OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	携帯電話端末の低消費電力化ならびに高機能化に関する研究
Author(s)	永田, 清人
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1764
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

携帯電話端末の低消費電力化ならびに高機能化に関する研究

2005年1月

永田　清人

謝辞

本論文は，大阪大学大学院工学研究科教授小牧省三博士ならびに大阪大学名誉教授・広島国際大学教授森永規彦博士の御指導の下に，筆者が大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻後期課程在学中に実施した研究成果をまとめたものである．本研究の遂行にあたり，懇篤なる御教示，御鞭撻を賜った小牧省三教授ならびに森永規彦教授に衷心より謝意の意を表する次第である．

本論文をまとめるに際し，関西学院大学理工学部教授多賀登喜雄博士ならびに大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻教授三瓶政一博士に懇切丁寧なる御教示，御助言を賜った．ここに深く感謝の意を表する次第である．

大阪大学大学院在学中より通信工学全般および本研究に関して御教示，御助言を賜った大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻教授 河崎善一郎博士，同 馬場口登博士，同 滝根哲哉博士ならびに大阪大学産業科学研究所教授元田浩博士，電子情報エネルギー工学専攻教授 北山研一博士，大阪大学名誉教授・中部大学教授 塩澤俊之博士の諸先生方に厚く感謝申し上げる．

また，研究推進にあたり御教示，御助言を賜ったNTT DoCoMo テクノロジ社長木下耕太博士，ならびに，研究途上において有益な御助言と御協力を頂いたNTT DoCoMo 坂井勉氏，古瀬正浩氏，渋谷彰氏，NTT DoCoMo 関西 毛利益忠氏に併せて深謝する．

内容梗概

本論文は，1982年から2004年にかけて大阪大学大学院工学研究科後期課程並びに入学以前に行った携帯電話端末の低消費電力化，高機能化に関する研究成果をまとめたものである．

携帯電話の普及には，携帯電話サービスのサービスエリアの広さと携帯電話端末の基本性能（大きさ，重さ，使用時間）が最も重要視される要素である．最近の例では，2001年にIMT-2000（W-CDMA）方式が導入されたが，基本性能を満足し，本格的に立ち上がるために約3年を要している．W-CDMA方式においては，従来の10倍以上のデータ伝送速度，TV電話という新規サービス機能を具備しているにも係らず，待受け時間が当初約50時間でありPDCの約400時間に比較し短いことが普及を遅らせた．このように，待受け時間は携帯電話の普及に必須の条件であり，待受け時の低消費電力化技術は携帯電話端末の普及にとって重要課題である．

また待受け時間が延び，携帯電話端末がいつでも携帯できる身近な物品となることにより，手帳などの人々が携帯する他の機能の取り込みが要望され，携帯電話端末の普及促進と高機能化の好循環をもたらしてきた．2004年10月現在，携帯電話利用者は8,940万人を超え，固定電話加入者数を大きく上回っている．また，音声通信のみならず，i-modeサービス等に代表されるように，携帯電話から容易にインタネット接続サービスが利用可能となっており，そのサービス内容も，静止画，動画，JAVAのダウンロード等，高度化も急速に進んできている．さらに，このようなマルチメディア機能の高機能化のみならず，利用場所に関する要望も高く，屋外，屋内，地下の公共空間及び家庭，オフィス等のプライベート空間での利用，さらにそれらの間のシームレスな利用が求められており，これを実現するためにも携帯電話端末の高機能化が求められている．

本論文は，携帯電話端末における重要技術である低消費電力化技術，高機能化技術についての筆者の研究成果をまとめ，以下の6章から構成する．

第1章は，序論であり，携帯電話分野の動向を述べるとともに，本論文に関する研究背景及び研究目的を明確にする．

第2章では，携帯電話端末における待受け時の低消費電力化技術として間欠受信制御方式及び間欠受信に適した受信レベル検出方式を提案し，その有効性について述べる．

間欠受信制御方式をNTTアナログ移動通信方式，NTT大容量アナログ移動通信方式について提案し，その効果を述べる．NTT大容量アナログシステムの待受け制御チャネルは，携帯電話端末で在圏する基地局エリアを判定するため各基地局が個別に送信するスロットと，着信制御ゾーン内複数基地局が共通に送信するスロットで構成されている．本章では，これを利用し在圏基地局に対応する個別送信スロットと共通送信スロットの受信レベル差により，基地局エリアの移行を検出するゾーン移行方式も併せて提案し，間欠受信に適していることを明らかにする．

また，待受け時に受信データ解析とともに処理負荷の重いのは受信レベルの検出である．本章では，デジタル信号処理を用いた処理負荷が小さく，間欠受信に適した受信レベル検出方式についても提案し，その特性を明らかにする．

第3章では，高機能化の一要素であるマルチメディアインタフェース技術について，IrDA（Infrared Data Association 規格　赤外線インタフェース）を携帯電話端末インタフェースに適用することを提案する．特にIrDAを介した音声伝送時に技術的課題となるリアルタイム伝送を可能とする音声伝送方式を提案し，その特性を明らかにする．また，本赤外線インタフェース技術により，車載電話機との接続機能，電話帳やスケジューラ等の手帳機能と融合した携帯電話端末間の情報転送，パソコン等情報機器との情報転送，携帯電話端末を無線モデムとして利用するデータ通信のためのパソコン等との接続機能が実現可能であることを明らかにする．

第4章では，他の高機能化の要素である携帯電話の利用空間の拡張技術として，携帯電話端末を屋外，屋内プライベート空間問わずに利用可能とする自律分散小型基地局オーバレイシステムを提案する．携帯電話端末をプライベート空間ではコードレス電話として利用できるコードレス親機相当を含めたシステム全体を，経済的に実現するために必要な技術について検討を加えた．ここで携帯電話端末側は，通常の携帯電話端末のソフトウ

エアのみを変更することにより機能を実現し,コスト増加を抑える.また,特に重要技術である利用周波数の自律周波数選択・干渉回避方式については,実験を実施し有効性を示す.実験は都心と郊外地で実施し,利用可能周波数選択動作の論理予測,利用可能周波数の理論計算値との比較を通して,技術の有効性を示す.

第5章では,データ系の公衆・プライベート空間のシームレス利用方式の一つである無線 LAN と携帯電話とのデュアルモード端末における待受け時低消費電力化を実現する制御方式を提案し,その特性を解析し有効性を明らかにする.

近年,企業内への無線 LAN,IP-PBX の導入拡大に伴い,無線 LAN デュアルモード携帯電話端末の実現に対してのビジネスユーザ要望が高まっている.オフィス内では無線 LAN 上のデータ通信,VoIP による音声通信を利用し,オフィス外ではセルラ公衆通信による音声通信,i-mode 等のインタネット接続上の SSL 利用によるデータ通信を利用する形態である.本デュアル端末は,家庭内 ADSL 等のブロードバンドサービスの VoIP の無線 LAN を用いたコードレス電話としての利用,ホットスポット公衆無線 LAN 端末としての利用も可能である.

本デュアル端末の待受け動作では,携帯電話番号への着信,PBX 内線番号への着信を同時に待受ける必要があること及び無線 LAN エリア,携帯電話エリアの自動捕捉のため,携帯電話受信部と無線 LAN 受信部の電源を効率的に ON とする必要がある.両受信部を常時 ON とした場合,携帯電話端末の普及の最低条件である待受け時間の確保が困難である.このため,本章では移動速度と無線 LAN エリア圏内/圏外,携帯電話エリア圏外/圏内情報を利用した低消費電力待受け制御方式を提案し,その低消費電力効果と着信劣化率の改善効果を明らかにする.

第6章では,今後のマルチメディア化する携帯電話端末の課題と展望について述べるとともに本研究成果の寄与について考察する.

目　次

第 1 章　序論　1

第 2 章　携帯電話端末の低消費電力技術　13

2.1　序言　13

2.2　大容量アナログ移動通信方式用移動機ハード構成　14

2.3　アナログ移動通信方式制御チャネル構成と間欠受信制御方式　15

2.4　大容量アナログ移動通信方式制御チャネル構成　17

2.5　間欠受信と待受け制御動作　18

2.5.1　着信制御ゾーン選択　19

2.5.2　発信制御ゾーン選択（MBS ゾーン選択）　20

2.5.3　着信制御ゾーン移行監視　20

2.5.4　発信制御ゾーン移行監視（MBS ゾーン移行監視）　21

2.5.5　間欠受信アルゴリズム　24

2.6　間欠受信効果　24

2.6.1　アナログ移動通信方式待受け時間延長効果　25

2.6.2　大容量アナログ移動通信方式待受け時間延長効果　27

2.6.3　間欠受信方式の適用例　30

2.7　受信レベル検出方式　34

2.7.1　受信レベル中央値検出回路構成と基本動作　34

2.7.2　実験結果　36

2.7.3　応答速度改善(高速型)方式の回路構成と基本動作　38

2.7.4　改善効果　42

2.8　結言　44

第 3 章　携帯電話端末赤外線インタフェース　47

3.1　序言　47

3.2　携帯電話における赤外線利用形態と要求条件　48

3.3　携帯電話向け赤外線インタフェース標準 IrMC　49

3.4　音声伝送方式　53

3.4.1 プロトコルスタック 54
3.4.2 伝送方式 55
3.4.3 音声伝送品質 57
3.5 IrMC の適用例と普及状況 58
3.6 結言 60

第 4 章 自律分散小型基地局オーバレイシステム 63
4.1 序言 63
4.2 自律分散小型基地局によるオーバレイシステム 64
4.3 周辺情報自動生成方式 65
4.4 周波数誤差補正方式 69
4.5 遠隔監視制御方式 73
4.6 自律周波数選択・干渉回避方式 75
4.7 オーバレイシステムの選択可能周波数の数 79
4.7.1 市街地モデル 79
4.7.2 郊外地モデル 85
4.8 自律周波数選択・干渉回避方式の実験 87
4.8.1 実験結果と考察（市街地） 88
4.8.2 実験結果と考察（郊外地） 92
4.9 結言 94

第 5 章 無線 LAN デュアル端末の待受け低消費電力制御方式 95
5.1 序言 95
5.2 提案アルゴリズム 96
5.3 シミュレーション結果 101
5.3.1 低消費電力効果 101
5.3.2 着信率低減防止効果 104
5.4 結言 106
第 6 章 結論 109

参考文献 113
本論文に関する原著論文 117

図表目次

第 1 章

図 1-1 移動体通信方式の世代推移 2
図 1-2 日本の移動体通信サービス加入者 2
図 1-3 世界の携帯電話加入者数の推移 4
図 1-4 日本市場の先進性 4
図 1-5 日本の無線 LAN 機器市場予測 9
図 1-6 日本の IP 電話，IP-PBX 市場予測 9

第 2 章

図 2-1 大容量方式用移動機の構成 14
図 2-2 アナログ方式着信制御チャネル構成 16
図 2-3 アナログ方式間欠受信タイミング 16
図 2-4 移動通信システム制御エリア構成 18
図 2-5 着信制御チャネル構成と間欠受信タイミング 22
図 2-6 ゾーン境界レベルとゾーン移行判定法 22
図 2-7 ゾーン判定方式概要 23
図 2-8 動作確認結果 24
表 2-1 各記号の定義 26
図 2-9 間欠受信効果(アナログ方式) 27
図 2-10 間欠受信時の電源 ON/OFF タイミング 28
図 2-11 間欠受信効果(大容量アナログ方式) 29
図 2-12 間欠受信電流波形 31
図 2-13 アナログショルダーホン 32
図 2-14 アナログ携帯電話 32
図 2-15 デジタル携帯電話端末間欠受信波形 33
図 2-16 デジタル携帯電話 33
図 2-17 DSP 技術を用いた受信レベル中央値検出回路 35
図 2-18 ステップ入力に対する応答波形 36

図 2-19 受信レベル中央値の標準偏差 37
図 2-20 実験結果 38
図 2-21 高速型受信レベル中央値検出回路 39
図 2-22 比較器特性 39
図 2-23 フローチャート 40
図 2-24 ステップ応答波形 42
図 2-25 改善比 43
図 2-26 分散特性(中央値標準差) 44

第 3 章

図 3-1 携帯電話への赤外線通信の利用 48
図 3-2 移動通信端末における赤外線インタフェース利用形態 49
図 3-3 IrMC 規格におけるプロトコル構成 50
図 3-4 vCard による電話帳構成 52
図 3-5 vMessage 構成 52
図 3-6 IrDA プロトコルスタック 54
図 3-7 フレーム構成 54
図 3-8 ベーシックタイプの正常系手順 56
図 3-9 不快度 vs エラー間隔 58
図 3-10 赤外線付携帯電話端末の伸び(NTTDoCoMo) 59
図 3-11 日本のポケットベル加入者数の推移 60

第 4 章

図 4-1 小型基地局 BS オーバレイシステム概念図 65
図 4-2 従来セルラシステム周辺情報設定方式 66
図 4-3 BS エリア図 66
表 4-1 機能分担案比較 67
図 4-4 自動設定方式アルゴリズム 68
図 4-5 従来の基準周波数分配方式 70
図 4-6 各種周波数補正方式 70

図 4-7　他 BS 送信波直接環境受信不可　71
図 4-8　妨害波受信環境　71
表 4-2　方式比較　72
図 4-9　利用停止方式　74
図 4-10 通信規制通知アルゴリズム　75
図 4-11 自律周波数選択・干渉検出アルゴリズム　77
図 4-12 測定環境概念図　77
図 4-13 市街地セルラシステムモデル：3 セクタ 7 セル　80
図 4-14 セルラ基地局受信アンテナ指向特性　81
図 4-15 希望波／干渉波の関係　82
図 4-16 干渉源 PS の各セクタ設置代表点例　83
図 4-17 干渉しきい値と利用可能周波数率の関係　84
図 4-18 郊外地モデル：3 セクタ 19 セルモデル　86
図 4-19 しきい値と利用可能周波数の関係　86
図 4-20 自律周波数選択機能により使用可能周波数が精査されていくデル　87
図 4-21 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内見通し良好地点,平日)　88
図 4-22 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内見通し良好地点,週末)　89
図 4-23 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内オフィス内,平日)　89
図 4-24 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内半地下オフィス内,平日)　90
図 4-25 自律周波数選択・干渉検出実験結果(郊外,その 1)　93
図 4-26 自律周波数選択・干渉検出実験結果(郊外,その 2)　93

第 5 章

図 5-1　携帯電話／W-LAN エリアでの共用端末待受け概念図　97
図 5-2　Dual モード携帯電話端末受信部構成　98

表 5-1　無線受信部制御一覧　100
表 5-2　消費電力スペック値　101
表 5-3　エリア数値化モデル　102
表 5-4　移動速度の数値化モデル　103
図 5-3　提案アルゴリズムによる消費電力低減　104
図 5-4　着信率算出エリアモデル　105
図 5-5　着信率　106

第1章　序論

近年，携帯電話の普及はめざましく，2004年10月現在，携帯電話利用者は8,940万人を超え，固定電話加入者数を大きく上回っている[1]．また，音声通信のみならず，i-modeサービス等に代表されるように，携帯電話から容易にインタネット接続サービスが利用可能となっており，そのサービス内容も，静止画，動画，JAVAのダウンロード等，高機能化も急速に進んできている．最近では，携帯電話からのインタネット接続サービス利用者は，2004年10月現在7,270万を超え，固定通信からのインタネット利用者数を大幅に上回っている[1]．

携帯電話端末の2003年度の販売台数は2,594万台[2]であり，サービスの高度化とともに，携帯電話端末も買替えが進んでおり，サービスの高度化と携帯電話端末の高度化の好循環が継続されている．図1-1に移動体通信方式の世代を，図1-2に日本の移動体通信サービス加入者の伸びと各方式の導入時期を示す[2] [3] [4]．　日本の移動体通信サービスは，世界に先駆け1979年12月に自動車電話としてサービスを開始した．1993年には第2世代の移動体通信システムとして，デジタル方式PDC（Personal Digital Cellular）が導入され，2001年にはIMT－2000 (International Mobile Telecommunication 2000)方式の一つである W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)方式を用いた第3世代移動体通信システムが世界初の本格商用システムとして導入された．また1999年にはi-modeサービスという名称で，PDCパケットシステムを利用した携帯電話からインタネット接続できる本格サービスとして世界に先駆けてサービスが開始された．このように，日本は移動体通信の市場，技術をリードし続けてきている．

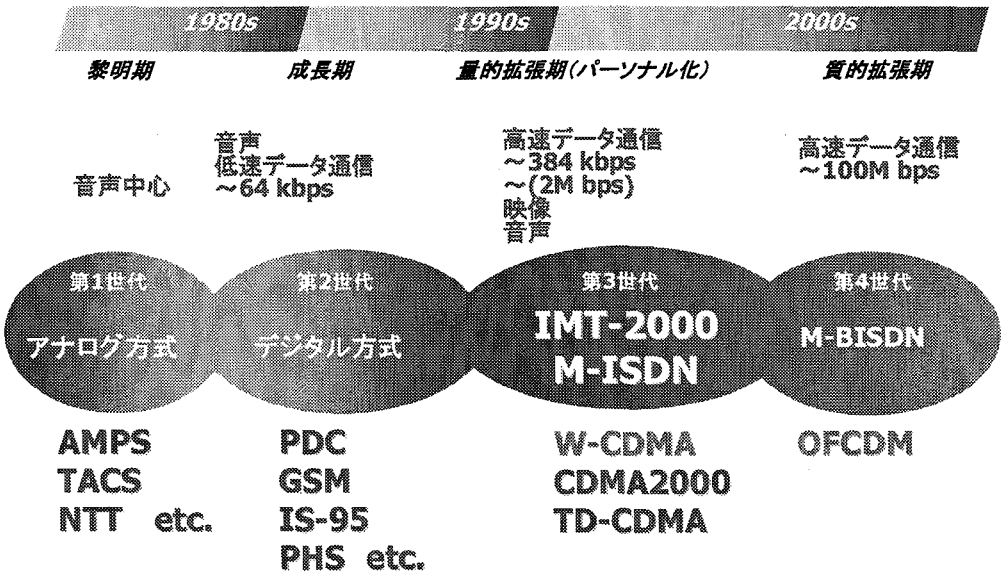


図1-1 移動体通信方式の世代推移

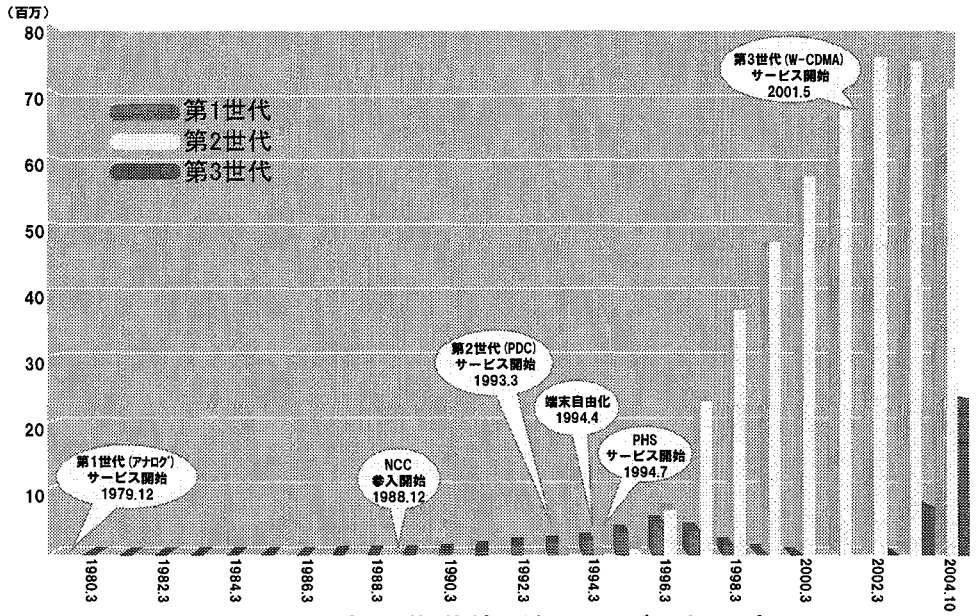


図1-2 日本の移動体通信サービス加入者

また，世界の携帯電話市場は図 1-3 に示すように 2003 年末現在で 15 億加入となっており，年 2 億加入以上の急激な成長を示している．また携帯電話の販売台数は 5 億台と非常に大きい市場を形成している．移動通信の世界市場の中の日本の位置づけは，携帯電話の利用者数から考えれば 6%程度，携帯電話端末の販売数から考えれば 10%程度であり，現在，今後の技術，市場への影響力がそれほど大きくないのではないかとの意見もある．しかしながら図 1-4 に示すように，インタネット接続可能な携帯電話の普及率（2004 年 4 月現在 85%以上），カメラを具備した携帯電話の普及率（2004 年 4 月現在 60%以上）が，世界の他の地域より 2 年以上速く進んでいることを考えれば，新規サービス，技術をこれまでと同様生み続けることにより，日本市場・技術の影響力，位置づけは，IMT-2000 の普及拡大とともに高くなると考えられる．

携帯電話の普及には，携帯電話サービスのエリアの広さと携帯電話端末の基本性能（大きさ，重さ，使用時間）がサービス性等よりも大きな役割を占める．このことは，図 1-2 に示すように 1993 年の第 2 世代である PDC 方式の導入当初，第 1 世代であるアナログシステムとの比較においてエリアが小さい及び携帯電話端末が大きいことが支障となり，サービス立ち上がりに約 2 年を要していること，及び 2001 年の IMT-2000（W-CDMA）方式導入当初に同様に立ち上がりに約 3 年を要している（試験サービス 2001 年 5 月開始．200 万台加入突破 2004 年 2 月．700 万加入突破 2004 年 10 月）ことで理解できる．特に W-CDMA 方式においては，10 倍以上のデータ伝送速度機能（PDC 28.8kbps, W-CDMA 384kbps），TV 電話という新規サービス機能を新方式が具備しているにも係らず，待受け時間が 50 時間と PDC の 400 時間と比較し短いため普及を遅らせた．このように，待受け時間は携帯電話の普及に必須の条件であり，待受け時の低消費電力化技術は携帯電話端末の普及にとって重要課題である．

また待受け時間が延び，携帯電話端末がいつでも携帯できる身近な物品となることにより，手帳などの人々が携帯する他の携帯品の機能の取り込みが要望され，携帯電話端末の普及促進と高機能化の好循環をもたらしてきた．また，音声通信ばかりでなく，i-mode サービス等に代表されるよう

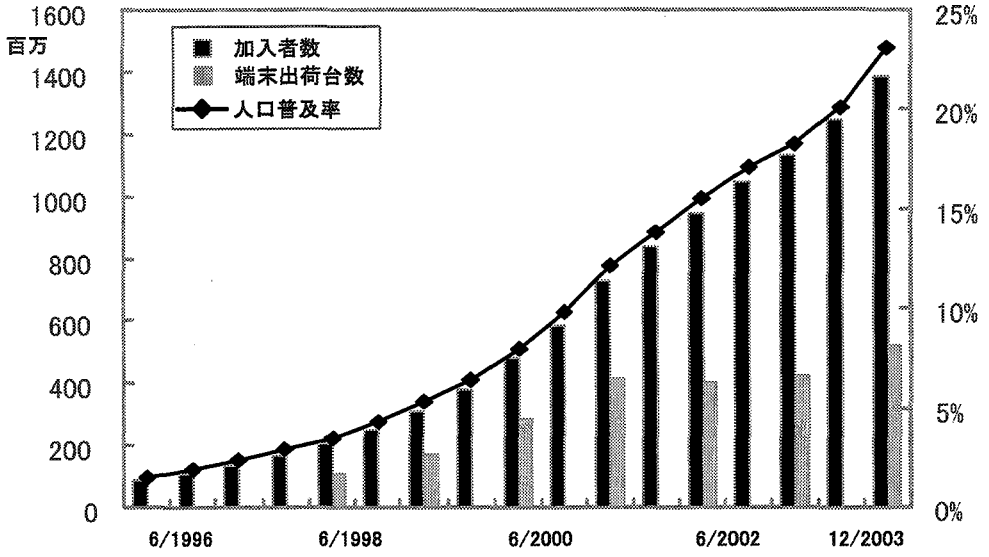
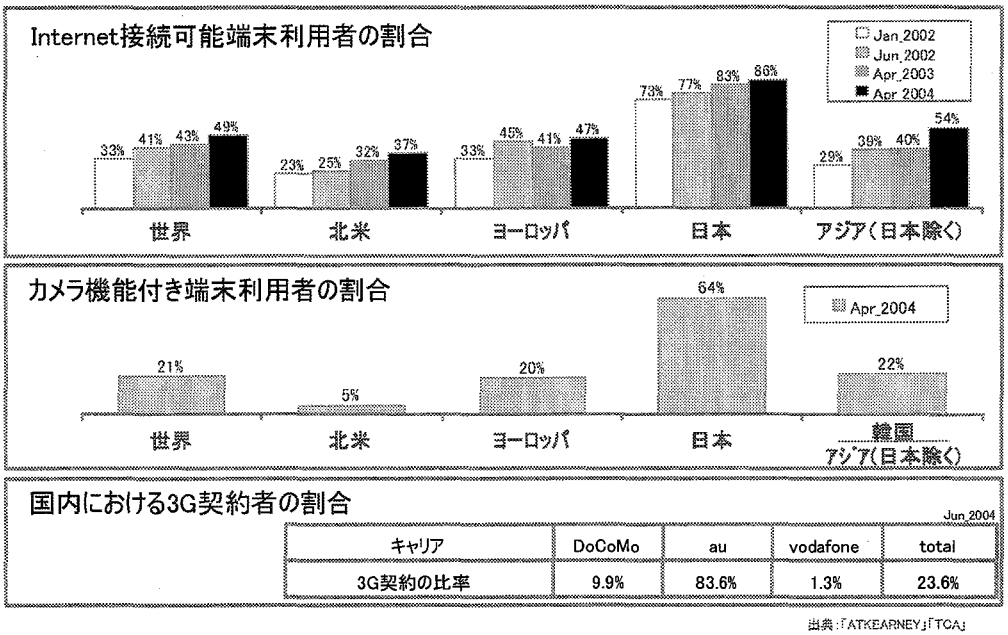


図1-3 世界の携帯電話加入者数の推移

出典：「World Cellular Information」「Gartner」



出典：「ATKEARNEY」「TCA」

図1-4日本市場の先進性

に，携帯電話から容易にインタネット接続サービスが利用可能となっており，そのサービス内容も，静止画，動画，JAVA のダウンロード等，高度化も急速に進んできている[3] [5] [6]．これに対応して携帯電話端末の機能も，まず手帳機能の取り込み，その後データ通信を目的としたパソコン等外部機器との接続機能，さらに近年ではインタネット接続機能，コンテンツダウンロード機能，JAVA プログラム実行機能，静止画撮影機能，動画録画再生機能，音楽再生機能，ＴＶ電話機能等の数年前のパソコン機能，ビデオ，デジタルカメラまでもを取り込むことが要求されている．

さらに，このようなマルチメディア機能の高機能化のみではなく，利用場所に関する要望も高く，屋外，屋内，地下の公共空間及び家庭，オフィス等のプライベート空間での利用，さらにそれら間のシームレスな利用が求められており，これを実現するためにも携帯電話端末の高機能化が求められている[7]．

以上述べたように，携帯電話端末の普及のため携帯電話端末の低消費電力化技術，高機能化技術が非常に重要である．そこで本論文では，まず低消費電力技術を取り上げ，アナログ携帯電話端末待受け時の低消費電力技術としての間欠受信制御方式について検討を加える．携帯電話端末の低消費電力技術としては，回路の低消費電力技術と間欠動作等制御技術が考えられる．さらに制御技術は，VOX（Voice Operated Transmission），送信電力制御等の送信系制御技術と間欠受信等の受信系制御技術に分類できる．本論文では，携帯電話端末の待受け時間延長に重要である間欠受信制御技術について， NTT アナログ移動通信方式，NTT 大容量アナログ移動通信方式を対象として，効果を検証する．携帯電話端末では，着信，発信の制御ゾーンの移行を検出する必要性がありこの間は間欠受信を適用できない．この時間をいかに短くするかは間欠受信制御の中で重要な要素である．特に NTT 大容量アナログ移動通信方式では，待受け制御チャネル内には，各基地局が共通に送信するスロットと個別送信するスロットがあり，個別送信スロットの受信レベル強度によりどの基地局エリアに在圏しているかを携帯電話端末側で判断する必要がある．これは，発信、着信時のゾーン判定の精度を向上できシステム容量を増加できる長所が存在する一方，制御

ゾーンが各基地局単位となりゾーン移行発生有無確認のための連続受信を頻繁に行う必要が生じる欠点が存在する．本論文では、在圏基地局に対応する個別送信スロットと共通送信スロットの受信レベル差により，基地局エリアの移行を検出するゾーン移行方式を提案し，ゾーン移行確認のための連続受信時間比率を下げ間欠受信効果の維持が可能であることを明らかにする．また，間欠受信時の必須処理は受信データ解析と受信レベル検出動作である．間欠受信に適したレベル検出回路を本論文では検討し，デジタル信号処理を用いた検出回路を提案しその特性について明らかにする．

