



3・351

工学博士 学位論文

マルチメディア移動体通信における  
多元トラヒック処理を考慮した自律分散  
ダイナミックチャネル割り当て法の研究

1996年12月20日(金)

指導教官 齊藤 忠夫 教授

東京大学大学院 工学系研究科

電子工学専攻 47095

玉木 剛

# 目次

<b>1</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	はじめに . . . . .	2
1.2	本論文の構成 . . . . .	3
<b>2</b>	<b>研究の背景</b>	<b>6</b>
2.1	概要 . . . . .	7
2.2	ダイナミックチャネル割り当ての問題点と論文の目的 . . . . .	7
2.3	マイクロセル化と DCA の必要性 . . . . .	8
2.4	DCA 法の従来方式 . . . . .	11
2.4.1	DCA 法と FCA 法 . . . . .	11
2.4.2	DCA 法の分類 . . . . .	14
2.4.3	Self Adaptive DCA 法 . . . . .	18
2.5	前提条件 . . . . .	19
2.5.1	多元接続方式 . . . . .	19
2.5.2	システム機能分担 . . . . .	20
2.6	検討対象範囲 . . . . .	21
2.6.1	トラヒック種別 . . . . .	21
2.6.2	評価尺度 . . . . .	22
<b>3</b>	<b>多元トラヒックのチャネル共有効果の検討</b>	<b>24</b>
3.1	概要 . . . . .	25
3.2	多元トラヒックチャネル割り当て問題の定式化 . . . . .	25
3.3	CP 方式と CS 方式 . . . . .	27
3.4	シミュレーションによる CP 方式と CS 方式の性能比較 . . . . .	29

3.4.1	移動体通信用シミュレーションツールの開発	29
3.4.2	CP方式とCS方式のシミュレーション評価	31
3.5	多元トラヒックDCA呼損率解析の数学モデル	33
3.5.1	数学モデル導出のための準備	33
3.5.2	広帯域呼に同一キャリアを割り当て不連続スロットを許容しない場合	35
3.5.3	広帯域呼に同一キャリアを割り当て不連続スロットを許容する場合	40
3.5.4	広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容しない場合	41
3.5.5	広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容する場合	44
3.5.6	数学モデルのまとめと各条件の特性比較	45
3.5.7	CS方式がCP方式に比べてよい特性を示す領域の定量的評価	49
<b>4</b>	<b>多元トラヒックDCA法(Reserved Channel方式)の提案</b>	<b>55</b>
4.1	概要	56
4.2	Reserved Channel方式の提案	56
4.2.1	Reserved Channelアルゴリズム	56
4.2.2	RC方式の長所	58
4.3	シミュレーションによるRC方式の評価	59
4.3.1	シミュレーション条件	59
4.3.2	RC方式と他方式との特性比較	59
4.3.3	繰り返し距離と実測CIRによる割り当ての効果	63
4.3.4	基地局運用半径の違いによる変化	65
<b>5</b>	<b>RC方式の改善(Reserved Channel++方式)</b>	<b>68</b>
5.1	概要	69
5.2	Reserved Channel++方式の提案	69
5.3	シミュレーションによるRC++方式の評価	72
5.3.1	シミュレーション条件	72
5.3.2	RC++方式と他方式との特性比較	72
5.3.3	チャンネル割り当てブロックの各ステップの組み合わせに対する評価	75

5.3.4	再接続限度数に対する RC++ 方式の特性 . . . . .	78
5.3.5	所要 CIR に対する RC++ 方式の特性 . . . . .	81
5.3.6	ターミナルモビリティに対する RC++ 方式の特性 . . . . .	83
5.3.7	保留時間延長を要するトラヒックに対する RC++ 方式の特性 . . . . .	87
<b>6</b>	<b>Reserved Channel++ 方式の実現に対する諸問題とその対処</b>	<b>89</b>
6.1	概要 . . . . .	90
6.2	システムアーキテクチャ . . . . .	90
6.2.1	交換局 . . . . .	90
6.2.2	基地局 . . . . .	91
6.2.3	送受信機 . . . . .	92
6.2.4	基地局所要キャリア数の設計 . . . . .	92
6.3	VBR, ABR トラヒックの收容方式 . . . . .	94
6.3.1	集中制御とランダムアクセスの組み合わせ方式 . . . . .	94
6.3.2	ICMA-PE による ABR トラヒック收容方式の性能評価 . . . . .	98
6.3.3	CBR 転送モードと ABR 転送モードの比較 . . . . .	105
<b>7</b>	<b>むすび</b>	<b>108</b>
7.1	まとめ . . . . .	109
7.2	おわりに . . . . .	110
	謝辞	111
	参考文献	112
	発表文献	115

## 表一覽

2.1	FCA 法と比較した場合の DCA 法の特徴 . . . . .	14
2.2	DCA 法とその分類 . . . . .	15
3.1	CP 方式と CS 方式の特性比較のシミュレーション条件 . . . . .	31
3.2	呼損率, 強制切断率での CP · CS 方式比較 . . . . .	33
3.3	干渉スロット数が $k$ のとき連続スロット数 $l$ が得られる場合の数 $L(k, l)$ . . . . .	38
3.4	多元トラヒック DCA の呼損率特性の数学モデル . . . . .	46
4.1	Reserved Channel 方式での優先度決定方法の例 . . . . .	57
4.2	RC 方式評価のシミュレーション条件 . . . . .	59
5.1	RC++ 方式評価のシミュレーション条件 . . . . .	72
5.2	再接続限度数によるトラヒックの組合せ . . . . .	78
5.3	所要 CIR によるトラヒックの組合せ . . . . .	81
6.1	ICMA-PE との組合せ方式評価のシミュレーション条件 . . . . .	100

## 目 一 覧

1.1	論文の流れ . . . . .	4
2.1	周波数再利用: 同一チャネル干渉制限図 . . . . .	8
2.2	6 角形セル配置における干渉シナリオ . . . . .	9
2.3	セル運用半径とチャネル繰り返し使用距離 . . . . .	10
2.4	トラヒックの大きさと呼損率 . . . . .	12
2.5	DCA 法の有利な例 . . . . .	13
2.6	マルチキャリア TDMA 多元接続方式 . . . . .	20
2.7	自律分散処理移動通信システム機能分担 . . . . .	21
3.1	CS 方式と CP 方式の概要 . . . . .	28
3.2	CP 方式の欠点 . . . . .	29
3.3	シミュレーションツールの実行イメージ . . . . .	30
3.4	CP 方式と CS 方式の平均呼損率比較 . . . . .	32
3.5	CP 方式と CS 方式の完了率比較 . . . . .	32
3.6	使用可能なスロットが連続している例 . . . . .	36
3.7	干渉スロット数が $k$ のとき連続スロット数 $l$ が得られる場合の数 $L(k, l)$ の計算	37
3.8	広帯域呼のスロットが同一キャリア上にあり, 不連続スロットを許容しない場 合の CP・CS 方式比較 . . . . .	39
3.9	広帯域呼のスロットが同一キャリア上にあり, 不連続スロットを許容する場 合の CP・CS 方式比較 . . . . .	41
3.10	基地局におけるチャネル干渉状態図 . . . . .	42
3.11	広帯域呼スロットが複数キャリアにまたがり, 同一タイミングスロットを許容 しない場合の CP・CS 方式比較 . . . . .	44

3.12	広帯域呼スロットが複数キャリアにまたがり, 同一タイミングスロットを許容する場合の CP・CS 方式比較	45
3.13	広帯域呼に割り当てるスロット条件の違いに対する狭帯域呼の呼損率特性	47
3.14	広帯域呼に割り当てるスロット条件の違いに対する広帯域呼の呼損率特性 (CS 方式)	48
3.15	キャリア数と広帯域呼の呼損率特性 (CS 方式)	48
3.16	数学モデルとシミュレーションの比較	49
3.17	通信速度比 $m$ に対する呼損率特性	50
3.18	トラヒック $a$ に対する呼損率特性	51
3.19	広帯域呼の割合 $r$ に対する呼損率特性	51
3.20	チャンネル使用不能確率 $p$ に対する呼損率特性	52
3.21	キャリア数 $N_c$ に対する呼損率特性	53
3.22	タイムスロット数 $N_s$ に対する呼損率特性	53
4.1	Reserved Channel 方式の長所	58
4.2	RC 方式と他方式の平均呼損率特性比較	60
4.3	RC 方式と他方式の完了率特性比較	60
4.4	RC 方式と他方式の狭帯域呼の呼損率特性比較	61
4.5	RC 方式と他方式の広帯域呼の呼損率特性比較	61
4.6	RC 方式と他方式の狭帯域呼の強制切断率特性比較	62
4.7	RC 方式と他方式の広帯域呼の強制切断率特性比較	63
4.8	繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する完了率特性	64
4.9	繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する広帯域呼の呼損率特性	64
4.10	繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する広帯域呼の強制切断率特性	65
4.11	基地局運用半径の違いによる完了率特性の変化	66
4.12	基地局運用半径の違いによる広帯域呼の呼損率特性	66
4.13	基地局運用半径の違いによる広帯域呼の強制切断率特性	67
5.1	Reserved Channel++ 方式のチャンネル割り当てブロック図	70
5.2	RC++ 方式と他方式の完了率特性比較	73
5.3	RC++ 方式と他方式の呼損率特性比較	73
5.4	RC++ 方式と他方式の強制切断率特性比較	74

5.5	チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する完了率 . . . . .	75
5.6	チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する狭帯域呼の呼損率 . . . . .	76
5.7	チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する広帯域呼の呼損率 . . . . .	77
5.8	チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する狭帯域呼の強制切断率 . . . . .	77
5.9	チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する広帯域呼の強制切断率 . . . . .	78
5.10	再接続限度数の組み合わせに対する完了率特性 . . . . .	79
5.11	再接続限度数の組み合わせに対する狭帯域呼呼損率特性 . . . . .	80
5.12	再接続限度数の組み合わせに対する広帯域呼呼損率特性 . . . . .	80
5.13	所要 CIR の組み合わせに対する完了率特性 . . . . .	81
5.14	所要 CIR の組み合わせに対する狭帯域呼呼損率特性 . . . . .	82
5.15	所要 CIR の組み合わせに対する広帯域呼呼損率特性 . . . . .	83
5.16	ターミナルモビリティに対する完了率特性 . . . . .	84
5.17	ターミナルモビリティに対する狭帯域呼の呼損率特性 . . . . .	84
5.18	ターミナルモビリティに対する広帯域呼の呼損率特性 . . . . .	85
5.19	ターミナルモビリティに対する狭帯域呼の強制切断率特性 . . . . .	86
5.20	ターミナルモビリティに対する広帯域呼の強制切断率特性 . . . . .	86
5.21	狭帯域の接続遅延による拡張時間特性比較 . . . . .	87
5.22	広帯域呼の接続遅延による拡張時間特性比較 . . . . .	88
6.1	交換局アーキテクチャ . . . . .	90
6.2	基地局アーキテクチャ . . . . .	91
6.3	周波数ホッピング方式の送受信機の構成 . . . . .	92
6.4	干渉確率に対する所要キャリア数の変化 . . . . .	93
6.5	広帯域呼比率に対する所要キャリア数の変化 . . . . .	94
6.6	RC 方式とランダムアクセス (Dynamic TDMA) の組み合わせ方式の例 . . . . .	96
6.7	ICMA-PE プロトコルの信号構成 . . . . .	98
6.8	ICMA-PE プロトコルの動作概要 . . . . .	99
6.9	CBR トラヒック混在時の ABR パケット転送時間特性 ( $ar$ 可変) . . . . .	101
6.10	ABR トラヒック混在時の CBR 完了率特性 . . . . .	102
6.11	ABR トラヒック混在時の狭帯域呼の呼損率特性 . . . . .	102
6.12	ABR トラヒック混在時の広帯域呼の呼損率特性 . . . . .	103



6.13 ABR トラヒック混在時の狭帯域呼の強制切断率特性 . . . . .	104
6.14 ABR トラヒック混在時の広帯域呼の強制切断率特性 . . . . .	104
6.15 CBR トラヒック混在時の ABR パケット転送時間特性 ( $r$ 可変) . . . . .	105
6.16 CBR と ABR の実効スループット比較 . . . . .	106
6.17 転送データサイズの変化に対する実効スループット特性 . . . . .	107

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 はじめに

移動体通信システムの急速な需要増加を背景として、周波数有効利用技術に関する研究が進められている。また、移動体通信におけるマルチメディアトラフィックに関する方式検討の必要性が認識されており、需要変動に対して柔軟なチャンネル割り当て方式が望まれている。

マルチメディア移動体通信に関する従来研究の多くは、一つの周波数キャリア上の TDMA タイムスロットに対して音声・データトラフィックを統合するアクセス方式の検討が主流であった。一方、基地局に対する周波数割り当て法として従来の FCA (Fixed Channel Assignment) 方式にかわって、DCA (Dynamic Channel Assignment) が周波数利用効率のよい方式として注目をあびるようになった。しかし、DCA の従来研究の多くは音声トラフィックを念頭においたものが多く、マルチメディアトラフィックに対する研究が少ない。

そこで、本論文ではマルチメディアトラフィックを扱うための DCA の方式検討を行う。DCA を用いることで時間軸と周波数軸で構成される論理的チャンネルを複数呼種のマルチメディアトラフィックで共有活用することでトラフィック収容能力の高い効率よい方式が実現できる。この方式の検討には、次のような問題点があげられる。

- 移動局 (MS: Mobile Station), 基地局 (BS: Base Station), 統括局 (MSC: Mobile Switching Center) の機能分担の検討
- どのようなメディアの組合せに対して、チャンネル共有効果があるか
- チャンネル共有によって生じる干渉がおよぼすサービス品質劣化の低減アルゴリズムの検討

機能分担に関しては、移動体通信においても高速・広帯域化が進んでいるため、電波伝搬特性の制約条件からマイクロ・ピコセルラ環境を想定し、呼処理・ハンドオフ処理を基地局レベルで行うことを前提として議論する。本論文では、主にチャンネル共有効果の検証とチャンネル共有によるサービス品質劣化を低減するチャンネルアルゴリズムの提案・評価を行う。

まずはじめに、チャンネル共有効果の検証として広帯域呼と狭帯域呼で周波数キャリアを共有する方式 (CS 方式: Carrier Sharing) と分離する方式 (CP 方式: Carrier Partitioning) について比較を行う。各々の方式に対して、定常状態解析に基づいたダイナミックチャンネル割り当ての呼損率特性解析の数学モデルを提案し、シミュレーションによってその妥当性を検証する。このモデルを用いて、CS 方式が CP 方式に比べてよい特性を示す領域を明らかにする。特に、広帯域呼に複数キャリアを割り当てる条件で CS 方式が有効となってくることを示す。

次に、チャンネルの共有効果がある場合に複数呼種間でお互いに干渉することで性能が劣化してしまう問題に対し、CS方式における自律分散型ダイナミックチャンネル割り当て方式として Reserved Channel 方式を提案する。この方式では、スループットを向上させるための工夫として端数出線効果の抑制を行い、従来の方式の適用に比べて多元トラヒック処理を考慮した分、呼損率や強制切断率などよい特性を示すことを計算機シミュレーションによって確認した。

また、この方式を改善するために周波数ホッピングを用いたマルチキャリア変調動作、呼の再配置接続、可変通信速度接続、リトライ型ハンドオフなどを組み合わせた Reserved Channel++ 方式を提案する。これによって狭帯域呼と広帯域呼の接続品質のバランスがよくなることを確認した。

さらに、Reserved Channel++ 方式を実現する際に問題となるシステムアーキテクチャや、他の性質のトラヒックの収容方式について対処方法を示し、ランダムアクセス方式と提案方式を組み合わせた場合の性能評価を行った。組み合わせによっても提案方式の性能劣化が少ないことを確認した。

## 1.2 本論文の構成

図 1.1 に本論文の流れを示す。

第 2 章 [研究の背景] では、研究の背景としてダイナミックチャンネル割り当てが何故必要となるかについて述べ、従来のダイナミックチャンネル割り当て (DCA) 方式を概観する。これら従来の DCA 法では単一トラヒックを念頭においたものが多かったため、多元トラヒック処理によるチャンネル共有効果とそれに適した DCA 法の検討の必要性について述べる。本論文の着眼点について述べたあと、以降の議論で必要となる立場や前提条件に関して、想定する多元接続方式やシステムの機能分担をまとめる。また、本論文で扱う自律分散多元トラヒック DCA システムの対象範囲を示し、評価に使う尺度に関してまとめる。

第 3 章 [多元トラヒックのチャンネル共有効果の検討] では、多元トラヒック処理の効果を検証するために、広帯域呼と狭帯域呼でキャリアを共有した方式 (CS: Complete Sharing) と分離した方式 (CP: Complete Partitioning) の優劣について検討する。まず定性的な比較検討について述べ、次に筆者が開発したソフトウェアシミュレータについてふれ、シミュレーションベースでの検討を行なう。さらに、定常状態確率に基づいた呼損率特性解析の数学モデルを広帯域呼に割り当てるスロット条件毎に提案し、これを用いることによって CS 方式が CP

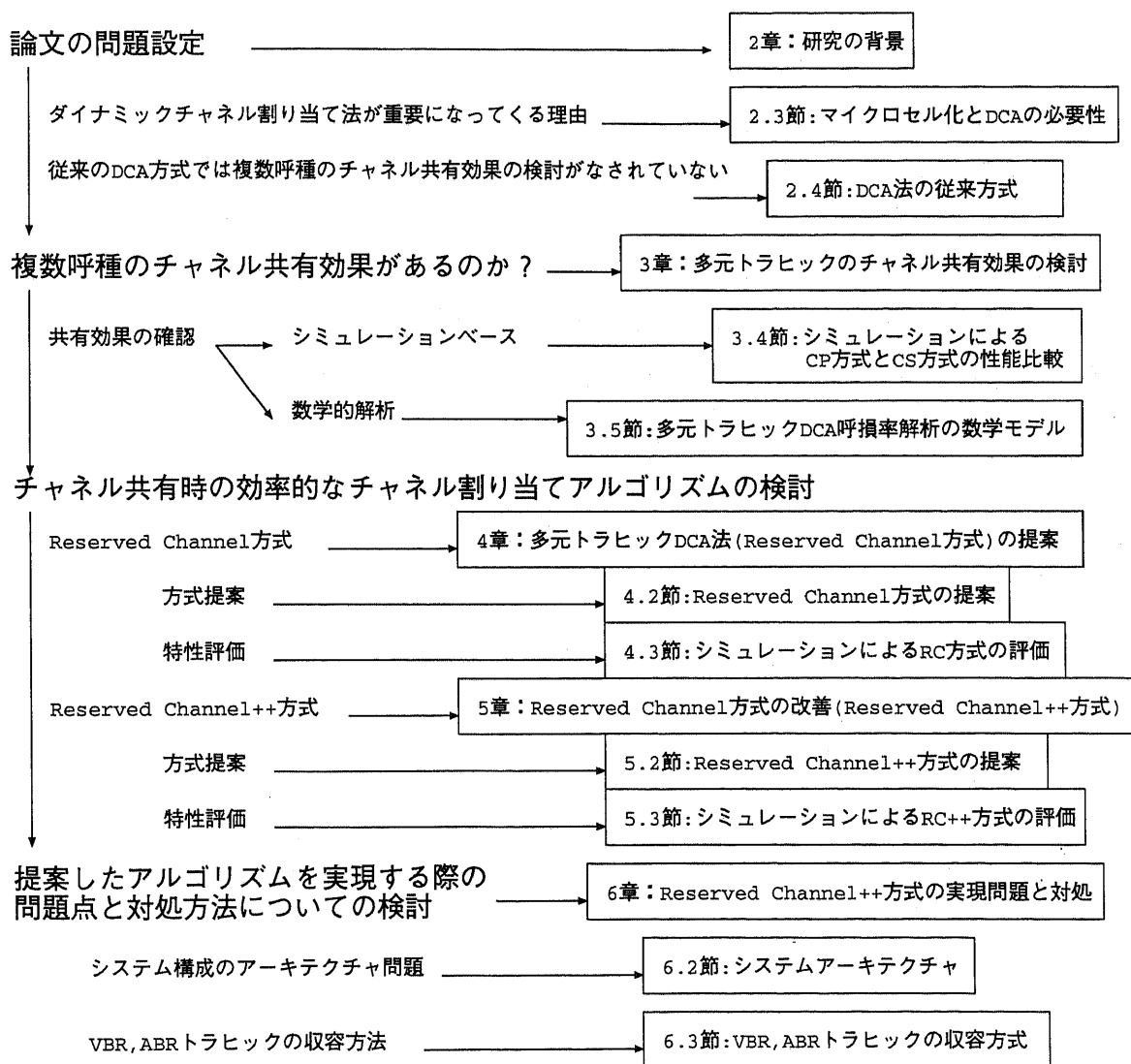


図 1.1: 論文の流れ

方式に比べてよい特性を示す領域を明らかにする。

第 4 章 [多元トラヒック DCA 法 (Reserved Channel 方式) の提案] では, 第 3 章 [多元トラヒックのチャンネル共有効果の検討] で検討した CS 方式の有効な条件を想定して, CS 方式の欠点であるチャンネルの端数効果を克服するためのチャンネル割り当てアルゴリズムを提案し, 従来方式との比較検討を行なう。

第 5 章 [RC 方式の改善 (Reserved Channel++ 方式)] では, 第 4 章 [多元トラヒック DCA 法 (Reserved Channel 方式) の提案] のアルゴリズムの改善策として, 周波数ホッピングを用いて一つの広帯域呼に複数のキャリアを割り当てる Reserved Channel++ 方式を提案し, その効果と諸特性に関して検証を行う。

第 6 章 [Reserved Channel++ 方式の実現に対する諸問題とその対処] では, 提案した Reserved Channel++ 方式の実現問題としてシステムアーキテクチャについて述べ, 回線交換以外のパケット交換タイプのトラヒックの収容方式の方針を述べる。その一例として端末主導のランダムアクセスを併用した場合の性能評価を行なう。

第 7 章 [むすび] でまとめと今後の課題について述べる。

## 第 2 章

### 研究の背景

## 2.1 概要

ここでは、研究の背景として本論文の目的と解決すべき問題について第 2.2 節 [ダイナミックチャンネル割り当ての問題点と論文の目的] でまとめる。第 2.3 節 [マイクロセル化と DCA の必要性] では、セルラーシステムの周波数利用条件についてまとめ、DCA 法の必要性について述べる。第 2.4 節 [DCA 法の従来方式] で、DCA 法の従来研究についてまとめる。第 2.5 節 [前提条件] で本論文で想定する多元接続方式と移動体通信システムの機能分担について述べ、第 2.6 節 [検討対象範囲] で本論文で検討を行う多元トラヒック DCA 法の範囲について述べる。

## 2.2 ダイナミックチャンネル割り当ての問題点と論文の目的

移動体通信でマルチメディアトラヒックを実現するには、有線系の通信に比べて伝送損失が大きく、また移動に伴い干渉条件が変化しハンドオフ処理する必要があるなど、無線特有のチャンネルアクセス方式の検討が重要となってくる。

従来のマルチメディアトラヒックに関する研究の多くは、一つの周波数キャリア上の TDMA タイムスロットに対して音声・データトラヒックを統合するアクセス方式の検討が主流であった。一方で、DCA (Dynamic Channel Assignment) は、現在の移動通信システムの FCA (Fixed Channel Assignment) に比べて周波数利用効率の高い技術として注目をあびている。しかし、DCA 法の従来研究の多くは音声トラヒックを念頭においたものが多い。

そこで本論文では、マルチメディアトラヒックに対して複数キャリア上のスロットを論理的に扱う DCA 法を効率的に組み合わせることによって周波数利用効率が向上できるものと考えている。そこで、マルチメディアトラヒックに対して DCA 法を適用することを考えた場合、次のような問題を解決する必要がある。

1. 移動局 (MS: Mobile Station), 基地局 (BS: Base Station), 統括局 (MSC: Mobile Switching Center) の機能分担の検討
2. どのようなメディアの組合せに対して、リソース共有効果があるか
3. リソース共有によって生じる干渉がおよぼすサービス品質劣化の低減方法の検討

1 は、DCA 法の戦略によって決定されるため、そのアプローチ方法によって性能が異なる。第 2.5.2 節 [システム機能分担] で述べるように、ピコセル・マイクロセル環境を想定した場合



には、処理の複雑さとシグナリングロードを考慮すると呼処理・ハンドオーバ処理を基地局レベルで行う方法が妥当と思われるため、本論文では議論の対象から外す。

本論文の目的は、2 のリソース共有効果のあるメディアの組み合わせを明らかにするための解析手法を提案し、3 のリソース共有効果によるサービス品質劣化を低減するチャンネル割り当てアルゴリズムを提案することである。

2 については、DCA 法の検討の多くはシミュレーションベースのものが主流であり、特にマルチメディアトラヒックを扱う DCA 法の数学的解析手法は、干渉の影響を受けないクラスタサイズにパッキングして解析するものが主流で、チャンネル共有による干渉条件を考慮にしているものは、筆者の知る範囲では存在しない。そこで本論文では、まず CBR (Constant Bit Rate) トラヒックどうしのリソース共有効果の検証を行うため、定常状態確率に基づいた数学モデルを提案する。そして、リソース共有によるサービス品質劣化を低減する多元トラヒック DCA チャンネル割り当てアルゴリズムを提案し、その評価を行なう。

### 2.3 マイクロセル化と DCA の必要性

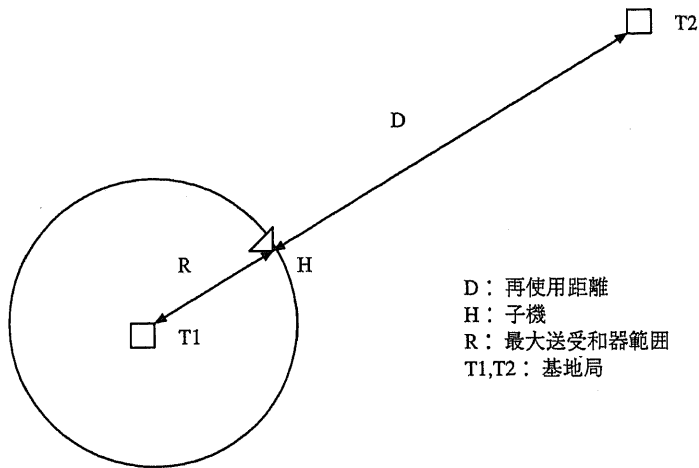


図 2.1: 周波数再利用: 同一チャンネル干渉制限図

従来、周波数は 1 ユーザに対して 1 無線搬送波ということ、および搬送周波数の繰り返し使用範囲は送信電力と受信機の雑音感度から決まる範囲より大きいものと仮定して割り当てられていた。この方法では、例えば双方向チャンネルの有効帯域幅が 100kHz で 10000 アーランの

トラヒックであれば, 1GHz の周波数帯域の割り当てが必要となる. このためセルラー方式により, 周波数の繰り返し使用技術を用いて容量を増やすことが考えられる. これは同一の搬送周波数を用いた基地局送信機間の距離を同一チャネル間干渉を回避するために必要な距離よりも大きくすることによって可能となる. よってセルラー方式では, 無線接続の運用範囲は受信機の感度によってではなく, 同一チャネル間干渉によって制限される.

同一チャネル間干渉制限の状況を図 2.1 に示す. 子機 H が基地局 T1 と周波数  $f$  で通信するには, T1 からの希望信号電力  $C$  と T2 からの干渉電力  $I$  の比  $C/I$  が伝送品質に適した最小値を超える必要がある. この  $C/I$  比によって周波数条件である所要帯域幅  $B$  が決定される.

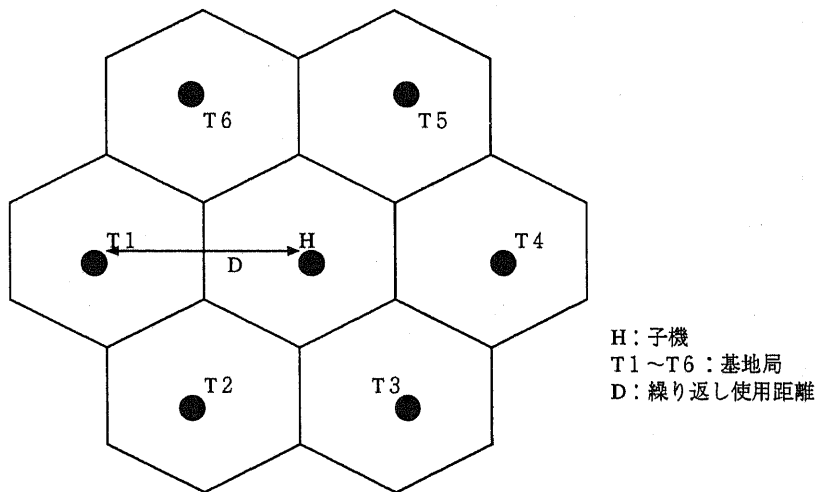


図 2.2: 6 角形セル配置における干渉シナリオ

ここでセルラー格子近似法による干渉レベルの分析方法を述べる. 図 2.2 に示すように, 1 つの送受信機が六角形のパターンに配置された 6 つの 1 次干渉源から一様に干渉を受けていると仮定する. このとき, 同一チャネルの各基地局とこの基準子機 H との間の距離は繰り返し使用距離  $D$  である. チャネルの繰り返し使用が行えない区域の面積  $A$  は次式 (2.1) で与えられる.

$$A = \frac{\sqrt{3}}{2} D^2 \quad (2.1)$$

次に希望信号と干渉信号は距離の 4 乗に比例して減衰すると仮定すると,  $C/I$  比は次式 (2.2) のようになる.

$$\frac{C}{I} = 10 \log_{10} \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} \right)^4 \quad (2.2)$$

この式 (2.2) より,  $C/I$  比をパラメータとしてセル運用半径  $R$  とチャンネル繰り返し使用距離の最小値  $DR$  を求めると図 2.3 のようになる. これより,  $C/I$  比が 21dB でセル運用半径の 5 倍程度, 31dB で 9 倍程度の距離でチャンネル繰り返し使用が可能となることがわかる.

