

| | |
|------------|---------------------------------------------------|
| 氏名 | チャゼサン 車載祥 |
| 授与学位 | 博士(工学) |
| 学位授与年月日 | 平成12年9月13日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第4条第1項 |
| 研究科, 専攻の名称 | 東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻 |
| 学位論文題目 | 近似同期 CDMA システムの多チャンネル化に関する研究 |
| 指導教官 | 東北大学教授 坪内 和夫 |
| 論文審査委員 | 主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 安達 文幸 |

論文内容要旨

21世紀の高度情報化社会のIT(Information Technology:情報技術)は「いつでも、どこでも、誰とでも、どんな情報でも」やり取りが可能なユビキタス コンピューティングネットワークによって支えられている。ユビキタス コンピューティングネットワークの Mobility を実現するためには無線技術が必修で、無線技術の中では特にプロセスゲインによる高信頼性無線通信が可能なロバスト性と秘匿性等が優れた SS-CDMA 技術が上げられる。SS-CDMA 技術の現状を見ると公衆回線接続用モバイル通信は IS-95 や IMT2000 のように実用化及び標準化が活発に進んでいる。一方、コンシューマ向け構内モバイル通信分野は IEEE802.11a 無線 LAN や PHS の自営運用が上げられているが主に Point-to-Point 接続中心で無線ネットワークの構築にはまだ至っていない状態である。東北大学坪内研究室ではコンシューマ用途におけるネットワークが可能な新しいモバイル環境構築を目指して検討した結果、コンシューマ向けの低コストで簡易構築が可能な SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークを提案している。

近似同期 CDMA システムは 2.4GHz 帯の ISM バンドで運用する SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークの上り回線技術で各チャンネル用拡散信号の相互相関値が一定時間内で 0 である特徴がある。IS-95 や W-CDMA のような従来の CDMA システムでは上り回線における遠近問題回避のため高精度な送信電力制御を行っているため基地局システムの複雑化と共にパワーアンプの高性能化が要求されているが近似同期 CDMA システムは

高精度な送信電力制御と高性能なパワーアンプを必要としなく遠近問題の回避を可能にする。

近似同期 CDMA システムの概念は筑波大学の末広教授によって 1994 年 IEEE の論文誌で提案された。最初の近似同期 CDMA システムはゼロ相関区間を持つ複素数の多相系列で構成されていた。しかしシステムの実現を考慮した場合、拡散系列の位相数が 128 相で多く、符号発生器の実装が困難であった。1996 年東北大学坪内研究室は筑波大学の末広教授と共同で近似同期 CDMA システムの実用化を目指して検討した結果、周期 16 チップの 4 相の直交系列一つで直交周波数変位という多重化方式を用いた近似同期 CDMA システムを実現した。SS-CDMA フレキシブルワイヤレスネットワークにおける近似同期 CDMA システムの目標スペックは周波数帯 2.4GHzISM バンド、帯域幅 26MHz で、セル当たりチャンネル数が 64、データレートが 16kbps、セル半径 150m 以上になっている。1997 年東北大学坪内研究室の鎌田氏の修士論文ではセル半径 160m、チャンネル数 8、データレート 45kbps を持つ近似同期 CDMA システムが提案された。しかし、従来の近似同期 CDMA システムは取り得るユーザーチャンネル数が少なくシステムの評価指標も確立されていなかった。また主に直交周波数変位に特化して実現されている為、耐干渉性とチャンネル数に問題があった。本論文では近似同期 CDMA システムを耐干渉性を考慮して多チャンネル化する方法を提案し、実験による検証まで行ってその実現性を示した。さらにある一定時間区間相互相関がゼロになる 2 相と 3 値の近似同期 CDMA システム用拡散符号を提案し、CDMA とチップシフトによる多チャンネル化へ適用してその有効性を明らかにした。本論文は、全ての多チャンネル化の為の提案方法を同一評価基準(；周波数バンド 26MHz、SAW コンポルバの積分時間 $9\mu\text{sec}$ 、チップレート 14Mcps、データレート 16kbps)で比較して得られた各研究成果についてまとめたもので、全文 5 章よりなる。近似同期 CDMA システムの新たな評価指標として既存の拡散率の他に、スペクトラムのピークの本数で表す耐干渉性を利用した。

第 1 章は序論と本論の基礎内容であり、序論で本研究の背景と目的を述べて後、本論の基礎内容としてスペクトラム拡散通信方式の概論と特徴に関して述べている。第 2 章では、従来の近似同期 CDMA システムの概要と直交周波数変位に特化した多チャンネル化技術と直交周波数変位と CDMA による多チャンネル化技術に関して述べている。直交周波数変位に特化した多チャンネル化技術としては周期 4 チップの 2 相の直交系列、 $A = [1, 1, -1, 1]$ を基礎系列として用いて 32 回繰り返して周期($4 \times 32 = 128$)128 チップの符号を生成し、直交

