

通信可能時間を考慮したアドホックネットワークにおけるマルチパスルーティング方式の提案

竹内祐司¹

林英孝¹

佐藤文明²

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フィ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、負荷を単純に分散するのみであり、データの特性と通信品質との関係を考慮していなかった。本稿では、マルチパスルーティングにおいて経路の通信可能時間を考慮し、データの内容によって使用するルートを決するルーティングプロトコルを提案し、シミュレーションによって評価した。

Multi-path Routing for Ad-hoc Networks Based on the Available Time for Communication

Yuji Takeuchi¹

Hidetaka Hayashi¹

Fumiaki Sato²

Abstract: In unicast routing for ad-hoc networks, it is common that the routing protocol detects a single route. 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 multipath routing protocols, it is only balancing load simply, and it is not taking into consideration in the relation between the characteristic of data and communication quality of data. This paper proposes and evaluates the multipath routing which determines the route based on the contents of data and the available time for communication of route by performing simulations.

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。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情報や、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けれども緊急性を必要としない情報など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端末の移動によるリンクの切断や、トラフィ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ルートからアプリケーション

の要求（送信）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し、評価を行う。

2 アドホックネットワーク

アドホックネットワーク [1,2] 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て無線マルチホップで通信を行うネットワークである。通常、アドホックネットワークで利用されるルーティングプロトコルは、単一経路検出プロトコルである。しかし、端末の移動等による無線信号到達範囲の変動や端末の電源断などによりリンクが頻繁に切断される。また、多数の端末が無線通信を行うことで、ネットワークの一部にトラフィックが集中してパケットの衝突が起こることがある。これらの要因により、ネットワークの性能劣化が生じてしまう。

これらの問題を軽減するためにマルチパスルーティングの研究が行われている [3,4,5]。しかし、通

¹静岡大学大学院情報学研究所

Graduate School of Information, Shizuoka University

²静岡大学情報学部

Faculty of Information, Shizuoka University

信品質に対して考慮されておらず、例えば、災害地等で緊急に送りたいデータが他のデータとともに複数経路で送信され、緊急データが送信待ちになってしまう可能性がある。

本研究では、データ通信時にアプリケーションの要請に従って通信品質を考慮し、送信データの内容に応じて使用ルートを決定することで緊急情報等の迅速な送信を可能にするルーティングプロトコルを提案する。

3 提案方式

本研究では複数のパスから、最短ルートと安定ルートを判別し、それぞれルートを構築する。始点ノードはデータ送信の際に、緊急に送りたいデータ(緊急データ)なのか、緊急で送らなくてもよいデータ(非緊急データ)なのかを設定する。緊急データは最短ルートを使用してデータパケットを送信し、非緊急データは迂回ルートを使用してデータパケットを送信する。よって、従来方式の単一経路を使用するために非緊急データの流れが緊急データの送信を抑制していた問題が改善され、使用目的に適したルートの選択が可能になる(図1)。

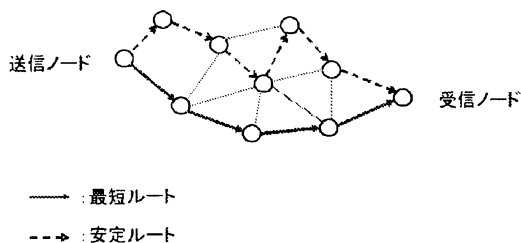


図1: 提案方式

3.1 ルート判別方法

3.1.1 最短ルートの判別

ルートを構築したときの、ルートのホップ数が最小なルートを最短ルートとする。各ノードは、ルートキャッシュ時に、ホップ数の小さい順にルートをルートキャッシュの先頭から並び替える。ソースノードが緊急データを送信するときは、ルートキャッシュ中の目的ノードアドレスを含むルートの内、一番先頭のルートを選択することで、最短ルートが選択さ

れる。

3.1.2 迂回ルートの判別

迂回ルートに、切断されやすいルートを選択するとすぐに切れて最短経路を使用することになる。よってできるだけ切れにくい、つまり安定したルートを選択する必要がある。安定ルートは、ルートを構築したときに、以下に説明するルート安定度が最も高いルートを安定ルートとする。ソースノードが非緊急データを送信するときは、ルートキャッシュに記録されているルートの内、ルート安定度が最も高いルートを選択することで、安定ルートが選択される。

○ルート安定度の計算

ルート探索時のルート要求パケット (RREQ:Route REQuest packet) には、通過してきたルートリストと各リンクの安定度の最小の安定度が記録されている。各ノードは、リンク安定度 (D_t) を計算し、それによってルートの安定度を得る。リンク安定度はリンクがどれだけの時間通信可能である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[6,7]で提案されている概念で、ある2端末間の距離が電波有効距離以下であり続ける時間を表す。電波有効距離を r とし、図2のように端末1の移動速度が v_1 、移動方向が θ_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 θ_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 D_t は次式で表される。

