

## 移動性によって端末をグルーピングした無線経路制御手法

古庄伸一<sup>1)</sup> 北須賀輝明<sup>2)</sup> 中西恒夫<sup>2)</sup> 3) 福田晃<sup>2)</sup>

- <sup>1)</sup> 九州大学大学院システム情報科学府  
<sup>2)</sup> 九州大学大学院システム情報科学研究院  
<sup>3)</sup> 九州大学システム LSI 研究センター

### 概要

アドホックネットワークではアクセスポイントなどのインフラストラクチャの必要なしに自己適応的にネットワークを構成できる。電源に制約があるモバイル環境にありながらルーティング処理などを行わなければならないため、効率的な経路制御が必要になる。アドホックネットワークの利用が予想される環境の市街地では、建物や道路などの制約により端末はある程度制限された移動性を持っている。速さや向きなどの端末の移動情報を利用することでより効率的な経路制御が可能になると考えられる。本稿では移動端末の情報からリンクの切れにくい経路を選択する経路制御手法と、近隣端末の移動情報から端末をグルーピングして調停端末を選択し、他の端末の無線を切ることで電力消費を抑える手法を提案する。

## Mobility Based Algorithm for Mobile Ad Hoc Network

Shinichi Furusho<sup>1)</sup>, Teruaki Kitasuka<sup>1)</sup>, Tsuneo Nakanishi<sup>1)</sup> 2), Akira Fukuda<sup>1)</sup>

- <sup>1)</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University  
<sup>2)</sup> System LSI Research Center, Kyushu University

### Abstract

In the ad hoc network, mobile hosts can construct networks by self-organizing method and need no network infrastructure. Efficient route control is required because mobile hosts have to perform processing that requires load in the environment where they work only with their battery. Mobile hosts are subjects to restriction for their movement due to limitation such as a building and a road in a town where ad hoc network is expected to be used. It is thought that more efficient course control is attained by using the movement information, such as speed and direction of a host. In this paper, we propose two techniques. One is the route selecting technique that choose the route which consists of stable links from movement information. Another is the technique to hold down power consumption by choosing a coordinator from groups created using movement information and turning off other hosts' radio.

## 1 はじめに

携帯電話が広く普及し、最近ではホットスポットを利用した IP 電話やデータ通信などの新しいサービスが普及しはじめています。無線 LAN や Bluetooth はその便利さと手軽さによってオフィスや家庭で広く利用されている。また自動車に搭載された機器から通信を行い情報をやり取りするサービスなども始まり、ネットワークの形態も多様化してきている。

アドホックネットワークも新しい分野として研究

されている。モバイルアドホックネットワークでは、アクセスポイントなどのルーティングを管理するインフラストラクチャーの必要なしに、端末が集まった時点でネットワークを構成し通信を行うことができる。各ホストがデータを中継することで直接通信できない相手と通信を行うことができる。

アクセスポイントなどのインフラストラクチャーがなくホストやパケットなどが管理されていないため、各ホストはルーティングの機能を持っている。ルーティングはフラッディングと呼ばれるブロードキャストを基本としている。しかし、フラッディン

グによる通信は計算機資源やネットワーク帯域を浪費し、ネットワーク中に氾濫したパケットの衝突による通信障害の原因になる可能性が高い [1]。これらの問題を解決するためこれまで多くのルーティング手法が提案されている [2, 3]。

端末を持ち歩く人の移動性を考えると、徒歩であったり、自転車、自動車であったりとその速度は様々である。また、路上では道に沿って前方と後方の2方向に動く人がほとんどであったり、端末で同じサービスを利用する人はグループとなり同じ方向に移動することもある。これまでアドホックネットワークルーティングの研究では端末の移動性については議論されることが少なかった。我々は移動端末の速さや向きなどの情報からリンクの切れにくい経路を選択する経路制御手法を提案する。

