

(論文内容の要旨)

本論文は、マルチキャリア変調システムにおいてその特性を決定付ける重要な問題である電力配分及び等化に対して、計算量の低減という観点から新たにアルゴリズムを導出し、その特性や要求演算量について評価することで、提案方式の有効性を明らかにしたものであり、全体で6章から構成されている。

第1章では、無線通信システムにおけるマルチキャリア変調方式の隆盛の歴史的背景について述べるとともに、マルチキャリア変調方式のための電力配分法及び周波数領域等化に関するこれまでの研究の問題点を指摘している。そして、論文全体の構成を簡単に紹介している。

第2章では、まず、マルチキャリア変調方式の基本原則を説明し、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式や(Multi-Input Multi-Output)-OFDM方式、MC-CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access)方式などの信号モデルの定式化を行っている。そして、マルチキャリア変調方式のビット誤り率(Bit Error Rate, BER)の近似式について説明し、誤り訂正符号を用いない場合、たたみ込み符号を用いる場合、ターボ符号を用いる場合のそれぞれについて、その近似式のパラメータを計算機シミュレーションにより経験的に導出している。

第3章では、OFDM方式のための送信電力配分問題に対し、平均BERを最小にする基準による電力配分アルゴリズムを新たに提案している。従来の電力配分アルゴリズムでは、Q関数で与えられるコスト関数から最適送信電力を解析的に導出することが困難であるため、送信電力を繰り返し処理によって制御する手法が用いられていた。そこで、BERの近似式をコスト関数に用いることで、最適送信電力配分を解析的に導出している。さらに、サブキャリアをうまくグループ分けし、それぞれのグループ毎に電力配分することで特性劣化を抑えつつ演算量を低減するアルゴリズムを導出している。また、誤り訂正符号を用いるような、解析的にその誤り率を表現することが難しい場合にも、近似式のパラメータを経験的に決定することで、提案方式による送信電力配分が可能であることが示されている。最後に、グループサイズを変化させたときのBER特性を計算機シミュレーションによって評価することで、提案方式の有効性を示している。

第4章では、サブキャリア毎の適応変調方式を用いたOFDM方式、送受信機が複数のアンテナを備えるMIMO-OFDMシステム、及びマルチキャリア変調に基づく多元接続方式の一つであるMC-CDMAシステムに対して、第3章での提案送信電力配分法を拡張して適用する手法について議論している。適応変調で選択可能な変調多値数が少ない場合には、サブキャリアをグループ化する手法を採用することで総当り的な探索による変調多値数の決定が可能であることが示されている。また、MIMO-OFDMでは周波数軸と空間軸の両方の自由度が存在するが、アンテナ本数が少ないとき(2~4本程度)には周波数軸のみの送信電力配分で十分な特性が得られることが実験により示されている。さらに、MC-CDMAのような複数のユーザにまたがる電力配分問題においても、提案電力配分法によって良好な特性が得られることが示されている。

第5章では、周波数利用効率向上のために注目されているオーバーラップ周波数領域等化法の要求演算量を低減する手法を議論している．オーバーラップ周波数領域等化法では、マルチキャリア変調方式などで一般に用いられているガード区間を必要としない代わりに、周波数領域等化器出力のうち一部分のみを復調に使用するため等化に必要な計算量が大きくなってしまう．そこで、まず、周波数領域等化器出力におけるシンボル毎のSINR(Signal-to-Interference plus Noise power Ratio)を導出している．そして、このシンボル毎のSINRに基づき等化器出力の抽出部分を決定することで等化における演算量を削減するアルゴリズムを導出している．最後に、許容されるSINRの劣化の割合を変化させたときのBER特性を計算機シミュレーションによって評価することで、提案方式の有効性を示している．

第6章では、本論文での成果の総括と今後の展望を述べている．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、マルチキャリア変調システムにおいてその特性を決定付ける重要な問題である電力配分及び等化に対して、計算量の低減という観点から新たにアルゴリズムを導出し、その特性や要求演算量について評価することで提案方式の有効性を明らかにすることを目的としており、その成果は以下のように要約される。

1. OFDM方式のための送信電力配分問題に対し、平均ビット誤り率(BER)を最小にする基準による送信電力配分法を新たに提案した。BERの近似式をコスト関数に用いることで、最適送信電力配分を解析的に導出した。そして、サブキャリアをうまくグループ分けし、それぞれのグループ毎に電力配分することで特性劣化を抑えつつ演算量を低減する手法について議論した。誤り訂正符号を用いるような、解析的に誤り率を表現することが難しい場合にも、近似式のパラメータを経験的に決定することで提案方式による送信電力配分が可能であることを示した。最後に、計算機シミュレーションによりBER特性を評価することで、提案方式の有効性を示した。

2. OFDM方式のための提案送信電力配分法を拡張することで、サブキャリア毎の適応変調方式を用いたOFDMシステム、送受信機が複数のアンテナを備えるMIMO-OFDMシステム、及びMC-CDMAシステムへ適応する手法について議論した。適応変調で選択可能な変調多値数が少ない場合には、サブキャリアのグルーピングを採用することで総当り的な探索により変調レベルが決定できることを示した。また、MIMO-OFDMでは周波数軸と空間軸の自由度が存在するが、アンテナ本数が少ないとき(2~4本程度)には周波数軸のみの送信電力配分で十分な特性が得られることを実験により確認した。さらに、マルチユーザシステムであるMC-CDMAにおいても、提案送信電力配分法の有効性を示した。

3. 周波数利用効率向上のために注目されているオーバーラップ周波数領域等化法の要求演算量を低減する手法を議論した。オーバーラップ周波数領域等化法では、等化器出力のうち一部分のみを復調に使用することが計算量増加の要因となっているため、周波数領域等化器出力におけるシンボル毎のSINRを導出し、これに基づいて等化器出力の抽出部分を決定することで等化における演算量を削減する手法を提案した。最後に、計算機シミュレーションによってその有効性を示した。

以上要するに本論文は、マルチキャリア変調方式の特性に大きく影響する電力配分及び等化という問題に対して現実的かつ具体的な解法を提供するものであり、無線通信システムの今後の発展に貢献する内容で、その意義は極めて大きい。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成20年12月1日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。