

ゲートウェイ間 Mobile Ad-hoc Network の 経路安定度を考慮した通信品質改善手法

清水 正明[†] 高見 一正[†]

概要： モバイルアドホックネットワークへの関心が高まっており、災害等により既存網が機能しなくなった場合の代替網としての応用等が期待されている。しかし、MANET は、固定端末で構成される集中管理型の既存網に比べ、通信品質が劣化し、MANET 上での TCP の使用も、著しく性能が低下してしまうと指摘されている。そこで本稿では、地震等の自然災害において、孤立した LAN 内のノードが、MANET 経由でインターネットに接続する状況の想定における、MANET 内の通信品質の向上と、輻輳の抑制を目指し、ゲートウェイ間制御方式を提案する。提案方式では、MANET 内の各制御に、経路安定度という指標を用い、ゲートウェイのネットワーク層の上に、制御用レイヤを追加し、ゲートウェイ間で MANET に適応した各制御を行う。エミュレーション実験により、経路安定度の有用性の評価・考察を行った。制御方式については未実装のため、本稿では提案にとどまるが、今後の課題として、実装・評価を行い、提案方式が経路状態を適切に予測し、それにもとづく制御を行い、パケット損失を最小限に抑えることで、スループットを改善できていることを確認する予定である。

Communication Quality Improvement Scheme in Consideration of Route Stability of Mobile Ad-hoc Networks between Gateways

Masaaki Shimizu[†] Kazumasa Takami[†]

1. はじめに

近年、移動端末で構成される自律分散型、無線マルチホップネットワークである、モバイルアドホックネットワーク (*Mobile Ad-hoc Networks*, 以下 MANET) [1][2]を、災害等により既存網が機能しなくなった場合の代替網として応用する研究などが進められている。しかし、MANET は、固定端末で構成される集中管理型の既存網に比べ、通信品質が劣化することが指摘されている[3]。

MANET の通信品質の影響を大きく受ける技術の一例として、TCP (*Transmission Control Protocol*) [4]が挙げられる。既存網では、通信品質を向上させる 1 つの方法として、TCP が使用されているが、TCP を MANET 上で使用すると、その性能が著しく低下してしまう[5][6]。これは TCP の設計基準が、通信の安定した、パケット損失の非常に少ない固定有線ネットワークを想定しており、MANET で頻繁に発生するパケット損失を想定していないためである。パケット損失の要因としては、構成端末が移動し、動的にトポロジが変化することによる経路変更、無線通信を用いることによる無線伝搬損失、処理性能の制限による輻輳などが挙げられる。

TCP Reno などのロスベース輻輳制御アルゴリズムにおいては、すべてのパケット損失を、輻輳に起因するものと判断するため、実際は輻輳によるものではなくても、ウィンドウサイズを必要以上に減少させてしまい、通信の効率が非常に悪くなってしまふ。また、TCP Vegas などの遅

延ベース輻輳制御アルゴリズムにおいて、既存網では、経路上で発生する、予測困難な要因により往復遅延時間 (*Round Trip Time*, 以下 RTT) の変動を観測しているが、MANET のように、通信中に頻繁に経路が変更されるような環境では、前者のような同一経路上の RTT の変動とは異なり、経路構成端末や、ネットワーク状況により全く異なる RTT に変化する可能性が高い。このように大きな RTT の変動が生じると、パケットの到着順序の逆転や、輻輳・再送・フロー制御の性能低下を引き起こす。

上記のような理由から、パケット損失が多発し、RTT の変動が大きい MANET では TCP を用いても通信品質を向上させることは難しく、効率的な通信を行うことはできない。従って、MANET の通信品質を改善するためには、MANET という特殊な環境に適応したプロトコルの実装が必要である。

これまでに、MANET 上で通信品質を確保する手法は、ルーティングプロトコル[7]や、TCP の改良[8]といったアプローチから多数提案されている。しかし、ルーティングプロトコルの改良では、そのルーティングプロトコルが求める理想の経路が見つかればよいが、そうでないようなネットワーク状況である場合、通信品質の改善は期待できない。一方、MANET 内で通信を行う端末上の TCP の改良では、現在広く普及している標準 TCP を全て変更しなければならなくなり、標準 TCP との互換性を損なう恐れもある。

