

MANETにおける通信グレイゾーン問題を考慮した 高スループット経路の選択手法の提案と評価

相良太志[†] 田頭茂明[‡] 北須賀輝明^{*} 中西恒夫[‡] 福田晃[‡]

[†]九州大学大学院システム情報科学府

[‡]九州大学大学院システム情報科学研究院

^{*}熊本大学大学院自然科学研究科

本稿では、通信グレイゾーン問題を解決する経路探索手法を提案する。通信グレイゾーン問題とは、データパケットの到着が不安定な範囲に存在する端末を中継端末とすることにより、経路のスループットが低下してしまう問題のことをいう。提案手法の主なアイデアは、通信グレイゾーン問題を解決するために、二段階の経路探索方式を採用し、接続性を確保しつつ高スループットな経路を構築する。提案手法の機能を追加した改良 AODV を実機上で動作させ、性能評価を実施した結果、高スループット経路構築時には従来と比較して 4 倍程度のスループットで安定した通信が行え、それができない時には低スループット経路でデータ送受信端末間の接続を確保できていることが確認した。

Evaluation of a Selection Scheme of High Throughput Routes For Solving Gray Zones Problem in MANET

TAISHI SAGARA[†] SHIGEAKI TAGASHIRA[‡]

TERUAKI KITASUKA^{*} TSUNEO NAKANISHI[‡] AKIRA FUKUDA[‡]

[†]Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

[‡]Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

^{*}Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

In this paper, we propose a routing protocol for solving gray zones problem in MANET. By selecting a node existing within gray zones as an intermediate node of a route, the throughput of the route is degraded due to high packet drop rate. In the proposed protocol, the selection of an intermediate node is based on a two-phase approach, to improve the throughput of the route as high as possible, while keeping the network connectivity. We implement the proposed protocol based on AODV and evaluate it in an actual environment. The results indicates that the throughput for the proposed protocol is about four times higher than that of existing protocols. And it can also keep the network connectivity even when high throughput routes cannot be constructed.

1 はじめに

MANET (Mobile Ad-hoc NETWORKS) とは、既存のインフラストラクチャ型無線ネットワークとは異なり、無線端末が自律分散的に構築するネットワークである。固定のインフラに依存しないため、軍事や災害救助の現場での素早いネットワーク構築、家庭内や企業内の情報機器接続などのための基礎技術として幅広い分野への応用が

期待されている。MANET では端末や経路の集中管理が行われないため、各端末がルーティング機能を持つ。すなわち、通信する 2 つの端末が互いの通信範囲内に存在しない場合、その間に存在する端末がルータの役割を担いパケットを転送する。そのようなマルチホップ通信を行うためには通信経路を構築、維持する必要があり、様々なルーティングプロトコルが提案されている [1, 2]。

MANET のルーティングプロトコルの多くはシミュレー

ションによって性能評価が行われている。しかしながら、実環境において IEEE 802.11 シリーズ上で MANET ルーティングプロトコルを使用する際には、IEEE 802.11 の特性などにより、通信グレーゾーン問題という実環境特有の問題が発生する。通信グレーゾーン問題とは主に送信端末から遠いことが原因で、データパケットが届いたり届かなかったりする範囲のことで、その範囲に存在する端末を中継端末とする経路のスループットが低下してしまう問題のことをいう。既存のルーティングプロトコルの多くは中継端末数の少ない経路を構築しようとするため、より送信端末から離れた、通信グレーゾーンに存在する端末を中継端末として選択してしまいやすい。

本論文では、以上で述べた通信グレーゾーン問題を解決する経路探索手法を提案する。提案方式の主なアイデアは、通信グレーゾーン問題を解決するために、高スループット経路を優先して構築することである。グレーゾーンに存在する端末を利用する経路は、比較的低スループットである場合が多く、高スループット経路を優先することで通信グレーゾーンに存在する端末を極力利用しないことになる。しかし、端末密度が低いなどの理由により、高スループット経路が構築できない場合には、端末間接続を確保するために低スループット経路を利用する。このような経路探索を実現するために提案手法では、二段階の経路探索方式を採用し、接続性を確保しつつ高スループット経路を構築する。この手法を加えた MANET ルーティングプロトコル AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)[3]を実機上で動作させ、性能評価を実施し、提案手法の有用性を示す。

