

## 通信品質を考慮したアドホックネットワークのための マルチパスルーティング方式の提案

林英孝 佐藤文明

静岡大学大学院情報学研究所

概要: アドホックネットワークにおけるユニキャストルーティングでは、単一経路を検出するルーティングプロトコルが使用されるのが一般的である。しかし、単一経路検出のルーティングプロトコルでは、リンクの切断やトラヒックの集中によって性能が劣化する。このような性能劣化を防ぐために近年マルチパスルーティングの研究が行われている。しかし、多くのマルチパスルーティングプロトコルでは、データの通信品質には考慮していない。本稿では、マルチパスルーティングに通信品質を考慮し、データの内容によって使用するルートを決定するルーティングプロトコルを提案し検討する。

### Multi-path Routing for QoS Based Ad-hoc Networks

Hidetaka Hayashi Fumiaki Sato

Graduate School of Information, Shizuoka University

Abstract: In unicast routing in an ad-hoc network, it is common that the routing protocol which detects a single route is used. However, in the routing protocol of single route detection, a performance degrades by disconnection, or concentration of traffic. In order to prevent such performance degradation, research of multipass routing is done in recent years. However, in many multipass routing protocols, it is not taking into consideration in the communication quality of service. This paper proposes and examines the multipass routing which determines the route based on the contents of data and quality of service.

#### 1 はじめに

大規模地震災害が発生した場合、災害現場における情報収集および情報伝達は、救助活動やその後の復興作業にとって、非常に重要なものとなる。

必要とされる情報は生存情報、安否情報、緊急通信といった、データサイズは小さいが緊急性を要するものから、倒壊家屋の画像情報や動画情報といった、データサイズは大きいがそれほど緊急性を必要としないものまで様々な情報が考えられる。

このような災害現場等の緊急時に有効なネットワークとして、近年アドホックネットワークの研究が活発に行われている。しかし、アドホックネットワークはその性格上端末の移動によるリンクの切断や、トラヒックの集中によるパケットの衝突によって性能が劣化する。本研究では、このような災害時に使用するアドホックネットワークにおいて、信頼性、高速性の向上のために、複数のルートからアプリケーションの要求(緊急か否か等)に適したルートを選択し、データ送信を行うルーティングプロトコルを提案する。

#### 2 アドホックネットワーク

アドホックネットワーク(図1)とは基地局を必要とせず、端末同士が直接、あるいは、端末が持つ中継機能を利用し無線マルチホップで通信を行うネットワークである。アドホックネットワークは、移動端末のみで構成され、無線回線を利用するという性格上、トポロジの激しい変化に伴うリンクの切断や、トラヒックの集中によるパケットの衝突によって特性が急激に劣化する。

アドホックネットワークにおけるルーティングプロトコルには、テーブルドリブン型とオンデマンド型がある。テーブルドリブン型は、各ノードがパケットの宛先と次ホップノードを対応させるルーティングテーブルを維持し、周期的に更新する。ノードはパケットの宛先からルーティングテーブルを用いて、次ホップノードを決定する。オンデマンド型は、送信ノードがパケット転送要求発生時に受信ノードへのルート発見を行う方式である。送信ノードは問い合わせパケットをフラッディングし、それを受信した受信ノードが応答することでルートを確立する。ネットワークトポロジの変化が激しい場合は、トポ

ログが変化するたびに全端末のルート情報を更新するテーブルドリブン型のルーティングプロトコルはあまり適していない。このため、本研究ではオンデマンド型方式を採用する。

