

受信信号強度及び位置情報に基づく移動体向け アドホックルーティングプロトコルの実験と考察

渡辺正浩 湯素華 門脇直人 小花貞夫

国際電気通信基礎技術研究所
ATR 適応コミュニケーション研究所
〒619-0288 京都府「けいはんな学研都市」光台 2-2-2
E-mail: {watanabe, shtang, kadowaki, obana}@atr.jp

あらまし ITS 車車間通信のように移動端末を有する環境では、電波伝搬状況やトポロジーの変化によりマルチホップ通信のルートが不安定となり、パケット到達率などの通信性能が低下してしまう。そこで、ルーティングに受信信号強度を用いる方法や、GPS からの位置情報を用いる方法により、ルートを安定に切り替える方法を提案する。本論文では、屋外での移動実験により、従来方式と比較してパケット到達率が平均で 60% から 75% 以上に向上出来たことを示す。

キーワード ITS, 車車間通信, 無線アドホックネットワーク, マルチホップ, ルーティング, マルチパス

Investigation of experiment for mobile ad hoc routing protocol referred to RSSI and GPS information

Masahiro WATANABE, Suhua TANG, Naoto KADOWAKI, Sadao OBANA

ATR Adaptive Communications Research Laboratories
2-2-2 Hikari-dai "Keihan-na Science City", Kyoto, 619-0288 Japan
E-mail: {watanabe, shtang, kadowaki, obana}@atr.jp

Abstract- Multipath fading and mobility make route time-variant in such as ITS inter-vehicle communication. We experienced ad hoc routing protocol referred to RSSI (Received Signal Strength Indicator) and GPS (Global Positioning System) information to make route more stable. In this paper, we compare the techniques to associate the information between RSSI and position with conventional routing protocol, and show experimental results improve the average packets delivery ratio about 60% to 75% ahead with 4-node's situated on the line.

Key words ITS, IVS, Wireless ad hoc network, multihop, routing, multipath

1.はじめに

近年、携帯電話や無線 LAN カード及び PC (ノート型コンピュータ) は低価格化が進み、一般家庭の多くの人たちが所有するようになった。また、ホットスポットから Wimax のような比較的広いエリアまでをカバーするサービスが提供され始めたことにより、無線 LAN の AP (アクセスポイント) カバーエリアが拡大している。元々、伝送速度では無線 LAN が圧倒的に携帯電話よりも優れているので、大規模なメディアのダウンロードを短時間で行うことが可能である等、無線ネットワークの利用が急速に進んでいる。

一方、IEEE802.11 が規定する無線 LAN の機能のうち、インフラに依存しないアドホックネットワークについては、災害発生時の被災地との通信に並んで、ITS (高度道路交通システム) の車車間通信への応用[1]が期待されている。ここでの通信サービスでは、通信したい相手まで中継端末を介して接続するマルチホップ通信が必要不可欠となる。マルチホップ通信では、最適な中継端末を選択するルーティングの機能が重要である。

IETF (Internet Engineering Task Force) の標準化組織では、MANET (Mobile Ad-Hoc Network) ワーキンググループにて、移動端末で自律的に構成されるネットワークを実現するルーティングプロトコルについて議論がなされている。ここでのネットワークでは、端末が頻繁に移動することにより、端末間のリンクがつながったり切れたりを繰り返すことを想定している。また、ノードの移動特性、ノードの密集の度合いなど、さまざまな

環境の違いについても検討されている[2]~[4]。

しかし、実際に移動体におけるルーティングを用いたマルチホップ通信においては、端末の移動によるだけでなく、フェージングやマルチパスによる受信信号強度の変動によりルートが頻繁に切り替わる。また、MANET によるルーティングでは最短経路 (最小ホップ数) を選択するために、弱い伝搬経路が選択されてリンクが切断され易くなる。従って、移動中において、中継端末を適切なタイミングや安定に切り替えることが難しく、通信性能として、パケット到達率が低下してしまう。

本論文では、このような移動体におけるルーティングの問題を改善するために、受信信号強度を考慮した方式と、GPS (Global Positioning System) からの位置情報を用いた方式を提案し、屋外での移動実験により通信性能の向上を示す。

2.移動実験

2.1 アドホックネットワーク無線装置

実験のための無線装置としては、アンテナとして DC 電圧制御によりセクタ又はオムニのビームに切り替えることが出来る ESPAR アンテナ[5]を使用し、無線モジュールとしては IEEE802.11g 無線 LAN カードをベースとして、ブロードキャスト時にはオムニビームで送信し、データ通信のようにユニキャスト時にはセクタビームで送信するように改造したものである。セクタビームを通信したい相手方向にセットするために、以下の手順を行っている。各端末は、定期的にセクタビ

