

## 分散制御による移動体通信方式

小畑 和則      富永 英義  
早稲田大学理工学部電子通信学科

住所: 東京都新宿区大久保 3-4-1 55 号館 N06-02 号室  
TEL: (03) 5286-3385  
FAX: (03) 3200-6735  
E-mail: kazu@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし 本研究では、ネットワーク設備のない地域での通信を実現する無線通信システムの構成とその通信方式を提案する。無線端末のみで構成されるネットワークはその設置が容易であるが、広域にサービスを提供することは困難であり、無線 LAN への適用を考える。このような研究として従来より端末を階層化しネットワークを構成する手法が提案されているが、上位局の負担が多大なものとなり上位局自身の通信に支障を来してしまう。本研究では端末を階層化せずに対等分散制御にて通信を処理ものとする。この際のトレードオフの一つとして、ルーティング機能の実現が困難となることが挙げられる。そこで、対等分散制御によるシステムにおけるルーティング機能に関して、そのモデルの近似解析、計算機シミュレーション実験を行ないその特性解析を行なった。その結果、高い確率で接続が可能であることが分かった。

キーワード 対等分散制御, 回線交換, マルチホップパケット通信, フラッディング, 捕捉効果

## Distributed Controlled Mobile Communication Architecture

Kazunori OBATA      Hideyoshi TOMINAGA  
Dept. of Electronics and Communication Engineering, WASEDA University

Address: 55N-06-02 4-1 Ohkubo-3 Shinjuku-ku, Tokyo 169, JAPAN  
TEL: +81-3-5286-3385  
FAX: +81-3-3200-6735  
E-mail: kazu@tom.comm.waseda.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a communication among mobile terminals without base station. Network only with mobile terminals can be set up rapidly, but it is difficult to offer services to wide area within terminals. So we adopt this system to wireless LAN system. On these studies, terminals are classified into different levels variably, but then, the burden of upper terminals is very much. So we consider that terminals manage their own communications in equally distributed manner. In this system routing is not so easily, so we analyze and simulate characteristics of this model. As results of this analyses, we can get high connective rate.

key words equally distributed manner, circuit switching, multihop packet communication, flooding, capture effect

## 1. はじめに

現在サービスが行なわれている自動車電話、携帯電話や無線 LAN では、無線ゾーンがサービスエリアに隙間なく配置され、各端末は基地局を介して通信を行なう。この方式は管理局が集中的に端末情報を管理するため、端末の位置把握に優れ比較的簡単な制御にて通信可能だが、サービスエリアに限られ、セルラシステムのように多くの基地局を配置する場合は、管理局の負担が多大なものとなる。また、近隣に位置し直接通信できる場合でも基地局を介し通信を行なう非効率的な面も見受けられる。

本研究では、集中制御方式をとる現行の移動通信システムの上記のような弱点克服の一検討として、端末の中継機能を用いて端末のみでネットワークを構成し、端末個々の分散制御にて通信を処理することで、ネットワーク設備に依存せずに通信可能な無線通信システムを提案する。このような無線通信システムは各方面で研究されてきたが(1)(2)(3)(4)、いずれも端末の移動やトラヒック変動とともに可変的に端末を階層化し、管理局の役割を果たす端末を想定している。しかし、階層化構造の上位局となった端末は自分と関係ない通信制御に従事するため、自身の通信に支障を来たしてしまう、上位局の変更などによるネットワーク再構成時には複雑な制御機能が必要となる、といった制御動作量の偏りと機能の複雑さが問題となる。端末の動作量は平等かつ簡素であることが望ましい。

こうしたことから、本研究では無線端末を階層化せずに、全て対等な立場<sup>(5)</sup>をとることを前提とし、簡素な制御にて通信を実現することを考える。この無線端末の対等分散制御を用いた端末間通信の実現を目指す。

端末のみで構成される無線通信システムは設置が容易であるという利点を持つ一方、そのシステムのみで広範囲にサービスを提供することは困難であり、端末の中継機能を用いるため課金方法が複雑となる。従って、ここでは使用地域・期間の限られた、例えば、工事現場や短期間のイベント会場などに適用する無線 LAN システムをターゲットとして考える。

