

## 分散制御による移動体通信方式における チャンネル割当に関する検討

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 本稿では、筆者らが以前提案した「分散制御による移動体通信方式」における通信時のチャンネル割当に関して検討を行なった。提案システムでは、そのシステム構成上自律分散型ダイナミックチャンネル割当法 (DDCA) の適用が必須であるが、チャンネル割当を行なう端末自身が移動するため、セルラシステムを想定し提案されている複雑で細かな制御を要する DDCA の適用は困難である。適用可能ないくつかの手法の特性を解析した結果、トラヒックが低い時はランダム法の特性が良く、トラヒックが高くなるにつれチャンネル棲み分け法の特性が上回った。この結果を受け、端末をいくつかのグループに分け、チャンネル棲み分け法のチャンネル優先度の初期設定をグループ毎に変えることで、トラヒックが低い時の使用チャンネルが分散し特性向上が図れた。

### A Channel Assignment Scheme of the Mobile Communication System with Distributed Control

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 proposed and analyzed a channel assignment scheme of the mobile communication system with distributed control that we proposed before. We are sure that it is impossible to adopt distributed dynamic channel assignment with detailed and complicated controls, because all terminals which compose this system would always move about. So we analyzed some schemes that may be suitable for this system. When traffic is low, the Random scheme shows the best property, and Channel Segregation may be the best as traffic grows higher, and we can get the favorite result that an improved Channel Segregation may show the best property.

## 1. まえがき

現在サービスが行われている移動通信システムでは、サービスエリアを無線ゾーンが隙間なく覆うよう無線基地局が配置され、端末はそれら無線基地局を介して通信する。この集中制御方式は、比較的簡易な制御にて通信することができるが、サービスエリアがバックボーンとなるネットワークの存在する地域に限られる、システムの小セル化に伴いシステム管理局の負担が多くなるなどの弱点が見られる。また、互いが直接通信可能な位置に存在する場合も、一旦無線基地局を介して通信する非効率な面も見受けられる。

このような弱点克服の一検討として、筆者らは、端末の中継機能を利用することで通信距離を延ばし、サービスエリアを仮想的に拡大することで端末のみ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分散制御による移動体通信方式を提案した<sup>[1]</sup>。

通常、通信システムは階層構造をとり、端末のみで構成されるネットワークにおいても、端末は地域毎にクラスタと呼ばれるグループを形成し、各クラスタヘッドが基地局的な役割を果たすことで諸制御をスムーズに行なえるものとしている<sup>[2][3][4]</sup>。しかし、被サービス端末でもある上位局の負担が多大なものとなり、上位局自身の通信時や移動により階層構造の再形成が頻繁に行なわれ、通信を行なうための動作より、ネットワーク構成のための動作量が上回ってしまうと考えられる。端末の動作量は平等かつ簡素であることが望ましい。従って、端末を対等な立場とする。また、このようなシステムは通信形態としてパケット通信を取っている<sup>[5]</sup>が、今後は移動通信においてもさまざまなメディアの通信が要求されると考えられる。そこで、本システムでは回線交換により通信を提供する。

本システムは、端末の中継動作のみで通信距離を延ばすため、このシステムのみでの広域なサービスエリアの提供、高度なサービスの実現は困難である。また、他の端末の中継機能を利用するため課金の方法が複雑となる。しかし、システム導入に際しその設置・撤廃には手間がかからないため、小規模で短期間の需要には適していると考えられる。当面は簡易な制御で容易にサービス提供を実現できる無線 LAN システムとして適用することを考えている。

## 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(図1)、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接続にて通信する(図2)。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。

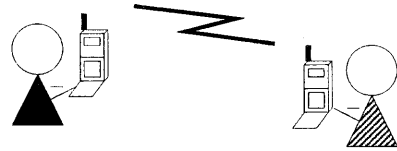


図1: 電波有効範囲内の通信形態

階層構造をとるシステムに対し、ネットワークを構成する全端末を対等な立場とした場合のトレードオフとして、ルーティングに手間がかかる、通信チャネルの割り当てを端末が自律的に行なわなければならない、端末の移動による無線回線切断に対するハンドオフの実現が困難であることが挙げられる。本稿ではその内の、コネクション確立時の通信チャネル割り当てに関して論じ、その特性を解析する。