以下では、2 章で MANET の通信品質を改善している関連研究について述べる。次に、3 章で提案方式について説

[†]創価大学大学院 工学研究科情報システム工学専攻
Graduate School of Engineering, Soka University

明し、4章でシミュレーションにより得られたデータから、経路安定度の有用性の考察をする。最後に、5章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

本章では、ネットワークレイヤおよびトランスポートレイヤからのアプローチによる通信品質向上手法における、代表的な既存手法を紹介する。

2.1 ネットワークレイヤ

ネットワークレイヤからのアプローチとしては、ルーティングプロトコルとして様々な提案がなされている。

文献[9]で提案されている、ABR (*Associativity-Based Routing*) では、独自のメトリックである結合安定度をルーティングに用いている。結合安定度は、結合性チェック、リンク遅延、シグナル強度、バッテリー寿命、経路中継負荷といった情報から総合的に評価される、結合安定度にもとづき、できるだけ長期間安定するような経路を選択する。

しかし、あくまでルーティングプロトコルであるため、安定な経路の選択はできても、MANET が潜在的に持つ、経路変更などに伴うパケットロスなどという事象に対しては直接の対策がなされない。安定な経路を選択した上で、パケットロスなどへの対策も行い、さらに安定した通信品質を目指すことは重要な課題である。

2.2 トランスポートレイヤ

トランスポートレイヤからのアプローチとしては、MANET における TCP の使用がネットワークに与える影響と、その性能改善に焦点を当てた研究がなされている。従来 TCP そのものを改良する手法や、下位層において MANET の特徴を隠す手法がある。

前者の例として、文献[8]では、TCP の代わりに、MANET に適応したトランスポート層プロトコルである、ATP (*Ad-hoc Transport Protocol*) を提案し (図 1-a)、MANET の性能改善を図っている。ATP ではレートベースの転送を用い、ネットワークレイヤからのフィードバック情報をもとに転送レート調整、輻輳検知・回避・制御、経路損失検知などの制御を行っている。

後者の例として、文献[10]では、TCP を改良するのではなく、送信元でアクティブな制御層である ATCP (*Ad-hoc TCP*) レイヤをネットワーク層とトランスポート層の間に新たに追加し、(図 1-b) ネットワークレイヤからのフィードバック情報をもとに各制御を行っている。

しかし、ATP では、専用のプロトコルスタックを所有したノードのみで MANET が構成されていることを想定しているため、端末全てが ATP を実装していなければならないという制約がある。

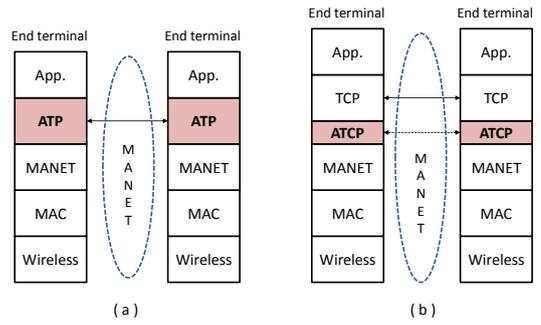


図 1 ATP と ATCP のレイヤ構造

Fig. 1 Layer structures of ATP and ATCP.

また、ATCP では、TCP には手を加えないため、ATCP 実装の有無に関わらず、相互運用可能ではあるが、実装していない端末は ATCP の恩恵を受けられず、MANET で TCP を使用する上での悪影響を全て受けてしまう。

3. 提案方式：ゲートウェイ間 MANET 制御

本章では、本稿における提案方式である、ゲートウェイ (Gateway, 以下 GW) 間 MANET 制御方式について説明する。まず、提案方式の概要を、その後、制御に用いる経路安定度の定義と、制御方式の詳細を説明する。

3.1 概要

本稿では、MANET の通信品質の向上と、輻輳の抑制を目指し、GW 間 MANET 制御方式を提案する。想定する環境は、地震等の自然災害において、広域ネットワークを構成するコアルータ、アクセスルータ、サーバ、無線基地局の予備電力切れ又は中継・アクセス回線破断により、全壊を免れた施設内に構築されている企業、大学等の LAN (以下 孤立 LAN) 内のノードが、図 2 のように、MANET 経由でインターネットに接続するという状況である。なお本稿では、複数の孤立 LAN がインターネットに接続する環境を想定したほうがより現実的だが、まずは、1つの孤立 LAN が、インターネットに接続する場合のみ取り扱うこととする。MANET 構成端末としては、スマートフォンなどの携帯端末や、災害時の専用端末、車両、ロボットなどを想定する。