周波数変位によるチャンネル数を 32 まで可能にした。直交周波数変位に特化してチャンネル数を増やすためには短い系列長を持つ基礎系列を用いる必要があることが証明されたが系列長が短くなると、逆にその分、スペクトラムのピークの本数が減り耐干渉性が悪くなることが認識できた。ある程度の系列長を確保することと同時にシステムのチャンネル数も増やせる方法として、新たなゼロ相関区間を持つ 2 相の拡散系列を見出し、直交周波数変位と共に CDMA による多チャンネル化も同時にできる構成を検討した。その結果、多チャンネル化は出来たが直交周波数変位を用いる限りシステムのチャンネル数と耐干渉性にトレードオフ関係が有ることが示された。第 2 章では、他局の干渉が多い 2.4GHz 帯のライセンスフリーな ISM バンドという環境での運用には直交周波数変位が不向きであることを明らかにし新たに近似同期 CDMA システムの性能評価と設計指針の基準を確立した。

第 3 章では新たな近似同期 CDMA システム用 2 相系列の一般化した生成法を示した後、新たな 2 相系列に基づいた CDMA による多チャンネル化技術に関して述べた。近似同期 CDMA システム用符号の条件としては互いに一定時間区間(=ゼロ相関区間(ZCD))で相互相関値がゼロである符号が多数必要である。ここでゼロ相関区間は近似同期処理可能な時間と比例し、系列の数は CDMA チャンネル数の関係である。しかし従来の近似同期 CDMA システム用拡散系列の状況を示すと、末広教授提案の複素数の多相系列は相関特性は良好であるが多相である為符号発生器の実装が困難であり、周期 16 チップの 4 相の直交系列は相互相関特性が良い組合わせの系列が存在しないので CDMA によるチャンネル多重化には利用出来ない状態である。ZCD を持つ 2 相系列はいくつか発表されているが最大 ZCD 区間が $(N/4+1)$ 以下で短く CDMA の為の系列数も少ない状態である。

本章では $N = 4 \times 2^i$ ($i = 0, 1, 2, 3, \dots$) の周期で今までのどの 2 相系列よりも広い $(N/2+1)$ チップのゼロ相関区間を持つ 2 相の近似同期 CDMA 用拡散系列のペアを一般化した生成方法を用いて提案した。システム応用の方法として、生成した 2 相系列のペアをチップシフトさせる技法を適用して多数の CDMA によるチャンネルを構成した。本章で提案した系列と従来の 2 相系列間の取られるチャンネル数を比較した結果、本研究で提案している 2 相系列が従来の 2 相系列よりもチャンネル数がより優れていることを確認した。また実際、近似同期 CDMA システム用試作機を構成して新たな 2 相系列によるシステムの評価まで行った。新たに提案した 2 相の ZCD 系列を用いた場合、取り得る近似同期 CDMA システム仕様を示すと半径 158m のセル内で 16kbps のビットレートと 32 のユーザー数を持つ上り回線用の

近似同期 CDMA システムの実現が可能になった。また、基礎系列長が 128 チップになったことで 14MHz 帯域でのスペクトラムの本数は 128 になった。例えば、4 相直交系列を 8 回繰り返して構成した従来の直交周波数変位による多チャンネル化方法と比べると耐干渉性が 8 倍になる。つまり、3 章では新たな近似同期 CDMA システム用 2 相系列を一般化した生成法を示した後、CDMA に特化する多チャンネル化技術が耐干渉性とチャンネル数を共に確保するために有効であることを明らかにした。近似同期 CDMA システム用拡散系列としては以上で述べたようにゼロシフト周辺の局所的な区間でのゼロ相関区間 (ZCD) の性質を持つ多数の拡散系列が望まれる。ZCD 特性の重要性はそれがセル半径を決める要素であり、チップシフトによって CDMA による多チャンネル構成を可能にすることにある。特に、最近、符号発生器の実現性が容易な 2 相系列の場合は ZCD 特性を持つ拡散系列が一部発表されている。その中で ZCD の長さは 3 章で提案された系列による $(\frac{N}{2} + 1)$ チップが最大限界値になっている。

第 4 章では新たな近似同期 CDMA システム用 3 値系列を一般化した生成法の提案と 3 値系列による多チャンネル化技術に関して述べている。新たに提案する 3 値系列のペアのゼロ相関区間は周期 $N = 4 \times 2^n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) に対して 2 相の限界値である $(\frac{N}{2} + 1)$ よりも約 1.5 倍広い $(\frac{3N}{4} + 1)$ チップの ZCD を持っている。さらに、提案された 3 値拡散系列のペアをチップシフトさせるとどの 2 相系列よりも数が多い近似同期 CDMA システムのユーザー数の確保が可能になる。3 値系列は 2 相系列と同じようにシステムの実装及び符号発生器と相関回路の実現が簡単である。特に提案する 3 値系列によってマッチトフィルタを構成するとゼロ要素は乗算を必要としない点に着目して回路設計を行うと低消費電力化が可能になる特徴がある。新たな 3 値の拡散系列を用いた場合のシステムスペック評価を示すと半径 158m のセル内で 16 kbps のビットレートと 48 のユーザー数を持つ上り回線用の近似同期 CDMA システムの実現が可能になった。また、基礎系列長が 128 チップになったことで 14MHz 帯域でのスペクトラムの本数は 128 になって、4 相直交系列を 8 回繰り返して構成した従来の直交周波数変位による多チャンネル化方法と比べると耐干渉性が 8 倍になり、3 章の方式に比べても同一条件で耐干渉性を維持しながらチャンネル数が 1.5 倍増えた結果になった。つまり 4 章では、新たに 3 値系列を提案して近似同期システムを CDMA によってチャンネル数を 48 まで確保した。