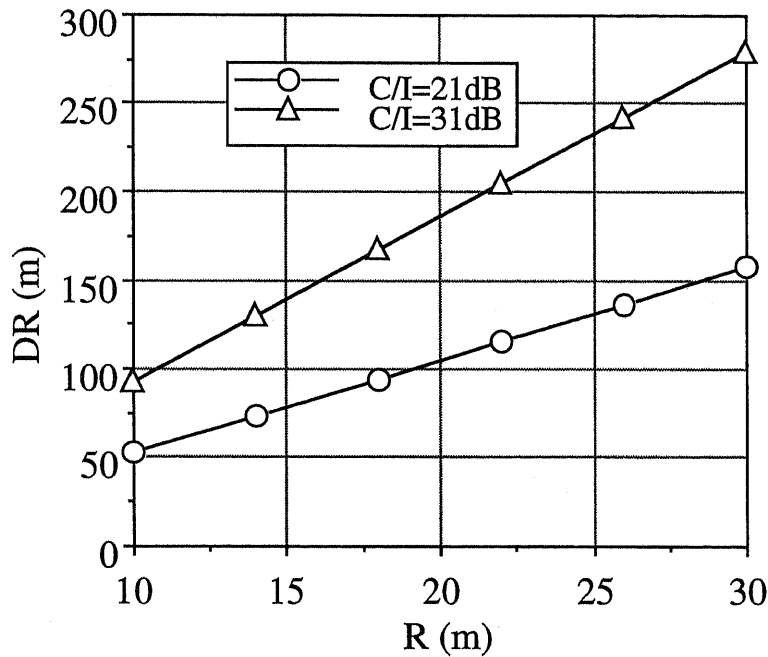


図 2.3: セル運用半径とチャンネル繰り返し使用距離

最繁忙トラヒック密度を  $T$  とすると, 面積  $A$  内で発生するトラヒック  $E$  は  $E = T \times A$  であるから式 (2.1)(2.2) より,

$$E = \frac{\sqrt{3}}{2} 6^{\frac{2}{3}} \times T \times R^2 10^{\frac{C/I}{20}} \quad (2.3)$$

となる. 式 (2.3) よりアールン B 式によって規定呼損率を満たす設定チャンネル数  $N$  が求まる. トラヒック  $E$  が十分大きければ  $N \propto E$  となる. チャンネルあたりの固有帯域幅を  $B_s$  とすると, 周波数条件の所要帯域幅  $B$  は  $B = N \times B_s$  より,

$$B \propto T \times R^2 10^{\frac{C/I}{20}} \quad (2.4)$$

となる。この式(2.4)より次のようなことがわかる。

- トラヒック密度に比例して所要帯域幅が必要
- 運用セル半径  $R$  を 10m から 32m に引き上げると所要帯域幅が 10 倍になる
- $C/I$  下限値を 31dB から 21dB に引き下げると所要帯域幅が 3.2 倍減少する

外部規制によって所要帯域幅  $B$  が固定されている場合は  $C/I$  比の下限値とセル運用半径  $R$  によって収容可能なトラヒック  $T$  が決定されることになる。古典的なセルラー方式では、この  $R$  を下げてマイクロセル化したり選択切替えダイバーシティの導入によって対処してきた。

また、マイクロセル化が進むにつれて、移動を伴うトラヒックの時間的変動が増加するため、これに対して柔軟に対処できる DCA 法によってさらに周波数利用効率を高めようとする方法が盛んに検討されている。

2.4 節 [DCA 法の従来方式] で DCA 法に関する従来研究について述べる。

## 2.4 DCA 法の従来方式

各基地局に対するチャンネル割り当て方式を大別すると、固定チャンネル割り当て方式 (FCA: Fixed Channel Assignment) と動的チャンネル割り当て方式 (DCA: Dynamic Channel Assignment) に分けられるが、DCA 法の方が柔軟なトラヒック制御が行なえるため有望視されている。ここでは、従来の DCA 法に関する研究についてまとめる。

### 2.4.1 DCA 法と FCA 法

まず、DCA 法と FCA 法の概要を説明する。

FCA 法は、各セルに対して割り当てるチャンネルを固定的に決め、生起呼に対してセルに配置されたチャンネルの中から一つを割り当てる方法である。つまり、チャンネルのセルへの割り当ては時間的に変化しない。FCA 法ではチャンネルのセルへの割り当て方法に手間がかかるが、一度配置が決まれば生起呼に対するチャンネルの割り当てに手間がかからない。

これに対し DCA 法は、固定的なチャンネル配置をせず、生起呼に対してシステムの中の全てのチャンネルの中から適当なチャンネルを割り当てる方法である。このため、DCA 法は生起呼に対する割り当てに手間がかかるが、ある区域に集中したトラフィックが生じるような場合には呼の強制終了などを少なくすることができる。

次に、DCA 法と FCA 法の特徴について述べる。

### 呼損率

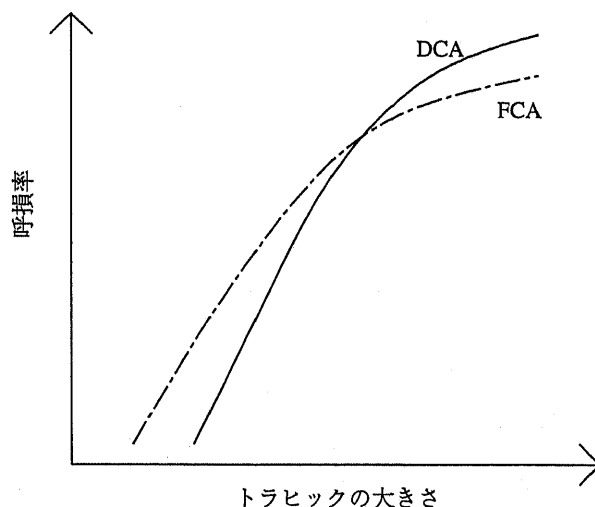


図 2.4: トラフィックの大きさと呼損率

図 2.4は DCA 法と FCA 法の呼損率の関係を示す概念図である。トラフィックが小さいところでは、DCA 法は FCA 法に比べてチャンネル割り当てに融通がきくため呼損率が小さくなる。

このことは、図 2.5によって説明できる。FCA 法だとセルにチャンネルが固定的に割り当てられているため、そのセルに割り当てられたチャンネルが全部使われている場合には、そのセル内で生起する呼は受け付けられずに呼損となる。これに対して、DCA 法では空いているチャンネルを探しだしてセルに割り当てるため、一つのセル内で受け付けることのできる呼数が FCA 法よりも多くなる。このため、全体のトラフィックが小さいときは FCA 法に比べてチャンネルの無駄使いが少なくなるので、呼損率が低くなる。

これに対して、トラフィックが大きくなると再利用できるチャンネル数が DCA 法は FCA 法に比べて少なくなる可能性があるため、全体的なトラフィック収容能力は DCA 法は FCA 法に比

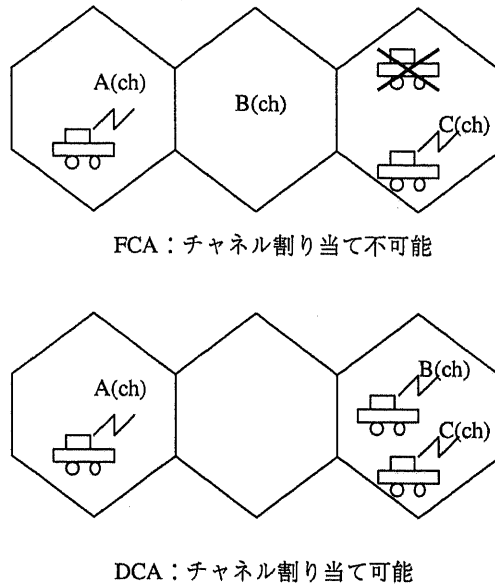


図 2.5: DCA 法の有利な例

べて小さく, 呼損率が大きくなる. これは, 周波数条件で述べたチャンネルの繰り返し使用距離  $D$  は,  $C/I$  比の下限値とセルの運用距離  $R$  で定まる最低距離  $DR$  より大きくなければならぬため, FCA 法では  $D = DR$  とすることができるが DCA 法では接続中の呼に割り当てられているチャンネルの状況によって  $D > DR$  となり再利用チャンネル数が FCA 法に比べて少なくなることによる.

### 呼の強制終了率・強制切断率

移動局 (MS: Mobile Station) が通信中にとりのセルやセクタ間を移動したり, 干渉変動などによって通信チャンネルを切り替える必要が生じる. これをハンドオフ (またはハンドオーバー) という. もし, 新しいチャンネルの割り当てを行うことができない場合には, 呼の途中で強制終了することになる. 全体の呼の強制終了数をセル間移動数で割ったものを強制終了率といい, 全体の呼のコネクション設定数で割ったものを強制切断率と呼ぶ. 通信サービス基準としては, 呼損率よりも強制終了率・強制切断率の方がきびしい条件となる. FCA 法では, 隣接するセル間では干渉をさけるために同じチャンネルが割り当てられていないので, セル間移動毎にハンドオフが行われ, 呼が生起するのと同じようにしてチャンネルが割り当てられるため, 呼損率と呼の強制終了率は似た特性を持つ. これに対して DCA 法では, 移動先のセルでも干

渉がなければ同じチャネルの使用が可能のため、FCA 法に比べてチャネル選択の自由度が大きく、強制終了率・強制切断率は小さくなる。

### 無線設備

FCA 法では、BS における無線設備は、その BS のセルに割り当てられたチャネルをカバーすればよい。これに対して DCA 法では、すべてのチャネルをカバーする必要があるため、BS の無線設備量が多くなる。DCA 法では、チャネルの選択方式によってカバーすべきチャネルが決定される。最悪の場合には、その移動通信システム全体のチャネルをカバーする必要がある。

### チャネル割り当て制御

FCA 法では、チャネルの割り当て制御を各セルの BS で独立して行うことができる。これに対して DCA 法では、他のセルでの占有チャネルの情報が必要であり、チャネルの割り当て制御が問い合わせを必要とするため複雑になる。これは、チャネル選択方式によって異なるが、もし全体のセルのチャネル情報を必要とする方式では、呼の設定遅延が問題となってくる。

表 2.1: FCA 法と比較した場合の DCA 法の特徴

長所	トラヒックが小さい領域で呼損率が小さい 同じ呼損率のもとでは呼の強制終了率が小さい
短所	トラヒックが大きい領域で呼損率が大きくなる 各 BS においてより多くの無線設備が必要 チャネル割り当てに手の込んだ制御が必要

以上より、DCA 法の特徴をを FCA 法と比較すると表 2.1 のようにまとめることができる。

#### 2.4.2 DCA 法の分類

チャネル割り当てのために使う情報によってチャネル選択方式は次のコールバイコール型と適応型にわけることができる。コールバイコール型は、チャネル設定要求が生じるたびに、各 BS の占有チャネル情報を確認して行う方法である。適応型は、チャネル占有状況を監視し

ていて直前の状況と現在の状況の情報から適応的にチャンネル割り当て方法を切り換えていく方法である。表 2.2 に各型の方式を示す。

表 2.2: DCA 法とその分類

型	方式
コールバイ コール型	FA 方式 (First Available) MSQ 方式 (Mean Square) NN 方式 (Nearest Neighbor) NN+1 方式 (Nearest Neighbor+1) 1-Clique 方式 Macrodiversity 方式 Channel Borrowing 方式 Hybrid 方式
適応型	Fixed and Dynamic Channel Assignment 方式 Flexible Channel Allocation 方式 Self Adaptive Channel Allocation 方式

次に、各方式の概要を述べる。

#### FA 方式 (First Available) :

繰り返し使用距離の最小値  $DR$  の距離内の BS で使われているチャンネルではなく、その BS の中で占有されていないチャンネルの中からサーチして一番最初に見つかったチャンネルを割り当てる方式である。この方式が最も制御が簡単であるが、呼損率は他の方式に比べて高い。

#### MSQ 方式 (Mean Square) :

割り当てることのできるチャンネルのうちで、同じチャンネルを使用している BS 間の距離の 2 乗和を最小にするチャンネルを選択する方式である。つまり、繰り返し使用距離  $D$  を極力  $DR$  に近づけることによって、トラフィックが大きくなっても呼損率が高くなるのを防いでいる。呼損率は NN 方式より劣るが他に比べてよい。



**NN 方式 (Nearest Neighbor) :**

割り当てることのできるチャンネルの中から、距離が  $DR$  以上の BS の中で占有されているチャンネルで最も近い距離のチャンネルを割り当てる方式である。この方式も MSQ 方式と同様なねらいで、 $D$  を  $DR$  に近づける工夫がなされている。呼損率は他のどの方式よりもよいが、呼の強制終了率は NN+1 方式に劣る。

**NN+1 方式 (Nearest Neighbor+1) :**

NN 方式と似た方式で、BS 間距離を 1 として  $DR+1$  以上の距離の BS の中で占有されているチャンネルから最も近い距離のチャンネルを割り当てる方式である。この方式では、MS がとなりのセルに移動しても同じチャンネルを維持する確率が高くなるため呼の強制終了率が低くなる。呼損率については FA 方式とほぼ同じである。

**1-Clique 方式 :**

全体のサービスエリアに対して、干渉のない同一チャンネルを使用している BS を頂点とするグラフをそれぞれのチャンネル毎に作成する。ここで、 $n$  個の頂点を含む完全部分グラフのことを  $n$ -clique と呼ぶ。もし、あるチャンネルのグラフの中で  $n$ -clique があれば、 $n$  個の BS で同時にチャンネルを割り当てるのが可能である。そこで、チャンネルの割り当て後に、より多くの割り当て可能な頂点が残るようにチャンネルを選択する。この方式では、呼損率を低くすることができるが、BS 数が多いと割り当てのための計算時間がかかる。

**Macrodiversity 方式 :**

FCA 法の変形であり、チャンネルは BS に固定して割り当てる。呼が生起すると、受信レベルと SN 比によって最も好ましい BS を選択する。もし、選択した BS のすべてのチャンネルが使用中であれば、次に好ましい BS を選択していく。この方法では、ユーザがアクセスするチャンネルは、その時点で物理的にいるセルに制限していないため、トラヒックバランシングが自動的に達成される。

**Channel Borrowing 方式 :**

この方法は、ビジセルが隣接セルからチャンネルを借りても、あまり問題とならないような場合に、チャンネルを借りてきて割り当てるものである。一般的には、フリーチャンネル数を最も多く持っている隣接セルから借りる。また、チャンネルを呼の終了や開始時に借りられる確率の高い順に整列させたり、借しているチャンネルのロックを干渉セルで行

うのではなく、影響を受けそうなセルのみでロックして効率をあげるなどの工夫を行うものが

#### Hybrid 方式 :

チャンネルを二つのサブセットに分ける。そして、片方のサブセットのチャンネルを FCA 法のように繰り返し使用距離を  $DR$  で各 BS に割り当てる。残りのサブセットのチャンネルは DCA 法の上記いずれかの方式にしたがって割り当てる。この方式は、Channel Borrowing 方式と似た特徴を持っている。サブセットのチャンネル数の比とトラヒックの大きさが呼損率に影響する。すべてのチャンネルをダイナミックに割り当てる他の方式に比べて、無線設備を少なくすることができ、またチャンネル割り当て制御の複雑さも少ない。

#### Fixed and Dynamic Channel Assignment 方式 :

トラヒックが小さいときは、DCA 法によってチャンネル割り当てを行い、トラヒックが大きくなるにつれて FCA 法に適応的に切り換えていく方式である。この方式は、急激に DCA 法から FCA 法に切り換えると呼損が多くなってしまうため、トラヒックの増加とともに FCA のチャンネル配置方向へ少しずつ変化させていくことが必要である。

#### Flexible Channel Allocation Strategy :

この方法では、基地局に固定的に割り当てるチャンネルと、MSC で管理するダイナミックチャンネルプールがある。呼に対して、固定チャンネルが塞がっている場合には、MSC によってダイナミックチャンネルがあれば割り当てる。呼が終了すると、プールに返す。これを Call by Call で行なう。この方式の極端な例は、MSC がすべてのチャンネルをプールにもっていて、ローカルセルには固定チャンネルがない場合である。このとき、MSC はコスト関数を最小にするようにチャンネルを呼に割り当てる。コスト関数は、干渉条件やチャンネルの使用頻度、近未来のブロック確率などに依存している。コスト関数の定義によって、LODA (Local Optimized Dynamic Assignment) と GODA (Global Optimized Dynamic Assignment) がある。GODA の法がネットワーク規模での最適化のためパフォーマンスはいいが、処理が複雑になる。

#### Self Adaptive Channel Allocation Strategy :

この方法では、すべてのチャンネルが各セルで使えるものとし、各セルのチャンネル割り当てアルゴリズムによって、サービス中の呼の間の相互干渉をダイナミックに最小化する

ように Call by Call で周波数の再利用パターンを時間的に変動させる。移動局と基地局は、各々アップリンクとダウンリンクのチャンネルの状態を監視して、最も干渉の少ないチャンネルのペアを選ぶ。集中管理する必要がなく、ダイナミックで一様でないトラヒックに対してフレキシブルにシステムが再構成される特徴がある。干渉に制限があり、パワーコントロールはチャンネルの相互干渉を減らすのに効果がある。このアルゴリズムを実装するためには、まず各基地局でビーコン信号を用意する必要がある。また、周波数シンセサイザがタイムスロットのガードタイムの間に周波数切替えをすばやくできる必要がある。システム規模での同期がとれていることも必要である。これらの要求がシステム性能を大きく左右する。

上述の方式の大半は FCA 法ほど決定的なものではなくても周波数の割り当て計画が必要であるが、Self Adaptive Channel Allocation 方式では周波数割り当て計画が必要ないため基地局の増設が行ないやすいという特徴がある。

### 2.4.3 Self Adaptive DCA 法

ピコセル・マイクロセル環境を想定した場合には、基地局増設の簡便さなどから、自律分散型アプローチの Self Adaptive DCA 方式が有効となってくる。Self Adaptive DCA のチャンネル割り当てアルゴリズムとしては、次のようなものがあげられる。

- FA (First Available) 方式
- Rnd (Random) 方式
- Seg (channel Segregation) 方式
- Rsl (Received Signal Level) 方式

FA 方式は、最初に所望の品質を満足するチャンネルを割り当てる最も単純なアルゴリズムである。しかし、チャンネルが集中しやすく干渉が問題となる。また、キャリアセンス回数が多くなるためチャンネル割り当てに時間がかかるという欠点があげられる。そこでキャリアセンスをランダムに選択して分散させるのが Rnd 方式である。さらに、自律分散型チャンネル割り当てアルゴリズムの代表として Seg 方式があげられる。これは、各基地局毎に重みテーブルを用意し、過去のチャンネル割り当てにおいて成功したチャンネルに重みを大きく、失敗したチャンネルは重みを小さく設定し、この重みにしたがってチャンネルを割り当てる方式である。この方式は、トラヒックの変動に対しても自己組織的に変化して対応できるというメリットがある。

この自己組織化に着目して RP (Reuse Partitioning) 方式と組み合わせた方式として Seg-SORP (Segregation Self Organized Reuse Partitioning) があげられる [1]. ここで Reuse Partitioning とは, 基地局単位で繰り返し距離を定めるよりも, 基地局のセル内部に新たな小セルを仮想的に設け, 小セルには繰り返し距離の短いチャネルを配分することで大きなトラヒック収容能力が得られる方法である [2]. Rsl 方式では, 基地局の受信レベルをもとに割り当てチャネルを学習することで, 効率的に Reuse Partitioning の考えに基づいたチャネル割り当てが実現できるとしている [3].

しかし, これらの検討では単一トラヒックを念頭において進められたものであり, 多元トラヒック処理に対しての検討がなされていない. 従来方式では, 狭帯域呼に割り当てられるチャネルが干渉原因となって広帯域呼が接続できないという端数出線効果が生じ, 呼損率や不完了率などのサービス品質の公平性が問題となってくる. そこで, 本論文では多元トラヒック処理に適したチャネル割り当て方式の検討を行なう.

## 2.5 前提条件

### 2.5.1 多元接続方式

移動体通信システムでの多元接続方式としては

- TDMA 方式 (時分割多元接続)
- FDMA 方式 (周波数分割多元接続)
- CDMA 方式 (符号分割多元接続)

があげられるが, 多元トラヒック接続を行なうためには CDMA 方式では相互相関の低い符号系列のマルチコード選択が難しい. 一方, TDMA 方式で  $m$  個のタイムスロットを関連づける動的容量割り当て法 (Dynamic Capacity Allocation) が考えられている. しかし, TDMA 方式では多重度数を増加させると遅延信号がガードタイムを越えて干渉するため, 多重度数をあまり大きくすることができない. そこで, FDMA 方式と組み合わせたマルチキャリア TDMA 方式によりシステム容量を大きくすることができる.

一方, 移動端末ではバッテリーが重量およびコストに対して支配的であり, 出力に制限があるため, あるタイミングではシングルキャリア動作することを前提としている. マルチキャリア TDMA システムにおいて多元トラヒック接続を行なう場合, 高々  $m$  倍程度までの広帯

域呼を扱えることになる。以上のことを考慮して、本稿では高々数倍程度の多元トラヒック処理をマルチキャリア TDMA 多元接続方式によって行う環境を想定して議論をすすめる (図 2.6).

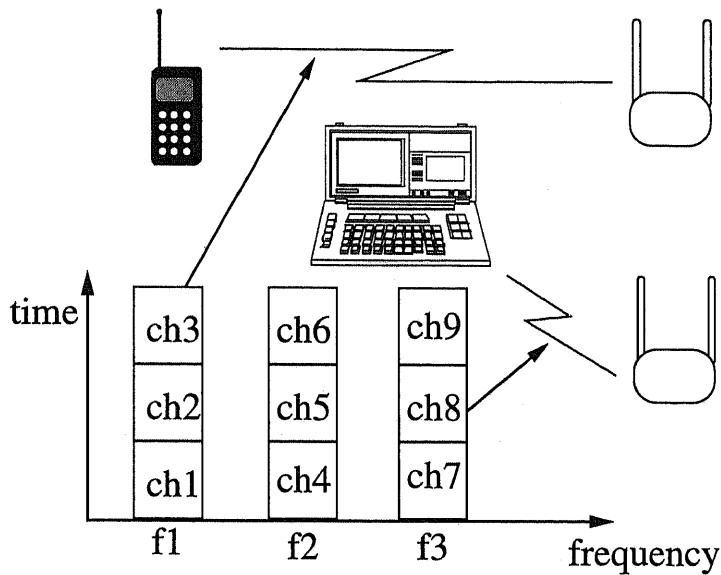


図 2.6: マルチキャリア TDMA 多元接続方式

### 2.5.2 システム機能分担

マルチメディアアプリケーションを移動体通信環境で実現するために、広帯域通信を実現するには高周波数領域を利用する必要がある。このため、電波伝搬特性が波長の短い直進性をもつ領域となり、見通し確保が必要となる。また、周波数利用効率の面から小セル化が必要となるため、主にピコセル・マイクロセルを主体として、移動速度の大きいものに対してマクロセルを使用する環境を想定する。

本論文では、ピコセル・マイクロセル環境では基地局数の増加にともないシグナリングロードの低減を考えて、基地局レベルで呼処理・ハンドオフ処理を自律分散処理によって行うことを前提とする (図 2.7).

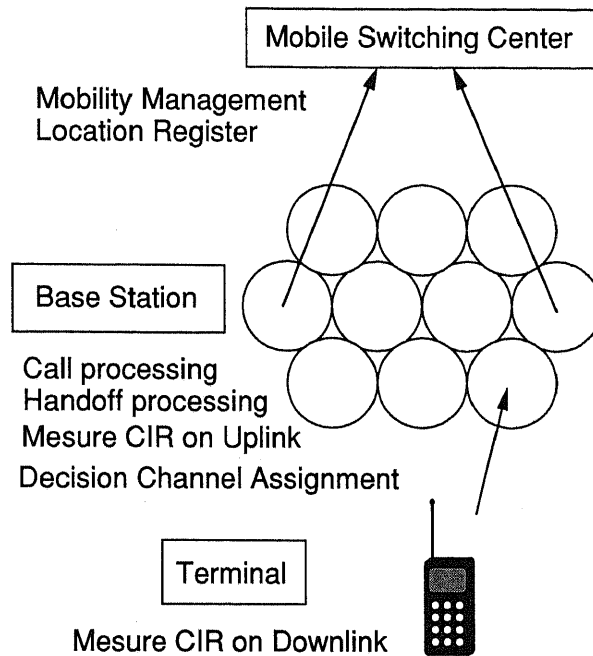


図 2.7: 自律分散処理移動通信システム機能分担

## 2.6 検討対象範囲

### 2.6.1 トラヒック種別

リソース共有効果はトラヒック特性によって左右される。トラヒック特性を分類すると、スロット割り当て方針、サービス品質保証ポリシー、移動特性や端末の制約条件などによってトラヒックの組合せが異なってくる。

スロット割り当て方法によってトラヒックを区別すると、次のような項目があげられる。

**CBR (Constant Bit Rate)** : トラヒックタイプ予測が可能。回線交換割り当てを行なうサービス。ピークレートによる帯域割り当てを呼の終了時またはハンドオフ時まで定期的に割り当てる。音声・オーディオ(8～128kbps) など。

**VBR (Variable Bit Rate)** : トラヒックタイプ予測が可能。バースト性のあるトラヒックに対して統計多重効果を期待し、平均レート、ピークレート、バースト時間などのパラメータをもとに、パケット廃棄率や転送遅延時間などのサービス基準を満たすように可変帯域割り当てを行なうサービス。動画像(MPEG1/2)(1.5～6Mbps) など。

**ABR (Available Bit Rate)** : トラヒックタイプ予測が不可能. 回線が空いているときにベストエフォートの品質保証で割り当てを行なうサービス. サービス品質としてパケット廃棄率などを保証する. ファイル転送 (1 ~ 10Mbps) など.

**UBR (Unspecified Bit Rate)** : トラヒックタイプ予測が不可能. サービス品質に関して保証のないサービス. みなし通信.

また, 移動体特有のパラメータとしては, 次のようなものがあげられる.

**移動速度** : 移動体の移動特性が推定できれば, 適切なチャネル割り当てを行なうことが可能である. SMD (Speed and Moving Direction) 方式などにみられるように, 移動体の速度を歩行, 車のクラスに分けてマクロ・マイクロセルの共有を行なうなどの手法があげられる.

**消費電力制約** : 移動体がバッテリーを用いているか, 車のようなところから電源供給手段を持っているかなどによって, 送信パワーと通信時間に対する制約条件が異なってくる.

本論文では, 主に広帯域呼と狭帯域呼のリソース共有効果に関する議論に主眼をおき, まず CBR ベーストラヒックに対してコールレベルでのサービス品質を考慮する. 移動速度は歩行程度を想定し, 消費電力制約を考慮しない. リソース共有効果について検討し, 具体的なチャネル割り当てアルゴリズムを提案し評価を行なう. さらに, VBR, ABR トラヒックに対して提案 DCA との実現方式を示す. また, ABR トラヒックを空線制御 ICMA プロトコルを組み合わせた場合の提案 DCA の性能評価を行なう.

## 2.6.2 評価尺度

ここでは, 以降のシミュレーションおよび理論式にて使われる評価尺度について述べる. サービス品質の保証項目として次のものがあげられる.

**定義 [完了率]** 要求トラヒックに対して運んだトラヒックの割合

**定義 [呼損率]** 呼の生起に対して接続に失敗する割合.

**定義 [強制切断率]** 回線交換モードの割り当てに成功した呼に対して, ハンドオフ時にチャネル割り当てに失敗して切断する割合.

定義 [接続遅延時間] CBR, VBR トラヒックの生起呼またはハンドオフ呼に対して, 割り当て帯域保証を行なうまでにかかる時間.

定義 [パケット (セル) 転送速度] 転送時間に対して転送された情報量の割合 (実効スループット). チャンネル割り当て方針によって VBR の拡張帯域要求に対する処理, ABR の干渉による再送処理などが転送時間に影響を与える.

定義 [パケット (セル) 誤り率] 干渉やフェージングなどによって, パケットの情報が再生できない割合.



## 第 3 章

### 多元トラヒックのチャネル共有効果の検討

### 3.1 概要

ここでは、要求帯域幅の異なる複数呼種間でのチャンネル共有効果について、周波数キャリアリソースに注目して検討を行なう。第 3.2 節 [多元トラヒックチャンネル割り当て問題の定式化] で、多元トラヒックチャンネル割り当て問題を定式化し、第 3.3 節 [CP 方式と CS 方式] では、多元トラヒックチャンネル割り当てで周波数キャリアを分離する方式 (CP : Carrier Partitioning) と共用する方式 (CS : Carrier Sharing) の概要を述べる。

第 3.4 節 [シミュレーションによる CP 方式と CS 方式の性能比較] で、開発した移動体通信シミュレーションについて述べ、これを用いた CP 方式と CS 方式の特性比較を行なう。

第 3.5 節 [多元トラヒック DCA 呼損率解析の数学モデル] では、多元トラヒック DCA の呼損率特性解析の数学モデルを広帯域呼に割り当てるスロットの条件ごとに提案し、これを用いて各システムパラメータの影響を定量的に検討することによって CP 方式と CS 方式の特性比較を行なう。これによって以降の章で基本となる CS 方式が CP 方式に比べてよい特性を示す領域を明らかにする。

### 3.2 多元トラヒックチャンネル割り当て問題の定式化

ここでは、移動体通信における多元トラヒックチャンネル割り当て問題を非線形最適化問題として定式化する。

目的関数 :

$$\int_{t-tb}^t \sum_{i=1}^{N(t)} f(c_i(t), h_i(t)) dt \Rightarrow \text{最大化}$$

制約条件 :

$$\begin{aligned} c_i(t) &= \sum_{ch} S_{ij}(ch, t) \\ \sum_{i=1}^{N(t)} S_{ij}(ch, t) &\leq C_j(t) \\ \max_{1 \leq j \leq M} B_j(k) &\leq B_{std}(k) \\ \max_{1 \leq j \leq M} INTR_j(k) &\leq INTR_{std}(k) \\ \min_{\substack{S_{ij}(ch, t)=1 \\ 1 \leq i \leq N(t), 1 \leq j \leq M}} CIR_{ij}(ch, t) &\geq CIR_{std} \end{aligned}$$

ここで、各変数は次のことを表すものとする。

- $tb$  : 最適化の評価を行なう時間の長さ
- $f()$  : 保留時間と通信容量によって得られる目的関数
- $N(t)$  : 時刻  $t$  における最適化対象エリア内のユーザ数
- $c_i(t)$  : 時刻  $t$  におけるユーザ  $i$  の通信容量
- $C_j(t)$  : 時刻  $t$  における基地局  $j$  の通信容量の上限値
- $h_i(t)$  : 時刻  $t$  におけるユーザ  $i$  の保留時間
- $M$  : 最適化対象エリア内の基地局数
- $B_j(k)$  :  $tb$  時間の基地局  $j$  におけるサービス  $k$  の呼損率
- $INTR_j(k)$  :  $tb$  時間の基地局  $j$  におけるサービス  $k$  の強制切断率
- $CIR_{ij}(ch, t)$  : 時刻  $t$  におけるユーザ  $i$  と基地局  $j$  間の無線チャネル  $ch$  の希望信号対干渉信号電力比
- $B_{std}(k)$  : サービス  $k$  の呼損率基準値
- $INTR_{std}(k)$  : サービス  $k$  の強制切断率基準値
- $CIR_{std}$  : 希望信号対干渉信号電力比の基準値
- $S_{ij}(ch, t)$  : 時刻  $t$  において、ユーザ  $i$  が基地局  $j$  とチャネル  $ch$  で通信している場合 1, そうでない場合に 0 をとる状態変数

目的関数としては、収入を求める関数やスループットなどがあげられる。制約条件としては、希望波対干渉波電力比を満たし、エリアの呼損率、不完了率をサービス基準値以下になるようにする。

ユーザ  $I$  と基地局  $J$  間の  $CIR_{IJ}(ch, t)$  は、次のように表されるものとする。

Up Link :

$$CIR_{IJ}(ch, t) = 10 \log \frac{P(p_I(t), d_{IJ}(t))}{\sum_{i \neq I} \sum_{j \neq J} S_{ij}(ch, t) P(p_i(t), d_{iJ}(t))}$$

Down Link :

$$CIR_{IJ}(ch, t) = 10 \log \frac{P(p_J(t), d_{IJ}(t))}{\sum_{i \neq I} \sum_{j \neq J}^{N(t) M} S_{ij}(ch, t) P(p_j(t), d_{Ij}(t))}$$

ただし、 $p_i(t)$  はユーザ  $i$  の送信パワー、 $p_j(t)$  は基地局  $j$  の送信パワーを表し、 $d_{ij}(t)$  はユーザ  $i$  と基地局  $j$  の距離を表す。また、 $P(p, d)$  は送信パワー  $p$ 、距離  $d$  の場合の受信電力を表し、

$$P(p, d) \propto p \times d^{-\alpha}$$

と仮定する。陸上の移動通信では  $\alpha$  は 3 ~ 4 であり、都市型エリアでは建物の影響などからさらに大きな値をとる。

制約条件を満たしつつ、目的関数を最大化することを考えると、移動体通信の場合には  $d_{ij}(t)$  の変化により制約条件の変動が大きいことと、マイクロセル化に伴い基地局数が増えるため、最適化を中央集中型のチャネル割り当て処理で行なうのは困難であると考えられる。そこで、以降では基地局毎の自律分散型チャネル割り当て処理の立場から検討を行なう。

### 3.3 CP 方式と CS 方式

TDMA 移動体通信における多元トラヒックチャネル割り当て法では、リソース (周波数キャリア、タイムスロット) の割り当て方法に着目すると次の三つが考えられる。(図 3.1)

**CP (Carrier Partitioning) 方式 :**

広帯域呼と狭帯域呼とでリソースを区別する方法

**CS (Carrier Sharing) 方式 :**

広帯域呼と狭帯域呼とでリソースを共有する方法

**PS (Partitioned Sharing) 方式 :**

帯域幅の小さいものはリソースを共有し、帯域幅の大きいものは区別する方法

PS 方式は CP 方式と CS 方式の中間の性質を示し、特に帯域幅の差が大きく共有効果のないトラヒックの組み合わせに対して有効であるが、ここでは帯域幅の差が少ないトラヒックの組み合わせを前提として共有効果の検討を行なうため議論の対象から外す。

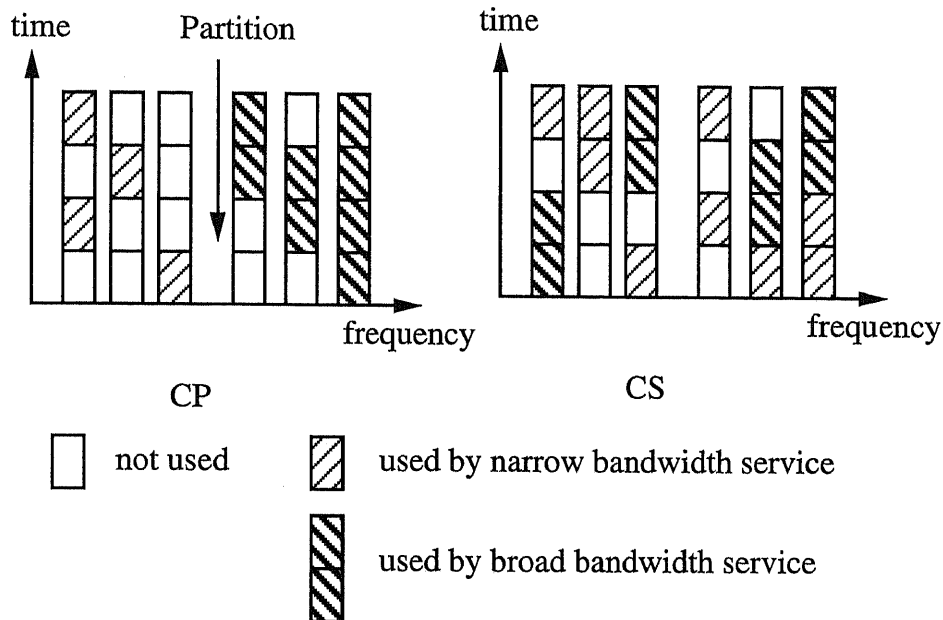


図 3.1: CS 方式と CP 方式の概要

CP 方式では、パーティションの設定によって接続品質が変化するため、MB 法 (Move Boundary) といってパーティションをトラヒックに応じて変動させる方法がある。CP 方式では、端数出線効果は生じないが、キャリア群の中で使用していないチャンネルに無駄が生じることになり、効率的でないと考えられる。

例として、図 3.2 に示すようなシステムを考える。キャリア数 3、多重度 3 のマルチキャリア TDMA で、システム全体で ch1 ~ ch9 までの 9 チャンネルが DCA 法で使用できるものとする。この時、BS# $n$  に広帯域呼が発生した場合 ch1 ~ 3 が CS 方式ならば割り当てることができるが、CP 方式ではパーティションのために使用できないため呼損率が大きくなる。

これに対して CS 方式では、他の基地局で狭帯域呼に割り当てられているチャンネルが干渉の原因となって、広帯域呼が接続できないという端数出線効果により、広帯域呼の呼損率を大きくする場合がある。

以上より、端数出線効果の影響の少ないところで、CS 方式の方が CP 方式に比べてチャンネルの無駄が生じないため効率的であると考えられる。

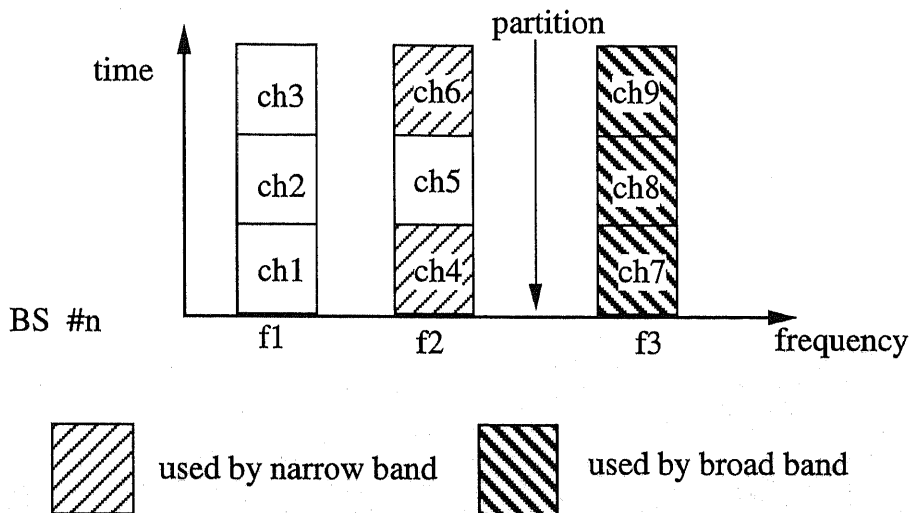


図 3.2: CP 方式の欠点

次に, CP 方式と CS 方式の比較を行うためにダイナミックチャンネル割り当て法の呼損率特性解析を行なう. 次の節では, 特性解析のために開発したシミュレーションツールの紹介と性能評価を行なう.