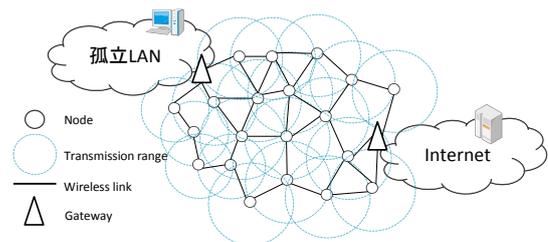


図 2 想定環境図

Fig. 2 Assumed environment.

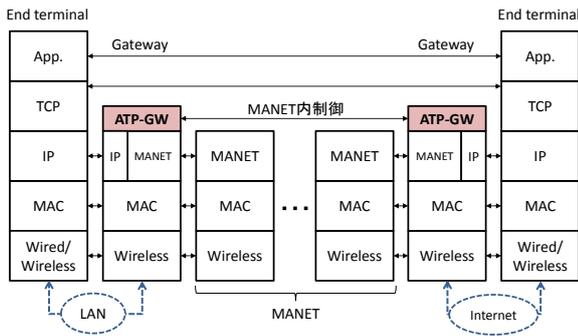


図 3 レイヤ構成

Fig. 3 Layer structures.

孤立 LAN とインターネット接続点に、MANET 経由機能と、提案する制御機能を実装した GW を配置し、GW 間で MANET 内制御を行い、当該区間の品質を改善することでエンド・ツー・エンドの通信品質の向上をはかる。災害直後のため、使用可能な電力が残り少ない（端末の電池残量を考慮する）こと、輻輳の発生しやすい状況である（端末のバッファメモリが小さい）ことを考慮する。

提案方式では、図 3 に示すように、GW のネットワーク層上に、制御用の新たなレイヤである、ATP-GW (*Ad-hoc Transport Protocol on Gateways*) を追加し、MANET に適応した制御を行う。MANET 内制御には、クロスレイヤアプローチにより、各層から得た情報から、総合的に評価した経路安定度 (*Route Stability*, 以下 RS) という指標を用いる。なお、RS については 3.2 節で説明する。この RS を利用して MANET のフローを調節し、従来 TCP には予測不可能な経路変更によるパケット損失や、過剰な送信レートの低下を抑制し、スループットの向上をはかる。

3.2 経路安定度 RS の定義

MANET 内の制御には RS を用いるが、安定している経路とは、

- (1) 経路の接続時間が長く
- (2) 経路の切断時間が短く
- (3) 比較的高い通信品質を維持している

経路とする。RS を構成する要素としては、あとどれくらいで使用中経路の切断、もしくは経路上端末の電池切れにより、通信が途切れてしまうのかを表す、経路切断予測時間 (*Predicted Disconnect Time*, 以下 PDT) や、経路が切断した後どれくらいで経路が再使用可能になるかを表す、経路再接続予測時間 (*Predicted Reconnect Time*, 以下 PRT)、図 4 に示す経路接続・切断時間（観測方法は 3.2.1 節）、経路切断回数、などから評価した、経路稼働率 (*Route Availability*, 以下 RA)、ホップ数、電池残量、RTT などがある。なお、PDT については 3.2.2 節で説明する。

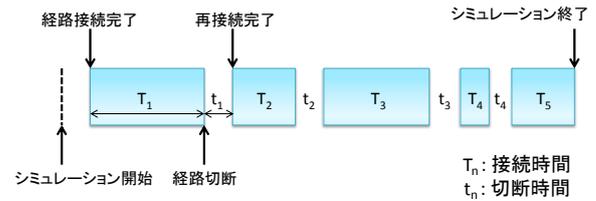


図 4 経路接続・切断時間

Fig. 4 Route connect/disconnect time.

