

# 信頼性を考慮したアドホックルーチングプロトコルの 位置情報を用いた改良

奥田 隆弘\* 井野 宇大\* 渡辺 尚\*\*

\*静岡大学大学院情報学研究科 \*\*静岡大学情報学部

近年アドホックネットワークの要求が高まり、各種のプロトコルが提案されている。我々も信頼性を考慮したアドホックルーチングプロトコル RZRP を考察してきた。一方で GPS 装置が小型化し、携帯情報端末にも搭載できるようになった。アドホックルーチングにおいては、近隣あるいは遠方にあるノードの位置やネットワークトポロジといった情報をいかに認識するかが重要になる。したがって GPS 装置から得られる位置などの情報はネットワーク状態の認識に役立つものと考えられる。本稿では GPS 装置から得られる情報がアドホックルーチングにどのように適用できるかを考察し、RZRP の位置情報を用いた改良について検討する。また、GPS を用いたルーチングとして ASR を提案する。

## An Improvement of an Ad Hoc Routing Protocol by the Location Information

Takahiro Okuda\* Udai Ino\* Takashi Watanabe\*\*

\*Graduate School of Information, Shizuoka Univ. \*\*Faculty of Information, Shizuoka Univ.

Ad hoc networking is getting much attention, and many protocols are proposed. And we consider RZRP that is an ad hoc routing protocol. Since the GPS equipment is getting small, it is possible to implement the GPS to PDA. In ad hoc routing, it is important to recognize network topology information. So the information from the GPS is useful to recognize them. In this paper, we consider how to use the information from the GPS for ad hoc routing, and how to improve RZRP. And we propose ASR that is an ad hoc routing protocol using GPS.

## 1 はじめに

情報端末や無線通信装置の小型軽量化に伴い、外出先でもコンピュータネットワークを利用したモバイルコンピューティングが現実のものとなった。ある場所に集まった人々が一時的なデータ交換のためにネットワークを使用する場合に、有線インフラや基地局を用いずに一時的に構成されるネットワークがアドホックネットワークである。近距離の無線アドホックネットワークとしては無線 LAN や Bluetooth などが既に実用化されている。また、より広い範囲で構成されるアドホックネットワークのためにアドホックルーチングプロトコルが提案されている。

常にネットワークトポロジを管理する DSDV[1]などはテーブル駆動型と呼ばれ、必要に応じて経路を確立する DSR[2]や AODV[3]などはオンデマンド型と呼ばれるルーチングプロトコルである。両者を組み合わせた CBRP[4]などもある。これらのプロトコルは一本の経路を確定して使用するが、複数の経路を利用して信頼性の向上を目指したものも提案されている。MSR[5]は複数の経路を負荷に応じて振り分ける方式で、SMR[6]は二本の経路を用いて経路切断に備える方式である。

そして、我々は現在までに信頼性を考慮したアドホックルーチングプロトコルである RZRP[7]を考察してきた。RZRP は複数の経路を発見するのではなく、経路範囲に重複パケットを発生させることで信頼性の向上を目指している。

ところで近年 GPS (Global Positioning System) 装置の小型化が進み、携帯情報端末にも容易に搭載できるようになった。アドホックルーチングにおいては、近隣あるいは遠方にあるノードの位置やネットワークトポロジといった情報をいかに認識するかが重要になる。したがって GPS 装置から得られる位置などの情報はネットワーク状態の認識に役立つものと考えられる。

LAR[8]や DREAM[9]では、GPS から取得されるノードの位置情報や移動情報を基に、パケットの波及範囲の地理的限定や地理的方向ルーチングを行っている。RRS アルゴリズム [10]では、切断されにくいルートを構築するために GPS を使用している。

まず第二章では RZRP について説明する。第三章で GPS 装置から得られる情報がアドホックルーチングにどのように適用できるかを考察し、RZRP の位置情報を用いた改良について述べる。そして第四章ではエリア分割による転送方法を用いたアドホックルーチング