また、近隣端末の移動情報から端末をグルーピングして調停端末を選択し、他のアイドル状態にある端末の無線を切ることで電力消費を抑える手法を提案する。

## 2 関連研究

現在、アドホックネットワークのルーティングにはトポロジを調べリンクの状態を常に管理する Proactive 方式 [4, 5, 6] や送信要求が起こったときに探索を行い経路を確立する On-demand 方式 [7, 8]、また、位置情報を利用する方式 [9, 10, 11, 12] など様々な方法が提案されている。

DSR[7] は On-demand 方式のソースルーティングプロトコルである。パケットの送信要求が起こった際に経路探索を行うためのクエリパケットをフラディングする。パケットを受け取ったノードは自分の ID をパケットに追加してまわりに再ブロードキャストする。最終的に宛先にパケットが到達したときパケットに経路がリストされている。その後、宛先から送信元へ返信パケットが送られる。この中には先程得られた送信元から宛先までの経路情報が格納されており、送信元はこのパケットを受け取って宛先までの経路を知ることができる。

またルーティングによらず、無線の状態にあわせて電力を調整することで省電力化を図る研究も行われている。端末では無線がアイドル状態においても電力を消費しており、無駄が生じている。そこでアイドル状態では無線を眠らせることで電力消費を抑

えることができる。Span[13] では全ノードの中からコーディネータをいくつか選出し、コーディネータ以外の端末では無線を Power Saving Mode(PSM)[14] に設定して、低消費電力化を図っている。そしてコーディネータがネットワークのバックボーンとしてルーティングを行っている。端末を PSM にすることで到達不可能な端末がでてくることがないようにコーディネータを選出する必要がある。Span では端末の隣の2端末が互いに直接もしくは他のコーディネータを通じて通信できないときに、その端末はコーディネータに立候補する。その際、余計な端末が同時にコーディネータにならないように端末の残電力量やまわりの端末への貢献度などの優先度を定める処理を行っている。その他に位置情報を利用する GAF[15] や近くのノード数から判断する AFECA[16]、PAMAS[17] などが無線の電力調整で省電力化を行う研究としてあげられる。

これまで、端末の移動性を評価する際にはランダムウェイポイント方式が多く用いられてきた。ランダムウェイポイント方式では、端末はまず目的地を決定しそこに向かって一定の速さで移動する。速さは定義された最高速度以下でランダムに選ばれる。目的地に到着すると一定のポーズタイムの間そこにとどまり、その後再び目的地を決定し動き出す。

現実の様子を考えると、端末は本当にランダム方向に向かって移動しているとは言いがたい。街では建物や道路などの制約によりある程度制限された移動性を持っている。この移動性を考慮することでネットワークの性能が向上する経路制御が可能になると考える。

## 3 提案方式

端末の移動性を考慮したルーティングと移動性によって端末をグルーピングしてコーディネータを選出する手法を提案する。

端末が移動していると、互いに送信半径外に移動したとき通信が途切れてしまう。本稿では端末間の相対速度に注目し、全てのノードに隣ノードとの相対速度を Mobility 値として持たせることとする。Mobility 値が大きい程隣ノードとのリンクが途切れる可能性が大きい。すなわち相対速度が一定であると仮定すると、Mobility 値が大きい程隣ノードとのリンクが途切れるまでの時間が短いと言える。そこ

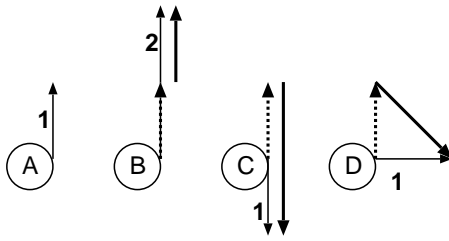


図 1: 相対速度

で、経路選択時になるべく低い Mobility 値を持つ端末を中継ノードに選ぶことで経路を途切れにくくする。

ルーティングの際に ROUTE REQUEST パケット (RREQ) を受け取ったノードは、Mobility 値を考慮して隣ノードとの相対速度が大きいときにはパケットを破棄する。また、宛先に届いた中で最も累積 Mobility 値が小さい経路を選択する。