### 3.4 シミュレーションによる CP 方式と CS 方式の性能比較

#### 3.4.1 移動体通信用シミュレーションツールの開発

ここでは, 以降の検討を行なうために筆者の開発した移動体通信用シミュレーションツールの概要について述べる. シミュレーションツールは, SMPL という C 言語のシミュレーションライブラリをもとに, イベント駆動タイプでモデリングを行なっている. 各基地局におけるイベントをスケジューラにトークンデータとして渡され, スケジューラから取り出されたトークンにどの端末がどの基地局でいつ何をするのかが記入されている. 各 DCA コントローラの制御方針にしたがったチャンネル割り当てを行ない, その呼損率, 強制切断率などを算出する.

図 3.3 にシミュレーションの実行イメージを示す. 左の円はセルの運用半径を示し, 各移動端末 ID とその軌跡を示している. 右の画面では, 各移動体端末をクリックすることで, その

端末に関する情報が得られる。また範囲指定を行ったり、シミュレーションプロセスにシグナルを送ることで、途中結果とシミュレーションの進行の度合を知ることができる。

また、シミュレーションの実行時間に関しては、評価尺度の項目に対して信頼度95%で誤差±5%に入るように組み平均法を用いている [4]。

なお、図3.3に示すシミュレーションのモニタリングは実行速度の低下となるため、バックグラウンドにて走らせた場合は、シミュレーションの終了をメールで通知する仕組みをとった。この場合も、任意の時点でシグナリングによるモニタは行うことができる。

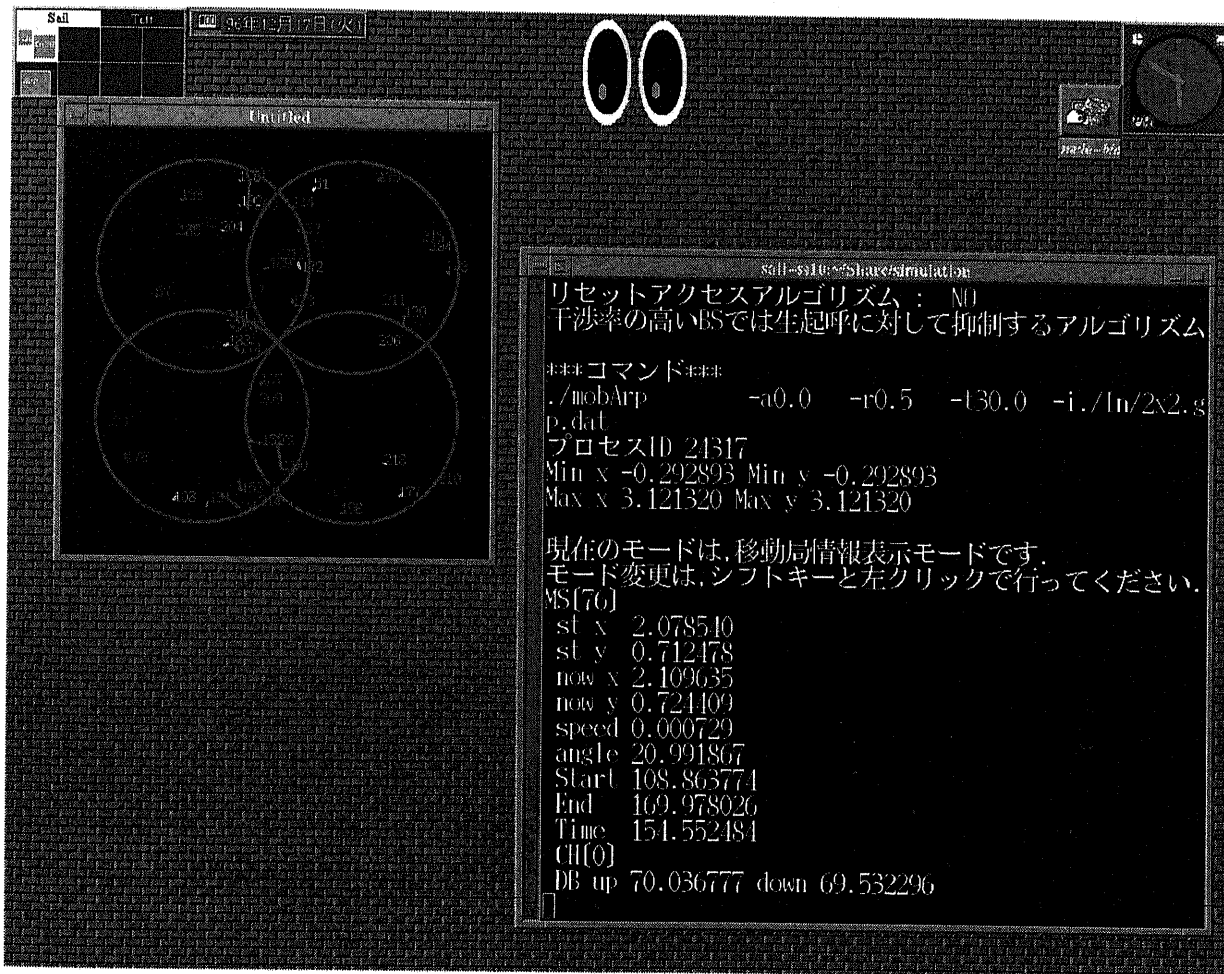


図 3.3: シミュレーションツールの実行イメージ

## 3.4.2 CP方式とCS方式のシミュレーション評価

ここでは、前節で紹介したシミュレーションツールを用いて、CP方式とCS方式の特性評価を行なう。シミュレーションで想定するシステムを表3.1に示す。

表 3.1: CP方式とCS方式の特性比較のシミュレーション条件

セル構成	12 × 12 正方形セル格子状配置
基地局運用半径	100 m
チャネル数	45 ch(キャリア周波数 15, TDMA 多重度 3)
所要 CIR	21 dB
トラヒック特性	狭帯域呼(1 ch)と広帯域呼(3 ch)の2種とも平均保留時間 120 秒の指数分布に従い、サービスエリア内で一様にポアソン生起
移動特性	時速 0 ~ 4km, 方角 0 ~ 360 度のランダムな値をとり、通話中は一定方向・一定速度で移動する
伝搬特性	距離の 3.44 乗に比例して減衰

トラヒックの大きさは、狭帯域呼を  $a_1$  アーラン、広帯域呼を  $a_2$  アーランとして総等価帯域呼量  $A = a_1 + 3a_2$  を変化させ、広帯域呼の占める割合  $r = 3a_2 / (a_1 + 3a_2)$  をパラメータとして呼損率、強制切断率、完了率を測定する。なお、シミュレーション時間としては狭帯域呼の呼損率が 95% の信頼区間で誤差 10% 以内に入るものとして計算した。なお、アップリンクのみを対象とする。上記のシミュレーション条件で、CP方式とCS方式の比較を行なった。チャネル割り当てアルゴリズムとしては、FA方式を用いた。また、CP方式では効率のよいとされている Move Boundary 法を用いた。

図 3.4 に平均呼損率、図 3.5 に要求トラヒックに対して運んだトラヒックの割合(完了率)を示す。これより、全体としての完了率は CS方式の方が CP方式に比べてよいが、接続品質に関して見れば  $r = 0.2$  の場合は、CP方式の方が CS方式よりもよくなっていることがわかる。このことは、 $r = 0.2$  の場合に CP方式の接続品質がよくても強制切断率が大きいことを意味している。これは、CP方式ではパーティションのために CS方式に比べて検索するチャネル数が少ないため、干渉率が高くなり強制切断率が大きくなるものと考えられる。



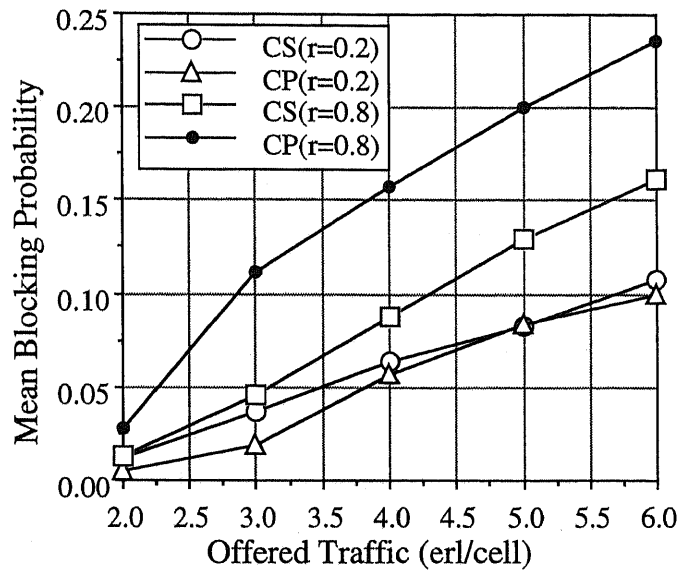


図 3.4: CP 方式と CS 方式の平均呼損率比較

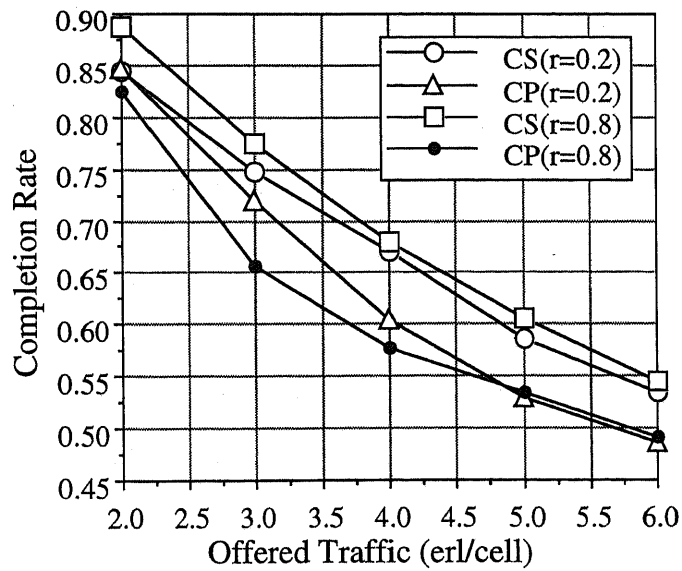


図 3.5: CP 方式と CS 方式の完了率比較

また、呼損率、強制切断率についてよい特性を示した方式をまとめると、表 3.2 のようになった。

表 3.2: 呼損率、強制切断率での CP・CS 方式比較

呼種	呼損率		強制切断率	
	r=0.2	r=0.8	r=0.2	r=0.8
狭帯域呼	CS 方式	CP 方式	CS 方式	CP 方式
広帯域呼	CP 方式	CS 方式	CP 方式	CS 方式

$r = 0.2$  の場合には、狭帯域呼の割合が広帯域呼に比べて大きく、チャネル全体に分布して広帯域呼の接続時に干渉原因となるため、CS 方式では端数出線効果により、CP 方式に比べて広帯域呼の呼損率が悪くなる。これに対して、 $r = 0.8$  の場合には、広帯域呼の割合が大きくなり、CP 方式では狭帯域呼のための領域に広帯域呼が使えるチャネルがあっても、パーティションのために使用できないため、CS 方式に比べて広帯域呼の呼損率が悪くなるものと考えられる。

以上より、広帯域呼の割合が多くなるにつれて CS 方式の方が CP 方式に比べて有利であることがわかる。次に CP 方式と CS 方式の特性評価を、多元トラヒック DCA の数学モデル解析によって行なう。

### 3.5 多元トラヒック DCA 呼損率解析の数学モデル

#### 3.5.1 数学モデル導出のための準備

ここでは、CP 方式と CS 方式の比較を行うために、各々 First Available タイプのアルゴリズムを用いた場合の呼損率特性解析を行う。広帯域呼に複数のタイムスロットを割り当てる方法の制約条件にしたがって、次のように分類できる。

1. 広帯域呼のスロットが同一キャリア上にあり、かつ連続している。
2. 広帯域呼のスロットが同一キャリア上にあり、不連続でもよい。

3. 広帯域呼のスロットが複数キャリア上にあり、かつ同一タイミングのスロットは割り当てない。
4. 広帯域呼のスロットが同一キャリア上にあり、同一タイミングのスロットでもよい。

ハードウェア実現性の点から考えると、1～4になるに従って困難となる。2では送信タイミングを調整する仕組みが必要となり、3では、高速に周波数切り替えが可能な周波数シンセサイザが必要となる。4では同時に送信可能とするためにトランスミッタが複数必要となる。1が最も単純な構成となるが、周波数利用効率の面では4が最も高いと考えられる。ここでは、周波数利用効率の側面を定量的に解析するため、各々の呼損率を定常状態確率に基づいて解析を行う。

ここで、以降の議論で使用する変数について、次にまとめる。

$a_1$ :	狭帯域呼のトラヒック	$a_2$ :	広帯域呼のトラヒック
$B_1$ :	狭帯域呼の呼損率	$B_2$ :	広帯域呼の呼損率
$a$ :	総等価帯域呼量	$r$ :	広帯域呼の割合 ( $r = ma_2/a$ )
$m$ :	広帯域呼の狭帯域呼に対する通信速度比	$p$ :	干渉によってチャネルが使用できない確率
$N_c$ :	キャリア数	$N_s$ :	1フレーム内のタイムスロット数

以降の解析の基本的考えた方として、CP方式とCS方式の呼損率は、システムの定常状態確率  $P$  とその状態における呼損率  $E$  との積和によって表されると考える。

ここで、呼損率を求める際に必要となる式として、アランB式  $E(n, a)$  と共有チャネルに対する狭帯域と広帯域呼の呼損率を表す式  $E_1(n, a_1, a_2)$  と  $E_2(n, a_1, a_2)$  をそれぞれ式(3.1)、(3.2)に示す。ただし、 $n$ はチャネル数、 $a$ はトラヒックの大きさ、 $a_1, a_2$ は狭帯域呼・広帯域呼のトラヒックの大きさを表すものとする。なお、 $E_1, E_2$ は二次元マルコフチェーンの定常状態確率によって求められる[4]。

$$E(n, a) = \frac{a^n}{n!} \sum_{i=0}^n \frac{a^i}{i!} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned}
E_1(n, a_1, a_2) &= \frac{\sum_{j=0}^s \frac{a_1^{n-mj} a_2^j}{(n-mj)! j!}}{\sum_{j=0}^s \sum_{i=0}^{n-mj} \frac{a_1^i a_2^j}{i! j!}} \\
E_2(n, a_1, a_2) &= \frac{\sum_{j=0}^{s-1} \sum_{i=n-m(j+1)+1}^{n-mj} \frac{a_1^i a_2^j}{i! j!} + \frac{a_2^s}{s!}}{\sum_{j=0}^s \sum_{i=0}^{n-mj} \frac{a_1^i a_2^j}{i! j!}} \\
s &= \left\lfloor \frac{n}{m} \right\rfloor \tag{3.2}
\end{aligned}$$

また、総合的な評価尺度として、狭帯域呼と広帯域呼の帯域幅によって重み付けをした平均呼損率  $MB$  を式 (3.3) に示す。

$$MB = \frac{a_1 B_1 + m a_2 B_2}{a_1 + m a_2} \tag{3.3}$$

### 3.5.2 広帯域呼に同一キャリアを割り当て不連続スロットを許容しない場合

ここでは、広帯域呼に同一キャリア上のタイムスロットかつ時間的に連続したスロットしか割り当てを許容しない場合の呼損率を導出する。

まずはじめに、CP方式の狭帯域呼の呼損率  $B_1$  を求める。今、 $n$  スロット中  $k$  スロットが干渉確率  $p$  で使用できない定常状態確率を  $P_k(n, p)$  とする。この確率は、トラヒック条件・ゾーン構成・ターミナルモビリティなどに干渉モデルに依存するが、議論の簡単のためにここでは次式 (3.4) の二項分布を想定する。

$$P_k(n, p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \tag{3.4}$$

CP方式のパーティションは、Move Boundary法によってトラヒック比率  $r$  に応じて割り当てられるものとする、狭帯域呼に割り当てられるチャネル数は  $N_c(1-r)N_s$  となる。すると、この狭帯域呼用の  $N_c(1-r)N_s$  チャネルの内、 $k$  スロットが干渉確率  $p$  で使用不可能な確率は  $P_k(N_c(1-r)N_s, p)$  で表される。 $N_c(1-r)N_s$  チャネルの内、 $k$  スロットが使用不可能な状態における呼損率は、アランB式 (3.1) を用いると  $E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$  と表されるので、以上より狭帯域呼の呼損率  $B_1$  は次式 (3.5) と求められる。

$$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1) \quad (3.5)$$

次に、CP 方式の広帯域呼の呼損率  $B_2$  を求める。広帯域呼に割り当てる複数のスロットは、同一キャリア上で連続してなければならない。簡単のため、次の例によって計算の仕方を示す。例えば、1 フレームに 4 つのタイムスロットがあるシステムにおいて、3 スロット分の帯域幅を必要とする広帯域に対して割り当て可能な状態は図 3.6 に示す 3 通りとなる。

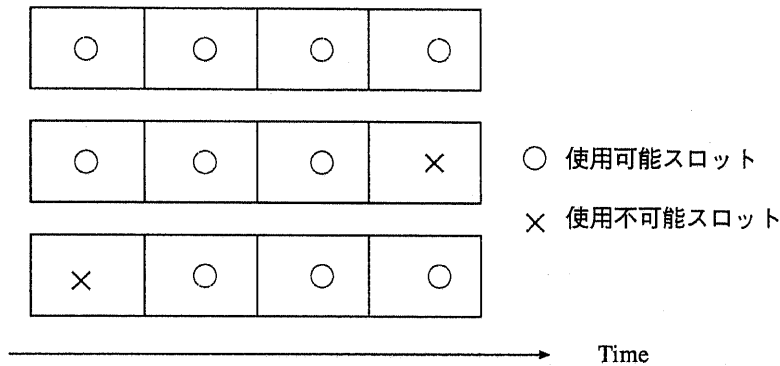


図 3.6: 使用可能なスロットが連続している例

この場合、1 キャリアに対しての広帯域呼の呼損率  $b_2$  は、各状態確率と各状態における呼損率の積和で表されるとすると、次式 (3.6) で表される。

$$b_2 = 2 \times (1-p)^3 p \times E\left(\left[\frac{3}{3}\right], a_2\right) + (1-p)^4 \times E\left(\left[\frac{4}{3}\right], a_2\right) + \{1 - \{2 \times (1-p)^3 p + (1-p)^4\}\} \times 1.0 \quad (3.6)$$

右辺の初項と第 2 項は、それぞれ連続 3, 4 スロットが使用可能な場合の定常状態確率と呼損率の積を表し、第 3 項は連続スロットが 3 スロット以上得られない確率とその状態での呼損率 (1) の積を表している。CP 方式での広帯域呼用のキャリア数は  $N_{cr}$  であるから、すべてのキャリアに対して呼損となる確率は  $B_2 = b_2^{N_{cr}}$  で与えられる。

この導出に基づいて CP 方式の広帯域呼の呼損率  $B_2$  を一般化すると、次式 (3.7) で表すことができる。

$$B_2 = \prod_{i=0}^{N_{cr}} \left( \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \times E \left( \left[ \frac{l}{m} \right], a_2 \right) + \left( 1.0 - \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \right) \right)$$

$$P(l) = \sum_{k=0}^{N_s-l} L(k, l) \times (1-p)^{N_s-k} p^k \tag{3.7}$$

ただし、 $L(k, l)$  は干渉スロットが  $k$  個ある組合せの数の内、連続  $l$  スロットが使用可能な場合の数を表す。

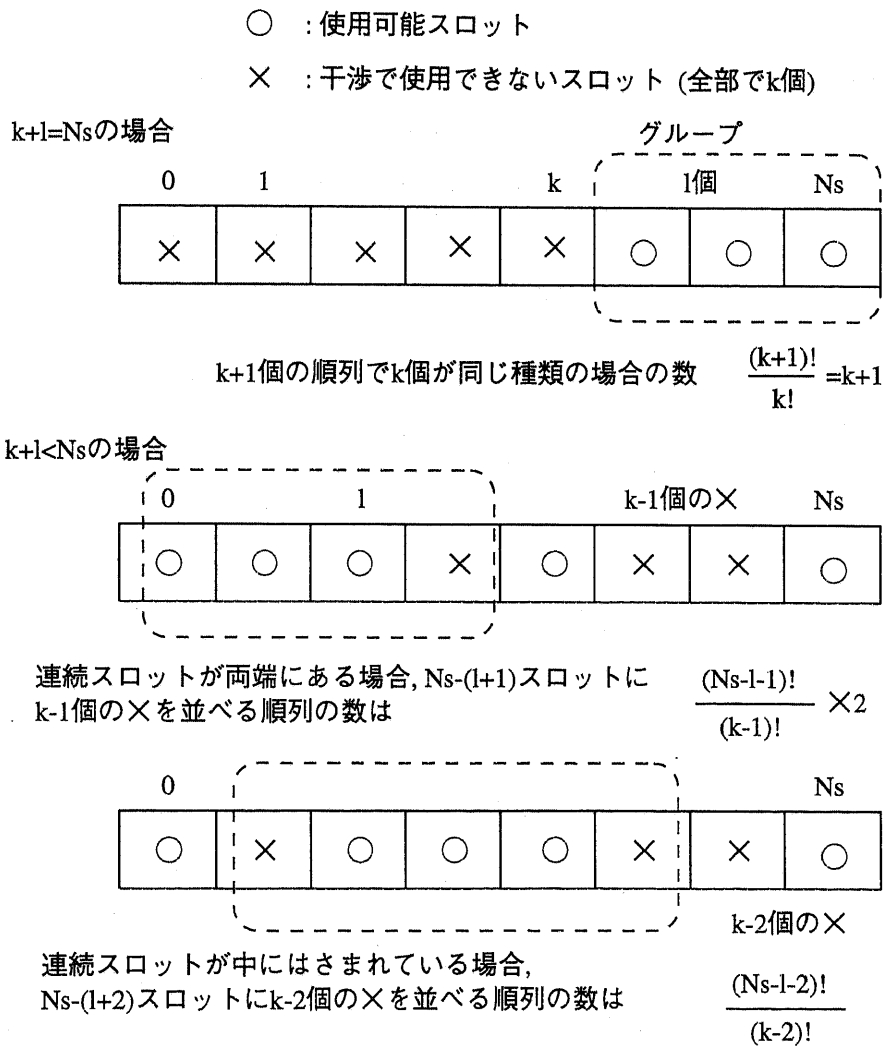


図 3.7: 干渉スロット数が  $k$  のとき連続スロット数  $l$  が得られる場合の数  $L(k, l)$  の計算

次に  $L$  の導出方法を考える. まず,  $k = 0$  の場合は干渉スロットがないので連続  $N_s$  スロットが入手可能であるから,  $l = N_s$  のとき  $L = 1$  で, それ以外は  $L = 0$  となる.

また, 図 3.7 に示すように  $k+l = N_s$  の場合,  $l$  個の連続スロットを一つのグループとして考えれば  $k+1$  個の順列で同じ種類が  $k$  個含まれる場合の数として計算できるので  $\frac{(k+1)!}{k!} = k+1$  となる.

$k+l < N_s$  の場合には, 連続スロットが端にある場合と連続スロットが干渉スロットではさまれている場合に分けて考える.

連続スロットが端にある場合には,  $l$  個の連続スロットと 1 つの干渉スロットで一つのグループと考え, 残りの  $N_s - l - 1$  スロットに  $k - 1$  個の干渉スロットを並べる順列となるから,  $\frac{(N_s - l - 1)!}{(N_s - l - k)!(k - 1)!}$  で, これが左右の場合について二通りあるので 2 倍する.

連続スロットが干渉スロットにはさまれている場合には,  $l$  個の連続スロットとそのわきの 2 つの干渉スロットで一つのグループと考え, 残りの  $N_s - l - 2$  スロットに  $k - 2$  個の干渉スロットを並べる順列となるから,  $\frac{(N_s - l - 2)!}{(N_s - l - k)!(k - 2)!}$  となる.

以上より,  $L(k, l)$  は次の表 3.3 のようにまとめることができる.

表 3.3: 干渉スロット数が  $k$  のとき連続スロット数  $l$  が得られる場合の数  $L(k, l)$

$L(k, l) = 0$	$k = 0, l < N_s$ の場合
$L(k, l) = 1$	$k = 0, l = N_s$ の場合
$L(k, l) = k + 1$	$k + l = N_s$ の場合
$L(k, l) = 2 \times \frac{(N_s - l - 1)!}{(N_s - l - k)!(k - 1)!} + \frac{(N_s - l - 2)!}{(N_s - l - k)!(k - 2)!}$	$k + l < N_s$ の場合

なお, 文献 [5] の組み合わせの生成アルゴリズムを用いて, 干渉パターンを生成し, 干渉スロット数が  $k$  のときの連続スロット数  $l$  となる場合の数を計算した結果と, 表 3.3 から得られる結果は完全な一致を示した.

CP 方式と同様に考えて, 各定常状態の呼損率に式 (3.2) のチャネル共有の場合の呼損率を想定すると, CS 方式の呼損率は次式 (3.8) のように求めることができる.

$$B_1 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_1(N_s - k, a_1, a_2)$$

$$B_2 = \prod_{i=0}^{N_c} \left( \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \times E_2(l, a_1, a_2) + \left( 1.0 - \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \right) \right)$$

$$P(l) = \sum_{k=0}^{N_s-l} L(k, l) \times (1-p)^{N_s-k} p^k \quad (3.8)$$

上記, 理論式を用いてトラヒック比率  $r$  をパラメータとして CP 方式と CS 方式の呼損率を比較した結果を図 3.8 に示す ( $N_c = 10, N_s = 4, m = 3, a = 4.0, p = 0.2$ ).

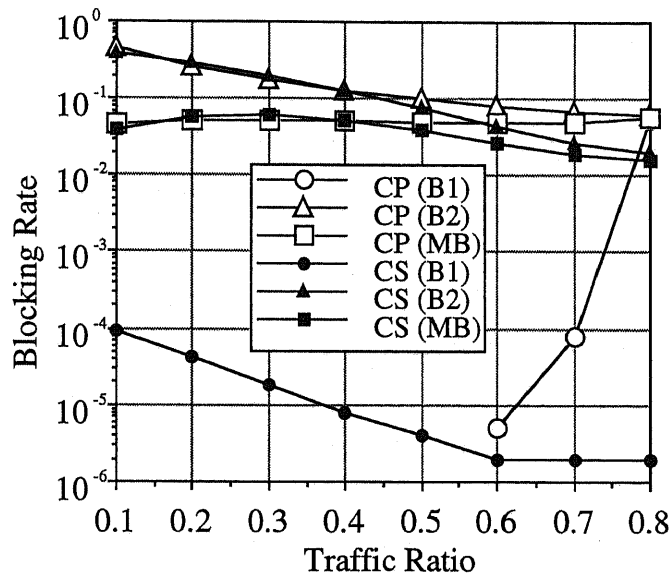


図 3.8: 広帯域呼のロットが同一キャリア上にあり, 不連続ロットを許容しない場合の CP・CS 方式比較

$r = 0.4$  程度までは, CP 方式と CS 方式の平均呼損率  $MB$  はほぼ同じ値をとっていて, それ以上では CS 方式が有利となることがわかる. このことは, 第 3.4.2 節 [CP 方式と CS 方式のシミュレーション評価] のシミュレーションで広帯域呼の比率が多いほど CS 方式がよくなったことを理論的に裏付けていることになる.

CP 方式では, 広帯域呼の比率  $r$  が増えるにしたがって狭帯域呼が占有できるリソースが少なくなるため, 狭帯域呼の呼損率が  $r = 0.7$  から急に大きくなる. 一方, 広帯域呼は利用可能なリソースが増えて呼損率が小さくなる. これに対し, CS 方式では広帯域呼と狭帯域呼ともに  $r$  の増加に伴って小さくなっている. この例では, 1 フレームのタイムロット数  $N_s = 4$



で、広帯域呼の占有帯域幅  $m = 3$  のため、広帯域呼の割合  $r$  が増加しても、端数分の1 スロットが狭帯域呼のために残されるため、狭帯域呼の呼損の劣化が生じないためと考えられる。

次の節では、広帯域呼にスロットの連続性が不要な場合の解析を行なう。

### 3.5.3 広帯域呼に同一キャリアを割り当て不連続スロットを許容する場合

ここでは、広帯域呼に同一キャリア上のタイムスロットを割り当て、時間的に不連続なスロットの割り当てを許容する場合の呼損率を導出する。

スロットの連続性を考慮する必要がないため、同一キャリア上の  $N_s$  スロットの内、干渉によって  $k$  スロットが使用不可能な場合、 $N_s - k$  スロットが使用可能である。このとき、状態確率に二項分布 (式 (3.4)), 各状態における呼損率にアラン B 式 (式 (3.1)) とチャネル共有の呼損率の式 (式 (3.2)) を想定し、前節と同様に CP 方式・CS 方式の呼損率を求めると、それぞれ式 (3.9), (3.10) のように求めることができる。

$$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$$

$$B_2 = \prod_{i=0}^{N_c r} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E\left(\left[\frac{N_s - k}{m}\right], a_2\right) \quad (3.9)$$

$$B_1 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_1(N_s - k, a_1, a_2)$$

$$B_2 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_2(N_s - k, a_1, a_2) \quad (3.10)$$

上記、理論式を用いてトラヒック比率  $r$  をパラメータとして CP 方式と CS 方式の呼損率を比較した結果を図 3.9 に示す ( $N_c = 10$ ,  $N_s = 4$ ,  $m = 3$ ,  $a = 4.0$ ,  $p = 0.2$ )。

図 3.8 と比較すると似た傾向を示しているが、CP 方式の広帯域呼の呼損率が小さくなっている。これは、不連続スロットを許容することによって接続することができる呼が CP 方式では増えることを意味している。これに対し、CS 方式の広帯域呼の呼損率にあまり変化がないのは、狭帯域呼との共有によって不連続スロットを許容してもあまり接続できない場合があることを示している。1 フレームあたりのタイムスロット数が大きければ CS 方式の広帯域呼の呼損率も不連続スロットを許容することで小さくなるものと考えられる。

以上の議論では、一つの広帯域呼に一つのキャリアを割り当てることを前提としたが、以降では一つの広帯域呼に複数のキャリアを割り当てた場合の解析を行う。

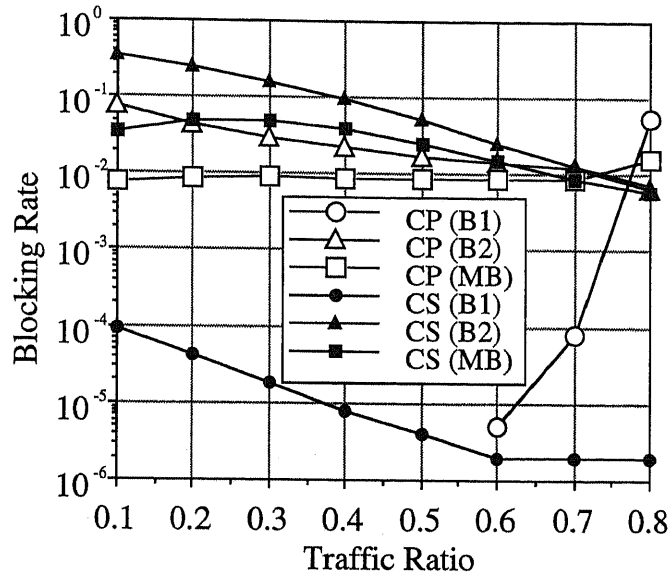


図 3.9: 広帯域呼のロットが同一キャリア上にあり, 不連続ロットを許容する場合の CP・CS 方式比較

### 3.5.4 広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容しない場合

ここでは, 広帯域呼に複数キャリア上のタイムスロットを割り当て, 時間的に同一タイミングのスロット割り当てを許容しない場合の呼損率を導出する. この場合, 複数キャリアになった分だけ論理チャンネルが増えるが, 同一タイミングで割り当てる場合の数を引いて考える必要がある.