本研究に関連した研究として、マルチパスルーティングの研究がある。通常のエニキャストルーティングプロトコルは、送信者から受信者までのデータ通信に使用される経路は単一であるが、マルチパスルーティングはデータ通信に使用する経路を複数設けることにより、負荷の分散や、通信の安定性の向上をはかるルーティングプロトコルである。マルチパスルーティングに関する研究には様々あるが、オンデマンド型ルーティングプロトコルを用いているものがない。長谷部ら [6] は AODV [3] をマルチパスに拡張した MRAODV (Multiple-Route Ad-hoc On-Demand Distance Vector) プロトコルを提案し、既存の単一ルートプロトコルと性能を比較している。古庄ら [7] は、DSR [2] をマルチパスに拡張した LB-DSR (Load Balancing DSR) を提案し、頻繁に利用される中継ノードと、中継に利用されないノードとのバランスをとっている。Nasipuri ら [1] は、DSR をマルチパスに拡張することで、フラッディングされるクエリの数を軽減させることを研究している。いずれもエニキャストルーティングにおいて複数経路を設けることを提案しており、データ通信の際には適当にパケットを分割して、複数の経路を使用してデータを送信する。本研究では、データ通信の際にアプリケーションの要請に従って、通信品質を考慮して、送信するデータの内容に応じて使用するルートを決める。

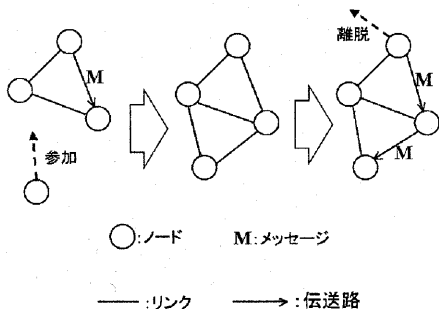


図 1: アドホックネットワーク

### 3 提案方式

本研究ではアプリケーションの要求に従って、送信したいデータの内容に応じてルートを選択する。送信したいデータが緊急を要する場合（安否情報、緊急通信等）は、最短ルートを使用する。送信したいデータが緊急を要さない場合（画像情報等）は非緊急データとして TCP 層に告知される。TCP は非緊急データの場合、IP 層に渡すパケットに非緊急を示すフラグを立て、IP 層に渡される。

IP 層では受け取ったパケットのフラグに従って、フラグが立っていないものは最短ルートを使用し、フラグが立っているものは安定ルートを使用してデータを送信する（図 2）。

#### 3.1 ルーティングアルゴリズム

本研究の提案方式のアルゴリズムは以下のようになる。まず、送信ノードはアプリケーションの送信要求に従ってルート探索を行う。ルート探索によって複数のルートが発見されるが、受信ノードはそれらの中から最も早いルートと最も安定しているルートを選び出す。送信ノードはアプリケーションから送信データが緊急かそうでないか知らされ、緊急データの場合は最短ルートを使ってデータを送信し、非緊急データの場合は最安定ルートを使ってデータを送信する。ルート探索の結果、最安定ルートと最短ルートが等しい場合はそのルートをプライマリルートとし、次に安定、早いルートをセカンダリルートと設定し、データ内容に従ってルートを選択してデータ送信を行う。

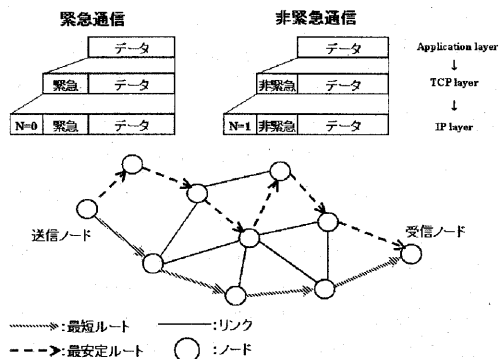


図 2: ルート構築

### 3.2 ルート構築アルゴリズム

通常ルート探索では、RREQをフラッディングによって受信ノードに届けることによって行われる。通常のフラッディングではトラフィックの増大を抑えるために一度中継したRREQは送信しないが、今回は最短経路に加えて、安定したルートを探さる必要があるため、RREQを受信した端末は、同一IDのRREQを複数回中継し、ルートの安定度 $R$ (4.1節で述べる)を計算する。

ルートの構築は以下の処理によって行われる。まず、送信ノードがルート要求パケット(RREQ:Route REQuest packet)をフラッディングした後、RREQを受信したノードはRREQ内の宛先IPを照合し、自分宛か否かを調べる。受信したRREQが自分宛でない場合、中継処理を行い、受信したRREQが自分宛の場合は返信処理を行う。