次に，本論文では携帯電話端末の高機能化の中のマルチメディア化技術について取り上げ，携帯電話端末インタフェースにマルチメディアインタフェース技術の一つである赤外線インタフェース IrDA（Infrared Data Association 規格[8]）を適用することを提案する．携帯電話端末はその普及とともに，まず時計機能と手帳機能が携帯電話端末に融合された．1990年代前半には，携帯電話端末内電話帳データは数百件となりそのデータの交換・複製・移動は重要な課題となっていた．このデータ交換は，パソコン・PDA と携帯電話端末間だけではなく，携帯電話端末間及び 1990 年代当時携帯電話端末よりも加入者数の多いポケットベルとのデータ交換も必要と考えられた．また，1993 年の第 2 世代のデジタル移動通信サービス（PDC）がデータ通信を 2.4kbps と低速ながらもサービス開始したため，本格的なモバイルコンピューティングが開始された[4] [9]．このため，携帯電話端末を無線データモデムとして簡易にパソコン・PDA に接続できる技術が求められた．携帯電話端末の小型化は 1990 年代に急速に進展しケーブルを接続する物理的コネクタは，相対的に大きくなっており物理コネクタに代わる小型で安価なインタフェースが求められていた[10]．一方，1990年代ほとんどのハンドヘルドパソコンとPDAにはIrDAインタフェースが既に標準搭載されていた．また，一部のポケットベルにも小型化のため赤外インタフェースを搭載する動きもあった．このような環境下で，携帯電話端末内データの交換，パソコン・PDA との無線モデムとしての接続，ポケットベル等簡易機器とのデータ交換を実現できる赤外線インタフェースの技術規格が求められていた．このため，IrDA で上述した技術の世界標

準化に向け積極的に標準化活動を実施し，1997 年 10 月に IrMC（Ir Mobile Communication）として標準化された[8]．本論文では，その標準の基礎となった技術内容について述べるとともにその特性を明らかにする．

また，1990 年代携帯電話端末の普及に伴い車の中の音声通信は、車専用のセルラ無線機とハンドセットを設置するという形態から，携帯電話端末と車載ハンズフリーキットをケーブルで接続するという形態に変化してきた．従って，携帯電話端末の物理コネクタを小型化・利便性確保に向けて赤外線（IrDA）インタフェースに置き換えるには，車での利用形態の実現が求められた．本論文では音声伝送時に技術的課題であるリアルタイム伝送を可能とする音声伝送方式を提案し，実験的検討を加え実施その特性を明らかにする．なお，この音声伝送方式は，IrMC の中で標準化技術として採用されている．

次に，本論文では，携帯電話の高機能化の別の側面である利用形態高度化実現技術を取り上げ，プライベート（コードレス）空間と公衆通信空間とのシームレスな利用を実現する技術について述べる．携帯電話端末の普及にともないユーザからの携帯電話の利用場所への要望が多様化してきている．その一つとしてプライベート（コードレス）空間と公衆通信空間とのシームレスな携帯電話の利用が切望されている．データ系では，無線 LAN の公衆・プライベート利用という形態での実現が進展中であるが，音声系を中心としたより多くのユーザへの解決策が望まれている．プライベート空間と公衆通信空間のシームレス利用環境提供を実現する手段としては，以下の 3 つの方式が想定される．

①デュアルモード携帯電話端末方式：公衆通信用システムとプライベートシステム用の通信機能を 1 つの携帯電話に持たせる．

②プライベート用専用周波数割り当て方式：公衆通信システムで利用可能な周波数帯域内にプライベート専用周波数帯を割り当てる．

③小型基地局による公衆システムへのオーバレイ方式：プライベート専用周波数帯を割り当てる代りに，公衆通信システムで利用している周波数から公衆システムに干渉を与えない周波数を選択し，小型基地局で利用する．

上記①での実現では，携帯電話コストも大幅に高くなる上，周波数がプライベート用に必要であり，また②ではそれだけ公衆通信用の周波数が減少し加入者容量に大きく影響を及ぼす．これに対して，③では，通常の携帯電話を利用でき，携帯電話コスト増とならない上に，特別な周波数を必要としないことから周波数有効利用に供することが可能である．そこで，本論文では，プライベート空間と公衆通信空間のシームレスの利用環境提供の実現手段として，小型基地局を従来システムにオーバレスするシステムを提案し，その実現技術としての携帯電話端末制御方式について検討を加える．

方式実現のためには，通常の携帯電話が利用できるプライベート利用可能な低コスト・簡易設置・周波数有効利用の小型基地局，およびシステムを実現することが必要となる．本論文では，このシステム実現に必要な主要技術を検討し，この中でも周辺情報自動生成方式，周波数誤差補正方式，遠隔監視制御方式，自律周波数選択・干渉回避方式について，提案する．また，特に重要である自律周波数選択・干渉回避方式については，公衆用に利用されている周波数の中から，公衆システムに実質的に干渉を与えない周波数を自律的に選択する技術が不可欠である．既に，アナログ携帯電話システム AMPS（Advanced Mobile Phone System）を対象として，Cellular Auxiliary Service として実用化もされているが[11]，当該方式では，周波数選択専用小型基地局が必要，かつ周波数選択における干渉検出能力が十分ではないなどの問題点がある．本論文では，デジタル方式携帯電話システムを対象とし，周波数選択技術として，携帯電話の周波数選択・受信電波強度測定機能を積極的に利用し，干渉検出性能を高めた方式を提案する．また，現在国内において最も利用者数の多い携帯電話システムである PDC システム[12]を例にとり，本提案方式について，実験によりその有効性を確認する．

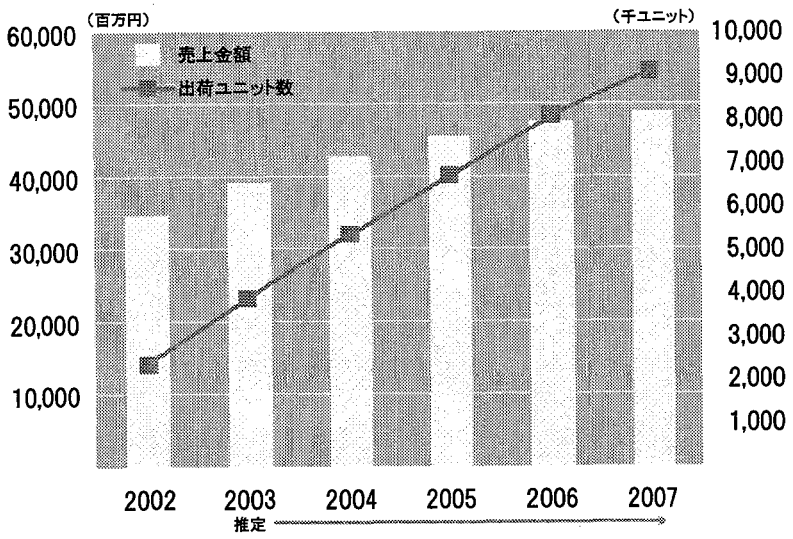


図1-5 日本の無線LAN機器市場予測

出所:IDC Japan

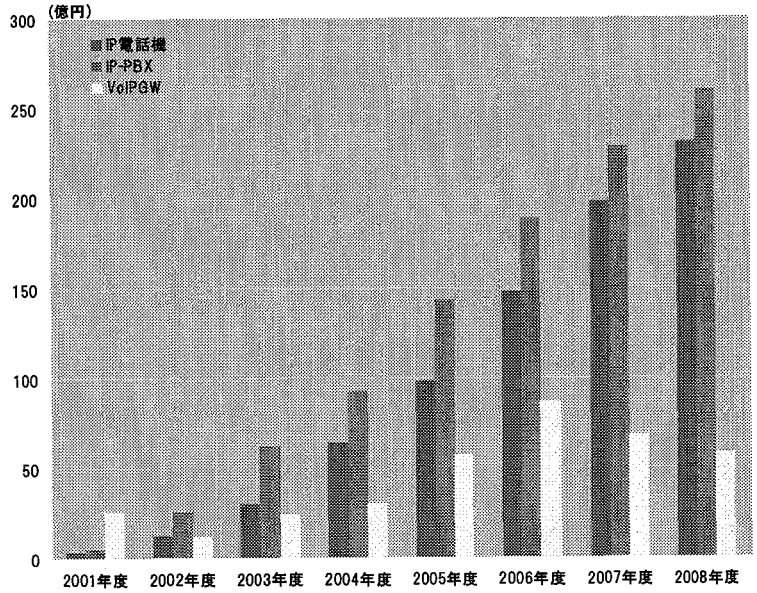


図1-6 日本のIP電話, IP－PBX市場予測

出所:情報通信ネットワーク産業協会

最後に，本論文ではマルチメディア化と利用空間高度化を同時に実現する携帯電話端末として最近注目を集めている無線 LAN と携帯電話のデュアル端末を取り上げ,その待受け時の低消費電力制御技術について述べる．近年急速に企業から，音声およびデータ系でのオフィス内空間，公衆通信空間のシームレスな利用要望が出現してきた[7]．企業からの要求は，ひとつの端末でオフィス内の電話及びオフィス外では公衆セルラ端末として利用したい，あわせてオフィス内にいるときの通信料金は低額（可能であれば無料）であってほしいというものである．オフィス内の通信料金は，PBX や端末等の企業内通信システム機器投資原価償却費やランニングコストと同等以下という要求である．この要求に対して，小型交換機及び小型セルラ基地局のオフィスへの導入とオフィス内通信に対する格安通信料金提供や，IP-PBX 導入オフィスへの無線 LAN とセルラ携帯電話のデュアルモード携帯電話端末の提供が，実現解として提示されている[5] [3]．特に，企業内への無線 LAN，IP-PBX の導入拡大に伴い，デュアルモード携帯電話端末の実現に対してのビジネスユーザ要望が強くなっている．無線 LAN 機器の市場拡大模様を図 1-5 に IP 電話・IP-PBX の国内市場予測を図 1-6 に示す．[2] [13] 図 1-5，図 1-6 より無線 LAN 市場および IP 電話市場は着実に伸びると考えられる．従って，無線 LAN チップのコスト低減加速，IP-PBX のオフィスへの導入加速，家庭内への IP 電話と無線 LAN の普及が促進され、無線 LAN と携帯電話のデュアル端末の市場規模は前述の企業要望への対応にむけた導入を皮切りに、家庭へも広がり相当大きくなると予測できる。企業での本デュアル端末の利用形態としては，オフィス内では無線 LAN 上のデータ通信，無線 LAN を利用した VoIP による音声通信を利用し，オフィスの外ではセルラ公衆通信による音声通信，i-mode 等のインタネット SSL 利用を用いたイントラ接続によるデータ通信を利用する形態となる．また，本デュアル端末は家庭内 ADSL 等のブロードバンドサービスの VoIP の無線 LAN を用いたコードレス電話としての利用，ホットスポット公衆無線 LAN 端末としての利用も可能である．そこで本論文では，携帯電話端末の普及の最低条件である待受け時間の確保のため，無線 LAN とのデュアルモード携帯電話端末における待受け時低消費電力化制御方式

を提案し，その有効性を明らかにする．

本論文は，上述した携帯電話端末における重要技術である低消費電力化技術，高機能化技術について全6章から構成されており第2章から第6章までの概要を以下に述べる．

第2章では，携帯電話端末における待受け時の低消費電力化技術として間欠受信制御方式及び間欠受信に適した受信レベル検出方式を提案し，その有効性について明らかにする．

第3章では，IrDAを携帯電話端末インタフェースに適用することを提案する．特に音声伝送時に技術的課題であるリアルタイム伝送を可能とする音声伝送方式を提案し，その特性について明らかにする．また，本赤外線インタフェース技術により，車載電話機との接続機能，手帳機能との融合（電話帳，スケジューラ機能の搭載），携帯電話端末間の情報転送，パソコン等情報機器との情報転送，携帯電話端末を無線モデムとして利用するデータ通信のためのパソコン等との接続機能を実現可能であることを示す．

第4章では，携帯電話の利用空間の拡張技術として，携帯電話端末を屋外，屋内プライベート空間問わずに利用可能とする自律分散小型基地局オーバレイシステムを提案する．携帯電話端末をプライベート空間ではコードレス電話として利用できるコードレス親機相当を含めたシステム全体を，経済的に実現するために必要な技術について述べる．ここで携帯電話端末側は，ソフトウエア変更のみによりシステム構成機能を実現し，コスト増加を抑える．また，特に重要技術である利用周波数の自律周波数選択・干渉回避方式については，実験を実施し有効性を示す．実験は都心と郊外地で実施し，利用可能周波数選択動作の論理予測，利用可能周波数の理論計算値との比較を通して，技術の有効性を明らかにする．

第5章では，　無線LANとのデュアルモード携帯電話端末における待受け時低消費電力化を実現する制御方式を提案し，その有効性について述べる．本デュアル端末の待受け動作では，携帯電話番号への着信，プライベート空間電話番号（PBX内線番号又は，家庭IP電話番号）への着信を同時に待受ける必要があること及び無線LANエリア，携帯電話エリアの自動捕捉のため，携帯電話受信部と無線LAN受信部の電源を効率的にONとす

る必要がある．両受信部を常時 ON とすることは，携帯電話端末の普及の最低条件である待受け時間の確保ができない．このため，本章では移動速度と無線 LAN エリア圏内/圏外，携帯電話エリア圏外/圏内情報を利用した低消費電力待受け制御方式を提案し，その低消費電力効果と着信劣化率の改善効果を
明らかにする．

第 6 章では，今後のマルチメディア化する携帯電話端末の課題と展望について述べるとともに本研究成果の寄与について考察する．

第2章　携帯電話端末の低消費電力技術

2．1　序言

低消費電力化は，第1章で述べたとおりサービスエリアの拡大とともに携帯電話端末の普及にとって重要な課題である．携帯電話端末の低消費電力技術としては，回路の低消費電力技術と間欠動作等制御技術が考えられる．さらに制御技術は，VOX（Voice Operated Transmission），送信電力制御等の送信系制御技術と間欠受信等の受信系制御技術に分類できる．

日本での移動体通信サービスは1979年12月に自動車電話サービスとして開始された．1980年代中頃には自動車電話サービス普及が進み，移動機に対しての小型・携帯化の要望が強くなっていた．NTT大容量アナログ移動通信方式[14]は，移動機の低消費電力のために自局への着信情報を待受けている待受け状態において間欠受信を移動機に適用するべく方式設計され，1988年5月に導入された．ここで，間欠受信を採用する理由として，NTT 大容量アナログ移動通信方式用着脱形／携帯形移動機では携帯モードでの使用時間の目標値を送信 30 分＋待受け 8 時間[14]としており受信のみを行っている時間が当時としては非常に長いことが揚げられる．

ただし，NTT大容量アナログ移動通信方式エリアは都会部のみに展開されたため，本移動機は 1979 年から既にサービスされており，間欠受信を前提とはしていない NTT アナログ移動通信方式にも接続可能でなければならなかった．

以上を踏まえて，本章では，NTT 大容量アナログ移動通信方式と NTT 移動通信方式の両方式で利用可能な端末における待受け時の間欠受信方式，NTT 大容量アナログ移動通信方式下での間欠受信に適した無線ゾーン移行検出方式，および間欠受信に適したレベル検出方式を提案し，これらが通話時間及び待受け時間を長くするために有効であることを明らかにする．

２．２ 大容量アナログ移動通信方式用移動機ハード構成

図 2-1 に大容量アナログ移動通信方式用移動機の構成を示す．ここで，低消費電力化のため送信系については立ち上がりの特性の改善が行われており，待受け時には送信系の全系を電源断とできる．移動機各部について，常時電源を ON の状態としておかなければならない部分，間欠的な動作が可能な部分，送信時のみ電源を ON すればよい部分に分け，図 2-1 中に明示した．各々の部分は，間欠受信のタイミングを制御する制御部の一部，受信部＋制御部，送信部にほぼ対応する．

間欠受信を可能とするため，変調器[15]，周波数シンセサイザ[33]の立ち上がり特性改善が行われ，間欠受信時の信号信頼度についても連続受信時と同等であることが確認されている[17]．総合的な受信部の全系電源投入からの安定化時間を 50msec 程度に実現可能である．

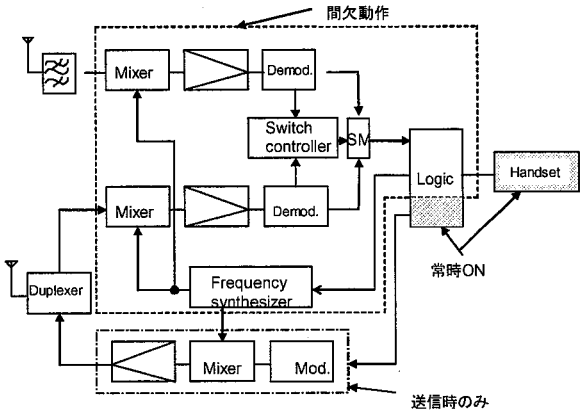
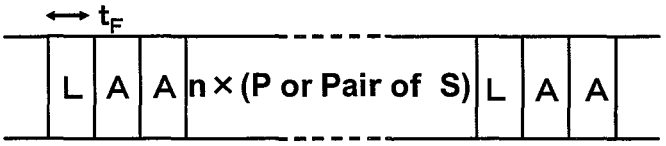


図2-1 大容量方式用移動機の構成

２．３　アナログ移動通信方式制御チャネル構成と間欠受信制御方式

NTT アナログ移動通信方式の着信制御チャネル構成を図 2-2 に示す．着信制御チャネルは，携帯電話端末に着信を通知するために設定される．また，着信制御を効率よく実現するため，携帯電話端末に自局の存在する最適な着信制御ゾーンを判定させ，システム側に位置登録という信号で通知・登録させる必要がある．そのため，ゾーン個別情報を位置情報（L）内に報知する必要がある．また，規制など，着信制御ゾーン内に在圏する全ての携帯電話端末を制御するため，位置情報（L）内に規制情報もあわせて報知している．

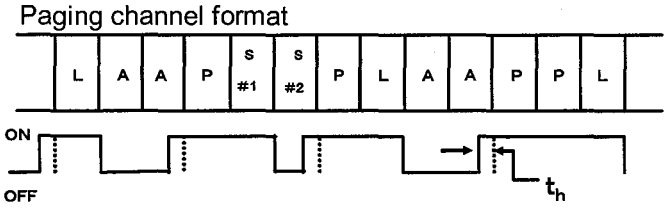
NTT アナログ移動通信方式の着信制御チャネルは，上記の着信情報（P）と位置情報（L）と発信に使用するためのチャネル情報(発信制御チャネル情報(A)) および着信制御途中である特定の携帯電話端末への通話チャネル設定情報（S）から構成される．ここで S は，2 信号スロット長からなり，携帯電話端末指定情報と通話チャネル指定情報が含まれている．着信トラヒックがないときは，L と 2 スロットの A 情報のみが報知され，着信トラヒックが高い場合は，その着信情報（P）と通話チャネル設定情報（S）が最大 48 スロット報知される．この着信制御チャネル構成は，着信制御情報の群分けが採用されておらず，また，可変フレーム長である点から理解できるように，まったく携帯電話端末の低消費電力化を意識して設計されていない．



n=0～48

L: 位置情報
A: 発信チャネル情報
P: 着信情報
A: 通話チャネル指定情報

図2-2 アナログ方式着信制御チャネル構成



L: 位置情報
A: 発信チャネル情報
P: 着信情報
S#1: 通話チャネル指定情報 #1Slot
S#2: 通話チャネル指定情報 #2Slot

図2-3 アナログ方式間欠受信タイミング

この着信制御チャネルに対して，図 2-3 に本論文で提案する間欠受信タイミングの図を示す．本間欠受信方式のアルゴリズムは，以下の基本的考え方に基づいている．

（1）　発信制御チャネル情報（A）は非受信

発信制御チャネル情報（A）は，同一制御チャネル内では基本的に変化しないので，一度受信した後は，受信する必要がない．したがって位置情報（L）の直後の2スロット情報に対しては受信電源をOFFとすることができる．

（2）　通話チャネル設定情報（S）＃2は非受信

通話チャネル設定情報は2スロットで報知されるため，第一スロットの情報を受信した後それが自局宛でないと判断されたら，通話チャネル設定情報第二スロットに対しては間受信電源をOFFできる．

（3）　着信制御ゾーン移行検出時は連続受信

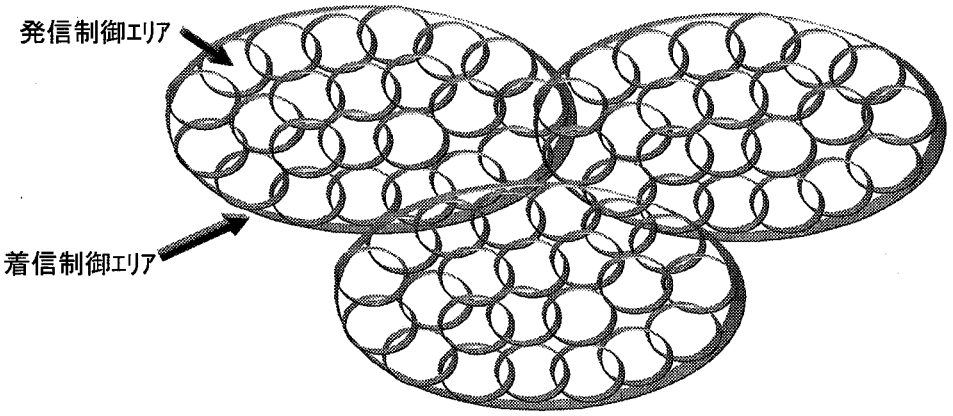
報知情報の変化を検知して一定時間経過した後，受信レベルの低下が検地されたら，それを契機として，着信制御チャネル選択を実施する．制御チャネル選択時は，連続受信になり間欠受信を適用できない．その時間比率（P）は，携帯電話端末の移動速度，着信制御エリア構成に依存する．

2．4 大容量アナログ移動通信方式制御チャネル構成

大容量アナログ移動通信方式における制御ゾーンの構成概念と着信制御チャネル（P-ch）の構成例を図2-4及び図2-5に示す．P-chには複局同時／個別順次送方式[18]が採用されている．これは，着信制御ゾーン内の無線基地局（MBS）が同時に電波を送出する複局同時送信部分（図2-5では共通情報F，着信情報Pij）と各MBSが順次個別に電波を送出する個別順次送信部分(図2-5ではBk)からP-chが構成されていることを意味する．これにより移動機の所在しているMBSゾーン（無線ゾーン）を移動機で検出でき，正確なゾーン選択ができる．また，発信制御チャネル(A-ch）を無線ゾーンごとに設けることができ，ランダムアクセスでシステム容量の確保が必要な発信制御ゾーンを図2-4に示すように各基地局に設定できるメリットがある．

さらに，加入者容量とのトレードオフ，移動機の受信レベル検出に要する時間等を考慮しながら，移動機の低消費電力化を積極的に推し進めるた

め図 2-5 に示すように着信情報を群分け（図 2-5 の例では 8 群分け）している．これにより，P-ch のデータの流れは二重周期となっている．一つは群分けされた着信情報による周期であり，もう一つは共通情報 F と個別順次送信部分である MBS 情報による周期である．ここで，MBS 情報は MBS に個別な情報である．また，共通情報は着信制御ゾーンに共通な情報であると同時に移動機にとっては共通情報と MBS 情報により構成されているフレームのフレーム同期信号ともなっている．



着信制御ｴﾘｱ＝同時送信
発信制御ｴﾘｱ＝順時送信（携帯電話端末側でエリア・基地局選択可能）
発信制御チャネル＝ランダムアクセス⇒効率向上必要

図2-4 移動通信システム制御エリア構成

2．5 間欠受信と待受け制御動作

図 2-5 に，移動機に適用可能な間欠受信タイミングを示す．待受け時において移動機が受信しなければならない情報は，着信制御ゾーン単位で移動機を制御するために報知される共通情報，無線ゾーン(発信制御ゾーン)単位で制御情報が報知される MBS 情報のうち在圏無線ゾーンに対応するもの，着呼情報のうち自局の属している群に対する着呼情報，以上 3 情報である．また，間欠受信を待受け状態の移動機に適用する場合，方式的に移動機に求められる待受け制御機能との整合性についても検討する必要がある．P-ch と強く関連した待受け制御機能は，以下の 4 点である．

(1) 着信制御ゾーン選択
　　(P-ch 選択)
(2) 発信制御ゾーン選択
　　(MBS ゾーン選択)
(3) 着信制御ゾーン移行監視
(4) 発信制御ゾーン移行監視

以下，これらの制御動作について詳しく説明するとともに，2.5.5 節では各々の制御動作との整合性を考慮した間欠受信アルゴリズムについて説明する.

２．５．１　着信制御ゾーン選択

着信制御ゾーン選択は，着信制御ゾーン内で共通に使用されている P-ch のレベルを検出し，最大レベルの P-ch を捕捉することにより実現している.

NTT アナログ移動通信方式では複局同時送信の P-ch の電波が移動機で常時受信できるため，一定時間の受信レベル検出をあらかじめ与えられている複数の P-ch について行うことで,着信制御ゾーン選択を実現できた. しかし，NTT 大容量アナログ移動通信方式においては P-ch は複局同時／個別順次送信方式を採用しているため，無作為な一定時間のレベル検出では測定精度を上げることが難しい.

そこで，NTT 大容量アナログ移動通信方式の P-ch のレベル測定は，複局同時送信部分のみを選択し，それについて行わなければならない. そのために，レベル検出動作と同時に受信処理動作を並行して行い，複局同時送信部分に同期を取った後にレベル検出を行う. 制御ゾーン選択中においては，複数の P-ch に対して複局同時送信スロットに対してレベル検出動作,受信処理動作を行うため,間欠受信を適用することは事実上できない.