## 2. システムの概要

本システムは中継専用局を導入せず純粋に端末のみでネットワークを構成する。これは、このシステムを、小規模ながら設置・撤廃に手間のかからないいつでもどこでも使用可能な無線 LAN システムとして適用するためである。

端末間の接続手法として、互いに電波有効範

囲内にある端末間は直接通信し、電波有効範囲外の端末間は他の端末の中継機能を用い多段階接続を行うことで通信する。通信方式としては、音声通信、テレビ電話などの双方向リアルタイム通信を可能とする回線交換による接続を行なうものとする。従って、各端末間毎に異なる周波数を使用し、遅延変動がなく、他の通信との衝突・干渉がない安定した品質を継続的に保つことのできる通信回線の提供を実現する。

階層化構造をとる無線通信システムでは比較的容易に実現できていたが、対等分散制御によるシステムの実現の際にはその提供が容易でなくなる機能として、宛先端末へのルーティング機能、通信回線の劣化に伴うハンドオーバー機能の提供が挙げられる。これらの事柄は管理局が不在であるため起こるが、本システムでは前者の通信端末間のルーティングを実現する端末の状態を「ルート探索モード」、後者のコネクション確立後の回線交換による通信を実現する端末の状態を「情報転送モード」と定義し、以下にて各モードの詳細について述べる。ここで、端末間における通信経路をルート、ルート上で両端の端末に継続的に通信を提供するものをコネクション、隣接端末間の継続的な通信を提供するものをリンクと定義する。

## 3. ルート探索モード

ルート探索モードは宛先端末へのルーティング機能を実現する端末の状態である。本システムでは、送信端末は通信時に宛先端末の所在を把握できない。従って、通信開始時に通信端末は宛先端末へのルート探索パケット(以下 CRP : Communication Request Packet)をブロードキャストする。そして、この CRP を受信した宛先以外の端末は、これを中継送信することでサービスエリア内に位置する宛先端末に CRP を届ける。すなわち、マルチホップパケット通信の形態をとることとなる。

### 3.1 共通使用チャネル

ルート探索モードでは、CRP の送受信を行なう制御用チャネル(共通使用チャネル)を1波設定する。全端末に対する同期基準端末は存在しないため、このチャネルでは非同期にて CRP を送受信する。同様に、無線回線アクセス方式は端末分散のコンテンツ型アクセス方式を用いる。CRP のやり取りを1波に限定することにより、各端末は常に1周波数を監視していればよい。

### 3.2 ルーティング法

ルーティング法としてフラッディング<sup>(6)</sup>を用いる。フラッディングは無効なパケットが多く発生し、通信回線の負荷が非常に高くなる。また、パケットの送信が無限ループになる恐れがあるため、以下の機能を設ける。

1. 一度中継送信した CRP は再度中継しない。
2. CRP に消滅時間・中継段数制限を設け、それを越えた CRP は自然消滅する。

この機能を実現するために、CRP には発呼端末、宛先端末の ID 番号、CRP のシーケンス番号、中継段数、生成時間、中継端末の ID 番号ならびに状態を付加し、中継端末はこれらが変わった場合には随時更新することとする。

しかし、上記の制御を行なった場合でも全く無指向に CRP をブロードキャストするのは、システム内の全端末に CRP が届かねばならず、発生パケット数がある量以下に抑えることはできない。そこで、各端末が自律的に位置情報を取得し、その情報をもとに CRP の送信時に中継ルートを指定したり、中継段数を限定する機能を設ける。位置情報の取得方法だが、端末はネットワーク構成の初期段階ではシステム内の端末情報を把握できないが、CRP の受信時にその付加情報を参照すれば取得可能である。従って、各端末は CRP の受信時にその中継端末情報を参照し各端末の位置情報リストを作成し、新しい CRP の中継送信時にはこのリストをもとに以下の送信制御機能を実現する。

3. CRP の送信の際に端末の位置情報リストを参照し、宛先端末情報がある場合には、その情報に従って中継ルート(端末)を指定してルーティングを行なう。

しかし、端末の位置情報は時間の経過とともにその信頼度が低下すると考えられる。そこで、取得した位置情報は発生からの経過時間によって随時更新していくものとする。しかし、端末の移動速度が小さい場合、発呼端末と宛先端末間の距離、すなわち必要中継段数は急激に変わらないと考えられる。従って、上記 3. の機能に加え以下の制御機能を実現する。