経路安定度は主に、式 1 に示す、平均経路切断間隔 (*Mean Time Between Disconnect*, 以下 MTBD) と、式 2 に示す、平均経路修復時間 (*Mean Time To Reconnect*, 以下 MTTR) から算出した、RA (式 3) を用いる。

$$MTBD [s] = \frac{\text{経路接続時間 [s]}}{\text{経路切断回数 [回]}} \dots (1)$$

$$MTTR [s] = \frac{\text{経路切断時間 [s]}}{\text{経路切断回数 [回]}} \dots (2)$$

$$RA [\%] = \frac{MTBD}{MTBD + MTTR} \times 100 \dots (3)$$

そこから、式 4 に示すように、これらの指標との相関関係を調査し、RS の評価に適切な要素だと判断した、PDT, RA, RTT, ホップ数などの各指標を組み合わせて RS を評価する。

$$RS = f\{PDT, RA, hop, RTT\} \dots (4)$$

3.2.1 経路接続・切断時間観測方法

本稿では、MTBD と MTTR を算出するために必要な経路接続時間と経路切断時間、切断回数をそれぞれ、図 5 に示すように観測した。経路接続時間は、経路が構築されて (RREP 受信) から切断される (RERR 受信) まで。経路切断時間は、経路が切断されて (RERR 受信) から再構築される (RREP 受信) まで。切断回数は、経路切断時間の計測回数とした。

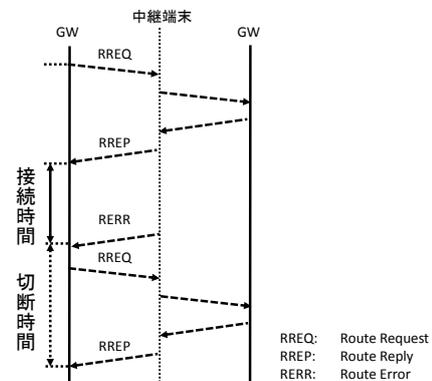


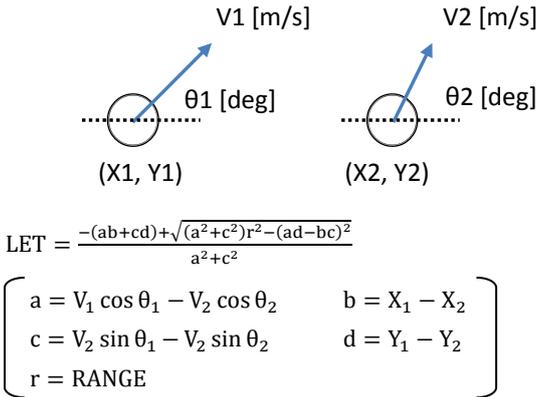
図 5 経路接続・切断時間の観測

Fig. 5 Measurement of route connect/disconnect time.

3.2.2 経路切断予測時間 PDT 観測方法

文献[11]では、ルーティングプロトコルにおいて経路安定志向メトリックを用いており、その中で、各端末の位置情報(位置, 速度)から隣接端末とのリンク切断時間(*Link Expiration Time*, 以下 LET)を計算し、使用している。

本稿では、図 6 に示す計算式を用い、LET ([11]から引用)と、端末の電池残量をもとに計算した端末時間(*Battery Drive Time*, 以下 BDT)を計算し、使用中経路上の端末の LET または BET の最小値をその経路の PDT とする。



$$PDT = \min(LET, BDT)$$

図 6 経路切断予測時間計算式

Fig. 6 Formula of predicted disconnect time.

次に、算出した PDT を GW において取得する手順を説明する(図 7)。経路の構築には、AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector protocol*) [12]を拡張したルーティングプロトコルを使用し、メッセージフォーマットは図 8 のように拡張する。孤立 LAN 内の端末から通信要求が発生し、孤立 LAN 側の GW (以下 s-GW) がそれを受け取ると、インターネット側の GW (以下 r-GW) に向けて RREQ を送信する。RREQ を転送する端末はそれぞれ、RREQ を転送する時点での自分の速度ベクトル情報 (*Velocity Vector*, 以下 VV) を RREQ に格納し、上流隣接端末に渡す。その情報は経路表情報とともに保持しておく。r-GW が RREQ を受け取ると、s-GW に向けて RREP を送信する。RREP 転送を行う端末は、RREQ 転送と同様に、転送時点での自分の VV を RREP に格納し、下流隣接端末に渡す。RREP を受け取った端末は、経路表と照合し、その端末との LET、と自端末の BDT を計算し、値の小さい方を、既に RREP に格納されているものよりも小さい場合のみ、上書きし、RREP を転送する。s-GW が RREP を受け取ると、LET または BDT を PDT として保持する。