ームで全方位（最大12方位）を走査しながら送信し、周辺端末はオムニビームで受信し、受信信号強度(RSSI)を測定して結果を返送する。その結果、各端末には周辺端末毎に12方向のRSSI情報を収納したAST (Angle-SINR Table)を形成し、最も強いRSSIの方向へセクタビームをセットして送信する。PCはOSとしてLinux Red Hat9, カーネル2.4.20を使用し、ルーティングプロトコルとしてテーブル駆動型のFSR[6]やオンデマンド型のAODV[7]を実装した。本研究では、無線モジュールにGPSを接続し、位置情報を取得するようにした。(図2.1-1)

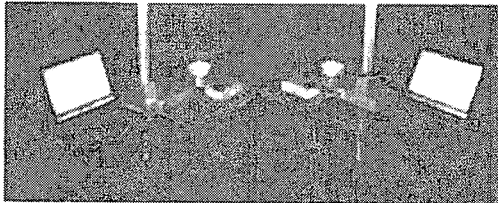


図 2.1-1 アドホックネットワーク無線装置

2.2 移動実験

図 2.2-1, 図 2.2-2 に示すように、前述の無線装置を4台用意して車両に搭載し、送信端末を固定、受信端末が移動して遠ざかり、途中経路に中継候補となる2台の固定端末を設置し、受信端末と各端末間の受信信号強度(RSSI)と送信と受信の端末間のパケット到達率を測定した。

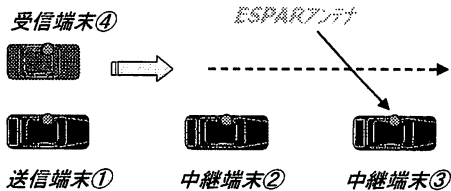


図 2.2-1 移動実験レイアウト

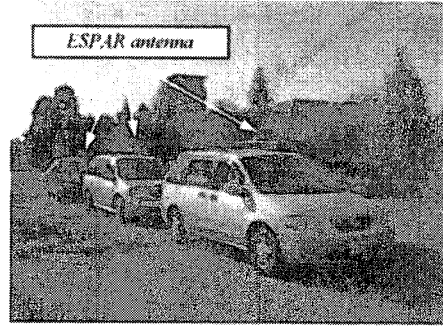


図 2.2-2 実験車両

実験の結果、図 2.2-3 に示すように移動する受信端末と静止した送信端末及び2台の中継端末との間の受信信号強度は、端末間距離に応じて変動しながらも増加又は減少している。但し、単調に増加や減少せずに、局部的に受信信号強度は急激に低下しており、これは路面からの反射によるマルチパスの影響である。ESPARアンテナの地上からの高さは1.8mであり、図 2.2-4 に示すように端末間距離が28mと56mの付近に大きな低下がおきることが再現されている[8][9]。受信信号強度は、ASTを1sec周期で生成し、取得したRSSIの値を5回分オーバーラップさせながら平均した値を用いている。

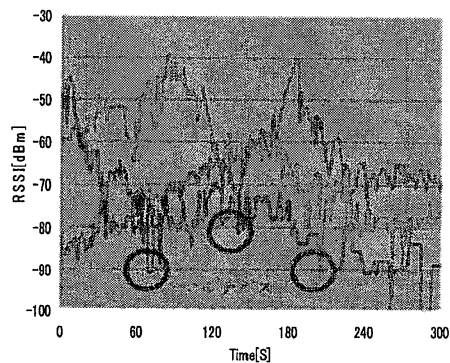


図 2.2-3 RSSI の変化

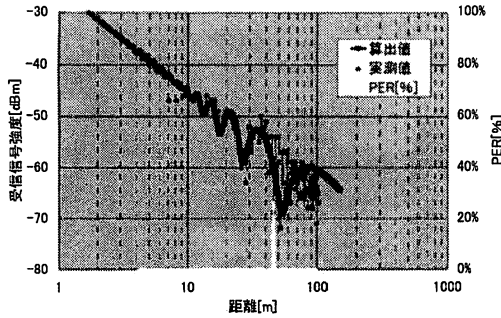


図 2.2-4 マルチパス下での RSSI

図 2.2-5 には MANET による AODV を用いた時のパケット到達率とホップ数を示す。送信端末と受信端末が最小ホップ数で接続しようとするために、電波伝搬の限界まで直接通信が続き、切断してから新たな中継ルートを選択している。その後もルートが安定しないので、パケット到達率が良くない。パケットは 1,500byte のデータを 10msec 間隔で UDP 送信し、1sec(100 パケット)毎の到達率 (%) を算出した。伝送速度は適応変調を用いており、最小速度は 1Mbps で、この時の最小受信感度は約-90dBm である。図中より 70sec 付近や 200sec 以降では受信信号強度が最小受信感度に近づき、また、下回るのでパケット到達率が大きく低下している。

