

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の評価

橋本 英卓¹⁾ 中西 恒夫¹⁾ 福田 晃²⁾

- ¹⁾ 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
{hideta-h,tun}@is.aist-nara.ac.jp
²⁾ 九州大学大学院システム情報科学研究院
fukuda@f.csce.kyusyu-u.ac.jp

概要

本稿では、アドホックネットワークのルーティングオーバーヘッドを軽減する手法、GRID(Grid DSR)のシミュレーションによる評価を行う。GRIDは、格子状に分割された通信空間におけるノードの階層的検索と、位置情報に基づくブロードキャスト域の制限する指向性DSRによるルーティングにより、通信オーバーヘッドの削減を図る。本稿では指向性DSRによるルーティングオーバーヘッドの削減効果をシミュレーションを通して評価する。結果、指向性DSRでは、ルーティング時のクエリパケットの送信量が、DSRの約30%まで抑えられることが確認された。

Location Based Ad Hoc Network Routing in the Gridded Space

Hidetaka Hashimoto¹⁾ Tsuneo Nakanishi¹⁾ Akira Fukuda²⁾

- ¹⁾ Graduate School of Information Science
Nara Institute of Science and Technology
²⁾ Graduate School of Information Science and Electrical Engineering
Kyushu University

Abstract

In this paper we evaluate a routing method of the ad-hoc network named *GRID*, or *Grid DSR*, by simulation. The GRID reduces routing overheads with hierarchical node search and the directional DSR in the gridded space. The directional DSR, a variation of the DSR, reduces routing overheads by fuzzy clipping broadcast area based on the locations of the source and the destination nodes without missing a detour through the clipped area. This paper evaluates how much the directional DSR reduces routing overheads by simulation. The results show the number of query packets issued by the directional DSR is only 30 percent of that issued by the common DSR.

1 はじめに

アドホックネットワークは、アクセスポイントやバックボーンといった特殊なインフラストラクチャを必要とすることなく、携帯端末が集合した時点で、ユーザーの要求に応じて動的かつ自己適応的に構成されるネットワークである。ネットワークの設定やネットワークに関する専門的知識を必要としない利点をもつアドホックネットワークであるが、サーバ等の一元的な管理システムを持たないため、パケッ

トのルーティングは Flooding と呼ばれるブロードキャストが基本となる。しかし、すべてのノードが Flooding を用いて通信を行うと、計算機資源やネットワーク帯域の浪費となるだけでなく、ブロードキャストされたパケットの衝突による通信干渉、いわゆる Broadcast Storm が発生し、サービス不能などの深刻な状態になる危険性が高い [1]。今日、アドホックネットワークにおける最適経路探索技術をめぐる様々な手法が提案されているが、どの方式も一長一短であり、最適ルーティング法の確立が望まれる。

本稿では、位置情報を活用してパケットがブロードキャストされる領域を制限し、また分割統制的にノード位置を管理する低オーバーヘッドルーティング手法を提案する。

本稿の第2節では現在提案されている代表的なルーティングプロトコルを紹介する。第3節では新たに提案するルーティング手法として、通信空間セル分割、セル間を結ぶ幹線、指向性 DSR の概要を述べる。第4節では具体的なルーティングアルゴリズムの設計手法を述べる。最後に第5節でまとめと今後の課題について述べる。

2 アドホックネットワークにおけるルーティング

今日考案されているアドホックネットワークにおけるルーティング手法について述べる。

2.1 On-Demand Routing

On-Demand Routing はパケット送信要求が生じたときにルート探索を行う手法である。

2.1.1 DSR (Dynamic Source Routing)

現在もっとも基本的なアドホックネットワークプロトコルとして DSR[2][3] が挙げられる。DSR では、パケットの送信要求のあるノードは、ルート探索を行うためのクエリパケットを周りのノードにブロードキャストする。クエリパケットを受信したノードは、その末尾にノード自身の識別子を付加し、周りのノードに再びクエリパケットをブロードキャストする。クエリパケットが目的ノードに到着すると、目的ノードはそのクエリパケットに記述されている経路を逆にたどる Ack パケットを返し、発信元ノードに自身 (= 目的ノード) までの経路を通知する。DSR の欠点としては、パケット送信が多発する環境では、送信のたびにクエリパケットをブロードキャストするため、結果としてオーバーヘッドが大きくなることが挙げられる。