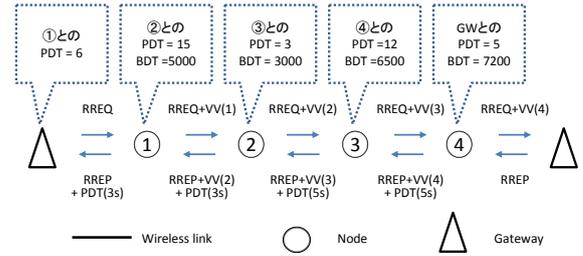


図 7 GW における予測時間取得手順

Fig. 7 Predicted time acquisition procedure between gateways.

| Type(8) | Flag (5) | Reserved (11) | Hop Count(8) | Type(8) | Flag (5) | Reserved (11) | Hop Count(8) |
|--------------------------|----------|---------------|--------------|--------------------------|----------|---------------|--------------|
| RREQ ID(32) | | | | RREP ID(32) | | | |
| Velocity Vector (16) | | Reserved (16) | | Velocity Vector (16) | | PDT(16) | |
| r-GW IP Address(32) | | | | s-GW IP Address(32) | | | |
| r-GW Sequence Number(32) | | | | s-GW Sequence Number(32) | | | |
| s-GW IP Address(32) | | | | r-GW IP Address(32) | | | |
| s-GW Sequence Number(32) | | | | r-GW Sequence Number(32) | | | |
| 拡張RREQメッセージ | | | | 拡張RREPメッセージ | | | |

図 8 拡張 AODV メッセージフォーマット

Fig. 8 Extended AODV message format.

3.3 GW 間 MANET 制御

評価した RS, PDT を用いて、GW 間 MANET 制御を行う。制御対象は、フロー、輻輳、再送制御である。RS を用いて、どの程度の大きさで、どのタイミングで、広告ウィンドウ (*Advertisement Window Size*, 以下 WS) や輻輳ウィンドウ (*Congestion Window*, 以下 cwnd) を調整し、各制御を行えばより効率的な通信を行えるかを実験・考察する。特に、フロー制御機能を重視し、より効率的なウィンドウの調整を行うことで、可能な限り輻輳発生抑制、経路切断によるパケット損失の低減を目指す。また、各パラメータの収集方法や制御レイヤの状態遷移、処理プロセス(図 9)などの詳細を設計する。

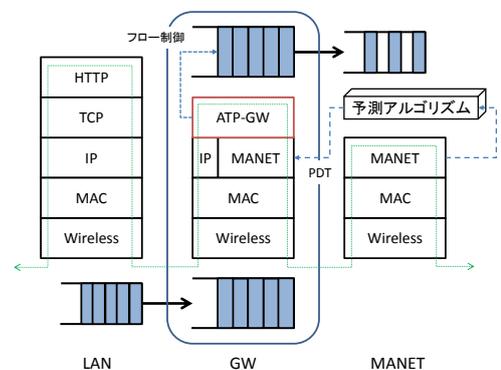


図 9 GW 制御図

Fig. 9 The control diagram of gateways.

3.3.1 フロー制御

提案方式では, MANET における頻繁な経路変更に起因するパケットロスの発生を軽減するために, 3.2 節で説明した, RS を用いて, フロー制御を行う。

GW の ATP-GW では, 3.2.2 節で説明したように, PDT を算出するが, PDT に合わせてフローの調整を行うことで, 経路切断後の, 無意味なデータ送信と, そのデータのドロップによる再送を防ぐことが出来る。具体的には, 使用中経路の PDT が, 最新の RTT/2 の値に近づいたとき, データの送信を停止する。停止すると, 新たな経路の構築を始め, 構築が完了すると, その新しい経路で, データの送信を再開する。