#### ● 中継処理

受信したRREQのIDが中継履歴に含まれているか調べる。

- 受信したRREQのIDが中継履歴に含まれていない場合は、RREQパケットを中継する。

中継は以下の処理を行う。

1. RREQのIDを自ノード内の中継履歴に追加。
2. 前ノードから受け取った、前ノードの位置関係情報と、自ノードの位置関係情報をもとにルート安定度の計算を行う。

\* リンクの安定度を計算し、自ノード内に記録。

\* ルートの安定度を計算し、RREQに記録。

3. 自ノードの位置関係情報をRREQに記録。
  4. 自ノードアドレスをRREQ内のルートリストに記録。
  5. RREQを再ブロードキャスト。
- 受信したRREQのIDが中継履歴に含まれている場合は、まずルートの安定度 $R$ の計算を行う。

次に、それまでに中継した同一IDRREQに記録されている $R$ と比較する。後から受信したRREQの $R$ の方が、それまでに

受信している同一RREQの $R$ よりも大きい場合は、RREQの中継を行い(図3)、 $R$ が小さい場合はRREQパケットを破棄する(図4)。

#### ● 返信処理

受信ノードは最初のRREQを受信するとRREP(Route REPLY packet)を返信する。その後受信ノードは一定時間RREQを受信し、安定度が最高となるルートを使用してRREPを返信し、それ以降の同一IDRREQは破棄する。

RREQを受信したがRREPを受信しなかったノードはタイムアウトに従ってルーティングテーブルを破棄する。

RREPを二度受信したノード、つまり最短ルートと最安定ルートの両ルートの途中にある中継ノードは、先に受信したRREPに記録されているルートリストを最短ルートと認識する。次に来たRREPに記録されているルートリストは安定ルートと認識し、データ中継の際にはデータパケットヘッダ内のフラグを見て、最短、安定ルートへと中継する。

RREPを受け取った送信ノードはそのルートをルートキャッシュに記録する。

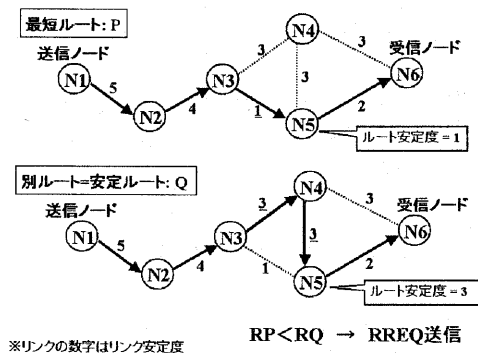


図 3: RREQ 中継

### 3.3 ルート再構築アルゴリズム

データパケット中継ノードはデータパケットの送信に失敗した時、ルート探索を開始する。中継端末によるルート探索が成功した場合、ルート情報を更新しルート更新パケット(RUPD:Route Update packet)を送信ノードに送信する。失敗した場合はルートエラーパケット(RERR:Route ERROR)

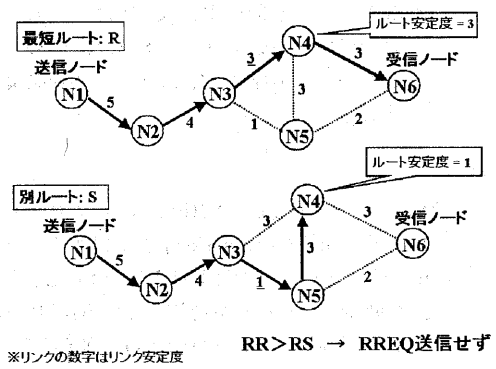


図 4: RREQ 破棄

packet) を送信ノードに送信し、RERR を受信した送信ノードは再ルート探索を開始する。この時、別ルートは維持されている (図 5)。

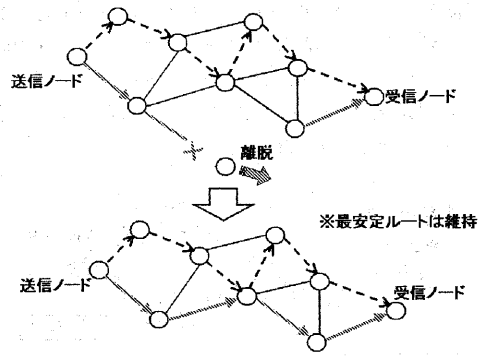


図 5: ルート再構築

## 4 詳細設計

### 4.1 ルートの安定度の計算

RREQ にはそれまで通過してきたルートリストと各リンクの安定度が記録されている。各ノードは、リンクの安定度 (Dt) を計算し、そこからルートの安定度を算出する。

