

## 車々間通信ネットワークにおける 自律分散型パケットルーティングに関する一検討

児島史秀<sup>†</sup> 原田博司<sup>†</sup> 藤瀬雅行<sup>†</sup>

本稿では、自営系無線通信システムを前提とし、移動端末同士が車々間通信技術によって無線通信リンクを確立する移動体通信ネットワークを提案する。本ネットワークにおいて、各端末の位置変化等によってもたらされる無線伝搬路環境の変動に柔軟に対応するため、各端末が他端末からの受信電力をパラメータとして自律分散的にパケットルーティングを実現するアルゴリズムを提案し、諸特性について検討を行う。計算機シミュレーションの結果、提案アルゴリズムは端末の位置変化に応じて適応的にパケットルーティングを実現し、結果としてスループットを改善することが確認できた。

### Study of Autonomous Packet Routing for Inter-Vehicle Communication Network

Fumihide Kojima<sup>†</sup>, Hiroshi Harada<sup>†</sup> and Masayuki Fujise<sup>†</sup>

This paper proposes an inter-vehicle communication network based on the independent communication network system. In this system, radio propagation conditions between mobile terminals results in unstability of radio links, which causes unexpected packet loss or transmission delay. In order to achieve flexible packet transmission under inter-vehicle communication environments, we have introduced an autonomous packet routing algorithm that conducts dynamic packet relay according to the terminals positions. Computer simulation confirms that the system that employs the proposed packet routing algorithm achieves higher transmission throughput than that without the packet routing algorithm.

#### 1 はじめに

近年の移動通信分野における需要増加に伴い、携帯電話システムや、屋内無線 LAN システム等、多様な無線通信システムが実用化され、普及している。一方で、以上のような公衆網を使用するシステム形態の他に、移動端末同士が無線通信リンクによって通信を行い、さらにはネットワーク構造を構築する形態が、自営系や公衆業務用のシステムとして提案されており、今後の発展が予想されている。しかし、移動端末による通信ネットワーク構造は無線伝搬路の特性上、既存の有線ネットワークと異なるリンク制御が必須であり、無線周波数資源の有効利用の見地からもシステムの

技術基準の策定が必要であるが、これらに関してほとんど検討されていないのが現状である。

以上のことから本稿では、ITS 車々間通信技術を用いた、移動端末の環境適応型の通信ネットワーク構築技術について検討を行う [1][2]。本システムは複数の移動端末が車々間通信リンクによって結合された形態を持ち、従来の無線通信システムが導入する既存有線回線、基地局、制御局等の介入を要しない。また本システムは移動端末自体に高度な制御機能を導入することで、ネットワークの構成に必要な中継通信、ルーティング [3][4] の機能を、移動端末の配置や無線伝搬路状況等の環境に応じて適応的かつ自律分散的に実現する。従って本システムは、環境適応型のネットワーク構築により運用場所や規模に関して自由度の高い通信ネットワークを構成するため、山間地や災害地等、以上の固定設備の敷設が困難な状況に

<sup>†</sup> 総務省 通信総合研究所 横須賀無線通信研究センター  
<sup>†</sup> Yokosuka Radio Communications Research Center,  
Communications Research Laboratory, Ministry of Public  
Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications

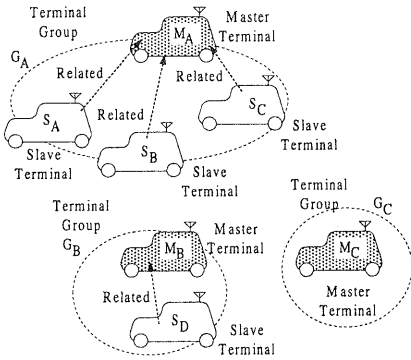


図1 端末グループの概念

において容易にサービスを実現することが可能である。

本稿ではシステムの動作の確立ならびに基本特性の策定を目的として、端末間パケット通信を前提とした場合のパケットルーティングアルゴリズムを提案し、計算機シミュレーションを用いてスループット特性の解析を行う。