本論文の構成は次の通りである。第 2 章で通信グレーゾーン問題について解説する。3 章で提案手法の詳細を説明し、4 章で提案手法の実機による性能評価について述べ、5 章でまとめる。

2 通信グレーゾーン問題

通信グレーゾーンとは主に受信端末が送信端末から遠いことが原因で、データパケットが届いたり届かなかったりする範囲のことで、その範囲に存在する端末を中継端末とする経路のスループットが低下してしまうというのが通信グレーゾーン問題である。本章では、通信グレーゾーンとその原因について解説する。また、通信グレーゾーン問題の先行研究である文献 [4][5] の概要を説明し、通信グレーゾーンの広さについても言及する。

2.1 概要

無線通信では、パケット到達率が電波状況によって 0% から 100% までさまざまに変化する。一般に、端末間の距離

が離れれば離れるほど、パケットの到着率も低下していき、ある地点でデータパケットの到達率は急激に低下する。このパケット到着率が急激に低下する範囲を通信グレーゾーン (Communication Gray Zones) という。通信グレーゾーンは、次の 4 つの要因によって生じる。

- IEEE 802.11 におけるブロードキャストはいつも基本送信レートである 1Mbps または 2Mbps で行われるのに対して、データパケットはそれよりも高い最大 11Mbps という送信レートで送信される。送信レートが低い方が通信可能範囲が広く、送信レートが高い方がエラー率が上がり通信可能範囲も小さくなる。経路探索における経路制御メッセージがブロードキャストによって送信されるため、この送信レートの差が通信グレーゾーン問題の主因となっている。
- IEEE 802.11 においては、受信側端末はブロードキャストによって送信されたパケットに対しては確認応答を送信しない。よって経路制御メッセージを受信できたとしても、そのリンクが片方向リンクである可能性がある。
- 経路制御メッセージはデータパケットに比べてパケットサイズが小さい。パケットサイズが大きくなると、エラー率が上がり、この差が通信グレーゾーンの原因となる。
- 端末間距離が大きくなると、パケットが届いたり届かなかったりする場所が存在する。一度経路制御メッセージを受信できたとしても、その 2 端末が安定して通信できるとは限らない。

文献 [6] では、片方の端末からもう片方の端末へ 200 バイトから 1400 バイトの UDP パケットをできる限り速く送信し続けてスループットを計測する実験を、端末間距離を 15 m ずつ増やしなが繰り返し行っている。この結果を見ると、最大で 150 m までパケットは到達しており、スループットは 75 m から 90 m 付近で急激に下がっている。これは、通信グレーゾーンが最大到達距離の 40% から 50% を占めていることを示している。このように、通信グレーゾーンはかなり広く、文献 [5] の解決法のように経路制御メッセージの到達範囲を小さくすることで、本来経路制御メッセージにより探索できるはずの端末や経路が発見できない。

2.2 関連研究

2.2.1 HELLO に着目した解決法

文献 [4] では、通信グレーゾーン問題を解決するために、経路制御メッセージである存在確認メッセージ HELLO

に着目した次の3つの手法を提案している。それぞれについて概要を述べる。

- Exchanging Neighbor Sets

隣接端末の情報を HELLO に付加する。HELLO を受信したら、その送信者から HELLO を受信したという情報を新たな HELLO に付加してブロードキャストする。受信した HELLO に自身から HELLO を受信したという情報が付加されていたら、その送信者への経路を有効にする。これにより、片方向リンクの問題を軽減できる。

- N-Consecutive HELLOs

HELLO を N 回 (通常 2 回か 3 回) 受信したときに経路を有効にする。これにより、より確実に HELLO を受信できる範囲でしか経路が確定しなくなり、不安定なリンクの問題が解消される。

- SNR Threshold for Control Packets

SN 比が閾値以下の HELLO を破棄する。これにより、信号強度が弱い範囲の経路は確定しない。よって通信の信頼性が増すことになる。

2.2.2 基本送信レートに着目した解決法

IEEE 802.11b において、パケットの送信には基本送信レート (Basic Rates) と対応送信レート (Supported Rates) のいずれかが使用される。基本送信レートはパケットがブロードキャストかマルチキャストにより送信される際に使用される送信レートであり、対応送信レートはパケットがユニキャストにより送信される際に使用される送信レートである。標準設定では基本送信レートは 1Mbps か 2Mbps のどちらか、対応送信レートは 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps の4つのうちのいずれか、が電波状況に応じて使用される。