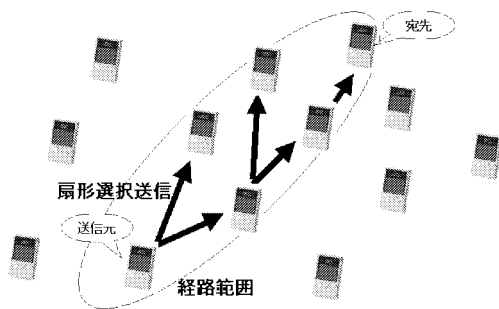


図 1: RZRP の概要

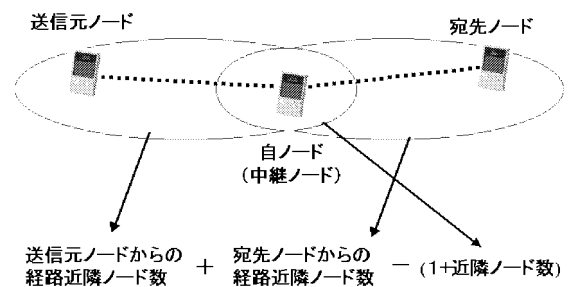


図 2: S-D 間経路近隣ノード数

プロトコル ASR を示し、第五章でまとめとする。

## 2 RZRP

Route Zone-based Routing Protocol (RZRP) [7] は以下の特徴を持つ。

- 経路範囲設定による複数パスを使用する。
- 扇形選択送信で複数の受信者を指定する。
- 第二層に CSMA/CA を仮定する。

図 1 でパケット転送方法を示す。まず送信元ノードと宛先ノードの間に経路範囲を設定し、その範囲内にいる中間ノードがパケットを転送する。また、その中継転送には扇形選択送信と呼ぶフラッディングベースの送信方法を用いる。したがって、経路範囲の広さを制御することによってその中に流れる重複パケット数を変化させ、また過度の転送を抑える。その結果、パケット転送の信頼性を変化させることができる。

次に経路範囲設定と扇形選択送信について述べる。その際に、RZRP では各ノードが自ノードの近隣ノードの情報を定期的にブロードキャストすることにより、自ノードから 2 ホップ先までのトポロジを把握していることを前提とする。

### 2.1 経路範囲設定

RZRP はオンデマンド型プロトコルであるので初期状態において宛先ノードまでの経路情報を保持していない。したがって、送信元ノードは初めに Route Request パケットをネットワーク全体にフラッディングして、宛先ノードの発見と経路範囲の確立を行う。

Route Request パケットを中継するノードは送信元ノードからの経路近隣ノード数を記録する。この経路近隣ノード数とは、パケットの送信元ノードから自ノードまでそのパケットが経由してきた経路の周囲 1 ホップに存在したノードの数を示す値である。この値はパケットヘッダと自ノードから 2 ホップのトポロジ情報を元に計算できる。

Route Request パケットを受信した宛先ノードは、その返答として Route Reply パケットをネットワーク全体にフラッディングする。そして Route Request と同様に、Route Reply パケットを中継する中間ノードは宛先ノードからの経路近隣ノード数を記録する。

そして Route Reply パケットが送信元ノードに到着してから、送信元ノードはデータパケットの送信を開始する。この時点でネットワーク内のノードは図 2 のように、送信元ノードからの経路近隣ノード数と宛先ノードからの経路近隣ノード数を記録している。

転送するデータパケットに関して、中間ノードはそのパケットの S-D 間経路周辺ノード数を計算する。S-D 間経路周辺ノード数とは、送信元ノードから自ノードを経由して宛先ノードに到達する経路の周辺 1 ホップに存在するノードの数を示す値である。その値は図 2 のように計算することができる。送信元ノードからの経路近隣ノード数と宛先ノードからの経路近隣ノード数の和を計算し、重複して計算される自ノードと自ノードの近隣ノード数を引けば良い。したがって、この値の小さなノードが中継すればパケット転送時に影響を受けるノードが少ないことになる。