4. 3. の位置情報利用可能時間以降であっても、ある時間内はその位置情報をもとに中継段数を制限して CRP を送信する。

### 3.3 送信の成否

マルチホップパケット通信では、ACK としては link-by-link のエコー法<sup>(7)</sup>が考えられる。

しかし、本システムでは ACK 自身の衝突する確率が高いため現実的でない。そこで、ACK としては end-to-end で行ない、あるタイムアウト時間を設けその時間内に ACK がこない場合は再送する。また、位置情報を用い中継ルートを指定して送信する場合には、そのリンク部分のみ link-by-link の ACK を用いる。ACK はその送信成功率がシステムの性能を左右するため、ACK 専用のチャンネル (ACK チャンネル) を設けそのチャンネルにて送受信する。

### 3.4 コネクション確立

自分宛の CRP を受信した端末は、その付加情報を利用して送信端末に ACK を返しコネクション確立動作に移行する。コネクション確立は宛先端末が同期基準となり、宛先端末側から順にリンクを確立し、両端のリンクが確立された端末は情報転送モードとなり通信の開始を待つ。情報転送モードでは、各端末は同一のフレーム周期・スロット周期を持つものとする。

フラッディングでは複数のパケットが宛先端末に到達するが、最短ルートを通じた CRP が最初に到達するとは限らない。そこで、最初に到達した CRP から一定時間内に到達した CRP の中から最良なルート情報を採用する。最良とは、中継段数が少なく、通信中の端末が含まれないことである。中継段数は end-to-end での遅延に影響を与え、通信中端末の存在は、新たに情報転送モードに移移する端末に比べて通信容量が制約されるためである。

リンク確立には、使用周波数決定、同期合わせ、送受信タイミング決定の 3 要素がある。使用周波数決定は、リンクの宛先側端末が使用可能な周波数キャリアを選び出し発呼側端末に通知する。発呼側端末はこれをもとに 1 波を選び出す。複数の周波数キャリアが使用可能である場合には、電波の受信レベルをもとにした Reuse Partitioning により 1 波選択する。同期合わせは、宛先端末を同期基準として宛先端末側のリンクから順時行なう。同期合わせの手法は、リンクの宛先側端末がフレームの先頭にて同期バーストを送信し、発呼側端末がこの同期バーストにフレームの先頭を合わせることで実現する。全ての端末が同一のフレーム周期・スロット数を持つので、この時点でスロット同期も達成される。送受信タイミングの決定は、リンク端の送信端末が実際に使用希望スロットにてバーストを送信することで行う。受信端末はそのスロットが空きであれば受信できるが、使用中であったら受信できないため、ACK チャンネルにてその使用の可否を通知することで送信端末は使用できるかどうか判断できる。

## 4. 情報転送モード

情報転送モードでは、コネクション確立時に決定した使用周波数、使用スロット、送受信タイミングをもとに end-to-end で TDMA/TDD による回線交換通信を実現する。このモードではフレーム毎の周期的な動作を実現することから、リンク毎の再送は考えず FEC により誤りを訂正する。また、1 スロットあたりの情報量は 1 フレーム周期中に送ることのできる情報量であるが、情報量の多い通信に関しては使用スロット数を増やすことで対処する。

### 4.1 コネクション切断・変更

通信端末は、通信終了後にコネクションを切断し中継端末を解放する。コネクション切断の通知は、情報バーストのオーバーヘッド部にコネクション切断通知部を設定し、通信端末がそこにフラグを立てたバーストを送信することで行なう。コネクションが強制切断された場合には、その両端の端末が正常終了時と同様にコネクション構成端末に通知する。

コネクション強制切断の対応策として、通信用・バックアップ用の 2 ルートを確立することが考えられるが、多くの周波数キャリア・中継端末を占有することから現実的でない。コネクション強制切断の起こる場合として、回線保留時間によるものより中継端末の位置関係に起因するところが大きいことが分かっている。従って、今後、ルーティング時のより信頼性の高いルートを提供手法に関して検討していく。