また, 3.2 節で説明したように, GW 上で観測した情報から RS を算出する。ウィンドウサイズは, 経路上の端末の利用可能な受信バッファの最小値に初期値を設定する。RS が減少傾向にある場合は, ネットワーク内の端末の速度が速いなど, さまざまな理由から, ネットワークが不安定な状態だと判断し, WS を減少させることで送信レートを低下させ, 輻輳の発生を抑制する。また, RS が増加傾向にある場合は, ネットワークが安定している状態だと判断し, WS を増加させることで送信レートを上昇させ, 通信効率の向上を図る。

3.3.2 輻輳制御

提案方式ではパケットのロス基本的にはビットエラーや経路切断によるものだと判断するが, 再送タイマーのタイムアウトが連続して発生した場合は, 輻輳が発生したと判断し, それ以上のパケットロスを防ぐために, データの送信を停止する。その後, 新たな経路を構築し, データの送信を再開する。

3.3.3 再送制御

提案方式では, MANET の信頼性を向上させるために, データのロスに対して再送を GW が担う。ただし, 再送処理を行うのは, 3.2.2 節で述べた, PDT 期間中に検知したロスに対してのみであり, 経路構築中に検知したロスに対しては, 経路が存在せず, 再送する必要がないため, 経路の再構築が完了してから, 再送が必要なパケットから送信を再開する。

4. シミュレーション実験

本章では, 3.2 節で説明した経路安定度の有用性調査, 考察のために行ったシミュレーション実験の結果を示す。実験には, 本学開発の MANET エミュレータ[13]を用いた。図 10 に MANET エミュレータのソフトウェア構成を示す。

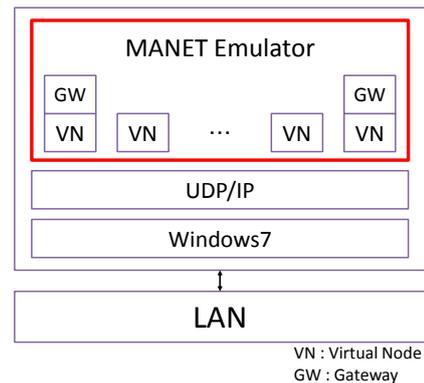


図 10 MANET エミュレータソフトウェア構造
Fig. 10 Software structure of the MANET Emulator.

4.1 シミュレーション環境

本実験では, 500[m] × 500[m] のシミュレーションエリアに 40, 50 台の端末をランダムに配置した。各端末はランダムウェイポイントに従い, 1.4[m/s] (徒歩), 6[m/s] (自転車), 10[m/s] (バイク), 14[m/s] (自動車) の速度で移動する。各端末は, 電波伝搬範囲が 100[m] となるような送信電力でデータを送信する。また, 端末間の無線リンク遅延は 200[ms] に設定し, 送信するパケットサイズは 128B とし, パケット送信間隔は 500ms とした。ルーティングプロトコルには AODV を使用した。

4.2 経路安定度 RS の有用性考察

RS の有用性の考察には, MANET エミュレータを用いた。様々な状況において RS に用いる要素のログをとり, 相関関係を調査し, RS の要素が有用であるかどうか考察し, RS の有用性を評価する。その条件を表 1 に示す。

表 1 シミュレーション環境

Table 1 Emulation parameters.

| 項目 | 設定 |
|-------------|-----------------------|
| エミュレータ | MANET エミュレータ |
| ルーティングプロトコル | AODV |
| フィールドサイズ | 500 [m] × 500 [m] |
| 端末数 | 30, 40, 50 [台] |
| 端末配置 | Random |
| モビリティモデル | Random Way Point |
| 電波伝搬範囲 | 100[m] |
| 無線リンク遅延 | 200 [ms] |
| 端末移動速度 | 1.4, 6, 10, 14 [m/s] |
| パケットサイズ | 128 [Byte] |
| パケット送信間隔 | 500 [ms] |
| 試行回数 | 各 11 回 (Seed:200~210) |
| エミュレーション時間 | 3 [min.] |

表 2 観測データ (速度: 1.4 m/s, 端末数: 40 台)

