

氏 名	AINIWAN ABUDOUKEREMU
授 与 学 位	博 士(工学)
学 位 記 番 号	理工博甲第646号
学 位 授 与 年 月 日	平成26年11月12日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 情報・デザイン工学系専攻
学 位 論 文 題 目	Research on Multicarrier CDMA Schemes with Interference Free Performance Using ZCZ Code in Large Delay Spread
論 文 審 査 委 員	主 査 山口大学 教授 松藤 信哉 山口大学 教授 大林 正直 山口大学 教授 多田村 克己 山口大学 教授 柳 研二郎 山口大学 准教授 松元 隆博

【学位論文内容の要旨】

A wireless communication technology that allows multiple users to communicate in real time is strongly required to support various needs, such as high performance remote control system to controlling many control units at the same time and mobile wireless network systems to link each user dynamically. As an effective technique, code division multiple access (CDMA) schemes that multiple users can communicate over the same frequency band simultaneously is considered. There are direct sequence CDMA (DS-CDMA) and multicarrier CDMA (MC-CDMA) including multicarrier direct sequence CDMA (MC-DS-CDMA) as important CDMA schemes with the advantages of effective frequency utilization and high tolerance to multipath fading.

In general, DS-CDMA that original data symbols are spread by a high-rate sequence in time domain, has been adopted to synchronous and asynchronous communications, which have been adopted to downlink and uplink for third generation (3G) cell phones, respectively. The downlink uses an orthogonal code corresponding to a Hadamard matrix referred to as a spreading sequence set to cancel the inter symbol interference (ISI) due to multipath fading and multiple access interference (MAI) from adjacent multiple users. The uplink uses a spreading code with good auto and cross-correlation properties such as a pseudo-random (PN) sequence set and the Gold sequence set, etc. to suppress ISI and MAI. DS-CDMA with a quasi-synchronous technique and a zero correlation zone (ZCZ) code including a complementary code, which is called DS-ZCZ-CDMA collectively, achieves ISI and MAI free performance and synchronization capability with fast frame acquisition. DS-ZCZ-CDMA can be applicable flexibly in not only Infrastructure mode but also Ad-hoc mode, because two-way communication without MAI is possible over the same frequency channel. On a large delay spread channel caused by high data rate transmission, the influence of MAI, ISI and synchronization gap deteriorates the communication performance. As a solution, DS-ZCZ-CDMA based on a block spreading technique called DS-BC-ZCZ-CDMA has been proposed successfully, which uses ZCZ code and the minimum mean square error (MMSE) Rake receiver with the pilot-symbol-aided channel estimation.

On the other hand, MC-CDMA based on a combination of the orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) using the Fourier transform technique with DS-CDMA has been adapted to synchronous communication, that an original data symbol is spread by a sequence in an

orthogonal code over different subcarriers in frequency domain. MC-DS-CDMA with spreading in time domain, that an original data symbol multiplied by a sequence is allocated to each subcarrier, has been discussed. In general, the bit error rate (BER) performance of MC-DS-CDMA is worse than that of MC-CDMA, since the influence of ISI and inter carrier interference (ICI) due to multipath fading is large. It is known that the required frequency band of MC-CDMA and MC-DS-CDMA is smaller almost half than that of DS-CDMA. However, in high data rate transmission, the system performance is still limited by MAI, ISI and ICI. In order to remove these interferences, MC-CDMA and MC-DS-CDMA using ZCZ code have been discussed. However, some are affected by the interferences even in the case of one chip delay spread, and in others the delay length without MAI depends on the size of zero correlation zone, that is, the family size of sequences decreases. Thus, there is a trade-off of the BER performance and the number of multiple users in the above conventional CDMA schemes.

This dissertation proposes a novel multicarrier CDMA without interferences over a multipath Rayleigh fading channel with large delay spread, which can be characterized by a block coding technique using a ZCZ code with low correlation property and the MMSE Rake receiver with a pilot-symbol-aided channel estimation to remove MAI and ICI, and to reduce the ISI, respectively.

Chapter 1 describes the background and purpose of this research and layout of the dissertation. In chapter 2, some necessary fundamental knowledge of digital communication schemes is presented to help understand the main intention of the research. The basic structure of the wireless communication channels and modulation schemes are introduced. An intensive explanation is given to singlecarrier and multicarrier CDMA schemes including DS-CDMA, OFDM and MC-CDMA.

In chapter 3, MC-ZCZ-CDMA is investigated. A ZCZ code with low correlation properties is given and its orthogonality for time domain and frequency domain on the Fourier transform is mathematically verified and clarified for one chip delay. A general DS-ZCZ-CDMA and a MAI-free DS-BC-ZCZ-CDMA are introduced and their problems for high data rate transmission are depicted. A MC-ZCZ-CDMA scheme without GI technique is presented and its problem is depicted.

