

高速移動通信に向けたベースバンド処理 LSI の 高性能化に関する研究

学位論文内容の要旨

インターネットの普及に伴い、1990年代後半からモバイル・インターネットと呼ばれる移動体通信でのデータ通信の利用が盛んになってきた。また、当時の固定通信網が ISDN 化していく影響を受け、移動体通信による ISDN の機能を実現するため、パケット伝送において、高速移動時 144kbps、歩行時 384kbps、屋内 2Mbps の最大通信速度を目標に、第 3 世代移動体通信は開発された。主要な方式として、CDMA をより高速化、ブロードバンド化した W-CDMA と CDMA2000 が用いられている。さらにブロードバンド回線によるインターネットの利用拡大に伴い、移動体通信での高速な Web アクセスやマルチメディア通信の実現に対する要求が高まっている。これに対し、高速パケット通信によって、下りリンクの通信速度を数 Mbps あるいは 10Mbps 以上に向上させる、第 3.5 世代と呼ばれる技術が開発されている。2010 年以降のサービス開始を目標としてシステムの検討が行われている第 4 世代移動体通信では、50Mbps から 1Gbps 程度の高速大容量通信を実現することが想定されている。また、携帯電話だけの使用に限定せず、無線 LAN などの多種類の無線システムをシームレスに連携することが考えられている。標準仕様の策定はまだ行われていないが、マルチキャリア CDMA 方式が注目されている。

高通信速度が要求される移動体通信において、複雑な信号処理を高速に行う送受信器の設計は重要な研究分野の 1 つであり、特にクリティカルパスとなる演算に対しては専用回路による高速処理が必要である。また携帯端末への実装を考慮すれば、低消費電力であることが求められる。本研究では、第 3/4 世代移動体通信で必要である回路設計のなかで、(1)DS-SS-CDMA 方式での高速マッチドフィルタの設計、(2) マルチキャリア CDMA 方式の一種である VSF-OFCDM 方式での低消費電力逆拡散器の設計について研究を行った。

また、無線通信において通信品質が劣化する要因として、加法性白色雑音に代表される加法性雑音と、マルチパスフェージングに代表される乗法性歪みが挙げられる。これら外乱成分の影響を緩和し通信品質を改善するために、様々な研究が行われている。その一つとして、無線伝搬路の状況に応じて変調方式を柔軟に変更する、適応変調技術が近年注目されている。適応変調技術では、伝搬路の特性を決定するパラメータを、受信信号から抽出する技術が重要である。本研究では、フェージングの特性を決定するドップラ周波数の推定について研究を行った。

本論文では、以上の研究に対する背景の詳細を述べ、提案回路及び提案手法を説明し、成果についてまとめた。以下に本論文の構成を示す。

第 1 章では、近年の移動体通信に対する要求と、要求を解決するための方式を述べた。

第 2 章では、無線通信システムの伝送特性を評価するための、コンピュータシミュレーションモデル

を説明した。伝送の妨害となるマルチパスフェージングと加法性白色雑音の特性を示し、コンピュータシミュレーションでのモデル化について説明した。

第3章では、DS-CDMA方式で高速通信を実現するための、パスサーチに用いるマッチドフィルタを提案した。提案するマッチドフィルタは、相関演算を並列に処理する並列マッチドフィルタである。従来のマッチドフィルタは総和演算を直列に接続した加算器を用いて処理することに対し、提案マッチドフィルタは並列に構成した加算器を用いるため、回路遅延が短く、高速に動作させることが可能である。性能評価では、提案マッチドフィルタは従来マッチドフィルタと比較して、遅延時間が50%以上削減されることを示した。

第4章では、VSF-OFCDMでの可変拡散率と2次元拡散に対応した、低消費電力逆拡散器を提案した。2次元拡散を適用したVSF-OFCDMでは、周波数領域及び時間領域の拡散率をセル構成、無線パラメータ、伝搬路の状態によって適応的に制御する。低消費電力逆拡散器は、拡散率に応じて動的に回路構成を変化させることで、演算器の並列化、パイプライン化を実現し、低消費電力化を図っている。性能評価では、低消費電力逆拡散器は単純な逆拡散器と比較して、消費電力を10~60%削減されることを示した。

第5章では、マルチキャリア方式に適した、雑音耐性の高いドップラ周波数推定法を提案した。マルチキャリア方式でのパイロットシンボルから求まるチャンネル推定値は、逆離散フーリエ変換によって伝搬路の複素インパルス応答へ変換される。提案手法は最もエネルギーの高い複素インパルス応答を検出し、その時間相関を用いてドップラ周波数推定を行う。提案手法は、従来手法と比較して雑音環境下でも安定した推定が行われることを示した。

第6章では、以上の研究成果についてまとめた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 永 喜 一
副 査 教 授 野 島 俊 雄
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 小 川 恭 孝