まず CP 方式の呼損率を, それぞれ式 (3.11) に示す.

$$\begin{aligned}
 B_1 &= \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1) \\
 B_2 &= \sum_{k_a=0}^{N_c r} \sum_{k_b=0}^{(N_s-1)N_c r} P_{k_a}(N_c r, p) P_{k_b}((N_s-1)N_c r, p) \\
 &\times E\left(\left[\frac{A_{k_a, k_b}(N_s, N_c r)}{m}\right], a_2\right)
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

ここで,  $A_{k_a, k_b}(n_s, n_c)$  は, 広帯域呼に対して割り当てる実効チャンネル数を表す. 次に実効チャンネル数導出の概略について説明する. ある基地局において  $n_c$  個のキャリアと  $n_s$  のタイムスロットが DCA で使用できるものとし, チャンネルの状況が図 3.10 に示すように干渉によって使用不可能なものが  $k$  個あるとする. このとき, 広帯域呼を割り当てる方法の組合せの総数  $C_a$  は, 次式で求まる.

$$C_a = \binom{n_c n_s - k}{m} \tag{3.12}$$

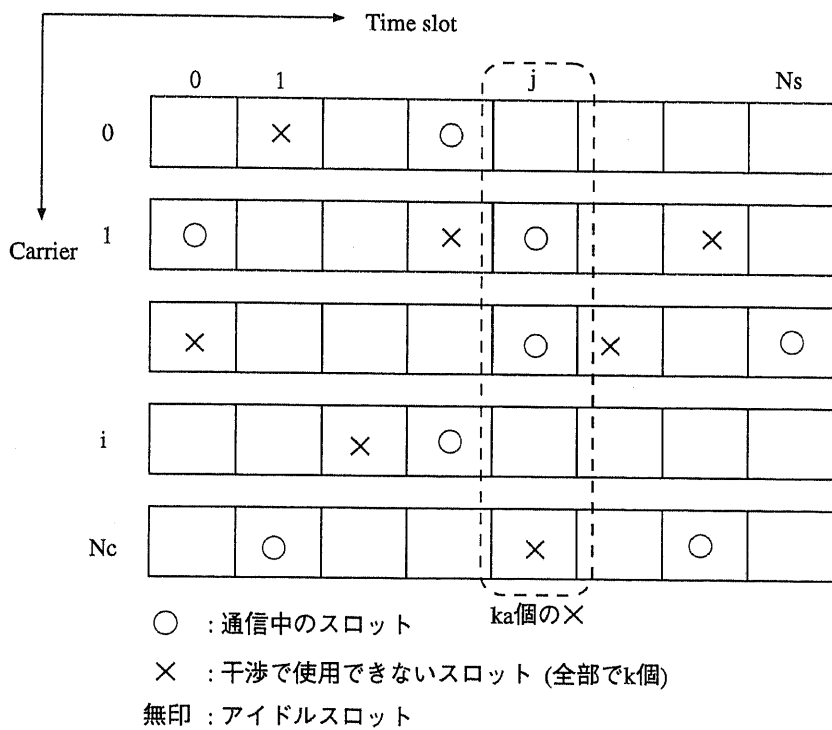


図 3.10: 基地局におけるチャンネル干渉状態図

しかし  $C_a$  には, 一つの広帯域呼に同じタイミングのタイムスロットで二つ以上のキャリアを割り当てる組み合わせの数も含まれている. 一つの広帯域呼に対して, 図 3.10 のインデックス  $j$  のタイムスロットに少なくとも二つ以上 ( $l$  個) のスロットを割り当てる場合の数  $C_b$  は次のように求められる.

$$\begin{aligned}
C_b &= \sum_{l=2}^L \binom{n_c - k_a}{l} \times \binom{(n_s - 1)n_c - k_b}{m - l} \\
L &= \min(m, n_c - k_a)
\end{aligned} \tag{3.13}$$

ここで  $k_a$  は、インデックス  $j$  のタイムスロットで干渉によって使用不可能な数を表し、 $k_b$  はインデックス  $j$  以外のタイムスロットで干渉によって使用不可能な数を表す。以上より、割り当て不可能な組み合わせを除いた実効チャネル数は次式のように求められる。

$$\begin{aligned}
A_{k_a, k_b}(n_s, n_c) &= \left(1 - \frac{C_b}{C_a}\right) \times (n_s n_c - k) \\
k &= k_a + k_b
\end{aligned} \tag{3.14}$$

CP方式と同様に考えて、CS方式の呼損率を求めると次式(3.15)のようになる。

$$\begin{aligned}
B_1 &= \sum_{k=0}^{N_c N_s} P_k(N_c N_s, p) \times E_1(N_c N_s - k, a_1, a_2) \\
B_2 &= \sum_{k_a=0}^{N_c} \sum_{k_b=0}^{(N_s-1)N_c} P_{k_a}(N_c, p) P_{k_b}((N_s-1)N_c, p) \\
&\quad \times E_2(A_{k_a, k_b}(N_s, N_c), a_1, a_2)
\end{aligned} \tag{3.15}$$

上記、理論式を用いてトラヒック比率  $r$  をパラメータとしてCP方式とCS方式の呼損率を比較した結果を図3.11に示す ( $N_c = 10$ ,  $N_s = 4$ ,  $m = 3$ ,  $a = 8.0$ ,  $p = 0.2$ )。

これより、CS方式では複数のキャリアを割り当てることによって広帯域呼のチャネル選択の自由度が増し、広帯域呼の呼損率が小さくなり、平均呼損率はCP方式に比べてCS方式の方が小さい。CP方式では、トラヒック比率  $r$  で広帯域呼の使用可能なりソースに制限があるため、複数キャリアの絶対数がCS方式に比べて少ないため、広帯域呼の呼損率の改善効果が少ないものと考えられる。

次の節では、広帯域呼に複数キャリアで同一タイミングスロットの割り当てを許容する場合の解析を示す。

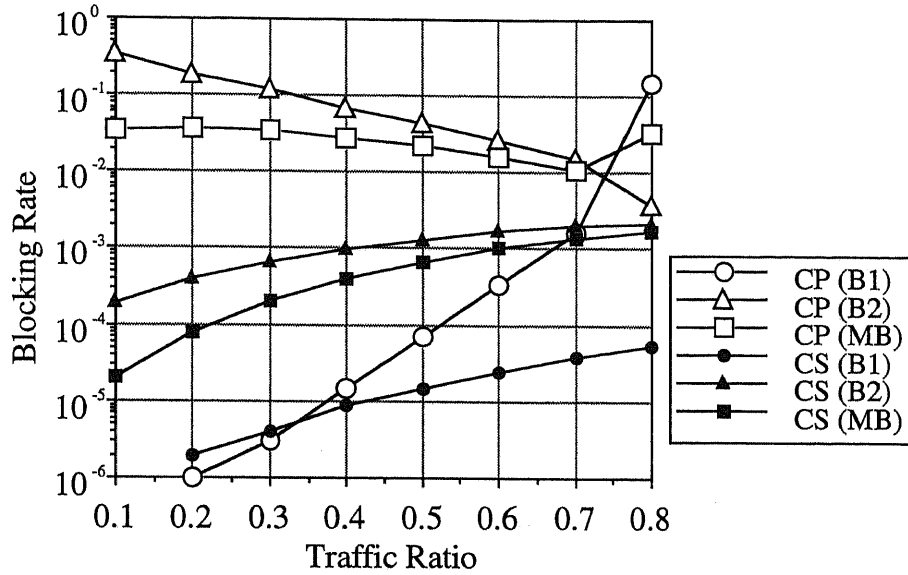


図 3.11: 広帯域呼スロットが複数キャリアにまたがり, 同一タイミングスロットを許容しない場合の CP・CS 方式比較

### 3.5.5 広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容する場合

ここでは, 広帯域呼に複数キャリア上のタイムスロットを割り当て, 時間的に同一タイミングスロットの割り当てを許容する場合の呼損率を導出する. この場合, システムのチャネル数  $N_c \times N_s$  全体を論理的チャネルとして扱うことができる.

状態確率に二項分布 (式 (3.4)), 各状態における呼損率にアーラン B 式 (式 (3.1)) とチャネル共有の呼損率の式 (式 (3.2)) を想定し, CP 方式・CS 方式の呼損率を求めると, それぞれ式 (3.16), (3.17) のように求めることができる.

$$\begin{aligned}
 B_1 &= \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1) \\
 B_2 &= \sum_{k=0}^{N_cN_s r} P_k(N_cN_s r, p) \times E\left(\left[\frac{N_cN_s r - k}{m}\right], a_2\right) \\
 B_1 &= \sum_{k=0}^{N_cN_s} P_k(N_cN_s, p) \times E_1(N_cN_s - k, a_1, a_2)
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

$$B_2 = \sum_{k=0}^{N_c N_s} P_k(N_c N_s, p) \times E_2(N_c N_s - k, a_1, a_2) \quad (3.17)$$

上記、理論式を用いてトラヒック比率  $r$  をパラメータとして CP 方式と CS 方式の呼損率を比較した結果を図 3.12 に示す ( $N_c = 10, N_s = 4, m = 3, a = 8.0, p = 0.2$ ).

この場合も CP 方式に比べて CS 方式の呼損率は小さな値をとっている。同一タイミングスロットの割り当てを許容することによって、共有リソースの量が多くなったため、狭帯域呼と広帯域呼の呼損率の差が小さくなっている。また、CP 方式の広帯域呼の呼損率についても、トラヒック比率  $r$  が増加すると、広帯域呼に割り当て可能なチャネル数が CS 方式とほぼ同じになるため、呼損率が近い値を示している。

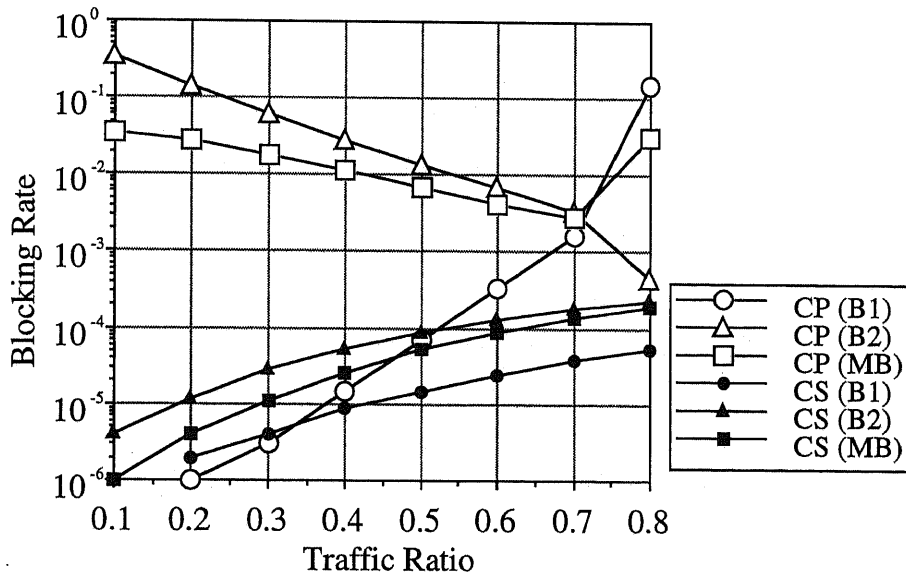


図 3.12: 広帯域呼スロットが複数キャリアにまたがり、同一タイミングスロットを許容する場合の CP・CS 方式比較

次の節では、以上の解析モデルについてまとめ、広帯域呼に割り当てするスロット条件の違いに対する特性の比較を行う。

### 3.5.6 数学モデルのまとめと各条件の特性比較

前節で解析した多元トラヒック DCA の呼損率の数式を表 3.4 にまとめる。

表 3.4: 多元トラヒック DCA の呼損率特性の数学モデル

条件	数式
CP1: 同一キャリア 連続スロット	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$ $B_2 = \prod_{i=0}^{N_c r} \left( \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \times E\left(\left[\frac{l}{m}\right], a_2\right) + \left(1.0 - \sum_{l=m}^{N_s} P(l)\right) \right)$
CS1: 同一キャリア 連続スロット	$B_1 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_1(N_s - k, a_1, a_2)$ $B_2 = \prod_{i=0}^{N_c} \left( \sum_{l=m}^{N_s} P(l) \times E_2(l, a_1, a_2) + \left(1.0 - \sum_{l=m}^{N_s} P(l)\right) \right)$
CP2: 同一キャリア 不連続スロット可	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$ $B_2 = \prod_{i=0}^{N_c r} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E\left(\left[\frac{N_s - k}{m}\right], a_2\right)$
CS2: 同一キャリア 不連続スロット可	$B_1 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_1(N_s - k, a_1, a_2)$ $B_2 = \prod_{i=0}^{N_c} \sum_{k=0}^{N_s} P_k(N_s, p) \times E_2(N_s - k, a_1, a_2)$
CP3: 複数キャリア 同一タイミング不可	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$ $B_2 = \sum_{k_a=0}^{N_c r} \sum_{k_b=0}^{(N_s-1)N_c r} P_{k_a}(N_c r, p) P_{k_b}((N_s-1)N_c r, p) \times E\left(\left[\frac{A_{k_a, k_b}(N_s, N_c r)}{m}\right], a_2\right)$
CS3: 複数キャリア 同一タイミング不可	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c N_s} P_k(N_c N_s, p) E_1(N_c N_s - k, a_1, a_2)$ $B_2 = \sum_{k_a=0}^{N_c} \sum_{k_b=0}^{(N_s-1)N_c} P_{k_a}(N_c, p) P_{k_b}((N_s-1)N_c, p) \times E_2(A_{k_a, k_b}(N_s, N_c), a_1, a_2)$
CP4: 複数キャリア 同一タイミング可	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c(1-r)N_s} P_k(N_c(1-r)N_s, p) \times E(N_c(1-r)N_s - k, a_1)$ $B_2 = \sum_{k=0}^{N_c N_s r} P_k(N_c N_s r, p) \times E\left(\left[\frac{N_c N_s r - k}{m}\right], a_2\right)$
CS4: 複数キャリア 同一タイミング可	$B_1 = \sum_{k=0}^{N_c N_s} P_k(N_c N_s, p) \times E_1(N_c N_s - k, a_1, a_2)$ $B_2 = \sum_{k=0}^{N_c N_s} P_k(N_c N_s, p) \times E_2(N_c N_s - k, a_1, a_2)$

次に、広帯域呼に割り当てるスロット条件の違いに対する呼損率特性の定量的評価を行う。以降では、スロット条件を表す記号として、表3.4の条件に記入してある記号(例: CP1)を用いる。

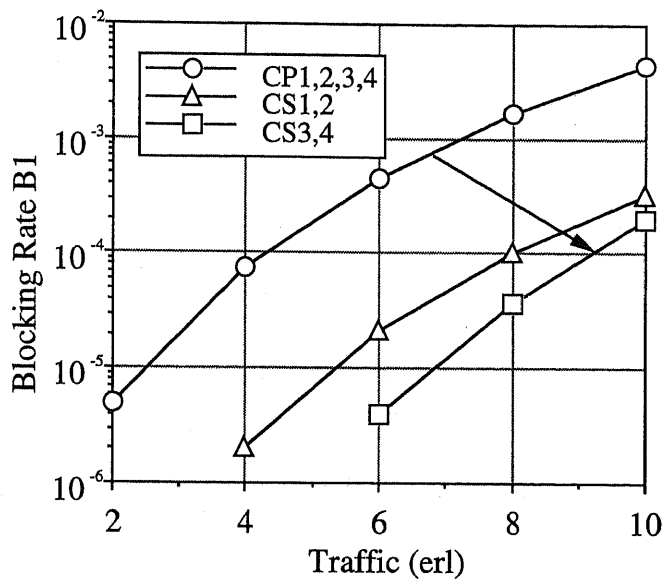


図 3.13: 広帯域呼に割り当てるスロット条件の違いに対する狭帯域呼の呼損率特性

図 3.13に狭帯域呼の呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 4, m = 3, r = 0.7, p = 0.2$ ). CP方式では、広帯域呼に割り当てるスロット条件は、パーティションがあるために狭帯域呼の呼損率には影響を与えないので同じ値をとる。これによると、広帯域呼に複数キャリアのスロットを与える場合が最も小さな呼損率を示している。

図 3.14にCS方式における広帯域呼の呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 4, m = 3, r = 0.7, p = 0.2$ ). これより、スロットの条件が「同一キャリア・連続」, 「同一キャリア・不連続」, 「複数キャリア・同一タイミング不可」, 「複数キャリア・同一タイミング可」の順で呼損率が小さくなっている。特に、複数キャリアを割り当てる効果が大いことを示している。なお、CP方式の広帯域呼の呼損率についても同様の現象が見られる。

図 3.15にキャリア数とCS方式の広帯域呼の呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 4, m = 3, r = 0.7, p = 0.2$ ). これによると、スロット条件の違いによる呼損率の差は、キャリア数が少ないほど顕著であることがわかる。もし、十分な周波数キャリアを用意できないような環境で



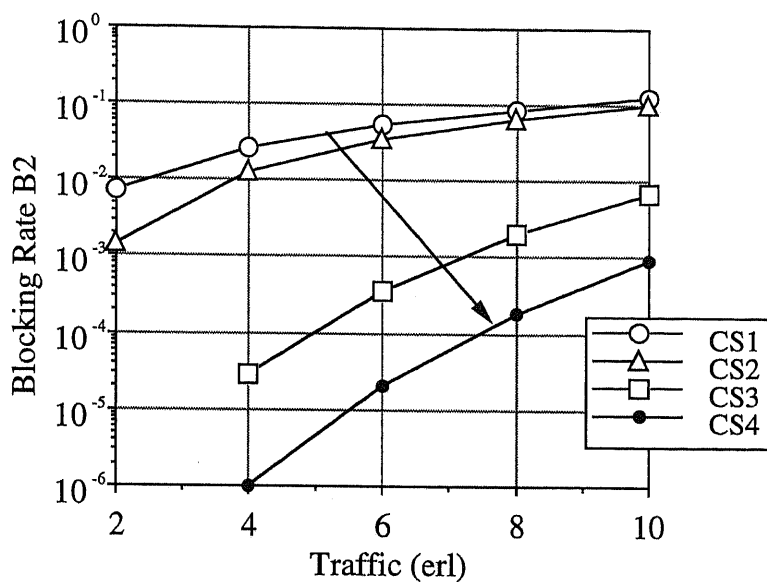


図 3.14: 広帯域呼に割り当てるスロット条件の違いに対する広帯域呼の呼損率特性 (CS 方式)

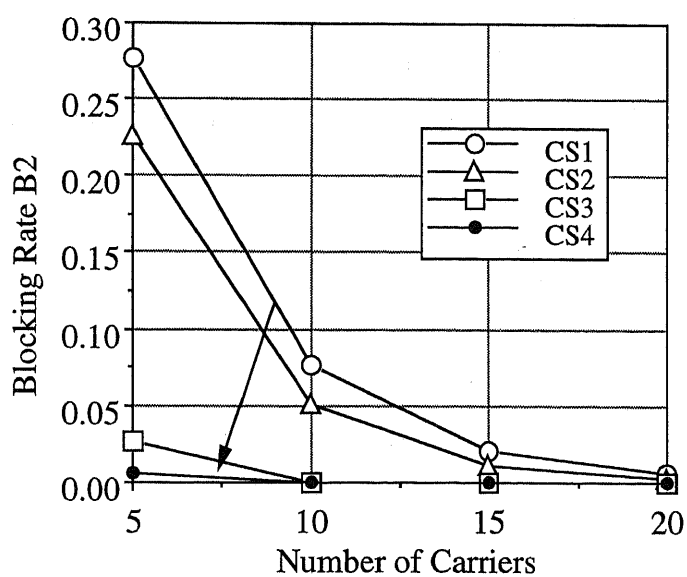


図 3.15: キャリア数と広帯域呼の呼損率特性 (CS 方式)

は、広帯域呼に割り当てるスロット条件を複数キャリア化することによる効果が大きいことがわかる。なお、CP方式についても同様なことがいえる。

### 3.5.7 CS方式がCP方式に比べてよい特性を示す領域の定量的評価

ここでは、前節で導出した数学モデルを用いてCS方式がCP方式に比べてよい特性を示す領域をシステムのパラメータを用いて定量的に評価する。

後述の第5章 [RC方式の改善 (Reserved Channel++方式)] で提案するアルゴリズムを考慮し、ここでは広帯域呼に複数キャリアを割り当て、同一タイミングスロットの割り当てを許容しない場合のモデルを用いて検討を行なう。

まず、第3.5.4節 [広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容しない場合] の数式モデルの妥当性を検証するために、シミュレーションとの比較を行った結果を図3.16に示す ( $N_c = 10$ ,  $N_s = 10$ ,  $m = 3$ ,  $r = 0.3$ ,  $p = 0.2$ )。

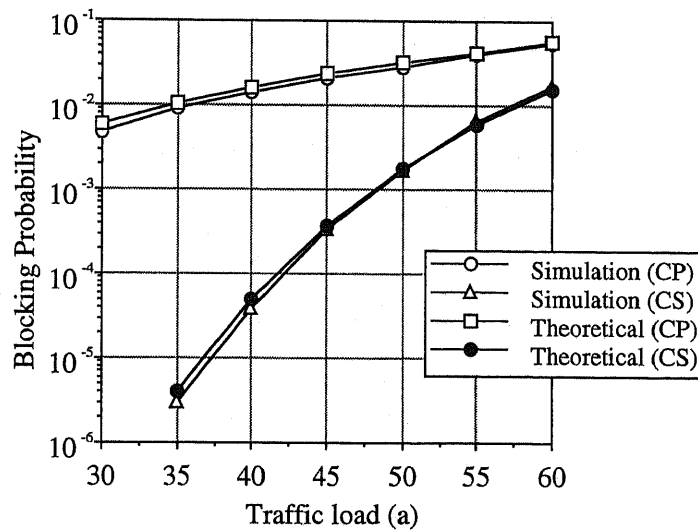


図 3.16: 数学モデルとシミュレーションの比較

シミュレーションでは、バッチ平均法を用いて平均呼損率に対して95%の信頼レベルにおいて10%の精度を仮定している。図3.16より、よい一致を示しているといえる。

次に、各パラメータを変化させてCP方式とCS方式の比較を行なう。

図3.17に通信速度比に対する呼損率特性を示す ( $N_c = 10$ ,  $N_s = 10$ ,  $a = 40.0$ ,  $r = 0.3$ ,

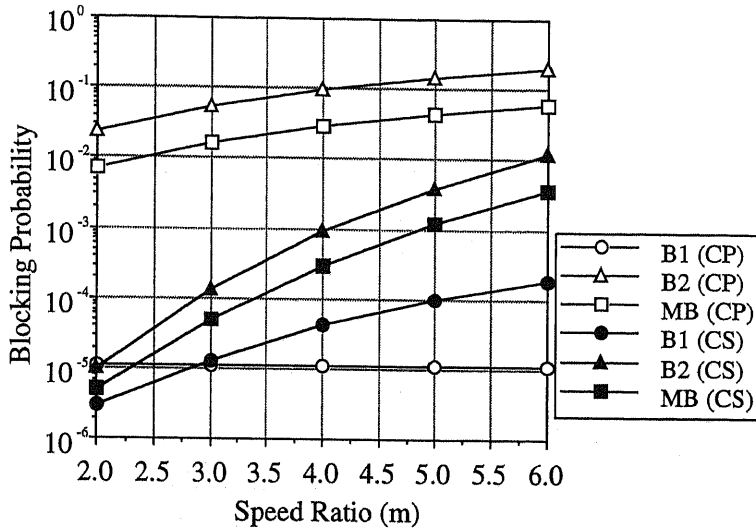


図 3.17: 通信速度比  $m$  に対する呼損率特性

$p = 0.2$ ). これによると, CP 方式の狭帯域呼の呼損率は広帯域呼の通信速度比とは無関係にリソースが割り当てられるため, 一定の値をとり,  $m = 3$  程度をこえると CS 方式に比べて小さな値を示す. 一方, 広帯域呼の呼損率は CP 方式では広帯域呼用のリソースが少ないため CS 方式に比べて大きな値をとっている. 全体として, 通信速度比  $m$  が小さいほど CS 方式の方がよい特性を示すことがいえる.

図 3.18 にトラヒックに対する呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 10, m = 3, r = 0.3, p = 0.2$ ). 狭帯域呼の呼損率は, CP 方式と CS 方式の差が少ないが, 広帯域呼の呼損率では CS 方式の方が小さい. トラヒックが少ない場合には, 広帯域呼のためのリソースが CS 方式の方が CP 方式に比べて多くあることを意味している.

図 3.19 に広帯域呼の割合に対する呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 10, m = 3, a = 40.0, p = 0.2$ ). CP 方式では, 広帯域呼の割合が増えるにつれて, 広帯域呼用リソースの割り当て分も増えるため広帯域呼の呼損率が小さくなる. 逆に狭帯域呼用リソースが減るため狭帯域呼の呼損率が大きくなる. このため, 平均呼損率は  $r = 0.8$  あたりで最低となる. 一方, CS 方式では広帯域呼の割合が増えるにつれて, 狭帯域呼も広帯域呼も呼損率が大きくなる. これは, 広帯域呼が占有する領域が大きくなるにつれてリソース共有効果が小さくなることを示している.

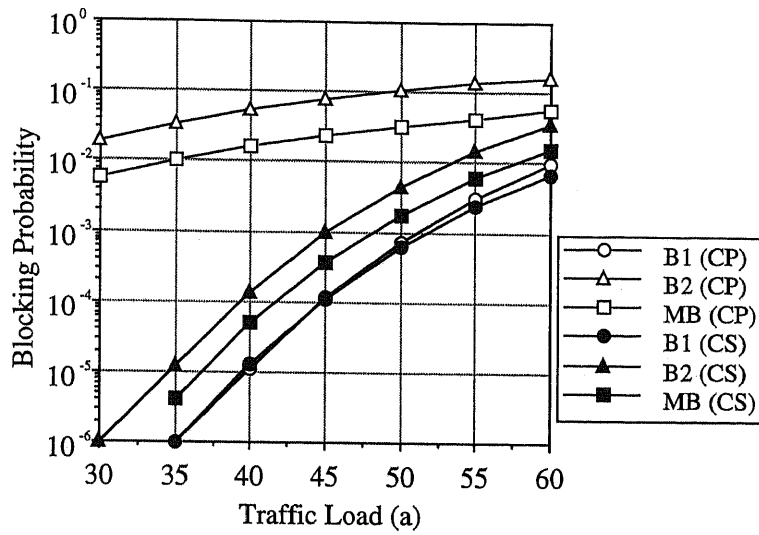


図 3.18: トラヒック  $a$  に対する呼損率特性

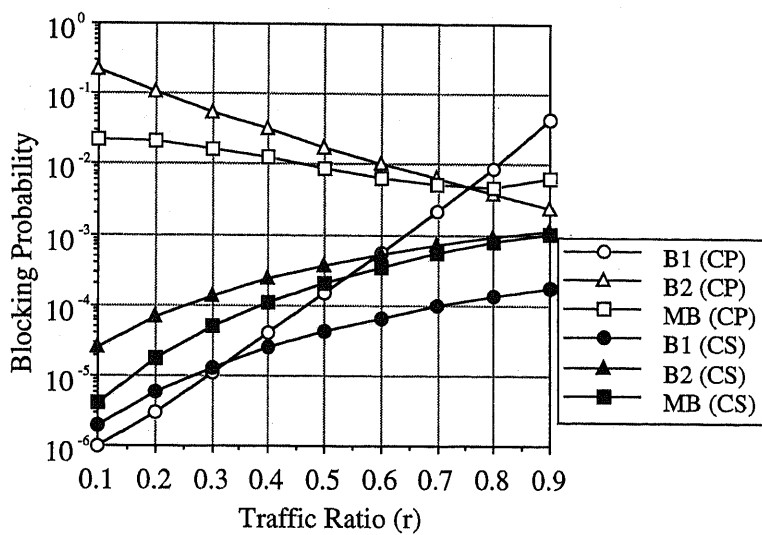


図 3.19: 広帯域呼の割合  $r$  に対する呼損率特性

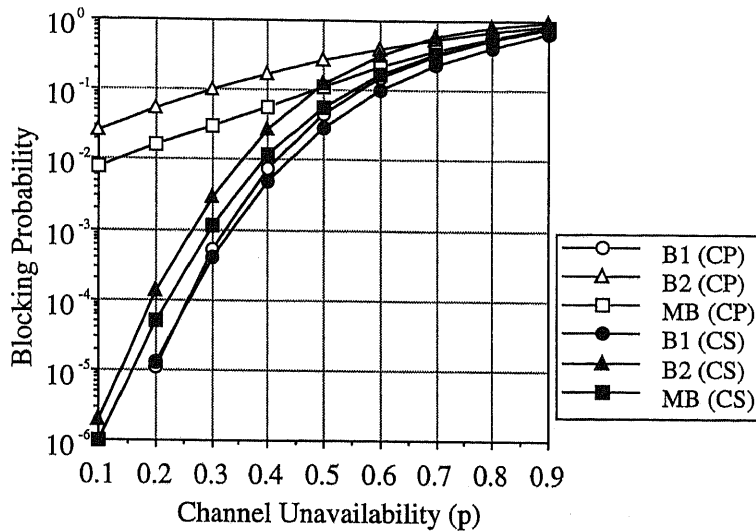


図 3.20: チャネル使用不能確率  $p$  に対する呼損率特性

図 3.20にチャネル使用不能確率  $p$  に対する呼損率特性を示す ( $N_c = 10, N_s = 10, m = 3, a = 40.0, r = 0.3$ ). これによると、干渉によってチャネルが使用できない確率が大きくなると、有効なリソースの量が減るため、CS方式のリソース共有効果がなくなる。特にCS方式の場合、広帯域呼の呼損率がチャネル使用不能確率に対して影響を受けやすい。

図 3.21にキャリア数  $N_c$  に対する呼損率特性 ( $N_s = 10, m = 3, a = 40.0, r = 0.3, p = 0.2$ ), 図 3.22にタイムスロット数  $N_s$  に対する呼損率特性を示す ( $N_c = 10, m = 3, a = 40.0, r = 0.3, p = 0.2$ ).

CP方式では、キャリア数・タイムスロット数の増加に伴って狭帯域呼の呼損率の減少する割合が大きい、広帯域呼の減少する割合が小さい。これは、全体の使用可能リソースが増え、通信速度比の大きさによって広帯域呼にとって実質的なリソースの増加分が少ないことを意味している。これに対し、CS方式では全体のリソースが増える分だけ、共有リソース効果によって呼損率が小さくなる。

以上より、次のような条件でCS方式がCP方式に比べてよい特性を示すことがいえる。

- 広帯域呼の通信速度比  $m$  が小さい
- トラヒック  $a$  が小さい

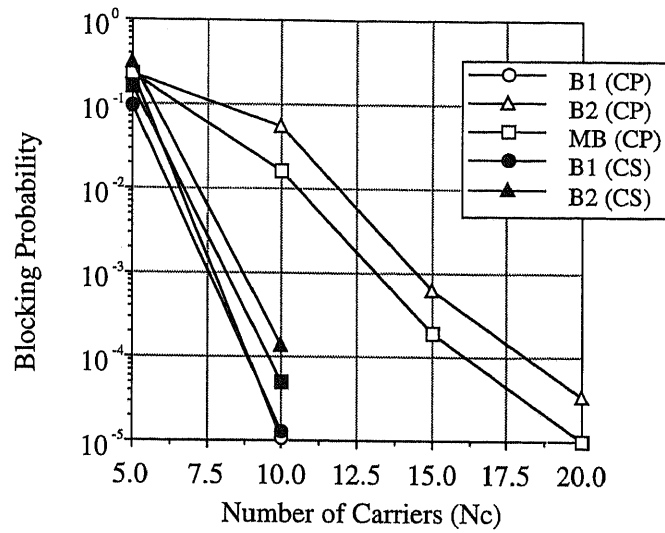


図 3.21: キャリア数  $N_c$  に対する呼損率特性

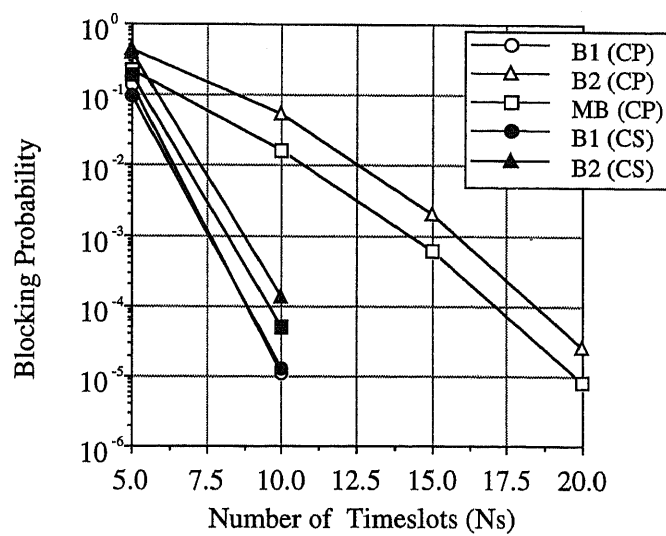


図 3.22: タイムスロット数  $N_s$  に対する呼損率特性

- 広帯域呼に割り当てるチャネルが同一キャリア上の場合は, 広帯域呼の割合  $r$  が大きく, 複数キャリアにまたがる場合は広帯域呼の割合  $r$  が小さい
- 干渉によってチャネルが使用できない確率  $p$  が小さい
- キャリア数  $N_c$  が多い
- タイムスロット数  $N_s$  が多い

以降では, CS 方式をベースとしたチャネル割り当て法について検討を行なうものとする.