## 2 システム構成

### 2.1 端末グループの概念

提案アルゴリズムでは自律分散的ルーティングを実現するために、端末グループという概念を導入している。図1に端末グループの概念を示す。ネットワーク内の各端末は上位局 (Master) モード、下位局 (Slave) モードというふたつの動作モードのいずれかをとり、同時に状況に応じてモードの更新を行う。すべての下位局端末には、それぞれひとつの上位局端末が対応しており、本稿ではこの論理的な対応関係を上位局に対する下位局の従属と定義する。さらにひとつの上位局端末と、それに従属するすべての下位局端末の集合を端末グループと定義する。図1では、下位局端末  $S_A, S_B, S_C$  はともに上位局端末  $M_A$  に従属しており、これら4つの端末で端末グループ  $G_A$  を構成している。同様に下位局端末  $S_D$  と上位局端末  $M_B$  は端末  $G_B$  を構成する。一方、上位局端末  $M_C$  はそれに従属する下位局端末を持たないが、この1端末をもって端末グループ  $G_C$  と定義する。

### 2.2 端末グループ構成アルゴリズム

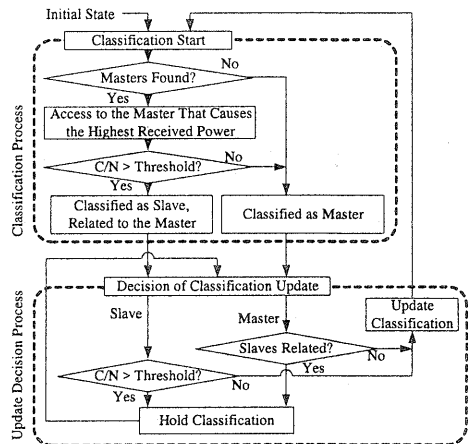


図2 動作モード決定アルゴリズム

提案提案アルゴリズムは、状況に応じて各端末の動作モードを更新し、それにともなって端末グループを構成する。図2に端末動作モード決定のための流れ図を示す。まず動作モードを決定する端末は、上位局モードにある端末が近くに存在するかを検知する。周囲に端末が存在しない場合には、自ら上位局端末となる。対して1個以上の上位局端末が検知された場合、最も高い受信電力が得られる上位局端末について、得られた  $CN$  比とあらかじめ設定されたスレッシュド値が比較される。 $CN$  比がスレッシュドを上回った場合、端末の動作モードを下位局モードと決定し、その上位局端末に対して従属する。対して下回った場合には、自ら上位局端末となる。ここで、設定された  $CN$  比のスレッシュドとは、本アルゴリズムの1パラメータであり、値を  $CN_{master}$  と表記する。以上により決定された各動作モードは一定時間ごとに更新条件に照らされた後、必要ならば更新される。下位局端末では、従属する上位局端末からの受信電力が  $CN_{master}$  を下回った場合に、また上位局端末ではそれに従属する下位局端末数が0となった場合にそれぞれ動作モードをリセットし、新たに動作モードを決定する。

すべての端末は自身の動作モードに関する情報を持っている。さらに下位局端末は自身が従属する上位局端末を認証しており、対して上位局端末は自身に従属するすべての下位局端末を認証している。

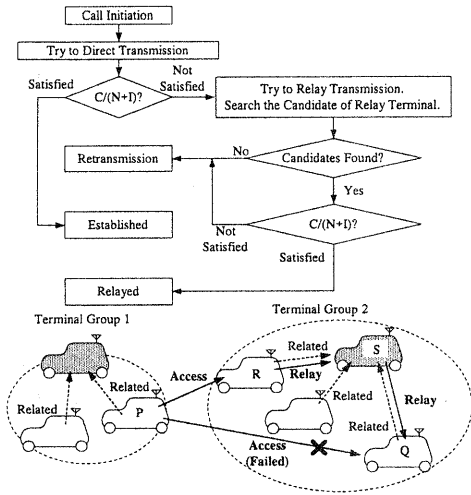


図3 ルーティングの流れ図

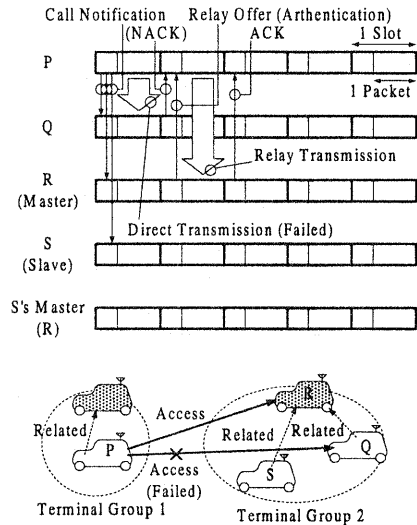


図5 時間領域ダイアグラム

(上位局端末によるルーティング)

として送信先端末と同じ端末グループに属する端末 (R) を選択し、パケットを送信する。このときの中継候補端末の動作として、下位局端末はその上位局端末に、上位局端末はパケットの送信先端末にそれぞれパケットを中継する。結果、自律分散的に送信先へのルーティングが実現する。

