メディアとして無線LAN(IEEE 802.11)⁹⁾を用いる場合、ブロードキャストには受信側がACKを返さないがユニキャストにはACKを返す。無線では必ずしも双方向で通信できるとは限らないため、ユニキャストに対するACKが送信元に返らない場合がある。このように、無線通信ではブロードキャスト出来る範囲とユニキャストできる範囲が異なり、それにより通信グレーゾーンが存在する。すなわち、通信グレーゾーンとはブロードキャストは行うことが出来るが、ユニキャストは行うことが出来ない範囲である。

通信グレーゾーンを図1を使用して説明する。図1にはノードAの通信可能範囲が描かれている。小さな円はユニキャストもブロードキャストも行うことが出来る範囲、大きな円はブロードキャストしか行うことが出来ない範囲である。ノードBへの通信では、ユニキャストもブロードキャストも行うことが出来、逆に

表1 バケットの種類と送信方法

バケットの種類	送信方法
Hello packet	broadcast
Route Request packet	broadcast
Route Reply packet	unicast
Route Error packet	broadcast or unicast
Data packet	unicast

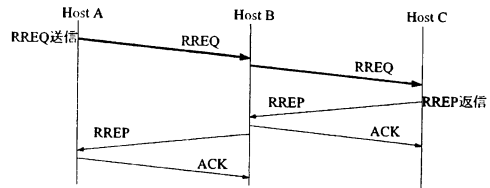


図2 従来のAODVのルート探索

ノードDは両方とも行うことが出来ない。一方、ノードCはブロードキャストは行うことは出来るがユニキャストは出来ない。つまりこの小円と大円の間に通信グレーゾーンである。

現在多くのアドホックネットワークの研究がなされているが、その評価法のほとんどがns-2¹⁰⁾などのシミュレータによる評価である。しかし、シミュレータによる実験ではこの通信グレーゾーンを表すことは出来ない。多くのシミュレータでは通信可能範囲は一意に決まっており、その中でブロードキャストもユニキャストも全く同じように行われている。そして通信の開始、切断も突然起こり、あいまいな部分はない。また、通信速度も常に一定に保たれている。しかしこれらの状況は現実環境では起こりえない。実際の通信ではこのような通信グレーゾーンがあり、大きな影響を与える。さらにこの通信グレーゾーンの境界は刻々と変化する。無線LANのIEEE802.11bでは、周りの環境や通信速度により通信を行うことが出来る範囲が動的に変化するからである。そのため図1のユニキャスト、ブロードキャストの範囲が一定ではなく、図1のノードBやノードDも通信グレーゾーンに入ってしまう可能性がある。

3.2 通信グレーゾーン問題がAODVに及ぼす影響

AODVの各バケットの送信方法を表1にまとめる。AODVの各ノードはルート探索時にRREQパケットをブロードキャストする。その過程を図2を用いて説明する。図2ではホストAがルート探索により経路A→B→Cを発見する過程を示している。なお、太線はブロードキャスト、細線はユニキャストおよびそれに対するACKを表している。まず、ホストAはRREQパケットをブロードキャストし、それをホス

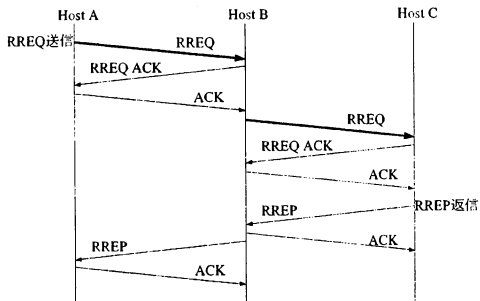


図3 提案するルート探索手法 (RREQ ACK)

ト B が受信する。ホスト B はリンク A-B が双方向 (ユニキャスト可能) であるか確認せずにリンク A-B を形成し、RREQ パケットを再ブロードキャストしてしまう。ホスト C も同様にリンク B-C を形成した後、RREP パケットを作成しホスト B にユニキャストする。しかし、通信グレイゾーン問題により、リンク B-C はユニキャストできない場合がある。同様のことがホスト B がホスト A に RREP パケットをユニキャストする際にも生じる。そのため RREP パケットがホスト A に届かず、ホスト A は新たに RREQ パケットをブロードキャストすることでルート探索をしなければならない。

AODV では Hello メッセージもブロードキャストを使用する。AODV の各ノードは通信中定期的にブロードキャストされる Hello メッセージを受信することで隣接ノードへのリンクを確認する。しかし、Hello メッセージを受信したことは、隣接ノードへ実際にデータを送信できることを意味しない。隣接ノードが通信グレイゾーンにいる場合、ブロードキャストされる Hello メッセージは受信することが出来るが、ユニキャストは行うことが出来ないため、実際のデータを送信することは出来ないからである。つまり、AODV の各ノードはブロードキャストである Hello メッセージを受信することにより、通信では使用できないリンクを使用することが出来ると誤って認識してしまうのである。これにより、通信の際にエラーやパケットロスが増大してしまうのである。