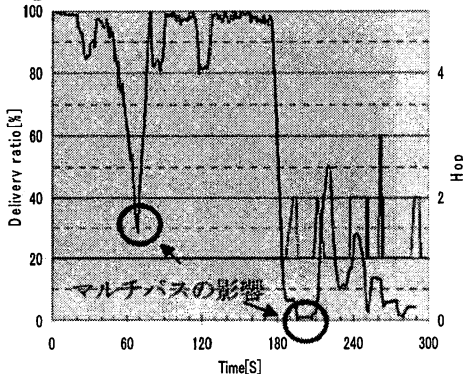


図 2.2-5 パケット到達率(AODV)

3.受信信号強度を考慮した方式

MANET による FSR, AODV に対して、筆者は文献[10]～[13]にて、伝搬状況の良い中継端末を選択することにより、マルチホップ通信の総合スループットを向上させる方式を提案し、静止端末の中での実験において、伝搬状況の良い方のホップ数が多い経路を選択しても総合性能が優れることを示した。具体的には、図 3-1 に無線モジュールの受信信号強度に応じたエラーレートとスループットの特性に示すように、受信信号強度が約-50dBm～-90dBm に応じて、伝送速度が 54Mbps～1Mbps まで変化し、この区間に対してメトリックの値に重み付けを行って対応させ、総合メトリックの小さい方の経路を選択する手法である。

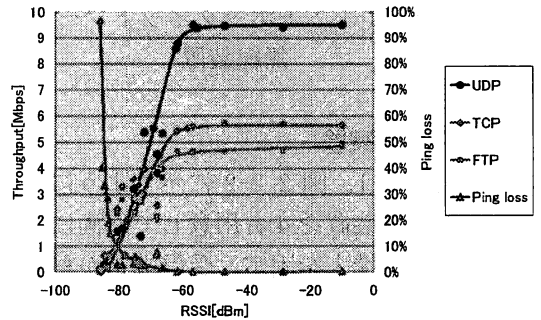


図 3-1 スループット特性 (適応変調)

適応変調におけるスループット特性により、ルーティングにおけるメトリック値は通信特性が劣化し始める約-55dBm 以下で表 3-1 に示す重み付けを施すこととした。

表 3-1 メトリックの設定

信号強度 (dBm)	-55	-65	-75	-85	
メトリック値	1	2	4	8	16

本移動実験においても同様の方式を用いて、移動時のホップ数やパケット到達率を測定した結果を図 3-2 に示す。図中より 70sec 付近の受信端末④と送信端末①とのマルチパスによる受信信号の低下時に中継端末②を経由した 2 ホップとなり、MANET による AODV を用いた時に較べてパケット到達率が良いことが判る。また、200sec 付近では受信端末④と中継端末②とのマルチパスによる受信信号の低下により、中継端末②及び中継端末③をも経由した 3 ホップとなり、全般的に MANET による AODV を用いた時に較べてパケット到達率が良い。

しかし、200sec 付近以降では、RSSI に応じた可変メトリックの閾値に対して、受信端末④と各端末①～③との受信信号強度に大きな差が無いために、経路を決定付けるための総合メトリックに差が生じず、経路が頻繁に変更されて、パケット到達率が低下している。但し、MANET による AODV を用いた場合(図 2.2-5)に較べて、全般的にホップ数が多く、マルチホップの各区間の RSSI の値が高く伝送速度も高いので、パケット到達率は比較的良くなっている。

なお、MANET による AODV を用いた時と同様に、AST の生成及び Hello パケットは 1sec 周期とし、RSSI の値は AST プロトコルにより 1sec 周期で取得した値を 5 回分オーバーラップさせながら平均した値を用いた。更に、RSSI 値の変動に対して、移行に $\pm 2\text{dB}$ のヒステリシスを設定し、ルーティングテーブルからの life time は Hello パケット 3 回分の 3sec としている。