### 3.2 時間領域ダイアグラム

図4, 5, 6 は提案アルゴリズムにおけるルーティングの時間領域ダイアグラムであり、中継候補端末検知のための制御を示している。本システムでは図のように Slotted-ALOHA 型のアクセス方式を仮定しており、1 スロットはパケットと制御信号用に時分割されている。パケットの直接伝送時には、この制御信号区間を用いて各端末にパケットの送信先が放送される。そして中継候補に該当する端末がこれに対して中継の申し出を行う。中継候補端末が上位局である場合には即座に申し出を送信できるが、下位局である場合にはその上位局に対して、送信先端末が同じ端末グループに属するかを確認するため遅延を生じる。直接伝送 (図4) に失敗した場合、端末はこうした申し出により中継候補端末を検知し、上位局 (図5) あるいは下位局 (図6) の端末にパケットを中継する。

図4 は直接伝送の時間領域ダイアグラムを示している。パケットを生起させた端末 P は制御信号

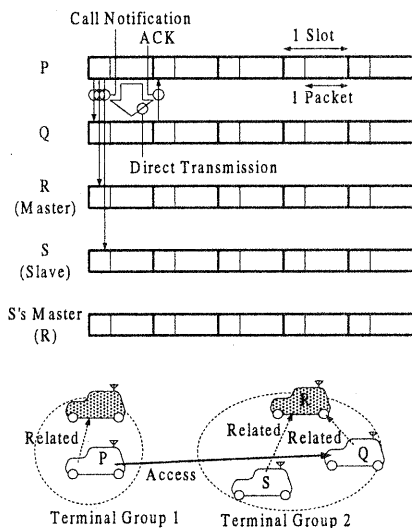


図4 時間領域ダイアグラム  
(直接伝送)

## 3 ルーティング制御

### 3.1 ルーティングアルゴリズム

図3 にルーティングアルゴリズムを示す。端末 (図では P) はまず送信先端末 (Q) に対して直接伝送を試みる。失敗した場合には、中継候補端末

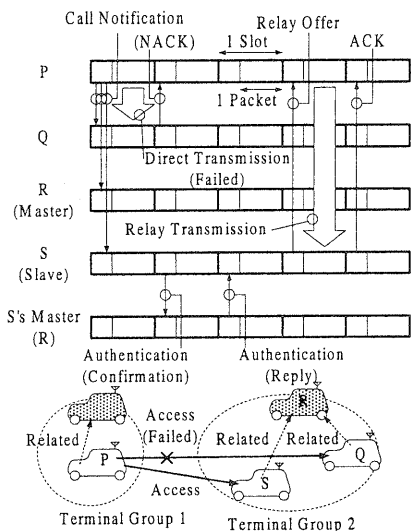


図 6 時間領域ダイアグラム  
(下位局端末によるルーティング)

区間を用いてパケット送信を放送すると同時に続くパケット伝送区間をもって端末 Q へのパケットを送信する。この場合直接伝送は成功し、Q より ACK が返される。

図 5 は上位局端末によるルーティングが実現された状況を表している。図 4 と同様に始めに端末 Q 宛のパケットが送信されるが、無線伝搬路状況が良好でない等の理由でパケットは届かず、ACK は返されない。一方、ここでは P のパケット送信通知を上位局端末の R が受信しており、かつ送信相手の Q が R に従属しているため、R はその次の制御信号区間を用いて P に中継の申し出を送信する。この申し出を受信した P は次のパケット伝送区間を用いて R に対し、Q 宛のパケットを中継する。

図 6 は下位局端末によるルーティングの状況である。図 5 と同様にパケットの直接伝送は失敗するが、ここではパケット送信の通知が下位局端末である S によって受信される。このとき、前節において述べたように S が送信先端末 Q と同じ端末グループに属していた場合、S は中継候補端末となってパケットを中継することができる。そこで S は次の制御信号区間において自らの従属する上位局端末 R に対し、Q が R に従属しているかの問合せを行う。そしてさらに次の制御信号区間

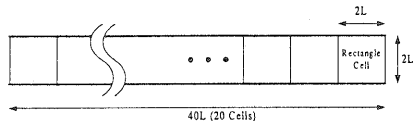


図 7 シミュレーションエリア

表 1 シミュレーション諸元

伝搬定数	3.5
シャドウイング	標準偏差 6.5 dB の対数正規分布
パケット到着	ポアソン到着
端末数	80 端末
端末の平均移動速度	2.0 L/s
動作モードチェック	10 s ごと
$CNI_{th}$	10 dB
パケット再送	直後のスロット
パケットタイムアウト	30 スロット