Span は必要最小限の端末をネットワークのバックボーンとして起こしておき、その他の端末を眠らせる事で不要な電力の消費を抑えることができる。しかし、端末が移動してトポロジの状態が変化するとコーディネータが変更されるため、端末の移動性が高い環境ではコーディネータの変更が頻繁に行われる。コーディネータの変更に伴うリンクの切断はネットワークの性能低下につながる。

そこで移動性から端末をグルーピングし、グループ内でコーディネータを選出することで頻繁にコーディネータが変更されることを防ぎ大きな処理の実行を避けることができる。

### 3.1 相対速度

各ノードは隣ノードとの相対速度を Mobility 値として保持する。Mobility 値が大きいとそのリンクは切れやすいと考えられる。よって Mobility 値の小さいノードを中継ノードとする経路を選択することでリンクが切れにくい経路を構築することが出来る。

ここで相対速度を 2 ノード間の移動ベクトルの差の絶対値とする。図 1 でノード A、ノード B、ノード C、ノード D の移動速度をそれぞれ 1, 2, 1, 1 とすると、ノード B のノード A に対する相対速度は 1、ノード C のノード A に対する相対速度は 2、ノード D のノード A に対する相対速度は 1.414 である。

On-demand 方式ではリンクが切れると、経路

を確立するために再ルーティングを行う必要がある。リンクが切れにくくなればエラーに関する処理 (ROUTE ERROR パケットの伝播) や再ルーティングの処理が減り、ノードの負荷を削減し、パケットの輻輳を回避することができると考えられる。また再ルーティングによって起こる遅延もなくすることができる。提案方式ではルーティングの際に各ノードで Mobility 値と閾値を比較する。Mobility 値が閾値を越えていたらパケットを破棄する。これでこのリンクは通信経路に使われることはない。Mobility 値が閾値を越えていなければ Mobility 値をパケット中の累積コストに加算し、RREQ を再ブロードキャストする。宛先に到着した RREQ で累積コストの最も低い経路を通信に用いる。

ノードが Mobility 値を考慮してパケットを破棄することにより、ある速度以上で互いに離れていく傾向にあるノードや移動速度の速いノードが中継ノードに選ばれることがなく、また宛先に届いたパケットの中で最も累積コストの小さい経路を選択することで通信路全体で比較的同じ移動性を持つ経路を作ることができる。

RREQ をフラッディングする時に設定する Mobility 値の閾値を低く設定すると破棄される RREQ が増加しより移動性の近いリンクを選ぶことができるが、宛先に届く可能性が低くなり、本来存在する経路を発見できなくなる。逆に、閾値を高く設定すると宛先に届く可能性は高くなるが Mobility 値の大きいノードを中継ノードに選んでしまい、その後リンクが切れて再ルーティングを行わなければならない。よって、最適な閾値を選ぶことが重要になる。

Proactive 方式ではリンク状態をチェックして経路情報を常に保持しようとするため端末の移動性が高い環境では頻繁にパケット交換が行われ、膨大な制御パケットがネットワークに氾濫する。すぐに切れるようなリンクはその情報を保管するための制御処理ばかりかかり、実際の通信を行う経路としては貢献度が低い。提案方式では端末がリンク状態の変化を確認しても Mobility 値が閾値を越えていない場合のみその情報をブロードキャストする。Mobility 値が閾値を越えていればブロードキャストは行わない。これによって余計な制御パケットを削減することができる。

無線の電力を調整し省電力を図る方式では、眠っている端末はルーティングに参加しないのでネット

ワークの連結性を保つためコーディネータの選出が重要になる。トポロジが変化するとコーディネータが変更され、通信経路も変更される。コーディネータの選出の処理が行われる間リンクが途切れることになる。移動性の高い環境ではコーディネータの変更が頻繁に行われ、ネットワークの性能が低下すると考えられる。そこで Mobility 値によって移動性を測定し、端末をグルーピングしてグループごとにコーディネータを選出する。グループ内でのトポロジの変化が少なく、コーディネータが変更されることが減る。