第5章は結論である。本論文では耐干渉性を考慮した近似同期 CDMA システムの多チャンネル化方法を目指して検討した。多チャンネル化方式としては従来の直交周波数変位方式よりは、CDMA とチップシフトの組み合わせが耐干渉性に有利であることを示した。近似同期 CDMA 用基礎系列としては従来の系列よりも広いゼロ相関区間を持つ新たな 2 相系列と 3 値系列を提案した。新たに提案した拡散系列を用いて CDMA とチップシフトによる多チャンネル化方法を検討した結果、新たな 3 値系列による多チャンネル化方法が耐干渉性と多チャンネル化が共に求められる ISM バンドでの多チャンネル化方式としては最適であることが明らかになった。

以上要するに本論文では、近似同期 CDMA システムの性能評価と設計指針の基準を確立し新たに拡散系列を提案して近似同期 CDMA システムを耐干渉性を考慮しながら多チャンネル化する方法を提案した。

審査結果の要旨

21世紀のIT (Information Technology) 社会において、無線通信技術は、キーテクノロジーの一つであり、特にコンシューマを中心とした Ubiquitous Wireless Network が重要となっている。通信秘匿性・ロバスト性に優れた CDMA 技術は、コンシューマ向け通信技術として最適であるが、従来の CDMA ネットワークでは端末から基地局への上り回線の遠近問題を防ぐために、送信電力制御を必要とし、基地局・端末のコストを増大させる要因となっていた。一方、直交周波数変位型マルチチャンネルと擬周期化を用いた近似同期 CDMA は、各チャンネルが理論的に受信タイミングにおいて直交するため送信電力制御が不要であるが、チャンネル数が少ないという欠点を持っていた。本論文は、コンシューマ向け SS-CDMA ネットワークの上り回線技術として、セル半径 150m、データレート 16kbps、拡散帯域幅 26MHz を基本スペックとして、チャンネル数 64 を目標値とし近似同期 CDMA を用いた多チャンネル化技術について研究をまとめたもので、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、SS-CDMA の本質的な問題点である遠近問題を解決し、上り回線の送信電力制御を不要とする「近似同期 CDMA 方式」について述べ、その基本技術である直交周波数変位マルチチャンネルと擬周期化を用いた符号設計法を述べている。また、この近似同期 CDMA 方式の評価指標として、従来の拡散率だけではなく、耐干渉性が重要であることを初めて示した。更に、直交周波数変位マルチチャンネルによる多チャンネル化では、通信可能チャンネル数と耐干渉性がトレードオフ関係にあり、これを両立するためには近似同期 CDMA に適用できる新しい拡散符号の提案が必要であることを初めて示している。

第 3 章では、新たな近似同期 CDMA 用符号として二相系列の提案と、これを用いた多チャンネル化技術について述べている。自己相関・相互相関特性にゼロ相関区間が存在する近似同期 CDMA 用符号を、 4×4 の行列に基づいて生成する符号拡張生成法を新たに提案している。また、提案した符号とその巡回符号を用いた多チャンネル技術により、耐干渉性を向上しつつ 32 チャンネルを実現し得ることを初めて示した。

第 4 章は、新たな近似同期 CDMA 用符号として 3 値系列の一般生成法の提案と、これを用いた更なる多チャンネル化技術について述べている。これまでの二相系列にゼロの要素を加えた符号の生成法を新たに提案し、符号長を変えずに二相系列と比較してゼロ相関区間を拡大可能なことを示した。更に、SAW コンボルバを相関回路として用いた実験により、実際の信号においてゼロ相関区間が存在することを実証している。この成果は、本論文で初めて明らかにした点であり、近似同期 CDMA 用符号生成法の確立として重要な成果である。また、この 3 値符号とその巡回符号を用いた多チャンネル技術により、48 チャンネルが実現できる事を示し、目標スペックに大きく近づく結果を導き出している。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、近似同期 CDMA システムの基本特性評価法と設計指針を確立し、新たな近似同期 CDMA 用符号とその巡回符号を用いた多チャンネル化技術を確立し、近似同期 CDMA 方式の実用化への指針を示したものであり、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として合格と認める。