## 第 4 章

# 多元トラヒック DCA 法 (Reserved Channel 方式) の提案



## 4.1 概要

ここでは、第3章 [多元トラヒックのチャンネル共有効果の検討] での検討をもとに、CS 方式をベースとしたチャンネル割り当てアルゴリズムの検討を行なう。広帯域呼に対して、一つのキャリア上の複数タイムスロットを割り当てるシングルキャリア割り当てを前提とする。この場合、CS 方式の欠点である端数出線効果が問題となるため、第4.2節 [Reserved Channel 方式の提案] でこの効果を防ぐために端数をつめる方針のチャンネル割り当てアルゴリズムを提案する。第4.3節 [シミュレーションによる RC 方式の評価] で従来方式と提案方式の性能比較をシミュレーションによって行ない、提案方式の諸特性についてまとめる。

## 4.2 Reserved Channel 方式の提案

### 4.2.1 Reserved Channel アルゴリズム

シングルキャリア動作で CS 方式の多元トラヒックチャンネル割り当て法の問題としては、狭帯域呼の割り当て位置が広帯域呼への接続品質に影響をおよぼす端数出線効果が考えられる。特に、連続したタイムスロットを広帯域呼に割り当てる必要がある場合には、この効果が顕著になる。そこで、なるべく端数を出さないように狭帯域呼をつめる方針のアルゴリズムを提案する。この方式では、Reuse Partitioning と同じように基地局単位での繰り返し距離を用いずに、実際の干渉値をもとにチャンネルを割り当てるが、広帯域呼の端数を少なくするチャンネルを優先的に選択するものとする。

入手可能なチャンネルの候補群のうち、そのチャンネルのキャリアで使用可能なタイムスロット数が少ないもので、かつ自局において使用中のタイムスロット数の多いチャンネルを割り当てる。これにより、広帯域呼のために極力連続したスロットを残し、広帯域呼の接続品質を向上することができる。この方式では、基地局内に複数のトランシーバを設けてキャリアセンスを並列処理にて行なうことを前提とする。

また、隣接基地局での干渉が一番大きな干渉原因であることを考慮して、自局と隣接基地局でのキャリアの使用状況から優先度を決めて優先度の大きなチャンネルを割り当てることを考える。これにより、イントラセルハンドオフ時の強制切断率を小さくすることができる。

具体的なアルゴリズムは次のようなステップになる。

- step1** :  $i = m$  ( $i$  : 所望干渉レベル以下のスロット数,  $m$  : 呼が占有するタイムスロット数)
- step2** :  $j = N_s - i$  ( $N_s$  : TDMA 多重度数,  $j$  : 割り当て後に残るスロットの内, その基地局で使用されている可能性のスロット数の最大値) で  $j \geq 0$  なら **step3** へ, そうでなければチャンネル割り当てに失敗. **step7** へ.
- step3** : 所望干渉レベル以下のタイムスロット数が  $i$  のキャリアを選択する. キャリアが存在すれば  $k = j$  ( $k$  : その基地局で使用されている可能性のスロット数) として **step4** へ, 存在しなければ  $i = i + 1$  として **step2** へ.
- step4** : 選択したキャリアの内, タイムスロットの使用個数が  $k$  のキャリアを選択する. **step5** へ.
- step5** : そのキャリアに関して隣接基地局と比較して優先度を決定する.  $k > 0$  ならば  $k = k - 1$  として **step4** へ, そうでなければ **step6** へ.
- step6** : 優先度の高いチャンネルを割り当てる. **step7** へ.
- step7** : 終了

ここで, 優先度の決定方法に関しては, 例えば  $N_s = 3$  の例を表 4.1 に示す.

表 4.1: Reserved Channel 方式での優先度決定方法の例

自局の使用タイムスロット数	相手局の使用タイムスロット数		
	0	1	2
0	4	2	1
1	6	5	3
2	9	8	7

この表 4.1 からわかるように, 自局で使用中のタイムスロット数の多いものを埋めることにより端数を極力少なくし, 相手局が端数を埋めようとしている可能性が高い場合には相手局に譲るようになっている. ただし, この優先度の決定方法は隣接基地局と自局との相互作用によるため, 適応的な変化を行なうことも考えられる. 例えば, 相手局が端数を埋める速度に

対して自局の方が上回ってる場合には遠慮しない方が効率的になる. この制御に関する議論は, 自律分散型において局所的最適化を行なうようにシステムを変化させるフィードバック制御が必要となってくるが, 今回は対象とせずに固定的な優先度決定とする.

### 4.2.2 RC 方式の長所

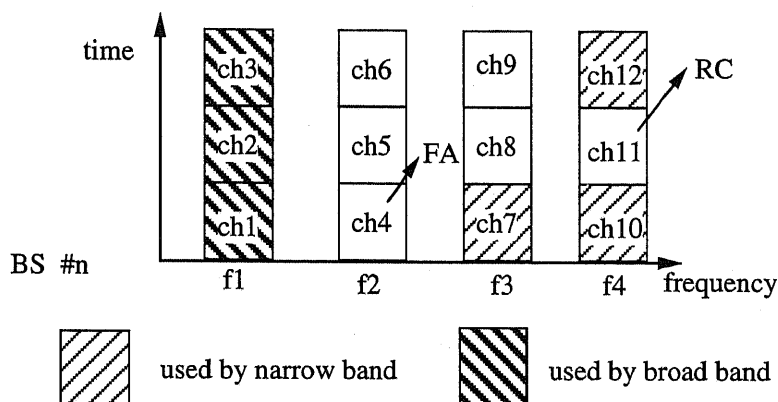


図 4.1: Reserved Channel 方式の長所

ここで, Reserved Channel 方式が有利となる例について述べる. 図 4.1 に示すようなチャネル割り当ての状態ですら狭帯域呼が BS#n に発生した場合, FA 方式では ch4, Rnd 方式や Seg 方式では ch4, 5, 6, 8, 9, 11 のいずれかが選ばれる. これに対して Reserved Channel 方式では ch11 が選ばれる. 次に BS#n で広帯域呼が発生した場合には, 先程の狭帯域呼に ch8, 9, 11 のいずれかを割り当てていれば ch4, 5, 6 を関連させて広帯域呼に割り当てることができる. つまり, Reserved Channel 方式は FA 方式や Rnd 方式, Seg 方式に比べて広帯域呼に対してチャネルを残してくれる確率が高いといえる. また, ch10, 12 のチャネルが解放されるよりも ch7 のチャネルがはやく解放される確率が高いので, ch11 を選べば ch7 のチャネル解放後に ch7, 8, 9 を広帯域呼に割り当てることができる.

これにより Reserved Channel 方式では, 広帯域呼の呼損率を小さくし, 狭帯域呼との接続品質のバランスをよくして, 全体の完了率を向上させることができる.

### 4.3 シミュレーションによる RC 方式の評価

#### 4.3.1 シミュレーション条件

ここでは、以降の議論において RC 方式をシミュレーションによって評価する際に、基本として使われるシミュレーションパラメータを表 4.2 にまとめる。

表 4.2: RC 方式評価のシミュレーション条件

セル構成	12 × 12 正方形セル格子状配置
基地局運用半径	100 m
チャンネル数	45 ch(キャリア数:15, タイムスロット数:3)
所要 CIR	21 dB
トラヒック特性	通信帯域幅比 $m = 3$ , エリア内一様分布, ポアソン生起, 平均保留時間 120 秒の指数分布, 広帯域呼比率 $r = 0.8$
移動特性	時速 0 ~ 4km, 方角 0 ~ 360 度のランダムな値, 通話中は一定速度の移動を仮定
伝搬特性	長区間距離伝搬定数: 3.44

#### 4.3.2 RC 方式と他方式との特性比較

ここでは Reserved Channel (RC) 方式と他の方式 (FA 方式, Rnd 方式, Seg 方式, Rsl 方式) を比較検討する。まず, 平均呼損率を図 4.2 に, 完了率を図 4.3 に示す。

これより, Reserved Channel 方式が最もよい特性を示していることがわかる。また, 基地局受信レベルにあわせて学習的に割り当てる Rsl 方式は, 呼損率の面では Reserved Channel 方式に近い特性を持っているが, 強制切断率が高いため全体で運ぶトラヒックが小さくなっている。これは, 移動特性が比較的多くのハンドオーバを行なう場合においては, 狭帯域呼の干渉による端数出線効果が起きやすくなるため, Rsl 方式では広帯域呼の強制切断率が悪くなるためと考えられる。

さらに, 狭帯域呼と広帯域呼の呼損率を図 4.4, 4.5 に示す。

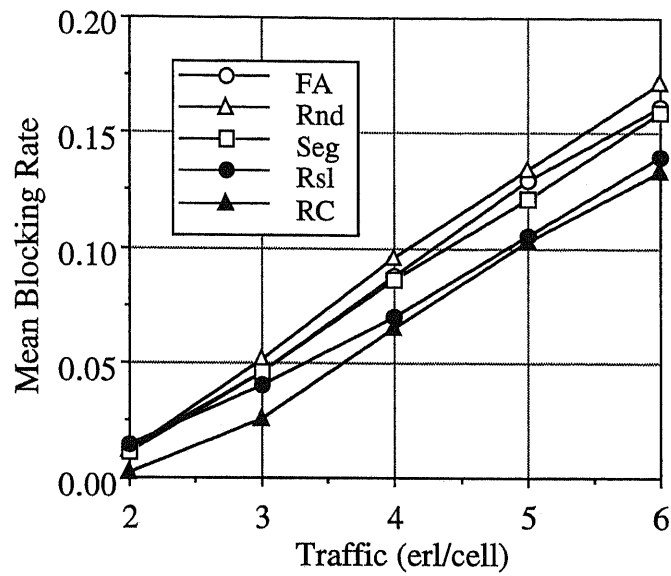


図 4.2: RC 方式と他方式の平均呼損率特性比較

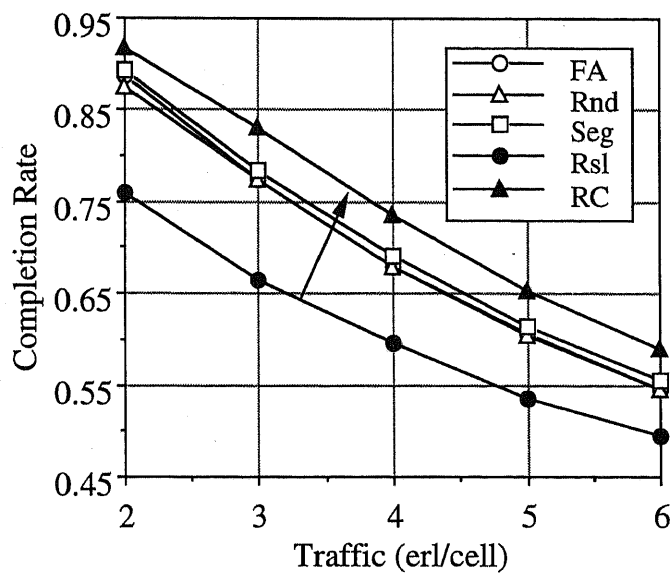


図 4.3: RC 方式と他方式の完了率特性比較

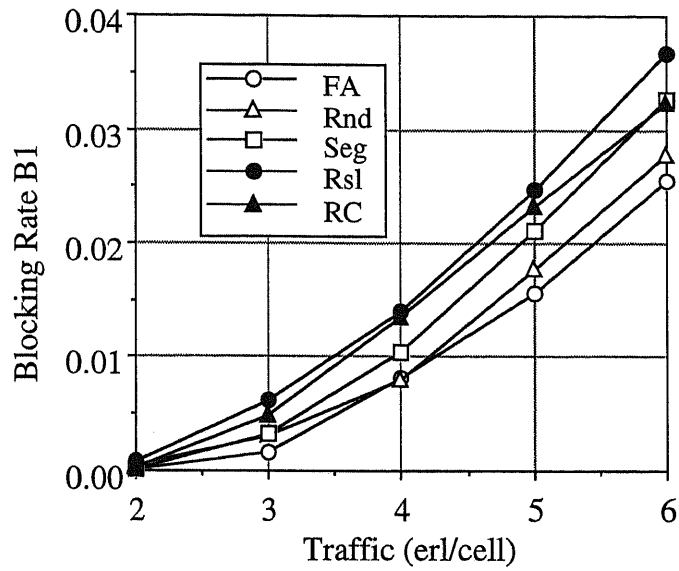


図 4.4: RC 方式と他方式の狭帯域呼の呼損率特性比較

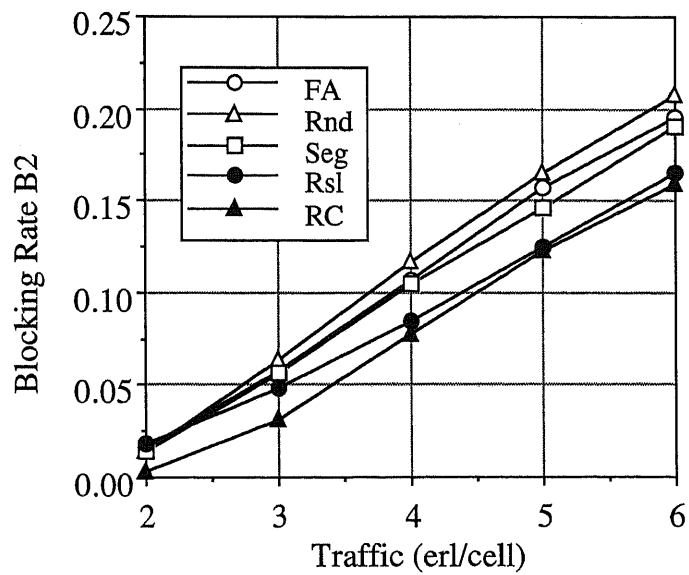


図 4.5: RC 方式と他方式の広帯域呼の呼損率特性比較

図 4.4, 4.5より, Reserved Channel 方式では狭帯域呼の呼損率は他の方式に比べて悪いが, 広帯域呼の呼損率がよいことがわかる. このことから, Reserved Channel 方式は端数出線効果の影響を小さくしていることがわかる.

また, 狭帯域呼と広帯域呼の強制切断率を図 4.6, 4.7に示す. なお, 強制切断率の値が大きいのは, シミュレーション条件の移動特性により, ハンドオーバーが頻繁に起こるように設定したためである.

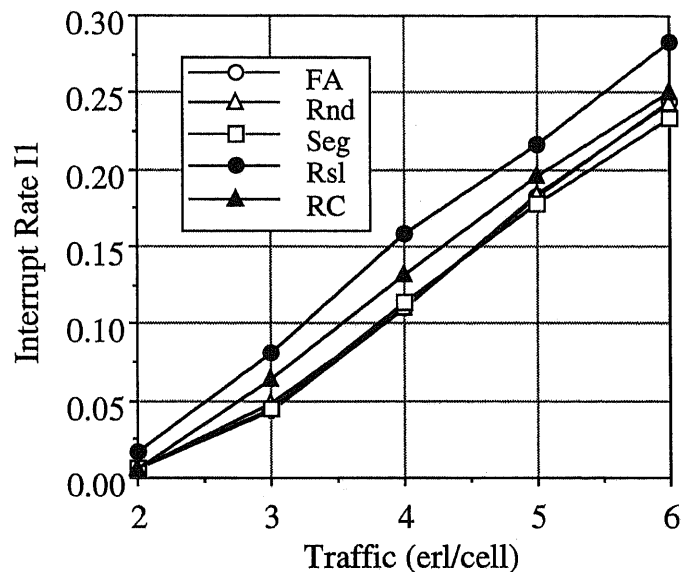


図 4.6: RC 方式と他方式の狭帯域呼の強制切断率特性比較

図 4.6, 4.7より, Rsl 方式ではイントラセルハンドオフやハンドオーバーのチャンネル切り替え時に失敗して強制切断率が大きくなっていることがわかる. Reserved Channel 方式では, イントラセルハンドオフ時にも広帯域呼のためにまとまったタイムスロットを得ることができるため, 不完了率が少なくなるものと考えられる. また, 表 4.2で基地局運用半径を 1km としたシミュレーションにおいても, Reserved Channel 方式が最もよい特性を示していることが確認された.

以上より, Reserved Channel 方式が他の方式に比べて優れているといえることができる.

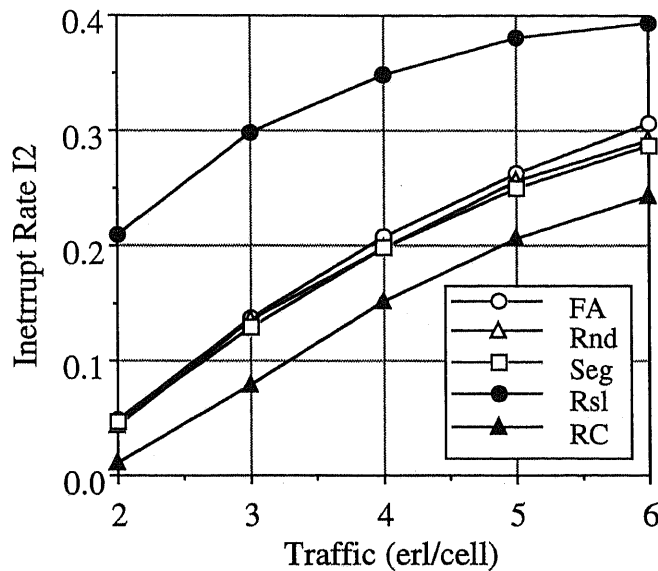


図 4.7: RC 方式と他方式の広帯域呼の強制切断率特性比較

### 4.3.3 繰り返し距離と実測 CIR による割り当ての効果

ここでは実測 CIR による割り当てを行なった場合と CIR を測定しないで繰り返し距離を用いた場合 (セル繰り返し数 9) の RC 方式の特性比較を行なう。シミュレーション条件は表 4.2 と同じものを用いた。基地局運用半径 1km で  $r = 0.8$  の場合の完了率を図 4.8 に示す。

これにより、チャンネル割り当てアルゴリズムに依存しないで実測 CIR による割り当ての効果で完了率が約 20% 程度向上していることがわかる。

ここで、広帯域呼の呼損率、強制切断率を図 4.9, 図 4.10 に示す。これより、実測 CIR を用いた手法では強制切断率が大きくなってしまふことがわかる。狭帯域呼に関しても同じことが観測された。これは、実測 CIR による方法では空間的周波数再利用距離が小さくなり、移動に伴ってイントラセルハンドオフ回数が多くなるためであると考えられる。基地局運用半径 100m でのシミュレーションでは、強制切断率が呼損率よりも大きな値をとり、全体の完了率を低下させていた。実測 CIR による割り当てが有効となる領域は、空間的周波数再利用距離と移動速度の関係で決まり、通信中のハンドオフ回数を数回程度に抑える必要があるものと思われる。



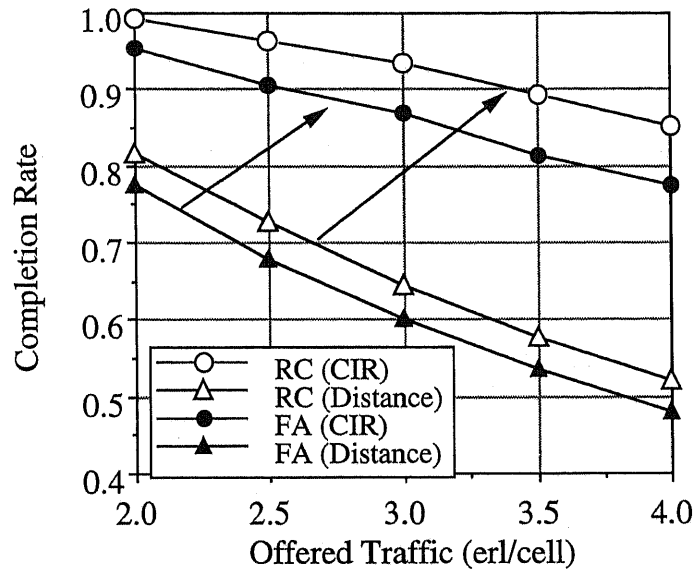


図 4.8: 繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する完了率特性

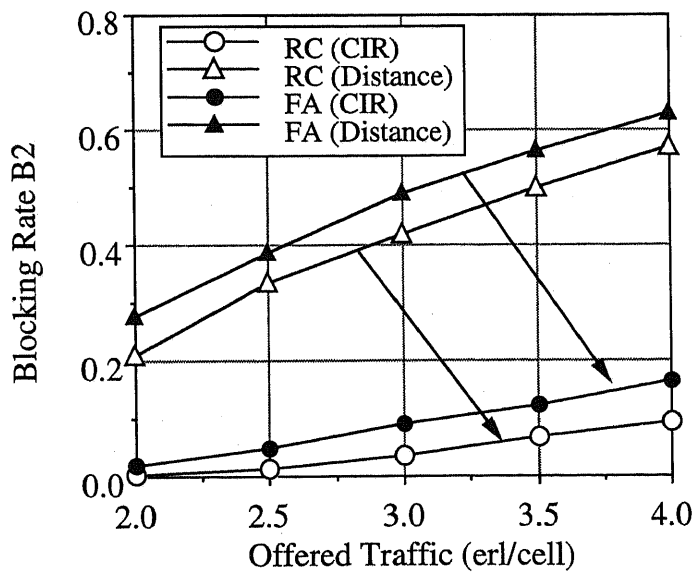


図 4.9: 繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する広帯域呼の呼損率特性

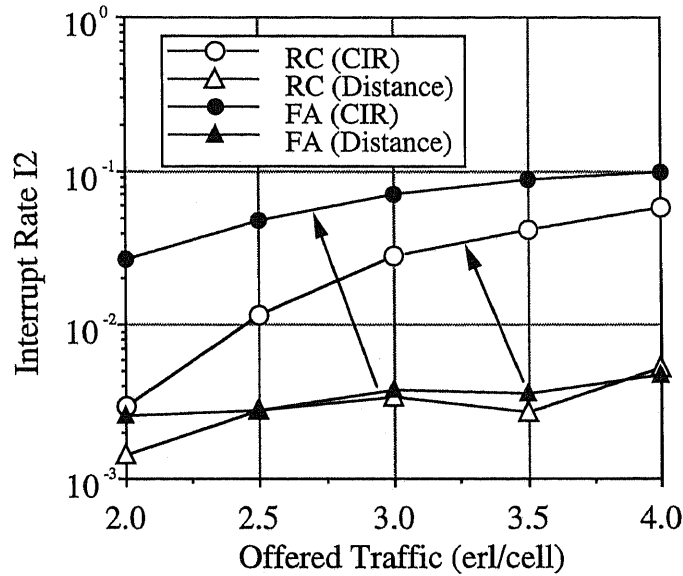


図 4.10: 繰り返し距離と実測 CIR による割り当てに対する広帯域呼の強制切断率特性

#### 4.3.4 基地局運用半径の違いによる変化

ここでは、基地局運用半径の違いに対する特性の変化を調べる。アルゴリズムは実測 CIR による割り当て手法を用いた FA と RC 方式について調べた。  $r = 0.8$  の場合の完了率を図 4.11 に示す。

これより、基地局運用半径  $cr = 1.0\text{km}$  の方が完了率がよいことがわかる。これも、運用半径が大きいことから周波数の空間的繰り返し距離が大きいため、移動速度が同じ条件であればイントラセルハンドオフ回数を少なくすることができるためと考えられる。

ここで、広帯域呼の呼損率、強制切断率を図 4.12、図 4.13 に示す。これより、基地局運用半径  $cr = 0.1$  では、広帯域の呼損率は小さく抑えていても強制切断率が大きくなってしまったため、全体としては先に述べたように完了率が小さくなってしまった。

以上より、基地局運用半径と実測 CIR 割り当てによる空間的周波数再利用距離との関係が適切に設計されなければならないことがわかる。

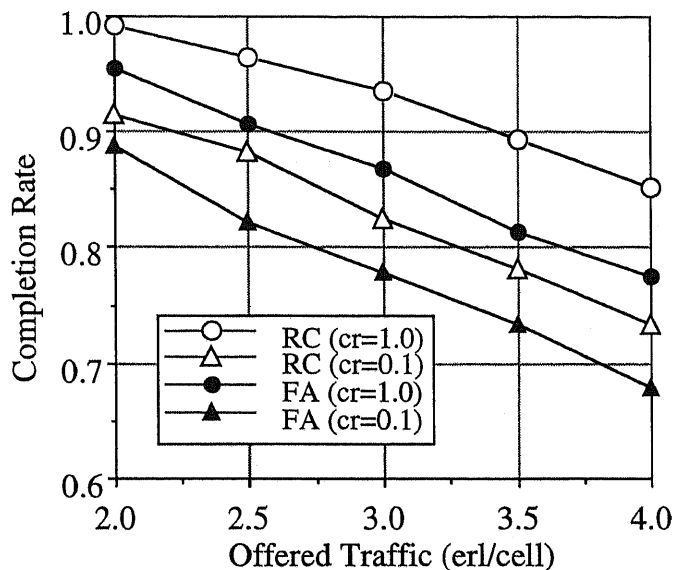


図 4.11: 基地局運用半径の違いによる完了率特性の変化

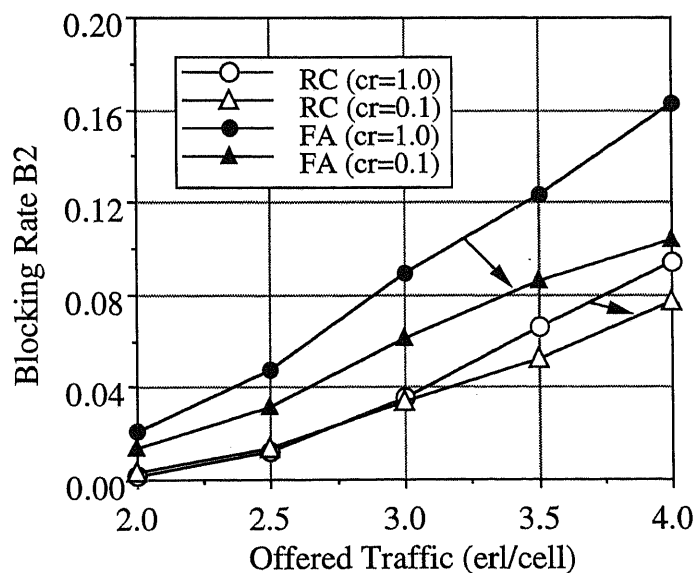


図 4.12: 基地局運用半径の違いによる広帯域呼の呼損率特性

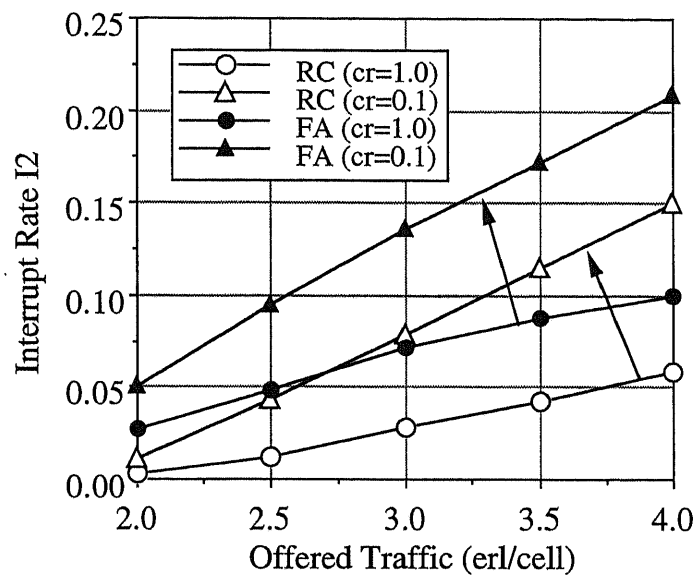


図 4.13: 基地局運用半径の違いによる広帯域呼の強制切断率特性

## 第 5 章

### RC 方式の改善 (Reserved Channel++ 方式)

## 5.1 概要

ここでは、第 4 章 [多元トラヒック DCA 法 (Reserved Channel 方式) の提案] で検討したチャンネル割り当てアルゴリズムをさらに改善するための手法について検討を行なう。第 4 章 [多元トラヒック DCA 法 (Reserved Channel 方式) の提案] では、マルチキャリア TDMA の制約条件で、一つの広帯域呼に対して同一キャリアのタイムスロットを割り当てるシングルキャリア動作を想定していた。ここでは、周波数ホッピングを用いて複数キャリアのタイムスロットを一つの広帯域呼に割り当てるマルチキャリア動作アルゴリズムを提案し、その評価を行なう。第 5.2 節 [Reserved Channel++ 方式の提案] でチャンネル割り当てアルゴリズムを提案し、第 5.3 節 [シミュレーションによる RC++ 方式の評価] ではその改善効果をシミュレーションによって確認する。また、様々なトラヒックの組み合わせに対する振る舞いについて調べる。

## 5.2 Reserved Channel++ 方式の提案

前章の Reserved Channel 方式を改善するために、広帯域呼の接続性を向上させることを目的として、次のような工夫を行う。

- 複数キャリアのタイムスロットを一つの広帯域呼に割り当てるマルチキャリア動作割り当て
- 変調方式を 64QAM から 16QAM のように切り替えることで、広帯域呼の帯域幅を減らして接続する
- 割り当て可能チャンネルがない場合に、その基地局内の通信中の呼をすべて解放し、呼の再配置接続を再発呼型アルゴリズムによって処理する
- チャンネル割り当てに失敗しても N 回再接続を試みる

まず、この方式の処理の概要について述べる。チャンネル割り当てのブロック図を図 5.1 に示す。

はじめは、一つの呼に対して同一キャリアのスロットを割り当てるシングルキャリア動作で、Reserved Channel アルゴリズムによってチャンネル検索する。割り当てに失敗した呼に対して、割り当て可能タイムスロット数を調べる。割り当て可能なタイムスロットがあれば、周波数ホッピングを用いてマルチキャリア動作で割り当て、要求帯域幅スロット数に満たない

場合でも、通信速度を落して割り当てる。さらに割り当てに失敗した場合は、その基地局で通信中の呼を解放して再配置接続を行い、割り当て可能なタイムスロットが用意できればそれを割り当てる。それでも失敗した場合は、接続遅延の許容される範囲で N 回まで再接続を行う。

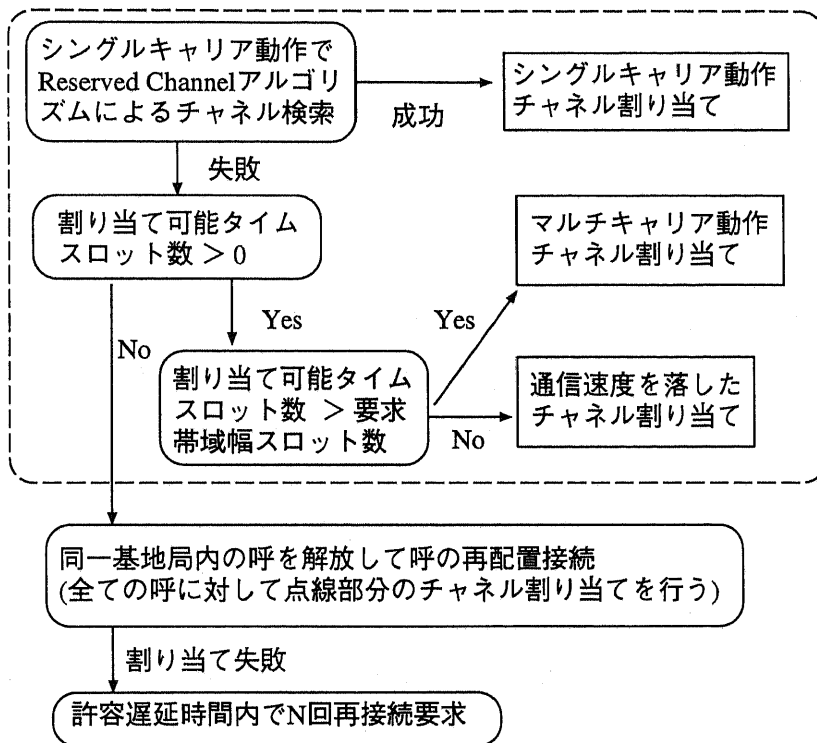


図 5.1: Reserved Channel++ 方式のチャンネル割り当てブロック図

次に、マルチキャリア動作チャンネル割り当て部分のアルゴリズムを説明する。具体的には、次のようなステップになる。

step1 :  $i = 0$  ( $i$ : キャリアのインデックス),  $j = 0$  ( $j$ : タイムスロットのインデックス),  $k = MAX$  ( $k$ : 未使用かつ所望の干渉レベル以下のスロット数の最小値, 十分大きな値に設定)

step2 :  $j = j + 1$ ,  $j$  が 1 フレームのタイムスロット数以上ならば step7 へ。

step3 :  $i = i + 1$ ,  $i$  が全体のキャリア数以上ならば step6 へ。

**step4** :  $i$  番目のキャリアの  $j$  番目のタイムスロットが所望の干渉レベル以下ならば **step5** へ, そうでなければ **step3** へ.

**step5** :  $i$  番目のキャリアで未使用かつ所望の干渉レベル以下となるスロット数  $l$  が  $k$  より小さい場合は  $k = l$  とし, 前の記憶スロットをクリアして新しい  $j$  番目のスロットを記憶する.  $k$  と  $l$  が同じ場合は, 新しいスロットを記憶スロットとして追加する. **step3** へ.

**step6** : 記憶したスロットが複数ある場合は, そのスロットの属するキャリア上で使用中スロット数が最大のものを選ぶ. 選んだスロットが複数ある場合には, 優先度の高いものを選ぶ. なお, 優先度は隣接基地局とのチャンネル使用状況から決定する. 選ばれたスロットを  $j$  番目の割り当て候補スロットとする. **step2** へ.