### 2.2 パケット転送

図 3 のトポロジを例にして経路範囲の特徴を説明する。円はモバイルノードを示し、ノード間の直線は無

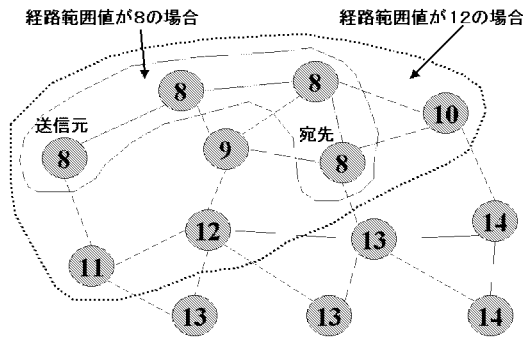


図 3: 経路範囲選択の例

線リンクの存在を示している。数字は送信元ノードと宛先ノードに対する S-D 間経路近隣ノード数を各ノードで計算した値である。

送信元ノードはデータパケットを転送する時にそのデータパケットのヘッダで経路範囲値を指定する。経路範囲値は、S-D 間経路近隣ノード数がこの値以下である中継ノードにパケットを中継させることを意味する。

したがって送信元ノードは宛先ノードからの経路近隣ノード数 (図 3 では 8) を選択することで、宛先ノードまで一本以上の経路を確保できる。また、経路範囲値をより大きな値に設定すれば経路範囲を拡大できる。図 3 で経路範囲値を 12 とすれば経路範囲により多くのパスが含まれることが分かる。

### 2.3 扇形選択送信

扇形選択送信は自ノードから 2 ホップのトポロジ情報を用いて効率的なフラッディングを目指した送信方法である。扇形選択送信では、自ノードから 2 ホップ先のノードでまだパケットが送られていない可能性があるノードが存在した場合には、そのノードに届くような近隣ノード群を選択してパケットを送信する。また周囲のパケット送信状況をモニタして、冗長なパケット送信を抑制する。

図 4 に扇形選択送信の具体例を示す。初めにノード A が扇形選択送信によってノード B と C にパケットを送信したとする。この時ノード B は次にノード D に送信すると認識し、ノード C は次にノード D と E に送信すると認識する。さらにノード C はノード E の先にノード D しかいないのでノード E への送信を除外する。そして次にノード C がノード D にパケットを送信する。この時にノード B はノード C の送信をモニタ

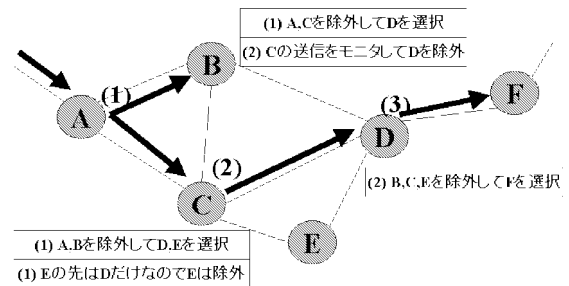


図 4: 線形選択送信の例

してノード D への送信を除外する。同様にしてノード D は次にノード F を選択してパケットを送信する。

### 2.4 評価

シミュレーションを用いて RZRP を評価した。シミュレーション環境は、1500m × 500m の空間に 50 台のノードで時速 36km の Random Way Point 移動モデルである。無線装置は通信半径 250m の通信速度 2Mbps である。2kbps の CBR 通信セッションをランダムに選択する。シミュレーション時間は 400 秒である。

図 5 にセッション数とパケット到着率およびパケット転送遅延の関係について示す。RZRP(0) は経路範囲値のマージンが 0 の場合を示し、RZRP(10) はマージンが 10 の場合を示す。比較のため DSR[2] も計測した。RZRP では経路範囲を広げることによりパケット転送率を向上させられることが確認された。RZRP は DSR に比べて低いパケット転送遅延を達成し、またネットワークの負荷が高い場合でも動作することが分かった。

## 3 RZRP の GPS を用いた改良

RZRP では、送信元ノードが経路範囲の破壊を検知する仕組みが不十分という欠点がある。そこで、GPS によって得られる位置情報・移動情報等を RZRP に適用する方法を考察する。

