

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学 号: 23320101153104

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

多波段宽带无线通信系统的预失真技术研究

The Research of Digital Predistortion for Multiband

Broadband Wireless Communication System

许 云

指导教师姓名: 欧 钢 教 授

吴晓芳 副教授

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩日期: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: 许学敏

评 阅 人: _____

2013 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名): 许法

2013年5月30日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）： 许经

2013年5月30日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

现代无线通信技术迅猛发展，频谱资源日益短缺。为了提高频谱效率，现代通信系统广泛采用高阶调制方式和多载波传输方式。但是这些非恒定包络调制的信号往往拥有高峰均比，严重影响功放效率。数字预失真技术是目前常用的一种功率放大器线性化技术，可有效补偿功放非线性失真。本文考虑多波段宽带数字预失真的实现，区别于传统的单一波段预失真，同时考虑信号的带内失真和带外失真，对谐波失真和三阶互调失真分别进行建模和补偿。

本文第一种抑制谐波的多波段预失真系统的优点在于可以同时抑制载波频率 (ω_0) 上的带内失真和谐波频率 ($2\omega_0, 3\omega_0, \dots$) 上的带外失真。这种预失真结构由多个预失真器“并联”组成，分别工作在载波频率的倍频上。其中一个工作在频率 ω_0 上的预失真器用来补偿带内失真，其他的预失真器用来抑制谐波。

各个预失真器的系数统一由粒子群算法计算而得。本文第二种抑制三阶互调失真的多波段预失真系统可以独立补偿多载波发射机的带内失真和带外三阶互调失真。其最大优点是可以单独处理每个波段的信号，从而将整个系统的大带宽拆成小带宽，降低了模数转换和数模转换的采样速率，解决了传统单波段宽带预失真技术采样速率要求过高的难题。这种单独处理各波段信号的系统对带内失真和带外失真分别建模，带内使用克罗内克积模型“合并”多路输入信号，带外使用粒子群算法配合的信号注入法压制带外三阶互调失真，都达到了不错的效果。本文还对粒子群优化算法进行研究，对不同的优化问题采用不同的粒子群算法。

关键词：功率放大器；多波段；谐波失真；三阶互调失真；数字预失真；粒子群算法

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Because the number of wireless systems and services has been increased rapidly, we are short of frequency resources now. To utilize the frequency resource efficiently, modern communication system widely uses high-order modulation and multi-carrier transmission. However, these multi-carrier signals are envelope-varying signals with high peak-to-average power ratios (PAPRs), which usually lead to the sacrifice of the system's power efficiency in order to meet the linearity requirements. Digital predistortion (DPD) technology is a commonly used linearization technology for power amplifier and can effectively compensate the PA nonlinear distortion. This paper concerns about the wideband multi-channel DPD, which is different from the traditional narrow band DPD. It both concerns about the intra-band and inter-band distortion and presents using the particle swarm optimization (PSO) algorithm to increase the ability of restraining harmonic and the third-order intermodulation (IMD3) distortion.

In this paper, the first DPD structure reduces the spectral regrowth of the fundamental signal at the carrier frequency (ω_0) and removes the harmonics ($2\omega_0, 3\omega_0, \dots$) at the same time. The DPD structure is composed of multiple DPDs centered at integer multiples of ω_0 . The DPD at ω_0 is for removing spectral regrowth of the fundamental signal, and the others are for harmonic reduction. The coefficients of each DPD are calculated by PSO. The second DPD structure uses independent processing cells to compensate for the intra-band and inter-band distortion of nonlinear multi-carrier transmitters. This band-selective feature of the second DPD technique significantly reduces the minimum sampling rate requirements of analog-to-digital and digital-to-analog converters, which are a critical issue for the conventional single-band DPD techniques dealing with wideband signals. The band-selective DPD system builds models for intra-band distortion and inter-band distortion respectively. The intra-band model uses Kronecker model to combine

multiple input signals perfectly. The inter-band model uses signal injection method with PSO to restrain IMD3 and has a better result. We use different PSOs for different optimization problems and do some research for the relevant PSO.