2.1.2 AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)

DSR を改良したものが AODV[4] である。DSR と異なるところは、各ノードにおいてクエリパケット伝搬時に、自身の識別子を経路情報としてクエリパケットに記録するだけでなく、クエリパケットに記録されている経路情報を通過するノードにも蓄積する。これにより、目的ノードまでクエリパケットを送信せずとも、目的地までの経路情報をもっているノードまでクエリパケットを送るだけで、残りの経路情報を得ることができる。このように過去に用いたルート情報を活かすことで、クエリパケットの数を減らすとともに、通信オーバーヘッドの削減を図ることができる。しかしながら、頻繁にパケット送信が生じる環境に、クエリパケットを乱発する問題は、AODV では解決されていない。

2.2 Hop by Hop

Hop by Hop 方式は周期的にネットワークポロジの変化を監視し、パケット送信要求時には、On-Demand Routing のようにルート探索を行わず、把握しているネットワークポロジの情報に基づきルーティングを行う。

2.2.1 DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)

DSDV[6] は、DSR とは異なり周期的にクエリパケットを送信することで、ネットワークポロジの変化を監視する方法である。ルーティングはルーティングテーブルに基づいて行う。欠点としては、各ノードがめまぐるしく移動する環境では、ネットワークポロジの変化を感知する周期を短くする必要があり、クエリパケット送信に伴うオーバーヘッドが大きくなる。

2.2.2 ZRP (Zone Routing Protocol)

DSDV ではネットワークが大きくなると全体の監視を行うことが困難になる。現在考えられているアドホックネットワークの使用状況では、移動先で情報交換を行うことを想定しているため、遠隔の相手と通信

することは希である。この特性を生かし、ZRP[6]は各ノードが一定ホップ内の経路情報を周期的に獲得し、それ以上離れているノードに対しては Flooding を用いて通信するプロトコルである。DSDV 同様、めまぐるしくノードが動く環境では、ZRP は適していない。

2.3 Zone-based two-level routing

Zone-based two-level routing[7]では領域をセルに分割し、セル間のリンクの状態を常に監視しルーティングテーブル作成するプロトコルである。ルーティングテーブルはセル内でのルートとセル間でのルートを2レベルで管理する。セル内でのルート情報はセル内の全ノードが、セル間のルートはゲートウェイにあたる全ノードが保持する。

3 GRID の概要

前節では、現在提案されている、アドホックネットワークのルーティング手法について述べた。各手法ともノード数の増加やノード移動によってルーティングオーバーヘッドが増大する問題を抱えている。

そこで、通信空間を分割し、分割された各空間に空間内の全てのノードの位置情報を把握する代表ノードを設け、ノード探索を分割統治的に行うことでノード探索のオーバーヘッドを軽減するルーティング手法グリッド DSR(GIRD)を提案する。本提案手法は前述した「Zone-based two-level routing」と類似する部分が多いが、ルーティングテーブルを領域ごとに分散して管理する点で異なる。このことによりルーティングテーブルの更新範囲を局所化できる利点がある。

3.1 ノード位置検索

3.1.1 セル分割

本稿では、緯度経度情報により、意図的に通信空間を升目状に区切った区画をセルと称する。各ノードは GPS を用い緯度経度情報を取得し、自身が所属するセルを同定する。通信空間をセル単位に分割することにより、クエリパケットを受け取った時、その

送信ノードのセルと自分のいるセルからパケットの伝搬範囲をセルごとに制限できる。さらにノードの位置管理をセルごとに分散させることにより、ノード数の増減に対するスケーラビリティの確保にもつながる。

3.1.2 代表ノードと幹線

セル内のノードの中から選ばれた代表ノードは、一元的にセル内のノード情報と隣接セル間のルート情報を管理する。

セル単位でノード情報を一元化によりノード位置の問い合わせが代表ノードだけで済むため、ノード探索のオーバーヘッドを軽減される。また隣り合うセルの代表ノード間には、あらかじめ通信路(以下、幹線)を確立しておき、代表ノード間の通信もスムーズに行える仕組みを持たせる。