文献 [5] では、ブロードキャストされる経路制御メッセージとユニキャストされるデータパケットの送信レートの違いに着目し、経路制御メッセージのブロードキャストに用いられる、IEEE 802.11b の基本送信レートを、通常の 1.2Mbps から上げて、データパケットの最大送信レートである 11Mbps に固定する手法を提案している。これにより、データパケットを安定して受信できる端末のみが経路制御メッセージを受信できるようになるため、より安定した通信が可能な経路を選択できる。結果、シングルホップで通信した方が通信性能が良い時はシングルホップで通信し、マルチホップで通信した方が通信性能が良い時はマルチホップで通信するという経路選択を実現している。

3 提案手法

3.1 概要

本研究では、IEEE802.11b を用いた MANET において、通信グレーズーン問題を回避した高スループット経路を優先して構築し、端末密度が低いなどの理由で高スループット経路が構築できない場合にもデータ送受信端末間接続を確保する手法を提案する。

2.2 節において、通信グレーズーン問題を解決するための手法として、経路制御パケットのブロードキャストに用いられる IEEE 802.11b の基本送信レートを、通常の 1.2Mbps から上げて、データパケットの最大送信レートである 11Mbps に固定することで、経路制御メッセージとデータパケットの到達範囲を一致させる手法が提案されていることを述べた。この手法により、端末密度が十分に大きなネットワークでは、グレーズーンに存在する端末を中継端末に選ばずに、安定して通信できる高スループット経路が構築できる。

しかし、図 1 の端末 I, J 間のように、端末密度の小さな部分のあるネットワークでは、通信グレーズーンに存在する端末を経由してのみ到達できる端末 (図 1 における端末 S にとつての端末 D など) への通信経路が全く構築できなくなってしまう。通信グレーズーンに存在する端末を経由する通信経路は、大容量のデータの送受信には不向きであるが、短いテキストメッセージなどの送受信は十分に行える。そのため、通信グレーズーン問題を回避した高スループット経路が構築できない場合にも、データ送受信端末間の通信経路は構築できた方が望ましい。

そこで、本研究では二段階の経路探索方式を採用し、接続性を確保しつつ高スループットな経路を優先して構築する手法を提案する。

3.2 詳細手順

具体的には、一段階目として IEEE 802.11b の基本送信レートを、利用できる最大の 11Mbps に変更して経路探索を試み、経路が見つからない場合には二段階目として通常の 1.2Mbps に戻して経路探索を行う。

例えば、図 1 のような端末配置で、端末 S がデータパケットを送る場合、端末 S はまず、基本送信レートをデータパケットの最大送信レートである 11Mbps に変更して経路制御メッセージである探索メッセージ RREQ をブロードキャストする。この際、端末 S は RREQ に 11Mbps で送られた RREQ であることを示す情報を含める。RREQ を受信した端末は、その RREQ が 11Mbps で送られたものであることを確認し、自身も 11Mbps で RREQ をブロードキャストする。これにより、端末 I やその左側の端末が宛先の場合には、端末密度が高いため、近隣の端末

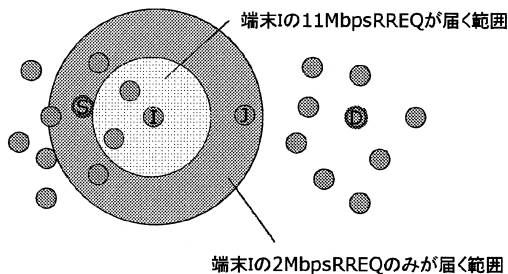


図 1: 端末密度の小さな部分のあるネットワーク

を通して安定した通信ができる高スループット経路を構築できる。

これに対して端末 J やその右側の端末 D などが宛先の場合、端末 I, J 間の端末密度が低く、端末 J が端末 I の 2Mbps の RREQ しか受信できない場所（通信グレーゾーン）にいるため、11Mbps で送られる RREQ では端末 J や端末 D への通信経路を全く構築することができない。そこで、端末 S は 3 回 11Mbps で RREQ をフラッディングして宛先端末が見つからない場合には、基本送信レートを通常の 1.2Mbps（以後 1Mbps, 2Mbps を切り替えられる状態を 2Mbps とする）にして RREQ をフラッディングする。その際も同様に送信レートの変更を RREQ に含め、RREQ を受信した端末はそれに合わせた送信レートで RREQ を中継する。これにより、端末密度が低くて高スループット経路が見つからない場合にも、密度の低い部分の先にある端末との接続性を維持することができる。

