

氏名	くどう えいすけ 工藤 栄 亮
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成13年3月26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）電子通信工学専攻
学位論文題目	チャンネル容量解析による DS-CDMA 移動体無線の方式設計に関する研究
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 安達 文幸 東北大学教授 澤谷 邦男

## 論文内容要旨

近年移動体通信が爆発的に普及しており、周波数利用効率が高く、マルチメディア伝送に適したアクセス方式が求められている。このような要求にかなう方式として、DS-CDMA方式が第3世代の移動体通信の主役として注目を集めている。従来、DS-CDMA方式は秘匿性、耐妨害性に優れた方式として軍事用に用いられてきたが、近年は、マルチパスフェージングに対する耐性に優れること等から移動体通信のアクセス方式として適用されるようになった。確かに理想的な条件下ではDS-CDMA方式は高い周波数利用効率を達成させることが可能であるが、これを達成するためには高度な制御技術を伴う。すなわち、DS-CDMA方式は同一周波数帯を複数ユーザが共有するため、遠近問題が発生し、これを補償するために送信電力技術等の高度な制御技術が必要となる。したがって、実際にシステムを設計するにはこれらの制御技術に対する要求条件を明確化する必要がある。また、CDMAはベースバンドにおける信号処理によりユーザを識別できることから干渉除去を適用することにより、容量を増大させることが可能であるが、マルチメディア通信に適した干渉除去法の確立も望まれている。本論文では、第3世代の移動体通信のアクセス方式として注目されるDS-CDMA方式を中心に、高速伝送特性解析技術、容量解析技術を中心とした方式設計技術、容量増大化技術について研究を行った成果をまとめたものであり、全5章により成り立つ。

### 第1章 緒論

本章では、移動体通信の社会的・技術的背景について論じ、本研究の目的を述べている。すなわち、移動体通信の爆発的な需要の増加を示し、今後さらなる大容量化が望まれること、また、i-モード等に代表されるデータ通信の普及が今後のマルチメディア通信の発展を示唆するものであり、マルチメディア通信に対応するために高速化が要求されることを指

摘した。さらに、これまでの移動体通信のアクセス方式が FDMA、TDMA、DS-CDMA の順に変遷してきたことを述べ、本論文では第 3 世代の移動体通信として期待される DS-CDMA について、上記高速化、大容量化の観点から方式設計技術を確立することを目的とすることを示した。

## 第 2 章 高速伝送特性解析技術

マルチメディア通信に対応するために、伝送速度の高速化が望まれている。しかしながら、移動通信では伝送速度を高速化すると遅延波の影響により、深刻な特性劣化を招く。このような劣化を補償するために、DS-CDMA では RAKE 受信機が、TDMA 等の狭帯域システムでは等化器が適用される。本章では RAKE 受信機、等化器を適用した場合の伝送特性を理論的に求めた。その結果、補償される遅延波数が等しいときには、TDMA よりも DS-CDMA の方が良好な伝送特性が得られることを明らかにし、高速伝送時においては DS-CDMA の方が TDMA よりも有利であることを示した。また、マルチメディア伝送を行うためには、異種の伝送速度のサービスを混在させる必要があるが、この点においても DS-CDMA の方が TDMA よりも有利であることを指摘し、第 3 世代の移動体通信のアクセス方式として DS-CDMA の方が TDMA よりも適することを示した。

## 第 3 章 DS-CDMA における方式設計技術

移動体通信の爆発的な需要増に応えるために大容量のシステムが望まれている。また、周波数資源が有限であるという点においても、単位周波数あたりの利用可能移動局数すなわちチャンネル容量が方式を設計する際に重要な要素となる。本章ではチャンネル容量を求めるシミュレーション手法を確立し、ハンドオーバー技術、送信電力制御技術等の不完全性がチャンネル容量に与える影響を求めた。その結果、理想的なチャンネル容量からの劣化を 10% 以下に抑えるためには、0.5dB の制御誤差に抑える必要があること、上り送信電力制御のダイナミックレンジを 70dB 以上としなければならないこと等を明らかにした。

また、このような高精度な送信電力制御を簡易に実現させるため、制御信号のやりとりが不要なオープンループ型送信電力制御の適用可能性についても求めた。すなわち、オープンループ型送信電力制御を FDD に適用した場合に、誤差の原因となる瞬時値変動について、広帯域化することにより変動を抑えられることを定量的に求め、FDD の場合には制御誤差を 1.4dB 程度まで抑えることができ、これ以下の制御誤差を得るためには TDD とすればよいことを明らかにした。

