

氏 名 Zhang Chao

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 951 号

学位授与の日付 平成 18 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Research on Sequence Design for 4th Generation Mobile
Communications

論文審査委員	主 査 教授	山田 茂樹
	助教授	計 宇生
	助教授	阿部 俊二
	助教授	児玉 和也
	教授	羽鳥 光俊(中央大学)
	教授	末広 直樹(筑波大学)

Nowadays, 4th generation (4G) mobile communications have been received much more attention due to the up-going requirement for large system capacity, high transmission rate and ubiquitous services etc. Besides Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) and Multiple In Multiple Out (MIMO) techniques, CDMA technology is also expected to be facilitated with 4G characteristics, which leads to the crucial task of the sequence design for CDMA system. Up to date, sequences with Zero Correlation Zone (ZCZ) have been successfully applied in many communication systems, especially in SCDMA (Synchronized CDMA) and QS-CDMA (Quasi-Synchronized CDMA). With the zero correlation zones in the correlation functions, the systems enjoy low interference.

Moreover, the set of complementary sequences which has ideal correlation functions of sequence groups can be considered as the special form of ZCZ sequence set employed in the single carrier CDMA systems as well as Multi-Carrier (MC) CDMA systems.

Recently, with the success of LAS-CDMA, the ZCZ sequences and ZCZ sequence sets become more and more celebrated. This thesis is devoted to carry out the research of novel ZCZ sequences and ZCZ sequence sets.

The first contribution presented in this thesis is sequence set with Three Zero Correlation Zones (T-ZCZ), which is intended to handle the restrictions of the number of complementary sequences in MC-CDMA system. Specifically, the algorithms for generating T-ZCZ sequences are discussed. The theoretical bound of T-ZCZ sequence set is calculated. Some applications of T-ZCZ sequence set are also presented. Meanwhile, the performance in the CDMA system is evaluated. The result shows that the T-ZCZ sequences have the same performance as the complementary sequences in interference cancellation, while the number of the T-ZCZ sequences is considerably larger. That means the system capacity can be drastically increased by T-ZCZ sequences.

Another contribution in MC-CDMA system is "Two-Dimensional Combined Complementary Sequence (TDC)", whose row and column vectors are both complementary sequences. This kind of structure achieves PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) reduction as well as interference cancellation. In the thesis, the algorithm to generate TDC sequences and the detailed structure of the corresponding MC-CDMA system are studied. The BER (Bit Error Rate) performance of the uplink and downlink is also analyzed and evaluated.

Due to the importance of the complementary sequences, the research on the pertinent generating algorithm is launched. Comparing with the previous algorithm which can generate the set of complete complementary sequences of length $NnN(n;N 2 Z+)$, we present an algorithm which can produce the set of complete complementary sequences with shorter length $2mN(m;N 2 Z+)$. The sequence set with short length can be applied

in some special cases that long sequence is not appreciated, such as infrared communications.

Additionally, we give an algorithm for the generalized LS sequences derived from the set of complete complementary sequences. Compared with LS sequences, which derived from Golay complementary pairs, the new generalized LS sequences enjoy more categories and sequences. The LS sequences can be classified as a special form of the generalized LS sequences.

At last, the application of ZCZ sequences in Wireless Local Area Network (WLAN) is discussed. In WLAN, we use CCK modulation enhanced by pseudo-periodic sequences instead of the common traditional CCK modulation. The enhanced CCK with ZCZs shows good performance against multi-path interference.

In summary, throughout this thesis, novel sequences are designed for the incoming 4th generation mobile communications, especially for the enhanced CDMA system capable of efficient interference cancellation.

論文の審査結果の要旨

本博士論文は、今後、本格的な技術開発が行われる第4世代無線通信において100Mb/s級の高速大容量通信をCDMA(符号分割多元接続)技術で実現する場合の系列(sequence: 数学的に規定された数値の並び)の構成方法を理論的に追求したものである。CDMAを用いた無線通信では、情報信号を大きな周波数帯域に広げて(拡散して)伝送するスペクトル拡散方式を用いるが、拡散をする手段として系列が用いられる。すなわち、送信局では各ユーザの情報信号を互いに異なる系列符号で拡散し、足し合わせて送信し、受信局では足し合わされた信号を受信し、各ユーザ対応の系列と相関をとって、それぞれの情報信号を取り出す。

優れた系列の考案は、符号間干渉、マルチパス干渉、マルチユーザ干渉等のさまざまな干渉を最小限に抑えて高速大容量の無線通信システムを実現するキーテクノロジーとなっている。申請者も、この挑戦的な課題に対して、ZCZ(Zero Correlation Zone)系列と呼ばれる系列をベースにさまざまな角度から改良を加えた各種のZCZ系列の考案と理論的考察を行い、以下のような研究成果を得ている。

(1) CDMAシステムの容量が上述の干渉または系列の数によって制限されることに着目し、系列グループ数を大きく増やすことのできるT-ZCZ(Three Zero Correlation Zone)系列セットを考案し、T-ZCZ系列生成アルゴリズム、その理論的な限界値と系列パラメータ間の関係を明らかにした。また、単一キャリアCDMAシステムおよびマルチキャリアCDMA(MC-CDMA)システムに適用した場合の性能評価を行い、T-ZCZ系列の有効性を示した。

(2) 従来のComplete Complementary Sequenceを改良したTDC系列セット(Two-Dimensional Combined complementary sequence set)を考案し、その生成アルゴリズムとMC-CDMA無線方式に適用した場合のシステム構成方法を明らかにした。また、シミュレーションによって干渉の除去とPAPR(Peak-to-Average Power Ratio)の低下に有効であることを明らかにした。

(3) 赤外線通信のような応用では、Complete Complementary Sequenceより短い符号長の系列が望まれるため、従来よりも短い符号長を有するShorter Complete Complementary Sequence setを考案するとともに、その生成アルゴリズムを明らかにした。また、このShorter Complete Complementary Sequence setが従来のComplete Complementary Sequence setも含んだスーパーセットであることを明らかにした。

(4) 従来のComplete Complementary SequenceからLS系列を生成する方法と、それによって得られた一般化LS系列を考案し、従来のLS系列が一般化LS系列の特殊解であることを明らかにした。

(5) ZCZ系列はMC-CDMAシステムやsingle CDMAシステム以外にもさまざまなアプリケーションが考えられる。そこで、ZCZ系列を無線LAN(Local Area Network)に適用したEnhanced CCK変調方式を考案し、無線LANに適用した場合、マルチパス干渉を軽減し、より高い転送レートが得られることをシミュレーションにより、明らかにした。

申請者は、以上の研究成果を主に査読論文5件、査読付き国際会議15件、特許出願4件としてまとめている。

本論文の提案内容は、新規性、有効性、信頼性が十分に備わっており、また学術的価値も十分に認められる。さらに、産業界への貢献も十分に期待できる。したがって、本論文が複合科学研究科における博士授与の基準に達していると判断された。

試験は、申請者に提出博士論文の内容の発表をしてもらい、論文内容を中心に、これに関連した分野ならびに知識の内容も含め、審査委員全員からの口頭試問で行った。論文内容の発表では、研究の背景と狙い、本論文が提案する各種 ZCZ 系列の技術的特徴と関連技術との比較、解析や計算機シミュレーションによる性能評価を進めたことが報告された。審査委員からの質問に対して申請者は的確かつ明解に回答した。

その結果、申請者は情報学ならびに関連する分野に関し、学位を授与するに十分な学識を有するものと判断し、合格とした。