存在確認メッセージである HELLO は、2Mbps の RREQ により構築された経路上のリンクが切断しないようにするため、常に 2Mbps でブロードキャストするようにする。そのため、基本送信レートを 11Mbps に変更するのは、高スループット経路探索時の RREQ 送信直前のみとし、その RREQ を送信した後は基本送信レートを通常の 1.2Mbps に戻す。さらに、11Mbps の RREQ によって構築された 2 ホップ以上の高スループット経路が、2Mbps の HELLO を受信することにより、不安定な 1 ホップの経路に更新されないようにするため、HELLO を受信した際には、その HELLO を送信した端末を終点とする経路表エントリの次ホップは更新しないようにする。（ただし終点シーケンス番号や経路の有効期間などは更新する。）

4 評価

この章では、前章で提案した手法を実環境において実装し、性能を評価する。



図 2: 端末 1, 3 間距離と各端末の位置関係

4.1 実験環境

Uppsala 大学が実装した AODV-UU[7] に以上の改良を施し、Linux を搭載したデスクトップ PC でクロスコンパイルして、SHARP 製 Zaurus SL-C1000 上で動作させる。無線 LAN カードは Prism のチップが搭載されている Ambicom 社の WL1100C-CF を使用する。

Zaurus には linux-wlan プロジェクト [8] が開発している無線 LAN 用ドライバが搭載されている。このドライバでは、基本伝送速度と対応伝送速度を命令により変更することが可能である。

実験は屋外で行い、端末 1, 端末 2, 端末 3 を直線距離上に障害物がないよう配置した。端末 1 と端末 3 の間の距離が 100m, 200m, 300m の 3 つの場合について実験を行う。端末 2 は端末 1 と 3 のちょうど真ん中に配置する。ただし、端末 1 と端末 3 の間の距離が 300m の時のみ、端末 2 を端末 1 から 200m の位置に配置して実験を行う。それぞれの配置の各端末の位置関係を図 2 に示す。

それぞれの端末は、地上 150cm に三脚で固定する。実験には TCP, UDP スループットを計測するために DBS(Distributed Benchmark System)[9] を使用した。DBS は、TCP, UDP のアプリケーションレベルでのスループットの時間変化を測定できるツールである。このツールを PDA 用にクロスコンパイルし、端末上で動作させて実験を行う。全ての端末の時刻の同期がとれていなければならないので、ノート PC 上で NTP サーバを動作させておき、実験直前に全ての端末の時刻を同期しておく。

実験は TCP, UDP ともに端末 1 から端末 3 へ 1500 バイトのデータパケットを繰り返し送信して行う。一回の実験は 60 秒とし、改良を加えていない AODV-UU を動作させた状態で、基本伝送速度を 2Mbps にした TCP 通信、11Mbps にした TCP 通信、2Mbps にした UDP 通信、11Mbps にした UDP 通信を計測し、さらに提案手法の改良を施した AODV-UU を動作させた状態で TCP 通信、UDP 通信の順で計測する。AODV-UU には一定時間毎に経路表の記録ができるオプションがあるので、このオプションを利用し、1 秒毎の経路表の記録を保存する。この一連の計測を 1 つの配置につき 3 回行う。18 回の計測を端末 1 と端末 3 の間の距離が 100m, 200m, 300m のそれ