3.2 指向性 DSR

送信元ノードはノード位置検索を行ったのち、それによって得られた、宛先ノードの座標をもちいて経路探索パケットをブロードキャストする。送信ノードと宛先ノードの相対的な位置関係がわかっているので伝搬方向を制限することができる。DSRにこの仕組みを加えたものが、後に述べる指向性 DSR である。

4 GRID の詳細

前節では、ルーティングを宛先ノードの位置情報取得と指向性 DSR の二つに分離する方式の概略を述べた。まず基本となるプロセスは代表ノードの選出とセル間を結ぶ幹線の作成である。代表ノードと幹線は実際のデータ送信用のルート確保を目的としたものではなく、宛先ノードを全ノードの中から素早く見つけ、宛先ノードの位置情報を送信元ノードに伝えるためである。続いて、実際のデータ転送用のルート確保を指向性 DSR により行う。ここでルーティング処理をあえて2段階に分離した意義は、代表ノードと幹線だけを用いてデータ通信を行うと代表ノードと幹線に通信が殺到し、通信帯域のスケーラビリティ確保ができないからである。ルーティン

グ処理の流れを下記に示す．

1. 代表ノード選出
2. 幹線を用いた宛先ノードの探索
3. データ送信用のルート検索（指向性 DSR）
4. データ送信

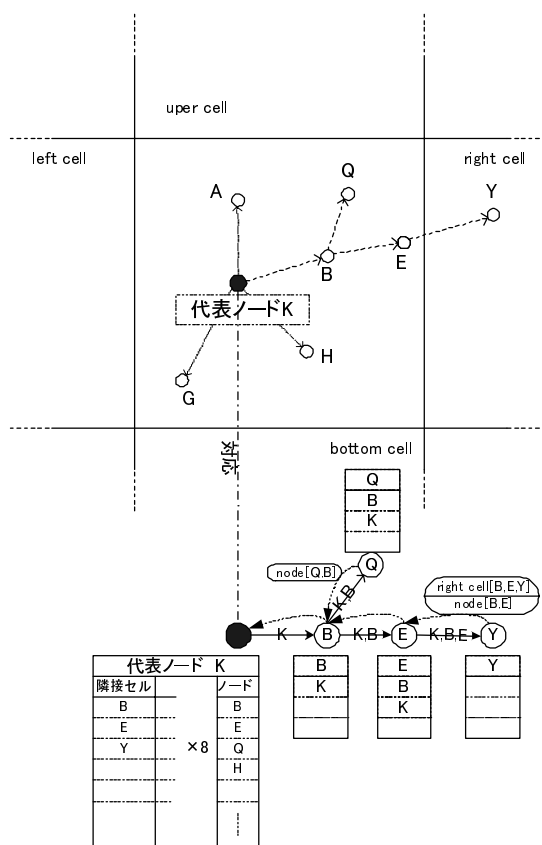


図 1: 代表ノード作成ルーティング

4.1 代表ノード選出

代表ノードが存在しないセルでは，任意のノードが自発的に代表ノードになる．代表となるノードがセル内の情報を集めるためのパケットを，周りのノードにブロードキャストする．セル内一般ノードがこのパケットを受け取ると，パケット内の途中経由ノードのリストから，代表ノードまでのルートを知ることができる．またこのパケットにノードが Ack パケットを返すことにより，代表ノードは，セル内全ノード

の識別子，代表ノードからセル内全ノードへのルート情報，隣接セルへのルート情報を取得する．

セル内での代表ノードとその他のノードが取得する事項を下記に示す．

- 代表ノード
 - セル内全ノードの識別子
 - 代表ノードからセル内全ノードへのルート情報
 - 隣接セルへのルート情報
- 一般ノード
 - 各ノードから属するセルの代表ノードへのルート情報

4.1.1 セル内ノードの識別子取得

代表ノードからのパケットを受け取ったノードは，パケットの中身を見て，代表ノードとの位置関係を照合する．もし同一セル内であれば，代表ノードまでのルート情報をノードに保存して，自ノードの識別子をパケットに付加し，周りのノードにパケットをブロードキャストする（パケットは同一ノードに複数回流さないものとする．）もし周りにノードがなければ，Ack パケットをもと来たルートで代表ノードに送り返す（図 1，Q ノード）．代表ノードは戻ってきた Ack パケットから同一セル内のノードの識別子とノードまでの経路を取得する．