## 5. ルート探索モードの特性解析

本章では、ルート探索モード下の端末間のルーティングに関して下記のモデルをもとに、その近似解析と計算機シミュレーションを用いた数値評価例を示す。ここでは、ネットワークを階層化せず管理局が存在しない場合、どれだけ接続率が得られるのか、3 章で述べた位置情報を利用してのルーティングによりどれくらいトラフィックを抑えられるのかに着目する。

大きさ  $Y$  であるエリア中に  $N$  台の端末が 2 次元ポアソンにより一様分布しているものとする。端末の電波有効距離を  $R$  とし、各端末はすべて  $p$  の確率で通信を行なう。端末は 1 台以上の隣接端末にパケットを送信できればその送信は成功する。無線回線の伝送誤りはないものとする。また、以下の近似解析では端末は位置情報を持たないものとする。

### 5.1 近似解析

上記のモデルのもとで以下の項目に関してその特性の近似解析を行なう。

#### [接続率]

接続率とは、ある端末の通信要求パケットが宛先端末へ届く割合である。

ある端末  $Q$  の電波有効距離  $R$  内に  $i$  台の端末が存在する確率  $Prob[A_i]$ <sup>(8)</sup> は、

$$Prob[A_i] = \frac{N^i}{i!} \cdot e^{-N} \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

である。この時、端末  $P$  が端末  $Q$  にパケットを送信する際の送信成功率  $Prob[P \rightarrow Q]$  は、受信端末  $Q$  の電波有効距離  $R$  内に存在する端末のうち、送信端末  $P$  を除き受信端末  $Q$  を含めた  $i$  台の端末が送信しない確率、端末  $P$  の端末  $Q$  の電波有効範囲内に存在する確率と端末  $P$  の送信確率を考慮したものであり、

$$Prob[P \rightarrow Q] = (1-p)^i \cdot p \cdot \frac{N^i}{i!} \cdot e^{-N} \quad (2)$$

となる。これは 1 つのパケットに注目した時の送信成功率であるが、マルチホップパケット通信の接続率とは、送信端末  $P$  の電波有効距離  $R$  内の  $i$  台のうち 1 台以上の端末に送信が成功する確率である。従って、1 段の接続率  $Prob[1hop]$  は

$$Prob[1hop] = 1 - \left\{ 1 - (1-p)^i \cdot p \cdot \frac{N^i}{i!} \cdot e^{-N} \right\}^i \quad (3)$$

となる。2 段目以降は図 1 の斜線部分に位置する端末 ( $P, A, B$ ) は次段送信端末 ( $Q$ ) の送信先端末として考えられない。その斜線部分の面積  $V_n$  の全送信先面積  $S_n$  に対する比  $\alpha_n$  は、電波有効距離  $R$ 、 $n$  段目の送信端末  $P$ 、受信端末  $Q$  間の距離を  $r_n$  とすると、

$$\alpha_n = \frac{V_n}{S_n} = \frac{2r_n^2 \cos^{-1}\left(\frac{r_n}{2R}\right) - r_n \sqrt{R^2 - \frac{r_n^2}{4}}}{\pi R^2} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (4)$$

となる。従って、マルチパケット通信の  $n$  段先への接続率  $Prob[n hop]$  は以下となる。

$$Prob[n hop] = \left[ 1 - \left\{ 1 - (1-p)^i p \frac{N^i}{i!} e^{-N} \right\}^i \right] \cdot \left[ 1 - \left\{ 1 - (1-p)^i p \frac{N^i}{i!} e^{-N} \right\}^{(1-\alpha_n)i} \right]^{n-1} \quad (5)$$

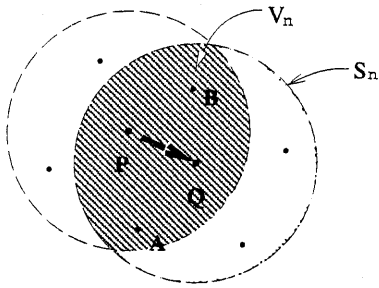


図 1: 次段中継送信先とならない範囲

### [発生パケット数]

ここでの発生パケット数とは、一発呼パケットに対して発生する中継パケット数をいう。

端末 Q の電波有効距離 R 内に存在する平均の端末数  $i$  は、端末が一様に分布しているものとする、 $(i = N \frac{\pi R^2}{Y} - 1)$  となる。フラディングを用いたマルチホップパケット通信においては、2 段先までの発生パケット数は、 $(i + i^2)$  である。しかし、 $(n \geq 3)$  の場合は図 1 の斜線部分の端末は直前にそのパケットを受信しているため次段の送信は行わない。従って、 $n$  段目の次段パケット送信候補となる端末数を  $m$  とした場合、次段送信可能範囲の全送信範囲に占める割合を  $\alpha_{n,m}$  (式 (4)) とすると、本システムの  $n$  段目までの全発生パケット数  $M$  は以下ようになる。