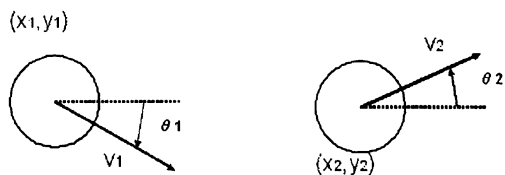


図2: 通信可能時間算出パラメータ

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

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。a,c は 2 端末の x 方向, y 方向における相対速度を表し, b,d は 2 端末の x 方向, y 方向における距離を表している。図 3 では, 端末 1 が端末 2 の電波有効距離を越えるまでの時間が通信可能時間となる。なお, 通信可能時間を計算するためのパラメータは GPS によって取得するものとし, 各端末の電波到達距離は等しいものとする。リンク安定度の計算が終わると, RREQ に記録されているリンク安定度 D_t と比較し, 値が小さい方を新たなルート安定度 D_t として RREQ に記録し, 再ブロードキャストする。目的ノードが RREQ を受信した時には, D_t は各リンクの安定度の内, 最小のリンク安定度を表している。目的ノードは RREQ に記録されていた D_t をルート情報と共に RREP に記録してソースノードへ返送する。RREP を受け取ったソースノードは, 各ルートに付加されている D_t の値の内, 最大の値となるルートを選択することで, 安定経路の選択が可能となる。ホップ数 n のルート j の安定度 R_j は, リンクを L とすると

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

と表すことができる。目的ノードがルート p, q の 2 ルートから RREQ を受信したとすると, 目的ノードは R_p と R_q を比較し, 値が大きい方のルートをより安定したルートだと認識する。

3.2 ルーティングアルゴリズム

3.2.1 経路発見

・ RREQ の送信

送信者はデータパケットの送信要求が発生すると, 自身が保持するルートキャッシュを見て, 受信者宛でのルートが存在するか確認する。すでにルートが構築されている場合はルートキャッシュに記録されているソースルートを使用してデータを送信する。ルートキャッシュにルートが記録されていない場合, RREQ を生成・フラッディングする。

- このとき RREQ に現在の位置関連情報 (x 座標, y 座標, 時間), 以前何らかの packet 受信時の位置関連情報を記録する。

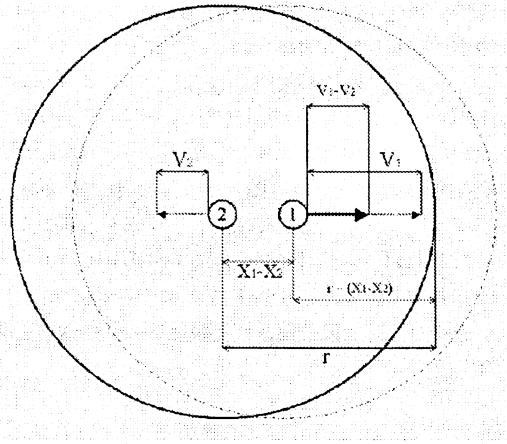


図 3 : 通信例

・ RREQ の中継

RREQ を受信したノードは, 受信した RREQ が自身宛てのものかターゲットアドレスを見て確認する。自身宛てでなければ, 既に送信した RREQ かどうか送信履歴を見て確認する。送信済みなら RREQ を破棄する。未送信なら RREQ を中継する。受信した RREQ に記録されている前ノードの位置関連情報と自分の位置関連情報からリンク安定度を計算する (図 4)。

- 始点端末の隣接端末はリンク安定度をルート安定度として RREQ に記録

- 隣接端末でなければ, RREQ に記録されているリンク安定度と計算で得たリンク安定度の小さい方をルート安定度として RREQ に記録

・ RREQ の受信

RREQ を受信したノードは, 受信した RREQ が自身宛てであれば, RREP を生成する。

・ RREP の送信

自分宛ての RREQ を受信したノードは, RREP を生成し, RREQ の送信元ノードに RREP を送信する。

- このとき RREP パケットに RREQ のルート安定度を記録する

・ RREP の中継

RREP を受信したノードは, 受信した RREP が自身宛てのものかターゲットアドレスを見て確認する。自身宛てでなければ, RREP を中継する。

・RREP の受信

RREP を受信したノードは、受信したノードが自身宛てであれば、RREP のソースアドレスがルートキャッシュにあるか確認する(同じ宛て先へのルートがあるか確認)。同じ宛て先へのルートが存在しない場合、RREP のルートをキャッシュに記録する。存在する場合、その RREP に記録されているルートがルートキャッシュに存在するルートと別のルートであれば、ルートキャッシュに RREP のルートを記録する。また、RREP を初めて、受信すると、データバッファに蓄積されていたデータの送信を開始する。