２．５．２　発信制御ゾーン選択（MBS ゾーン選択）

NTT アナログ移動通信方式では，基地局側で移動機の在圏無線ゾーンを判定しているが，NTT 大容量アナログ移動通信方式においては，移動機において図 2-5 中の個別順次送信部分のレベルを検出し，各々を比較することにより最大レベルの MBS スロット位置を決定し，自局の在圏している MBS ゾーンを検出する．

MBS ゾーン選択におけるレベル検出は，共通情報 F に同期を取った後に一定のタイミングごとにレベル検出を行う．各 MBS 情報のスロットで対応付けることができる．共通情報スロットから同じタイミング関係のレベル検出の結果を積算することにより，各 MBS 情報スロットに対して正確なレベル検出を行うことができる．MBS 数 13 の場合フレーム長が 2 秒程度となるが，5 フレームの測定（各 MBS スロットが 5 回検出される）を行った場合レベル検出の測定精度は標準偏差 3dB 程度となる[19]．この測定結果を比較することにより，最大レベルの MBS スロットを決定し，在圏無線ゾーンを選択することができる．なお，MBS 選択途中でＦスロットに同期が取れない場合でも F スロット中に MBS スロットの数が報知されているため，これを利用してタイミングのみで動作を続行することが可能である．

以上述べた MBS 選択中においても，間欠受信を適用することは，受信を OFF できる連続時間が着呼情報 2 スロット分（約 100ms）であるので受信機の立ち上がり時間が 50ms 程度であれば，現実的に意味を持たないと考えられる．

２．５．３　着信制御ゾーン移行監視

着信制御ゾーンの移行監視は P-ch のレベル劣化の検出と一定時間毎の制御ゾーン選択により実現する．精度のよいレベル検出を行うためには複局同時送信部分に同期を取って検出を行う必要がある．

間欠受信の効果を生かすために，自群の着呼情報及び共通情報部のレベル劣化検出を採用する．

２．５．４　発信制御ゾーン移行監視（MBS ゾーン移行監視）

MBS ゾーンの移行監視は，2.5.2 節の MBS ゾーン選択を常時行うことで実現できる．しかし，間欠受信適用を考えた場合，在圏 MBS 情報スロットのレベル劣化検出による実現を検討する必要がある．この際，より精度の高いゾーン選択のためには一定時間毎の MBS ゾーン選択の併用が必要である．しかし，図 2-4 に示すように．MBS ゾーンは，着信制御ゾーンに比較して非常に小さく，選択精度を着信制御ゾーンと同等とするためには，より頻繁な MBS ゾーン選択が必要となる．MBS ゾーン選択を実施中には連続受信となり，間欠受信を適用できる期間が減少し低消費電力効果が小さくなる恐れがある．また，実際の MBS のゾーン境界は，図 2-6 に示す境界 a，境界 b のようにゾーン境界の受信レベルの絶対値が場所によって異なっている．そのため，在圏 MBS ゾーン判定するための受信レベルのしきい値の設定が厳しい．しきい値を高く設定すると無駄な選択動作を引き起こし，低く設定するとゾーン移行判定の遅れをもたらす．

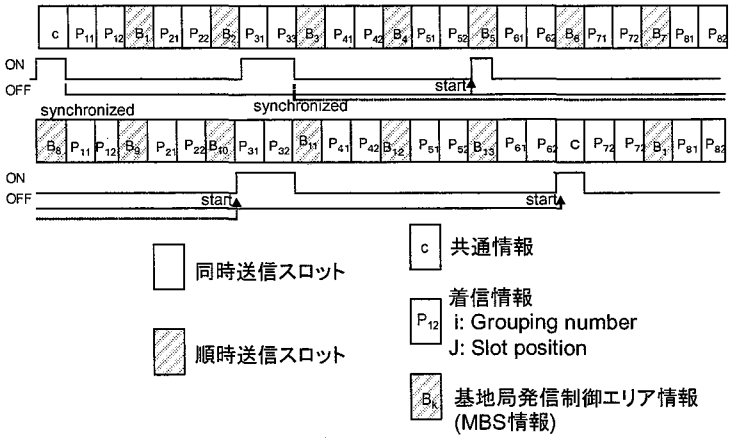


図2-5 着信制御チャネル構成と間欠受信タイミング

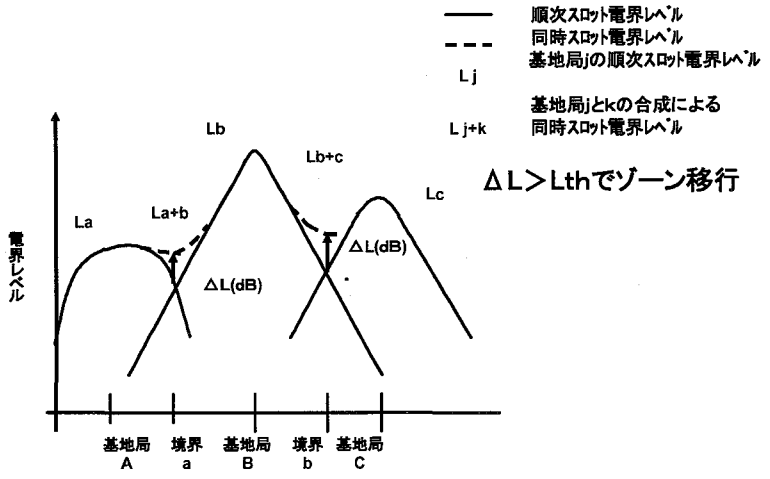


図2-6ゾーン境界レベルとゾーン移行判定法

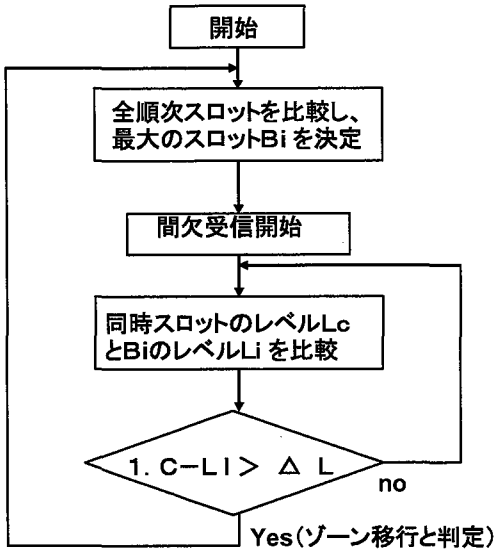


図2-7 ゾーン判定方式概要

本節では，間欠受信と整合性のあるゾーン境界の不確定性への耐力もあわせもつ在圏 MBS ゾーン移行判定アルゴリズムを提案する．図 2-7 に提案するアルゴリズムを示す．本アルゴリズムでは，受信レベルの絶対値で判定せず同時送信スロット（F，Pij）と個別送信スロットである在圏 MBS 情報（Bk）の相対的差分値で移行判定する．本アルゴリズムの有効性を確認するために，1988 年 5 月サービス開始直前に実システム下で確認実験を実施した結果を図 2-8 に示す．再選択動作開始のための差分値 ΔL を 3dB とし，ゾーン A，B の 2 つの境界上を走行した．ゾーン A とゾーン B の受信レベル差が大きい場合は，MBS 再選択動作は起動せず，両ゾーンの受信レベルが近づく状況で，再選択動作が起動されゾーン移行時にはスムーズに選択ゾーン移行判定していることが分かる．

以上の結果により，MBS 再選択動作タイマを着信制御ゾーン選択と同一としても間欠受信効果を保持できる MBS ゾーン移行監視動作制御が実現できることが確認できる．

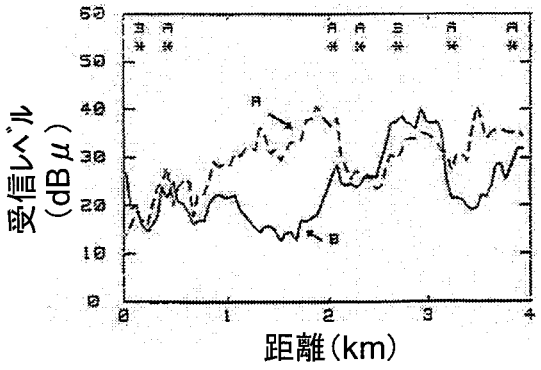


図2-8 動作確認結果

２．５．５　間欠受信アルゴリズム

2.5.1～2.5.4 節では，待受け時に移動機に求められる機能動作を実現する場合，間欠受信の効果を損なわないように実現する方法を説明した．ただしその際，間欠受信を適用できない，すなわち連続受信モードで動作している時間が発生．ここで，間欠受信モードから連続受信モードへの移行は,各制御ゾーンの移行確認のための定期的な P-ch 選択並びに MBS ゾーン選択の実施要求及び,レベル劣化の発生（着信制御ゾーン移行，MBS ゾーン移行），共通情報の変化による着信制御ゾーン選択の要求，MBS 情報の変化による MBS ゾーン選択の要求，フレーム同期はずれ（一定時間のデータ受信不可）の際に発生する．

２．６　間欠受信効果

本節では，間欠受信効果の算出を，移動機内各部の動作電流，無線部の立ち上がり時間等を考慮して行う．

２．６．１　アナログ移動通信方式待受け時間延長効果

NTT アナログ移動通信方式の着信制御チャネル P-ch は，2.3 節で述べたように着信トラヒックにより変動する可変長フレーム構成である．従って，間欠受信の電源 on/off 比もトラヒックにより変化する．そこでまず，平均フレーム長 t_{AF} を下記の式で定義する．

$$t_{AF} = t_F \cdot \frac{3}{1-W}$$

ここで，t_F は 1 タイムスロット長であり W は一定時間に P-ch 内に占める着信情報 P と通話チャネル設定情報 S の割合を示す．平均フレーム長 t_{AF} 内で移動機が受信しなければならない時間 t_R は，発信制御チャネル情報の 2 つのタイムスロットとチャネル設定情報の第 2 スロット以外であり，以下の式で示される．

$$t_R = t_{AF} - (2 \cdot t_F + t_{AF} \cdot r_C)$$

ここで，r_c は t_{AF} 内に占める通話チャネル設定情報の比率である．
携帯電話端末の間に受信器電源を on とする時間 t_{on} は下記の式で与えられる．

$$t_{on} = t_h \cdot n + t_R$$

ここで，t_h は受信部立ち上がり時間であり，n は t_{AF} 間で受信器部 on する回数である．n は，以下の式で求めることができる．

$$n = 1 + \frac{t_{AF} \cdot r_c}{t_F}$$

間欠受信中の電源 on 率 R_{ON}* は t_{on} と t_{AF} を用いて以下の式で求めることができる．

$$R_{ON}^{*} = \frac{t_{ON}}{t_{AF}} \qquad (2\text{-}1)$$

ここでパラメータ W と r_c は着信制御チャネル当りの加入者数 k の関数である．W と r_C の値は，実際の様々なトラヒックパラメータにより変化する．NTT アナログ移動通信方式の大都市内，昼間帯ではほぼ W=0.21K,

$r_C = 0.035K$　$K = k/10{,}000$ である．[20]

2-3 節に述べたように，間欠受信を適用できない時間比率 P が存在するため，待受け時間に占める電源 on 比率 R_{ON}は，以下の式で求められる．

$$R_{ON} = (1\text{-}P) \cdot R_{ON}* + P \cdot \alpha \qquad (2\text{-}2)$$

ここで，α は受信器立ち上がり時間によって電源 on の時間が増加する割合であるが連続受信する時間と比較して立ち上がり時間は無視できるので，$\alpha = 1$ とおくことができる．式（2-2）で与えられる電源 on 時間比率から携帯電話の待受け時間 T_Sは次式より求めることができる．

$$C_B = T_T \cdot I_T + T_S(R_{ON} \cdot I_{SW} + I_C) \qquad (2\text{-}3)$$

この式内の各記号の定義は表 2-1 内に示す．

表2-1 各記号の定義

R_{ON}	待受け時に受信のために、受信系の電源をON/OFFする比率
$R_{ON}*$	間欠受信時に受信のために、受信系の電源をON/OFFする比率
R_{ON}'	着信情報の系列に対して受信のために受信系の電源をON/OFFする比率
R_{ON}''	共通情報,MBS情報の系列に対して、受信系の電源をON/OFFする比率
n	群分け数
m	MBS数
t_{wp}	群数に対する着呼信号P_{11}+P_{12}の信号長(2信号分)
t_{wF}	共通情報及びMBS情報の信号長
t_F	各情報の信号長(NTTアナログ方式)
t_h	受信部ハードウェア立ち上がり時間
C_B	電池容量
T_T	通話時間
T_s	待受け可能時間
I_T	通話時動作電流
I_{sw}	間欠受信可能部動作電流
I_c	常時動作部動作電流
I_{tx}	送信部動作電流(I_T-I_{sw}-I_c)
P	待受け時にしめる間欠受信動作停止時間率
α	連続受信時の立ち上がり時間による電源ON/OFF比率の増加率
△	共通情報orMBS情報と着呼情報の立上がり今日今日によるR_{ON}''減少比率

図 2-9 に，間欠受信効果を P-ch 当たりの加入者数（K）をパラメータとして示す．間欠受信を適用できない確率 P は，ここでは P＝0.05 としている．制御チャネル再選択・確認のための連続受信は，アナログ移動通信方式の着信制御チャネルは着信制御ゾーン(複数の無線基地局ゾーンで構成)単位で設定されているため，数 10km の半径のゾーンに対して実施する必要がある．制御チャネル再選択に複数周波数の受信レベルの比較が必要であることより 10 秒程度必要である．P＝0.05 とは 10 秒の再選択を 200 秒

毎に実施することに相当し，時速 50km の移動で 3km 弱の移動距離毎の再選択の実施となる．これは，数 10km の半径のゾーンに対して十分短く確認動作としては十分と考えられる．ここで t_F=170ms，t_h=50ms，$C_B/(I_C \cdot T_T)$=1200，I_{TX}/I_C=50 とした．受信部の電流は常時動作部電流 10mA，間欠受信部電流 50mA 程度であるため，I_{SW}/I_C を 5 とすると連続受信時（P＝1）と比較し，間欠受信を導入することにより P-ch 当たりの加入者数 0.5 万人(K=0.5)で約 1.7 倍に待受け可能時間を延長することができる．

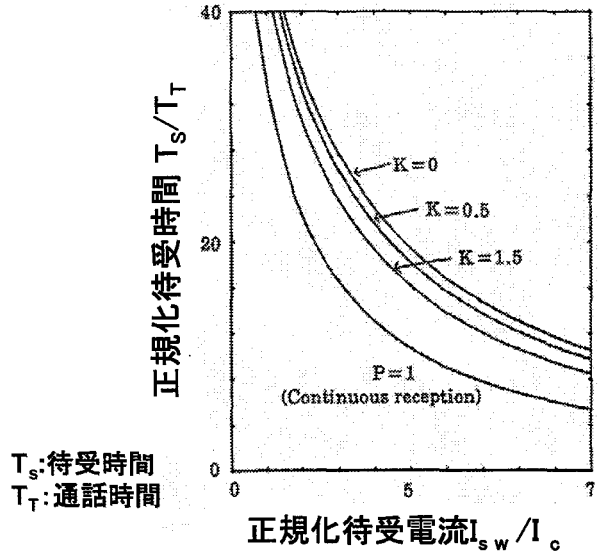


図2-9 間欠受信効果(アナログ方式)

２．６．２ 大容量アナログ移動通信方式待受け時間延長効果

間欠受信時における電源 ON/OFF の様子と動作電流の変化の様子のモデルを図 2-10 に示す．また，使用している記号の定義は表 2-1 に示されている．

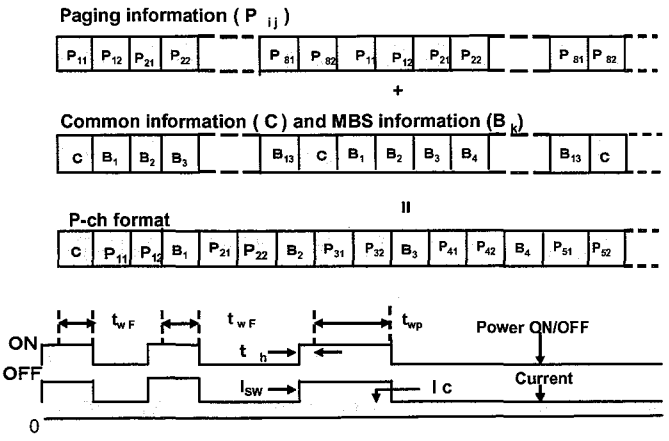


図2-10 間欠受信時の電源ON／OFFタイミング

まず，間欠受信時に占める電源 ON の時間比率 R_{ON}を求める．図 2-10 に示すように受信信号系列は二重周期となっているため，各々個別の系列について考察する．まず，着信情報の系列について考察する．着信情報は群分けされているため，図 2-10 に示すように受信部の立ち上がり時間 t_h を考慮しなければ，1／n となる．

$$R_{ON}' = \frac{t_h + t_{wp}}{n \cdot t_{wp}} \qquad (2\text{-}4)$$

次に，共通情報と MBS 情報により形成される系列について考察する．2.5節で述べたように受信する情報は共通情報と在圏MBS情報のみであるので，この系列内での電源 ON 時間比率 R_{ON}'' を受信部の立ち上がり時間 t_Fを考慮すると次式で与えられる．

$$R_{ON}'' = \frac{2(t_h + t_{wF})}{(m+1) \cdot t_{wF}} \qquad (2\text{-}5)$$

受信情報による系列が待受け時間に占める比率は t_{wp}／（t_{wp}＋t_{wF}）であり，共通情報と MBS 情報の系列の占める比率は t_{wF}／（t_{wp}＋t_{wF}）であることより，待受け時間に占める電源 ON 時間比率は R_{ON}*は次式で与えられる．

$$R_{ON}* = \frac{t_{wp} \cdot R_{ON}' + t_{wF} \cdot R_{ON}''}{t_{wp} \cdot t_{wF}} \qquad (2\text{-}6)$$

厳密には，受信機の立ち上がりは，二系列の周期により構成され，さらに大きな周期で共通情報，在圏 MBS 情報各々について着呼情報と共有されるため$R_{ON}*$ は次式に示すように式（2-6）よりも減少する．

$$R_{ON}* = \frac{t_{wp} \cdot R_{ON}' + t_{wF} \cdot R_{ON}''}{t_{wp} \cdot t_{wF}} - \triangle \qquad (2\text{-}7)$$

ここで，△は在圏 MBS 情報の位置などにより変化するが，設計手法に用いる場合は最悪のケースを想定して△＝0 と考える．

待受け時において 2-5 章で述べたように，各制御ゾーンの移行確認のための定期的な P-ch 選択並びに MBS ゾーン選択の実施要求及び，レベル劣化の発生（着信制御ゾーン移行，MBS ゾーン移行），共通情報の変化による着信制御ゾーン選択の要求，MBS 情報の変化による MBS ゾーン選択の要求，フレーム同期はずれ（一定時間のデータ受信不可）により図 2-10 の間欠受信をできない時間率をＰとすると，待受け時に占める電源 ON の時間比率R_{ON} は式（2-2）で与えられる．また，移動機の待受け可能時間T_sは式（2-3）より求めることができる．

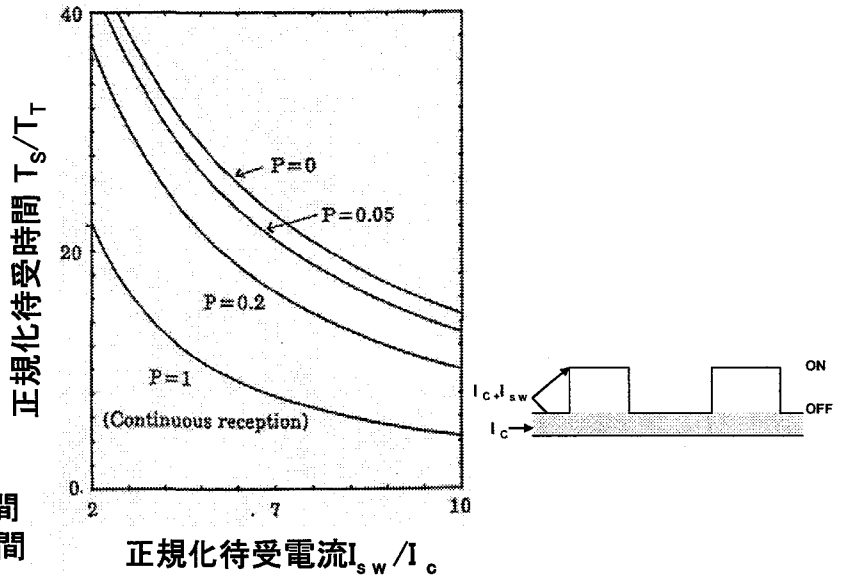


図2-11 間欠受信効果(大容量アナログ方式)

式 (2-3) より求められる待受け可能時間により間欠受信の効果を評価することができる.

図 2-11 に,間欠受信効果を連続受信時間率 P をパラメータとして示す. 2.5.4 節で提案した MBS ゾーン移行判定方式の採用で,MBS ゾーン再選択のタイマを着信制御ゾーン再選択タイマと同一とした場合, P＝0.05 と考えることができる. 着信制御ゾーンは複数の無線基地局ゾーンで構成され数 10km の半径である. 制御チャネル再選択, MBS ゾーン再選択の受信レベルの選択は 10 秒程度 (MBS 選択時, MBS 数 13 で 2 秒周期 4 回測定の例) 必要である. 従って P＝0.05 より 200 秒毎の選択となり, 時速 50km の移動で 3km 弱の移動距離であり数 10km の半径のゾーンに対して十分短く確認動作としては十分である. 車などでの移動状態が多い場合ではMBS ゾーン単位にレベル劣化が発生し, MBS 選択のための連続受信時間の増加が想定される. このため P＝0.2 の場合も図 2-11 に示す. ここで, $n=8$, $m=13$, $t_{wp}=80ms$, $t_{wF}=40ms$, $t_h=50ms$, $C_B/(I_C \cdot T_T)=1200$, $I_{TX}/I_C=50$ とした. 受信部の電流は常時動作部電流 10mA, 間欠受信部電流 70mA 程度であるため, I_{SW}/I_C を 7 とすると連続受信時 (P＝1) と比較し, 間欠受信を導入することにより P=0.2 で約 2 倍, P=0.05 で約 3 倍の待受時間とできる.

2．6．3　間欠受信方式の適用例

本節では, 携帯電話システムにおいて本論文で提案した間欠受信方式を適用した場合の有効性を示す実用例を示す. 図 2-13 に, 本論文で提案した間欠受信方式を適用して最初に商用化された移動機を示す.本移動機は, 車に搭載するだけではなく肩から掛けて持ち歩くことのできるショルダホンとして 1988 年 5 月から販売された. 待受け時間は, 17 時間を実現している. さらに, 提案方式の適用例として日本で初めての本格的な携帯電話端末 (NTT ムーバ) を図 2-14 に示す. 本携帯電話端末は 150cc, 230g のコンセプトの下, 1991 年 3 月から販売された. 待受け時間は 16 時間を実

現している．本携帯電話端末の待受け時の電流波形を図 2-12 に示す．共通情報，対応している群の着信情報，在圏している MBS 情報のみを受信している様子が示されている．

携帯電話端末の低消費電力化のための間欠受信は，本アナログ携帯電話端末実現時に重要な役割を果たした．この重要性に関する認識はデジタル方式（PDC）標準化策定にも取り入れられ，デジタル方式携帯電話端末の最初から積極的に間欠受信方式が適用されている[12]．図 2-15 にデジタル携帯電話端末の待受け時の電流波形を示す．また，図 2-16 に世界初の PDC デジタル携帯電話端末を示す．本携帯電話端末の待受け時間は 30 時間を実現している．

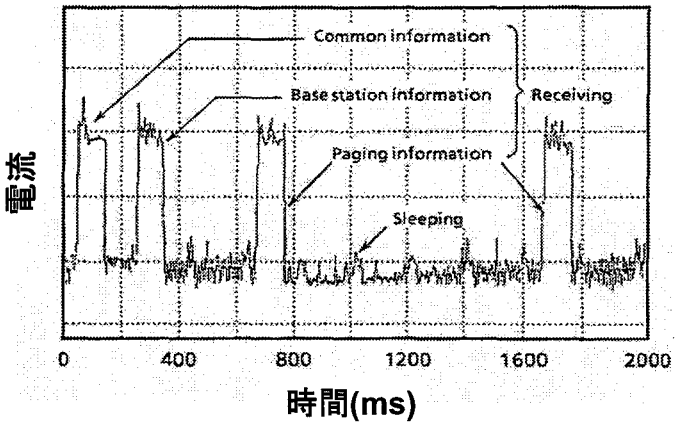


図2-12 間欠受信電流波形

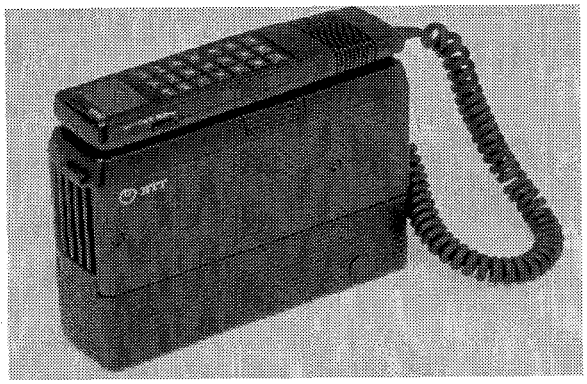


図2-13 アナログショルダーホン

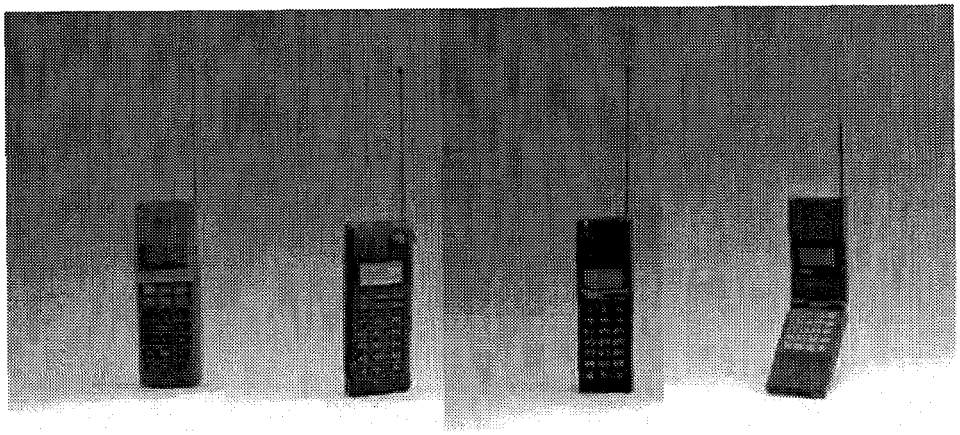


図2-14 アナログ携帯電話

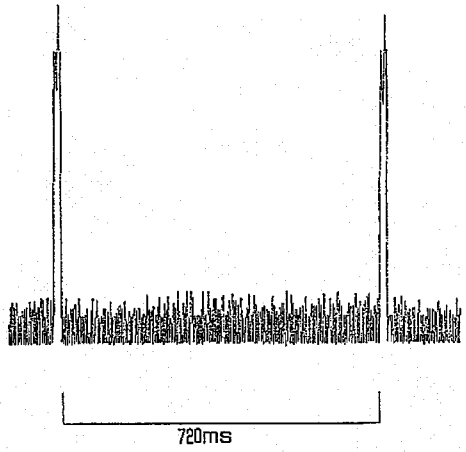


図2-15 デジタル携帯電話端末間欠受信波形

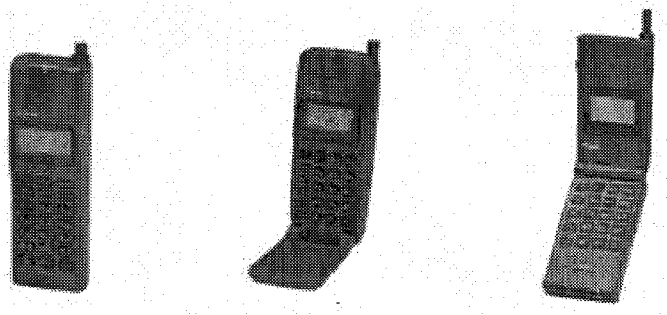


図2-16 デジタル携帯電話

2．7 受信レベル検出方式

待受け時に受信データ解析とともに処理負荷の重いのは受信レベルの検出である．本節では，デジタル信号処理を用いた処理負荷が小さく，間欠受信に適した受信レベル検出方式について提案し，その特性を示す．

陸上移動通信において無線基地局及び移動局の受信電界強度は数十 dB にわたって激しく変動し，その統計的性質はレイリー分布に近似できることが知られている[21]．この様なフェージング下での受信レベルを表す量として，回路の飽和特性の歪みの影響を受けにくい中央値が一般に用いられている．中央値検出回路としては従来より アナログ処理形[22]あるいはデジタルの時間測定回路を用いたディジタル処理形[23]などが提案されているが，本提案の DSP 技術を用いた受信レベル中央値検出回路は，(1) 間欠的な中央値検出が行える，(2) IC 化が用意である，(3) 回路定数を可変できる，(4) 多重処理ができ同時に異なる回路定数の中央値検出が行える，(5) マイクロプロセッサによるソフト処理のアルゴリズムが簡易である等の従来の回路にない多くの利点を有する．

本節では間欠受信に適した DSP 技術を用いた受信レベル中央値検出回路の構成，特徴，動作特性，実験結果等について述べる．

2．7．1 受信レベル中央値検出回路構成と基本動作

図 2-17 に DSP 技術を用いた受信レベル中央値検出回路の構成を示す．r (t)は A-D 変換器で周期 T ごとに標本化され， サンプル値 r(kT)（k は整数）となる．r(kT)は減算， sgn 演算，乗算より構成される比較器に入力され，出力 y(kT)の T 秒遅延した y{(k-1)T}と振幅比較される．

sgn 演算はXを入力したとき

$$sgn\ (X) = \begin{cases} 1\ (X>0) \\ 0\ (X=0) \\ -1\ (X<0) \end{cases} \qquad (2\text{-}8)$$

であるから比較器の出力は+E, 0, -E の 3 値のどれかをとることになる.比較器の出力は加算と遅延で構成される積分器に入力され,
y{(k-1)T}と加算される．比較器出力が常に零になるようにフィードバックがかかるので，出力 y(kT)は r (t)の中央値に追随する信号となる．

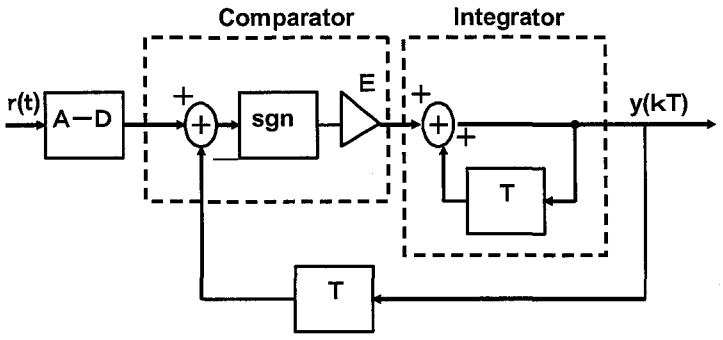


図2-17 DSP技術を用いた受信ﾚﾍﾞﾙ中央値検出回路

y(kT)は図 2-17 より次式で与えられる．

$$y(kT) = E\,\mathrm{sgn}[\,r(kT) - y\{(k-1)T\}] + y\{(k-1)T\} \qquad (2\text{-}9)$$

回路に振幅 V（＞0）のステップ信号

$$r(kT) = V \cdot u(kT) \qquad (2\text{-}10)$$

を入力した場合の応答は，初期値を零，sgn 演算は常に＋1 を出力するとして式（2-9）を解くと，y(kT)は

$$y(kT) = (k+1) \cdot E \cdot u\{(k+1)T\} \qquad (2\text{-}11)$$

で与えられる．図 2-18 に示すように y(kT)は式（2-10）より T 秒毎に振幅は E だけ増加する．ただし，y(kT)＝V となると比較出力は零となり，以後その値を保持する．振幅増加の傾きは E/T であり，このことから回路定数は E/T で与えられることがわかる．

本回路は，(1) 回路の動作クロックの供給をオン・オフすることにより間欠的な中央値検出が行え，間欠受信時の受信レベル検出に適している，(2) A-D 変換器を用い，全デジタル化され構成が容易なので IC 化が容易である，(3) 定数 E によって応答時間が変わることから，デジタルデータを外部から与えるだけで容易に応答時間をかえることができる，(4) 多重処理が可能で，同時に異なる応答時間の中央値検出が可能である，(5) マイクロプロセッサによるソフト処理のアルゴリズムが容易である等の従来の中央値検出回路にない多くの利点を有している．