**step7** : 割り当て候補スロット数が, 呼の占有するタイムスロット数以上であれば優先度の高い順のスロットをマルチキャリア動作チャンネル割り当て, 少なくとも一つ以上であれば通信速度を落したチャンネル割り当て, そうでなければ失敗. 終了.

この方式では, 発呼時とハンドオフ時に周波数切替えシーケンスを基地局と端末の間で設定することにより, 複数キャリア上にまたがって異なるタイムスロットを割り当てる. 広帯域呼に対してキャリアを分散させてチャンネルを割り当てるため, 拡散帯域幅が大きい程, 検索キャリア数が多くなり, 干渉のないチャンネルが見つかる確率が高くなって, 広帯域呼の接続品質が向上するものと考えられる. また, あるキャリアのスロットが落ちても他のキャリアのスロットが残り, 周波数ダイバーシチ効果が得られる. 例えばテレビ電話のようなアプリケーションでは映像受信状況が悪くても音声は聞こえるというようにマルチパスフェージングの影響を小さくすることができるというメリットもある.



### 5.3 シミュレーションによる RC++ 方式の評価

#### 5.3.1 シミュレーション条件

ここでは、以降の議論において RC++ 方式をシミュレーションによって評価する際に、基本として使われるシミュレーションパラメータを表 5.1 にまとめる。

表 5.1: RC++ 方式評価のシミュレーション条件

エリア	9 × 9 オムニセル
セル半径	200m
チャンネル数	10 キャリア × 6 スロット
トラヒック	エリア内一様分布でポアソン生起, 平均保留時間 120 秒の指数分布, 呼量比 : データ呼比率 = 0.5, 通信速度比 = 1:3
所要 CIR	音声: 21 dB, データ: 21 dB
移動特性	一様分布 (速度 0 ~ 4km, 方角 0 ~ 360 度)
伝搬特性	長区間距離伝搬定数: 4.0

#### 5.3.2 RC++ 方式と他方式との特性比較

ここでは、提案方式をシミュレーションによって他の方式 (Rnd 方式, Seg 方式, RSL 方式, ARP 方式) と比較し、その特性を評価する。

シミュレーション結果として、完了率特性を図 5.2 に示す。これより、提案方式が最も多くのトラヒック収容能力があることがわかる。RC は、提案アルゴリズムの Single-carrier アルゴリズムのみを用いたものを示している。

トラヒックが大きくなるにつれて、Multi-carrier アルゴリズムの効果があらわれている。チャンネル割り当て要求に対する処理の比率について見ると、1 セルあたり 10 アーランでは、Single-carrier アルゴリズム部分で 93%、Multi-carrier アルゴリズムで 6%、残りの 1% を呼の再配置接続と N 回再接続の処理で割り当てている。

Seg 方式, ARP 方式と提案方式の呼損率特性比較を図 5.3 に示す。 $B_1, B_2$  はそれぞれ狭帯

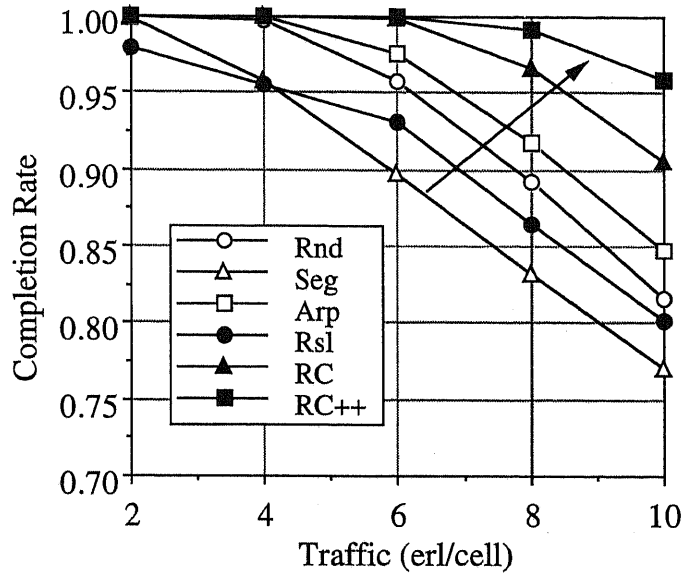


図 5.2: RC++ 方式と他方式の完了率特性比較

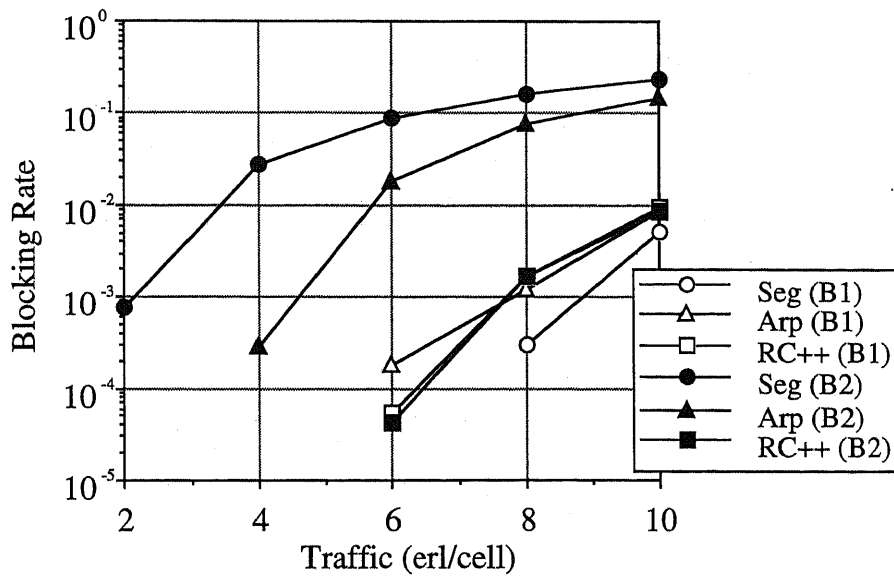


図 5.3: RC++ 方式と他方式の呼損率特性比較

域呼と広帯域呼の呼損率を表している。これより, Seg方式やARP方式では狭帯域呼の呼損率が小さいが, 端数出線効果によって広帯域呼の呼損率が大きくなっていることがわかる。これに対して提案方式では, 広帯域呼の生起が  $m$  個の狭帯域呼の同時生起することと等価になるため, 狭帯域呼と広帯域呼の呼損率の差が少なくバランスがよくなる。

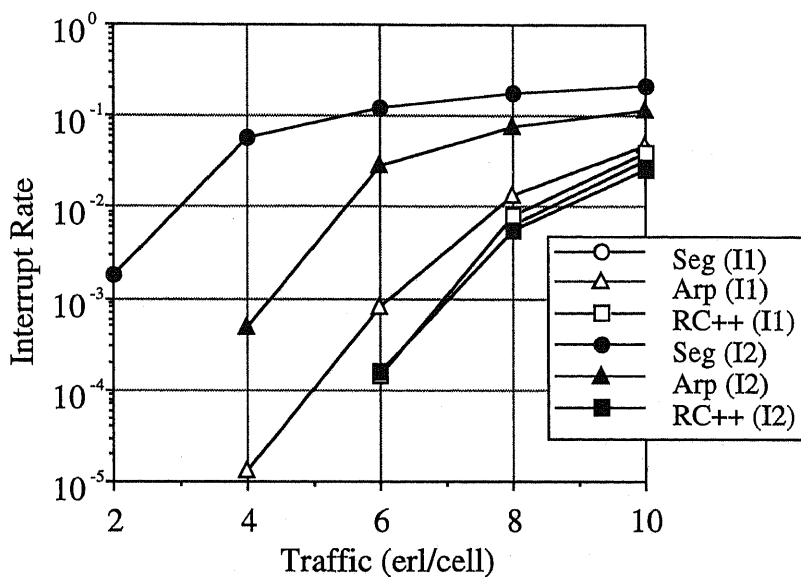


図 5.4: RC++方式と他方式の強制切断率特性比較

これと同様なことが強制切断率特性についてもあてはまる (図 5.4).  $I_1, I_2$  はそれぞれ狭帯域呼と広帯域呼の強制切断率を表している。呼損率特性と似た特性を示すのは, ハンドオフ時と呼の生起時におけるチャネル割り当てアルゴリズムに同一なものを用いたためである。移動特性によって比較的多くのハンドオフを行う場合においては, 干渉構造の変化が激しいため, 狭帯域呼の干渉による端数出線効果が起きやすくなる。このため, 基地局受信レベルをもとに割り当てる RSL方式や学習的に割り当てる Seg方式では, 特に複数スロットを必要とする広帯域呼に対する割り当てチャネルが定常的にならないため, 強制切断率特性が悪くなってしまう。

以上より, RC++方式は従来方式に比べて広帯域呼の呼損率と強制切断率を小さくすることにより, 多くのトラヒック収容能力があるといえる。

5.3.3 チャンネル割り当てブロックの各ステップの組み合わせに対する評価

まず,リアルタイム性の必要なトラフィックに焦点をあて,チャンネル割り当てブロック図 5.1の呼の再配置接続までの各ステップの効果を調べる.次の5つのステップにわけて比較を行う.

**Single** : シングルキャリア動作割り当てのみ

**Multi** : マルチキャリア動作割り当てまでを加えたもの

**Decrease BW** : 通信速度を落した割り当てまでを加えたもの

**Rearrange** : 呼の再配置接続までを加えたもの

**Rearrange for handoff** : ハンドオフ呼に対してのみ呼の再配置接続までを加え,生起呼に対してはシングルキャリア動作割り当てのみ

図 5.5に,シミュレーション結果として完了率特性を示す.

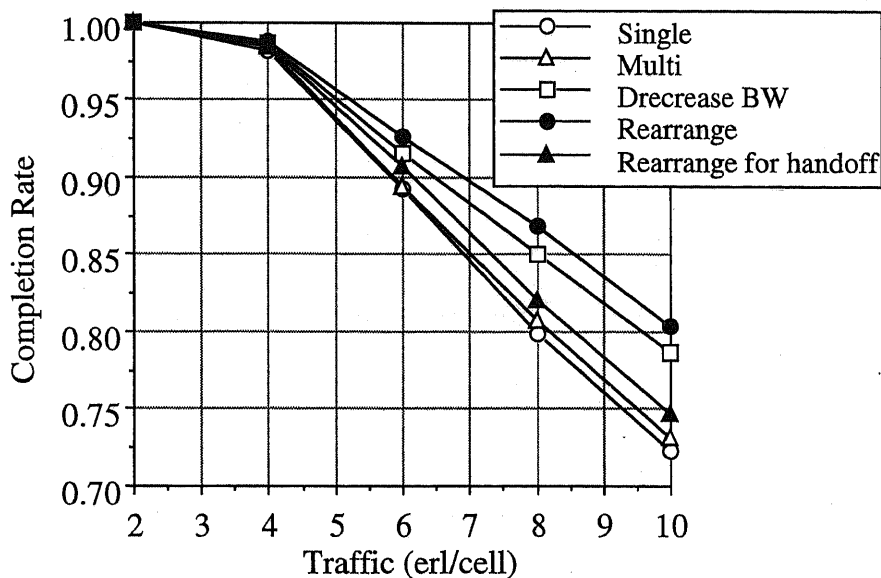


図 5.5: チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する完了率

図 5.1の各ステップを組み合わせるにつれて完了率が向上していることがわかる.これは,セル繰り返し距離を用いないで実測 CIR によって割り当てる場合には,移動に伴う干渉変化

が大きいため、通信帯域幅を減らしたり再配置接続する手法が接続性を向上させているためと考えられる。

次に、広帯域呼と狭帯域呼の呼損率をそれぞれ図 5.6, 5.7 に示す。狭帯域呼の呼損率は、通信速度を落して広帯域呼を接続するアルゴリズムの場合に最も大きな値をとっている。これは、マルチキャリア動作や通信速度を落して接続する手法が広帯域呼にとって接続性を高める手法で、狭帯域呼にとっては無関係なもののためである。しかし、再配置接続を行うことによって狭帯域呼の呼損率が改善されている。広帯域呼の呼損率は、完了率特性と同じように各ステップを組み合わせるにつれて呼損率が小さくなっている。ただし、Rearrange for handoff はハンドオフ呼にリソースを保存するため、呼損率が一番大きくなっている。

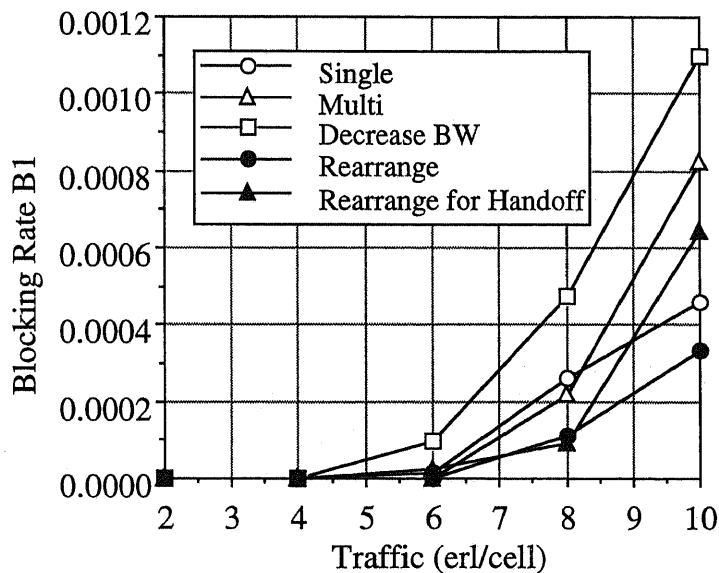


図 5.6: チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する狭帯域呼の呼損率

次に、広帯域呼と狭帯域呼の強制切断率をそれぞれ図 5.8, 5.9 に示す。

狭帯域呼の強制切断率は、Single, Multi, Decrease BW の順に大きくなる。これは、先の呼損率と同様に広帯域呼に対してリソース占有率が改善されて高くなるためである。これに対して、呼の再配置接続によって強制切断率の特性がよくなっていることがいえる。特に、広帯域呼の強制切断率は、ハンドオフ呼のみに対する呼の再配置接続による手法が小さな値になる。

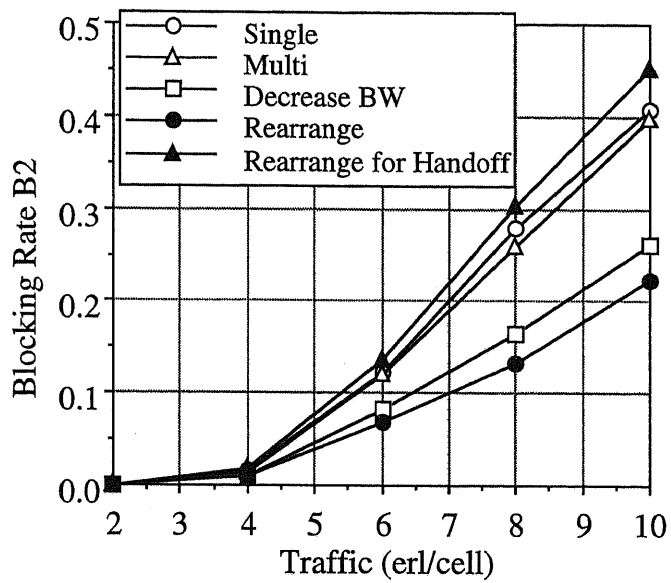


図 5.7: チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する広帯域呼の呼損率

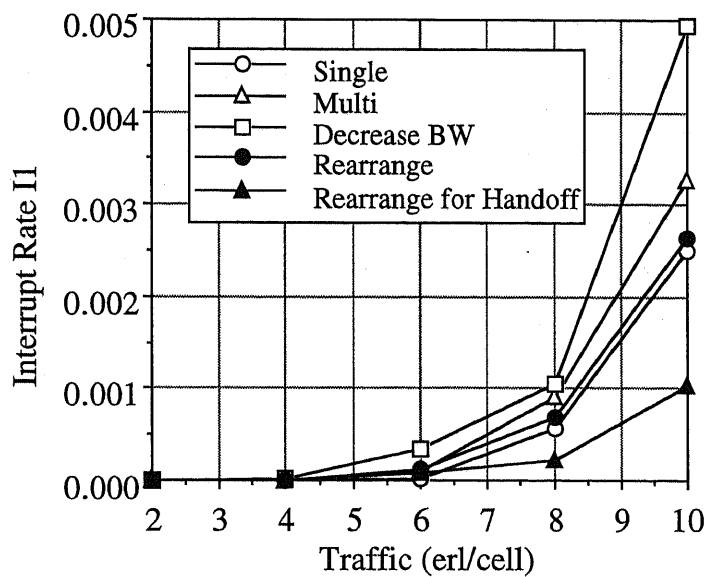


図 5.8: チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する狭帯域呼の強制切断率

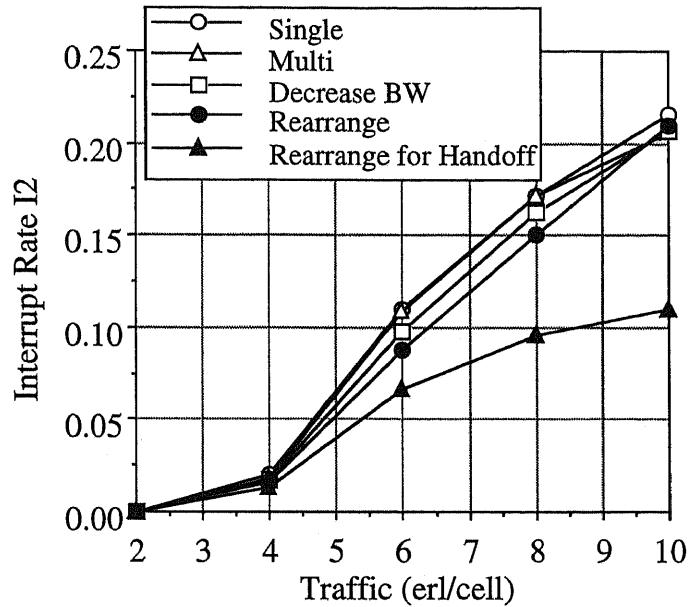


図 5.9: チャンネル割り当てステップの組み合わせに対する広帯域呼の強制切断率

### 5.3.4 再接続限度数に対する RC++ 方式の特性

表 5.2: 再接続限度数によるトラヒックの組合せ

組合せ	狭帯域呼	広帯域呼
Retry1	リアルタイム (N=0)	リアルタイム (N=0)
Retry2	ノンリアルタイム (N=10)	リアルタイム (N=0)
Retry3	リアルタイム (N=0)	ノンリアルタイム (N=10)
Retry4	ノンリアルタイム (N=10)	ノンリアルタイム (N=10)

ここでは、チャンネル割り当てブロック図 5.1 で N 回までの再接続を行うことによる効果を検証する。リアルタイム性を必要とするかしないかによって、次の表 5.2 の組合せが考えられる。この組合せに対して、先の Rearrange アルゴリズムを用いてシミュレーションを行う。再接続までの待機時間は、平均 5 秒の指数分布に従うものと仮定した。

図 5.10 に、シミュレーション結果として完了率特性を示す。これより、広帯域呼の再接続が

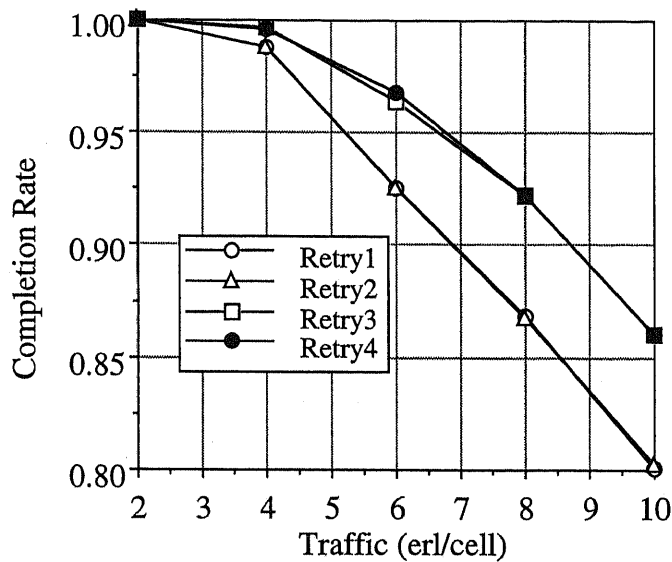


図 5.10: 再接続限度数の組み合わせに対する完了率特性

多い Retry3 と Retry4 が完了率が大きいことがわかる。これは、再接続による広帯域呼の接続性が向上するためであることがわかる。

図 5.11, 図 5.12 にそれぞれ狭帯域呼, 広帯域呼の呼損率特性を示す。狭帯域呼の呼損率  $B_1$  は, Retry2, Retry4 が再接続の効果でほぼ呼損が生じていないことがわかる。また, Retry3 が大きな値を示すのは, 広帯域呼が占有して干渉源となるためである。一方, 広帯域呼の呼損率  $B_2$  では Retry3, Retry4 が小さな値を示しており, あまり狭帯域呼の再接続による影響が少ないことがわかる。なお, 強制切断率についても再発呼型接続のアルゴリズムであるため, 呼損率特性と同じような傾向がみられた。



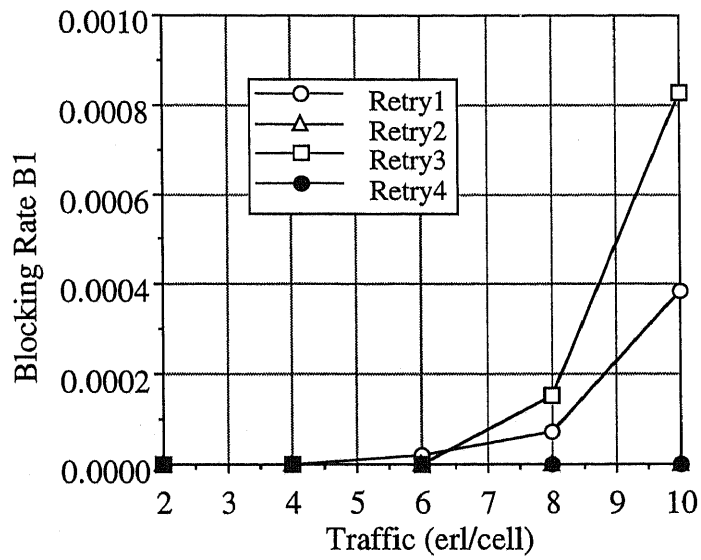


図 5.11: 再接続限度数の組み合わせに対する狭帯域呼損率特性

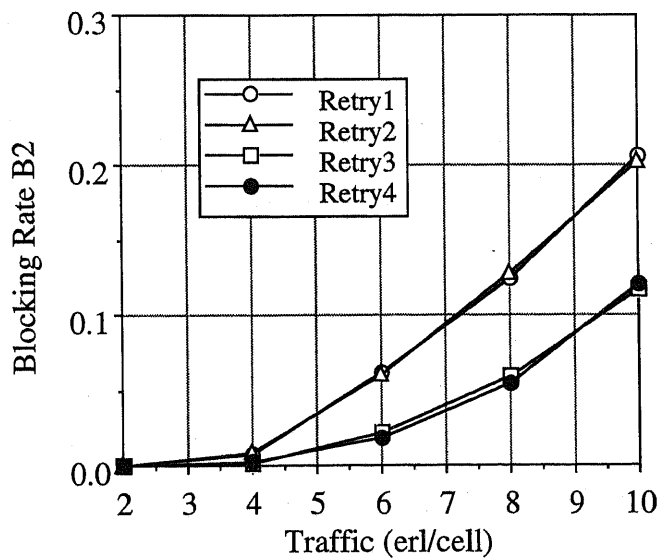


図 5.12: 再接続限度数の組み合わせに対する広帯域呼損率特性

5.3.5 所要 CIR に対する RC++ 方式の特性

表 5.3: 所要 CIR によるトラヒックの組合せ

組合せ	狭帯域呼	広帯域呼
CIR1	31dB	31dB
CIR2	21dB	31dB
CIR3	31dB	21dB
CIR4	21dB	21dB

ここでは, 所要 CIR の組合せによって次の表 5.3 のようなトラヒックの組合せについてシミュレーションを行ない, その特性について評価する. 再接続に関しては, Retry1 のリアルタイムトラヒックについて行なった.

図 5.13 に完了率特性を示す.

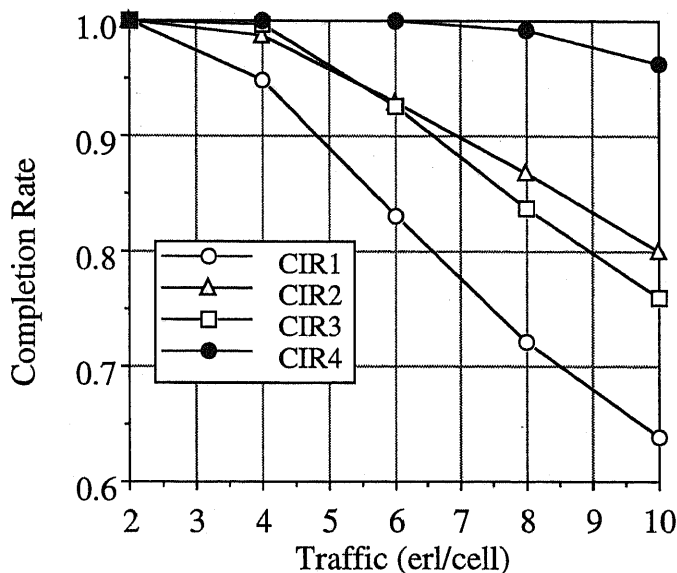


図 5.13: 所要 CIR の組み合わせに対する完了率特性

明らかに所要 CIR 値が低い程, トラヒック収容能力があることがわかる. CIR2 と CIR3 を比較するとトラヒックが 6 アーランまでは CIR3 の方がスループットが大きく, それより大きなトラヒックでは逆転して CIR2 の方が大きくなっている. これは, トラヒックが小さい

ときは CIR3 は広帯域呼の所要 CIR が小さいため、広帯域呼の接続性がよく完了率が大きくなる。一方、トラヒックが大きくなると広帯域呼の接続性がいいために、これが干渉原因となって狭帯域呼の呼損率が大きくなってしまふ。これと逆のことが CIR2 に対して成立する。広帯域呼は占有スロット数が多いため、トラヒックが大きいときに、干渉源として影響を与える度合いが大きい。このため、CIR3 の方が CIR2 よりも完了率が小さくなる。

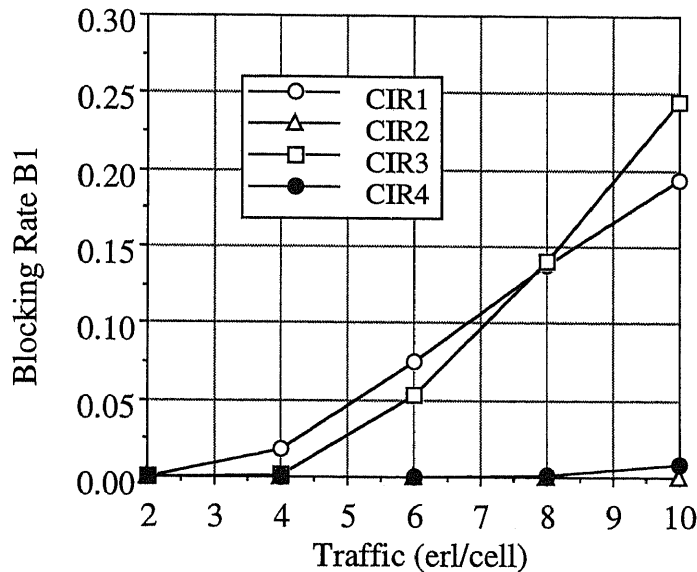


図 5.14: 所要 CIR の組み合わせに対する狭帯域呼呼損率特性

この様子は狭帯域呼、広帯域呼の呼損率特性の図 (図 5.14, 図 5.15) からわかる。

CIR2, CIR4 は、狭帯域呼の所要 CIR は 21dB のため、ほとんど呼損が生じない。トラヒックが小さいときに、狭帯域呼の呼損率が CIR3 が CIR1 に比べて低いのは広帯域呼の所要 CIR が 21dB と低いため、近くに広帯域呼が存在していても与える影響が少ないため、狭帯域呼の接続性がよくなっていると考えられる。一方、トラヒックが大きくなると、狭帯域呼の呼損率は CIR1 に比べて CIR3 が大きくなる。これは、CIR3 では広帯域呼の接続性がよいため干渉源となって狭帯域呼の接続性が劣化するためである。広帯域呼の呼損率についても、同様に所要 CIR が 21dB では呼損が生じず、狭帯域呼の所要 CIR が小さい方が呼損率が小さくなっていることがわかる。なお、強制切断率についても呼損率特性と同じような傾向が観測された。

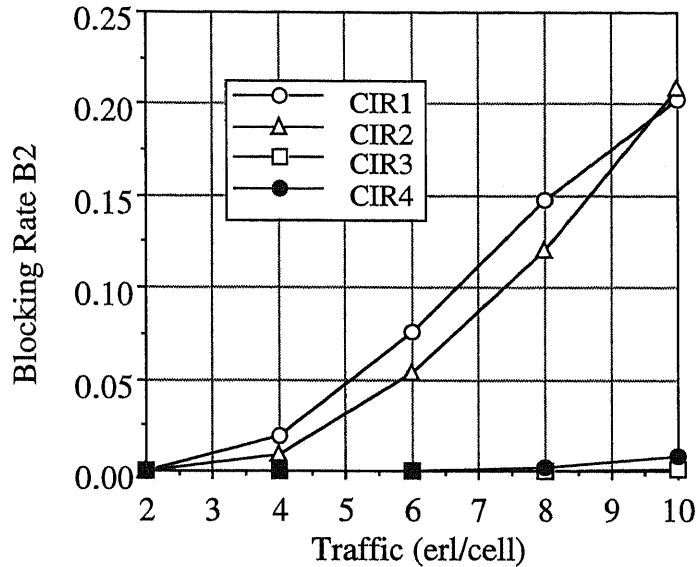


図 5.15: 所要 CIR の組み合わせに対する広帯域呼呼損率特性

また,再接続数の組み合わせを変化させて上記実験を行なった結果,リアルタイム性の強い広帯域呼の所要 CIR を低く設定し,リアルタイム性のない広帯域呼は所要 CIR を高く設定した方が完了率が大きいことがわかった.リアルタイム性のない広帯域呼に対して,所要 CIR を低く設定した場合には,データリンク層で ARQ プロトコルを用いて誤り制御を行なう手法がスループットを大きくするのに有効な手法として考えられる [6].

### 5.3.6 ターミナルモビリティに対する RC++ 方式の特性

ここでは,ターミナルモビリティに対する RC++ 方式の特性評価をシミュレーションによって行う.表 5.1 の移動特性で,セッション中は静止したままのトラヒックとの対比を行うことにより,移動による諸特性劣化を観測する.対比のため ARP 方式との比較を行った.

図 5.16 に完了率特性を示す.これより RC++ 方式,ARP 方式ともに移動がある場合の方が完了率が低い値を示していることがわかる.特に,ARP の方が劣化の割合が大きい.