Table 2 Observed data. (Speed: 1.4 m/s, Nodes: 40)

| 試行回数 | Seed | 総接続時間 [s] | 総切断時間 [ms] | 切断回数 | MTBD | MTTR |
|------|------|-----------|------------|------|------|------|
| 1 | 200 | 164.4 | 17.2 | 7 | 23 | 2 |
| 2 | 201 | 169.9 | 10.4 | 6 | 28 | 2 |
| 3 | 202 | 138.0 | 42.6 | 7 | 20 | 6 |
| 4 | 203 | 171.8 | 8.6 | 5 | 34 | 2 |
| 5 | 204 | 171.2 | 9.0 | 4 | 43 | 2 |
| 6 | 205 | 150.0 | 30.2 | 5 | 30 | 6 |
| 7 | 206 | 156.7 | 23.7 | 7 | 22 | 3 |
| 8 | 207 | 172.2 | 8.1 | 5 | 34 | 2 |
| 9 | 208 | 171.0 | 9.1 | 6 | 28 | 2 |
| 10 | 209 | 170.5 | 9.9 | 9 | 19 | 1 |
| 11 | 210 | 159.7 | 24.2 | 11 | 15 | 2 |

表 2 は, 端末速度が 1.4 m/s, 端末数が 40 台, Seed 値が 200~210 の場合の, シミュレーションのログから, 総接続時間と総切断時間, 切断回数を算出し, MTBD と MTTR を算出した例である.

図 11 は, 端末数が 40 台, Seed 値が 200 の場合のみの, 各端末速度における, 接続時間と切断時間をグラフに表したものである. 端末の速度が上がるにつれて, 接続時間も安定しなくなってきたことが分かる. 移動速度が 1.4m/s と, 遅い場合が最も安定して接続されている. しかし速度が遅いとその分経路構築時や, 経路切断時に再構築するまでに時間がかかってしまう. 速度が速くなるにつれて切断回数が増えてはいるが, その分すぐに経路の再構築が行われている. こういった経路接続・切断時間に合わせてフロー制御を行うのだが, 速度が速くなった場合に多くなる, 経路の瞬断については考慮する必要がある. トラフィックの軽いものであれば, このような瞬断はほぼ影響のないように思える. また, ストリームデータのような通信の場合では, このような瞬断が音声や映像通信に大きな影響となるのかどうか調査する必要がある.

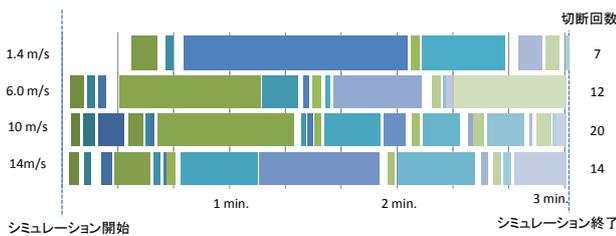
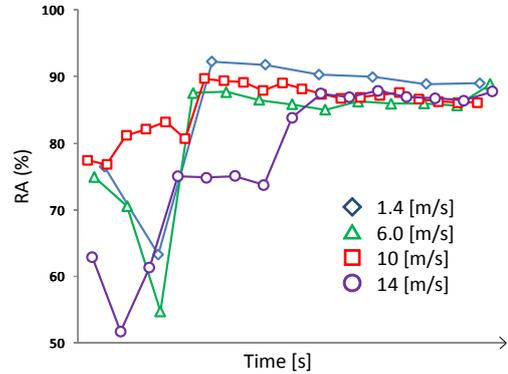


図 11 経路接続・切断時間
(シード値: 200, 端末数: 40 台)

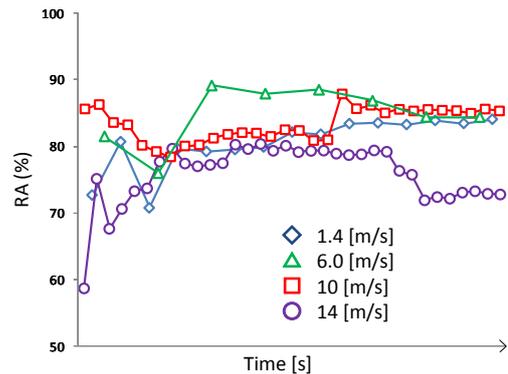
Fig. 11 Route connect/disconnect time.
(Seed: 200, Nodes: 40)

図 12 は, 図 11 の経路接続・切断時間から, 時間が経過するにつれての RA の推移のグラフである. 図 11 で示した, 端末数 40 台の場合のグラフ (図 12-a) に加え, 端末数 50 台の場合グラフ (図 12-b) も示した. このグラフでは, 経路切断が起きた際に RA を計算しているため, 切断が起きたところで点がプロットされている. 端末数の変化によるグラフの変化としては, 経路切断回数がどの端末