### 3.2 相対速度を利用した経路選択

DSR を基本としたオンデマンドルーティングを行う。送信元ノードはルートを確認するため RREQ をブロードキャストする。DSR では宛先でないノードが RREQ を受け取ると、それが重複していないか (既に同じパケットを受け取っているか) チェックし、重複していない場合は転送する。この時自身のノード ID をパケットのヘッダに追加する。最終的に RREQ は宛先ホストに到着する。この時ヘッダに含まれているノード ID のリストが送信元ノードから宛先ノードまでの経路を示している。提案方式では、まず閾値を設定し RREQ のヘッダ内に含める。宛先ホストでないノードがこれを受け取ると、DSR の処理に加え Mobility 値と閾値を比較し、Mobility 値が閾値を越えていたらパケットを破棄する。また Mobility 値が閾値を越えていなければ、Mobility 値をパケット中の累積コストに加算し再ブロードキャストする。最終的に宛先に届いたパケットの内、累積コストの低い経路を通信に用いる。

経路発見時に Mobility 値の小さいものを選択することによって構築された経路は、比較的同じ方向に向かうノードから成るグループを成す。

図 2 に提案方式のルーティングの様子を示す。送信元 S から宛先 D へルーティングを行っている。ノード S からの RREQ を受け取ったノード A とノード B は Mobility 値を計算する。この場合ノード A の S に対する相対速度は  $4\text{m/s}$  なので Mobility 値は 4、同様にノード B の S に対する Mobility 値は 2 である。この値は閾値よりも小さいので、累積コストにそれぞれ 4, 2 を加算して RREQ を転送する。ノード A からの RREQ を受け取ったノード C

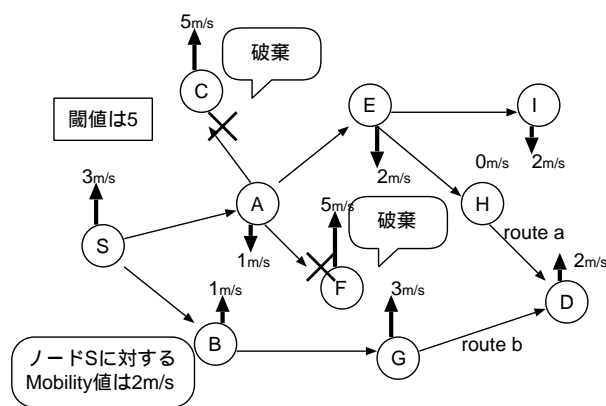


図 2: 端末の移動を考慮したルーティング

とノード E, ノード F も同様の処理を行うが、ノード C とノード F の場合ノード A に対する Mobility 値は 6 であり、閾値を超えているので RREQ を破棄する。ノード E は Mobility 値 1 を加算し、RREQ の累積コストは 5 となる。

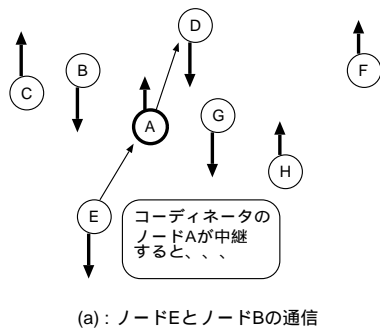
最終的に、宛先 D に届いた RREQ は S A E H D のルート a と S B G D のルート b である。ルート a の累積コストは 9, ルート b の累積コストは 5 であることが分かり、ルート b が経路に選ばれる。