次に,狭帯域呼・広帯域呼の呼損率をそれぞれ図 5.17, 5.18 に示す.呼損率に関しては,移動がある場合とない場合との差は少なく,RC++ 方式は ARP 方式に比べて広帯域呼の接続品質をよくしている特徴が確認できる.そこで,強制切断率(図 5.19, 5.20)について見ると,移

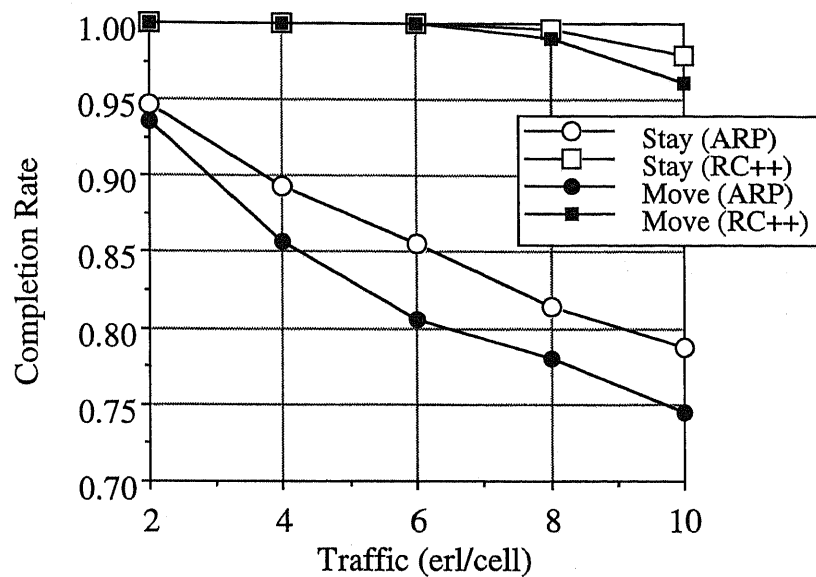


図 5.16: ターミナルモビリティに対する完了率特性

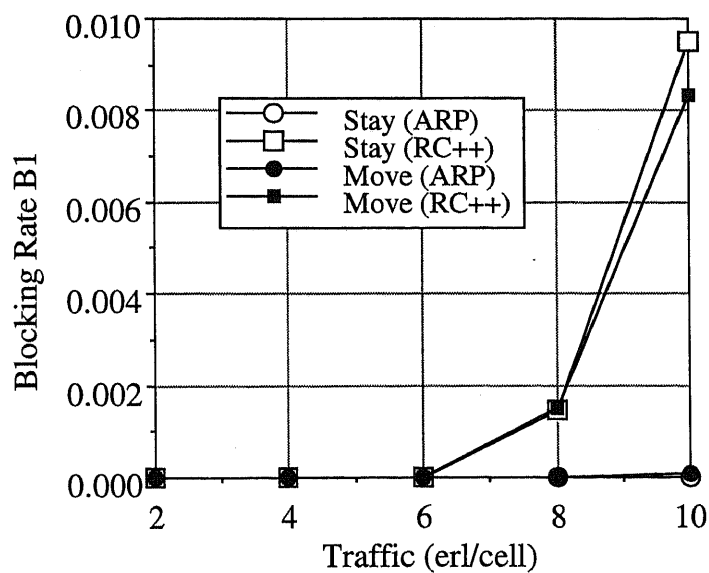


図 5.17: ターミナルモビリティに対する狭帯域呼の呼損率特性

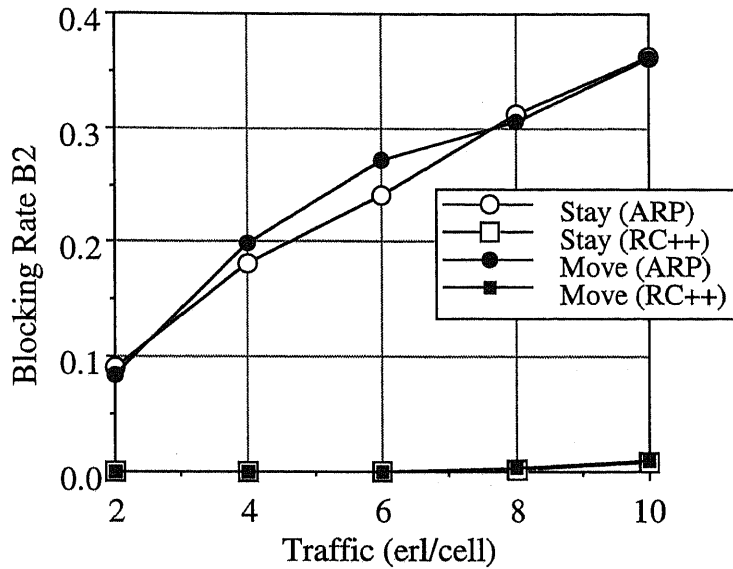


図 5.18: ターミナルモビリティに対する広帯域呼の呼損率特性

動がある場合には移動中に他の端末からの干渉にあう確率が高いため、イントラセルハンドオフに失敗して強制切断率が高くなることがわかる。特に ARP の広帯域呼の強制切断率は移動による劣化が大きいことがわかる。これは、ARP は空間的リング状にチャンネル形成をするため、準静的な移動体をサポートするために考えられたためであるといえる。一方 RC++ 方式では、広帯域呼の諸特性の劣化を防ぐ工夫がなされるため、移動に伴う劣化も少ないことがいえる。

以上より、RC++ 方式は移動に伴う干渉問題に対しても、広帯域呼の接続品質をよくするため全体として運ぶトラフィックが ARP 方式に比べて大きいことがいえる。

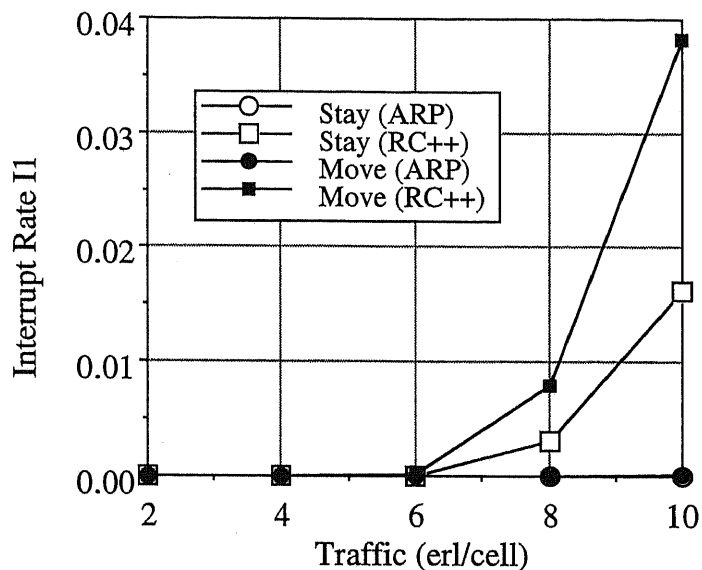


図 5.19: ターミナルモビリティに対する狭帯域呼の強制切断率特性

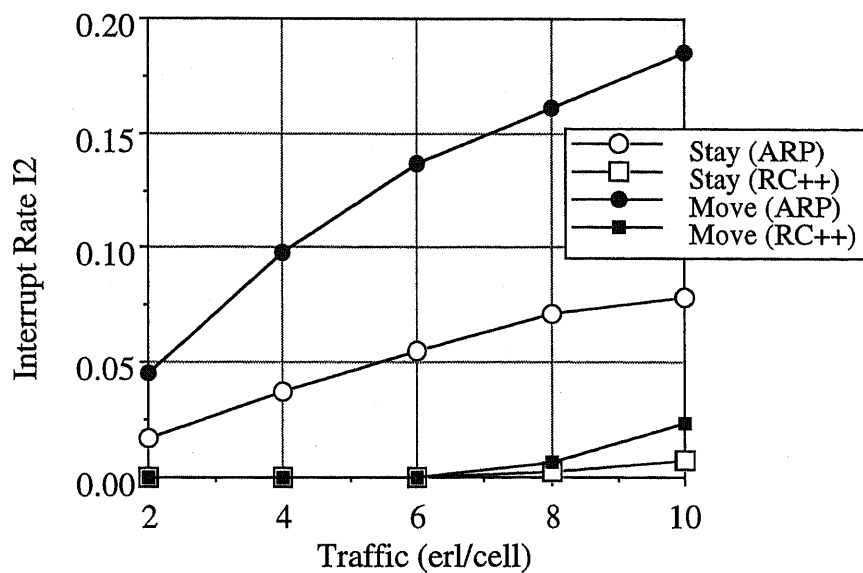


図 5.20: ターミナルモビリティに対する広帯域呼の強制切断率特性

## 5.3.7 保留時間延長を要するトラヒックに対する RC++ 方式の特性

第 5.3.4 節 [再接続限度数に対する RC++ 方式の特性] では、再接続において接続遅延時間がかかっても、トラヒックのリアルタイム性を考慮して保留時間の延長がない仮定での検討であった。ここでは、データサービス系を考慮して、遅延時間分だけ保留時間を長くすることを考慮した場合の特性について検討を行なう。

遅延時間を生じる要因としては、再接続の他に通信速度を落した割り当てによる帯域減少分の延長も考えられるが、議論の簡単化のためここでは通信速度を落した割り当ては行なわないものとする。

また、遅延時間を生じる要因の再接続限度数の上限を設定しない場合について検討を行なう。このため、呼損率・強制切断率はシステムが不安定にならない限りはゼロになる。このとき、トラヒックが大きくなると、待ち行列が無制限長で必要となるため、端末又は基地局におけるバッファサイズが十分に大きくなければならないが、ここではシステムが不安定にならない程度の範囲においての解析を行なう。

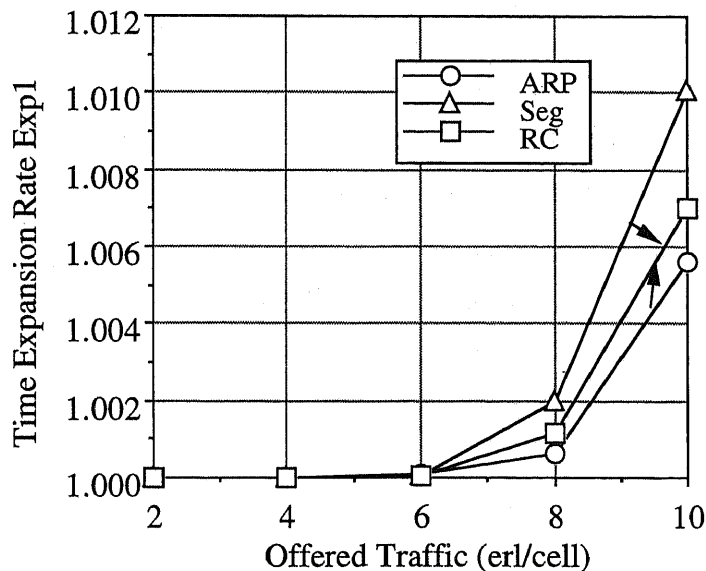


図 5.21: 狭帯域の接続遅延による拡張時間特性比較

図 5.21 に狭帯域呼の接続遅延による時間延長特性を示す。縦軸は、本来予定されていた分の呼の保留時間に対して実際に通信にかかったセッションの長さの割合を表す。拡張時間が



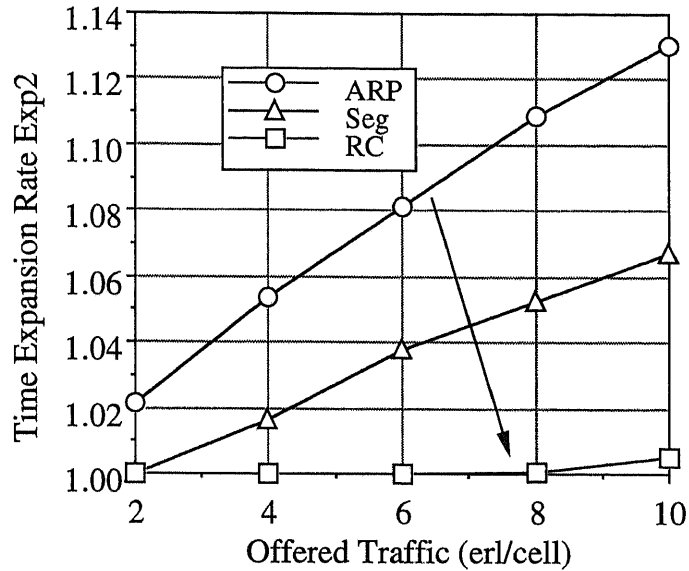


図 5.22: 広帯域呼の接続遅延による拡張時間特性比較

1 の場合は再接続による待機時間がなかったことを意味する。対比データとして、ARP, Channel Segregation の DCA を用いた場合を示す。これによると、トラヒックが大きくなるにつれて干渉が生じるため接続遅延が大きくなるが、ARP が最も時間延長が少ない。

これに対して、図 5.22 の広帯域呼の接続遅延による時間延長特性を見ると、RC++ が最も時間延長が少なく ARP は長いことがわかる。これも、先に述べたように広帯域呼の接続性が RC++ 方式は他の方式に比べてよいため、狭帯域呼と広帯域呼の間に再接続の接続遅延時間の差が少なくなっていることによる。また、Seg 方式ではその学習効果によって ARP よりも広帯域呼の再接続による遅延が少なくなっているが、RC++ 方式のキャリア分散効果の方が大きいことがわかる。

## 第 6 章

# Reserved Channel++ 方式の実現に対する諸問題 とその対処

## 6.1 概要

ここでは、前章まで検討してきた Reserved Channel++ 方式の実現に際しての諸問題の中から、システム構成方法と VBR, ABR トラフィック収容方式をとりあげ、その対処方法について検討を行なう。第 6.2 節 [システムアーキテクチャ] では Reserved Channel++ 方式の自律分散処理システムの各コンポーネントのアーキテクチャについて述べる。第 6.3 節 [VBR, ABR トラフィックの収容方式] で VBR, ABR トラフィックの収容方式の方針について述べ、部分エコー付き空線制御ランダムアクセス (ICMA-PE : Idle signal Casting Multiple Access with Partial Echo) を用いて ABR トラフィックを収容した場合の RC++ 方式の特性について性能評価を行なう。これにより、提案方式が他の DCA 方式に比べて、CBR トラフィックの特性劣化が少ないことを確認した。

## 6.2 システムアーキテクチャ

ここでは、前章までに検討してきた Reserved Channel++ 方式の実現に向けて、自律分散移動通信システムの各コンポーネントに対してシステムアーキテクチャについて検討を行なう。

### 6.2.1 交換局

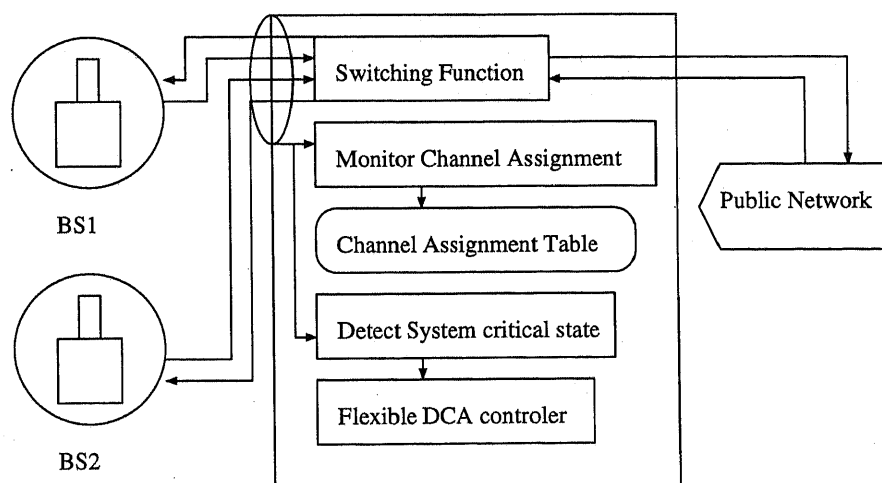


図 6.1: 交換局アーキテクチャ

図 6.1 に交換局アーキテクチャの構成図を示す。

基地局と交換局間を有線または無線で接続し、局内接続または公衆網接続を行なう交換機能として働く。また、オプション機能として、各基地局でのチャンネル割り当て状況を監視を行い、自律分散 DCA が不安定な状況になっている場合には、ローカルに最適化を行なう Flexible DCA を行ない、各基地局に通達することで自律分散処理の不安定要素を安定化させることができる。この場合、シグナリングの低減を考慮して、監視はコールバイコールで行なうのではなく、2～3 時間程度のトラヒックの時間的変動に合わせて監視する。また、監視を行なうサイクルで、隣接基地局のチャンネル割り当て状況を通達する。

本論文では、基地局からの問い合わせに対してのみチャンネル割り当て状況を通達し、Flexible DCA による制御を行なうかわりに周期的にチャンネル配置をリセットすることによって自律分散 DCA が不安定になるのを防ぐものとする。

### 6.2.2 基地局

図 6.2 に基地局アーキテクチャの構成図を示す。

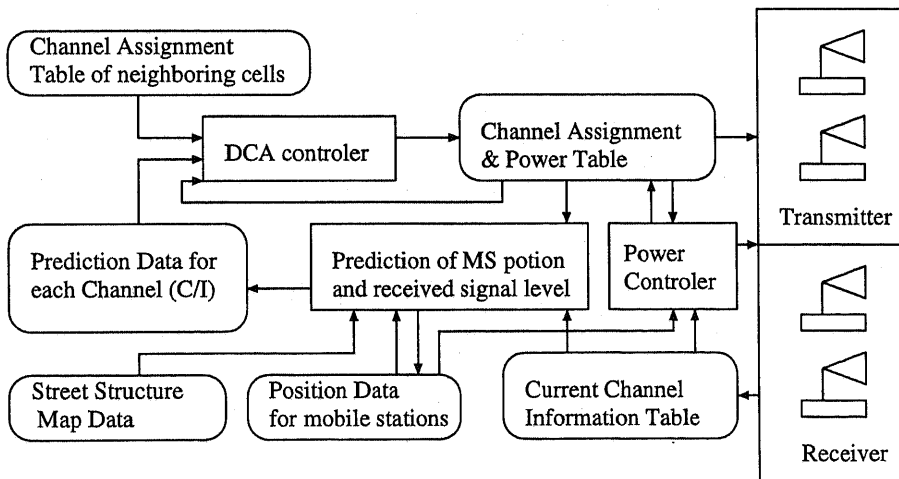


図 6.2: 基地局アーキテクチャ

レシーバから得られる各チャンネルの信号パワーを Current Channel Information テーブルに記録する。Channel Assignment & Power テーブルによって、各チャンネルの信号対雑音比 (CIR) を測定することができる。この CIR の変化の時系列と周囲の構造物情報の Street Structure Map データを元にして、移動端末の位置を測位し、CIR の予測データテーブルを作成する。DCA コントローラは、この CIR 予測データと隣接基地局のチャンネル割り当てテーブル

を参照して、後述の Reserved Channel++ 方式アルゴリズムによって割り当てチャンネルを決定する。また、移動端末側での CIR を推定し、Power コントローラによる制御を行なうことも考えられるが、本論文ではこの制御に関する議論は扱わない。

### 6.2.3 送受信機

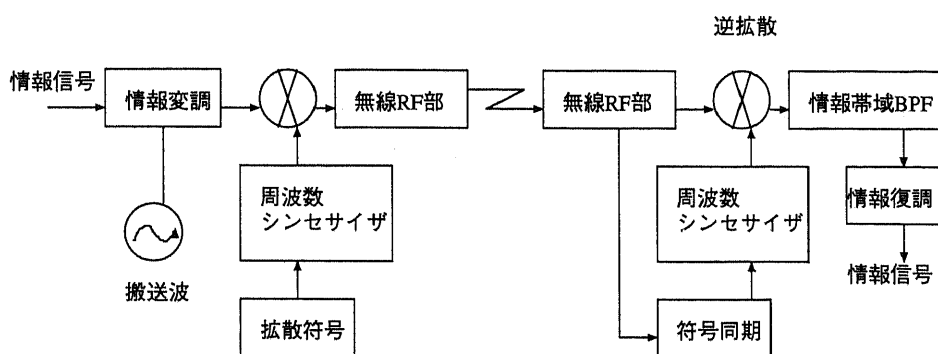


図 6.3: 周波数ホッピング方式の送受信機の構成

後述の Reserved Channel++ 方式の DCA を実現するためには、周波数ホッピングを端末と基地局の送受信機でサポートしなくてはならない。図 6.3 に周波数ホッピング方式の送受信機の構成を示す。

FH 方式では伝送すべき信号の搬送周波数を RC++ 方式によって割り当てられたホッピングパターン (拡散周波数系列) に従って切り換えることで、信号帯域幅の広帯域化を行なう。受信側では、局部発振器の出力周波数を、送信側と同一でかつ同期したホッピングパターンにより切り換えることで逆拡散を行ない、信号の復調を行なう。

### 6.2.4 基地局所要キャリア数の設計

ここでは、基地局における所要キャリア数の設計方法について述べる。

まず、従来の単一トラヒックを念頭においた回線設計では、キャリアあたり多重度を  $N_s$ 、セルあたりのトラヒックを  $a$  アーラン、設計基準の呼損率を  $b_{stand}(0.01)$  とすれば、干渉や DCA を考慮しない場合に必要キャリアの数  $N_c$  は次式 (6.1) を満たせばよい。但し、 $E(n, a)$  はアーラン B 式である。

$$E(N_s \times N_c, a) \leq b_{stand} \quad (6.1)$$

次に、干渉条件や多元トラヒック DCA を考慮する場合には、第 3.5 節 [多元トラヒック DCA 呼損率解析の数学モデル] で提案した数学モデルを用いる。ここでは、Reserved Channel++ 方式の条件を考慮し、広帯域呼に複数キャリアを割り当て、同一タイミングスロットの割り当てを許容しない条件の、第 3.5.4 節 [広帯域呼に複数キャリアを割り当て同一タイミングスロットを許容しない場合] の CS 方式の呼損率の式を用いる。

例として、1 フレームあたりのスロット数を  $N_s = 4$ 、呼損率基準値として  $B_1, B_2$  ともに 0.01 以下となるように設計した場合の所要キャリア数を干渉確率  $p$  をパラメータとして求めた結果を図 6.4 に示す。

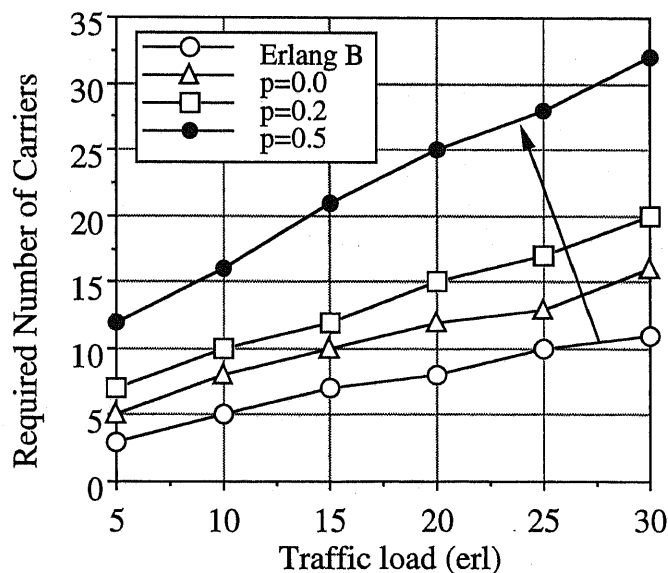


図 6.4: 干渉確率に対する所要キャリア数の変化

ErlangB は式 (6.1) を用いて干渉や DCA を考慮しないで設計したものを表す。これより、干渉確率  $p$  が大きくなるにつれて所要キャリア数を多く設計する必要があることがわかる。

同様に、広帯域呼の割合  $r$  をパラメータとして設計した所要キャリア数を図 6.5 に示す。これより、広帯域呼の比率が大きくなるにつれて所要キャリアの数が多く必要であるが  $p$  の変化と比べると、それほど所要キャリア数の差が小さい。

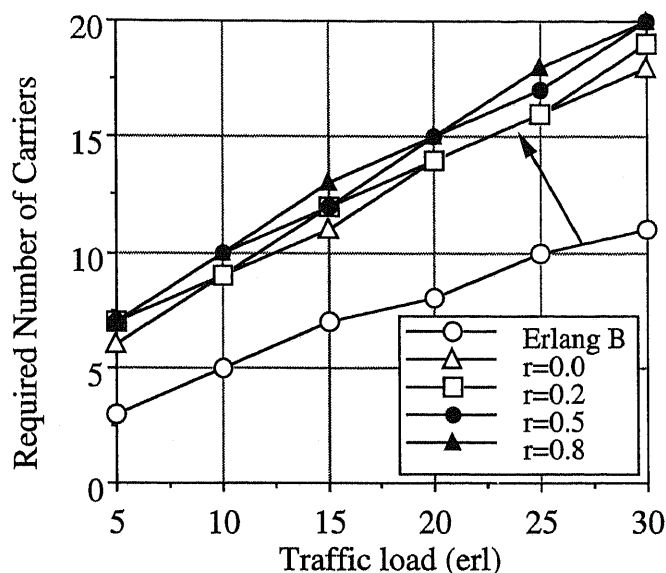


図 6.5: 広帯域呼比率に対する所要キャリア数の変化

以上の点を考慮すると、所要キャリアの設計に際しては、その基地局周辺の干渉によるスロット使用不能な確率を重点的に考慮し、広帯域呼の比率の変化に関してはそれほど注意しなくてもよいということが結論づけられる。

### 6.3 VBR, ABR トラヒックの收容方式

#### 6.3.1 集中制御とランダムアクセスの組み合わせ方式

RC++ 方式で再接続限度数や所要 CIR の組み合わせに対するシミュレーションを行なった結果、リアルタイム性のない呼に所要 CIR を低く設定することが有効であることがわかった。これにより、VBR, ABR トラヒックに対してもリソース共有効果のあることが予想される。

そこで、ここでは VBR, ABR トラヒックの收容方式を検討する。ABR, VBR のトラヒック收容方針として、上述の RC++ 方式をバーストレベルで制御する手法も考えられるが、バーストレベルで上記 DCA を実現することは制御量の多さから考えると現実的ではない。そこで、Wireless ATM の研究ではタイムリザーブ方式のスロット予約 ALOHA や空線ランダム

アクセス制御型のプロトコルが VBR, ABR タイプのトラヒック処理に有効であると考えられており, 本論文でもこのアプローチをとる. 提案 DCA 法と組み合わせた場合の実現方法と性能評価を中心に検討を行なう.

スロット予約の方法に対して, 予約を情報パケットを用いるタイプ (PRMA: Packet Reservation Multiple Access, ICMA-PE など) と予約専用パケットを用いるタイプ (MDR: Multi service Dynamic Reservation, DTDMA: Dynamic Time Division Multiple Access など) がある. 前者は予約に情報パケットを用いるため, 予約に失敗した場合に情報が廃棄されるため, リアルタイム性のあるトラヒックに対して品質の劣化がおこる. 音声の場合は, 予約パケットの棄却率が 1% 以下であればよいことが示されている. 後者は, 予約専用の場所が確定されているため情報の欠落が生じないという利点があるが, トラヒックが少ない場合でも予約のためにリソースが必要な点が欠点である.

しかし, CBR ベースのトラヒックまでランダムアクセスで扱う必然性は特にないため, 本論文では CBR を RC++ 方式で扱い, VBR, ABR をランダムアクセスで扱う組み合わせ方式の検討を行う. RC++ 方式との組み合わせを考えた場合, CBR トラヒックに対してはコールやハンドオフレベルで基地局による RC++ 方式を適用し, CBR トラヒックに対するチャネル割り当て結果を端末に通知することで, VBR, ABR トラヒックは自律的にランダムアクセスを行なう方式を考える. 資源予約に関して CBR, VBR, ABR トラヒックは次のようなポリシーになる.

**CBR** : 資源予約はコール設定時とハンドオフ時に行ない, 失敗した場合は指数分布時間待機してから再予約を行なう. 予約は共通チャネル制御によって, 制御キャリアに対してコンテンション方式によるスロット付 ALOHA プロトコルで予約パケットを送信する. 基地局は予約パケット情報をもとに RC++ 方式によって割り当てを行ない, 結果を制御チャネルのダウンリンクによって通知する. 各通信キャリアのフレームヘッダ部分の ABR 用予約スロットにスロット割り当て情報をブロードキャストする. 後続フレームもコール終了やハンドオフ時まで確保し, 他のトラヒックに最低要求帯域幅分のスロットは譲らない.

**ABR** : コール設定時とハンドオフ時に, 制御キャリアにスロット付 ALOHA で予約パケットを送信し, 最適な通信キャリアを基地局で選択してもらう. 結果をダウンリンク制御チャネルによって通知してもらう. 選択された通信キャリアに対してランダムアクセスプロトコルによって, 資源予約をバースト単位で行ない, 失敗した場合はある指数分布



時間後に予約を行なう。バースト期間のスロットに対しては、後続フレームでも確保されるが、必要性の低いパケットに対しては優先度を低く設定する。

**VBR** : コール設定時とハンドオフ時に必要帯域幅分を CBR トラヒックと同じ資源予約を行なう。バースト帯域拡張要求時には、拡張分に対して制御チャンネルに予約パケットを送信して、ABR トラヒックと同じように選択された通信キャリアの予約スロットに対してバースト単位のランダムアクセスプロトコルで資源予約を行なう。バースト期間に割り当てるスロットに対しては優先度を設定する。

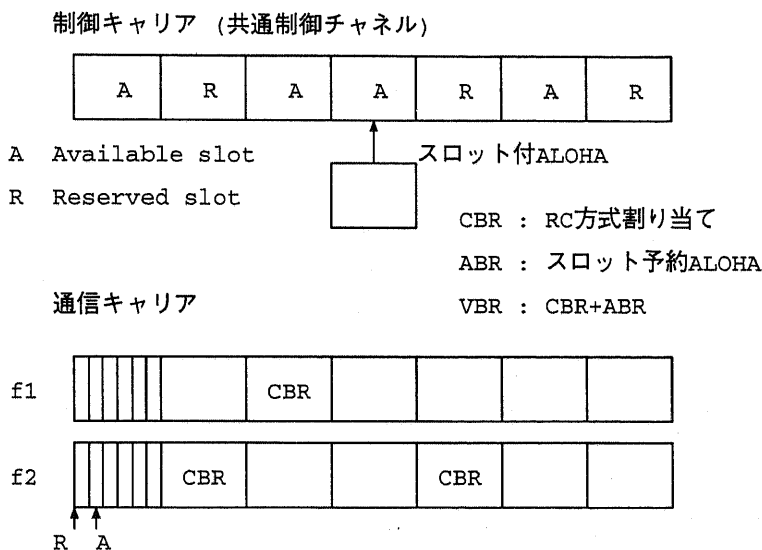


図 6.6: RC 方式とランダムアクセス (Dynamic TDMA) の組み合わせ方式の例

この様子を図 6.6 に示す。CBR トラヒック、VBR トラヒックの予約パケットの内容としては次のようなものがある。

- 1 フレームに最低必要なスロット数
- 割り当てスロットの配置条件に関するパラメータ
- 割り当てスロットで削ってもよいスロット数
- 接続許容遅延時間 (呼設定, ハンドオフ設定)

割り当てスロットの配置条件は、次の三つがある。

- 割り当てスロットが同一周波数キャリア上かつ連続している
- 割り当てスロットが同一周波数キャリア上で不連続でもよい
- 割り当てスロットが複数周波数キャリア上にまたがってもよい

これらの予約パッケージ情報をもとに、提案 DCA アルゴリズムによって割り当てを行なう。基地局では割り当て結果のスロット情報を各通信キャリアのフレームヘッダに書き込んでブロードキャストする。このスロット情報には空き (A) か使用中 (R) を示す。

このスロット情報が直接 ABR や VBR のバーストに対する予約スロットとして用いられ、予約パッケージを用いて資源予約を行なう。各トラヒックが予約した情報スロットには次の情報をヘッダに付加する。

- 後続フレームでもスロットを割り当てるかどうか
- 他のトラヒックにスロットを譲ってもよいかどうかの優先度
- 受信したノイズシグナルレベル
- 送信出力パワー

もし、ABR、VBR トラヒックのバースト割り当てが何度も失敗するようであれば、制御チャネルに予約パッケージを発行し通信キャリアを選択してもらるか、優先度の低いものに移ってもらうか基地局に処理をまかせる。

また、フェージングによる干渉があった場合に、各端末・基地局の処理ポリシーとして、次のようなものが考えられる。

- ノイズに対して十分なほど出力パワーをあげる。
- そのまま保留して、干渉ノイズが減るまで待つ。
- インセルハンドオフを起動することによって、空きスロットの再予約を行なう。
- 優先度の低いトラヒックのスロットを譲ってもらう。
- 通信の切断

このネゴシエーションは制御キャリアを用いて行なわれる。

なお、従来の TDMA/FDD や TDMA/TDD のようにアップリンク・ダウンリンクの区別の境界を固定的に設定しない。通信スロットプリアンプルにアップリンクかダウンリンクかを区別するビットを用意することによって、端末や基地局で判断を行なう。これにより、アッ

プリンクとダウンリンクトラヒックの非対称性を克服することができ、アップリンク・ダウンリンクのリソース共有効果が現れるものと考えられる。問題点としては、スロットの非同期の克服方法や、アップリンク・ダウンリンクを示す情報ビット誤りへの対処方法などがあげられる。

Reserved Channel DCA とランダムアクセスプロトコルの組み合わせた方式によって、基地局主導のチャネル割り当てと端末主導の自律分散アクセスが行なわれるが、一方で VBR, ABR トラヒックの増加に伴って干渉分布に偏りが生じてしまう可能性がある。これに対しては、VBR, ABR 端末に対して選択するキャリアの候補を基地局にとって都合のよいものを RC++ 方式で調べ、そのキャリアを通知することによって対処したり、周期的にリセットを行なうなどの方法が考えられる。

次の節では、具体的にランダムアクセスに部分エコー付き空線制御ランダムアクセス (ICMA-PE) プロトコルを用いた場合の性能評価を他の DCA 方式と比較して定量的検討を行なう。

### 6.3.2 ICMA-PE による ABR トラヒック収容方式の性能評価

CBR トラヒックは、基地局において RC++ 方式による割り当てを行ない、ABR トラヒックはキャリアをランダムに選択して、部分エコー付き空線制御ランダムアクセス (ICMA-PE: Idle signal Casting Multiple Access with Partial Echo) を行なうものとする。

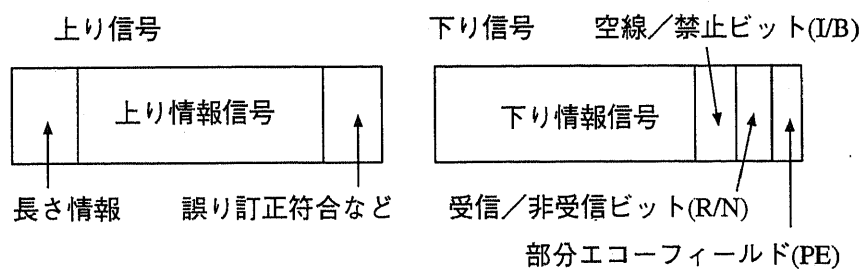


図 6.7: ICMA-PE プロトコルの信号構成

図 6.7に ICMA-PE プロトコルの信号構成を示す。原情報を N 個のスロットに分割し、上り信号に残りの送信スロット数を付加して伝送される。下り信号には、空線禁止ビット、受信非受信ビット、部分エコーフィールドがあり、次のような制御上の役割を果たす。