リンクの安定度は、リンクがどれだけ時間通信可能かを表す通信可能時間によって算出する。通信可能時間は FORP[4] で提案されている概念で、電波有効距離を  $r$  とし、図 6 のように端末 1 の移動速度が  $v_1$ 、移動方向が  $\theta_1$ 、座標が  $(x_1, y_1)$  であり、端末

2 の移動速度が  $v_2$ 、移動方向が  $\theta_2$ 、座標が  $(x_2, y_2)$  であるとする。このとき、2 端末が現在の速度と方向で移動を続けると仮定すると、端末 1,2 の通信可能時間  $Dt$  は次式で表される。

$$Dt = \frac{-(ab + cd) + \sqrt{(a^2 + c^2)r^2 - (ad - cb)^2}}{a^2 + c^2}$$

このとき、

$$a = v_1 \cos \theta_1 - v_2 \cos \theta_2$$

$$b = x_1 - x_2$$

$$c = v_1 \sin \theta_1 - v_2 \sin \theta_2$$

$$d = y_1 - y_2$$

である。通信可能時間を計算するためのパラメータは GPS によって取得する。

リンク安定度の計算が終わると、RREQ に記録されているルート安定度  $R$  と比較し、値が小さい方を新たなルート安定度  $R$  として RREQ に記録し、次ノードへ送信する。受信ノードが RREQ を受信した時には、 $R$  は各リンクの安定度の中、最小のリンク安定度を表している。ただし、安定度が最小であるリンクが同一のリンクであった場合はその次に安定度が小さいルートについて比較を行う。

ホップ数  $n$  のルート  $p$  の安定度  $R_j$  は、リンクを  $L$  とすると

$$R_j = \min [Dt(L_1), Dt(L_2), Dt(L_3), \dots, Dt(L_n)]$$

と表すことができる。

受信ノードがルート P とルート Q の 2 ルートから RREQ を受信したとすると、受信ノードはルート P を通って送られてきた RREQ 内の  $RP$  と、ルート Q を通って送られてきた RREQ 内の  $RQ$  を比較して、値が大きい方のルートをより安定しているルートだと認識する。

自ノードに記録されている同一 IDRREQ のルート安定度と比較して、新規のルート安定度の方が大きい場合、つまり新規ルートの安定度が最大である場合 RREQ は中継される。

### 4.2 パケット構造

IP のヘッダにおけるオプションフィールドに記載されている、RREQ パケットの構造は以下のようになる。

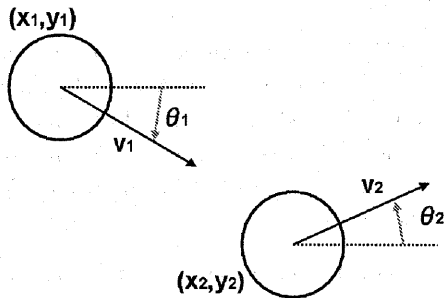


図 6: 通信可能時間

Type	Opt Data Len	F	Identification
Target Address			
ルート安定度:R			
位置関連情報			
Address[1]			
Address[2]			
...			
Address[n]			

- Type field (8bit)
  - パケットが RREQ であることを表す
- Opt Data Len field (8bit)
  - オプション部分の大きさを表す
- F field (2bit)
  - 緊急・非緊急を表すフラグ
  - 緊急時:F=0
  - 非緊急時:F=1
- Identification field (8bit)
  - 送信ノードが RREQ 発行の際に記録するシーケンス番号
- Target Address field (32bit)
  - RREQ を受け取るべきノードのアドレス
- ルート安定度 field (32bit)
  - 中継の際に前ノードとのリンク安定度と比較して、値が小さい方に R は書き換えられて次ノードへ引き渡される
- 位置関連情報 field (32bit)
  - リンク安定度を計算するために必要な情報
  - 座標, 移動速度, 移動方向
- Address[1...n] (各 32bit)
  - データ送信時に使用するルートリスト