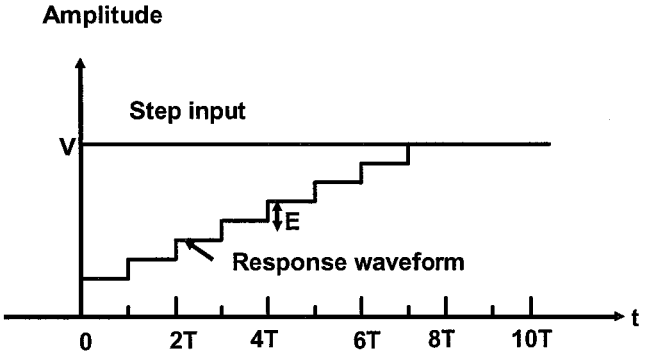


図2-18 ステップ入力に対する応答波形

2．7．2　実験結果

図 2-19 は対数圧縮されたレイリーフェージング波形を回路に入力した場合の応答波形の中央値標準偏差と $f_D T/(\alpha E)$ の関係を示すもので，計算機シュミレーション値を○印で示す．f_D(Hz)はフェージングピッチ，α（dB/V）は V と dB の変換定数である．　αE は比較器出力の dB 相当値と理解できる．図 2-19 より $f_D T/(\alpha E)$ を大きくすることによって，中央値標準偏差は減少していくことがわかる．同図より f_D，T，　α が与え

られた場合，中央値標準偏差値を要求値以内に抑えるための定数Eの値を決めることができる．

図2-17の回路を8ビットA-D／D-A変換器，DSP用LSI[24]等を用いて構成し，レイリーフェージングシュミレータをいて動作確認を行った．サンプリング周波数は400Hz，演算ビット数は16ビット，αは10.5dB/Vである．

図2-19の●は応答波形の中央値標準偏差と$f_DT/(\alpha E)$の関係を実験的に求めたものであり，計算機シュミレーション値に良く一致していることがわかる．図2-20に動作波形を示す．同図（a）はf_D=10Hzのレイリーフェージング波形（上）と2多重動作時の応答波形（下）を示したものである．応答波形において中央値レベル（0dB）の囲りの分散が小さいものが$\alpha E=0.0227$，分散が大きいものが$\alpha E=0.363$である．図2-20（b）はf_D=10Hzのレイリーフェージング波形と間欠的な中央値検出時の応答波形（$\alpha E=0.363$）を示したものである．応答波形において一定値を保持している区間が中央値検出停止しているところであり，前の値を保持して中央値検出を行っていることがわかる．

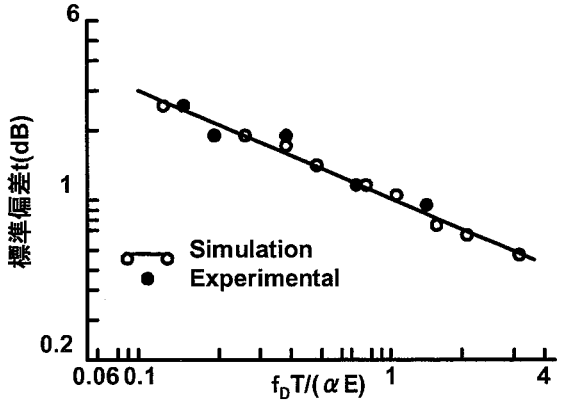


図2-19 受信レベル中央値の標準偏差

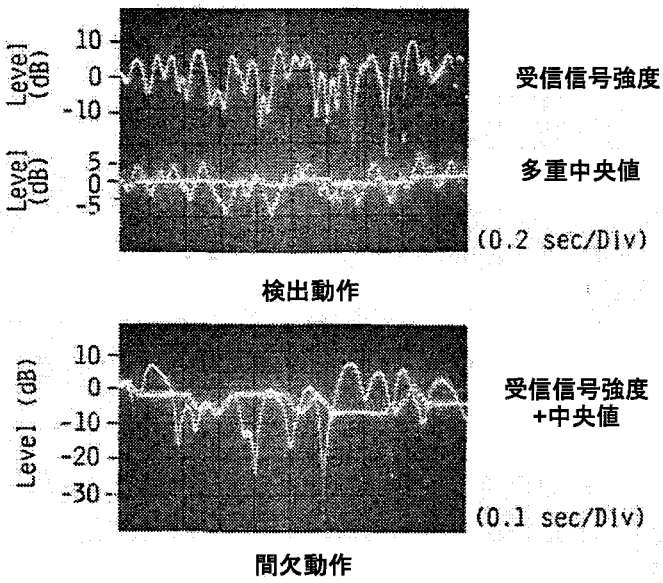


図2-20 実験結果

2．7．3　応答速度改善（高速型）方式の回路構成と基本動作

2.7.2 節で提案した中央値検出回路（以下，基本型と呼ぶ）は，従来用いられているデジタル形の中央値検出回路[25]と比較して，急激なレベル変化に対する応答速度が遅いという欠点を有している．そこで，本節では高速型中央値検出回路（以下高速型と呼ぶ）を提案し，その応答速度の改善度と特性について述べる．高速型回路のブロック図を図 2-21 に示す．この回路では，急激なレベル変化への応答速度を改善するために比較器特性の改善を行った．これを基本型の特性と合わせて図 2-22 に示す．比較器は，検出回路の入出力差〔D (kT)—L{ (k-1) T } 〕の絶対値がある一定レベル（A，B）以上になればに入出力差に比例した値（△L（kT）を出力する．また，入出力差がある一定レベル以下ならば基本型と同等の値（±E）を出力する．さらに，比較器はパラメータ A，B，a，b により中央値に対して非対称なフェージング波形に適切化できる構成としている．

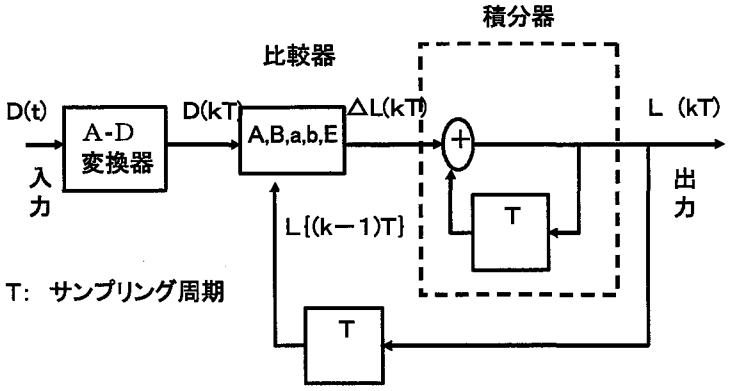


図2-21 高速型受信レベル中央値検出回路

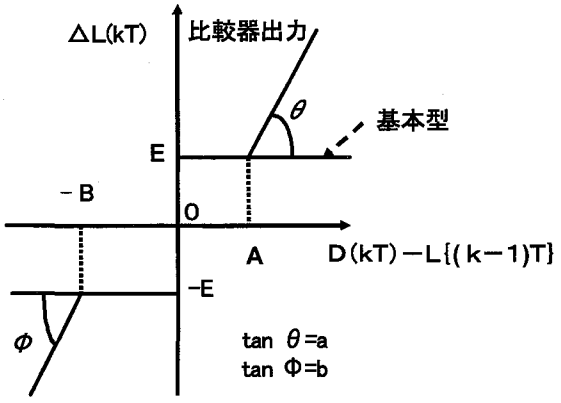


図2-22 比較器特性

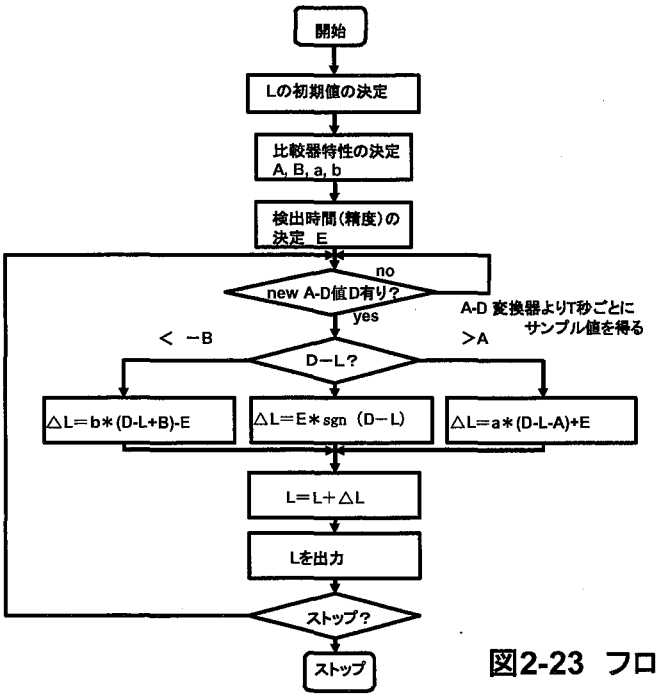


図2-23 フローチャート

この検出回路をマイクロプロセッサのソフトウエアで実現した場合のフローチャート図 2-23 に示す.

図 2-22 の比較器特性より検出出力 L（kT）は，入力の A/D 変換値 D（kT)と出力の T 秒遅延値 L{(k−1)T}により次式に示すように与えられる.

$$L(kT)=a\,〔D(kT)-L\{(k-1)\}T-A〕+E+L\{(k-1)T\} \quad (2\text{-}12)$$

但し $D(kT)-L\{(k-1)\} > A$

$$L(kT)=Esgn\,［D(kT)-L\{(k-1)T\}］+L\{(k-1)T\} \quad (2\text{-}13)$$

但し $-B \leqq D(kT)-L\{(k-1)T\} \leqq A$

$$L(kT)=b\,［D(kT)-L\{(k-1)T\}+B］-E+L\{(k-1)T\} \quad (2\text{-}14)$$

但し $D(kT)-L\{(k-1)T\} < -B$

入力を $D(kT)=V\cdot u(kT)$，出力の初期設定を L（kt）＝0（kT＜0）と置き，まず V＞A である入力に対するステップ応答波形を求める.

式（2-12）をZ変換すると次式となる．ここで$L_z(Z)$は，L(kT)のZ変換である．

$$Lz(Z) = aVZ/(Z-1) + (1-a)Z^{-1}Lz(Z) + (E-aA)Z/(Z-1)$$

$$\therefore Lz(Z) = \frac{Z}{Z-(1-a)} \cdot \frac{Z}{Z-1} \cdot (aV+E-aA) \qquad (2\text{-}15)$$

式（2-13）を逆変換し，L(kT)を求めると次式となる．

$$L(kT) = (aV+E-aA)/a * \{1-(1-a)^{k+1}\} u(kT) \qquad (2\text{-}16)$$

ここで，式(2-16)が成立するkTの範囲を求める．

$$V-L(kT) > A$$

$$\therefore kT \leqq \mathrm{int}\left[\log_{(1-a)}\{1-(V-A)a/a(aV+E-aA)\}-1\right]T$$

int［　］は［　］を超えない整数を表す　　(2-17)

式(2-17)が成立するkの上限値k_0は次式で与えられる．

k_0 = int（k′）　k′：非整数

k_0 = k′-1　　k′：整数

ただし，$k' = \log_{(1-a)}\{1-(V-A)a/(aV+E-aA)\}$　(2-18)

式(2-13)の成立する範囲での応答は，次式で与えられる．

$$L(kT) = (k+1)Eu(kT) + L(k_oT) \qquad (2\text{-}19)$$

ただし，k_0は式（2-18）であたえられるもの

次に，V<-B であるステップ入力に対する応答波形について考察する．前述と同様の手法により，式（2-16），（2-19）においてa→b，A→B，E→-E の置換をすることにより応答波形を得ることができる．また，波形の変化点であるk_0式（2-18）に同様の置換を施すことにより求めることができる．

最後に，—B≦V≦A であるステップ入力に対する応答波形は，式（2-19）においてL（k_0T）＝0 と置いたものとなり式（2-11）と一致する．
ステップ応答波形の一例を図 2-24 に基本型と併せて示す．これより，大幅な応答速度の改善が実現できることが分かる．

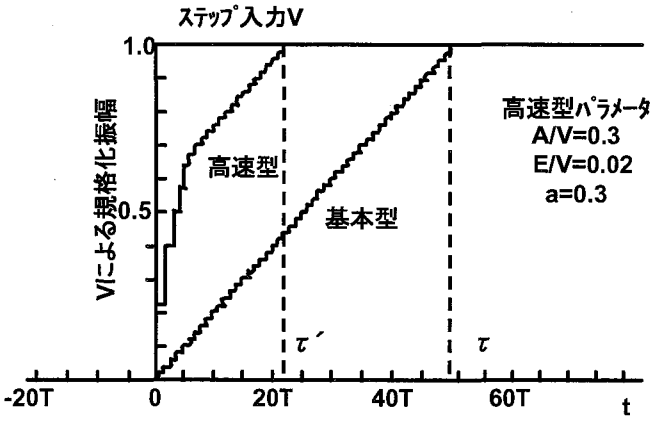


図2-24 ステップ応答波形

２．７．４　改善効果

ステップ応答時間を出力が次式で示される範囲に入るまでの時間と定義する．

$$V-E<L(kT)\leqq V \qquad (2\text{-}20)$$

但しV>0 である。

V<0 の場合は不等号の向きが逆となる．

V>A のステップ入力に対する応答時間τ´は次式で与えられる．

$$\tau' = (k_0 + k_1)T \qquad (2\text{-}21)$$

但し　k_0　式(2-18)に示すもの

$$k_1 = \mathrm{int}\{(V - L(k_0 T)) / E\}$$

$V < -B$ の場合の応答時間は，式（2-21）に式（2-18）の a→b，A→B，E→—E の置換を施した k_0 を代入した式で表現できる．

$-B \leqq V \leqq A$ の場合の応答時間は $k_0 = 0$ を式（2-21）に代入することにより求めることができる．

一方，基本型の応答時間 τ は式（2-11）に式（2-20）の定義を適用すると次式で与えられる．

$$\tau = \mathrm{int}\,(V / E)\,T \qquad (2\text{-}22)$$

ここで，ステップ応答速度の改善の度合いを示す改善比 F を定義する．

F＝（高速型応答時間／基本型応答時間）

$= \tau' / \tau$

改善比 F と検出回路のパラメータの関係を図 2-25 に示す．これより，ステップ応答速度をより改善するためには比較器のパラメータ A，B を小さくするか a，b を大きくすれば良いことが分かる．

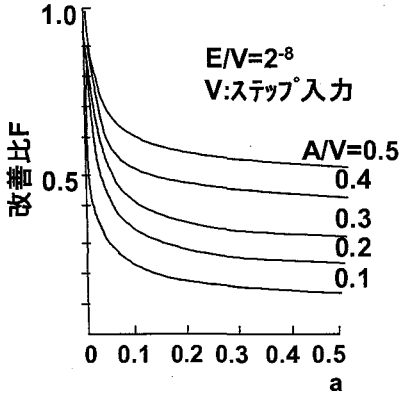


図2-25 改善比

レイリーフェージング下における高速型中央値検出回路のパラメータと検出出力の中央値標準偏差（σ）の関係を計算機シュミレーションにより求めた．その結果を図 2-26 に示す．これより，検出出力の分散は基本型よりも増加し，その増分を小さくするためには比較器のパラメータ A，B を大きくするか a，b を小さくすれば良いことが分かる．

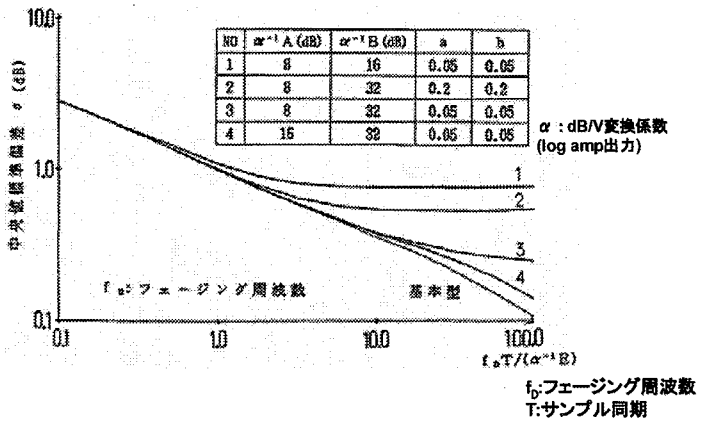


図2-26 分散特性(中央値標準差)

また，検出回路の入力はレイリー分布する瞬時包絡線の対数圧縮したものであることから，検出出力の分散の増加を抑えるためにはパラメータ B は A よりも相当大きくしなければならない．

2．8　結言

本章では，携帯電話端末の普及にとってサービスエリアの拡大と並んで重要な，携帯電話端末の小型化，低消費電力化技術の内，間欠受信技術について待受け時間を延長するという総合的観点から検討した．まず，NTT 大容量アナログ移動通信方式移動機を取り上げ，間欠受信方式を提案するとともに，間欠受信効果を向上させるための制御ゾーン移行検出方式と，間欠受信に適した受信レベル検出方式を提案した．また，これらの適用に

より，待受け時間を約2~3倍に延長できることを示した．さらに，NTT大容量アナログ移動通信方式および第2世代（PDC）の商用システム携帯電話端末への提案方式の実装実験を通じて，提案方式が待受け時間の長時間化に有効な技術であることを明らかにした．

第3章　携帯電話端末赤外線インタフェース

３．１　序言

本章では携帯電話端末マルチメディア化技術の一つとして，携帯電話端末インタフェースへの IrDA（Infrared Data Association [8]赤外線インタフェース）の適用について述べる．

携帯電話端末はその普及とともに，まず時計機能と手帳機能が携帯電話端末に融合された．1990 年代前半には，携帯電話端末内電話帳データは数百件となりそのデータの交換・複製・移動は重要な課題となっていた．このデータ交換は，パソコン・PDA と携帯電話端末間だけではなく，携帯電話端末間及び 1990 年代当時携帯電話端末よりも加入者数の多いポケットベルとのデータ交換も必要と考えられた．また，1993 年の第 2 世代のデジタル移動通信サービス（PDC）がデータ通信を 2.4kbps と低速ながらもサービス開始したため，本格的なモバイルコンピューティングが開始された．このため，携帯電話端末を無線データモデムとして簡易にパソコン・PDA に接続できる技術が求められた．物理コネクタでの接続は図 3-1 に示す形態となっており，さらに簡易な方式が求められた．携帯電話端末の小型化は 1990 年代に急速に進展しケーブルを接続する物理的コネクタは，相対的に大きくなっており物理コネクタに代わる小型で安価なインタフェースが求められていた．一方，1990 年代ほとんどのハンドヘルドパソコンと PDA には IrDA インタフェースが既に標準搭載されファイル転送等に利用されていた．このような環境下で，携帯電話端末内データの交換，パソコン・PDA との無線モデムとしての接続，ポケットベル等簡易機器とのデータ交換を実現できる赤外線インタフェースの技術規格が求められていた．IrDA で上述した技術の世界標準化に向け積極的に標準化活動を実施し，1997 年 10 月に IrMC（Ir Mobile Communication）として標準化された[26]．

本章では，その技術内容，特にリアルタイム音声伝送を実現する技術についての研究結果について述べる．

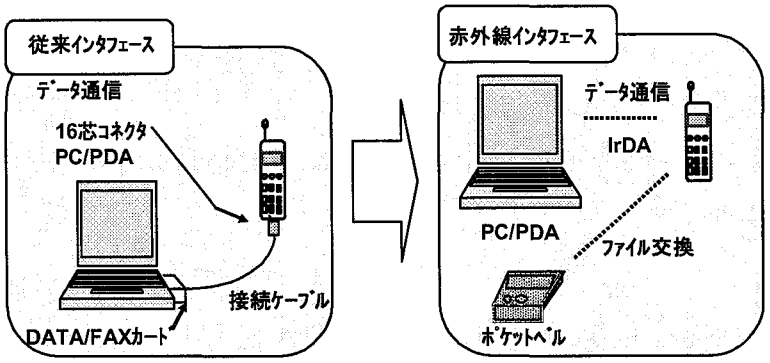


図3-1 携帯電話への赤外線通信の利用

3．2　携帯電話における赤外線利用形態と要求条件

赤外線通信技術を携帯電話端末等に適用するためには，以下の条件が要求される．

① 端末小型化のため，デバイス自体が小型であること．

② 端末使用時間長期化のためデバイスは，十分な低消費電力化が図られていること．

③ 従来のパソコン／PDA などとの相互接続性が確保されること．

④ ポケットベルなど，処理能力の低い端末においても適用可能であること．

⑤ 携帯電話端末では，車載グレードルなどとの間で制御信号および音声伝送が実現されること．また，使用される音声コーデックは，無線伝送で採用される高能率コーデック（VSELP，PSI-CELP 等）

と従属接続しても総合的通話品質が維持され，低速規格である IrDA SIR（～115.2kbps）においても双方向通信が確保されること．

3．3　携帯電話向け赤外線インタフェース標準 IrMC

このような条件のもと，IrDA ではワーキンググループを設置し，図 3-2 の利用形態に基づいて移動通信端末への赤外線通信技術適用の検討を進め，1997 年 10 月の総会において移動通信端末のために赤外線通信規格である IrMC（Specifications for Ir Mobile Communications）規格とこれに関連する規格類[27] [28] [29]を標準化した．以下に IrMC 規格に基づくプロトコル構成，アプリケーション構成を示す．

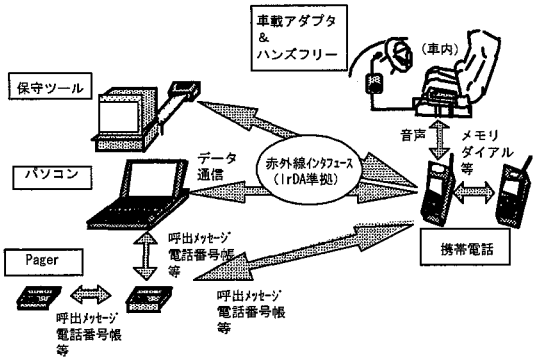


図3-2 移動通信端末における赤外線インタフェース利用形態

図 3-3 に IrMC 規格で採用されるプロトコル構成を示す．プロトコルはパソコンなどと相互接続性を考慮し，従来の赤外線通信規格と同様，物理層である IrSIR（IrDA-SIR，FIR）[27]，HDLC に準拠したレイヤ 2 規格である IrLAP[30]，複数アプリケーションの信号を多重化するための IrLMP[31]，フロー制御のための TinyTP[32]および上位アプリケーションにより構成される．

特に，物理層では，デバイスの小型・低消費電力化のため IrSIR 規格が改版され，低速規格（IrDA-SIR）において LowPowerOption が新たに定義された．従来の規格では，使用距離が 0～1m であるところ，この規格によれば使用距離は，LowPowerOption・標準デバイス（従来規格準拠）間では 0～30cm，LowPowerOption 間では 0～20cm に短縮される．

IrMC 規格には，電話帳などのオブジェクト交換（規格上は，Atomic Information exchange），データ通信（Steam－oriented information exchange），リアルタイム音声伝送（Time-bounded information exchange）の 3 機能が定義される．

Object 交換では，電話帳，カレンダ，メッセージ，機器情報（device information）の交換が規定される．IrMC 規格は，Object 交換手順として IrOBEX [33]を採用する．また，Object 交換では，ポケットベルなどにおける簡易手順として，コネクションレス型手順である Ultra 規格[28]を利用することもできる．

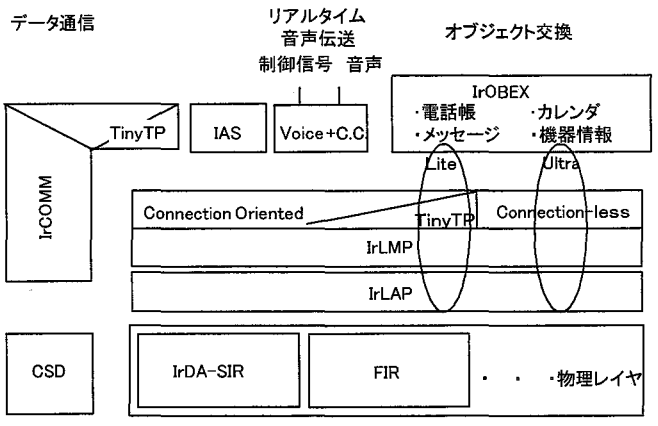


図3-3 IrMC規格におけるプロトコル構成

電話帳ではパソコン／PDC などとの互換性を重視して，Object を Internet Mail Consortium（IMC）で規定される vCard [34]により定義する．図 3-4 は vCard による電話帳の一例を示したものであり，各 Object は，BEGIN：

VCARD で始まり，END：VCARD で終わる．それぞれのデータ要素は Property name，Property Parameter（オプション）および Property Value により構成される．IrDA では，vCard について移動通信特有の新たな property parameter の追加[29]を提案している．また，IrMC 規格では，適用される機器に応じて 4 段階の Support Level を定義する．

①Minimum Support

各個人の Object ごとに Object name を付して Object を交換する Ultra 規格が使用される．

②Access Support

すべての Object が一つの Object Steam として一括交換される．

③Index Support

番号(Index)で個々の Object を指定し必要な Object のみ交換する．

④Symchronization Support

それぞれの Object の改変履歴（Log）を作成，保存し，これを交換することにより機器間（例えば会社・自宅に設置したパソコンと携帯電話との間）で Object を同期（一致・整合）させる．

なお，電話帳では，Minimum Support が IrMC 規格上の必須事項であり，Access Support，Index Support では第一の Object には端末使用者の情報が記載される．さらに，このほかに携帯電話の発着信履歴の Object が定義される．

また，vCard は名刺情報交換のためのフォーマットであり，氏名，電話番号のみならず，住所，組織名などを表現することができるため，今後は，単なる電話番号の転送に留まらず，携帯電話やポケットベルなどによる名刺交換という新たな端末利用シーンが期待される．

カレンダの Object は，vCalender [35]により定義される．フォーマットは，vCard に類似する．また，電話帳と同様に 4 段階の Support Level が規定される．

メッセージのフォーマットについては，新たに vMessage が規定される[26]．図 3-5 は，vMessage による Object を示したものである．差出人および受取人の情報は vCard により表現される．メッセージの内容は新たに

定義されたvBodyにより定義され，RFC822 [36]に準拠したEmailと同様の内容が記載される．メッセージについても，電話帳と同様に4段階のSupport Levelが規定される．

デバイス情報には，端末の製造者，形式，バージョンなどが含まれる．デバイス情報の交換はIrMC規格における必須機能である．

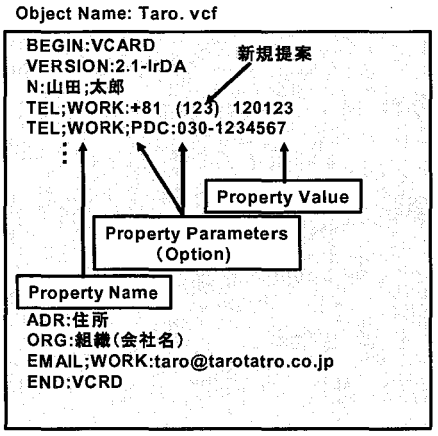


図3-4 vCardによる電話帳構成

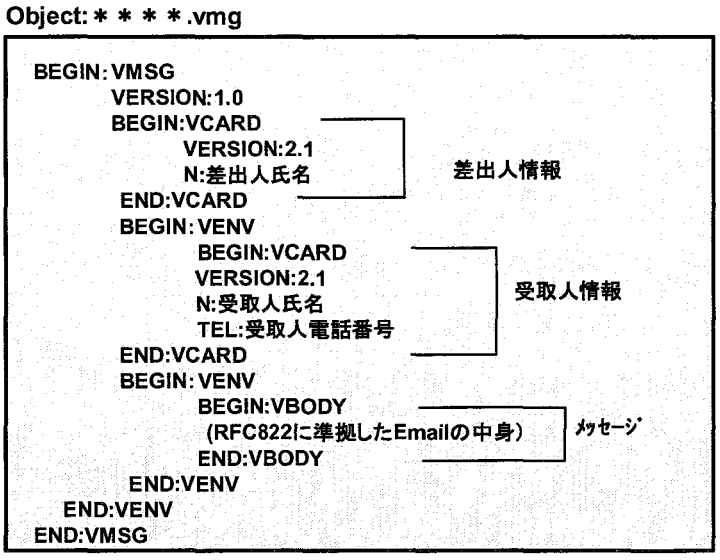


図3-5 vMessage構成

データ通信では，RS-232C などを赤外線上実現するための IrCOMM 規格[37]の使用が規定され，IrMC 規格では IrCOMM 規格がそのまま参照される．

これを携帯電話端末（PDC）に適用する場合，携帯電話端末側において IrCOMM 上に MODEM/FAX アダプタ機能を実現すれば，従来 RC-232C 上で規定されていた通信が赤外線上で実現され，パソコン側のポートを IrDA に変更するだけで，何ら新しいソフトウェアを必要とすることなく，従来と同様のモデム通信が実現される．