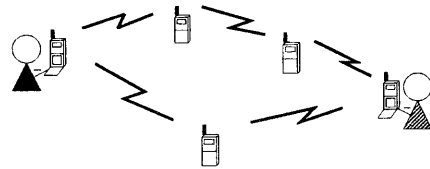


図2: 電波有効範囲外の通信形態

## 3. 通信チャネル割当

本システムでは集中制御局が存在せず、システムを構成するのは全てサービスを受ける立場にある端末である。また、端末は常時移動し頻繁に周辺のチャネル使用状況が変化するため、各端末に固定的に周波数を割り当てるのは現実的でない。従って、自律分散制御によるダイナミックチャネル割り当て法(DDCA: Distributed Dynamic Channel Assignment)<sup>[6]</sup>を採用する。以下では提案されているDDCAの基本概念となっているRUP(Reuse Partitioning)<sup>[7]</sup>、チャネルの棲み分け方式(Channel Segregation)<sup>[8]</sup>に関して説明する。

### 3.1 RUP

RUPは、セル内部に仮想的なセルを設け、小さいセルでは大きいセルに比べより短い繰り返し距離で同一チャネルを再利用することで、

周波数の有効利用を図るものである。この概念に基づき、基地局と移動局との距離に応じて割り当てチャンネルを決定すると、基地局近傍の移動局には短い繰り返し距離で、基地局から遠い移動局には長い繰り返し距離でチャンネルが割り当てられ、周波数の有効利用が行なえる。

### 3.2 チャンネルの棲み分け

チャンネルの棲み分けでは、各基地局が独自に全チャンネルの割り当て優先度テーブルを持ち、チャンネルセンスの際に割り当ての可否によりその優先度の増減設定を行ない、以降のチャンネルセンスは割り当て優先度の高いチャンネルから行なう。この制御により、効率的な呼の収容、チャンネルセンス回数の低減が行なえる。

### 3.3 本システムに適用するチャンネル割当法

近年提案されている DDCA<sup>[8][9][10]</sup> は、現行のセルラ移動通信を対象として提案されているものであり、それらの本システムへの適用には、以下の点に留意する必要がある。

1. 割り当てを行なう端末自身が移動するが、割り当て時の受信レベルの測定により、RUP に基づいた通信チャンネルの繰り返し利用は可能である。
2. 通信チャンネルを使用し、かつ、割り当てを行なう端末自身が移動し、随時周辺環境が変化することから、過去の割り当て履歴を参照する学習型アルゴリズムの効果はそれほど見られないと考えられる。また、MOP-ACA<sup>[9]</sup>、SORP<sup>[10]</sup> 等の細かく複雑な制御を必要とする DDCA は、システムの構成上その実現が不可能である。

以上の検討をもとに、以下の4手法のいずれかによりチャンネルセンスを行ない、使用可能な通信チャンネルを見つけ出す。

1. 全端末がチャンネル割り当てを行なう際に常に一定順序にてチャンネルセンスを行なう Autonomous Reuse Partitioning<sup>[11]</sup> を用いる (以下 ARP 法: 図 3)。
2. ランダムにチャンネルセンスを行なう (以下ランダム法)。
3. チャンネルの棲み分け法に従いチャンネルセンスを行なう (以下 Seg 法)。
4. チャンネル割り当て時に割り当て可の場合、Seg 法同様に優先度を上げるが、割り当て不可の場合は、そのチャンネルの優先度を1番低くする (以下 New Seg1 法)。これは、端末の移動先ではそのチャンネルは同一チャンネル干渉量が高く、その地域では適していないと考えられるためである。