空線禁止ビット：受信中のデータの存在を知らせる

受信非受信ビット：データを誤りなく受け取ったかどうかを示す

部分エコーフィールド：信号衝突が起こっても一方の信号が正しく受け取れたことを判定するために受信信号の一部を表示する

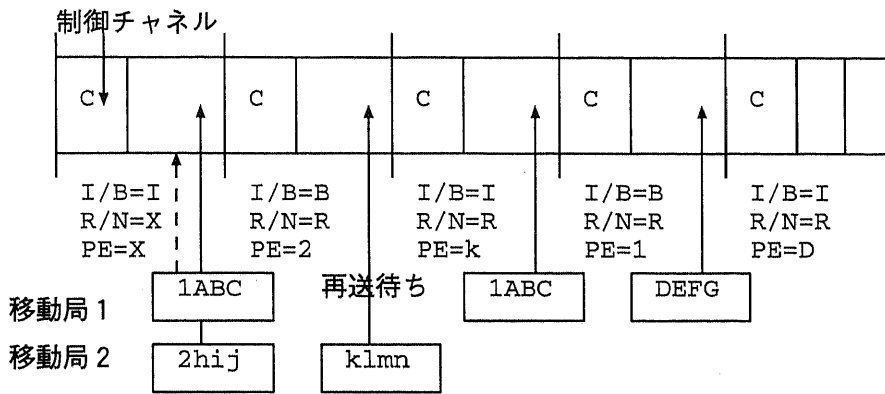


図 6.8: ICMA-PE プロトコルの動作概要

図 6.8に ICMA-PE プロトコルの動作の概要を示す。最初のスロットがアイドル状態なので、移動局 1 と 2 がデータの送信を同時に行ったとする。この衝突で移動局 2 が受信されたとすると、移動局 2 は残りのスロットの長さ (この場合は 1) を通達し、データを送出する。移動局 1 は、次のフレームの制御チャンネルの部分エコー PE で正しく受信されていないことを知り、ランダム時間後に再アクセスする。

これを RC++ 方式と組み合わせる場合には、RC++ 方式による割り当て状況を下り信号の衝突制御ビットの空線禁止ビットに書き込むことによって、CBR トラヒック、ABR トラヒックの衝突を防ぐことができる。これによって、CBR トラヒックは基地局主導、ABR トラヒックは端末主導でスロットを割り当てることができる。

シミュレーション条件を表 6.1 に示す。PHS システムを想定し、制御スロットまで含めて利用できるものとする。ABR トラヒックは、パケットが全部送られるまで、再送を繰り返すものとする。また、衝突がおきた場合にはシミュレーションのスケジュールテーブルに先に入ったものを優先した。ABR トラヒックは、再送待ち回数に上限 (5 回) を設定し、これを越える場合にはキャリア選択をしないものとする。なお、パケットのスロット利用効率を 1 スロット:32kbps の 70% で 22.4kbps を想定した。

表 6.1: ICMA-PE との組合せ方式評価のシミュレーション条件

エリア	9 × 9 オムニセル
セル半径	200m
チャンネル数	10 キャリア × 4 スロット
トラヒック	エリア内一様分布でポアソン生起, 平均保留時間 120 秒の指数分布, 音声 (CBR: 32kbps): データ (CBR: 96kbps) の比率 = 0.5, データ (ABR) パケット: 10 ~ 400 スロット (4.48kbit ~ 179.2kbit) 一様分布
所要 CIR	すべてについて 21 dB
移動特性	一様分布 (速度 0 ~ 4km, 方角 0 ~ 360 度)
伝搬特性	長区間距離伝搬定数: 4.0

CBR トラヒックの総等価帯域呼量に対する ABR トラヒックの呼量の割合  $ar$  を可変パラメータとして, ABR パケット転送時間, CBR 呼損率, CBR 強制切断率, CBR トラヒックの要求トラヒックに対して運んだトラヒックの割合 (完了率) の特性を測定した。

図 6.9 にパケット転送時間特性を示す。縦軸は, 正規化された転送時間 (= 転送時間 / (パケット数 × 1 フレーム時間)) を示している。トラヒックが大きくなるにつれて, CBR トラヒックの影響により転送時間が多くなるが, 6 アーラン以上で傾きが緩くなる。転送遅延 0.5 で, スループットにして約 44.8kbps 程度となる。

RC++ 方式に比べて ARP のパケット転送遅延時間は約 10% 程度短い。これは, ARP アルゴリズムで広帯域呼の呼損や強制切断率が高い分だけ ABR トラヒックが使用できるスロットがあるためである。

また, ABR トラヒックの呼量の割合  $ar$  に対する依存性についてみると,  $ar$  が大きいほど転送時間が短くなるという結果が得られた。一見すると, ABR トラヒックが多くなるのに, 平均転送時間が早くなるという矛盾した現象があらわれている。この現象の説明としては, ABR トラヒックの呼量が大きくなると ABR トラヒックの占有スロット数が大きくなるため, CBR トラヒックが干渉を受けて呼損率や強制切断率が高くなる。このため, 本来 ABR トラヒック

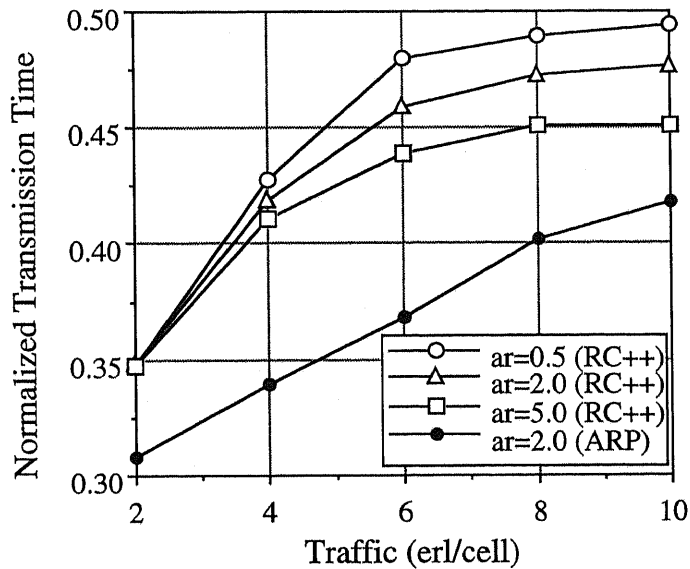


図 6.9: CBR トラフィック混在時の ABR パケット転送時間特性 ( $ar$  可変)

がなかったときに CBR が保留時間相当分だけ占有することのできたはずのスロットが, ABR トラフィックにそっくり提供されてしまう形となり, このため ABR トラフィックのスループットが向上したものと考えられる. 言い替えれば, 平均保留時間分布の短いトラフィックの割合が大きくなると, 平均保留分布の長いサービスへの干渉が大きくなるために生じる現象と考えられる. (このシミュレーションでは, 平均転送時間 0.5 とすると 200 パケット転送の保留時間は約  $200 \times 0.5 \times 0.02 = 2\text{sec}$ )

このことは, CBR の完了率特性 (図 6.10) が  $ar$  の増加につれて劣化していることからわかる.

また, ARP アルゴリズムの完了率特性をみると RC++ 方式に比べてかなり低い値になってしまう. これは, ABR トラフィックの細かい干渉による影響が RC++ 方式よりも ARP アルゴリズムに与える影響が大きいことを意味している.

ABR パケットの転送時間と CBR 完了率のどちらを優先するかはシステム設計の問題であるが, このシミュレーション結果では, CBR の完了率がほぼ 1.0 に近いことと, ABR トラフィックは読んで字のごとく Available であることを考慮すれば RC++ 方式の方が特性劣化が少いよい方式といえる.

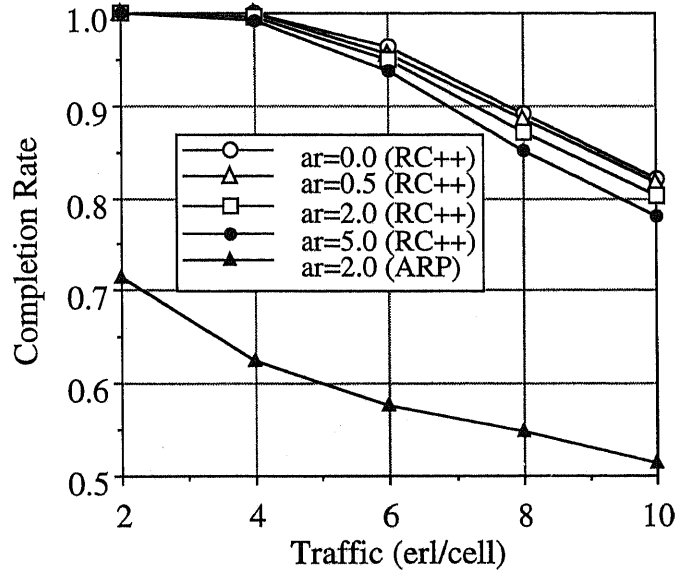


図 6.10: ABR トラヒック混在時の CBR 完了率特性

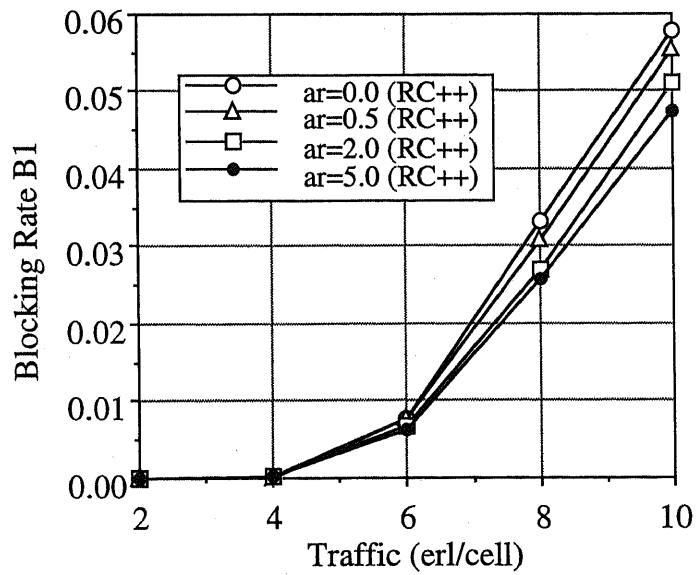


図 6.11: ABR トラヒック混在時の狭帯域呼の呼損率特性

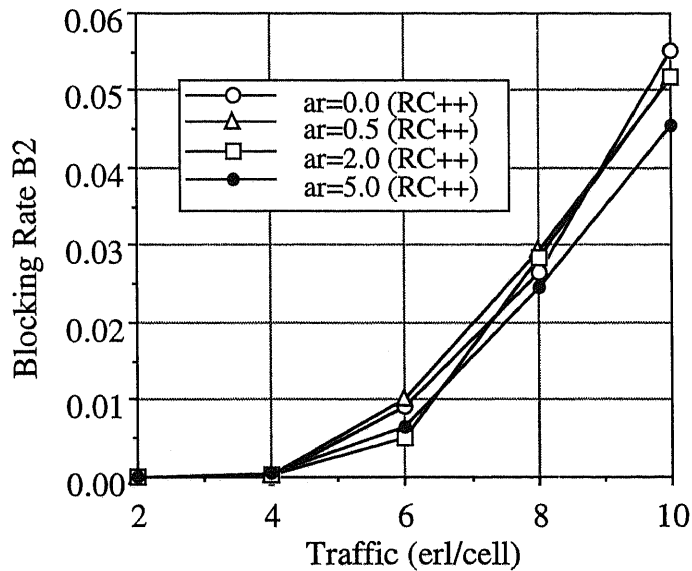


図 6.12: ABR トラフィック混在時の広帯域呼の呼損率特性

次に CBR の呼損率をそれぞれ図 6.11, 6.12 に示す. 狭帯域呼の呼損率は ABR トラフィックが増えるにつれてよくなっている. これは, ABR トラフィックが増えることによってハンドオフ時の強制切断率が劣化してスロットが解放される確率が高くなるため, 狭帯域 CBR の呼損率がよくなると考えられる. これに対して, 広帯域呼の呼損率はそれほど ABR トラフィックの量に依存していない. ABR トラフィックの増分だけスロット獲得が難しくなって劣化する面と, 強制切断率の劣化によって解放されたスロットのために呼損特性がよくなる面のトレードオフが起こっているものと考えられる.

強制切断率をそれぞれ図 6.13, 6.14 に示す. これより, 狭帯域, 広帯域ともに ABR トラフィックの増加に伴って強制切断率が高くなっていることがわかる.

次に, ABR トラフィックの割合  $ar$  を 0.5 に固定し, CBR の広帯域呼の割合  $r$  を可変パラメータとした場合の packet 転送時間を図 6.15 に示す. 広帯域呼の割合が大きいほど ABR の平均転送時間が大きくなっている. これは, 提案 DCA アルゴリズムが広帯域呼の接続品質を高める工夫がなされているために, ABR が再送待ち状態になる確率が高いことを示している.



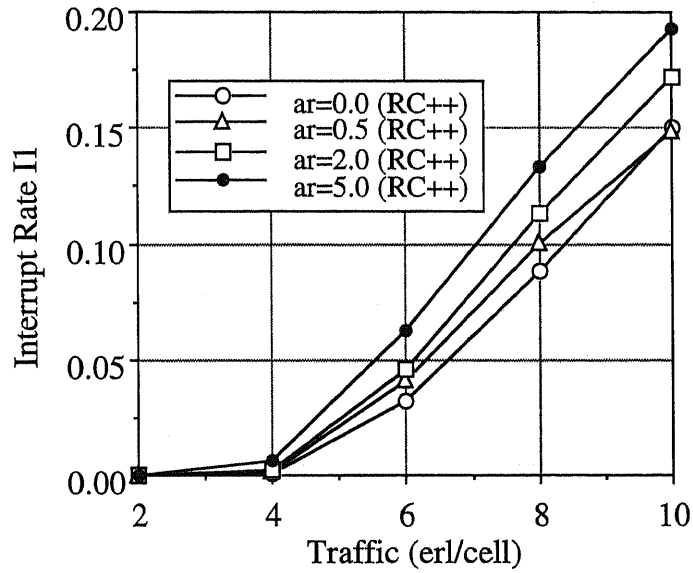


図 6.13: ABR トラフィック混在時の狭帯域呼の強制切断率特性

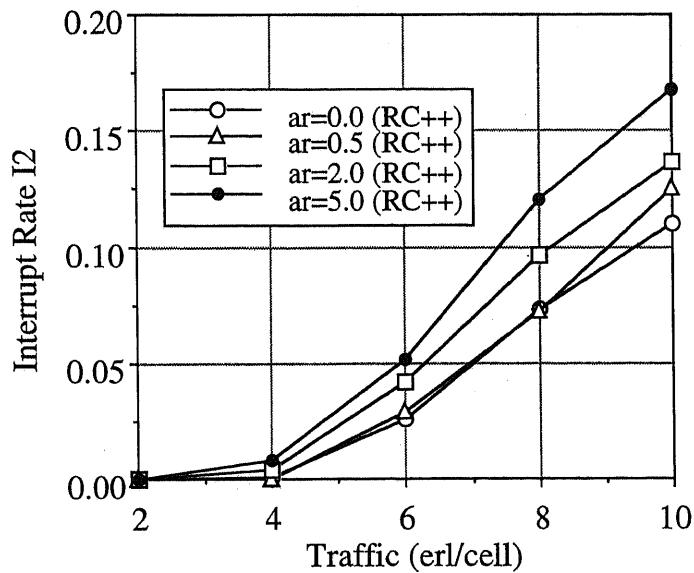


図 6.14: ABR トラフィック混在時の広帯域呼の強制切断率特性

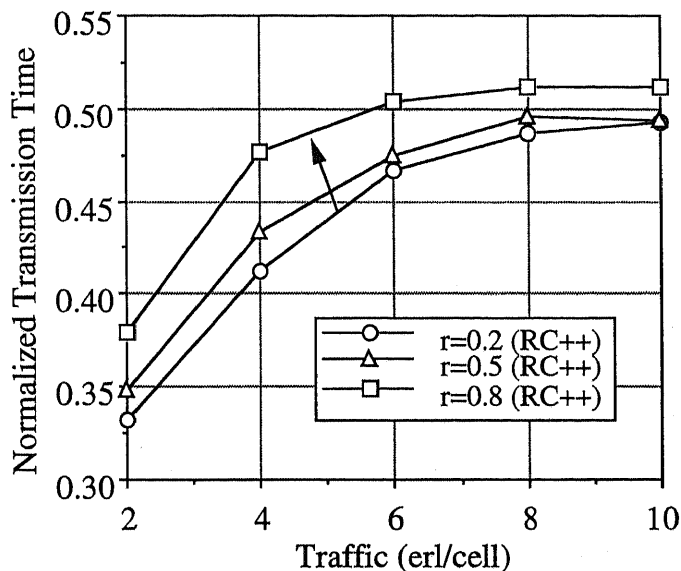


図 6.15: CBR トラヒック混在時の ABR パケット転送時間特性 ( $r$  可変)

### 6.3.3 CBR 転送モードと ABR 転送モードの比較

ここでは、基地局主導チャンネル割り当ての CBR モードと端末主導チャンネルアクセスの ABR モードのどちらでデータ伝送を行なう方が特になるかについて検討を行なう。ユーザ視点の評価尺度としては、課金形態などに依存するが、ここでは転送遅延時間、スループットで評価を行なう。

CBR モードと ABR モードで、同じ条件にするために CBR モードでは再接続の上限を設定しないで、呼損・強制切断が生じないようにする。同じデータサイズのファイル転送をするものとして、広帯域 CBR と ABR のスループット比較を行なう。シミュレーション条件は、表 6.1 のものを用いるが、1 フレームあたりのタイムスロット数を 6 とし、転送データサイズを 20kByte とした。

トラヒック  $a$  が 6, 10 (erl/cell) の場合の CBR と ABR の実効スループットを図 6.16 に示す。横軸は、広帯域 CBR の占有タイムスロット数を表す。このシミュレーションでは、ほぼ広帯域 CBR は占有タイムスロットに対してリニアにスループットが向上している。ABR トラヒックは転送データサイズの大きさによって異なっている。このため、トラヒックが 10 アーランなら CBR モードで 4 スロット以上、トラヒックが 6 アーランなら 5 スロット以上を要求

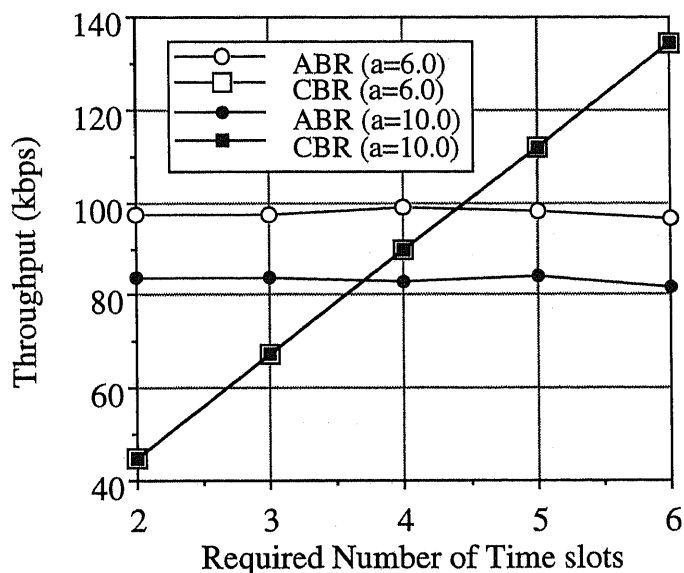


図 6.16: CBR と ABR の実効スループット比較

すれば ABR モードで送るよりも早く転送することができる。

次に、広帯域 CBR の占有スロット数を  $m = 3$ 、トラフィックを  $a = 6$  (erl/cell) に固定して、転送データサイズを変化させた場合の実効スループットを図 6.17 に示す。これによると ABR トラフィックはデータサイズが大きくなるにつれてスループットが大きくなるが、CBR トラフィックは ABR の干渉によって実効的にスループットが下がってしまうことがわかる。RC++ 方式の方が ARP に比べて、その劣化が少ないことがわかる。

結論として、大きな転送サイズのデータは ABR モードで送った方が干渉影響を受けることなく有利であることがいえる。しかし、これでは ABR モードですべてを統一した方がよいと考えるかもしれないが、リアルタイム性の必要な CBR トラフィックを考慮すれば Reserved Channel++ 方式による干渉管理が必要である。そこで、CBR の品質保証のために、ある程度の余裕を見越して ICMA アクセス制限をする必要がある。実現方法としては、広帯域 CBR のスループットや呼損率などを基地局で監視して、ある閾値を設定し、それ以上になったらアイドル状態のチャンネルでも使用中のビットを挿入する方法が考えられる。

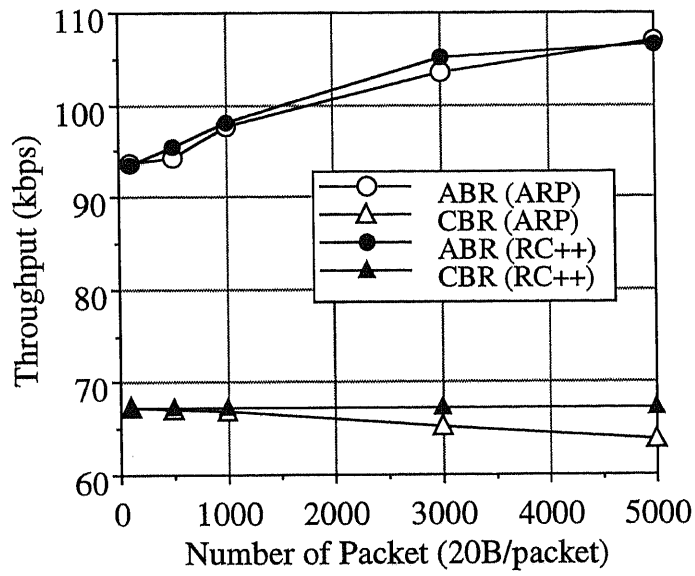


図 6.17: 転送データサイズの変化に対する実効スループット特性

## 第 7 章

### むすび

## 7.1 まとめ

マルチメディア移動体通信における多元トラヒック処理を考慮した自律分散ダイナミックチャンネル割り当て法の検討を行なった。

まず、従来方式を概観し、その問題点についてまとめた。

次に、多元トラヒック処理で広帯域呼と狭帯域呼でキャリアを共有した方式 (CS: Complete Sharing) と分離した方式 (CP: Complete Partitioning) の優劣について検討を行なった。定性的検討に加えてシミュレーションベースの定量的検討を行ない、さらに呼損率特性解析の数学モデルを提案し、これを用いることで CS 方式が CP 方式に比べてよい特性を示す領域を明らかにし、多元トラヒック処理のチャンネルの共有効果があることを確認した。

次に、CS 方式における問題として端数出線効果について述べ、この影響を少なくする Reserved Channel 方式を提案した。この方式は、自律分散型のダイナミックチャンネル割り当て (DCA) 法であり、Reuse Partitioning のようにセル繰り返し距離を用いずに実測 CIR によって割り当てを行う。端数出線効果をなくす工夫がなされているため、空間的周波数分割に加えて時間的周波数分割を実現するものである。計算機シミュレーションによって、この方式の有効性を確認した結果、次のような特徴を有することがわかった。

- 従来方式に比べてスループットにして 10% 程度向上し、多くのトラヒック収容能力がある
- 狭帯域呼の呼損と広帯域呼の呼損のバランスを少なくし、接続品質の公平性を保つ
- まとまったタイムスロットを残すため、イントラセルハンドオフ時においても不完了率を小さくすることができる

さらに、Reserved Channel 方式の改善としてマルチキャリア動作アルゴリズムや通信帯域幅を減らして接続する方法、呼の再配置接続を行う方法、N 回再接続する方法をあわせた Reserved Channel++ 方式を提案した。様々な条件での計算機シミュレーションを行なうことにより、Reserved Channel++ 方式は狭帯域呼と広帯域呼の接続品質の差を少くし、大きなトラヒック収容能力をもつ方式であることを確認した。

また、ハンドオフが頻繁に起きる環境では、呼の再配置接続や N 回再接続する手法が有効であることを確認した。トラヒックの組み合わせとして、再接続回数と所要 CIR をパラメータとしてシミュレーションを行なった。その結果として、広帯域呼でリアルタイム性を必要と

しないものは所要 CIR を小さく設定することによってスループットが大きくなることがわかった。リアルタイム性のある狭帯域呼とリアルタイム性のない広帯域呼の組み合わせが、リソース共有効果があることを示しており、このような環境ではデータリンク層での ARQ 再送プロトコルが有効である。

また、この方式を実現する問題として種々のトラヒックに対する対処方針を明らかにし、端末主導のランダムアクセスと併用した際の性能評価を行なった結果、提案した Reserved Channel++ 方式の特性劣化が少いことを明らかにした。

## 7.2 おわりに

本研究の今後の検討課題として、次のようなことがあげられる。

1. 移動特性と多元トラヒックの組合せに対して、この方式の振る舞いを定式化し、有効領域を明らかにする
2. マルチキャリア変調動作のための周波数シンセサイザの開発
3. CDMA 方式とオーバラップする場合の性能劣化に関する検討
4. 実装方式の検討
5. 提案方式が有効となるセル構成技術の検討

今後の移動体通信需要のマルチメディア化に伴って、ますます柔軟性と拡張性のある制御アルゴリズムの検討がなされるものと思われる。本研究では、従来の有線系における多元トラヒック処理の問題をベースとして、移動体特有の干渉条件を制約条件とした DCA アルゴリズムの検討を行なった。今後、この分野のさらなる発展を願いつつ本文を結ぶ。

## 謝辞

本論文の執筆にあたり、日頃から御指導・御鞭撻頂いた齊藤 忠夫教授・相田 仁助教授に深謝致します。また、本研究のきっかけを与えてくれアドバイスを頂いた父・兄、そして私をずっと支えてくれた家族にはいくら感謝しても足りません。

本研究を進めて行く上で多くの方から有意義なアドバイスや御支援を頂きました。簡単ではありますが、いろいろとお世話になりました次の方々に感謝の意を表したいと思います。

秋山 稔 教授	水澤 純一 氏	富山 忠宏 助手	千葉新吾技術官
篠崎 恭子 女史	芦川 みさき 女史	大江 寿美子 女史	島本さゆり 女史
Saadon Zokaei 氏	Onur Altintas 氏	Pisit Tantirodjanakitjakarn 氏	
Supot Tiarawut 氏	Vorawut Priwan 氏	小口 正人 氏	大野 隆一 氏
川合 史郎 氏	長澤 育範 氏	蔡 耀章 氏	増岡 義政 氏
金 炳錫 氏	藤田 博文 氏	寺西 祐人 氏	
青木 輝勝 氏	小島 章裕 氏	高橋 淳一 氏	箕浦 真 氏
柳 寅太 氏	日高 宗一郎 氏	森野 博章 氏	
大西広泰 氏	黒沢 崇宏 氏	小早川 知昭 氏	権 容徳 氏
高橋 由泰 氏	安田 忠彰 氏	山口 健一 氏	
Udomkiat Bunworasa 氏		Tredej Toranavikra 氏	
神戸 龍信 氏	奈川 英樹 氏	吉田 順一 氏	若狭 建 氏
中井 弘亮 氏	八木原 英之 氏	Pisai Setthawong 氏	Hahne Leam Minh 氏
研究生の皆様	卒論生の皆様	水澤特別研究室の皆様	
電気・電子情報・電子工学科教官の皆様		電気・電子情報・電子工学科事務室の皆様	
電気・電子情報・電子工学科秘書室の皆様		電気・電子情報・電子工学科図書室の皆様	



## 参考文献

- [1] 古川, 赤岩. 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. Technical Report RCS92-126, 信学技報, January 1993.
- [2] S.W.Halpern. Reuse partitioning in cellular systems. *33rd IEEE VTC*, pp. 322-327, May 1983.
- [3] 片岡, 三宅, 藤野. 基地局受信レベル情報を用いた自律分散ダイナミックチャンネル割り当て法. 信学技報 RCS93-70, 信学技報, November 1993.
- [4] 秋丸春夫, 川島幸之助. 情報通信トラヒック. 電気通信協会, 1990.
- [5] 奥村晴彦. C 言語によるアルゴリズム事典. 技術評論社, 1991.
- [6] R. Yuan H. Xie, P. Narasimhan and D. Raychaudhuri. Data link control protocols for wireless atm access channels. In *ICUPC'95*, pp. 753-757, November 1995.
- [7] Reiner Beck and Herbert Panzer. Strategies for handover and dynamic channel allocation in micro-cellular mobile radio systems. In *39th IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 1, pp. 178-185, 1989.
- [8] Iain Brodie. Performance of dynamic channel assignment techniques in a cellular environment. In *1992 IEEE International Conference on Selected Topics in wireless communications*, pp. 340-343, 1992.
- [9] Kazunori OKADA and Fumito KUBOTA. On dynamic channel assignment in cellular mobile radio systems. In *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 2, pp. 938-941, 1991.

- [10] 田島. デマンドアサイン無線通信システムにおける通信チャネル制御法. 電子情報通信学会誌 B-I, Vol. J71-B, No. 7, pp. 863-871, July 1988.
- [11] K.Okada. Application of information on speed and moving direction to a dynamic channel assignment strategy for microo cellular systems. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [12] K.Takeo, M.Nishino, Y.Amezawa, and S.Sato. Adaptive traffic contorol scheme for non-uniform traffic distribution in microcellular mobile communication systems. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [13] K.West G.L.Stuber. Aggressive dynamic channel assignment in microcellar networks. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [14] M.Frodigh. Performance analysis of power control supported dca-algorithms in certain microcellular radio systems. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [15] T.Le-Ngoc. Dynamic resource allocation schemes for multimedia satellite communications. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [16] B.Bout, D.Sparreboom, I.B.F.Brouwer, and R.Prasad. A mathematical model for dynamic channel selection in conformity with the digital european cordless telecommunications standard. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [17] I.F.B.Brouwer. Variation of dynamic channel allocation parameters in a simulated dect systems. In *PIMRC'93*, Yokohama, September 1993.
- [18] M.Sengoku, K.Nakano, S.Shinoda, Y.Yamaguchi, and T.Abe. Cellular mobile communication systems and a channel assignment using neural networks. In *IEEE 33rd Midwest Symposium on Circuits and Sustems*, Vol. 1, pp. 411-414, 1991.
- [19] Sanjay Dhandra and Surinder Kumar. Performance analysis of a thin cellular network using dynamic channel assignment. In *Wescanex'91*, pp. 321-325, 1991.
- [20] ウォリー H.W. タートルビー. ヨーロッパにおけるコードレステレコミュニケーション. オーム社, 1993.

- [21] 仙石, 中野, 嶋田. 移動体通信におけるダイナミックチャンネル割り当てとニューラルネットワーク. 電子情報通信学会誌, Vol. 77, No. 5, pp. 492-497, May 1994.
- [22] 佐藤, 原, 森永. マルチメディア無線通信システムにおける回線割り当て法. Technical Report RCS92-127, 信学技報, January 1993.
- [23] Alexander L. Wijesinha and Deepinder P. Sidhu. Call blocking probabilities for dynamic and fixed assignment of a single channel in a linear cellular array. *Journal of High Speed Networks* 5, pp. 35-51, January 1996.
- [24] Xiaoxin Qiu Vicoror O. K. Li. Personal communication systems (pcs). *Proc. IEEE*, Vol. 83, No. 9, September 1995.
- [25] N. Amitay. Distributed switching and control with fast resource assignment/handoff for personal communications systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 11, pp. 842-849, August 1993.
- [26] D. J. Goodman et al. Packet reservation multiple access for local wireless communications. *IEEE Trans. commun.*, Vol. 37, No. 8, pp. 885-890, August 1989.
- [27] David MacFarlane. Third generation mobile - umts and fplmts. *Telecom95*, Vol. 2, pp. 185-188, October 1995.
- [28] M. H. MacDougall 著, 小林訳. シミュレーションによるコンピュータ・システムの性能評価: テクニックとツール. 工学社, 1990.
- [29] 進士昌明. 移動通信. 丸善, 1989.
- [30] 横山光雄. 移動通信ネットワーク. 昭晃堂, 1993.
- [31] 奥村善久, 進士昌明監修. 移動通信の基礎. 電子情報通信学会 (コロナ社), 1986.

## 発表文献

- [1] 玉木, 相田, 齊藤, 「マルチキャリア TDMA 移動通信における多元トラヒックチャンネル割り当て法 Fraction 方式の検討」, 信学技報, RCS95-69, September, 1995
- [2] 玉木, 相田, 齊藤, 「移動体通信における多元トラヒックチャンネル割り当て法 Hacking 方式の検討」, 信学春季全国大会, B-351, March, 1996.
- [3] 玉木, 相田, 齊藤, 「呼の再配置接続を用いた多元トラヒックチャンネル割り当て法」, 信学秋季全国大会, B-380, September, 1996.
- [4] Tsuyoshi Tamaki, Hitoshi Aida, Tadao Saito, "A Proposal of Reserved Channel Dynamic Channel Assignment Algorithm for Multimedia Mobile Communication System", PIMRC'96, October, 1996.
- [5] Tsuyoshi Tamaki, Hitoshi Aida, Tadao Saito, "A Reserved Channel Scheme of Dynamic Channel Assignment for Multimedia Mobile Communication System" PWC96, December, 1996.
- [6] 齊藤, 相田, 玉木, 「多元トラヒック処理を考慮した自律分散ダイナミックチャンネル割り当て方式」, 信学論文誌, B-II, 1997.
- [7] 玉木, 相田, 齊藤, 「多元トラヒック DCA に対する ABR トラヒックの影響」, 信学春季全国大会, B-5-154, March, 1997.

その他の業績

- [A] 玉木, 相田, 齊藤, 「伝送コストモデルと最適ネットワーク設計の関係」, 信学春季全国大会, B-637, March, 1993.
- [B] 玉木, 相田, 齊藤, 「伝送コストの容量依存性とネットワーク構造」, 情報処理学会, 第 47 回全国大会, 4E-5, October, 1993.
- [C] 玉木, 三好, 相田, 齊藤, 「ネットワークコストの構造変化と信頼性」, 信学会秋季全国大会, B-694, September, 1994.
- [D] 友松, 玉木, 相田, 齊藤, 「ARP とダイナミック TDMA の組み合わせ方式の検討」, 信学春季全国大会, B-5-154, March, 1997.