リアルタイム音声伝送についても，IrMC 上で定義されている．本方式技術は筆者らが研究成果を基に提案したものである．次節にて詳細に述べる．

3．4　音声伝送方式

赤外線通信を利用したリアルタイム音声伝送には以下の条件が要求される．

(1) パソコン／PDA と相互接続性を実現すること．

(2)音声とともに電話制御信号（2.4kbps）を伝送できること．

(3)従来インタフェースと同等の音声品質であること．

(4)音声遅延は，移動通信システム全体の遅延時間と比較して十分小さいこと．

（1）の条件は，今後車載電話機だけでなく様々な機器からのリアルタイム音声通信の利用形態が考えられること及び，データや情報交換利用で使用されている技術・ソフトを利用することで早期の実現，採用機器の広がりを確保するためでもある．また，（2）の条件は車載電話機等から発信・着信・終話・ダイアル信号，通話中に利用する制御信号（通話中の DTMF 信号など）のため，また携帯電話の状態（受信レベル強度，電池残量，ネットワーク等からの情報等）を電話機等接続機器に知らせるために制御信号の伝送が必要である．

３．４．１　プロトコルスタック

IrMC 赤外線インタフェースのアーキテクチャは既存の IrDA プロトコルスタックに基づいており，SIR，IrLAP，IrLMP，TinyTP の 4 層から成る．リアルタイム音声伝送を確保するため，TinyTP の上に位置するリアルタイム制御層を設ける．これにより，リアルタイム音声アプリケーションも他の IrDA アプリケーションに並べて置くことができる．プロトコルスタックを図 3-6 に，伝送フレーム構成を図 3-7 に示す．

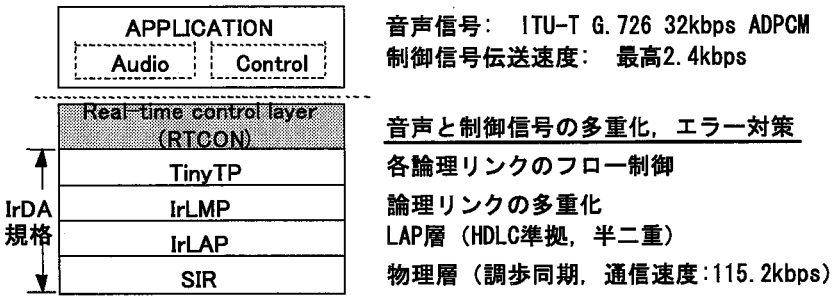


図3-6　IrDAプロトコロスタック

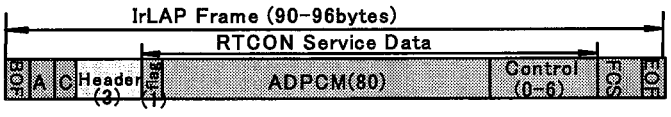


図3-7　フレーム構成

リアルタイム制御層（RTCON）は音声データと制御データの両方を処理する必要がある．このレイヤでは，音声データも制御データも1フレームに圧縮して，TinyTPに渡す方式を選択する．データを個別に渡すとIrLAPフレーム内のオーバヘッドの量が増えるため，実装時に送受信フレーム処理に利用できる時間が減少し遅延等の発生原因となるからである．伝送する音声コーディングに対して，32kbpsのADPCMを採用する．これは115.2 kbpsの半二重通信リンクで高品質の全二重通信を確保でき，多数のパソコンで本コーデックに対応しているためである．

IrLAPフレーム内のユーザデータフィールドは1バイトのフラグ，80バイトの音声データと最大6バイトの制御データで構成する．80バイトの音声データは20 msecの音声信号に相当する．この数値は伝送遅延と実装時の処理CPUにおける送受信フレーム処理時間のトレードオフを考慮して決定した．これが短いと，遅延は短縮されるが処理時間が短くなる．制御データ（最大6バイト）は携帯電話端末ないしパソコンでの必要に応じて転送する．携帯電話端末が通話モードにあるとき，音声データも制御データも転送され，待受けモードのときには制御データのみが転送されることとなる．フラグはユーザデータフィールドの上記区別を示している．IrLAPの全長は最大96バイトであり，その伝送時間は8.3msecである．なお，実験で用いた携帯電話端末でのCPU内のフレーム処理時間は1.7 msecである．

3．4．2　伝送方式

通信手順はIrLAPの動作に基づいている．IrLAP接続のもとでは，各側の局が一次局もしくは二次局として動作する．一次局は発信側であり，20 msのADPCMデータ生成時に上位アプリケーションが要求を発行すると同時にIrLAPフレームを送信できる．二次局は受信側であり，ローカルアプリケーションが要求した保留データがあれば，一次局からのIrLAPフレームが到着したことを通知する指示（以下，指示）を受信後，IrLAPフ

レームを送信できる．したがって，二次局は指示を受信するときには常に保留データを持っていなければならない．

この手順を図 3-8 に示す．一次局からは 20 ms のデータ（P2）が生成後直ちに二次局に送信される．二次局がデータを受信後，P2 は二次局での次のエンコードデータが発生するまで 0-20 ms の間サスペンドされ，その後コーデック（デコーダ）に提供される．P2 受信前に，二次局は保留データ（S2）を持っている必要がある．S2 は P2 受信まで 0－20 ms 待ち，その後 S2 が一次局に送信可能となる．したがって，二次局から一次局への伝送遅延は 30-50 ms (二次局でのバッファ時間= 20 ms，二次局内での送信要求待ち時間= 0-20 ms，IrLAP 伝送時間= 8.3 ms，一次局内での受信プロセス時間= 1.7 ms)となる．また，一次局から二次局への遅延は 30-50 ms（一次局内バッファ時間= 20 ms，伝送時間= 8.3 ms，二次局内の受信プロセス時間= 1.7 ms，サスペンド期間= 0-20 ms)となる．

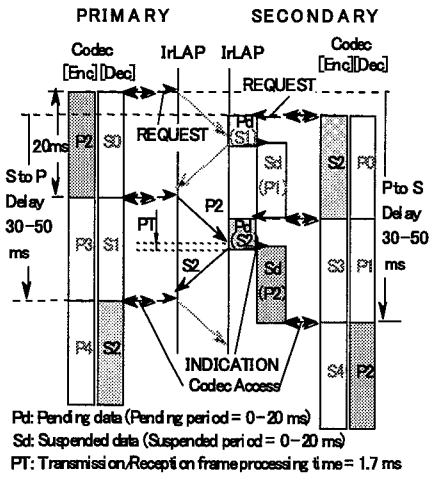


図3-8 ベーシックタイプの正常系手順

３．４．３　音声伝送品質

3.4.2 節で音声伝送手順を明確にし，発生する遅延量を明確にした．IrDA では，機器は同期系ではないため一次局側と二次局側のクロックは独立である．クロックの周波数精度によりクロックスリップが発生し，20ms のフレーム以上にクロックスリップが発生すればエラーが発生する．一次局側が二次局側より早い場合に，一次局側では音声デコード時にデータが到着していないエラーが生じ，また二次局側ではデコードしていないデータがあるにも係らず次のデータを受信する及び送信データタイミングにも係らずエンコードデータがバッファにないエラー状態となる．一次局が二次局より遅い場合に，一次局側ではエンコーダからデータが発生したが送信できていないデータがバッファに存在するエラーが生じ，二次局側ではエンコードデータが発生したにも係らず未送信データがバッファにある，及びデコードタイミングにも係らずデータが到着していないエラー状態となる．エラーが発生した場合，80 バイトを破棄するか 80 バイトの'FF'を挿入するエラー回復手順をとる．これがユーザに対してどの程度の不快感をもたらすのかを検証するため，実験装置を作成し実験を実施した．図 3-9 にオピニオン評価を 10 名で実施した実験結果を示す．エラーの発生間隔と聞き手の不快感の関係を示す．この結果より 20 秒以上のエラー間隔では聞き手に何ら不快感を与えないことが分かる．通常の機器にクロック源として使用される安価な水晶振動子は 50 ppm 程度の周波数誤差であり，エラー発生間隔は 200 秒程度と考えられる．このことより，本提案方式は実質的な品質への問題はなく音声リアルタイム伝送を可能とすることができると言える．音声伝送遅延を少なくするため，コーデックからの出力を 4ms 単位に短縮した方式の実験結果も併せて図 3-9 に示す．音声コーデック出力を 20ms 毎に動作させるのではなく 4ms に変更をした実験回路を作成した．伝送は 80 バイトのままで実施するが，バッファでの待ち時間が最大 20ms から最大 4 ms に減少できる．クロックスリップによるエラーは 20ms から 4ms にタイミング変更をしているため 50 ppm 程度の水晶振動子では 50 秒の発生間隔になると考えられる．図 3-9 から，遅延短縮によ

る品質改善効果はほとんど見られない．従って，図 3-8 に示した伝送手順が実装上簡単であり必要品質を満足しているものと考えることができる．

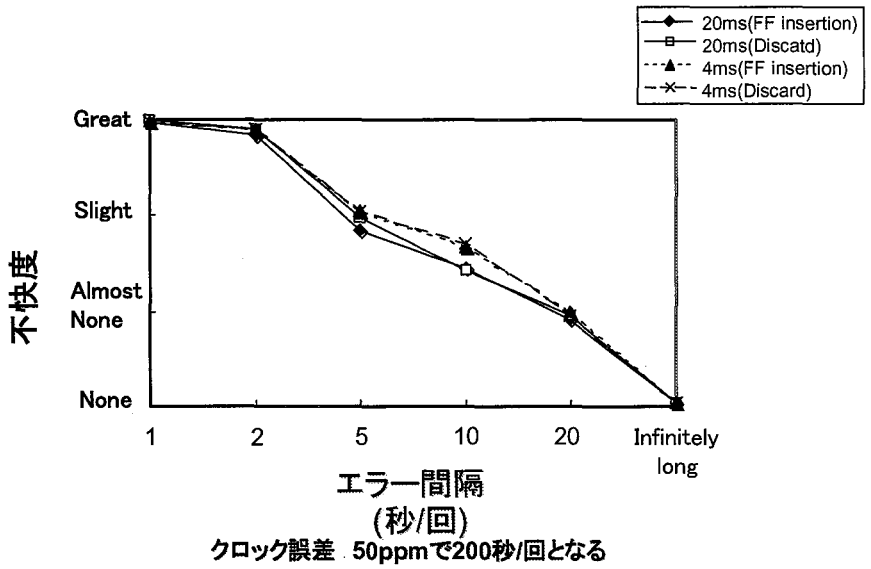


図3-9 不快度 vs. エラー間隔

3．5 IrMC の適用例と普及状況

本節では，3.3，3.4 節に提案した携帯電話端末インタフェース向け赤外線インタフェース IrMC の適用例と普及状況を述べる．

図 3-10 に携帯電話端末に占める赤外線インタフェース装備端末の割合の伸びを示す．IrMC 規格は 1997 年 10 月に標準化されたが，日本の携帯電話端末に本格的に採用開始されたのは，2002 年 5 月発売開始の NTT DoCoMo の PDC ムーバ 504 シリーズからである．2004 年 10 月現在，2,500 万台以上の IrMC 規格を採用した携帯電話端末が利用されている．

現在の利用形態は，図 3-2 の利用形態の中で，電話帳・メール・画像・動画等の携帯電話端末間データ交換がもっとも利用されており，ついでプリンタ・カラオケ機器等の周辺機器へのデータ転送が利用されている．ポケットベルは，図 3-11 に示すように 1990 年代後半から急激に加入者が減少し[1]マルチメディア機器としての意味合いは希薄となり，パソコンとの

データ交換・無線モデムとしての接続での利用は，データカード型セルラ無線機の普及及びパソコンの赤外線（IrDA）標準搭載の中止の影響で一部の利用に留まっている．また，車載電話機との音声通信の利用形態は，G-Book[38]等がセルラ無線機を組み込む形態を採用していること，及びブルートゥースが車載カーナビゲーションの携帯電話端末とのインタフェースとして実用化されている[38] [39]ことより，実装されている携帯電話端末は商用化されていない．しかし，携帯電話端末インタフェースのブルートゥースにおいても非同期系のインタフェースであるため，リアルタイム伝送の考え方は本章での基本的考えがそのまま活かされており，TV 電話通信の伝送も検討されている[40]．

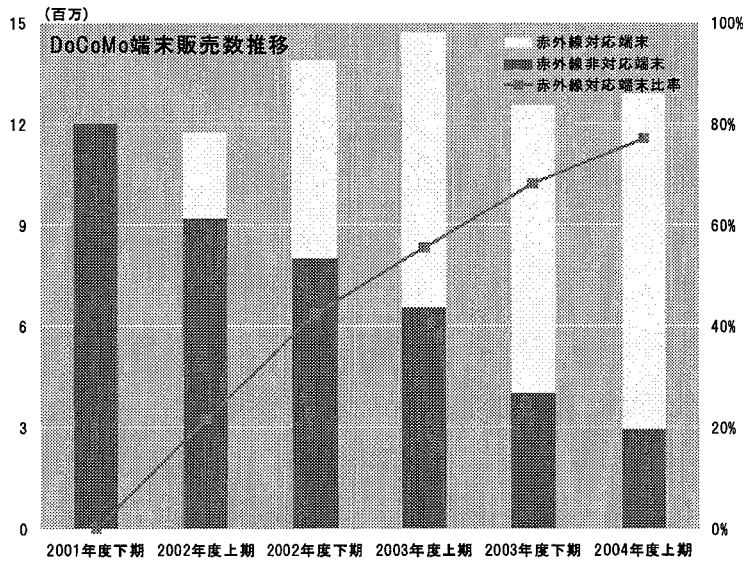
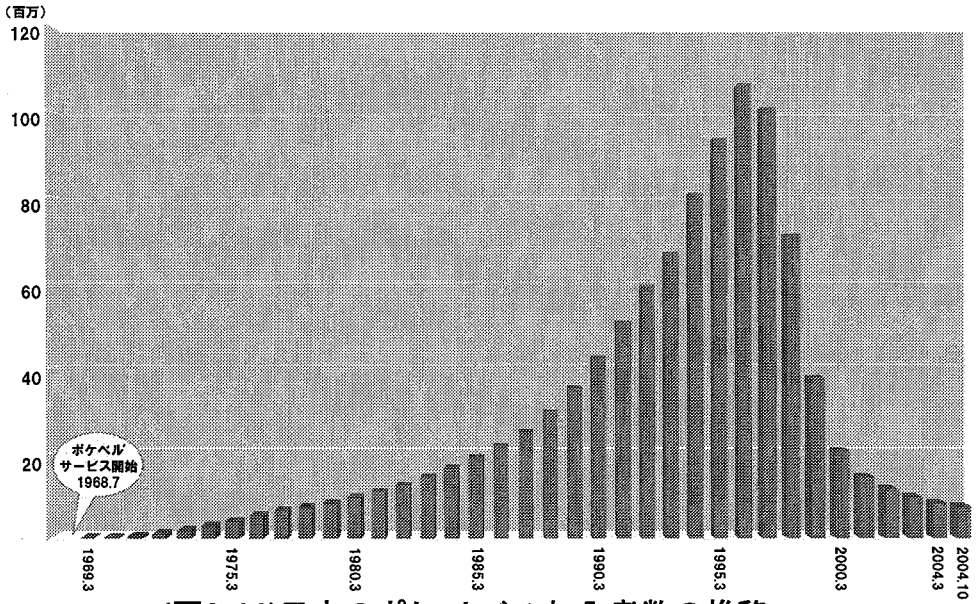


図3-10赤外線付携帯電話端末の伸び(NTTDoCoMo)



(図3-11)日本のポケットベル加入者数の推移

出所：総務省、TCA

3．6　結言

本章では，高機能化の一要素であるマルチメディアインタフェース技術について，IrDA（Infrared Data Association 規格　赤外線インタフェース）を携帯電話端末インタフェースに適用することを提案した．特にIrDAを介した音声伝送時に技術的課題となるリアルタイム伝送を可能とする音声伝送方式を提案した．提案した音声伝送方式について実験を実施し，人間の聴感上問題なく音声伝送を提供できることを示し，本提案方式がリアルタイム音声伝送に有効であることを明らかにした．

また，本赤外線インタフェース技術により，車載電話機との接続機能，電話帳やスケジューラ等の手帳機能と融合した携帯電話端末間の情報転送，パソコン等情報機器との情報転送，携帯電話端末を無線モデムとして利用するデータ通信のためのパソコン等との接続機能が実現可能であることを

示した．現在の携帯電話端末への適用例，普及状況を示すことにより，本提案技術が携帯電話端末の高機能化に有効であることを明らかにした．

第4章　自律分散小型基地局オーバレイシステム

4．1　序言

本章では，携帯電話端末の高機能化の別の側面である，利用形態高度化実現技術を取り上げ，プライベート（コードレス）空間と公衆通信空間とのシームレスな利用を実現する技術について述べる．携帯電話端末の普及に伴いユーザからの携帯電話の利用形態，利用場所への要望が多様化してきている．その一つとしてプライベート（コードレス）空間と公衆通信空間とのシームレスな携帯電話の利用が切望されている．データ系では，無線LANの公衆・プライベート利用という形態での実現が進展中であるが，音声系を中心としたより多くのユーザへの解決策が望まれている．

プライベート空間と公衆通信空間のシームレスの利用環境提供の実現手段としては，以下の3つの方式が想定される．

①デュアルモード携帯電話端末方式：

公衆通信用システムとプライベートシステム用の通信機能を1つの携帯電話に持たせる．

②プライベート用専用周波数割り当て方式：

公衆通信システムで利用可能な周波数帯域内にプライベート専用周波数帯を割り当てる．

③小型基地局による公衆システムへのオーバレイ方式：

プライベート専用周波数帯を割り当てる代りに，公衆通信システムで利用している周波数から公衆システムに干渉を与えない周波数を選択し，小型基地局で利用する．

上記①での実現では，携帯電話端末コストも大幅に高くなる上，周波数がプライベート用に必要であり，また②ではそれだけ公衆通信用の周波数が減少し加入者容量に大きく影響を及ぼす．これに対して，③では，通常

の携帯電話を利用でき，携帯電話コスト増とならない上に，特別な周波数を必要としないことから周波数有効利用に供することが可能である．そこで，本章では，プライベート空間と公衆通信空間のシームレスの利用環境提供の実現手段として，小型基地局を従来システムにオーバレスするシステムを提案し，その実現技術としての携帯電話端末制御方式について述べる．

方式実現のためには，通常の携帯電話が利用できるプライベート利用可能な低コスト・簡易設置・周波数有効利用の小型基地局，およびシステムを実現することが必要となる．本章では，このシステム実現に必要な主要技術を検討し，この中でも周辺情報自動生成方式，周波数誤差補正方式，遠隔監視制御方式，自律周波数選択・干渉回避方式について提案する．また，特に重要である自律周波数選択・干渉回避方式については，公衆用に利用されている周波数の中から，公衆システムに実質的に干渉を与えない周波数を自律的に選択する技術が不可欠である．既に，アナログ携帯電話システム AMPS を対象として，Cellular Auxiliary Service として実用化されているが[11]，当該方式では，周波数選択専用小型基地局が必要，かつ周波数選択における干渉検出能力が十分ではないなどの問題がある．本章では，デジタル方式携帯電話システムを対象とし，周波数選択技術として，携帯電話端末の周波数選択・受信電波強度測定機能を積極的に利用し，干渉検出性能を高めた方式を提案する．また，現在国内において最も利用者数の多い携帯電話システムである PDC システム[12]を例にとり，本提案方式について，実験によりその有効性を確認した結果を述べる．

4．2 自律分散小型基地局によるオーバレイシステム

自律分散小型基地局によるオーバレイシステムの概念図を図 4-1 に示す．図 4-1 に示すように，FDMA(Frequency Division Multiple Access)や TDMA(Time Division Multiple Access)方式を用いた公衆移動セルラシステムでは，周波数を繰り返し利用しているため，セルラ基地局 A エリアでは，送信・受信電力がセルラ基地局と比較して大幅に小さい小型基地局 BS は，

基地局Aが利用していない周波数，例えば基地局Bの周波数を利用可能である．小型基地局BSとセルラ基地局に同一のエアインタフェースを採用することにより，1つの携帯電話端末でシームレスな利用が可能となる．そして小型基地局BSをプライベートな空間で容易に設置利用可能とするためには，各小型基地局システム（小型基地局BSとそれに接続する携帯電話端末 PS）で自律的に周辺情報自動生成，周波数誤差補正，遠隔で利用を停止する監視制御，自律周波数選択・干渉検出を実行する必要がある．

以下の節でこれらを詳述する．

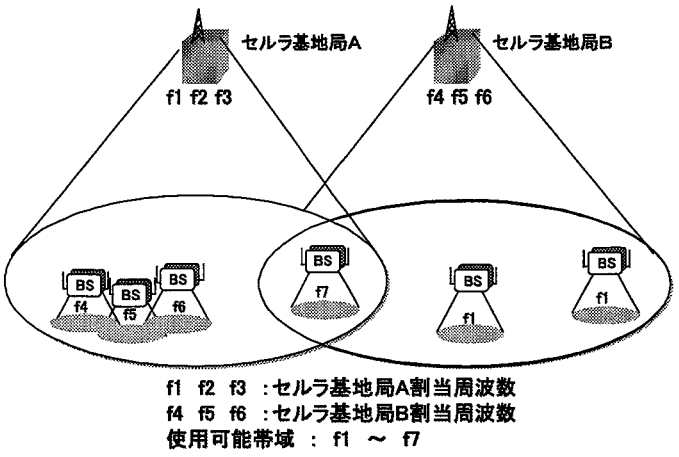


図4-1 小型基地局BSオーバレイシステム概念図

4．3 周辺情報自動生成方式

本節では，自律分散小型基地局(BS)を集合配置した場合における周辺ゾーン情報の自律生成方式について述べる．

PDC等の移動通信方式では，各基地局は隣接する周辺基地局の制御チャネル周波数情報等を制御チャネルにて報知または，通話チャネルにて携帯電話端末(PS)へ通知している[12]．上記周辺情報を利用して，PSの在圏ゾーン移行高速化，チャネル切替高速化，処理簡易化，他ゾーン接続によ

るトラヒック分散化等が可能である．現状の移動通信方式では，図 4-2 に示すように周辺情報は基地局を集約する制御局にて管理されている．自律分散小型基地局(BS)を集合配置した場合においても周辺情報の報知は，PS 在圏移行高速化(着信時不在率軽減)，再発呼型チャネル切替時の通話断時間短縮化に必要となる．BS の配置自由度の確保，及びセルラ側への干渉回避のため，周辺情報は，BS の移設/増設，セルラ側基地局増設/増波等の外部環境変化に自律的に追従変化が必要となる．本節では，自律的に周辺情報を各基地局が生成できる方式について述べる．

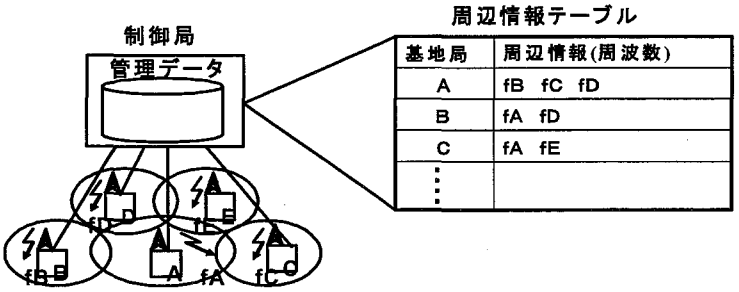


図4-2 従来セルラシステム周辺情報設定方式

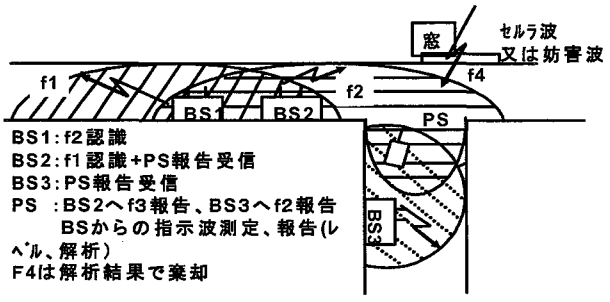


図4-3 BSエリア図

BS での周辺情報自動生成は，BS，PS での受信レベル検出及び信号解析により実現することが可能である．機能分担案を表 4-1 に示す．BS のみでの測定/解析（案 1）では図 4-3 に示す屋内廊下等で代表される BS 位置にオーバーラップしていない周辺 BS の周波数情報を取得できない．また，PS のみでの測定/解析（案 2）では PS 在圏していない場合に情報取得付加/情報取得までの時間が長い等の欠点がある．従って，BS,PS 両方での測定/解析が必要である（案 3，4）．PDC 等の TDMA 方式移動通信携帯電話端末では，待受け時には間欠受信の非受信タイムスロットタイミングにて，通話時は送受タイミング以外のタイムスロットタイミングにて，他の周波数を測定可能であり，呼制御に影響を与えず測定が可能である．そこで TDMA 方式移動通信携帯電話端末を前提とした場合，極力測定機能を PS 側で実現する案 4 がサービス中断時間短縮の観点より最も適していると考えられる．

案	下りﾚﾍﾞﾙ検出		データ解析		問題点等
	BS	PS	BS	PS	
1	○	×	○	×	BS位置にエリア未オーバーラップBSの周辺情報作成不可
2	×	○	×	○	周辺情報作成時間が長い
3	○	○	○	○	データ解析中BS送信停止
4	○	○	×	○	測定機能をPSで集約(PS不在圏時作成不可)

表4-1 機能分担案比較

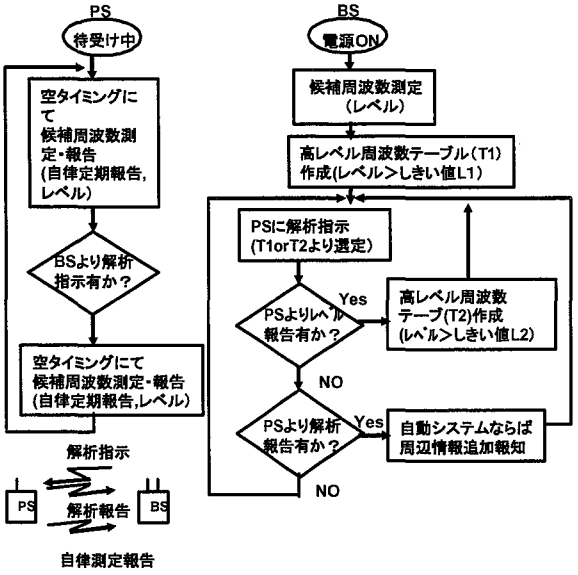


図4-4 自動設定方式アルゴリズム

図 4-4 に案 4 の場合の具体的な BS,PS アルゴリズムを示す．BS は電源投入時に自局にてレベル検出を実施し，高いレベル順のテーブル(T1)を作成する．当初は周辺情報無しにて運用（待受け制御チャネルを送信）を開始し，BS に在圏する PS に T1 内周波数を解析させる．解析結果により，妨害波，セルラ波，集合設置された他 BS を区別し，集合設置された他 BS として判断した周波数を，周辺情報として採用する．さらに PS 側で自律的に各周波数のレベルを測定し，PS からの測定結果に基づき BS 側での高いレベル順のテーブル(T2)を作成する．T1 と同様に，PS により T2 内周波数を解析させた後，周辺情報として採用する．

T1 より BS 位置にオーバーラップしている周辺 BS の周波数情報を，T2 より BS 位置にオーバーラップしていない周辺 BS の周波数情報を生成可能である．

本節で提案する方式を適用することにより，BS 機器局配置の自由度を阻害することなく，BS 間での PS チャネル切替の高速化，ゾーン移行の高速化が実現可能である．

４．４　周波数誤差補正方式

本節では，自律分散小型基地局(BS)を集合配置した場合における周波数誤差補正方式について述べる．

複数 BS により連続したエリアを形成する自律分散小型基地局システムにおいて，サービス性向上のため BS 間の周波数誤差補正が必要である．エリア全体の絶対周波数精度向上，及び周波数精度の均一化により，PS のハンドオーバ，ゾーン移行の時間短縮が可能となる．

周波数誤差補正方式として以下の方式がある．

方式 1：複数 BS を統括する制御装置から，有線により基準周波数を供給することで同一制御装置配下の BS 間で周波数制度の均一化を図る．従来のセルラ方式等で用いられる図 4-5 に示す方式．

方式 2：従来のデジタル方式自動車電話システム[12]で移動局に採用している周波数誤差補正方式を BS に応用し，他基地局の送信波を利用して定期的に周波数補正を行う図 4-6(a)に示す方式．

方式 3：方式 2 に加え，周波数補正を行った BS は，下り制御信号で自送信周波数が補正済みである旨を報知し，BS は補正動作時に，他基地局送信波を復調，信号解析し，“ セルラ波”，“ 他 BS(補正未／済)波” ，“ 外来妨害波” の区別を行い，正当性および優先度を判断する．この動作を各 BS が連鎖的に行うことにより，エリア全体の周波数精度が向上し，均一となる図 4-6(b)に示す方式．

方式 4：周波数補正済み報知は方式 3 と同様とし，BS は，自身での信号解析は行わず，受信波の周波数を存圏 PS に通知することで，PS が信号内容の解析及び BS への結果報告を行い，方式 3 と同等の効果を得る図 4-6（c）に示す方式．

方式 5：BS は，セルラシステム又は他 BS と通信中の PS 送信波を受信し，外来妨害波でないことを確認した後に当該周波数を利用して周波数補正を行う．このとき，通話チャネル内に“ セルラ波”，“ 周波数補正未／済” 情報を格納する．図 4-6(d)に示す方式．この方式では，BS 自身が基地局

送信波を直接受信できない場所に設置されていても周波数補正が可能となる.