速度でも, 大きく増加しているということである. また, 14m/s の場合では, 端末数が多い方が, RA が低くなっている. どちらのグラフからもわかるように, 端末数が多い方が時間はかかるが, 一定の時間, 経路情報を集め続けると, RA の値が収束していることが分かり, その時点で, あるネットワーク状況におけるおおよその RA を定めることができ, その値は MANET のフロー制御を行う上で有用な情報だと考えられる.



(a) 端末数 40 台
(a) Nodes: 40



(b) 端末数 50 台
(b) Nodes: 50

図 12 RA の推移 (端末数 50 台)

Fig. 12 Change of RA. (Nodes: 50)

5. まとめと今後の課題

本稿では, 孤立 LAN から MANET を経由してインターネットに接続する環境を想定し, MANET 内の通信品質の向上と, 輻輳の抑制を目的とする, ゲートウェイ間フロー制御方式を提案した.

シミュレーション実験により, 提案方式に用いる, 経路安定度は経路の状態を反映しており, 制御に用いることが可能であることを確認した.

今後は, 経路安定度の式のさらなる改良, 制御方式の実装と, ネットワークシミュレータ ns-3[14]による評価を行

う。実装方式については、クロスレイヤーアーキテクチャを使用することを想定している。また、さらなる通信品質向上のため、送信元と宛先間において、複数の経路を構築して通信を行い、一方の経路が切断された際に、他方の経路を構築して通信を行うことが可能であり、経路切断や、損失パケットに対する再送、輻輳などに対して、ユニバス環境よりも柔軟な対応が可能となる、マルチパス環境[15]における提案方式の実装と評価も行う。また、孤立 LAN が複数存在する場合についても行う予定である。

参考文献

- [1] R. Ramanathan and J. Redi, "A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions," *IEEE communications Magazine*, pp. 20–22, May-2002.
- [2] T. Clausen, C. Dearlove, J. Dean, and C. Adjih, "Generalized Mobile Ad Hoc Network (MANET) Packet/Message Format," RFC5444, Feb. 2009.
- [3] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," IETF, RFC2501, Jan 1999.
- [4] J. Postel, "Transmission Control Protocol," IETF, RFC793, Sep 1981
- [5] G. Holland and N. Vaidya, "Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks," *Proc. 5th Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Mob. Comput. Netw. MobiCom 99*, vol. 8, no. 2/3, pp. 219–230, 1999.
- [6] X. Chen, H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, "TCP performance over mobile ad hoc networks," *Canadian J. Elect. Comput. Eng.*, vol.29, no.1/2, pp.129-134, Jan.-April 2004.
- [7] L. Hanzo and R. Tafazolli, "A Survey of QoS Routing Solution Mobile Ad-hoc Networks," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol.9, no.2, pp.50-70, 2nd Quart. 2007.
- [8] K. Sundaresan, V. Anantharaman, and a. R. Sivakumar, "ATP: a reliable transport protocol for ad hoc networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 4, no. 6, pp. 588–603, Nov. 2005.
- [9] C. Toh, "Associativity-Based Routing for Ad-Hoc Mobile Networks," *Wirel. Pers. Commun.*, pp. 103–139, 1997.
- [10] J. Liu and S. Singh, "ATCP for mobile ad hoc networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.* vol.19, no.7, pp.1300-1315, July 2001.
- [11] W. Su, S. Lee, and M. Gerla, "Mobility Prediction and Routing in Ad Hoc Wireless Networks," pp. 1–31.
- [12] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC3561, July 2003.
- [13] D. Kasamatsu and N. Shinomiya, "Implementation and Evaluation of Emulator for Testing Service Programs in MANET," *Proc. IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)'10*, pp. 496-501, April 2010.
- [14] Network Simulator, ns-3 (<https://www.nsnam.org/>)
- [15] M. Tarique, K.E. Tepe, S. Adibi, and S. Erfani, "Survey of multipath routing protocols for mobile ad hoc networks," *J. Network Comput. Appl.*, vol.39, pp.1125-1143, 2009.