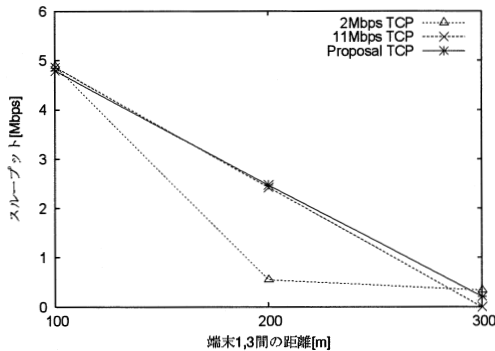


図 3: TCP スループットの比較

それぞれに対して行う。

4.2 実験結果

4.2.1 TCP スループット

まず、TCP スループットについて検証する。図 3 に、TCP スループットの結果を示す。横軸が端末 1, 3 間の距離、縦軸がスループットである。

端末 1, 3 間の距離が 100m の配置の時には基本送信レートが 2Mbps の場合も、11Mbps の場合も、提案手法を適用した場合も、5Mbps 程度の高いスループットを得ている。しかし、端末 1, 3 間の距離が 200m の配置になると、従来の基本送信レートが 2Mbps の場合に、スループットが一気に約 0.5Mbps まで落ちている。この配置では端末 3 が端末 1 の通信グレーゾーンに入っていないにも関わらず、端末 1 と端末 3 が 1 ホップで通信を行い、その結果スループットが低下したのだと考えられる。これに対し、基本送信レートを 11Mbps に固定する手法と提案手法の場合には、2.5Mbps 程度の比較的高いスループットを維持している。これは、提案手法において、端末 1 がまず 11Mbps で経路探索を行い、基本送信レートを 11Mbps に固定した場合と同様に、通信グレーゾーンを回避した、より高いスループットが得られる経路を構築したためだと考えられる。

端末 1, 3 間の距離が 300m の配置（端末 2 が端末 1 から 200m の位置）の時は、基本送信レートを 11Mbps に固定する手法では、端末 2 が端末 1 から遠すぎるため、通信経路が構築できず、実験自体が行えなかった。そのため、この時のスループットは 0Mbps としている。それに対して提案手法では、従来の基本送信レートが 2Mbps の場合と同様に、低スループットではあるが、端末 1, 3 間の接続を維持できている。これは、提案手法において、端末 1 が 11Mbps で経路探索を行っても経路が構築できな

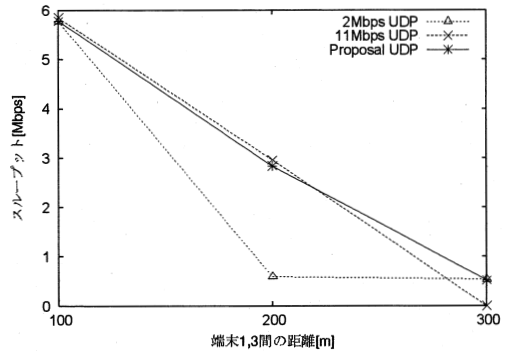


図 4: UDP スループットの比較

かったために、基本送信レートを 2Mbps にして経路探索を行った結果だといえる。

この結果から、提案手法により、通信グレーゾーン問題を回避した高スループット経路が優先して構築され、高スループット経路が構築できない場合にも、データ送受信端末間の接続が維持されていることが分かる。

4.2.2 UDP スループット

UDP スループットについても検証を行う。図 4 は UDP スループットをの結果表すグラフである。

端末 1, 3 間の距離が 100m の時には、すべての場合でほぼ同等の高いスループットが出ており、端末 1, 3 間の距離が 200m になると、従来の基本送信レートが 2Mbps の場合のみ、著しくスループットが低下している。この時、基本送信レートを 11Mbps にした場合は、提案手法とともに、3Mbps 弱の比較的高いスループットを維持しているが、端末 1, 3 間の距離が 300m の配置（端末 2 が端末 1 から 200m の位置）になると、やはり通信経路が構築できず、実験が行えなかった。一方提案手法では、端末 1, 3 間の距離が 300m の配置になっても、基本送信レートが 2Mbps の場合と同等のスループットの経路を構築できている。

UDP のパケット到着率についての検証も行った。表 1, 表 2, 表 3 にその結果を示す。受信パケット数、送信パケット数は実験 1 回分に当たる 60 秒間あたりにいくつであったか平均を出したものである。これを見ると、端末 1, 3 間距離が 100m の配置では、全ての場合で送信パケット数が約 30000 個と非常に多く、パケット到着率もほぼ 100% である。しかし、端末 1, 3 間の距離が 200m 以上になると、基本送信レートが 2Mbps の場合、送信パケット数が一気に 3000 個台まで落ちている。これは、通信グレーゾーンの影響により、データリンク層で再送が頻発

端末 1,3 間距離	受信パケット数	送信パケット数	パケット到着率
100 m	29434	29480	99.8 [%]
200 m	3021	3244	93.1 [%]
300 m	2696	3286	82.0 [%]

端末 1,3 間距離	受信パケット数	送信パケット数	パケット到着率
100 m	29661	29708	99.8 [%]
200 m	15025	15294	98.2 [%]

端末 1,3 間距離	受信パケット数	送信パケット数	パケット到着率
100 m	29388	29410	99.9 [%]
200 m	14424	14553	99.1 [%]
300 m	2629	3401	77.3 [%]