4.1.2 隣接セルへの幹線の取得

代表ノードからのパケットが，代表ノードと異なるセルのノードに達すると，ブロードキャストをやめ，パケットに隣接セルへの到着を示す識別子を付加し，もと来たルートを通して代表ノードへパケットを送り返す（図 1，Y ノード）．代表ノードは戻ってきた Ack パケットから，最大八方向のセルへのルート情報を取得する．

4.2 ノード探索

代表ノードと幹線を用いたノード探索の例を図 2 に示す．これは，あるノード A からノード Z の位置

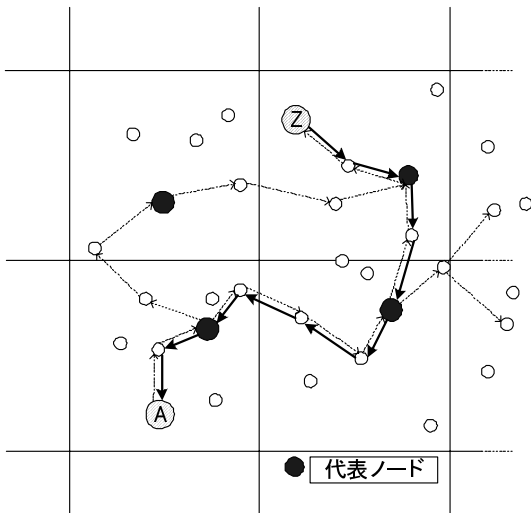


図 2: 代表ノードとセル間の通信

情報を取得する流れを示したものである。ノード A はまず自分がもっている代表ノードまでの経路情報をもとに、代表ノードへノード Z 検索の packets を送る。packet を受け取った代表ノードは、該当ノードの有無を調べ、もし自分のセル内にいなければ幹線を用いて回りのセルに問い合わせる。隣接セルのノードも同様にそのセルの代表ノードに問い合わせ、ノード Z が見つかるまでこれを繰り返す。もしノード Z を含む代表ノードに達するとノード Z の位置情報を packet に付加してもと来たルートを通してノード A にノード Z の位置情報を伝える。本提案手法では代表ノード選出のプロセスにおいて、事前に代表ノードや幹線作成用の packet をセル内でブロードキャストを行う必要がある。しかし、代表ノードや幹線がいったん完成すると、上に示した例からわかるように、それ以後の宛先ノード位置の探索においては全くブロードキャスト packet が発生しない。

4.3 データ送信用ルート探索

指向性 DSR は、送信元ノードと宛先ノードの位置がわかっている場合に、クエリ packet の伝搬方向に重みを持たすことにより、必要最小限のルーティング packet で通信路を確立するルーティング手法である。指向性 DSR は、これまで述べたセルや幹線には全く無関係に行われる。

