

博士(工学) 岸山祥久

学位論文題名

移動通信システムにおける
超広帯域パケット無線アクセス技術の研究

学位論文内容の要旨

近年の無線パケットアクセスのトラヒック需要の急激な増大に伴い、移動通信システムの国際的な標準化プロジェクトである 3GPP (3rd Generation Partnership Project)において、LTE (Long-Term Evolution) の無線インターフェース仕様 (Release 8) が完成された。LTE は第 3 世代移動通信方式 (3G) である W-CDMA 方式に対比して、第 3.9 世代 (3.9G) に位置づけられている。また、ITU-R (International Telecommunication Union Radio communication sector)において、IMT (International Mobile Telecommunication) 用の新たな周波数帯が特定され、第 4 世代移動通信方式 (4G) となる IMT-Advanced 方式の無線インターフェースの提案募集が開始された。これに応じて、LTE をさらに広帯域に発展させた LTE-Advanced が 3GPPにおいて現在検討されている。

これらの 3.9G, 4G といった次世代移動通信方式では、既に商用サービスが広く行われている W-CDMA 方式に比較して、パケット伝送に特化し、更なる高効率・大容量化伝送、および低遅延伝送の実現が必須となる。特に IMT-Advanced では、移動環境で 100 Mbps (メガビット毎秒)、静止環境で 1 Gbps (ギガビット毎秒) といった非常に高いパケット伝送のスループット特性が要求条件とされており、実現のためには周波数利用効率の改善とともに、100 MHz 程度の非常に広い信号帯域幅を用いる必要がある。従って、超広帯域パケット無線伝送に適したマルチアクセス方式、要素技術の確立が必須である。

本論文は、IMT-Advanced において想定されているような最大 100 MHz 程度の超広帯域化を伴うパケット無線伝送の実現を研究対象として、著者がこれまでに行った無線アクセス技術についての研究をまとめたものである。

第 1 章は緒論であり、研究の背景と本論文の概要について述べている。

第 2 章では、研究対象とする移動通信の基本原理、および急速に発展する移動通信システムについて、3G(W-CDMA 方式) 以降のシステムの概要を説明している。

第 3 章から第 5 章にかけては、著者の研究成果を記している。

第 3 章では、超広帯域パケット伝送における基本伝送技術に着目し、100 MHz の周波数帯域幅を用いた場合における OFCDM (Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) の 2 次元拡散率制御法の提案、および屋外走行実験による超広帯域無線パケット伝送における様々な伝送特性

や 100 Mbps 超のスループットの実現性を明らかにしている。具体的には、時間および周波数の 2 次元拡散を用いる可変拡散率 OFCDM について、変調方式およびチャネル負荷を考慮した拡散率制御法を提案し、実験結果より、QPSK データ変調を用いた場合には周波数領域の拡散率を増大し周波数ダイバーシチ効果を得る制御が有効であること、16QAM 以上の多値変調方式においては直交性の崩れが小さい時間領域拡散のみを用いる方法が有効であることを明らかにした。また、試作した周波数帯域幅 101.5 MHz (RF キャリア周波数 4.635 GHz) の OFCDM 実験装置を用い、基地局から 1 km 程度離れた見通し外の測定コースにおいて屋外走行実験を行った。実験結果より、様々な広帯域伝送の無線特性を明らかにするとともに、測定コースの約 90%, 20% の場所率で 100 および 200 Mbps のスループット特性を実現した。また、適応変調・チャネル符号化を適用する場合、および、セクタ間干渉が存在する場合においても安定して 100 Mbps 超のスループット特性を実現できることを示した。

第 4 章では、超広帯域パケット無線アクセス方式として LTE 方式 (4G の LTE-Advanced でもほぼ共通) を研究対象とし、システムの要求条件を考慮しつつ、最適な物理チャネル構成や適用技術を提案している。具体的には、下りリンク OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)において、様々なシステムの要求条件を考慮した無線パラメータの最適化を検討し、セル固有のスクランブルコードと同一セル (基地局) 内のセクタ固有の直交系列を用いる直交パイロットチャネル構成を提案した。シミュレーション評価により、MIMO 多重において異なるストリーム間の直交化には周波数分割多重 (FDM) が、セクタビーム間の直交化にはコード分割多重 (CDM) が有効であることを示した。また、上りリンクシングルキャリア (SC)-FDMA (Frequency Division Multiple Access) におけるランダムアクセスチャネル (PRACH) 構成を検討し、提案する制御情報のグループ化を適用することにより、1 msec 長のプリアンブル系列を用いて 6 ビットの制御ビットを送信するチャネル構成が LTE で要求されるカバレッジを実現できることを示した。さらに、上りリンクにおいて最適なスケジューリング要求 (SRI) の送信法を検討し、スケジュール型チャネルが衝突型チャネルに比較して、同一の受信品質、カバレッジ、要求されるアクセス遅延を満たすのに必要な無線リソース量を低減でき、SRI を送信する物理チャネルとして適することを示した。