学 位 論 文 題 名

高速移動通信に向けたベースバンド処理 LSI の 高性能化に関する研究

インターネットの普及に伴い、1990年代後半からモバイル・インターネットと呼ばれる移動体通信でのデータ通信の利用が盛んになってきた。また、当時の固定通信網が ISDN 化していく影響も受け、移動体通信による ISDN の機能を実現するため、パケット伝送において、高速移動時 144kbps、歩行時 384kbps、屋内 2Mbps の最大通信速度を目標に、第 3 世代移動体通信は開発された。主要な方式として、CDMA をより高速化、ブロードバンド化した W-CDMA と CDMA2000 が用いられている。さらにブロードバンド回線によるインターネットの利用拡大に伴い、移動体通信での高速な Web アクセスやマルチメディア通信の実現に対する要求が高まっている。これに対し、高速パケット通信によって、下りリンクの通信速度を数 Mbps あるいは 10Mbps 以上に向上させる、第 3.5 世代と呼ばれる技術が開発されている。2010 年以降のサービス開始を目標としてシステムの検討が行われている第 4 世代移動体通信では、50Mbps から 1Gbps 程度の高速大容量通信を実現することが想定されている。また、携帯電話だけの使用に限定せず、無線 LAN などの多種類の無線システムをシームレスに連携することが考えられている。標準仕様の策定はまだ行われていないが、マルチキャリア CDMA 方式が注目されている。

高通信速度が要求される移動体通信において、複雑な信号処理を高速に行う送受信器の設計は重要な研究分野の 1 つであり、特にクリティカルパスとなる演算に対しては専用回路による高速処理が必要である。また携帯端末への実装を考慮すれば、低消費電力であることが求められる。本研究では、第 3/4 世代移動体通信で必要である回路設計のなかで、(1)DS-CDMA 方式での高速マッチドフィルタの設計、(2) マルチキャリア CDMA 方式の一種である VSF-OFCDM 方式での低消費電力逆拡散器の設計について研究を行った。

また、無線通信において通信品質が劣化する要因として、加法性白色雑音に代表される加法性雑音と、マルチパスフェージングに代表される乗法性歪みが挙げられる。これら外乱成分の影響を緩和し通信品質を改善するために、様々な研究が行われている。その一つとして、無線伝搬路の状況に応じて変調方式を柔軟に変更する、適応変調技術が近年注目されている。適応変調技術では、伝搬路の特性を決定するパラメータを、受信信号から抽出する技術が重要である。本研究では、フェージングの

特性を決定するドップラ周波数の推定について研究を行った。

本論文では、以上の研究に対する背景の詳細を述べ、提案回路及び提案手法を説明し、成果についてまとめた。以下に本論文の構成を示す。

第1章では、近年の移動体通信に対する要求と、要求を解決するための方式を述べている。

第2章では、無線通信システムの伝送特性を評価するための、コンピュータシミュレーションモデルを説明した。伝送の妨害となるマルチパスフェージングと加法性白色雑音の特性を示し、コンピュータシミュレーションでのモデル化について説明している。

第3章では、DS-CDMA方式で高速通信を実現するための、パスサーチに用いるマッチドフィルタを提案した。提案するマッチドフィルタは、相関演算を並列に処理する並列マッチドフィルタである。従来のマッチドフィルタは総和演算を直列に接続した加算器を用いて処理することに対し、提案マッチドフィルタは並列に構成した加算器を用いるため、回路遅延が短く、高速に動作させることが可能である。性能評価では、提案マッチドフィルタは従来マッチドフィルタと比較して、遅延時間が50%以上削減されることを示している。

第4章では、VSF-OFCDMでの可変拡散率と2次元拡散に対応した、低消費電力逆拡散器を提案した。2次元拡散を適用したVSF-OFCDMでは、周波数領域及び時間領域の拡散率をセル構成、無線パラメータ、伝搬路の状態によって適応的に制御する。低消費電力逆拡散器は、拡散率に応じて動的に回路構成を変化させることで、演算器の並列化、パイプライン化を実現し、低消費電力化を図っている。性能評価では、低消費電力逆拡散器は単純な逆拡散器と比較して、消費電力を10~60%削減されることを示している。

第5章では、マルチキャリア方式に適した、雑音耐性の高いドップラ周波数推定法を提案した。マルチキャリア方式でのパイロットシンボルから求まるチャンネル推定値は、逆離散フーリエ変換によって伝搬路の複素インパルス応答へ変換される。提案手法は最もエネルギーの高い複素インパルス応答を検出し、その時間相関を用いてドップラ周波数推定を行う。提案手法は、従来手法と比較して雑音環境下でも安定した推定が行われることを示している。

第6章では、以上の研究成果についてまとめた。

以上の点より、本論文では、低消費電力型次世代移動通信システムのLSI設計及び開発に関わる研究において、十分な成果を挙げている。

これを要するに、筆者は、新たな低消費電力型次世代移動通信システムの研究を行い、そのLSIシステムを設計・開発・実現し、その有効性を示した。これにより、次世代移動通信システムの開発・実現に関する多くの有益な知見を得ており、電子情報工学の分野に貢献するところ大なるものがある。よって筆者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。