$$M = i + i^2 + \sum_{j=3}^n \sum_{k=1}^m (1 - \alpha_{j,k}) i^2 \quad (6)$$

### [接続遅延]

パケットがある端末で送信バッファに生起してから宛先端末に到達するまでの平均の接続遅延時間  $T$  は、バッファ容量無限、中継端末のパケット送信待ち時間を独立、各端末の呼量を一様とした場合以下ようになる<sup>(9)</sup>。

$$T = W_t + (H - 1)(W_r + \lambda + \tau) + (\lambda + \tau + L_p) \quad (7)$$

ただし、 $W_t$  は送信バッファ平均待ち時間、 $H$  は平均中継回数、 $W_r$  は中継バッファ平均待ち時間、 $\lambda$  は伝搬遅延、 $\tau$  は端末内処理時間、 $L_p$  はパケット長である。ここで、送信バッファと中継バッファの両方にパケットが存在する時

は、送信バッファを優先して送信するものとし、中継バッファは FIFO に従って送信するものとする。また、低優先順位の呼がサービスを受けている時に高優先順位の呼が入力した場合、サービス中の呼終了後に高優先順位の呼がサービスを受ける、非割り込み型優先権モデル<sup>(10)</sup>をここでは用いる。以上のような条件下での送信バッファ平均待ち時間  $W_t$ 、中継バッファ平均待ち時間  $W_r$  は以下ようになる。

$$W_t = \frac{(\rho_r + \rho_t)L_p}{2(1 - \rho_r)} \quad (8)$$

$$W_r = \frac{(\rho_r + \rho_t)L_p}{2(1 - \rho_r - \rho_t)(1 - \rho_r)} \quad (9)$$

$\rho_t$  は各端末の送信バッファに加わる呼量、 $\rho_r$  は中継バッファに加わる呼量である。

## 5.2 数値評価例

### 5.2.1 シミュレーション条件・評価指標 (1)

ここでは、実際に数値例を挙げ計算機シミュレーションによりその性能評価を行なう。 $Y = 1000m \times 1000m$ 、 $N = 100$  とし、伝搬遅延はないものとする。その他の諸元は表 1 に示す。なお、利用する位置情報は 2 段先までとする。

表 1: シミュレーション条件

Access Method	1-persistent CSMA
Transmission Interval	poisson occurrence
Length of CRP	10 msec
Alive Time of CRP	500 msec
Max Relaid Times	10 hops
Speed	0km/h ~ 4km/h
Transmission Range	220m (15 stands)
Timeout (end-end)	800 msec
Timeout (link-link)	60 msec
Transaction time	20 msec

3.2 節の 3. による位置情報を利用しての CRP の送信に関して、以下のパラメータをもとにシミュレーションを行なった。 $T_1$  は位置情報の更新間隔である。

- Case1 : no information
- Case2 :  $T_1 = 1$  (minute)
- Case3 :  $T_1 = 3$  (minutes)
- Case4 :  $T_1 = 5$  (minutes)
- Case5 :  $T_1 = 10$  (minutes)
- Case6 :  $T_1 = 15$  (minutes)

また、評価指標は以下のものを用いる。ここで、link-link 再送率とはパケット送信時に位置情報を用いた場合のリンク毎の再送率、位置情報利用率とは送信時に位置情報を利用した割合のことである。

- 接続率 (Arrival rate)
- 発生パケット数 (Amount of CRPs)
- 接続遅延 (Delay time)
- link-link 再送率 (Resending rate)
- 位置情報利用率 (Using rate)