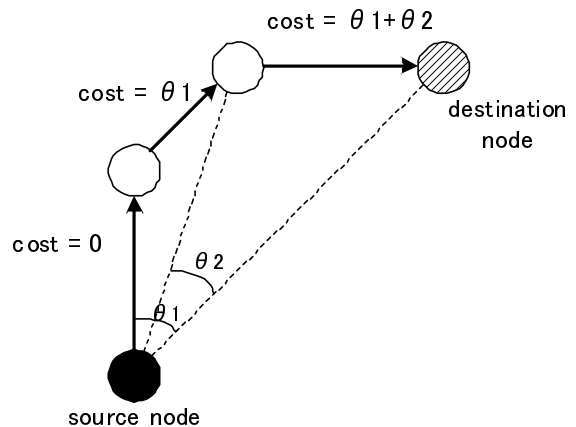


図 3: 重み計算

4.3.1 クエリ packet の重み付け

指向性 DSR はクエリ packet 内に、送信元と宛先ノードの緯度経度情報を付加する。データ送信要求があると、まず、セルと幹線を用い宛先ノードの緯度経度を取得する。次に取得した宛先ノードの緯度経度情報を packet に付加し、クエリ packet をブロードキャストする。あるノードがこのクエリ packet を受け取ると、自ノードの緯度経度情報と packet 内の送信元、宛先の緯度経度情報を基に、自ノード - 送信元 - 宛先間の角度を計算する(図 3 参照)これによって得られた角度は、ノードが送信元と宛先を結ぶルートになり得るかの指数(コスト)として扱うことができる。つまり、 θ が小さければ、送信元と宛先とを結ぶ線に近くに自ノードが位置していることになり、ルートになり得る可能性が高いことを示している。次に算出した θ をクエリ packet 内のコスト値に加算し、さらに周りのノードにクエリ packet をブロードキャストする。このコスト値に閾値を定め、閾値を越えた packet に関してはその時点でブロードキャストをやめることにより packet 伝搬範囲を宛先ノードに向かう領域に制限することができる。

図 4 に packet コスト値とクエリ packet の伝搬の様子を示す。中心が送信元ノード、右上が宛先ノードであり、ノード間を結ぶ線上の値がその時点でのクエリ packet 内のコスト値を示している。また、例として閾値を 90 に設定している。図からもわかるように、クエリ packet 伝搬に重みと閾値を用いること

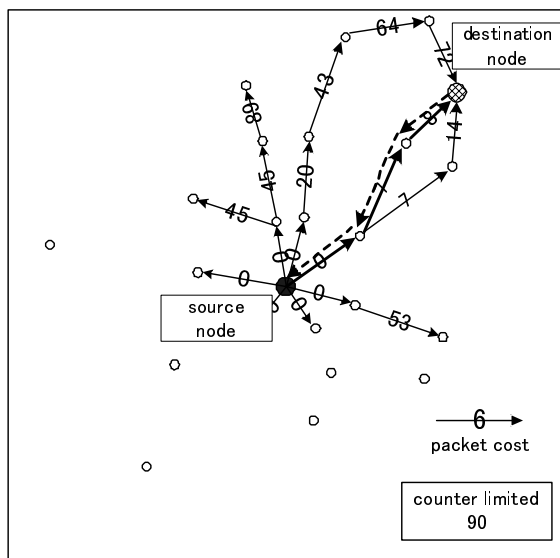


図 4: 指向性 DSR 概略図

により、送信元ノードから、宛先ノードに向けて指向性のあるクエリパケット伝搬が行われていることがわかる。また、この例では、三方向から宛先ノードへクエリパケットが達している。この場合、ホップ値が最小のルートを選び Ack パケットを送信元に返送することにより、最適なルートを選択することができる。指向性 DSR は、閾値を変えることにより、クエリパケットの伝搬範囲容易に変えることができるので、ノードの移動量や分布状態に柔軟に対応することができる。

5 シミュレーション

指向性 DSR のルーティングオーバーヘッド量と最適閾値評価をシミュレーションにより行う。シミュレーションパラメータは表 1 に示すように、64 個のノードを 120m × 120m のフィールドに配置し、無線の伝送範囲を半径 25m に設定している。

5.1 ルーティングパケット数

まず、指向性 DSR と DSR でルーティングに要するパケット量の比較を行う。シミュレーションでは 64 個のノードをランダムに配置し、その中から送信

元と宛先ノードを選ぶ。次に、DSR のホップ数と指向性 DSR の閾値を 0 から順に増やしていき、クエリパケットが初めて宛先ノードまで達した時の、全ルーティングパケット量を比較する。また、送信元から宛先までの距離を 28m,141m まで変化させ、それぞれのルーティングパケット量を計算する。図 5 にシミュレーション結果を示す。