した結果、送信バッファが溢れ、送信するパケット数が減少したのだと考えられる。これに対して、基本送信レートが 11Mbps の場合と、提案手法では、端末 1, 3 間の距離が 200m の配置でも、送信パケット数が 14000 個以上と多い。よって、この配置において、基本送信レートが 11Mbps の場合と、提案手法では、通信グレーゾーン問題を回避していることが分かる。端末 1, 3 間距離が 300m になると、端末 2 は端末 1 から 200m の位置になるため、基本送信レートが 11Mbps の場合には通信経路が構築できなくなる。(そのため、表 2 にこの配置のデータはない。) 提案手法では送信パケット数が 3000 個台まで下がっているが、通信経路は構築できている。送信パケット数が少なくなっている理由は前述したとおりである。すなわち、提案手法において、基本送信レートを 2Mbps にした経路探索に切り替わり、通信グレーゾーンの影響を受ける経路が構築され、データリンク層での再送が頻発するようになったと考えられる。

以上の結果から、UDP 通信時においても、提案手法により、通信グレーゾーン問題を回避できる場合には高スループット経路が構築され、できない場合にもデータ送受信端末間の接続が確保されていることがわかる。

4.2.3 TCP と UDP の比較

TCP と UDP でスループットに違いがあるかを確認する。図 5 は提案手法の TCP スループットと UDP スループットのグラフである。これを見ると TCP より UDP の方がやや高いスループットが出ているのが分かる。これはトランスポート層において、TCP はデータの再送処理のオーバーヘッドがあるからだと考えられる。

4.2.4 経路表

データパケット送信元端末の経路表を確認することで、通信がマルチホップとシングルホップのどちらで行われていたかを確認する。図 6 と、図 7 は、データパケット送

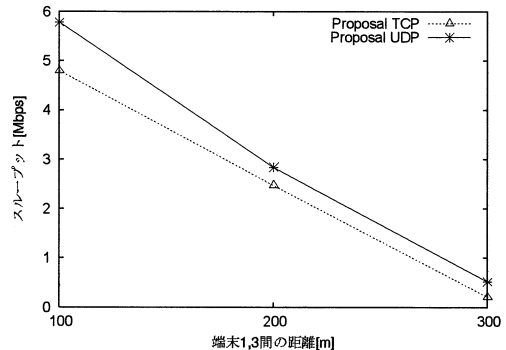


図 5: 提案手法 TCP と UDP の比較

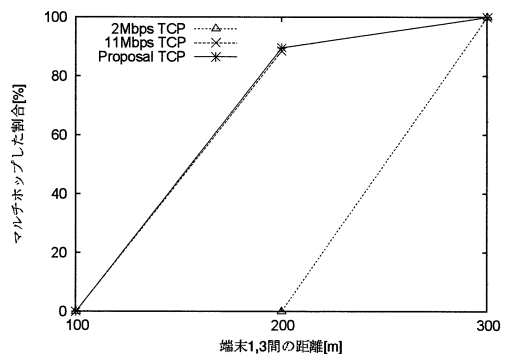


図 6: TCP においてマルチホップで通信した割合の比較

信元である端末 1 の経路表を 1 秒ごとに記録したログを解析したものである。端末 1 の経路表のエントリの中で、終点端末が端末 3 のエントリの次端末のフィールドが端末 2 になっていればマルチホップで通信しており、次端末が端末 3 になっていればシングルホップで通信していることがわかる。

これを見ると、端末 1, 3 間の距離が 100m の配置では、どの場合もほぼ 100% シングルホップで通信していることが分かる。しかし、端末 1, 3 間の距離が 200m の配置になると、従来の基本送信レートが 2Mbps の場合では以前ほぼ 100% シングルホップで通信しているのに対して、基本送信レートを 11Mbps に固定する場合と提案手法では約 90% の割合でマルチホップで通信している。これにより、この配置において提案手法と、基本送信レートを 11Mbps に固定した手法が、比較的高いスループットを維持していたのは、この 2 つの手法において、端末 1 が通信グレーゾーン問題を回避してマルチホップの経路を構築していたためだということが確かめられた。