で R より Q が同じ端末グループに属する旨の通知を受け取った後に、端末 P に対してパケット中継を申し出ることができる。

図 4 の状況では、パケットが端末 Q に正しく受信された時点で通信は完了するが、図 5, 6 の場合にはパケットは途中の中継端末に伝送されたに過ぎない。このため、この後パケットは前節で述べた中継候補端末の自律分散的制御により中継伝送され、送信先の端末に到着する。

また中継伝送が行われた場合には、送信先端末にパケットが正しく送信されたことの通知である、最終的な ACK が送信元の端末に返される必要がある。このための具体的な方法としては送信されたパケットに中継経路のログを残し、送信先端末から経路を逆に辿って送信元へと ACK 信号をルーティングさせる方法や、通常パケットに比べ高い電力を用いて送信先端末から送信元端末へ ACK を直接通知する方法等が考えられる。本稿ではこのための具体的な方法については今後の課題としている。

## 4 計算機シミュレーション

### 4.1 シミュレーション諸元

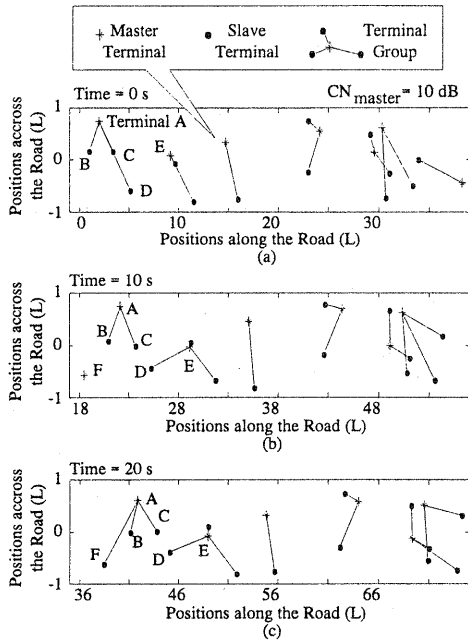


図8 端末グループ構成

本アルゴリズムの特性について評価するため、計算機シミュレーションによる解析を行った。

図7にシミュレーションエリアを示す。シミュレーションエリアは一辺  $2L$  の正方形のセル 20 個で構成されるストリートセルモデルであり、端末はこのエリアを同一方向に移動する。

表1に本シミュレーションの諸元を示す。無線伝搬路のモデルとして、3.5の伝搬定数と、対数正規分布に従うシャドウイングを導入し、パケットの到着はポアソン到着とした。端末の速度は平均移動速度を  $2L/s$  とする一様分布に従う。この平均移動速度は例えば  $L$  を  $10m$  とした場合（シミュレーションエリア幅が  $20m$  である状況に相当）に時速  $72km$  に相当する。

また本シミュレーションにおいてはパケット送信通知等の各種制御信号は完全に正しく伝送されると仮定した。

#### 4.2 端末グループ構成

図8に端末グループの  $10s$  ごとの時間的变化を示す。上位局端末と下位局端末とを結ぶ線は従属を表し、同時に端末グループを明示している。また図中において同一のアルファベットは同一の

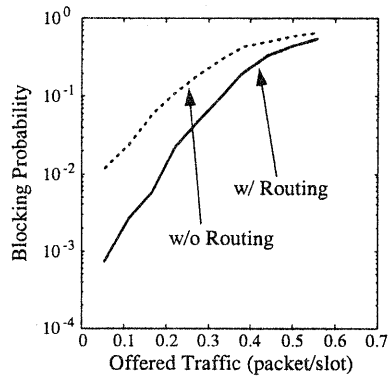


図9 呼損率特性

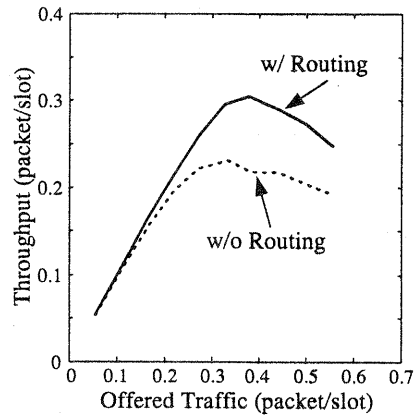


図10 スループット特性

端末を意味しており、時間経過における特定の端末の振る舞いを示すためのものである。図より、端末グループが端末の移動に従い動的に構成されていることがわかる。例えば図4(a)において端末Dは上位局モードにある端末Aに従属し、端末グループを構成しているが、 $10s$ 後の図4(b)では別の端末Eに従属しており、異なる端末グループに加わっていることがわかる。

