

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	吉田 誠
論文題目	広帯域マルチキャリア無線伝送技術に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>セルラー方式無線通信技術の著しい進展に伴い、その広帯域化や高品質化が喫緊の課題となっている。本論文は、200 km/h を超える高速移動時においても 100 Mbps 以上の高速高信頼度伝送を実現する第4世代移動通信システムの実現に向けて、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) に代表されるマルチキャリア無線伝送技術に関する研究を行い、得られた主要な研究成果を取りまとめたものであり、6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の目的、背景、位置づけおよび論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、マルチキャリア変調方式 OFDM をベースとした多重伝送方式 (FDM/TDM/CDM) のシステム性能を比較している。まず、第4世代移動通信システムの運用環境を送信電力制限の観点から明確にした上で、OFDMのみで対応可能な多重波伝搬の遅延スプレッドを明らかにした。次に、得られた伝送パラメータを用い、単一セルおよびマルチセル環境下において性能比較を行った結果、周波数分割多重 (FDM) 方式の一種である segmented-OFDM に符号化率 $R \leq 1/3$ のターボ符号 (最大事後確率規範の Max-Log-MAP 復号を仮定) を併用することにより、高速移動環境においてもセル平均周波数利用効率の最大化が図れることを明らかにしている。特に、周波数リユースファクタが1あるいは3の適応OFDM伝送と組み合わせることで場所率100%のサービスが達成可能である。</p> <p>第3章では、受信性能の向上に不可欠な伝搬路推定方式について述べている。提案した縮退逆行列型伝搬路推定方式 (DIME: Degenerated Inverse Matrix Estimator) は、雑音抑圧によるSN比向上効果により、100 km/h 以上の高速移動環境下においても性能上界からの劣化が最大 0.4 dB以内であり、演算量は MMSE (Minimum Mean Square Error) 法と比較して1/20,000で実現可能であることを明らかにしている。提案方式の有効性は、計算機シミュレーションのみならず試作装置による室内実験においても確認されている。</p> <p>第4章では、様々な運用環境における受信品質の保証を狙いとしてOFDMのガードインターバルを超える長遅延波対策技術について述べている。すなわち、時間領域信号処理型シンボル間干渉 (ISI : Inter-Symbol Interference) 低減手法である pre-FFT 等化方式を提案している。さらに、ISI 耐性の高いDIMEとの組合せによる性能評価</p>			

を行い、提案方式の既存システムに対する有効性を明らかにしている。その結果、例えば LDPC (Low Density Parity Check)符号を用いたターボpre-FFT等化方式では、所望信号対干渉プラス雑音電力比 (SINR) 規範の復号・等化最適繰返し回数適応制御アルゴリズムを用いることにより、ガードインターバルの数倍の長遅延波発生時においても理想性能に漸近する特性が得られることを明らかにしている。

第5章では、高速移動環境下におけるピーク伝送速度の向上を目指し、空間分割多重型 MIMO-OFDMシステムにおける低演算量高性能信号分離方式を提案している。提案するSN比最大化型低演算量QRM-MLD (QR-decomposition with M-algorithm - Maximum Likelihood Detection) アルゴリズムは、従来方式の干渉電力最小化規範とはまったく異なる受信信号電力最大化規範を用いることで、高速フェージング環境下においても常時フルダイバーシチ効果が得られることを特徴としており、100 km/h 以上の高速移動環境下において、性能上界に漸近する従来の QRM-MLD の1/7程度の演算量で同等の性能を達成できることを計算機シミュレーションにより明らかにしている。

第6章は結論であり、本論文の成果を要約するとともに、今後の課題について触れている。

(論文審査の結果の要旨)

次世代移動通信システムに向けて、その広帯域化や高品質化が喫緊の課題となっている。本論文は、次世代移動通信システムの実現に不可欠な多重伝送方式と伝送パラメータの明確化およびシステム性能向上を指向した各種要素技術の提案に関する研究成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

- (1) 高速移動時に100 Mbps以上の伝送速度を実現可能な多重伝送方式について検討を行った結果、マルチキャリア変調OFDMを周波数分割し、符号化率 $R \leq 1/3$ のターボ符号を併用するsegmented-OFDMが最適であることを明らかにした。さらに、周波数リユースファクタを所望信号対干渉プラス雑音電力比 (SINR) に応じて切り替えるFFR (Fractional Frequency Reuse)技術と組み合わせることにより、100%の場所率でサービスの提供が可能であることを明らかにした。
- (2) 低演算量かつ高精度多重波伝搬路推定方式である縮退逆行列型伝搬路推定方式 (DIME) を提案し、その性能を明らかにした。提案方式は、高速移動環境下においても性能上界に漸近する特性が得られることを計算機シミュレーションのみならず室内実験により確認した。
- (3) OFDM伝送において問題となるガードインターバルを超える長遅延波に起因するシンボル間干渉およびキャリア間干渉を抑圧するpre-FFT等化方式を提案し、DIMEとの組合せによる性能評価を行った。特に、LDPC (Low Density Parity Check)符号を用いたターボpre-FFT等化方式では、SINR規範の復号・等化最適繰返し回数適応制御アルゴリズムを用いることにより、ガードインターバルの数倍となる長遅延波発生時においても理想性能に漸近する特性が得られることを明らかにした。
- (4) 空間分割多重型MIMO-OFDMへの適用を前提として、フルダイバーシチ効果が得られる受信信号電力最大化規範を用いたSN比最大化型低演算量QRM-MLDアルゴリズムを提案した。提案方式により効果的な演算量削減が可能となり、高速移動時においても最適手法であるMLDに漸近する特性を従来手法の1/7程度の演算量で得られることを明らかにした。

以上要するに本論文は、第4世代移動通信システムの実用化に向けて、多重伝送方式とその伝送パラメータおよび性能向上に必須となる各種要素技術の検討を行い、システム設計および装置設計に際して有用となるいくつかの知見を与えたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年2月21日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。