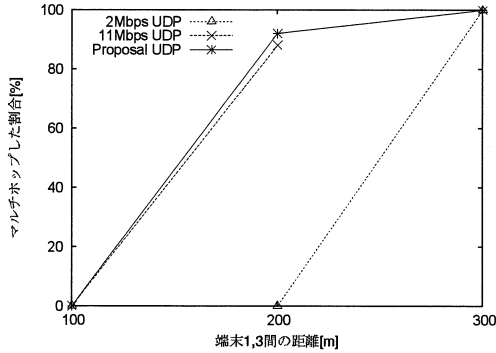


図 7: UDP においてマルチホップで通信した割合の比較

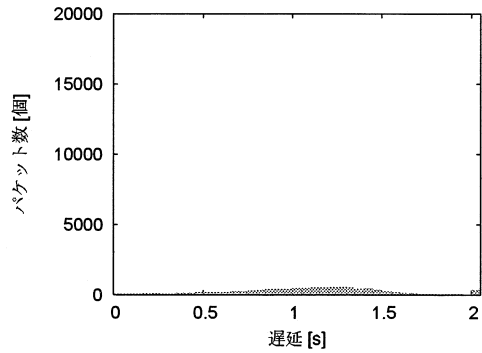


図 8: 端末 1,3 間 200m 2Mbps UDP の遅延

端末 1, 3 間の距離が 300m の配置（端末 2 が端末 1 から 200m の位置）の時には、基本送信レートを 11Mbps に固定する手法は、前述した通り、通信経路が構築できていない。すなわち、200m 離れた端末 2 に 11Mbps の経路制御メッセージは届かない。提案手法では、従来の基本送信レートが 2Mbps の場合と同様に、端末 2 を経由したマルチホップの経路が構築されている。11Mbps の経路制御メッセージは端末 2 に届かないのだから、マルチホップの経路が構築されているのはやはり、提案手法において、端末 1 が基本送信レートを 2Mbps にして経路探索を行った結果といえる。

TCP, UDP とともに同様の結果が得られている。この結果から、端末 3 が端末 1 の通信グレーゾーンに入ると、基本送信レートが 11Mbps の場合と提案手法では、より高いスループットが得られるマルチホップ通信に切り替わることが確認できた。さらに端末 3 が端末 1 と直接通信できなくなり、端末 2 が端末 1 の通信グレーゾーンに入っている時には、基本送信レートが 11Mbps の場合では通信経路が構築できなくなるのに対して、提案手法では端末 2 を経由したマルチホップ通信で端末 3 との接続を確保できていることが確認できた。

4.2.5 遅延

DBS でスループットとともに遅延も計測した。図 8, 図 9, 図 10 は、端末 1, 3 間距離が 200m の配置で、UDP 通信を行った 3 回の場合について、パケットごとに遅延を調べ、0 秒から 2 秒まで 0.05 秒ごとに区切った範囲にいくつのパケットがあるかを示したグラフである。遅延が 2 秒以上であったパケットの数はひとまとめにしてある。

この図を見ると、基本伝送速度を 11Mbps に固定した場合と、提案手法では、パケットの遅延が 0.1 秒から 0.6 秒の範囲に集中しており、遅延が 1 秒以上のパケットは

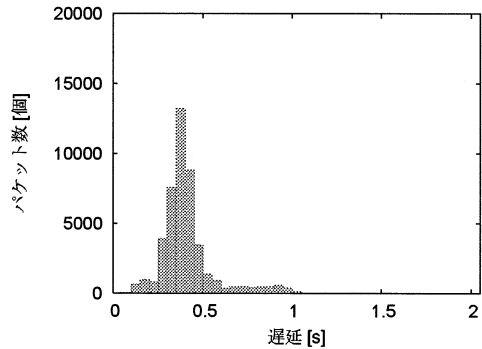


図 9: 端末 1,3 間 200m 11Mbps UDP の遅延

ほとんどない。それに対して、基本送信レートが 2Mbps の場合は、パケット数自体が非常に少なく、遅延が 1 秒以上のパケットが全体の 61.6% にのぼる。これは基本送信レートが 2Mbps の時、端末 1 が通信グレーゾーン内にいる端末 3 と直接通信しようとした結果、データリンク層での再送が増えたためだと考えられる。