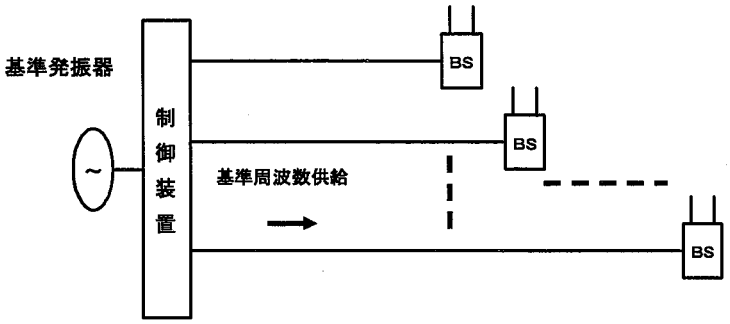


図4-5 従来の基準周波数分配方式

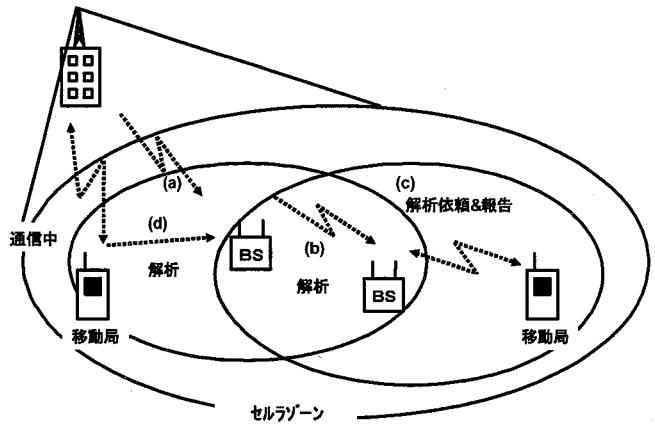


図4-6 各種周波数補正方式

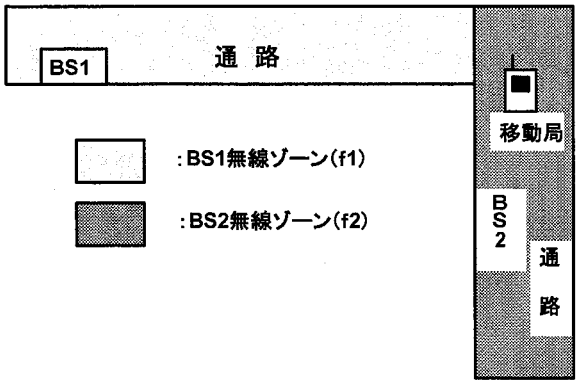


図4-7 他BS送信波直接環境受信不可

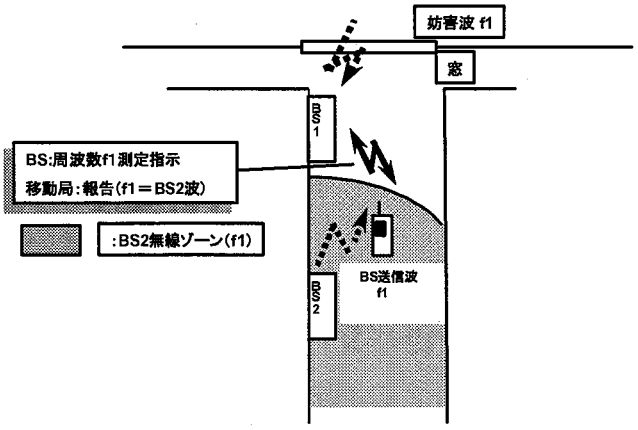


図4-8 妨害波受信環境

表 4-2 に各方式の比較結果を示す.

	信頼性	安定性	コスト	BS設置容易性	実現のための主な機能
方式1	○	○	×	×	制御装置:優先回線による基準周波数供給機能 ＢＳ　:優先ンクロック引き込み機能
方式2	×	△	○	△	ＢＳ　:下り周波数に対する周波数補正機能
方式3	○	○	△	△	ＢＳ　:方式2の機能+下り信号復調・解析機能
方式4	△	△	○	△	ＢＳ　:方式2の機能と同様
方式5	○	△	○	○	ＢＳ　:上り周波数に対する周波数補正機能 ＰＳ　:通話CHに補正未／済情報格納

表4-2 方式比較

方式 1 は，周波数精度は制御装置に依存する．高精度の基準周波数発振器を採用するため少数の BS の収容ではコスト的な問題が発生する．また，制御装置~BS 間の距離や回線種別等に制約が発生し，BS 設置場所に制限が発生する．

方式 2 は，従来移動局の部品等を応用することで，BS の低コスト化が可能である．しかし，外来妨害波の影響を受けやすく，信頼性及び安定性に問題がある．

方式 3 は，外来妨害波の影響を除去可能である．しかし，図 4-7 の様に，他 BS の送信波を直接受信できない環境下ではシステム全体の周波数精度均一化を実現することが困難であり，お互いの送信波が届く距離内に BS を設置する制約が発生する．

方式 4 は，復調機能不要分 BS コストが有利である．しかし，屋内設置時は方式 3 と同様の制約が発生する．また，図 4-8 の様に，移動局の在圏位置によっては，妨害波に対して周波数補正を行う危険性がある．

方式 5 は，方式 3，4 での制約は解決される．しかし通話トラヒックの低い場合には補正不能となり，BS は定期的周波数補正が必要であるためトラヒックの影響を受け，安定性を期待できない．

以上の比較検討から，各 BS をできる限り互いの送信波が届く距離に設置し，方式 3，4，5 の併用により，集合設置した自律分散小型基地局による連続したエリアを，廉価で容易に実現可能とできる．

４．５　遠隔監視制御方式

本章で提案する自律分散小型基地局によるオーバレイシステムでは，セルラシステムに割り当てられた周波数を自律分散周波数選択機能により副次的に用いるものであり，周波数の利用はあくまでセルラシステムが優先される．また，公衆セルラ契約のあるユーザが，公衆エリアとプライベートエリアをシームレスに利用できることを意図しており，公衆セルラ契約をしていないユーザに対してのサービスを想定していない．従って，プライベートシステムは何らかの形でセルラシステムから監視制御される必要がある．米国のシステムではセルラ事業者から固定電話網経由のモデム通信によりプライベートシステムの制御を行う方法や[11]，プライベートシステムの BS がセルラシステムの制御信号を直接受信する方法が報告されている．前者はセルラシステム側にモデム通信の設備が必要となり，また後者はセルラシステムの圏外に BS を設置することができないという問題がある．

ここでは，PS を介在させたセルラシステムによる OTA（over the air）を，すなわち通信規制情報をセルラ基地局から PS へ通知し，その規制情報を PS がプライベートシステム在圏時に BS へ転送して制御する方式を提案する．

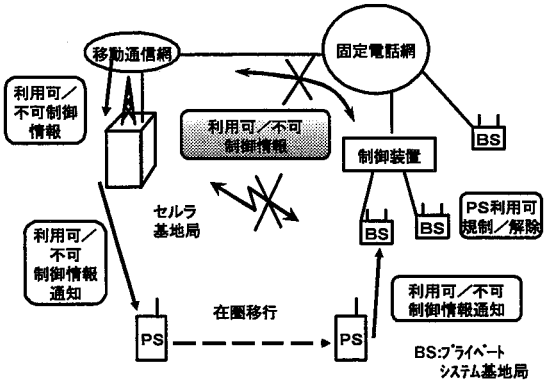


図4-9 利用停止方式

図 4-9 に示すように利用停止の状態(セルラシステムへの加入契約が解約された状態)が生じるとセルラシステムはPSにプラベートシステムの利用不可を示す通信規制情報を生成し，PS がセルラシステムで発信した場合に例えば解放メッセージの理由表示として PS に通知する．通信規制情報の通知を受けた PS は，これを記憶し自身が通信規制状態にあることを認識する．プライベートシステム移行時に，その通信規則情報を例えば位置登録信号とともに送信して BS へ通知し，通知を受け取った BS は通信規制情報に基づいて，自身の規制及び PS が利用停止状態である事を確認し規制を行う．また，通信規制解除については，通信規制を通知する方法と同様に，PS がセルラシステム在圏時にセルラ基地局から通信規制解除情報を受け，PS はこの情報を記憶し自身が通信規制解除状態であることを認識する．その後，プラベートシステム在圏時に位置登録信号とともにBSに通信規制解除情報を通知しその情報に基づいてBSでは利用停止が解除される．

提案する通信規制通知アルゴリズムを図 4-10 に示す．

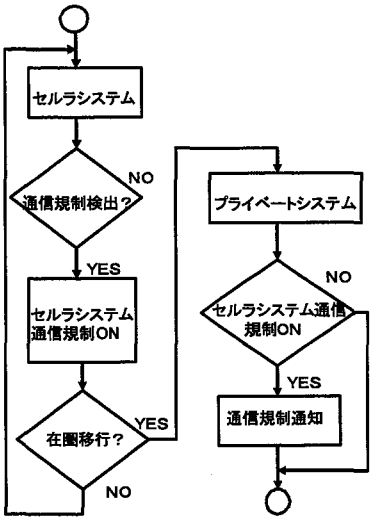


図4-10 通信規制通知アルゴリズム

PS がセルラシステム在圏下において，セルラシステムの契約が解約されていた等の場合は，発呼に対する解放メッセージの理由表示で通信規制を受け，PS 内部でセルラシステム通信規制 ON の状態となる．その後，プライベートシステムに在圏移行した時点で，セルラシステム通信規制 ON 状態であるか否か判定し，通信規制 ON の場合には位置登録信号とともに BS に対して通信規制通知を送出する．

プライベートシステムにおける遠隔監視制御方式として，本節で提案した PS を介在させたセルラシステムによる OTA(over the air)を採用することにより，従来方法の欠点であるモデム通信設備等の必要性，あるいはセルラシステム圏外にはプライベートシステムの設置不可が克服できる．

４．６　自律周波数選択・干渉回避方式

公衆セルラシステムに新たなシステムをオーバレイする際，新たな干渉が発生することは，公衆セルラシステムの品質低下，加入者容量の低下を招き，許容されない．特に上り系（小型基地局 BS と通信中である携帯電話端末 PS→セルラ基地局）の干渉回避は重要である．なぜなら，下り系

（BS→セルラ基地局と通信中 PS）干渉が，BS の電波が届く限定された範囲の PS に影響を与えるのみであるのに対して，上り系の干渉は当該セルラ基地局エリア全域の PS に影響を与える可能性があるからである．

以上のことから，本システムでは，上り系干渉を極力回避可能な，自律周波数選択・干渉検出アルゴリズムが求められる．自律周波数選択に関する研究は文献[73]等あるが，小型基地局を従来セルラシステムにオーバレイするという形態は前提とされていない．本節では，自律周波数選択・干渉検出アルゴリズムの具体的手法として，BS でのセルラ未使用周波数の検索に加え，BS エリア内に待受け又は通信中にある PS（以下在圏 PS と呼ぶ）での遠隔測定（レベル測定，受信解析，品質測定）結果を総合的に BS において判断するアルゴリズムを提案する．この提案アルゴリズムは，携帯電話側で本来備えている機能を巧みに利用するものである．

即ち，PDC 等の TDMA セルラシステムでは，携帯電話端末は，通信中の MAHO (Mobile Assisted Handover) のために，TDMA の通信で利用していない空きタイムスロットでの別周波数の受信電波強度レベル測定機能を具備している．さらに，通信中周波数の被干渉レベル測定による品質検出能力とともに，これらの結果を基地局へ報告する能力も備えている．更にまた，携帯電話端末には，着信待受け状態時でのセルラ基地局選択のため，着信を待受けるタイムスロット及びシステム側から報知される基地局情報を受信するタイムスロット以外のタイムスロットにおいて，現在受信している周波数以外の周波数に切り替え，その周波数での受信電波強度レベルを測定する機能も具備されている．

これらの携帯電話端末での能力を組み合わせ，待受け時及び通話中において，通信している周波数自身の測定（レベル測定，品質測定，受信解析）を実施するとともに，通信している以外の周波数についても同時に測定をし，この結果を BS へ報告させることを本提案アルゴリズムでは利用している．なお，ここでの受信解析はセルラ基地局コードを解析するものである．通常，同一のセルラ基地局からは複数の周波数が送信されているので，もし同一コードをもつ周波数で，一つでも受信レベルが大きい周波数が観

測された場合には，他の周波数も大きい受信レベルとなる可能性があると判断し干渉回避を行う．

具体的には，以下の手順によって自律周波数選択・干渉検出を実行するが，その提案アルゴリズムを図 4-11 に，測定環境概念図を図 4-12 に示す．

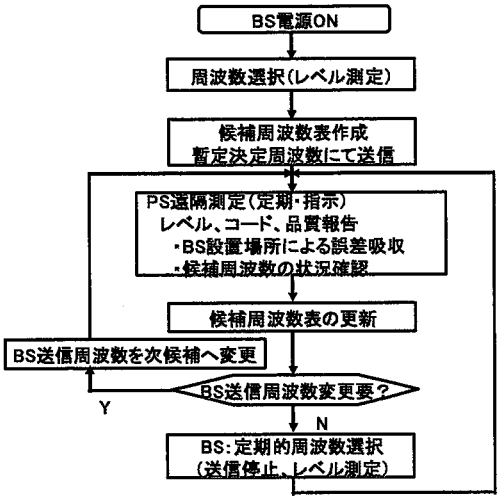


図4-11 自律周波数選択・干渉検出アルゴリズム

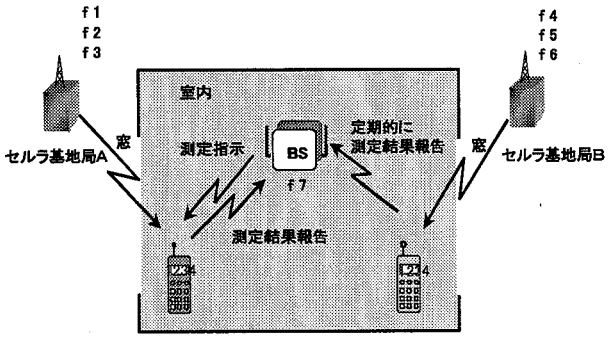


図4-12 測定環境概念図

①小型基地局 BS の電源投入後，BS 側受信レベル測定によって，セルラ未利用周波数を判断し，BS 内に使用可能周波数一覧表を作成する．

②一覧表中の 1 周波数で，BS は送信を開始する．

③在圏 PS は，上記周波数において，着信待受け状態となる．

④在圏 PS において，待受け・通信中状態に関わらず，他の周波数のレベル，品質，セルラ基地局コード及び自周波数の品質測定結果を，BS へ定期的または BS からの指示に応じて報告する．

⑤BS は上記④の他の周波数に関する遠隔測定情報に従い，干渉ありと判断した周波数を削除し，一覧表を更新する．

⑥自周波数による与干渉を回避するため，上記④の自周波数の品質測定結果で一定の品質を下回るか，もしくは，BS にて PS が待受け中にも関わらず上り受信波を観測した場合には，一覧表中の別周波数へ自周波数を変更する．さらに，安全のため一定時間経過した時点でも，自周波数を変更する．

以下に，小型基地局 BS によるオーバレイシステムの代表的設置例を対象に，本提案アルゴリズムに基づく自律周波数選択・干渉検出方式の有効性について検討を加える．図 4-12 に示すように，プライベート空間はビル内に設置される場合が多いと想定できる．この場合，都市内ビルでは窓の方向によって，セルラ基地局から受信される周波数は全く異なり，更に，ビル高層に位置する PS からの上り干渉は，大きな干渉を与えるばかりでなく，同一周波数を使用する複数セルラ基地局へ影響を与えると考えられ，干渉発生を回避することが必須である．

アナログセルラ向けシステムに採用されている空き周波数選択専用基地局(受信局)を設置する方式[12]では，セルラ基地局 A 側の窓，セルラ基地局 B 側の窓近傍に上記専用基地局を設置しなければ，図 4-12 の電波環境を知ることができない．この場合，窓の数，部屋の構造，ビルの構造等により，専用基地局の数が膨大となるばかりでなく，専用基地局の設置場所の選定にはセルラの基地局情報及び小型基地局 BS のプライベート空間形成に関する知識のある技術者が携わる必要性が生じ，安価かつ自由に，上

り干渉を発生しない条件でプライベート空間を作ることは非常に難しいと考えられる.

これに対して，本節で提案する方式では，在圏 PS を電波環境測定器として利用しており，干渉源そのものである在圏 PS での電波環境の測定が可能である．つまり干渉源である在圏 PS がセルラ基地局 A 側の窓側に移動すれば，干渉を与えるセルラ基地局 A からの電波環境を在圏 PS 側での測定により自動的に把握可能となり，また在圏 PS がセルラ基地局 B 側の窓側に移動すれば，同様にセルラ基地局 B 側の状況が把握可能となる．更に，PS は一日中人が持って歩くため，待受け状態においての測定により，プライベート空間全域の電波状況を把握することが可能となり，多数の専用基地局を設置するのと同様の効果を得ることが可能である.

以上，提案方式により，プライベート空間が都市内のビル内に設置された場合においても，プライベート空間設定の容易性を損なうことなく上り干渉の回避が可能である.

なお，セルラシステムへの影響を抑えるためには，携帯電話に着信をかけるための着信制御チャネルは選択候補周波数からはずし，通話用チャネルから選択を実施する必要がある．即ち，万一，着信制御チャネルに影響を与えると，全サービスエリアで着信不能となり重大な影響が想定されるからである.

4．7　オーバーレイシステムの選択可能周波数の数

4．7．1　市街地モデル

提案アルゴリズムにより，原理的にセルラ基地局への干渉を極力発生させることなく小型基地局 BS のサービスエリアが確保でき，かつ小型基地局間での棲み分けが可能となる．本節では，周波数選択しきい値と小型基地局で使用可能なキャリア数について検討する.

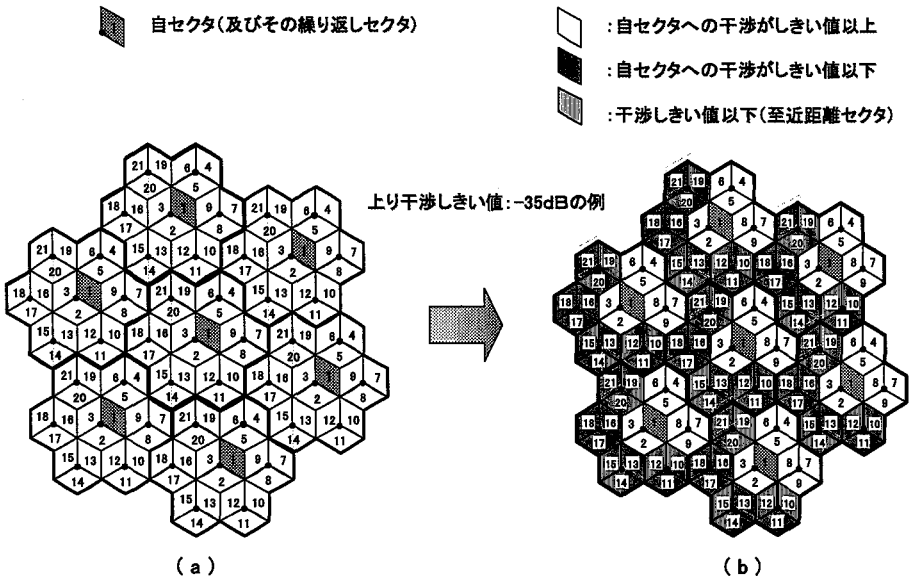


図4-13 市街地セルラシステムモデル:3セクタ7セル

都市部での評価モデルの典型的な例として，図 4-13 の「市街地セルラシステムモデル：3 セクタ 7 セル」を取り上げ，この上にオーバレイする小型基地局で選択可能な周波数の数を検討する．ここで，セルラシステムにおける各基地局セクタアンテナの指向性モデルは，該当する携帯電話の方角に対して下記の近似が成り立つものと仮定する．但し，$G(\theta)$は，図 4-14 に示すように，セルラ基地局の受信アンテナの指向特性（片側表示）であり，θはアンテナ主方向からの角度である．

$G(\theta)$ ≒ - 3 dB までの直線近似（θ = 0° ～±60° ） (4-1)

$G(\theta)$ ≒ - 3 dB から - 30 dB までの直線近似（θ = ±60° ～±180） (4-2)

また，小型基地局 BS／セルラ基地局送信出力比：-20 dB，小型基地局 BS 接続時／セルラ基地局接続時の携帯電話端末出力比：-20 dB，小型基地局 BS／セルラ基地局セル半径比：1/10，更に小型基地局 BS アンテナ，携帯電話アンテナ共に無指向性アンテナと仮定する．

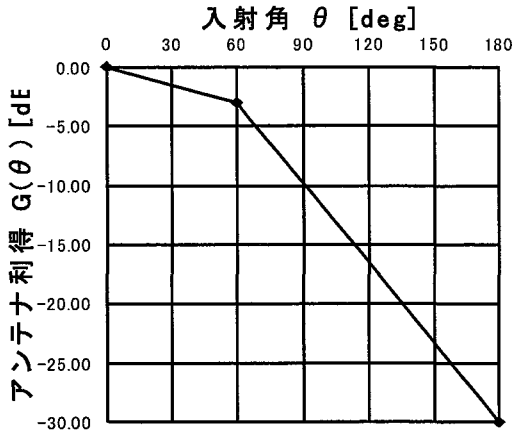


図4-14 セルラ基地局受信アンテナ指向特性

以下には，図 4-13 を参考にして，ある注目するセル(自セル)のセルラ基地局が受ける上り干渉について検討する．まず，図 4-15 に示すように，自セルのエリア端に存在し，自セルのセルラ基地局と通信をしている携帯電話端末から送信し，自セルのセルラ基地局で受信できる上り電波を希望波とする．また，自セル以外のセル(干渉セル)のエリア内に存在し小型基地局 BS と通信中の在圏 PS の同一周波数送信波が，自セルのセルラ基地局で受信されるものを干渉波とする．小型基地局 BS を設置することによって在圏 PS より発生する上り干渉は，この希望波と干渉波の比として計算が可能である．

希望波および干渉波の長区間変動（距離特性）は，dB 表示で以下の式で与えられるものとする[21]

$$m_d = P_d + G(\theta_d) + 10\log(e^{-kr}) \quad (4\text{-}3)$$

$$m_I = P_I + G(\theta_I) + 10\log(e^{-kR}) \quad (4\text{-}4)$$

ここで，m_d, m_Iは自セルにおけるセルラ基地局で受信される希望波電力，干渉波電力，P_d, P_Iは希望波および干渉波の PS 送信実効電力，$G(\theta)$は式(4-1)，式(4-2)で与えられるセルラ基地局の受信アンテナの指向特性，θ_d, θ_Iは自セルと通信しているエリア端に存在する携帯電話端末および干渉

セル内干渉源 PS の存在位置の自セル基地局アンテナ主方向からの角度である．また，k は伝搬定数で，市街地モデルに対する値 3.5 に設定する．

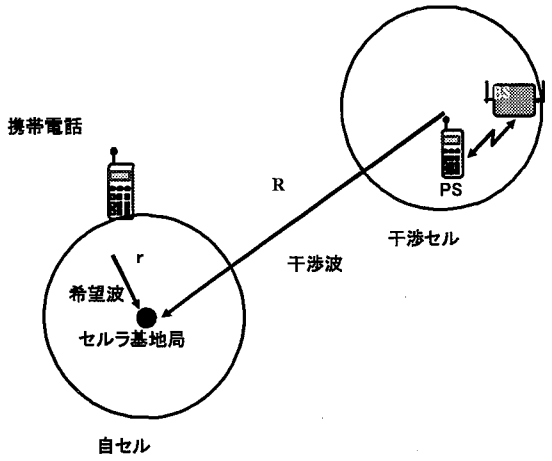


図4-15 希望波／干渉波の関係

次に，以上の設定諸条件下において，図 4-13 のモデルにおける小型基地局 BS 及びその BS と通信する 1 台の在圏 PS を設置した場合に新たに発生する干渉量を検討する．但し，通常考慮される自セルセクタ「1」の周波数繰り返しにより，セルラ基地局と通信をしている携帯電話からの干渉については考察の対象外とし，ここでは，小型基地局 BS 及びその BS と通信する在圏 PS を自セル以外のセル（干渉セル）であるセクタ「2」～「21」のいずれかに 1 つ設置した場合に新たに発生する干渉量のみに注目する．即ち，干渉量増加を一定値まで許容するならば，小型基地局 BS を設置した場所（BS と通信する在圏 PS の存在場所）で，自セルセクタ「1」で使用されている周波数を再利用可能であると考えることとする．この干渉量増加を許容する一定値を『しきい値』と以下では呼ぶこととする．

さて，セクタ「1」を自セル，その他のセクタ「2」～「21」を干渉セルとして，個々のセル毎に干渉波／希望波電力比を式(3)，式(4)を用いて計算を行うが，干渉計算簡単化のため，各セクタ内での干渉源在圏 PS の設置場所の代表

点として，図 4-16 に示すように，1 つのセクタを 2 つのセクタに分割し，分割したセクタのそれぞれの中心点を仮定する．

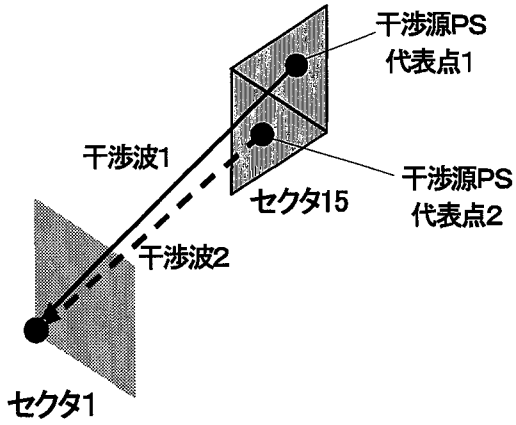


図4-16 干渉源PSの各セクタ設置代表点例

このようにして計算を行った結果，セクタ「2」～「21」の個々について在圏 PS の設置場所として，「しきい値以上の干渉を与えるセクタ」と「しきい値以上の干渉を与えないセクタ」とに区別することができる．一例として，図 4-13(b)にしきい値を-35 dB とした場合を示す．PDC 方式標準規格[12]では，標準移動局側での干渉検出の値として，干渉波／希望波電力比-13 dB を定義している．図 4-13(b)で用いた-35 dB という値は，標準で定める-13 dB より 2 桁以上小さい値であり，干渉量増加として十分許容可能な値の例と考えられる．ここで，各セクタの 2 つの代表点のいずれにおいてもしきい値以上の干渉を与えるセクタを「しきい値以上の干渉を与えるセクタ」として無地で示し，また各セクタの 2 つの代表点の内いずれかで干渉量がしきい値を上回る場合を「至近距離セクタ」として縦斜線で示し，両方の代表点がしきい値を下回る場合を「しきい値以上の干渉を与えないセクタ」として斜め斜線で示している．

「しきい値以上の干渉を与えないセクタ」内では，しきい値までの干渉増加を許容すれば，自セル周波数を小型基地局 BS にて使用することが可

能となり，また，「至近距離セクタ」内では，セクタの半分で自セル周波数を小型基地局 BS にて使用することが可能となり，平均して自セル周波数の半分が利用可能となる．以上のような干渉計算法により，各セクタを自セルとし繰り返し計算を実施することで，各セクタ内小型基地局 BS で利用可能な周波数を求めることが可能である．しきい値を-25～-40 dB まで変化させて上記の計算を繰り返し，「小型基地局 BS での選択可能周波数率」対「しきい値」の関係を求めた結果を図 4-17 に示す．ここで選択可能周波数率とは，3 セクタ 7 セル繰り返しで使用される 21 個の周波数の内の何%が利用可能であるかを示すものである．従って，3 セクタ 7 セルを採用しているセルラシステム内に設置された 1 つの小型基地局 BS において，実際に利用可能な周波数の数は，この%に当該セルラシステムで実際に使用される周波数の数をかけたものとなる．