### 5.2.2 捕捉効果

本システムでは、端末の機能をできる限り簡素化しているため、CRP の衝突が多々起こる。そこで、パケットの衝突の際に捕捉効果(5)を加味する。捕捉効果は受信したパケットのパワー差から生じるものであるが、現在の受信機技術であれば信号波と干渉波の比(捕捉比)が1.5～3dB あれば得られるとしている(11)(12)。そこで、単に距離的な要素からではあるが捕捉比がこれ(3dB) 以上得られた場合、捕捉効果が考慮できるものとする。

### 5.2.3 シミュレーション結果(1)

図2に接続率を、図3に発生パケット数を、図4に接続遅延を示す。なお、各図とも横軸には与えた負荷である単位時間当たりの端末の発呼率を用いる。また、表2に中継送信時に位置情報を用いた時の link-by-link の再送率、位置情報利用率を示す。

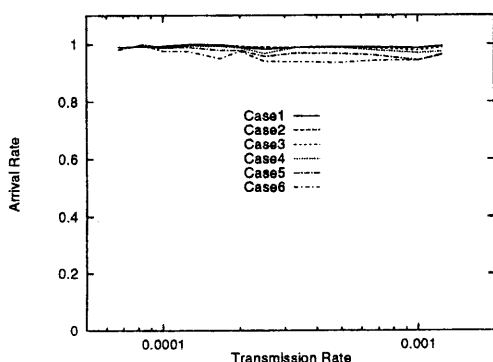


図2: 接続率

接続率は、どの Case もフラッディングを用いた効果が見られ高い値が得られ(図2)、特に

Case1 では値が高く、式(5)の近似解析の結果と合致している。しかし、位置情報を用いその位置情報の更新間隔が大きい場合には値が下がっている。これは時間の経過とともに位置情報の信頼性が低下することの現れであり、その位置情報を用いることで確実な送信ができなくなったためであると考えられる。

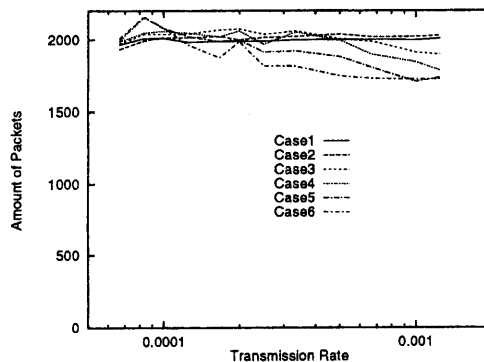


図3: 一発呼に対する発生CRP数

図3よりパケットの発生数はかなり多くなっている(Case1)。この結果は式(6)の  $i = 15$  に対応し、その結果が如実に現れている。そこで、Case2-Case6では、位置情報を利用し送信時に宛先端末への指向性を持たせることで発生パケット数を低減しようとしたが、それほど顕著な効果が現れていない。これは、共通使用チャンネルがパケットの衝突が多く起こる環境下であるのに対し、位置情報を利用し中継ルートの一つに指定することは、衝突による再送率が高くなるためであり(表2)、特に位置情報利用率が低いCase2、あるいは各Caseの発呼率が

表2: 再送率、位置情報利用率

各 Case	再送率 (%)	利用率 (%)
Case1	0	—
Case2	3.0	3.8
Case3	6.7	8.0
Case4	8.9	10.2
Case5	12.5	14.2
Case6	14.8	16.3

発呼率 0.0005 の時

小さい場合には、位置情報を利用することによるパケット低減数よりも再送によるパケット発生数の方が多いと考えられる。

接続遅延は位置情報を利用した方が大きくなっている(図4)。これは、link-by-linkの再送率が高く、再送を多く行なう分接続時間が大きくなるためであると考えられる。