#### 4.3 呼損率特性

図9に発生パケットトラフィックに対する呼損率特性を示す。ここでは提案するパケットルーティングを採用する提案方式と、比較のためにパケットル

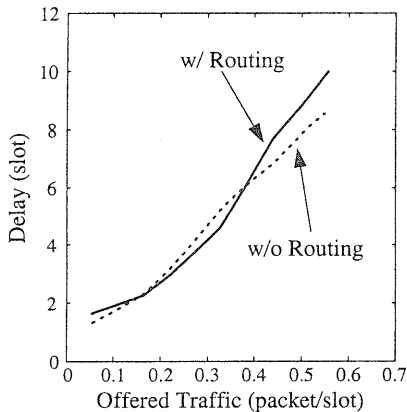


図 11 遅延時間特性

ルーティングを行わず、直接通信のみを行う方式の特性をそれぞれ示す。さらに  $CN_{master}$  は 10 dB に設定した。図よりトラフィックにもなつてパケット同士の干渉により  $C/(N+I)$  比が劣化するため、呼損率は上昇している。一方、ルーティングを用いる提案方式は高トラフィック時において干渉が増加した場合にも中継伝送によって高い  $C/(N+I)$  比を実現できるため、ルーティングを行わない方式に比べ低い呼損率を実現していることがわかる。

#### 4.4 スループット特性

図 10 に発生パケットトラフィックに対するスループット特性を示す。スループットは正しく送信先に伝送されたトラフィックを表し、すべてのパケットが正しく伝送された場合、発生パケットトラフィックに等しい。2 方式ともに、低トラフィック時にはトラフィックに伴いスループットが上昇しているが、高トラフィック時にはパケットの衝突が発生するためスループットは劣化している。しかし提案方式は図 8 に示す呼損率改善効果によりパケットの通信成功確率を高めているため、高トラフィック時においても高いスループットを実現している。

#### 4.5 遅延時間特性

図 11 にトラフィックに対する遅延時間特性を示す。ここで遅延時間とは正しく送信が完了したパケットの平均遅延時間をスロット長で正規化したものである。遅延時間はトラフィックが上昇し、パケットの再送が頻発することにもなない増加しているが、図では 2 方式ともほぼ同じ特性を示している。第 3.2

節に述べたように提案アルゴリズムによるパケットルーティングでは、中継候補端末の認証等の遅延時間を必要とするが、高トラフィック時等のようにパケットの直接伝送の成功率が低い場合にはパケットの再送が急激に増加するため、結果としてルーティングによるパケット伝送が小さい遅延時間によって成功する場合があります。図のような特性が得られたと考えられる。

#### 5 おわりに

本稿では、自営系無線通信システムを前提とし、移動端末同士が車々間通信技術によって無線通信リンクを確立する移動体通信ネットワークを提案する。本ネットワークにおいて、各端末の位置変化等によつてもたらされる無線伝搬路環境の変動に柔軟に対応するため、各端末が他端末からの受信電力をパラメータとして自律分散的にパケットルーティングを実現するアルゴリズムを提案し、諸特性について検討を行った。計算機シミュレーションの結果、提案アルゴリズムは端末の位置変化に応じて適応的にパケットルーティングを実現し、結果としてスループットを改善することが確認できた。今後の課題として、現実的なデータトラフィックを適用した場合の特性評価等が挙げられる。

#### 参考文献

- [1] R. Whelan, "Smart Highways, Smart Cars", Artech House, 1995.
- [2] F. Kojima, H. Harada, and M. Fujise, "An Autonomous Relay Access Scheme for an Inter-Vehicle Communication Network", Proc. of IEEE PIMRC2000, pp. 974-978, September 2000.
- [3] K. Ishida, Y. Kakuda, T. Kikuno, and K. Amano, "Distributed Routing Protocol for Finding Two Node-Disjoint Paths in Computer Networks", IEICE Trans., Commun., Vol. E82-B, No. 6, pp. 851-858, June 1999.
- [4] Y. Zhang and S. Asano, "Routing Algorithm for Asymmetric Multi-Destination Connections in Multicenter Networks", IEICE Trans., Commun., Vol. E81-B, No. 8, pp. 1582-1589, August 1998.