### 3.3 相対速度を利用したコーディネータ選出方式

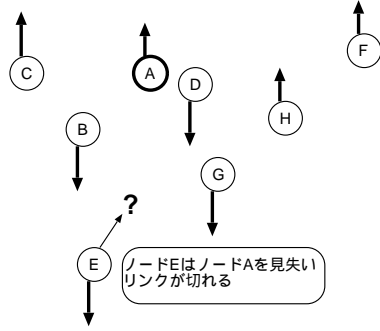
Span は端末がアイドル時間に眠ることで省電力を実現している。しかし、トポロジが変化するたびにコーディネータは変更され、その結果経路も変更される。コーディネータ選出の処理の間リンクが途切れ修復を待たなければならない。移動性の高い環境ではコーディネータの変更が頻繁に起こり、ネットワークの性能が低下すると考えられる。

提案方式では、まず移動性によって端末をグルーピングし、それぞれのグループごとにコーディネータを選出する。この結果各々のグループは同じ移動性をもっているためグループ内でのトポロジの変化が少なく、コーディネータが変更されることは少なくなる。

図 3 の (a),(b) に Span の様子と図 4 の (c) に提案手法の様子を示す。(a) ではノード C がコーディネータとなっており、ノード A とノード E が通信す



(a): ノードEとノードBの通信



(b): x秒後

図 3: Span

るときノード C が中継している．ある時間が経過すると (b) のようになる．このときノード A とノード E は通信できなくなり，新しくコーディネータが選出されるまで通信できない状態が続く．(c) では移動性によってノード A,B,E とノード C,D にグルーピングされそれぞれにコーディネータを選出している．ノード A とノード E の通信の際の中継役にはノード B が担当し，その後移動した後もコーディネータの変更を必要とせず通信を続けることができる．

ノード E のリンク内にはノード A とノード B の 2 つのコーディネータが存在し宛先まで複数の経路が存在しているが，前述のルーティングを行うことによって効率の良いコーディネータを選択することができる．

## 4 評価

### 4.1 実験環境

3.2 節で提案した相対速度を利用した経路選択方式の評価を行った．1000m × 1000m のフィールドにランダムにノードを設置しシミュレーションを行っ

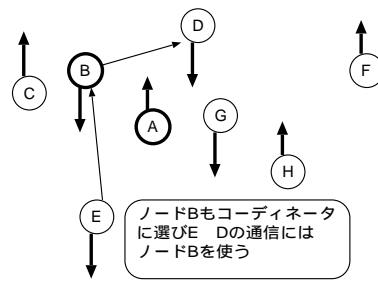


図 4: 提案手法

た．送信元は Constant Bit Rate(CBR) で，512bit のデータパケットを毎 4 つ送信する．コネクション数は 10 である．各ノードは速さ 10m/s(36km/h) で，Y 軸方向のみに移動を制限されたランダムウェイポイント方式で移動する．ポーズタイムは 30 秒である．ノードの送信半径は 250m，シミュレーション時間は 300 秒である．

### 4.2 メッセージ到達率

図 5 にシナリオを変えた時のメッセージ到達率を表す．テスト 1 から 7 までシナリオを変更し提案方式と DSR の結果を比較している．それぞれのシナリオでは初期配置，移動パターンが異なる乱数によって決められる．またテスト 1 はノード数 100，テスト 2 はノード数 110，テスト 3 はノード数 120，以下同様にノード数を変更した．DSR，提案方式いずれについても到達率の変化の傾向に一貫性がなく上下しているが，これはノード数とは関係がなく，そのときのノード配置や移動パターンに関係しているためと考えられる．提案方式ではテスト 2 は 18.3%，テスト 5 は 16.0%到着率が改善している．しかし，テスト 4 は 13.7%低下している．平均 3.4%の改善が見られる．

テスト 4 で DSR の到達率が提案方式の到達率を上まわっているのは，提案方式は経路選択時に相対速度にのみ注目したため，ホップ数の大きい経路でも選択されたためと考えられる．ホップ数が大きくなるとそれだけリンクが切断される可能性が増える．そのためホップ数も経路選択の判定基準に定める必要がある．できるだけホップ数が小さいものの中で相対速度を利用して経路を選択できれば，従来手法より到達率が低くなる場合が起こることはなくなると考えられる．