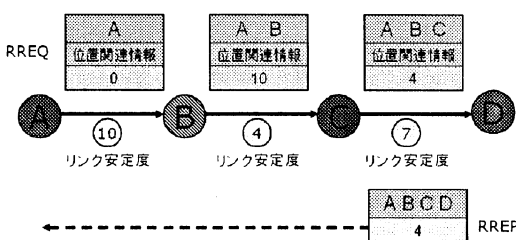


図 4 : 経路発見

3.2.2 経路保全

・RERR の送信

リンク切断が検出されると、リンク切断を検出したノードは、ソースから自分までのルートを RERR に記録して、ソースへ送信する。

・RERR の中継

RERR を受信したノードは、RERR に記録されているルートをルートキャッシュから削除し、RERR のターゲットアドレスと自分のアドレスが一致しなければ RERR を中継する。

・RERR の受信

RERR を受信したノードは、RERR に記録されているルートをルートキャッシュから削除し、自分宛てに送られてきた RERR の場合は(自身がソースノード)、RERR を破棄する。

4 評価

本研究が提案するルーティングプロトコルについて、glomosim シミュレータを用いて、性能を評価

した。Glomosim(Global Mobile Information System simulator) は、UCLA(University of California, Los Angeles) が C 言語で実装した無線ネットワークシステム環境のスケラブルなシミュレータである。

4.1 緊急データ転送ホップ数の評価

緊急データパケットが始点端末から終点端末まで転送されるホップ数を計測して、提案方式の有効性を評価した。端末の移動量、送信データ量、端末数、の3つを変化させて評価を行った。それぞれ単一経路を用いて、緊急データも非緊急データも転送する場合と、提案方式で緊急データの50%を緊急用経路、残りを安定経路に転送する場合とを比較した。

4.1.1 端末の移動量による評価

CBR で毎秒 33Packet データパケットを送信し続けた時の、移動端末の静止時間に応じた緊急データ転送にかかるホップ数を測定した。シミュレーション条件は表1の通りである。結果を図5に示す。結果から端末の移動量に関わらず、単一経路でデータを送信するときと比べて、提案方式では、緊急データの平均ホップ数が小さくなっており、緊急データは最短経路で送信されていることが分かる。

表 1 : シミュレーション条件 1

時間	20Minutes
範囲	3000*3000m
端末数	75 端末
端末初期配置	UNIFORM
移動モデル	RANDOM-WAY-POINT
最小移動速度	0.1m/s
最大移動速度	2m/s
無線電波距離	346m
データパケットサイズ	1460Byte
無線帯域	2Mbps
MAC 層プロトコル	802.11

4.1.2 データパケット送信量による評価

CBR でデータパケットを送り続けたときの、移動端末のデータパケット送信量に応じた緊急データのホップ数を測定した。シミュレーション条件は表1の通り。結果を図6に示す。単一経路時に比べて提案方式では、緊急データの平均ホップ数が小さく

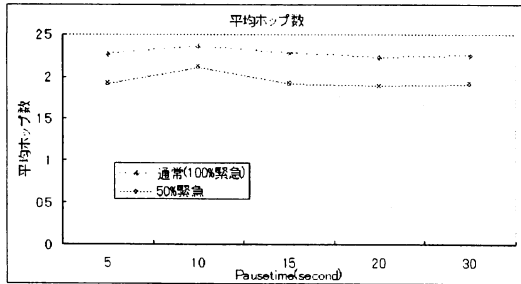


図5：単一経路による通常状態と50%緊急データ送信した時のホップ数

なっており、緊急データは最短経路で送信されていることが分かる。単一経路の場合、全てのデータを単一経路で送信するために中継端末にかかる負荷が増大し、中継処理の限界を超えてリンク切断とみなされることがあるが、提案方式では、非緊急データが緊急データの送信を妨げないように迂回して送信されるため、緊急データの送信経路上にある中継端末が中継処理を行うことができたためだと考えられる。

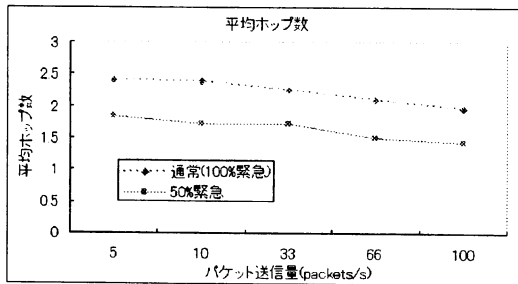


図6：単一経路による通常状態と50%緊急データ送信した時のホップ数

4.1.3 端末数による評価

CBRで毎秒33Packetデータパケット送り続けた時の、移動端末の端末数に応じた緊急データのホップ数を測定した。シミュレーション条件は表2の通り。その結果、単一経路時に比べ、提案方式では、緊急データの平均ホップ数が約10%小さくなっており、緊急データは最短経路で送信されていることが分かった。また、端末数の増加に従い、単一経路