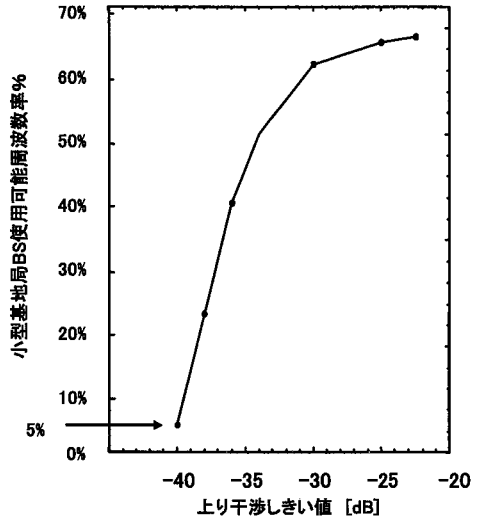


図4-17 干渉しきい値と利用可能周波数率の関係

ここで，セルラ BS における上り干渉値を I，小型基地局 BS における下り信号レベルを S，セルラセクタ境界下り信号レベルを L_X，セルラ接続時の PS 最大送信電力を P_d，BS 接続時の PS 最大送信電力を P_I とすると以下の式で図 4-17 の上り干渉閾値を下り信号レベル閾値に読み替えることができる．

$$S - L_X = I + (P_d - P_I) \quad [dB] \qquad (4\text{-}5)$$

この下り信号レベル閾値とは， BS 内アルゴリズムで用いるこの値以下であればセルラ未使用周波数と判断するための受信レベル値である．

４．７．２　郊外地モデル

郊外地での評価モデルの典型的な例として，図 4-18 の「郊外地セルラシステムモデル：3 セクタ 19 セルモデル」を取り上げ，この上にオーバレイする小型基地局 BS で選択可能な周波数の数を検討する．ここで，セルラシステムにおける各基地局セクタアンテナの指向性モデルは，4.7.1 項と同様式 (4-1)，(4-2)で $G(\theta)$が与えられるものとする．図 4-15 に示す上り干渉量を，図 4-18 のモデルにて，セクタ「1」を自セル，その他のセクタ「2」～「57」を干渉セルとして，個々のセル毎に希望波／干渉波電力比を式 (4-3)，式 (4-4) を用いて計算を行うが，干渉計算簡略化のため 4.7.1 項と同様に，図 4-16 に示す各セクタ内での干渉源在圏 PS の設置場所の代表点として，1 つのセクタを 2 つのセクタに分割し，分割したセクタのそれぞれの中心点を仮定する．

このようにして計算を行った結果，セクタ「2」～「57」の個々について在圏 PS の設置場所として，「しきい値以上の干渉を与えるセクタ」と「しきい値以上の干渉を与えないセクタ」とに区別する事ができる．一例として，図 4-18 にしきい値を-43dB とした場合を示す．PDC 方式標準規格[12]では，標準移動局側での干渉検出の値として，干渉波／希望波電力比-13 dB を定義している．図 4-18 で用いた-43 dB という値は，標準で定める-13 dB より 3 桁小さい値であり，干渉量増加として十分許容可能な値の例と考えられる． ここで，各セクタの，2 つの代表点のうちいずれかで干渉量がしきい値を上回る場合を「至近距離セクタ」とする．

しきい値を-25～-40dB まで変化させて，「小型基地局 BS での選択可能周波数率」対「しきい値」の関係を求めた結果を図 4-19 に示す．

ここで，図 4-19 の上り干渉しきい値は 4.7.1 項と同様に式(4-5)を用いて，BS 内アルゴリズムで用いるセルラ未使用周波数と判断するための受信レベル値である下り信号レベル閾値と読み替えることができる．

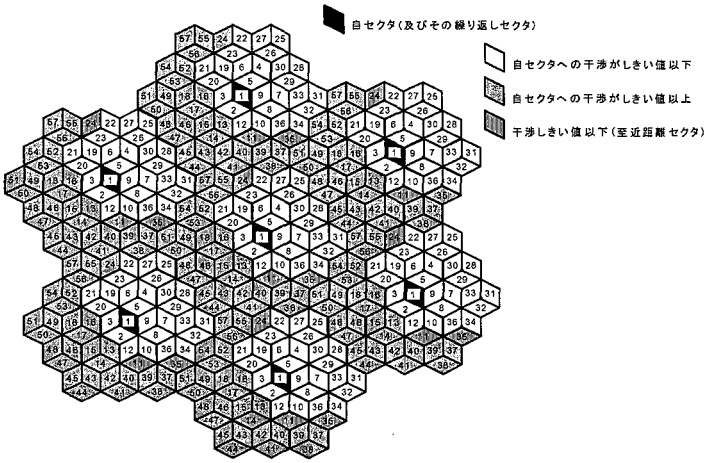


図4-18 郊外地モデル:3セクタ19セルモデル

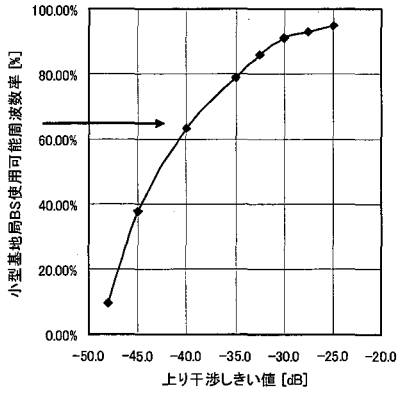


図4-19 しきい値と利用可能周波数の関係

４．８　自律周波数選択・干渉回避方式の実験

本節では，自律周波数選択，干渉検出アルゴリズムによる実動作，小型基地局利用可能周波数についての実験結果を示す．

本章において提案しているアルゴリズムにより使用可能周波数が精査されていくモデルの概念図を図 4-20 に示す．即ち，図 4-11 に示したアルゴリズムによる BS 内の使用可能周波数一覧表内の周波数の数の時間的変化を示したものである．電源立ち上げ時に BS にて使用可能周波数を選択し，その後，在圏 PS での遠隔測定（レベル測定，受信解析，品質測定）結果により，利用可能周波数が精査されてゆく．この場合，PS の移動によりさまざまな場所条件での測定結果が利用されている．またセルラシステム側のトラヒック変動により，セルラシステムで使用される周波数が増減するが，ピークトラヒック時の測定を BS，在圏 PS で測定することで利用可能周波数選択が精査される．

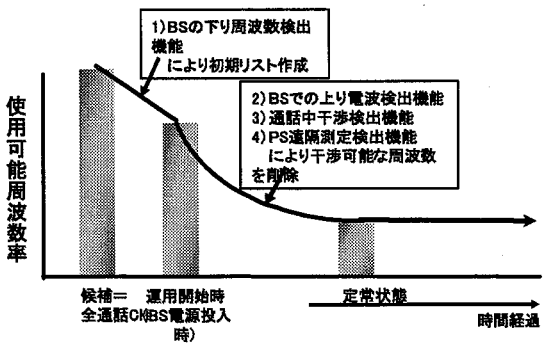


図4-20 自律周波数選択機能により使用可能周波数が精査されていくモデル

４．８．１　実験結果と考察(市街地)

本章で提案したアルゴリズムの動作効果の確認のため，国内の携帯電話で最も利用者の多い PDC システムに対して，実験システムを構築し，実験を東京都内で実施した．在圏 PS は現在の PDC 携帯電話端末のソフトのみを改造し，BS との接続時の送信出力を標準化で定義されている最大の送信電力制御をかけた状態の 8 mW（PDC 携帯電話の最大出力 0.8 W の 20 dB ダウン）で使用した．また，BS は 10 mW の出力とし，PDC 基地局側の接続プロトコルソフトを搭載し，PBX 等と接続可能とした．また，BS 送信波，PS 送信波の PS 及び BS 各々への伝送はケーブル接続により実現した．

BS1 台に PS2 台を在圏させ，待受け状態での利用可能周波数の時間変動測定に際しては，通話チャネル 192 波を対象とし，使用可能と判断する受信レベルのしきい値を 10 dBμV とした．以下には，都内 3 ヶ所での実験結果を示す．図 4-21 は，湾岸地区（青海地区）で，都内各所が見えるビルでの平日の結果，図 4-22 は同地点での週末の結果，図 4-23 は典型的な都内（虎ノ門地区）ビル内の平日の結果，図 4-24 は都内（新宿地区）半地下オフィスの平日の結果である．

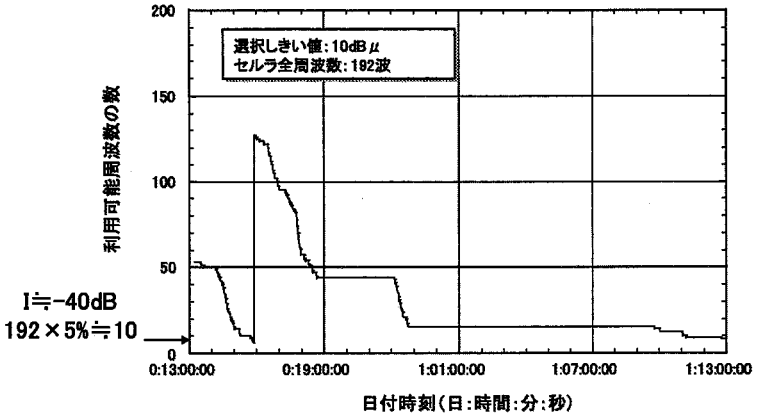


図4-21 自律周波数選択･干渉検出実験結果(都内見通し良好地点，平日)

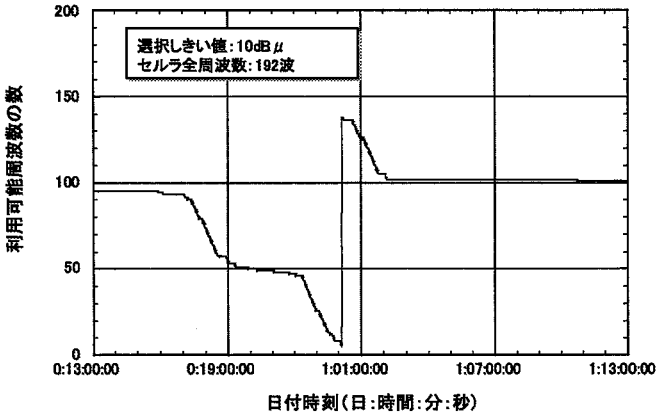


図4-22 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内見通し良好地点, 週末)

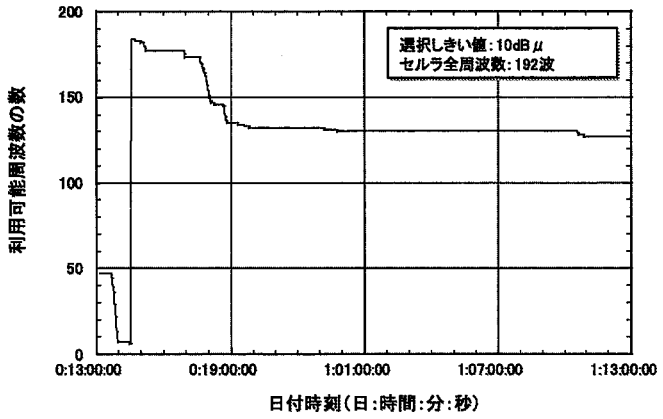


図4-23 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内オフィス内, 平日)

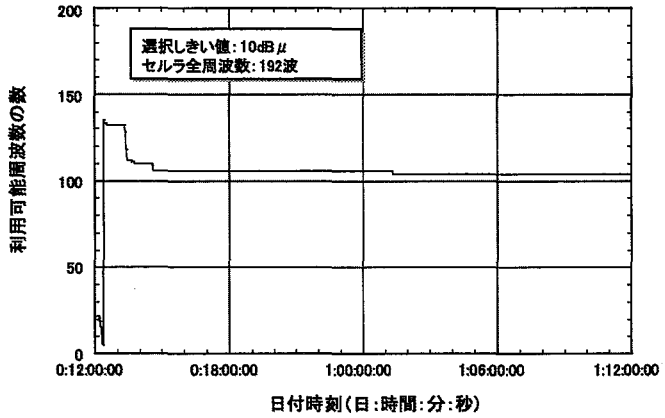


図4-24 自律周波数選択・干渉検出実験結果(都内半地下オフィス内，平日)

図 4-21 の結果は，図 4-20 に示すモデルと同様の動作をしていることを示している．実験結果図 4-21 では，16 時付近で，再度電源立ち上げを実施しているが，今回の実験では電源立ち上げ動作は利用可能周波数の数が 5 以下となった場合に実施されるように設定した．即ち，実際のセルラシステムでは，携帯電話端末が高層ビルで使用されるなどにより，飛び越し伝搬による干渉が発生しているが，図 4-11 に示すアルゴリズムにより，一度干渉を検出した周波数は利用可能周波数の一覧表から削除しているので，高トラヒックのセルラシステムに対して長時間測定を実施すると一覧表内の利用可能な周波数の数はゼロとなってしまう．従って，この対応として，一覧表内の周波数の数が一定値以下（実験では 5 以下）となれば，再度電源立ち上げと同様の動作を実施させ，利用継続をさせるアルゴリズムを採用した．

さて，電源立ち上げ時点で 192 波から 130 波弱を使用可能と判断し，その後 PS による遠隔測定等によって 7 時間程度で 15 波強程度まで，使用可能周波数が減少していることが分かる．即ち，この場合，非常にセルラシステムのトラヒックが高いため，急激に干渉検出により利用可能周波数の

４．８．２　実験結果と考察（郊外地）

郊外地での動作確認のため，本システムを用いた実験を神奈川県横須賀市にて実施した．実験で使用したPS及びBSは4.8.1項の市街地実験で用いたものと全く同じものを用いた．BS1台にPS2台を在圏させ，待ち受け状態での利用可能周波数の時間変動を測定した．通話チャネル192波を対象とし，使用可能と判断する受信レベルのしきい値を10dBμVとした．

実験結果を図4-25，図4-26に示す．

図4-25より電源立ち上げ時点で192波から130波強を使用可能と判断し，その後PSによる遠隔測定等によって4時間程度で120波強程度まで，使用可能周波数が減少していることが分かる．郊外地であるためトラヒックが低く利用されている周波数も少ないため，ゆっくりと120波まで精査され都市部と比較して多くの周波数が利用可能と判断していると理解できる．

ここで，使用可能と判断する受信レベルのしきい値10dBμVは，4.8.1項市街地での実験と同様に，式（4-5）によりセルラBSにおける上り干渉値しきい値I=-40dBと換算できる．図4-19より上り干渉閾値-40dB時の選択可能周波数の数は60%強である．これは図4-25中に示すように周波数の数としては約120波に相当し，実験結果と一致しており，提案したアルゴリズムが想定通り動作していると検証ができたと考えられる．

電源立ち上げ約1週間後の，周波数の数の変化を図4-26に示す．この間周波数の数が0になることはないが，徐々に減り100波程度となった．これは，郊外地においては安定的に多くの周波数がプライベート用として本システムで利用可能であるということを示している．

数が減少したことを意味している．また，15 波強程度まで収束した状態の選択された周波数を具体的に調査したところ，設置したセルラ周辺エリアで利用されていない周波数であることを確認できた．

ここで，今回の実験条件である使用可能と判断する受信レベルのしきい値を 10 dBμV を図 4-17 内の上り干渉しきい値に，式(4-5)を使って換算する．今回の実験では，セルラ接続時の PS 最大送信電力 P_d = 0.8W，BS 接続時の PS 最大送信電力 P_I =0.8W-20dB であり，セルラセクタ境界下り信号レベル L_X は通常使用時に携帯電話端末ディスプレイ表示の電波強度が常時 3 本であることより L_X =30 dBμV [42]である．従って，BS における下り信号レベルしきい値 S＝10 dBμV は，式（4-5）によりセルラ BS における上り干渉値しきい値 I=-40dB と換算できる．図 4-17 から上り干渉しきい値-40dB 時に選択可能周波数は約 5%と考えられる．これを図 4-21 に示すと約 10 波の値となり，ほぼ実験結果 15 波と等しい。

このように，実験結果の利用可能周波数の数が，4.7.1 項で検討した周波数の数とほぼ一致することより，本章で提案したアルゴリズムが想定通りに，確実に動作していることが検証できた．

また，図 4-22 では，電源立ち上げを 1 時頃に実施している．電源立ち上げ後は図 4-21 とほぼ同様の傾向を示し 150 波程度の使用可能周波数であるが，週末であるためその後のセルラ側トラヒックが低く遠隔測定によっても，100 程度の使用可能周波数に収束している．図 4-21，4-22 の比較より，本提案アルゴリズムが公衆セルラシステムの状況変化に追随でき，公衆システムへの干渉を回避できていることが分かる．

図 4-23 は，都内のビル内に設置した平日の結果を示す．ビル内であり，限られた方向にのみ窓がある環境であるため，平日であっても 130 波程度の使用可能周波数に収束している．このことより，設置される条件によっては，図 4-17 から推定される周波数よりも相当多くの周波数が小型基地局 BS で利用可能であることが分かる．

図 4-24 は，都内の半地下のオフィスに設置した例である．新宿の繁華街近くであることなどにより，図 4-23 の例ほどの周波数はとれないが，使用可能周波数が 100 波程度確保できている．

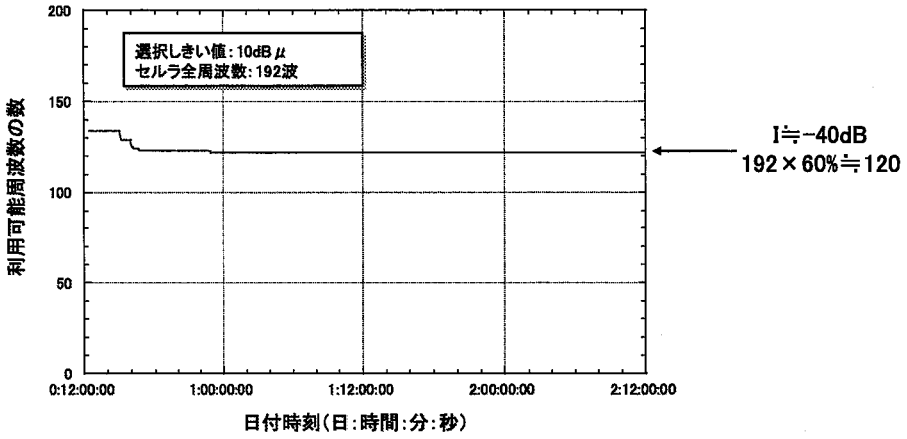


図4-25　自律周波数選択・干渉検出実験結果（郊外，その1）

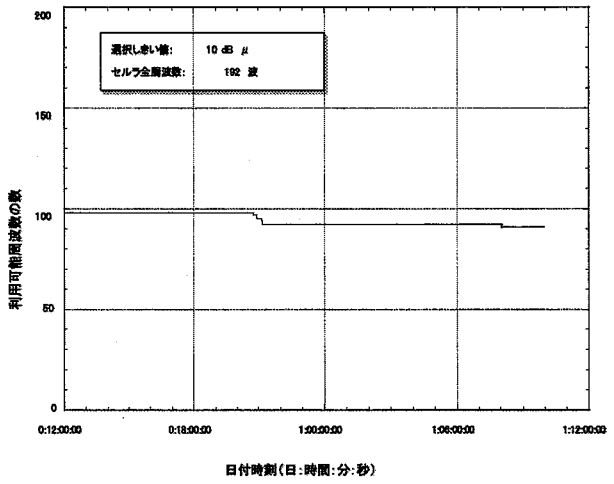


図4-26　周波数選択・干渉検出実験結果（郊外，その2）

4．9　結言

本章では，高機能化の要素である携帯電話の利用空間の拡張技術として，携帯電話端末を屋外，屋内プライベート空間問わずに利用可能とする自律分散小型基地局オーバレイシステムを提案した．また，特に重要技術である利用周波数の自律周波数選択・干渉回避方式については，実験を実施しその有効性を示した．実験により，都心では利用可能周波数が全周波数帯の約5%，郊外地では約60%を選択可能であることを明らかにするとともに，利用可能周波数選択動作の論理予測，利用可能周波数の理論計算値との比較を通して，提案方式の有効性を明らかにした．

第5章　無線LANデュアル端末の待受け低消費電力制御方式

5．1　序言

本章では，マルチメディア化と利用空間高度化を同時に実現する携帯電話端末として最近注目を集めている無線 LAN と携帯電話のデュアル端末を取り上げ，その待受け時の低消費電力制御技術について述べる．近年急速に企業から，音声およびデータ系でのオフィス内空間，公衆通信空間のシームレスな利用要望が出現してきた[7]．企業からの要求は，ひとつの端末でオフィス内の電話及びオフィス外では公衆セルラ端末として利用したい，あわせてオフィス内にいるときの通信料金は低額（可能であれば無料）であってほしいというものである．オフィス内の通信料金は，PBX や端末等の企業内通信システム機器投資原価償却費やランニングコストと同等以下という要求である．この要求に対して，小型交換機及び小型セルラ基地局のオフィスへの導入に加えてオフィス内通信に対する格安通信料金の提供や，IP-PBX 導入オフィスへの無線 LAN とセルラ携帯電話のデュアルモード携帯電話端末の提供が，実現解として提示されている[5] [3]．特に，企業内への無線 LAN，IP-PBX の導入拡大に伴い，デュアルモード携帯電話端末での実現解に対してビジネスユーザ要望が強くなっている．企業での本デュアル端末の利用形態としては，オフィス内では無線 LAN 上のデータ通信，無線 LAN を利用した VoIP による音声通信を利用し，オフィスの外ではセルラ公衆通信による音声通信，i-mode 等のインタネット接続による SSL 利用等によるイントラ接続利用によるデータ通信を利用する形態となる．

また，本デュアル端末は家庭内 ADSL 等のブロードバンドサービスの VoIP の無線 LAN を用いたコードレス電話としての利用，ホットスポット公衆無線 LAN 端末としての利用も可能である．このデュアル端末により，

第3世代携帯電話と無線LAN各々のサービスエリアが重なり合う,あるいは補完しあう環境の下で,第3世代携帯電話の広いサービスエリア／ハンドオーバによる高速モビリティと無線 LAN の高速／安価といったそれぞれの利点を生かしたマルチメディア,VoIP サービスがシームレスに提供できる.

そこで本章では,携帯電話端末の普及の最低条件である待受け時間の確保のため,無線 LAN とのデュアルモード携帯電話端末における待受け時低消費電力化制御方式を提案し,その低消費電力効果と着信率に及ぼす影響について述べる.

5．2　提案アルゴリズム

図 5-1 に本章で検討する携帯電話エリアと無線 LAN(W-LAN)エリアが共存する概念図を示す．デュアルモード携帯電話端末が移動するエリアは,携帯電話のみのエリア,携帯電話と W-LAN の両方のエリア,W-LAN のみのエリア,両システムとも圏外のエリアから構成される．本デュアル端末の待受け動作では,携帯電話番号への着信,公衆 W-LAN エリアでの着信,オフィス内 PBX 内線番号への着信を同時に待受ける必要があること及び W-LAN エリア,携帯電話エリアの自動捕捉のため,携帯電話受信部と W-LAN 受信部の電源を効率的に ON とする必要がある．両受信部を常時 ON とすることは,携帯電話端末の普及の最低条件である待受け時間の確保ができない．このため,本節では移動速度と W-LAN エリア圏内/圏外,携帯電話エリア圏外/圏内情報を利用した低消費電力待受け制御方式を提案する.

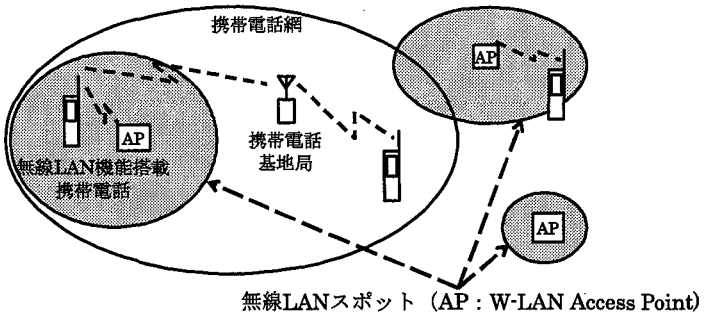


図5-1 携帯電話／W-LANエリアでの共用端末待受け概念図

提案アルゴリズムを適用するデュアルモード携帯電話端末の受信部の構成ブロック図を図 5-2 に示す．図 5-2 に示す受信ブロック図に対して，以下に示す低消費電力待受けアルゴリズムを提案する．ここで，5.1 節にも述べている環境より次ぎの 2 点を前提条件と考える．

(1) 図 5-1 に示す一つの W-LAN エリアは，携帯電話エリアよりも一桁小さい．

(2) 上記より W-LAN エリアでの利用は，デュアル携帯電話端末が準停止状態．

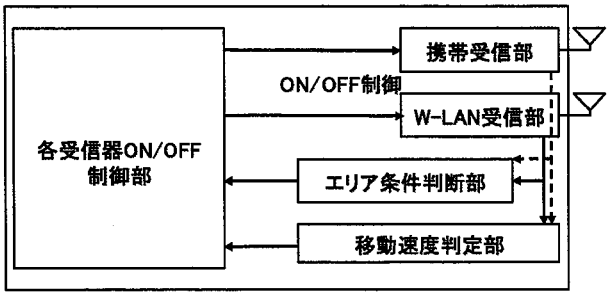


図5-2 Dualモード携帯電話端末受信部構成

以下に提案アルゴリズムを示す.

① 速度 Va 以上では W-LAN 受信部を OFF

スポット的に狭い W-LAN エリアを数秒で通過する速度では W-LAN 受信部を ON として電力を消費してもまともにサービスをうけられないため

② 速度 Va 以下では

W-LAN エリア内では W-LAN 受信部 ON

W-LAN エリア外では一定間隔毎に W-LAN 受信部 ON

③ セルラ受信部は速度に係らず

セルラエリア内では ON

セルラエリア外では一定間隔毎に ON

④ 一定間隔は，速度により以下の式で与えられる

$T = X / V$

T (s) : 受信部 ON 一定間隔，速度が検出できない（セルラ,W-LAN ともに圏外）場合は一定秒

V(m/s) : デュアルモード携帯電話端末のフェージングから検出した移動速度

X(m)：エリア状況再確認一定距離

移動先のエリア状態の再確認を移動に対して遅れなく検出するため無線部 ON を単純な一定時間間隔ではなく，検出する移動速度を利用し，一定移動距離 X(m)ごとに行なう．両方とも圏外で速度が検出できない場合のみ一定秒数での再確認を実施する．

アルゴリズムで利用される移動速度は，セルラの受信波または W-LAN の受信波のフェージング特性より推定を行うことが可能である[43]．フェージング受信波の包絡線はランダムに変動しており，あるレベルを単位時間当たりに交差する回数（レベル交差数）は，フェージング周波数つまり移動速度に比例する．この交差数を検出する回路は，コンパレータとハード回路で構成することもでき，ソフトウエアで包絡線サンプリング して検出をすることも可能である．しかし，この検出回路の消費電力が大きいと低消費電力効果がなくなるため，簡易なハードウエアとソフトウエアで消費電力を抑えた回路（図 5-2 の移動速度判定部）とする必要がある．

また，アルゴリズムで利用されるエリア状況は，携帯電話受信部と W-LAN 受信部のレベル情報をもとに，図 5-2 のエリア条件判断部で携帯電話／W-LAN 網共にエリア内，携帯電話網／W-LAN 網共にエリア外，携帯電話網のみエリア内，W-LAN 網のみエリア内の 4 つの状態のいずれであるかを判断する．これは簡単なソフトウエアで実現できると考えられる．

図 5-2 中の各受信部 ON/OFF 制御部では，移動速度判定部およびエリア条件判断部からの情報をパラメータとして，上述した①～④のアルゴリズムにより携帯電話受信部および W-LAN 受信部の電源 ON／OFF 制御を行う．表 5-1 に本アルゴリズムに従った各受信部 ON/OFF 制御の詳細を示す．

エリア状況		移動速度	無線受信部状態	
携帯電話	W-LAN		携帯電話	W-LAN
圏内	圏内	なし	ON	ON
		Va未満	ON	ON
		Va以上	ON	OFF
圏内	圏外	なし	ON	OFF
		Va未満	ON	OFF※
		Va以上	ON	OFF
圏外	圏内	なし	OFF	ON
		Va未満	OFF※	ON
		Va以上	OFF※	OFF※
圏外	圏外	なし	OFF※	OFF※
		Va未満	OFF※	OFF※
		Va以上	OFF※	OFF※

※: 随時ONとなり、エリア状態の変化検出を試みる。

表5-1 無線受信部制御一覧

提案アルゴリズムでは，以下のことより両受信部を常時電源 ON している場合と比較して以下に示す理由により低消費電力化が可能である.

(a) エリア外の状況となっている方式の受信部の電源が OFF.

(b) 移動速度が速度 Va(km/h) 以上の場合 W-LAN 受信部が OFF.

(c) 移動速度を利用した一定移動距離 X(m)ごとにエリアの再確認のための受信部電源 ON を実施しているため，移動せずにまたはゆっくり移動している場合の再確認のための不要な受信部電源 ON が発生しない.

低消費電力化に向けて,不要なシステム対応の受信部を電源 OFF しているが,エリア再確認の遅れにより着信率の低下を招くおそれがある. デュアル端末自体はエリア内に移動したが，当該エリアに対応したシステム側の受信部の電源が OFF のままの状態で着信を受信できない状況が発生する. エリア再確認を一定時間毎に実施する従来の方式では,デュアル端末の移動速度が速くなれば,エリアに入ってからエリア内と認識するのが遅くなり,着信受信不可となる確率が増加する. しかし,提案アルゴリズムである一定距離毎に再確認をすれば，速度による着信率低下の増加を防止することが可能である.