第 5 章では、上りリンクにおいて基地局でリンク容量を増大するのに有効な干渉キャンセラ技術を検討している。具体的には、W-CDMA 方式におけるパラレル型コーヒーレントマルチステージ干渉キャンセラ (COMSIC: Coherent Multistage Interference Canceller) について、室内および屋外実験により、実伝搬環境における有効性を明らかにした。さらに、スペース/偏波ダイバーシチ受信を行う 2 以上のマルチアンテナ受信を用いる場合の受信信号処理アルゴリズムを提案し、シミュレーション結果より、提案法を用いた場合にマルチアンテナをフェージング相関の小さな 2 個のブロックに分割したアンテナ構成が最大のリンク容量を実現できることを明らかにした。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

学位論文審査の要旨

主査 教授 小川 恭孝
副査 教授 宮永 喜一
副査 教授 野島 俊雄
副査 教授 小柴 正則
副査 准教授 大鐘 武雄

学位論文題名

移動通信システムにおける 超広帯域パケット無線アクセス技術の研究

近年、携帯電話では、回線交換からパケット交換へとトラヒック需要が変化した。サービスの対象も音声伝送からウェブアクセスなどのデータダウンロードを中心になっている。これに伴い、移動通信の国際的な標準化プロジェクトである 3GPP (3rd Generation Partnership Project)において、高速な無線パケットアクセスを実現するための規格として、LTE (Long-Term Evolution) の無線インターフェース仕様が策定された。LTE は第 3 世代移動通信方式 (3G) である W-CDMA 方式に対比して、第 3.9 世代 (3.9G) に位置づけられている。一方、ITU-R (International Telecommunication Union Radio communication sector) では、第 4 世代移動通信方式 (4G) となる IMT (International Mobile Telecommunication)-Advanced 方式用の新たな周波数帯が特定され、無線インターフェースの提案募集が開始された。これに応じて、IMT-advanced の要求条件を満足させ得る規格として、LTE を広帯域に発展させた LTE-Advanced が 3GPPにおいて現在検討されている。

これらの 3.9G, 4G といった次世代移動通信方式では、パケット伝送の特長を活かした高効率・大容量化伝送、および低遅延伝送を実現することが最も重要な課題である。特に IMT-Advanced では、移動環境で 100Mbps (メガビット毎秒)、静止環境で 1Gbps (ギガビット毎秒) といった高いスループット特性が要求条件とされており、100MHz 程度の非常に広い信号帯域幅を用いる必要がある。従って、超広帯域パケット無線伝送に適したマルチアクセス方式、要素技術の確立も必須である。

本論文は、最大 100MHz 程度の超広帯域化を伴うパケット無線伝送の実現を研究対象として、著者がこれまでに行った無線アクセス技術についての研究をまとめたものである。第 1 章は緒論であり、研究の背景と本論文の概要について述べている。

第 2 章では、研究対象とする移動通信の基本原理、および 3G (W-CDMA 方式) 以降の移動通信システムの概要を解説している。

第 3 章では、超広帯域パケット伝送における基本伝送技術に着目し、100MHz の周波数帯域幅を用いた場合における OFCDM (Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) の 2 次元拡

散率制御法の提案、および屋外走行実験による超広帯域無線パケット伝送における様々な伝送特性や 100Mbps 超のスループットの実現性を明らかにしている。具体的には、時間および周波数の 2 次元拡散を用いる可変拡散率 OFCDM について、変調方式およびチャネル負荷を考慮した拡散率制御法を提案し、実験結果より、QPSK データ変調を用いた場合には周波数領域の拡散率を増大し周波数ダイバーシチ効果を得る制御が有効であること、16QAM 以上の多値変調方式においては直交性の崩れが小さい時間領域拡散のみを用いる方法が有効であることを明らかにしている。

第 4 章では、超広帯域パケット無線アクセス方式として LTE 方式 (4G の LTE-Advanced でもほぼ共通) を研究対象とし、システムの要求条件を考慮しつつ、最適な物理チャネル構成や適用技術を提案している。具体的には、様々なシステムの要求条件を考慮した無線パラメータの最適化を検討し、下りリンク OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 伝送における直交パイロットチャネル構成、上りリンクシングルキャリア伝送におけるランダムアクセスチャネル構成、さらに、上りリンクにおいて最適なスケジューリング要求の送信法を検討している。

第 5 章では、上りリンクにおいて基地局でリンク容量を増大するのに有効な干渉キャンセラ技術を検討している。具体的には、W-CDMA 方式におけるパラレル型コーヒーレントマルチステージ干渉キャンセラについて、室内および屋外実験により、実伝搬環境における有効性を明らかにしている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

これを要するに、著者は、物理チャネルの構成やスケジューリングなどの MAC 層技術から、二次元拡散率や干渉キャンセラなどの物理層技術まで総合的に最適化を図ることで、100MHz に及ぶ超広帯域な無線アクセス方式を確立したものであり、無線通信工学に貢献するところ大なるものがある。よって、著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。