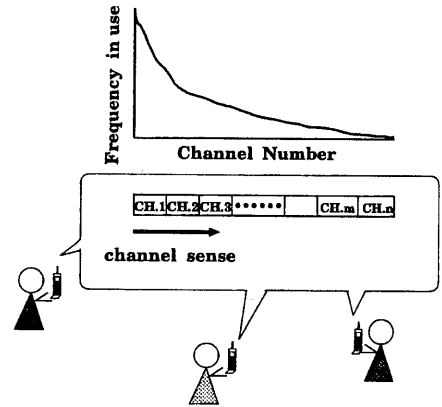


図 3: Autonomous Reuse Partitioning

### 3.4 シミュレーション条件・評価指標

以下では、計算機シミュレーションにより 3.3 節の 4 つのチャンネル割り当て法の特性を解析する。その際、呼の正常終了率、チャンネル割り当て呼損率、端末の制御動作量 (チャンネルセンス回数、ハンドオフ起動率) に着目する。

表 1: シミュレーション条件

Service Area	1000m × 1000m
Number of Terminals	100
Speed	0km/h ~ 4km/h
Transmission Range	220m
Number of channels	35
Shadowing $\sigma$	6.5dB
Propagation constant $\alpha$	3.5
Assign CIR threshold	18 dB
Required CIR threshold	13 dB
Traffic distribution	Uniform
Call arrival	Poisson process
Average holding time	120 sec
$\lambda$	0.1
$\mu$	0.8
$\gamma$	0.7

#### 1. 伝搬特性

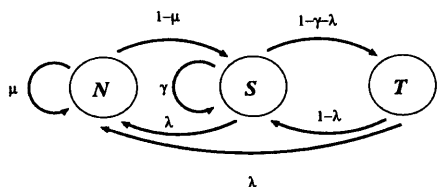
- (a) 距離減衰：送受信点間の距離を  $r$  とした時の距離減衰 (長区間中央値)  $L$  [dB] を次式により計算する ( $\alpha = 3.5$ )。

$$L = 10 \cdot \log_{10} r^{-\alpha} \quad (1)$$

- (b) シャドウイング (短区間中央値)：基地局および移動局における受信電力は、対数正規分布に従うシャドウイングの影響を受ける。標準偏差  $\sigma = 6.5$  dB とし、上下リンク同一とする。

2. トラヒック特性：平均保留時間 120 秒の呼がサービスエリア内で一様にポアソン生起するものとする。
3. 品質劣化によるハンドオフ：あるリンクにて通信中、同一チャンネル干渉により CIR が所要値を下回った場合ハンドオフを起動する。なお、品質劣化と判断するのは、連続 1 秒間 CIR が所要値を下回った場合とする。ハンドオフ時のチャンネルセンスの規律はリンク確立時と同様とし、そのリンク両端の端末が自律的に行なう。  
また、端末が通信相手の電波有効範囲外へ移動し、電波が届かなくなることによる通信の強制切断に対しては、end-end でコネクションを確立し直すことで対処する。その際のルーティング、コネクション確立動作に関しては、通常の動作同様とする。

通信時のアクセス方式は TDMA/TDD を適用する。これは、端末が同時に複数の通信を中継する必要があること、周波数使用効率を良くすること、使用周波数の選択に制約をなくすためだが、チャンネル割り当てを考える際のパラメータとして、端末の移動(端末間の距離)、周波数軸、時間軸の3つが考えられる。ここでは、端末間距離と周波数軸をパラメータとし、FDM 信号のやりとりであると想定して、チャンネル割当てを考える。



$N$ : 静止,  $S$ : 直進(移動),  $T$ : 進路変更

図 4: 端末の状態遷移

端末は 10 秒毎に図 4 のように状態遷移する。状態遷移の確率、移動速度は表 1 の値とする。

### 3.4.1 呼の正常終話に関する特性

図 5 に距離の要素による通信の強制切断率を、図 6 に割り当て呼損率を示す。

図 5 の距離の要素による通信の強制切断率は、手法によりその値に多少のばらつきがあるが、全体的にはほぼ類似した値であり高くなっている。この結果に関しては、端末の移動特性の解析に基づくより確実なハンドオフ手法の検討が必要であると考えられる。