- RREQ が中継される度に追加されていく

RREP パケットの構造は以下のようになる。

Type	Opt Data Len	F	Identification
Address[1]			
Address[2]			
...			
Address[n]			

- Type field (8bit)
  - パケットが RREP であることを表す
- Opt Data Len field (8bit)
  - オプション部分の大きさを表す
- F field (2bit)
  - 緊急・非緊急を表すフラグ
  - 緊急時:F=0
  - 非緊急時:F=1
- Identification field (8bit)
  - 送信ノードが RREP 発行の際に記録するシーケンス番号
- Address[1...n] (各 32bit)
  - データ送信時に使用するルートリスト

RUPD パケットの構造は以下のようになる。

Type	Opt Data Len	Error Type	Reserved
Error Source Address			
Error Destination Address			
Address[1]			
Address[2]			
...			
Address[n]			

- Type field (8bit)
  - パケットが RUPD であることを表す
- Opt Data Len field (8bit)
  - オプション部分の大きさを表す
- Error Type field (8bit)
  - エラーの種類を表す
  - 1 = NODE UNREACHABLE
  - 2 = FLOW STATE NOT SUPPORTED
  - 3 = OPTION NOT SUPPORTED
- Error Source Address field (32bit)
  - 送信ノードアドレス
- Error Destination Address field (32bit)
  - 受信ノードアドレス

- Address[1...n] (各 32bit)

- データ送信時に使用するルートリスト

RERR パケットの構造は以下ようになる。

Type	Opt Data Len	Error Type	Reserved
Error Source Address			
Error Destination Address			

- Type field (8bit)
  - パケットが RERR であることを表す
- Opt Data Len field (8bit)
  - オプション部分の大きさを表す
- Error Type field (8bit)
  - エラーの種類を表す
  - 1 = NODE UNREACHABLE
  - 2 = FLOW STATE NOT SUPPORTED
  - 3 = OPTION NOT SUPPORTED
- Error Source Address field (32bit)
  - 送信ノードアドレス
- Error Destination Address field (32bit)
  - 受信ノードアドレス

## 5 まとめと今後の課題

今回、災害時に有用なアドホックネットワークルーティングプロトコルとして、通信品質を考慮してデータ内容に応じてルートを選択するルーティングプロトコルを提案、検討した。今後の課題として以下のようなものがある。

1. シミュレーションによって評価をし、既存のルーティングプロトコルとの比較を行う。
2. 今回は2種類のルートを使用するとしたが、2種類以上のルートを使用した場合の検討および評価。
3. 今回はルートの選択に最短と安定という指標を用いたが、各ノードのバッテリー残量、通信に料金が発生するリンクを含むネットワークなど、他の指標に基づいて複数ルートを設け、アプリケーションの要求に従ってルートを選択するように拡張する。

## 参考文献

- [1] Asis Nasipuri and Samir R.Das “On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks” Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN'99), Boston, October, 1999.
- [2] J.Broch, D.Johnson and D.Maltz, “The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks” IETF Internet Draft.
- [3] perkins, C.E. and Royer, E.M., “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing,” Proc. of IEEE 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.90-100(1999)
- [4] W.Su and M.Gerla, “Ipv6 flow handoff in ad-hoc wireless networks using mobility prediction,” Proc.IEEE GLOBECOM, pp.271-275, Dec.1999
- [5] 箱田 純一, 上原 秀幸, 横山 光雄, “リンクの寿命とノードの負荷を考慮したアドホックルーティングプロトコルの特性評価” 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J85-B No.12 pp.2108-2118 2002年12月
- [6] 長谷部 顕司, 梅島 慎吾, 桧垣 博章, “複数経路を用いた安定なパケット配送のためのアドホックルーティングプロトコル” 情報処理学会第64回(平成14年)全国大会
- [7] 古庄 伸一, 森若 和雄, 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, “負荷分散を考慮したアドホックネットワークルーティングの提案とその予備評価” 情報処理学会システム評価研究会 3-4 pp.19-24 2002年6月