### 3.1 アドホックルーティングでの GPS の使用

GPS の使用により、ノードの位置情報、移動情報 (方向・速度)、絶対時刻を入手できる。これらの情報の使

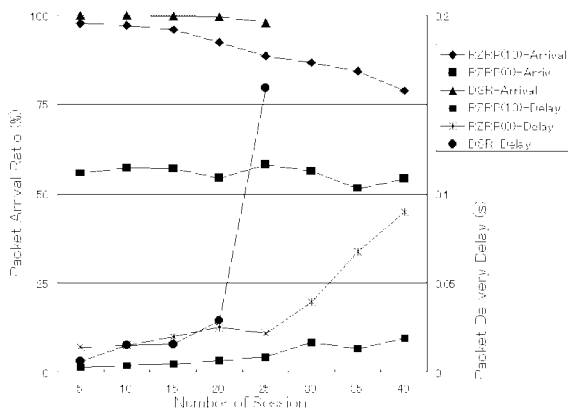


図 5: パケット到着率と転送遅延

用例として以下が挙げられる。

- ノード間の地理的距離・方向の計算  
2つのノードの位置情報がわかれば、その間の地理的距離や互いの方向を計算することができるので、宛先ノードとの距離や方向に基づいたパケット転送等が可能である。
- 地理的境界線の設定  
空間に地理的な境界線を設定することによって、ノードの位置に応じたグループ分けや、パケットの波及範囲の地理的限定等が可能である。
- 移動予測  
ノードの現在位置と移動情報から、ある時間後の位置を予測することができる。また、隣接する2ノードの移動予測から、それらのノード間のリンク持続時間を予測可能である。
- ノード間の時刻同期  
全ノードの時刻は同期しているので、ノード間におけるパケット配送の遅延を計測したり、時刻によるパケットの寿命設定やルーチングテーブルエントリの削除等が可能である。

### 3.2 RZRP への GPS の適用

RZRPでは、Route Request・Route Replyパケットだけでなくデータパケットも利用して経路近隣ノード数を更新する。S-D間をデータパケットが流れることによって、中間ノードの経路近隣ノード数が更新され、経路範囲をメンテナンスすることが可能である。しかし、S-D間が双方向で通信していることが前提となっている。すなわち、データパケットによる更新がトポロ

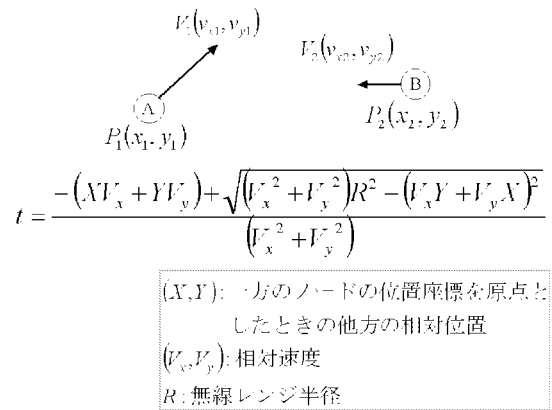


図 6: リンク持続時間の予測

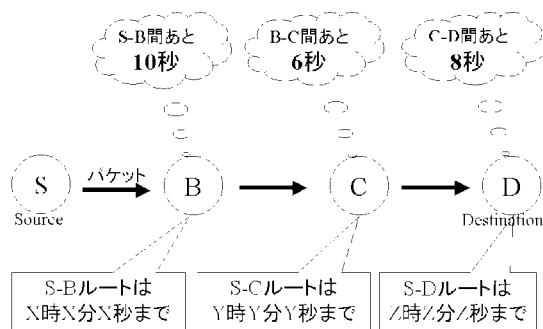
ジ変化に追いつけない場合や通信が片方向である（または一方向に偏っている）場合、送信元ノードから宛先ノードに至る経路範囲が維持できなくなる。

また、送信元ノードは自ノードのテーブルの「宛先ノードからの経路近隣ノード数」エントリがタイムアウトでなくなること、経路範囲の破壊を検知する。このエントリは宛先ノードからのパケットが送信元ノードに届くことで更新される。タイムアウトは最後にエントリが更新されてから一定時間後におこなわれる。従って、経路範囲の破壊によって宛先ノードからのパケットが届かなくなってからも、送信元ノードはエントリがタイムアウトになるまでの一定時間はパケットを送信し続けることになる。また、片方向に偏った通信である場合、経路範囲がまだ破壊されていないのに、タイムアウトでエントリを削除してしまう可能性がある。

そこで、一定時間によるエントリのタイムアウトを行うのではなく、そのエントリの値を計算するのに用いたルートが切断されてしまう時刻をタイムアウトする時刻として用いることで、効率のよいテーブル管理と経路範囲の破壊前の再構築が可能となる。