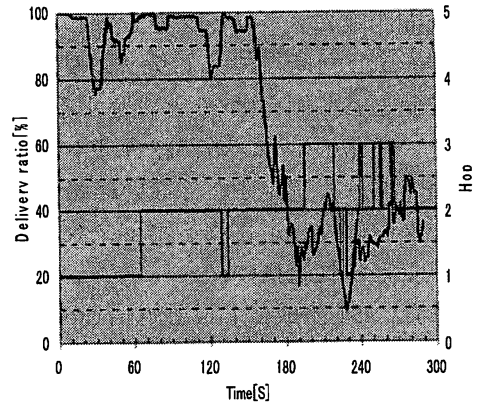


図 3-2 パケット到達率 (RSSI 対応 AODV)

4. 位置情報を用いた提案方式

経路の頻繁な変動に対して、GPS からの位置情報を基に、端末間距離を算出し、距離に応じたメトリックの値を設定して経路を安定に切り替える方法を提案する。図 4-1 に実験の構成を示す。

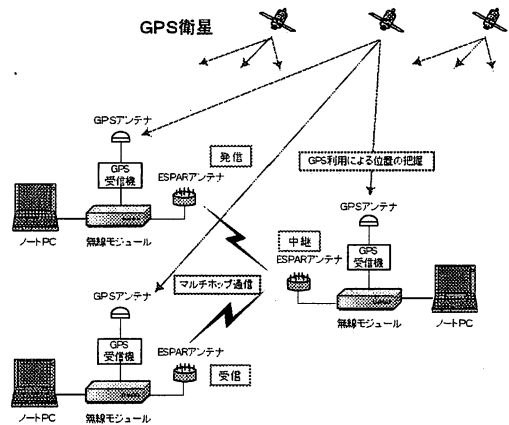


図 4-1 GPS を用いた実験の構成

移動実験の関係により、はじめは受信端末④と送信端末①が直接通信となっているが、中継端末を追い越した時点で、その中継端末を経由するマルチホップ通信に切り替えるものとした。従って、各

端末間距離のメトリックを1とし、この距離を越えた時点でメトリックの値を大きな値として例えば16と設定する。選定したい経路のホップ数が総合メトリックの値であり、選定したくない経路のメトリックの値は想定されるホップ数の最大値以上とすれば良い。

また、AST生成における返信(Reply)パケットやルーティングのHelloパケット等にGPSから得た位置情報を盛りこんでおけば、受信側では自分の位置情報と比較して相手までの距離を算出して、距離に基づくメトリックの値を求めることが可能となる。

AODVのルーティングにおいては、HelloやRREQ/REPLYのパケットに、自分の位置情報とアクティブルートについては、隣接端末のアドレスとメトリックの値を盛り込む改造を行い、経路の制御を行った。図2.2-1の移動実験レイアウトに従って、移動時のホップ数やパケット到達率の測定を行った。この結果、経路は安定に切り替えられたが、MANETによるAODVを用いた時と同様に、70sec付近の受信端末④と送信端末①とのマルチパスによる受信信号の低下時に、中継端末を利用せず直接通信が続くので、パケット到達率が良くないことが判る。また、200sec付近では受信端末④と中継端末②とのマルチパスによる受信信号の低下により、パケット到達率が低下する。しかし、中継端末③を追い越した時点で、中継端末②及び中継端末③も含めた安定な3ホップとなり、再び、パケット到達率が回復する。これ以降は、受信端末④が遠ざかり、受信信号強度の低下に伴い、パケット到達率も低下していく。

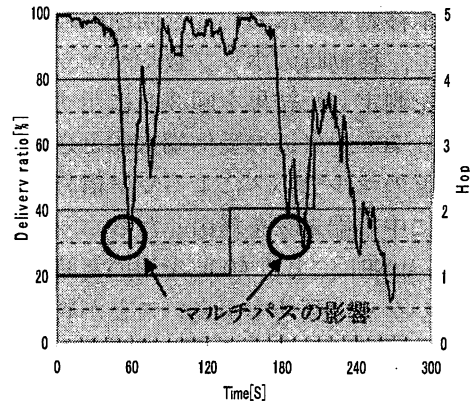


図 4-3 パケット到達率 (GPS 対応 AODV)

5. 実験結果のまとめ

AODV, AODV (RSSI 対応), AODV (GPS 対応) の3つのプロトコルに対して、移動実験におけるパケット到達率の結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 実験結果のまとめ