グラフには示していないが、端末 1, 3 間距離が 100m の配置では、全ての場合で遅延が 0.2 秒以下のパケットが全体の 9 割以上を占めていた。これは、全ての場合で端末 1 と端末 3 が直接通信しており、データパケットの中継処理がなく、かつデータリンク層での再送もなかったためだといえる。また、端末 1, 3 間距離が 300m の配置では、基本送信レートが 2Mbps の場合と、提案手法において、遅延が 1 秒以上のパケットの割合が、図 8 の場合に比べて更に大きくなっていった。これは、端末 1, 2 間でデータリンク層での再送が増え、さらに端末 2 から端末 3 へのデータパケットの中継処理が加わったためだと考えられる。

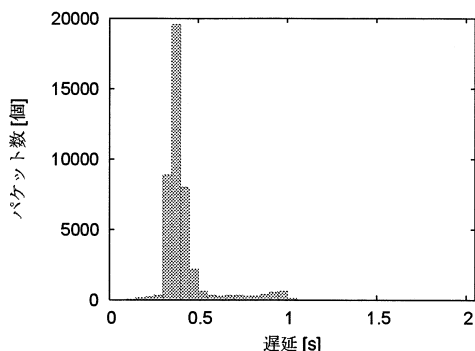


図 10: 端末 1,3 間 200m 提案手法 UDP の遅延

5 おわりに

実環境において IEEE 802.11 シリーズ上で MANET ルーティングプロトコルを使用する際には、通信グレーゾーン問題という実環境特有の問題が発生する。通信グレーゾーンとはデータパケットが安定して届かない範囲のことである。IEEE 802.11 シリーズでは複数の送信レートが利用でき、MANET において通信経路を構築する経路制御メッセージは、データパケットよりも低い送信レートで送信される。そのため、経路制御パケットの方がデータパケットより遠くまで到達する。通信グレーゾーン問題とは、この経路制御パケットとデータパケットの到達距離の差が原因で、通信グレーゾーンに存在する端末を中継端末とするスループットの低い経路が構築されてしまうことである。

本研究では、はじめは利用できる最大の送信レートで経路制御メッセージを送信して経路探索を試みる。次に、経路が見つからない場合には通常の低い送信レートに戻して経路探索を行うように MANET ルーティングプロトコル AODV を改良した。これにより、通信グレーゾーン問題を回避した高スループット経路を優先して構築し、通信グレーゾーンに存在する端末を経由する場合では到達できる端末との接続も確保することができた。そして、実際にこの改良を行った AODV を実装し、IEEE 802.11b 上で動作させ、提案手法の評価を行った。

実機による実験の結果、データパケットが安定して届く範囲に中継端末がいる場合には従来と比較して 4 倍程度のスループットで安定した通信が行え、通信グレーゾーンにしか中継端末がない場合にも、低スループットではあるが、データ送受信端末の接続が確保できていることが確認できた。

今後の課題として、以下のものが挙げられる。

- 端末を移動させての提案手法の評価

- 多数の端末を配置した場合の提案手法の評価
- 他の IEEE 802.11 シリーズへの対応
- 他の MANET ルーティングプロトコルへの応用

謝辞

本研究の一部は、次世代研究スーパースター養成プログラム（九州大学総長裁量経費）および科研費による助成を受けている。

参考文献

- [1] T. Clausen, and P. Jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol,” IETF RFC 3626, Oct. 2003.
- [2] R. Ogier, F. Templin, and M. Lewis, “Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding,” IETF RFC 3684, Feb. 2004.
- [3] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” IETF RFC3561, Jul. 2003.
- [4] H. Lundgren, E. Nordstrom, and C. Tschudin, “Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks,” *Proc. 5th ACM WoWMoM 2002*, pp.49-55, Sep. 2002.
- [5] 古賀 健明, 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, “IEEE 802.11b 無線 LAN における AODV の高スループット経路選択手法,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) シンポジウム 論文集 (II), pp.545-548, Jul. 2006.
- [6] D. Dhoutaut, and I. Guerin-Lassous. “Experiments with 802.11b in ad hoc configurations,” *Proc. 14th IEEE PIMRC 2003*, pp.1618-1622, Sep. 2003.
- [7] E. Nordström, and H. Lundgren *et al.*, AODV-UU, Uppsala University; <http://core.it.uu.se/core/index.php/AODV-UU>
- [8] linux-wlan Project, linux-wlan(tm) ‘Next Generation’; <http://www.linux-wlan.org/>
- [9] 村山公保, Distributed Benchmark System:A TCP Benchmark Tool; <http://www.kusa.ac.jp/yukio-m/dbs/>