ノードの移動によりルートが切断されてしまう時刻を予測するためには、各ノード間のリンクが持続する時間を調べなければならない。図6はノード間リンクの持続時間を予測するための計算式を示している。各ノードはパケットを転送する際に、自分の位置・移動情報をパケットにのせる。そのパケットを受信したノードは、自分の位置・移動情報とパケット内の（1ホップ前の）位置・移動情報から、1ホップ前のノードとのリンク持続時間を計算することができる。

図7にルート切断時刻を予測する手順を示す。ノードBはS-B間リンク持続時間から、S-B間ルートの切断時刻を計算し、その時刻をパケットにのせて転送する。ノードCは、B-C間リンク持続時間とパケット内のS-B間ルートの切断時刻からS-C間ルートの切断時刻



S-D間のルート切断時刻はZ時Z分Z秒！

図 7: ルート切断時刻の予測

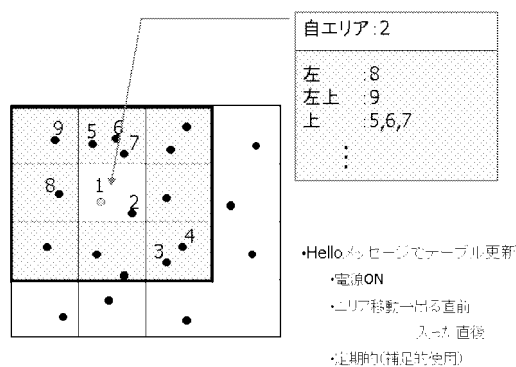


図 8: エリアテーブル

刻を計算する。これを繰り返すことで、S-D 間ルートの切断時刻を計算することが可能である。

## 4 GPSを用いたルーティングプロトコル

無線アドホックネットワークでは、ノードが移動するとルートの切断が起こり、ルートの再構築が行われることになる。ここではGPSを用いて、ルートの再構築を減らし、移動した端末がすぐに通信に加入できる方式を考察する。この提案方式はエリア単位のソースルーティングを行うもので、Area-based Source Routing(ASR)と呼ぶ。

ASRでは、ネットワーク空間を一定の大きさに分割する。分割された空間をエリアと呼び、エリアごとにノードの管理を行う。送信元から受信者までデータを転送する際、Route Requestは通過したノードを記録するのではなく、そのノードが属するエリアを記録していく。次に転送するエリアは、自分の隣接エリアだけである。各ノードは隣接するエリア内にあるノードのIDを知っている事を前提とする。よって、送信エリアが発見されたら、そのエリア内の1ノードを選択し送信する。これを繰り返すことによって、宛先までデータが届く。

### 4.1 エリア分割

無線通信半径は一定だと仮定する。まず、ネットワーク空間を格子状に分割する。分割の一辺の長さは無線通信半径から決まる。各ノードは自分のエリア及び隣接するエリア内で通信が可能であることを保証する。よって、通信半径を $r$ とすると、エリアの1辺の長さ

は $\frac{r}{2\sqrt{2}}$ になる。その長さと、緯度及び経度によって空間の分割を行う。各ノードは分割された格子の中の1つに属し、その格子を自分のエリアと呼ぶ。

各ノードはエリアテーブルを管理している。エリアテーブルには、自分のエリアと隣接エリアに存在するノードのIDが記録される。これにより、ノードの存在を知ることが出来る。テーブルは各ノードが送信するHelloメッセージを受け取ることで更新される。Helloメッセージはノードの電源が入ったときや、ノードが移動する事でエリアを出るときと次のエリアに入るときに送信される。また、急に通信が出来なくなることを考え、補足的に一定時間ごとに各ノードがHelloメッセージを送信し、存在を確認する。図8にエリアテーブルの例を示す。

### 4.2 送信エリア選択

データを送信する際に、ASRでは送信エリアを利用する。送信要求があったとき、送信元ノードはRoute Request(RREQ)を送信する。RREQを受け取った中継ノードは、自分の所属するエリアをRREQパケットに記録していく。事前に自分のエリアが書き込まれていたら、パケットを破棄する。これを宛先に到着するまで繰り返す。到着したら、宛先はRREQに記録されているルートを、Route Reply(RREP)として送信元に返信する。これによりS-D間の送信エリアが選択される。図9に例を示す。