この AODV の Hello メッセージによる通信グレイゾーン問題を軽減するための手法を参考文献⁸⁾では提案している。その内の 2 つを紹介する。

1 つ目は Hello メッセージを拡張し、交換する手法である。通常 Hello メッセージは Hello メッセージ送信ノードの存在を表すものであるが、ここでは Hello メッセージにそのノードに隣接するノード ID を付加

してブロードキャストする。Hello メッセージを受信したノードはこの Hello メッセージに自身のノード ID が含まれているか確認する。もし確認できれば、お互いに Hello メッセージが届いているので実際のデータ通信もできる可能性が高い。逆に確認できなければ、こちらの Hello メッセージが届いていないので通信グレイゾーンにいる可能性が高くなり、実際のデータ通信を出来る可能性は低い。よって、隣接ノードの Hello メッセージに自身のノード ID が含まれている場合のみリンクが存在するとみなす。

2 つ目は SNR(Signal to Noise Ratio) を利用するものである。SNR とは S(信号) と N(雑音) の比を対数で表したものであり、送信された電波はノードから離れるにつれて弱くなっていく。受信ノードはパケットを受け取るとそのパケットの SNR を求め、SNR が一定値以上のものだけを扱う。これによりブロードキャスト出来る範囲とユニキャスト出来る範囲が近づき、通信グレイゾーンの影響を減らすことが出来る。

4. AODV の改良

本研究では AODV に対しての通信グレイゾーン問題の軽減手法を提案する。Hello メッセージについては参考文献⁸⁾で提案されている手法を利用し、本論ではそれ以外のブロードキャストについて考察する。

4.1 Route Request Packet

RREQ パケットを受信したノードは、RREQ パケットをブロードキャストしたノードへのリンクを作成する。しかし、ノードが通信グレイゾーンにいる場合、この経路に返信された RREP パケットをユニキャストできない可能性がある。この問題を解決するために RREQ ACK を使用する。図 3 を用いて説明する。図 3 では図 2 と同様にホスト A が経路 A → B → C を形成する過程を表している。ホスト A は経路を探索するために RREQ パケットをブロードキャストする。RREQ パケットを受信したホスト B はリンク A-B を形成して再ブロードキャストする前に、ホスト A へ RREQ ACK をユニキャストする。RREQ ACK の送信が確認された場合 (無線 LAN の ACK による確認) は、リンク A-B を形成し RREQ パケットを再ブロードキャストする。もし確認されなかった場合には、リンク A-B は片方向リンク (ユニキャスト不可) とみなし RREQ パケットを破棄する。同様の動作を繰り返すことで双方向リンク (ユニキャスト可能) のみの経路を形成することができる。これによりユニキャストできない経路で RREQ パケットをブロードキャストすることが軽減される。

4.2 Route Error Packet

RERR パケットの場合、変更点はない。それは RERR パケットをブロードキャストした後、そのリンクを使用してユニキャストを行うことがないからである。そのため、通常の RERR パケットをブロードキャストする。

5. ま と め

本研究ではアドホックネットワークにおける通信グレーゾーン問題について検討した。通信グレーゾーンとはブロードキャストは行えるがユニキャストは行うことが出来ない範囲である。これは現在のシミュレーションでは表すことが出来ないものである。この通信グレーゾーンのためにパケットロスが多発する。そのため本研究では AODV のブロードキャストパケットについていくつかの改良点を提案した。今後、PDA などの実機を用いて下記の評価を行いたい。

- パケットロス
- 経路生成までの時間
- ルーティングオーバーヘッド

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度、および文部科学省科研費(萌芽研究 15650004、若手研究(B) 15700062)による助成を受けている。

参 考 文 献

- 1) C. E. Perkins et al., Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.
- 2) J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," Mobicom'98, pp.85-97, 1998.
- 3) D. B. Johnson, D. A. Maltz, and Y.-C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," at: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-manet-dsr-09.txt>, April, 2003.
- 4) C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das "Ad hoc On-Demand Distance Vector," RFC 3561, July 2003.
- 5) C.E. Perkins and P. Bhagwat. "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," ACM SIGCOMM '94 Computer Communications Review 24(4):234, Oct. 1994.
- 6) T. Clausen, Ed. and P. Jacquet, Ed. "Optimized Link State Routing Protocol," RFC 3626, October 2003.

- 7) R. Ogier, F. Templin, and M. Lewis "Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding," RFC 3684, February 2004
- 8) H. Lundgren, E. Nordstrom, and C. Tschudin "Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks," WoW-MoM'02, pp.49-55, September 28, 2002, Atlanta, Georgia, USA.
- 9) ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Ed., Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.
- 10) K. Fall and K. Varadhan (Eds.), ns notes and documentation, The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, April 2002.