図 6 のチャンネル割り当て呼損率の結果から、ARP 法によるチャンネルの割り当てが他の 4 手法に比べより効率的であることが伺える。これは、ARP 法が常に干渉量の高いチャンネルか

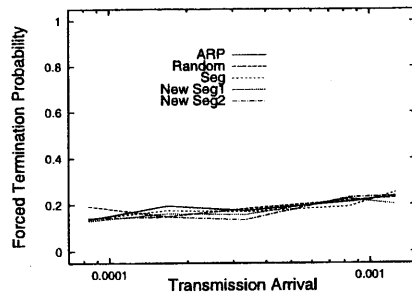


図 5: 距離の要素による強制切断率

らチャンネルセンスを行ない、割り当てに必要な所要 CIR に対し少ないマージンにてチャンネルを割り当てることができ、新たなチャンネル割り当ての際には選択の幅が広がるためである。従って、チャンネルの効率的な割り当て、呼の同時収容能力の面からは、ARP 法の特徴が他を上回っていることが分かった。

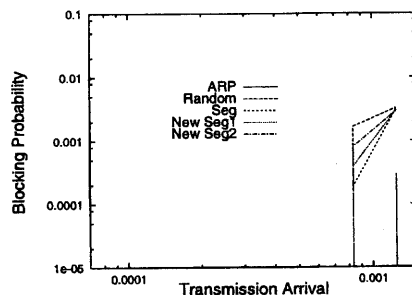


図 6: チャンネル割り当て呼損率

### 3.5 制御動作量

図 7 に平均のチャンネルセンス回数を、図 8 に同一チャンネル干渉によるハンドオフ起動率を、図 9 にトラヒックが低い時のチャンネルの使用状況を、図 10 にトラヒックが高い時のチャンネルの使用状況を示す。

4 手法を比較した時に特徴的なのが、ARP 法の制御動作量の多さである。ARP 法は図 6 のように呼の同時収容能力は高いが、常に干渉量の高いチャンネルからチャンネルセンスを開始するので、図 7 のようにチャンネルセンス回数が多くなる。また、通信チャンネルの割り当てを常にぎりぎりのマージンで行なうため、割り当て後の電波伝搬路環境の変化や端末の移動による影響を大きく受け、図 8 の同一チャンネル干渉によるハンドオフ起動率が高くなっている。図 8 から、トラヒックがそれほど高くなっても、

一旦接続された通信の半分以上がハンドオフを起動していることとなっている。従って、ARP法は呼の収容能力は高いが、制御動作量が多いため適用は困難であると考えられる。

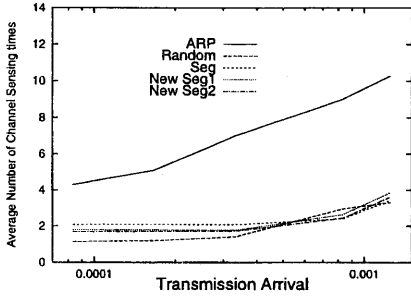


図 7: 平均のチャンネルセンス回数

一方、他の3手法を比較すると、トラフィックが低い時には図7のチャンネルセンス回数はランダム法の特性が良く、トラフィックが高くなると値がきっこうしている。これは、チャンネルの棲み分け法によりチャンネルセンスを行なうと、初期にはチャンネルの優先度に優劣はなく、優先度に違いがない時のチャンネルセンス順序はチャンネル番号に依存する。この時、優先度が高くなるチャンネルは、以前チャンネルセンスを行なったチャンネルであると考えられ、チャンネル番号の小さいチャンネル(チャンネルセンスを開始する方のチャンネル)であり、トラフィックが低いため、まだ使用されていないと考えられるチャンネルがチャンネル番号の大きい方(チャンネルセンスを開