		AODV	AODV(RSSI)	AODV(GPS)
前半	ave	89.8	94.5	88.4
	σ	14.7	6.1	15.4
後半	ave	14.4	35.6	47.1
	σ	51.3	12.1	40.5
総合	ave	60.1	68.6	45.3
	σ	44.0	36.8	33.3

単位 (%)

MANETによるAODVを用いた場合、最小ホップ数の経路が優先され、受信信号強度の変化を受け易く、総合的にもパケット到達率が良くない。受信信号強度を考慮した方式では、180sec付近より前半ではマルチパスによる受信信号の低下に対しては、中継端末を用いて影響を低減しているが、後半では受信端末と各端末との受信信号強度の差が小さいために、経路を決定付けるための総合メトリックに差が生じず、経路が頻繁に変更されて、パケット到達率が低下している。位置情

報を用いた方式では、移動中に経路を安定して切り替えることが出来たが、やはりマルチパスによる影響を受け易く、この時のパケット到達率が急激に低下している。また、180sec 付近より後半では、受信端末と各端末との受信信号強度の値や差が小さいのだが、ルートを安定に切り替えて3ホップとなり、3つの方式のなかでは最もパケット到達率が良かった。

従って、受信信号強度を考慮した方式と、位置情報を用いた方式を、状況に応じて使い分けることが望ましく、表 5-1 の結果より、前半を AODV (RSSI) 方式、後半を AODV (GPS) 方式で対応するならば、総合的には 79.2% (ave) まで向上させることが期待できる。

6. おわりに

移動体における無線アドホックネットワークでは端末の参入や離散によるトポロジーの変化だけでなく、電波伝搬状況の変化によりルートが不安定となって、通信性能が劣化することから、実用化への課題となっている。本論文では、ITS の車車間通信への応用を想定して、マルチパスによる受信信号強度の急激な低下が発生する状況において、受信信号強度に応じた可変伝送レートと対応した可変メトリックを用いて、マルチホップ通信の総合性能の良いルートを選定する方式と、GPS からの位置情報を用いて安定にルートを切り替える方式を提案した。これらを状況に応じて使い分けることにより、MANET によるルーティングや個別の提案方式に対しても、通信性能が向上出来る可能性があることを示した。また、

本論文での提案方式は、オンデマンド型のプロトコルである AODV の Hello パケット等の変わりに、テーブル駆動型のプロトコルにおける定期的な Link state パケットに対しても改造が可能であり、導入していくことが可能である。

謝辞 本研究は、情報通信研究機構 (NICT: National Institute of information and Communications Technology) の研究委託「ユビキタス ITS の研究開発」により実施した。

参考文献

- [1] 渡辺正浩 “無線アドホックネットワーク”, 自動車技術会春季大会ヒューマンロクスフォーラム, pp18-23, 横浜, 5月2003年
- [2] C.E.Perkins, “AD HOC NETWORKING”, Addition-Wesley Pub, 2000.
- [3] C.K.Toh, “Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and System”, Prentice Hall PTR, 2001
- [4] X.Hong, K.Xu, M.Gerla, “Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE Network, pp. 11-21, 2002
- [5] 大平 孝, “エスパアンテナの動作原理とシステム応用”, 信学誌, 87, 12, pp.1061-1064 (2004-12).
- [6] Guangyu Pei, et al, “Fisheye state routing: a routing scheme for ad hoc wireless networks” ICC2000. Commun., Volume 1, pp70-74, L.A., June 2000
- [7] C.E.Perkins, E.Belding-Royer and S.Das, Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing, RFC3561, July 2003
- [8] 渡辺正浩, 他 “WACNet (IEEE802.11b) 無線通信におけるアスファルト路面反射の特性”, A-17-17, 信学ソ大会, 9月2003年
- [9] 渡辺正浩, 他 “WACNet (11b アドホック) におけるルートダイバシティの実験”, 信学技報, MoMuC2004-16, 5月2004年
- [10] 渡辺正浩, 他 “受信信号強度を考慮したルーティングプロトコルの提案”, 信学技報, RCS2004-130, 8月2004年
- [11] 渡辺正浩, 他 “受信信号強度を考慮したルーティングプロトコルの屋内実験評価”, B-5-125,

信学ソ大会, 9月2004年

[12] S. Tang, et al "A Robust AODV using RSSI with local update", B-5-124, 信学ソ大会, 9月2004年

[13] 湯素華, 他"Link Heterogeneity を考慮した
ワンデマンド・ルーティング方式とその屋内実験評価", 信学技報, MoMuC2004-85, 11月2004年