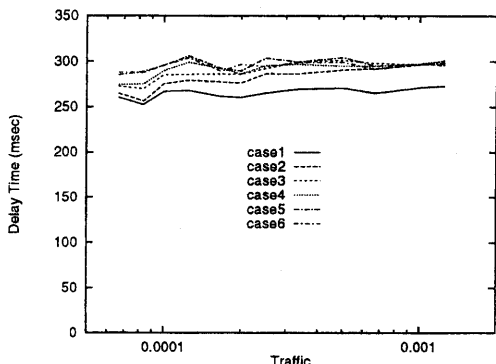


図4: 接続遅延

以上のことから、先に挙げた条件のもとでは、1). 本システムの接続率は高い値が得られる、2). 位置情報はある時間以上経過すると、端末の移動などによりその信頼性が低下する、3). 送信時に中継ルートを単独に限定することは、衝突による再送率が高くなり、位置情報の更新間隔によっては発生パケット数低減には効果はない、ということが分かった。しかし、端末が位置情報を利用し中継ルートを指定してパケットを送信する場合、リンク毎のACKを用いるため接続遅延は若干大きくなり、 $T_1$ の値によっては発生パケット数が多くなる場合も見られたが、接続率を高く保ったまま発生パケット数を減らすことのできる可能性は見受けられる(Case4)。以下では、3.2節の4.の手法により位置情報を利用した場合の特性を解析する。

#### 5.2.4 シミュレーション条件, 評価指標(2)

$T_1$ は、5.2.3のシミュレーション結果から $T_1 = 5(\text{min})$ とする。また、中継段数を制限しての位置情報利用可能時間 $T_2$ は以下とする。その他のシミュレーション条件は5.2.1に従う。

- Case1 :  $T_1 = 5\text{minutes}, T_2 = 5\text{minutes}$
- Case2 :  $T_1 = 5\text{minutes}, T_2 = 10\text{minutes}$
- Case3 :  $T_1 = 5\text{minutes}, T_2 = 20\text{minutes}$
- Case4 :  $T_1 = 5\text{minutes}, T_2 = 30\text{minutes}$
- Case5 :  $T_1 = 5\text{minutes}, T_2 = 60\text{minutes}$

制限する中継段数は位置情報に記してある値+1とする。評価指標は5.2.1と同様とする。

#### 5.2.5 シミュレーション結果(2)

図5に接続率、図6に発生パケット数、表3にlink-link再送率、位置情報利用率を示す。

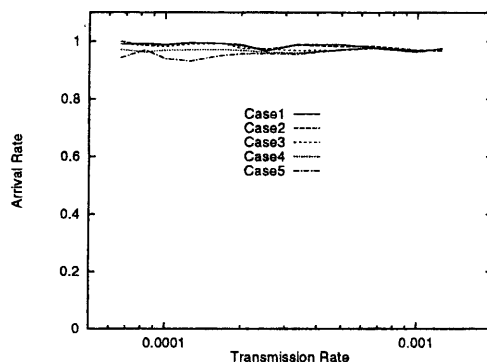


図5: 接続率(2)

図5より $T_1$ に比べ $T_2$ はかなり大きな値でも接続率が低下しないことが分かる。従って、速度が小さい場合には距離的な要素の位置情報の信頼性は長い時間高いことが分かった。この結果から接続率を維持できる $T_2$ は $T_2 = 20(\text{min})$ までである。

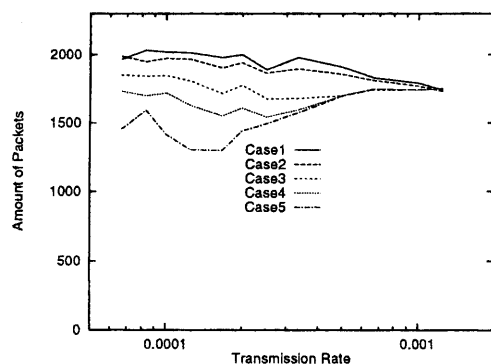


図6: 一発呼に対する発生CRP数(2)

一方、発生パケット数はシミュレーション実験(1)の低減幅に比べると、かなり抑えられることが分かる(図6)。これは、フラッディングの効果であると思われる。すなわち、宛先端末への確実な中継ルートが分かり、送信時にルートを単独に指定し送信する場合と、ルートは分からないものの宛先端末までの必要最小限の中継段数が分かり、CRPの中継段数を制限し

送信する場合を比較すると、一回の送信での発生パケット数は、当然、ルートを指定した方が少ないが、中継段数を制限してフラッディングによりパケットを送信する方が、再送率が小さく、結果的にパケットの発生数を低減するには効果的であることが分かった。このことは、Case2-Case5が位置情報の利用率が高いにもかかわらず、Case1と再送率がほぼ変わらないことから分かる(表3)。