さらに、ハンドオーバー技術に関しては、システム内に発生する制御トラヒックの増大を招くことになるハンドオーバーを切り替える頻度を求める手法を確立し、ハンドオーバーのヒステリシスやハンドオーバーを監視する基地局数の制限がハンドオーバーを切り替える頻度に与える影響についても求めた。

#### 第4章 DS-CDMAにおける容量増大化技術

DS-CDMA では同一周波数帯を複数の移動局が利用し、拡散符号によって移動局の識別を行うのでベースバンドにおけるデジタル信号処理により、干渉除去を行いチャンネル容量を増大させることが可能となる。一方、今後のマルチメディア通信の普及に際し、伝送速度が異なるサービスを共用するシステムの実現が望まれている。本章では、伝送速度が異なる移動局を収容するシステムにも適用しうる遅延シンボル合成型干渉除去法を提案し、その特性を明らかにした。その結果、例えば24移動局の場合には、準静的フェージング環境下では干渉波の影響を3dB程度に抑えることができることを明らかにした。さらに、誤り制御技術との併用効果についても求め、本干渉除去回路の有効性を示した。

#### 第5章 結論

本章では、4章までで論じた研究成果を総括し、さらに、将来展望について論じている。すなわち、4章までにおいて、高速伝送特性に優れるDS-CDMAについて、各種制御技術に対する方式設計技術を確立し、マルチメディア伝送に適する容量増大化技術を提案し、評価したことを示した。さらに、将来の移動体通信に対して、利便性、多様性が要求されることを示し、このような要求に応えるには、複数の無線システムを統合的に利用しうるシステムの実現が望まれることを論じた。

# 論文審査結果の要旨

移動体通信において周波数利用効率が高く、マルチメディア伝送に適したアクセス方式が求められている。本論文は、TDMA (Time Division Multiple Access)よりも CDMA (Code Division Multiple Access)の方が高速伝送に有利であることを示したのち、種々の制御技術の不完全性がシステムに与えるデメリットを明らかにすることにより CDMA 方式設計技術を確立し、さらに、マルチメディア通信に適する容量増大化技術を提案したもので、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、CDMA および TDMA の高速伝送特性について述べている。移動通信では伝送速度を高速化すると遅延波の影響により伝送特性が著しく劣化する。この劣化を補償するために、CDMA では RAKE 受信機が、TDMA では等化器が適用される。本研究では、RAKE 受信を用いた CDMA と等化器を用いた TDMA の高速信号伝送特性を理論的に求め、補償される遅延波数が等しいときには、RAKE 受信を用いた CDMA の方が、良好な伝送特性が得られることを明らかにした。これは、今後、高速データ伝送が求められる第3世代の移動体通信のアクセス方式として CDMA の方が有利であることを示す重要な成果である。

第3章では、チャンネル容量解析技術を中心に DS (Direct Sequence) -CDMA の方式設計技術について述べている。シミュレーションによりチャンネル容量を求める手法を確立し、ハンドオーバ技術、送信電力制御技術の不完全性が容量に与える影響を求めた。その結果、理想的なチャンネル容量からの劣化を10%以下に抑えるためには、上り送信電力制御誤差を0.5 dB以下、送信電力制御のダイナミックレンジを70 dB以上としなければならないことをはじめて明らかにした。これらの成果は第3世代の移動体通信として導入予定である W-CDMA 方式の規格を策定する上で、送信電力制御のステップサイズ、ダイナミックレンジを決定する根拠となった、実用上きわめて重要な成果である。

第4章では、マルチメディア通信に適した伝送速度が異なるサービスを共用する DS-CDMA システムにおける、多重伝送時における干渉除去技術について述べている。伝送速度が異なる移動局の相互干渉を抑圧する遅延シンボル合成型干渉除去法を提案し、その特性を明らかにした。その結果、本干渉除去回路によると、24台の移動局の場合、準静的フェージング環境下では干渉波による劣化を理論値から3 dB以内に抑えることができることを明らかにした。さらに、誤り制御技術との併用により、最大ドップラー周波数の増加、すなわち移動速度の増加に伴う特性劣化を抑圧できることを示した。これは、今後のマルチメディア通信の発展に有用となる成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、第3世代の移動体無線のアクセス方式として CDMA の優位性を示し、さらに CDMA のチャンネル容量解析技術を確立し、ハンドオーバ・送信電力制御技術に対する要求条件を明らかにし、マルチメディア通信に適した干渉除去法を提案したもので、無線通信工学および電子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。