In chapter 4, to solve above problem, a MC-ZCZ-CDMA scheme in large delay spread is investigated. At first, a basic MC-ZCZ-CDMA scheme is given to combat these interferences by using the correlation properties of ZCZ code for one chip delay even the transmitted data symbols increases. Then, a novel MC-ZCZ-CDMA scheme without the interferences called BC-MC-ZCZ-CDMA based on the above scheme is proposed. BC-MC-ZCZ-CDMA is characterized by use of a block coding (BC) technique using ZCZ code to remove MAI and ICI in very large delay spread, and the MMSE Rake receiver with a pilot-symbol-aided channel estimation to utilize a delay wave and to reduce ISI. The length of delay chips is related to only block size and does not depend on the size of the zero correlation zone. It does not have the trade-off mentioned above, and does not need the frequency domain equalization technique which has been used in multicarrier communications generally, since MAI and ICI are free.

In order to demonstrate the improved BER performance of the proposed scheme by comparing with conventional schemes in a large delay spread channel, a computer simulation is applied in Chapter 5. It is shown that proposed BC-MC-ZCZ-CDMA can remove these interference in large delay spread. Chapter 6 summarizes the results derived by this dissertation and gives topics for further study.

【論文審査結果の要旨】

複数の直交搬送波を用いたマルチキャリア伝送方式は、理論的には、従来のシングルキャリア伝送方式と比べて、ほぼ半分の周波数帯域幅で同じ情報量を伝送可能である。また、拡散系列として零相関領域を有する ZCZ 系列を用いることにより、同一周波数帯上にて、複数ユーザがシンボル間干渉や他局間干渉の無いマルチキャリア符号分割多元接続 (MC-ZCZ-CDMA) を構築できる。しかし、移動体通信では、電波が建物などの反射により生じる遅延波により、電波の強さが時間的に変動するマルチパスフェージングが現れる。そのような通信路では、干渉の影響が大きくなり、システム性能は大きく劣化してしまう。その対処法として、ZCZ 系列の零相関領域を広げることが考えられるが、それに反比例して系列数は減少してしまう。すなわち、同時伝送局数の減少につながり、通信性能は劣化してしまう。

本博士論文では、超遅延波に対しても通信性能を維持しつつ、送受信回路設計の容易性を兼ね備えた MC-ZCZ-CDMA を提案する。周波数空間上で系列数が最多 (零相関領域が最小) となる ZCZ 系列により拡散された情報シンボルは時空間上に変換され、それらを一纏めにしてブロック符号化することにより、他局間干渉の無い状況を作る。また、パイロット系列による通信路推定によるレイク受信により、遅延波電力を有効に活用し、かつ、シンボル間干渉を除去する。これにより、最大のユーザ数を確保し、干渉の無い通信が可能になる。一般に、マルチキャリア伝送では通信性能改善のために直交搬送波ごとに振幅と位相を補正する等化处理を行うが、干渉が無いのでそれを必要としない。また、いくつかの遅延波モデルの上でブロックサイズ (一纏めにした情報シンボル数) やマルチキャリア数に対して、計算シミュレーションにより誤り特性を評価し、提案法の有効性を確認している。本方式は、大容量情報伝送を可能とする次世代携帯電話方式、車を動的に結ぶ無線ネットワークシステム、高信頼高速車車間通信システム、高機能遠隔ロボット制御システムなどへの応用が考えられる。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景と目的、研究の位置づけ、論文の構成について述べている。

第 2 章では、本研究に関連するデジタル通信に関する基本的事項について説明する。本章には、通信路環境、変調方式、各種 CDMA 技術などが含まれている。

第 3 章では、先行研究として提案されている ZCZ 符号とシングルキャリア方式も含む従来の ZCZ-CDMA とそれらの問題点をまとめると共に、時空間と周波数空間における ZCZ 符号の性質や超遅延波に対しても有効な ZCZ 符号について探索している。

第 4 章では、1 チップシフトの遅延波に対してまったく干渉の無いマルチキャリア ZCZ-CDMA の基本方式を議論し、その上で、ブロック符号化を取り入れることにより、超遅延波に対しても干渉の無い MC-ZCZ-CDMA を構築している。特に、3 章の議論を基にして、無干渉であることを明確に証明している。

第 5 章では、白色性ガウス雑音環境およびマルチパスレイリーフェージング環境において、複数の通信パラメータを変えて、提案方式と従来方式の情報誤り特性を計算シミュレーションにより検討、比較し、提案方式の有効性を確かめている。

第 6 章では、本論文で示した新しい結果をまとめ、今後の展望を述べている。

公聴会では、29名の参加者があり、活発な質疑応答がなされた。その主な内容として、

- (1) 提案方式の規格化について
 - (2) 付加されるガードチップの長さ
 - (3) チャンネルモデルとして、特に 2 パス等電力モデルを検討した理由
 - (4) 等化处理と MMSE レイク受信の根本的な違い
 - (5) ブロック符号化におけるブロック長と遅延波の関係
 - (6) 変調方式 QPSK と 16QAM のシステム性能の違い
- 等の質問があり、申請者よりいずれに対しても適切に回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士 (工学) の論文に十分値するものと判断した。