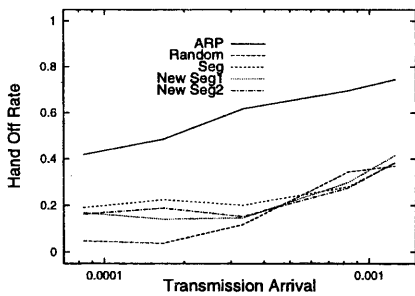


図 8: 同一干渉によるハンドオフ起動率

始しない方)に存在するのに、わざわざ使用している可能性の高いチャンネルの中で優先度の高いものを選んでしまうためである。従って、トラフィックが低い場合はランダム法により割り当てを行なった方が使用されるチャンネルが分散し、割り当てはスムーズにできるという結果が出ている。

これは、図9の低トラフィック時(発呼率  $8.3 \times 10^{-5}$ )のチャンネルの使用状況から明らかである。トラフィックが低い時には、Seg法、New Seg1法のチャンネルの使用頻度がチャンネル番号の小さい方に偏る(ARP的な傾向が見られる)ため、使用チャンネルの分散するランダム法に劣っている。

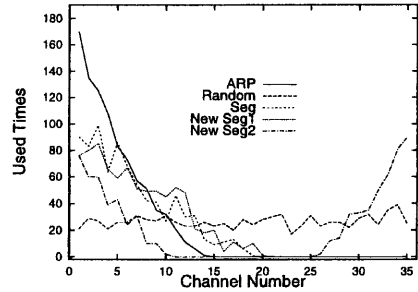


図 9: チャンネルの使用状況(トラフィック低時)

トラフィックが高くなるにつれ値がきっこうするのは、トラフィックが高くなる(発呼率  $1.25 \times 10^{-3}$ )と、図10のように、Seg法、New Seg1法の使用チャンネルは分散し、3手法は同じような使用状況になるためであると考えられる。また、トラフィックが高くなると、端末が通信を行なう間隔が短くなり、過去の割り当て履歴がより参考になること、ランダム法の呼の同時収容能力がもともと低いため特性が急激に劣化することなどから、特性が逆転している。

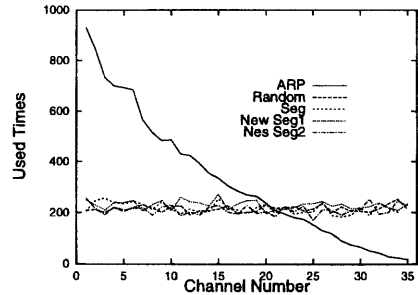


図 10: チャンネルの使用状況(トラフィック高時)

図8の同一チャンネル干渉によるハンドオフ起動率にもこの傾向が現れ、値がきっこうしている。これは、トラフィックが高くなると、チャンネル割り当ての規律は違うものの、図10のように各チャンネルの使用状況が類似するためである。また、最終的にランダム法とSeg法、New Seg1法の値が逆転しているのは、トラフィックが高くなると過去の割り当て履歴の信頼

度が高くなり、無作為にチャンネルセンスする場合に比べより効率的な(同一干渉量の少ない)チャンネルを選び出すことができる可能性が出てくるためである。

以上の結果から、トラヒックが低い場合はランダム法が、トラヒックが高くなると Seg 法が適していると考えられる。

### 3.6 チャンネル棲み分け法への初期設定変更策の適用

以上の検討から、トラヒックが低い時の Seg 法の特性の劣化が、初期の使用チャンネルが偏ることに起因することが分かった。そこで、Seg 法においてチャンネル優先度が同一のものが存在する時のチャンネルセンス順序を端末によって変えることで、特性の向上が図れるのではないかと考えられる。その際の初期設定の決定手法としてはさまざまな要素が考えられるが、ここでは、端末 ID によりあらかじめ 2 つのグループを構成し、同一優先度のチャンネルが存在する場合には、一方をチャンネル番号の大きな方から、一方を番号の小さな方から優先度をつけるものとする(New Seg2 法)。