５．３　シミュレーション結果

本節では，提案アルゴリズムの低消費電力効果及び着信率低下抑制効果をシミュレーションにより評価し，提案アルゴリズムの効果を示す．

５．３．１　低消費電力効果

本シミュレーションにおいては，デュアル端末の各受信部の消費電力，デュアル端末の通過するエリアモデルおよびデュアル端末の移動モデルを仮定し、評価を実施する．

本シミュレーションに用いたデュアル端末の各受信部の消費電力を表5-2に示す．携帯電話受信部の消費電力は，FOMA携帯電話（F900i）のスペック値(800mAh 3.7V電池で500時間待受け)から算出した待受け消費電力0.005(W)，無線LANカード待受け消費電力0.045(W)を用いる．

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="2">公表スペック値</td><td rowspan="2">備考</td></tr>
<tr><td>電池容量</td><td>待受け時間</td></tr>
<tr><td rowspan="2">NTTドコモ携帯電話
FOMA(F900i)</td><td>3.7V, 800mAh</td><td>500時間</td><td>待受け時の消費電力
:約0.005(W)【算出値】</td></tr>
<tr><td colspan="2">待受け時の消費電力</td><td rowspan="2">無線LANチップセットPrism3</td></tr>
<tr><td>メルコ無線LANカード
(WLI-PCM-L11)</td><td colspan="2">0.045(W)</td></tr>
</table>

表5-2 消費電力スペック値

エリアモデルについては，移動経路中での『両エリア圏内』，『携帯電話のみ圏内』，『W-LAN のみ圏内』，『両エリア圏外』の割合を仮定する．表5-3に示す以下の2つのモデルを仮定する．

（a）W-LANエリア展開過渡期モデル．

・ W-LAN エリアは,点（スポット）的に展開し，散的に存在する.
・ 公共施設など利用者の多い地域を重視した W-LAN エリア展開がなされ，W-LAN エリアの多くが携帯電話のエリアと重複している.

（b）W-LAN エリア展開完了期モデル

・ W-LAN エリアは，各 W-LAN 事業者間ローミングが可能になり，広範囲をカバーする.
・ 地下，屋内閉域空間等で携帯電話が圏外であるエリアを補完するように W-LAN エリアが展開される.

携帯電話のエリア圏内率については，携帯電話サービスが既に成熟したサービスであることを勘案し，モデル(a)およびモデル(b)ともに 90%を仮定した．また，モデル(a)の W-LAN エリア圏内率については 10%とし，携帯電話エリアとの重複を仮定した．モデル(b)の W-LAN エリア圏内率については 30%とし，W-LAN エリアの拡大を想定し，W-LAN エリアのみの割合を 5%とした.

【エリア数値化モデル】	両エリア圏内	携帯電話のみ圏内	W-LANのみ圏内	両エリア圏外
(a) W-LAN展開過渡期モデル	10%	80%	0%	10%
(b) W-LAN展開完了期モデル	25%	65%	5%	5%

表5-3 エリア数値化モデル

移動モデルについては,『停止状態』,『移動速度 Va 未満』,『移動速度 Va 以上』の割合を仮定する．表 5-4 に，移動速度 Va 以上の割合をパラメータ（M）とした，デュアルモード端末の移動モデルを示す.

移動数値化モデル	停止状態	移動速度Va未満	移動速度Va以上
移動モデル式(M)	80-2M %	20+M %	M %

表5-4 移動速度の数値化モデル

図 5-3 に，提案アルゴリズムによる消費電力低減効果を示す．縦軸は，提案アルゴリズムでの待受け消費電力を，単純にエリア圏外にある無線部を OFF とするアルゴリズムでの待受け消費電力で正規化した値としている．また横軸は，表 5-4 に示した移動モデルのパラメータ M 値（高速移動率）としている．図 5-3 より，提案アルゴリズムでは，高速移動時の W-LAN 受信部の消費電力を抑制することで消費電力低減を実現できることがわかる．消費電力低減効果は，W-LAN エリアで高速移動する割合に比例している．消費電力低減効果は，高速移動率 M=10%で W-LAN 展開過渡期で約 5%，W-ALN 展開完了期モデルで約 8%である．高速移動率が高まれば数十%の削減も可能である．

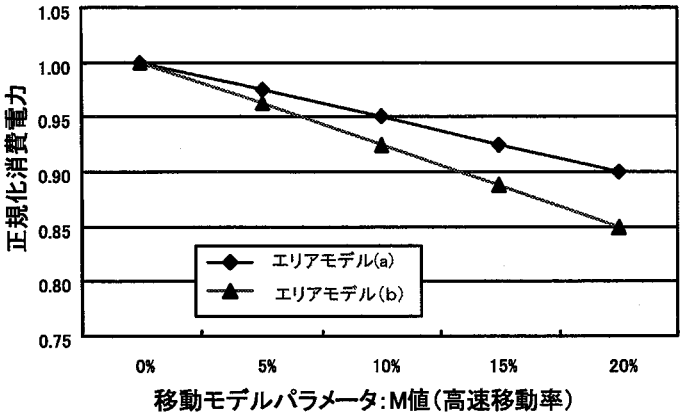
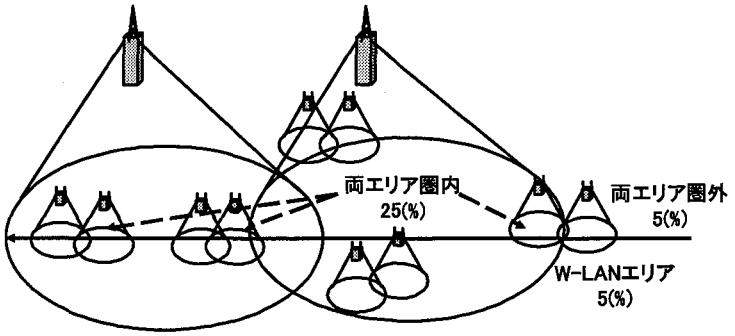


図5-3 提案アルゴリズムによる消費電力低減

５．３．２　着信率低減防止効果

図 5-5 に, W-LAN エリア展開完了期エリアモデル表 5-2(b)において着信率を算出した結果を示す．着信率を算出するにあたり，エリアモデル表 5-2(b)での移動経路については，図 5-4 のように簡略化を行なった．また，移動経路中は一定速度の低速移動(V<Va)とし，エリア再検索の時間間隔 T は T=10/V (X=10(m))にて動作すると仮定した．また，ここで携帯電話のひとつの無線エリアは直径 1km，W-LAN のそれは 100m とした．



携帯エリア:直径1km
W-LANエリア:直径100m

図5-4 着信率算出エリアモデル

図 5-5 の縦軸は，エリア検出遅れを考慮した着信率を示し，横軸はデュアル端末の移動速度(km/h)を示している．図中に，移動速度を利用したエリア状況再確認方式を採用した提案アルゴリズムによる着信率に加え，移動速度に関係なく，一定の時間間隔（5 秒，10 秒）でエリア状況を再確認するアルゴリズムによる着信率グラフを記入している．但し，提案アルゴリズムにおいても，両エリア圏外状態においては一定時間間隔のエリア再確認動作を実施している．

図 5-5 より,デュアル端末の移動速度が 35km/h の時,単純な一定時間の再確認（図中では単純間欠待受けアルゴリズムと表示）では 5 秒間隔で約 95%,10 秒間隔で約 90%にまで劣化する．しかし,本章で提案したアルゴリズムでは,97%程度となっており着信率の低減が防止できていることが分かる．

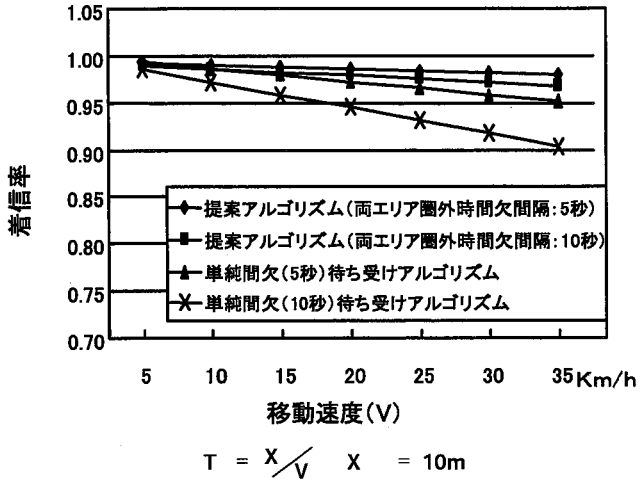


図5-5 着信率

5．4 結言

本章では，データ系の公衆・プライベート空間のシームレス利用方式の一つである無線 LAN とのデュアルモード携帯電話端末における待受け時低消費電力化を実現する制御方式を提案し，その有効性について明らかにした．

移動速度と無線 LAN エリア圏内/圏外，携帯電話エリア圏外/圏内情報を利用した待受け低消費電力制御方式を提案し，商用化されている携帯電話端末及び無線 LAN カードの消費電流を用いたシミュレーションを実施した．移動速度の増加により低消費電力効果が得られ，高速移動率 10%の利用形態に対して，無線 LAN エリア展開過渡期に約 5%，無線 LAN エリア展開完了期に約 8%の低消費電力効果が得られることを示した．

また，無線エリア状況の再検索に対して，移動速度検出機能を利用する一定距離毎実施方式を提案し，着信劣化率に関するシミュレーションを実施した．従来方式(一定時間毎の再検索方式)では移動速度 35km /h で 90%

までの劣化を97%にとどめることができることを示し，本提案方式が着信率劣化の改善効果が高いことを明らかにした．

第 6 章　結論

本論文では，携帯電話端末における重要技術である低消費電力化技術，高機能化技術について行った研究成果をまとめた．以下に本研究で得られた成果をまとめる．

第 2 章では，携帯電話端末の普及に必須条件である使用可能時間延長技術として，待受け時の低消費電力化技術である間欠受信制御方式及び間欠受信に適した受信レベル検出方式を提案し，その有効性を明らかにした．間欠受信制御方式を NTT アナログ移動通信方式，NTT 大容量アナログ移動通信方式について提案し，その効果を示した．NTT 大容量アナログ移動通信方式の待受け制御チャネルは，携帯電話端末で在圏する基地局エリアを判定するため各基地局が個別に送信するスロットと，着信制御ゾーン内複数基地局が共通に送信するスロットで構成されている．これを利用し在圏基地局に対応する個別送信スロットと共通送信スロットの受信レベル差により，基地局エリアの移行を検出するゾーン移行方式も併せて提案し，ゾーン移行の再確認動作による間欠受信効果低減を防止することを示した．実際の信号長，受信部回路電流値を用いて，間欠受信効果として，待受け時間を約 2〜3 倍とできることを示した．さらに商用携帯電話端末への適用および試験を通じ，本提案方式が待受け時間の長時間化に有効であることを明らかにした．また，待受け時に受信データ解析とともに処理負荷の重い受信レベルの検出回路として，デジタル信号処理を用いた受信レベル検出方式についても提案し，その特性を定量的に解析し，間欠受信動作に適していることを明らかにした．

第 3 章では，携帯電話端末の高機能化技術の一つとして，マルチメディアインタフェース技術の一つである IrDA（Infrared Data Association 規格赤外線インタフェース）を携帯電話端末インタフェースに適用することを提案し，その実現方式，効果を示した．待受け時間が延び，携帯電話端末がいつでも携帯できる身近な物品となることにより，手帳などの人々が携帯する他の機能が取り込まれ，携帯電話端末間の情報転送及びパソコン等の外部機器との連携機能が求められてきた．これを実現する一つの技術と

してIrDAの適用を研究した．この中で，音声伝送時の技術的課題であるリアルタイム伝送を可能とする音声伝送方式を提案した．実験により，実際の利用上で問題とならない伝送品質を確保できることを示し，本提案音声伝送方式がリアルタイム音声伝送に有効であることを明らかにした．本研究成果である本赤外線インタフェース技術により，車載電話機との接続機能，電話帳やスケジューラ等の手帳機能と融合した携帯電話端末間の情報転送，パソコン等情報機器との情報転送，携帯電話端末を無線モデムとして利用するデータ通信のためのパソコン等との接続機能を実現可能である．現在の携帯電話端末への適用例，普及状況を示すことにより，本提案技術が携帯電話端末の高機能化に有効であることを明らかにした．

第4章では，携帯電話の利用空間の拡張技術として，自律分散小型基地局オーバレイシステムの実現技術について述べた．携帯電話ユーザからの端末機能への要求は，マルチメディア機能の高機能化のみではなく，利用場所に関する要望も高く，屋外，屋内，地下の公共空間及び家庭，オフィス等のプライベート空間での利用，さらにそれらの間のシームレスな利用が求められている．これを実現するために携帯電話端末の高機能化が求められている．本章では，携帯電話の利用空間の拡張技術として，携帯電話端末を屋外，屋内プライベート空間を問わずに利用可能とする自律分散小型基地局オーバレイシステムを提案した．携帯電話端末をプライベート空間ではコードレス電話として利用できるコードレス親機相当を含めたシステム全体を，経済的に実現するために必要な技術について述べた．特に重要技術である利用周波数の自律周波数選択・干渉回避方式については，実験を実施しその有効性を示した．実験は都心と郊外地で実施し，都心では利用可能周波数が全周波数帯の約5%，郊外地では約60%が利用可能であることを明らかにした．あわせて利用可能周波数選択動作の論理予測，利用可能周波数の理論計算値との比較を通して，技術の有効性を示した．

第5章では，データ系の公衆・プライベート空間のシームレス利用方式の一つである無線 LAN とのデュアルモード携帯電話端末における待受け時低消費電力化を実現する制御方式を提案し，その有効性について述べた．

本デュアル端末の待受け動作では，携帯電話番号への着信，無線 LAN エリア番号への着信を同時に待受ける必要があることより携帯電話受信部と無線 LAN 受信部の電源を効率的に ON とする必要がある．

本章では移動速度と無線 LAN エリア圏内/圏外，携帯電話エリア圏外/圏内情報を利用した待受け低消費電力制御方式を提案し，商用化されている携帯電話端末及び無線 LAN カードの消費電流を用いたシミュレーションを実施した．移動速度の増加により低消費電力効果が得られ，高速移動率 10%の利用形態に対して，無線 LAN エリア展開過渡期に約 5%，無線 LAN エリア展開完了期に約 8%の低消費電力効果が得られることを示した．

また，無線エリア状況の再検索に対して，移動速度検出機能を利用する一定距離毎実施方式を提案し，着信劣化率に関するシミュレーションを実施した．従来方式(一定時間毎の再検索方式)では移動速度 35km /h で 90%までの劣化を 97%にとどめることができることを示し，本提案方式が着信率劣化の改善に有効な技術であることを明らかにした．

以上第 2 章から第 5 章で得られた結果より，携帯電話端末の重要技術である低消費電力化と高機能化を達成した．携帯電話端末は，近年カメラ機能，2 次元バーコードリーダ機能，ビデオ機能，ゲーム機能，音楽再生機能，EC 機能，コンタクトレス IC カード機能，TV 電話機能，ラジオ放送波受信機能，TV 放送波受信機能とマルチメディア機能が急激に進んでいる[3] [5] [6]．携帯電話端末を通信以外でも利用する場面が益々増加し，総合的な携帯電話端末の低消費電力化が求められる．さらに，高機能化はインタネットであるバーチャルな世界との連携のみに留まらず，家電商品を初めとした POS レジスタや入場ゲート機器等の様々なリアル世界の価値，商品との連携が始まっている．この意味で携帯電話端末は，バーチャルな世界への窓口であるとともに，リアルな世界での自らを証明する鍵になりつつあると考えられる．携帯電話端末へは今後ますます高機能化を求められるとともにセキュリティ機能の強化が要求されると考える．これに向け，携帯電話端末への指紋センサの搭載[44]，ウイルス対策機能の導入[45]もすでに開始されている．

高機能化実現に向けては，近年ソフトウエア開発量の爆発的多さが問題となっている．この対策として，携帯電話端末に Linux[46],Symbian[47]などの高機能 OS を適用し，アプリケーションソフト，ミドルウエアソフトの複数端末での共用，オープン API（Application Interface）利用によるソフト開発会社，人員の増加により開発コスト及び期間の圧縮を図る試みがされており，すでに一部の高機能端末では採用が始まっている[48] [49] [50] [51].

また，移動無線の伝送方式の高速化も EV-DO3.6Mbps,HSDPA14Mpbs,第 4 世代 100Mbps 以上,Wi-MAX100Mbps 以上と様々な技術が確立されてきている．第 3 世代構築以前までは，ひとつの方式で全国エリアをカバーしてサービスを提供するという考え方が基本となっていた．しかし，日本国内では W-CDMA 方式で全国エリアを構築しているが，一方 GSM の世界では GSM と W-CDMA のデュアル端末機を基本としてエリア展開が開始されている．今後の更なる高速化を考えた場合，サービスの需要とシステム構築のコストを考え，複数の無線システムの組み合わせで実現することが一般的になると考えられる．ユーザの利便性を確保するのは，複数無線システムに対応した携帯電話端末となる．第 5 章で検討した無線 LAN デュアルモード携帯電話端末の待受け制御方式の研究手法は，今後ますますマルチモード化する携帯電話端末の待受け制御方式，低消費電力制御方式の研究に有効となると信じる．

以上述べたように，今後とも携帯電話端末の高機能化，低消費電力化，複合無線システムへの対応化は継続して必要であり，本研究の成果の考え方を発展，拡張して研究を継続することが必要と考える．

参考文献

[1]電気通信事業者協会ホームページ，www.tca.or.jp

[2]電子情報技術産業協会ホームページ，www.jeita.or.jp

[3]NTT ドコモホームページ，www.nttdocomo.co.jp

[4]永田清人,“ 携帯電話の現状と今後の展開”, 電子情報通信学会誌, vol.80 №3 ， pp.230-234，1997 年 3 月

[5]KDDI ホームページ，www.kddi.com

[6]Vodafone ホームページ，www.vodafone.jp

[7] モバイルセントレックス開始前夜の奮闘”, 日経コミュニケーション, 2004 年 12 月 1 日号

[8]Infrared Data Association ホームページ，www.irda.org

[9]宮下敬也，澤井浩一，徳弘徳人，平児玉 功，永田清人,“ ディジタル移動通信用非電話アダプタ開発”，信学会春季大会 1993 年 B-381

[10]永田清人，濱田克徳，安澤和哉,“ 赤外線通信技術の移動通信端末への適用”，NTT DoCoMo テクニカルジャーナル，Vol.6 No.1, pp23-27, 1998 年 4 月

[11]J. Worshman and J.Avery,“ A Cellular Band Personal Communication Sysytems,” ICU パソコン Conference Record pp.254-257，1993.

[12]“デジタル自動車電話システム標準規格 ARIB STD-27”, 電波システム開発センター，1992.

[13]情報ネットワーク産業協会ホームページ，www.ciaj.or.jp

[14]M.Kuramoto and M.Shinji,“ Second Generation Mobile Radio Telephone System in Japan” , IEEE Communications Magazine, vol.4, no.2, p.16, Feb.1986.

[15]丸山他,“ 移動機用 PLL 変調機の立ち上がり特性の検討”，信学技報 CS85-20，p31，1985 年 5 月

[16]斉藤他,“ 移動通信用初期位相整合型シンセサイザの特性”，信学技報 CS85-21，p39，1985 年 5 月

[17]丸山他,“ 移動機における間欠動作の検討”,信学技報 CS85-132, p81, 1985 年 12 月
[18]K.Imamura and A.Murase,“ Mobile Communication Control using Multi-transmitter Simul / Sequential Casting (MSSC)” 36th IEEE Vehicular Technology Conference,p.334,May 1986
[19]村瀬, 今村,“ 陸上移動通信におけるバースト信号の電界強度検出”, 信学技報 CS83-161, 1984 年 1 月
[20]NTT 国際シンポジウム予稿集, 1983 年
[21]“ 自動車電話” , 電子通信協会編, 1985.
[22]平出他,“ 陸上移動無線における電界中央値の測定処理法”, 昭和 52 年信学総全大 S5-1, 1977 年
[23]松本,安達,“ 移動通信におけるディジタル形受信電界中央値検出回路”, 昭和 56 年信学総全大 2157
[24]大和田他,“ ディジタル信号処理用 CMOS-LSI”, 通研技報, 27,12,p2539,1978 年
[25]安達,“ レイリーフェージングにおける受信電圧中央値の統計的推定”, 信学論 J64-B4, p336-337, 1981 年 4 月
[26]“ Specifications for Ir Mobile Communications” , IrDA
[27]“ Infrared Data Association Serial Infrared Physical Layer Link Specification Version 1.2” , IrDA
[28]“ Guidelines for Ultra Protocol” , IrDA
[29]“ IrDA Telecom Extentions to the IMC vCard Format” , IrDA
[30]“ Serial Infrared Link Access Protocol (IrLAP) Version 1.0” , IrDA
[31]“ Link Management Protocol Version 1.1” , IrDA
[32]“ Tiny TP: A Flow-Control Mechanism for use with IrLMP Version 1.0” , IrDA
[33]“ IrDA Object Exchange Protocol” , IrDA
[34] “ vCard The Electronic Business Card” , Internet Mail Consortium(IMC)
[35]“ vCalendar The Electronic Calendering Format” , IMC

[36]“ Standard for the Format of the Arpha Internet Text Messages” , RFC#822,IETF(Internet Engineering Task Force)

[37] “ IrCOMM:Serial and Parallel Port Emulation over IR (Wire Replacement)” , IrDA

[38]G-book ホームページ, g-book.com

[39]日産自動車 ホームページ, www.nissan.com

[40]Bluetooth ホームページ, www.bluetooth.com

[41]F.Furuya and Y.Akaiwa,“ Channel segregation, a distributed adaptive channel allocation scheme for mobile communication systems,” IEICE Trans., vol.E74,no.6,pp.1531-1537,June 1991.

[42]PDC 技術参考資料, NTT ドコモ, 2000 年

[43] 奥村善久/進士昌明監修,“移動通信の基礎”, 社団法人電子通信情報学会

[44]富士通 ホームページ, jp.fujitsu.com/product/phone

[45]McAfee ホームページ, www.mcafee.com

[46]CE Linux Forum ホームページ, www.celinuxforum.org

[47]Symbian ホームページ, www.symbian.com

[48]NEC ホームページ, www.nec.co.jp

[49]松下電器 ホームページ, www.panasonic.co.jp

[50]シャープ ホームページ, www.sharp.co.jp

[51]ソニーエリクソン ホームページ, www.sonyericsson.co.jp

本論文に関する発表論文等

論文

1．K. Nagata, M. Furuse, “Autonomous Frequency Selection Algorithm under an Existing Cellular System and its Experimental Results”, IEICE Trans. Commun., vol.E87-B, No.5, pp1250-1257, May 2004.

レター

1．K. Nagata, M. Furuse, “Autonomous Frequency Selection Algorithm Under Existing Cellular System And Its Experimental Results (Rural model)”, IEICE Trans. Commun. 掲載予定 2005 年 2 月 or3 月

2．小林勝美，中田忠明，永田清人，”陸上移動通信におけるディジタル信号処理形受信レベル中央値検出回路”，技術談話室　電子通信学会論文誌 J-67-B7，pp828-829，1984 年

国際会議

1. Kiyohito Nagata, Katsumi Kobayashi, Shuomi Yuki, “Control Techniques and Power Saving Effects of Intermittent Operation in Radio Units”, 37th IEEE VTC, pp560-566, 1987

2. Isao Shimizu, Katsumi Kobayashi, KiyohitoNagata, Shuji Urabe, Shuomi Yuki, “
A New Mobile Subscriber Set For High-Capacity Land Mobile Communication System” , 39th IEEE VTC,pp228-232, 1989.

3. Isao Shimizu, Shuji Urabe, Kenkichi Hirade, KiyohitoNagata, Shuomi Yuki, “A New Pocket-size Cellular Telephone for NTT High-Capacity Land Mobile Communication System”, 41st IEEE VTC, pp114-119, May 1991 .

4. Shuji Urabe, Kenkichi Hirade Isao Shimizu, Kiyohito Nagata, Shuomi Yuki, "Technology and Performance of NTT's Super-compact Portable Telephone- Mova-" , Canadian Conference in ECE, Sep. 1991 .

5. Norihito Tokuhiro, Kazuaki Murota, Akio Sasaki, Katsumi Kobayashi, Kiyohito Nagata, Kohji Chiba, "Portable Telephone for Personal Digital Cellular System", 43rd IEEE VTC, 718-721, May 1993 .

6. Kiyohito Nagata, Katsunori Hamada, Kazuhiko Kakinuma, "Autonomous Frequency Selection and Interface Detection Algorithm for Micro / Pico Cell Systems Distributed under Existing Cellular Systems", The 7th International Conference Wireless' 95, pp437-447, July 1995.

7 . Kazuya Anzawa, Katsunori Hamada, Kiyohito Nagata, "Technology for Real-time Audio Transmission on IrDA", MoMuC 1997.

会誌・解説記事

1 .永田清人," 携帯電話の現状と今後の展開" , 電子情報通信学会誌, vol.80 №3 , pp.230-234, 1997 年 3 月

2 .大貫雅史, 小林勝美, 永田清人, 村瀬淳," PDC パケット通信方式", 電子情報津新学会誌, vol81 No.3, pp253-258, 1998 年 3 月

紀要

1 .永田清人, 濱田克徳, 安澤和哉," 赤外線通信技術の移動通信端末への適用", NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol.6 No.1, pp23-27, 1998 年 4 月

学術講演会,口頭発表

1. 永田清人,“ マルチメディア時代に向けた移動体通信技術” ,電子情報通信学会，関西支部専門講習会，1997 年 9 月

国内研究会

1 . 永田清人，中田忠明，小林勝美，卜部周二，“ 自動車電話移動機における間欠受信動作と低消費電力効果“ ， 信学技報， CS85-18，pp15-18，1985 年 5 月

2 .永田清人，小林勝美,“ ディジタル信号処理を用いた改良型中央値検出回路”，信学技報， CS84-77，pp15-18， 1984 年 5 月

3 . 永田清人，毛利益忠,“ W-LAN デュアル端末の待ち受け低消費電力制御方式”，信学技報 RCS05，2005 年 1 月

国内学術会議

1 .永田清人, 小林勝美,“ 移動機の間欠受信におけるワード受信率の検討”，，電子通信学会総合全国大会 2436， 1984 年

2 .永田清人，小林勝美，中田忠明,“ 移動機制御部の省電力化に関する検討”，電子通信学会総合全国大会 2400， 1985 年

3 .永田清人，藤井輝也,“ 移動局無線ゾーン判別法”，電子情報通信学会春季大 B-868，1989 年

4 .永田清人, 濱田克徳, 柿沼和彦,“ 自律分散小型基地局の技術検討課題”，電子情報通信学会総合大会 B-478，1995 年

5 . 宮下敬也，澤井浩一，徳弘徳人，平児玉 功，永田清人,“ ディジタル移動通信用非電話アダプタ開発”，信学会春季大会 1993 年 B-381.

６．永田清人，小林勝美,“ ディジタル信号処理を用いた改良型中央値検出回路” ,信学全大 昭和 59 年 642

７.卜部周二，永田清人，結城主央巳,“ 大容量移動通信方式用移動機の間欠受信による低消費電力効果の検討”，信学全大 昭和 60 年 2398

８.永田清人，小林勝美，結城主央巳,“ 自動車電話用移動機の間欠受信による省電力効果” ,信学全大 昭和 61 年 448

９.卜部周二，清水 功，永田清人，小林勝美,“ 大容量移動通信方式用携帯機” 信学春季大会 1989 年 B-816

１０.清水 功，卜部周二，平出賢吉，永田清人，結城主央巳,“ 150cc 超小型携帯機”，信学春季大会 1991 年 B-327

１１．東 雅弘，鷹見忠雄，柚木一文，長尾嘉則，常川光一，千葉耕司，永田清人,“ ディジタル移動通信用携帯機の開発”，信学春季大会 1993 年 B-380

１２.安澤和哉，濱田克徳，永田清人,“ 赤外線通信利用移動端末の開発構想”，信学総大 1997 年 B-5-228

１３.安澤和哉，濱田克徳，永田清人,“ 赤外線通信利用移動機におけるリアルタイム音声伝送の検討”，信学通信ソサエティ大会 1997 年 B-5-27

１４.柿沼和彦，濱田克徳，吉見政彰，永田清人,“ 自律分散小型基地局における周波数選択・干渉検出アルゴリズム”，信学総大 1995 年 B-379

１５．吉見政彰，若林達明，柿沼和彦，永田清人,“ 自律分散小型基地局における周辺情報自律生成方式”，信学総大 1995 年 B-479

１６.若林達明，濱田克徳，永田清人,“ 自律分散小型基地局における周波数誤差補正方式”，信学総大 1995 年 B-480

１７.吉見政彰，若林達明，柿沼和彦，永田清人,“ 自律分散小型基地局におけう周波数選択実験”，信学通信ソサエティ大会 1995 年 B-232

１８.森下 茂，若林達明，坂井 勉，永田清人,“ 自律分散小型基地局プライベートシステムにおける周波数干渉回避制御”，信学総大 1997 年 B-5-226

１９.江上浩一，若林達明，坂井 勉，永田清人,“ 自律分散小型基地局プライベートシステムにおける遠隔監視制御方式”,信学総大 1997 年 B-5-227