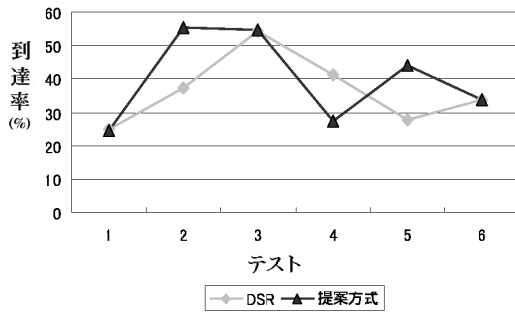


図 5: メッセージ到達率

## 5 おわりに

本稿では移動端末間の相対速度に注目した経路制御手法を提案した。ルーティングにおいては相対速度の小さいリンクを経路として選択する。また、相対速度を利用して端末をグループに分けグループからコーディネータを選択する。評価では相対速度を利用したルーティングのシミュレーションを行った。今回は経路選択時には相対速度のみに注目したためホップ数の大きい経路でも選択される結果になった。ホップ数の大きい経路はリンクが切断される可能性が増える。

今後の課題としてホップ数をできるだけ抑えたままで切れにくい経路の撰択をするために経路選択時に相対速度とホップ数を関係づけを行わなければならない。また、今回はノードは移動速度や向きを取得できると仮定している。現在の実環境にある機器で取得するのは難しいので、そのためのなんらかの方法を考える必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B)(2) 課題番号: 12480099) および笹川科学研究助成による助成を受けている。

## 参考文献

- [1] N.Sze-Tao, T.Yu-Chee, C.Yuh-Shyan, S.Jang-Ping, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking(MOBICOM), pp.151-162, 1999.
- [2] C.E.Perkins, "Ad Hoc Networking", Addison Wesley, 2000.
- [3] D.B.Johnson, "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts", Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.158-163, 1994.
- [4] C.E.Perkins and P.Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", Proc.SIGCOMM, pp.234-244, 1994.
- [5] G.Pei, M.Gerla and T.W.Chen, "Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks", Proc ICC 2000, New Orleans, LA, June 2000.
- [6] P.Jacquet et al., "Optimized Link State Routing Protocol", draft-ietf-manet-olsr-05.txt, Internet Draft, IETF MANET Working Group, Nov. 2000.
- [7] D.B.Johnson and D.A.Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks", Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [8] C.E.Perkins and E.M.royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing", Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt, 1998.
- [9] J.C.Navas and T.Imielinski, "Geographic Addressing and Routing", Proc.3rd ACM/IEEE Int'l.Conf.MobileComp.Net., Budapest, Hungary, Sept.26-30, 1997.
- [10] Y.B.Ko and N.H.Vaidya, "Location-aided Routing in Mobile Ad Hoc Networks", ACM/IEEE Int'l.Conf.Mobile Comp.Net., 1998, pp.66-75.
- [11] S.Basagni et al., "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility(DREAM)", ACM/IEEE Int'l.Conf.Mobile Comp.Net., 1998, pp.76-84.

- [12] B.Karp and H.T.Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", Proc.6th Annual Int'l.Conf.Mobile Computing and Networking(MobiCom 2000), Boston, MA, USA, 2000, pp.243-54.
- [13] B.Chen, K.Jamieson, H.Balakrishnan and R.Moris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", Proc.7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, July 2001.
- [14] Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications, LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 1999.
- [15] Y.Xu, J.Heidenann and D.Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing", Proc.7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom), Rome, Italy, July 2001.
- [16] Y.Xu, J.Heidenann and D.Estrin, "Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks", Tech. Rep. 527, USC/ISI, Oct. 2000.
- [17] C.Raghavendra and S.Singh, "PAMAS: Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad Hoc Networks", ACM Computer Communication Review, July 1998, 5-26.