その結果は各図に示してあるが、呼の収容能力に関しては Seg 法とほとんど変わっていない(図 5, 図 6)。制御動作量の特性を示す図 7, 図 8 の結果を見ると、トラヒックが高い時の Seg 法の特性を保ったまま、トラヒックが低い時の特性を向上できている。

従って、チャンネルの優先度が同一の時のチャンネルセンス順序を端末により変化させ分散させることで、簡素な制御にもかかわらず特性の向上を図れることが分かった。

## 4. むすび

本稿では、分散制御による移動体通信方式における通信チャンネル割当法に関して論じ、その諸特性の解析を行なった。

現行の移動通信では無線基地局が固定されているので、近年、盛んに検討されている DDCA は、ダイナミック(動的)にチャンネルを割り当てるが、時間経過とともに使用チャンネルが静的に収束する傾向がある<sup>[12]</sup>。従って、MOP-ACA や SORP のように、セル内をさらに仮想的な小セルに分け過去の割り当て履歴を参考にすることで、チャンネルを効率的に割り当てるといった細かな制御が実現できる。

一方、本提案システムは、通信チャンネルを使用し同時に割り当ても行なう端末自身が移動するため、常時周辺の端末、チャンネルの使用状況が変わってしまう。従って、細かな制御を用いたチャンネルの割り当ては行なえない。そこで、適用可能な割り当て法としてランダム法、ARP 法、チャンネル棲み分け法を挙げその特性を検討した結果、トラヒックが低い時にはラン

ダム法の特性が良く、トラヒックの増大とともにチャンネル棲み分け法(Seg 法)の特性が上回ることが分かった。

また、チャンネル棲み分け法の初期段階のチャンネルセンス順序を分散させることで、特性が悪かった低トラヒック時の特性向上が図れた。

今後は、端末の移動に伴う強制切断の対処法の検討を行なう予定である。

## 謝辞

日頃より御指導を頂いております、早稲田大学理工学総合センターの浦野義頼教授、田中良明教授に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 小畑 和則, 富永 英義: “分散制御による移動体通信方式”, 情報処理学会, **AVM96-13-2**, pp. 7-14 (1996).
- [2] T. Robertazzi and P.E.Sarachik: “Self-Organizing Communication Networks”, *IEEE Communications Magazine*, **24**, NO.1 (1986).
- [3] D. J.Baker and A. Ephremider: “The Architectural Organization of a Mobile Radio Network via a Distributed Algorithm”, *IEEE Trans. on Commun.* (1981).
- [4] 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).
- [5] B. M. Leiner, D. L. Nielson and F. A. Tobagi: “Issues in Packet Radio Network Design”, *Proceeding of the IEEE*, **Vol.75**, No.1, pp. 6-20 (1987).
- [6] 金井 敏仁: “自律分散ダイナミックチャンネル割当て”, *信学秋季全大*, **B-250**, (1991).
- [7] H. S. W.: “Reuse partitioning in cellular systems”, *IEEE Veh. Tech. Conf.*, **VTC'83**, pp. 327-332 (1983).
- [8] 古谷 之綱, 赤岩 芳彦: “自律分散チャンネル割り当て方式の提案 - チャンネルの棲み分け方式 -”, *信学総全大*, **2314**, (1986).
- [9] 石川 義裕, 梅田 成視: “多重優先度付与型自律分散チャンネル割当方式(MOP-ACA)”, *信学論*, **J78-BII**, NO.10, pp. 646-653 (1995).
- [10] 古川 浩, 赤岩 芳彦: “チャンネル再利用分割が自己組織的に形成される自律分散ダイナミックチャンネル割当方式”, *信学論*, **J79-BII**, NO.7, pp. 363-370 (1996).
- [11] 金井 敏仁: “マイクロセル移動通信システムにおける自律分散ダイナミックチャンネル割当方式(ARP)”, *信学技報*, **RCS91-32**, pp. 23-28 (1991).
- [12] 古川 浩, 赤岩 芳彦: “自己組織化チャンネル再利用分割(sorp)ダイナミックチャンネル 割り当て方式”, *信学技法*, **RCS92-126**, pp. 61-66 (1993).