送信エリアが発見されたら、データ送信を行う。データはRREQで発見したエリアを通して送信する。その際、中継するノードは次の送信エリア内にある1ノードを選択して転送を行う。これを繰り返し、宛先までデータを送信することが可能である。

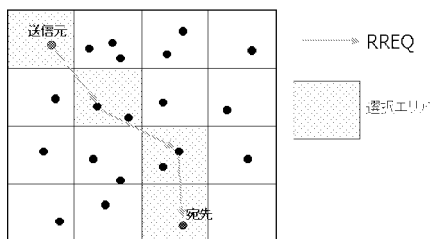


図 9: エリア選択の例

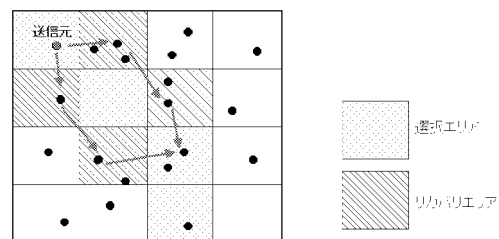


図 10: ローカルリカバリ

### 4.3 ローカルリカバリ

次に転送すべきエリアから全てのノードが出ていってしまい、送信を行えないと判断したときはローカルリカバリを行う。これは、次に転送すべきだったエリアの隣接エリアを、新たな中継エリアに指定して迂回するものである。

図 10 に例を示す。次に転送するエリアにノードが存在しないとき、そのエリアと現在のエリアに共通する隣接エリアに、宛先を 2 つ先の送信エリアにしたローカル RREQ を送信する。ローカル RREQ が波及する範囲は、ノードが存在しなくなったエリアの隣接エリアに限定する。これにより、制御パケットの増加を抑える事が出来る。宛先のエリア内のノードがローカル RREQ を受け取ったら、送信元にルート変更を伝える。これによりローカルリカバリが行われる。しかし、その迂回にも失敗した場合には送信元にエラーを返し、エリア選択からやり直す。

## 5 おわりに

本稿では GPS 装置から得られる情報がどのようにアドホックルーティングに適用できるかを考察し、RZRP の GPS を用いた改良を検討した。また GPS を利用したアドホックルーティングプロトコルである ASR の基本方式を提案した。今後、GPS を用いて改良した RZRP の評価を行う。また、ASR を GRID[11] などのエリア分割方式と比較評価を行う。

## 参考文献

- [1] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," SIGCOMM'94, pp.234-244, August 1994.
- [2] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hsu, Jorjeta G. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-05.txt, 2001.
- [3] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer, Samir R. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-09.txt, 2001.
- [4] Jiang Mingliang, Li Jinyang, Y.C. Tay, "Cluster Based Routing Protocol(CBRP)," Internet-Draft, draft-ietf-manet-cbrp-spec-01.txt, August 1999.
- [5] Lei Wang, Yantai Shu, Miao Dong, Lianfang Zhang, Oliver W.W. Yang, "Adaptive Multipath Source Routing in Ad Hoc Networks," ICC2001, G22-3, pp.867-871, June 2001.
- [6] Sung-Ju Lee, Mario Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Path in Ad Hoc Networks," ICC2001, G77a-3, pp.3201-3205, June 2001.
- [7] 井野宇大, 奥田隆弘, 渡辺尚, "信頼性を考慮したアドホックマルチホップルーティングの考察," DICO2001, pp.121-126, 2001.6.
- [8] Young-Bae Ko, and Nitin H. Vaidya, "Location-Aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," MobiCom'98, pp.66-75, October 1998.
- [9] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," MobiCom'98, pp.76-84, October 1998.
- [10] Won-Ik Kim, Dong-Hee Kwon, and Young-Joo Suh, "A Reliable Route Selection Algorithm Using Global Positioning Systems in Ad-hoc Networks," ICC2001, June 2001.
- [11] 橋本英卓, 中西恒夫, 福田晃, "セル位置情報に基づくアドホックネットワークルーティング," DICO2001, pp.127-132, 2001.6.