ノード数	64node
移動空間	120m × 120m
無線の伝送範囲	25m

表 1: シミュレーションパラメータ

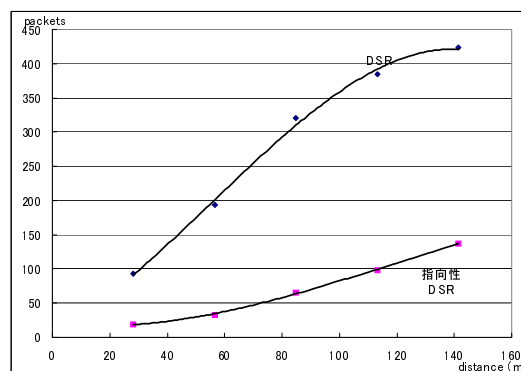


図 5: ルーティングパケット比較

図 5 から指向性 DSR のルーティングパケット量は DSR に比べ、約 30 % 程度に抑えられていることがわかる。DSR の結果はシミュレーションを行ったノード数が 64 であることから通信距離が 100m を越えるあたりでほぼ全てのノードにクエリパケットが到着し、これ以上の距離において、全ルーティングパケット数が、ほぼ飽和している。

5.2 最適閾値

次に指向性 DSR において、送信元ノードから宛先ノードまでの距離における最適な閾値を定めるためのシミュレーションを行った。評価法は、送信元ノードと宛先ノードを選び、パケットコストの閾値を 0 から 100 まで 2 刻みで変化させた時のパケット到着率 (宛先到達パケット ÷ 全ルーティングパケッ

ト × 100) が最大になる閾値を計算した。到着率とはクエリパケット全体のうち何パーセントが宛先に達したかを示している。シミュレーション結果を図 6 に示す。またノード密度の変化の影響を評価をするため、128 ノードでも同一のシミュレーションも行った。

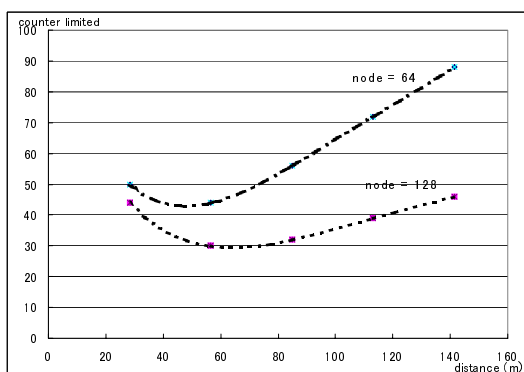


図 6: 通信距離と閾値

通信距離における最適な閾値は図 6 のようになった。通信距離がある程度以上長くなると、最適な閾値は距離に比例して増加している。これは、中継ノード数が増えることにより、角度誤差の累積が増えるためである。また、2,3 ホップで宛先に到着するような短い距離において、閾値が上昇している。これは、評価法として、ルーティングパケットの宛先到着率を使っているため、閾値を大きくとっても、全ルーティングパケットのうち到達できるパケットが多いためである。

6 まとめ

アドホックネットワークのルーティング手法として、宛先ノードの探索時にセルと幹線を用いた方式を提案した。また、それによって得られた宛先ノードの位置情報を基にした指向性 DSR の提案を行った。最後に指向性 DSR の評価として、DSR とのルーティングオーバーヘッド量の比較と最適な閾値をシミュレーションにより検証した。

今後の課題としては、指向性 DSR における最適な閾値の相関関数の導出を行う。またセルを用いたルーティング手法と指向性 DSR とを連携させた評価や、ノードの移動時に、ノードのセルへの出入りや、代

表ノードの変更などを考慮した、より実践的なアルゴリズムを開発する。

参考文献

- [1] Ni Sze-Tao, Tseng Yu-Chee, Chen Yuh-Shyan, and Sheu Jang-Ping, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking, (MOBICOM)'99*, pp.151-162, Aug.1999.
- [2] Broch, J., Maltz David, A., Johnson David, B., Yih-Chun Hu, and Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking, (MOBICOM)'98*, pp.159-164, 1998.
- [3] Broch, J., Maltz David, A., Johnson David, B., Yih-Chun Hu, and Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-03.txt*, 1999.
- [4] Perkins, C. and Royer, E., "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," *Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt*, 1998.
- [5] Perkins, C. and Bhagwat, P., "Destination-Sequenced Distance Vector," *Internet Draft, draft-ietf-manet-dsdv-00.txt*, 1998.
- [6] Haas, Z. and Pearlman, M., "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," *Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-01.txt*, 1998.
- [7] Tseng Yu-Chee, Wu Sibin-Lin, Liao Wen-Hwa, "Location Awareness in Ad Hoc Wireless Mobile Networks," *Innovation technology for Computer Professionals*, June.2001.