表3: 再送率, 位置情報利用率(2)

Case	再送率	3.の利用率	4.の利用率
Case1	8.89	10.2	—
Case2	8.92	9.2	5.0
Case3	8.92	8.4	8.9
Case4	8.93	8.3	9.5
Case5	8.94	8.3	9.6

発呼率 0.0005 の時, 値は (%)

また、接続率、パケットの発生数が、ともに発呼率が高くなるに従いある値に収束している。これは、発呼率が高くなると多くのCRPの送受信が行なわれ、それだけ頻繁に位置情報を取得できることから、位置情報を利用する形態の多くが、3.2の3.の手法による利用形態となるため、各Caseの位置情報利用状況がほぼ一致し、システムの特性が類似してくるためである。従って、これらの収束値はシミュレーション(1)のCase4となっている。

本シミュレーション実験の結果から、位置情報の利用率が最大でも20%程度であるのに対しこれだけ発生パケット数を抑えられることから、さらなる発生量の低減は可能であると考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、無線端末のみで構成される無線通信システム実現の一検討として、端末を階層化せずすべてフラットな立場でネットワークを構成し、個々の分散制御にて通信を処理する、対等分散制御による無線通信システムの構成とその通信方式を提案した。また、階層構造をとるシステムと本システムを比較した場合のトレードオフから、本システムの弱点となる機能の一つとしてルーティング機能を取り挙げ、そのモデルの近似解析と計算機シミュレーション実験による数値評価例を示した。

その結果、接続率は、各端末が中継端末として多くの端末に電波が届くというモデルの下

では、接続ルートが多く考えられるため高い値が得られた。しかし、中継端末数が少なくなるとこれほどの高接続率は望めないと考えられる。一方、発生トラヒックは、ルーティングにフラッディングを適用することで高くなることは避けられない。しかし、通信を行なっていく過程で、各端末が自律的に取得した位置情報をパケット送信時に利用することで、その低減が図れることが分かった。だが、依然として高トラヒックであることから、接続率を維持したままさらなるトラヒックの低減を図ることのできる手法に関して検討していく必要がある。

また、今後は階層構造をとるシステムとの性能比較、情報転送モードにおける電波の受信レベル劣化にともなう通信回線維持、切替等に関する検討を行なう予定である。

## 参考文献

- [1] T.G.Robertazzi and P.E.Sarachik: "Self-Organizing Communication Networks", IEEE Communications Magazine, NO.1 (1986).
- [2] D. J.Baker and A. Ephremider: "The Architectural Organization of a Mobile Radio Network via a Distributed Algorithm", IEEE Trans. on Communications (1981).
- [3] 石田 朗, 山本 幹, 岡田 博美, 手塚 慶一: "部分自己組織形パケット無線ネットワークの構成法", 信学技報, IN90-78, pp. 13-17 (1990).
- [4] 重野 寛, 荒井 要, 泉本 貴広, 大島 浩, 横山 光男, 松下 温: "無線 LAN における自律的なネットワーク形成に関する考察", 信学技報, SAT93-42, (1993).
- [5] 松下 温 監修, 重野 寛 著: "無線 LAN 技術講座", ソフトリサーチセンター (1994).
- [6] 電子通信学会: "パケット交換技術とその応用", コロナ社 (1980).
- [7] 横山 光雄: "移動通信ネットワーク", 昭晃堂 (1993).
- [8] H. Takagi and L. Kleinrock: "Optimal Transmission Ranges for Randomly Distributed Packet Radio Terminals", IEEE Transactions on Communications, 32, NO.3, pp. 246-257 (1984).
- [9] 森 健一, 安田 靖彦: "自律分散交換による多重リングネットワークの一構成法", 信学論, J72-B-I, NO.2, pp. 83-93 (1989).
- [10] 藤木 正也: "通信トラヒック理論", 丸善株式会社 (1980).
- [11] L.G.Roberts: "ALOHA packet system with and without slots and capture", Comput.Comm. Rev., 5, (1975).
- [12] 六浦 光一, 岡田 博美, 大月 一弘, 手塚 慶一: "時変出力制御による捕捉効果を用いた純アロハのアクセス方式", 信学論, B-I, NO.7 (1989).