を使用した場合と提案方式を使用した場合の、平均ホップ数の格差が大きくなることが分かった。このことから、端末数が増えると、両者ともにホップ数が増加するものの、提案方式によって経路が短縮される割合も増え、端末数が多い場合に提案方式の有効性がより顕著に現れることが認められる。

表2：シミュレーション条件2

時間	20Minutes
範囲	3000*3000m
端末初期配置	UNIFORM
移動モデル	RANDOM-WAY-POINT
静止時間	1sec
最小移動速度	0.1m/s
最大移動速度	2m/s
無線電波距離	346m
データパケットサイズ	1460Byte
無線帯域	2Mbps
MAC層プロトコル	802.11

4.2 非緊急データパケット到着率の評価

非緊急データが終点端末に届いたパケット到着率を計測して、提案方式の評価をした。端末の移動量、送信データ量の2つを変化させて評価を行った。提案方式において緊急データを50%、非緊急データを50%送信した場合と、比較対象として、迂回経路を最短経路の次に短い経路に設定して緊急データを50%、非緊急データを50%送信した場合について、非緊急データのパケット到着率を計測した。

4.2.1 端末の移動量による評価

CBRで毎秒33Packetデータパケットを送信し続けた時の、移動端末の静止時間に応じた非緊急データパケットの到着率を測定した。シミュレーション条件は表1の通り。その結果、端末の移動量が減少するに従って到着率は増すものの、提案方式の到着率は迂回経路に最短経路の次に短い経路を使用した場合とほとんど変わらない到着率という結果が得られた。

4.2.2 データパケット送信量による評価

CBRでデータパケットを送り続けた時の、移動端末のデータパケット送信量に応じた非緊急データ

パケットの到着率を測定した。シミュレーション条件は表1の通り。その結果、送信するパケットの量が少ない場合では両者とも到着率は変わらないが、送信パケット量の増加にともない提案方式の方が約10%高いパケット到着率を得る結果となった。

4.3 考察

緊急データについては、緊急データパケットの転送にかかるホップ数について、端末の移動量、送信データ量、端末数の3つの視点から評価を行った。その結果、いずれの条件においても提案方式の方が優れている結果が得られ、提案方式の有効性が認められた。非緊急データについては、端末の移動量、送信データ量の2つの視点から非緊急データの到着率を測定して評価を行った。評価の結果、到着率に大きな差異は見られなかった。原因として、今回のシミュレーションでは、全端末がそれぞれ同じ確率でランダムに移動するため、安定経路でも、2番目に短い経路でも、同等にリンク切断の可能性があったと考えられる。しかし、実際には移動の頻繁な地域と移動が少ない地域が想定されるため、実際の使用では提案方式により、非緊急データを送信する経路はリンク切断の可能性が低い経路が選択され、パケット到着率は向上するものと考えられる。

5 まとめ

本研究では、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を提案した。この方式は、複数パスの中から送信データの内容に応じて緊急経路と非緊急経路を選択してデータ送信を行う。送信者は、通常は最短経路を用いてデータ送信するが、緊急データ送信の必要が生じると、緊急でないデータは非緊急経路に迂回して送信することで、緊急データの迅速な送信を促す。非緊急データ送信に用いる非緊急経路については、迂回路であるため緊急経路よりもホップ数は増えるが、できるだけリンクの切断を防ぐため、ルート安定度という指標を用いてより安定したルートを使用する。ルート安定度は、経路の安定性を示す指標で、経路中の各リンク安定度の内の最小のものである。リンク安定度は、隣接する二つの端末がどれだけの間通信可能かを示す指標であり、隣接ノード間の相対速度と電波到達距離から得ることができる。

シミュレーションによる評価で、どのような状況でも、単一経路使用プロトコルに比べて、提案方式の方が、緊急データがより少ないホップ数で送信されることが確認でき、提案する方式の有効性が認められた。

参考文献

- [1] J.Broch, D.Johnson and D.Maltz, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks" IETF Internet Draft.
- [2] 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)
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] W.Su and M.Gerla, "Ipv6 flow handoff in ad hoc wireless networks using mobility prediction" Proc.IEEE GLOBECOM, pp.271-275,Dec.1999
- [7] 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