Key Words: Power Amplifier; Multiband; Harmonic Distortion; Third-order Intermodulation Distortion; Digital Predistortion; Particle Swarm Optimization

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘 要	I
Abstract.....	III
目 录	V
Contents	VIII
第 1 章 绪论	1
1.1 课题研究背景与意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 数字预失真技术 (DPD)	2
1.2.2 多波段预失真技术的研究.....	3
1.3 本文工作和结构安排.....	5
第 2 章 功率放大器非线性特性和行为模型	7
2.1 功率放大器的非线性失真.....	7
2.1.1 谐波失真	7
2.1.2 互调失真	7
2.1.3 AM/AM 和 AM/PM 特性.....	9
2.1.4 功率放大器线性度指标	10
2.1.4.1 1dB 压缩点	10
2.1.4.2 三阶截断点 IP3	10
2.1.4.3 误差向量幅度 EVM.....	11
2.1.4.4 邻道功率比 ACPR	12
2.2 功率放大器的记忆效应.....	12
2.2.1 电记忆效应	13
2.2.2 热记忆效应	13
2.3 功率放大器行为模型.....	14
2.3.1 幂级数模型	15
2.3.2 Rapp 模型.....	16
2.3.3 Saleh 模型	17
2.3.4 Wiener 和 Hammerstein 模型.....	17
2.3.5 Volterra 级数模型	18
2.4 本章小结	20
第 3 章 粒子群优化算法	21
3.1 粒子群优化算法的基本理论.....	21
3.1.1 粒子群优化算法概述	22

3.1.2	粒子群算法基本过程	22
3.2	粒子群算法目标函数	24
3.2.1	目标函数数学模型	24
3.2.2	常用测试函数	24
3.3	基本粒子群算法	26
3.3.1	基本粒子群算法原理	26
3.3.2	基本粒子群算法步骤	26
3.3.3	性能测试	27
3.4	自适应权重粒子群算法	28
3.4.1	自适应权重粒子群算法原理	28
3.4.2	自适应权重粒子群算法步骤	29
3.4.3	性能测试	29
3.5	本章小结	31
第 4 章	抑制谐波的多波段预失真系统	33
4.1	抑制谐波的多波段预失真系统介绍	33
4.2	非线性功放模型	34
4.3	并联预失真结构	36
4.3.1	预失真函数推导	36
4.3.2	粒子群算法求解预失真系数	38
4.4	多目标优化问题	39
4.4.1	宽容分层序列法	39
4.4.2	权函数法	40
4.5	仿真结果	41
4.6	本章小结	46
第 5 章	抑制三阶互调失真的多波段预失真系统	47
5.1	抑制三阶互调失真的多波段预失真结构	47
5.2	带内信号预失真处理	49
5.2.1	克罗内克积预失真模型	49
5.2.2	间接学习法求解克罗内克积模型系数	51
5.3	带外信号预失真处理	53
5.3.1	抑制功率放大器三阶互调失真的信号注入技术	53
5.3.2	信号注入法抑制带外失真	56
5.4	仿真结果分析	59
5.5	本章小结	68
第 6 章	总结与展望	69
6.1	本论文工作总结	69
6.2	后期工作展望	70
6.2.1	多目标粒子群算法	70
6.2.2	预失真系数简化	70
参考文献	71

致 谢75

攻读硕士学位期间发表的论文及所做工作77

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Contents in Chinese	V
Contents in English	VIII
Chapter1 Preface	1
1.1 Application Background	1
1.2 Research Status	2
1.2.1 Digital Predistortion Technology (DPD)	2
1.2.2 Research of Mutilband DPD	3
1.3 Work and Organization Status	5
Chapter2 Power Amplifier Non-linear and Behavioral Modeling	7
2.1 Non-linear Distortion of Power Amplifier	7
2.1.1 Harmonic Distortion	7
2.1.2 Intermodulation Distortion	7
2.1.3 The Characteristics of AM/AM and AM/PM	9
2.1.4 The Linearizing Indicators of Power Amplifier	10
2.1.4.1 1dB Compression Point	10
2.1.4.2 IP3	10
2.1.4.3 EVM.....	11
2.1.4.4 ACPR	12
2.2 Memory Effect of Power Amplifier	12
2.2.1 Electrical Memory Effects	13
2.2.2 Electro-thermal Memory Effects	13
2.3 Behavioral Modeling of Power Amplifier	14
2.3.1 Power Series Model.....	15
2.3.2 Rapp Model	16
2.3.3 Saleh Model.....	17
2.3.4 Wiener and Hammerstein Model.....	17
2.3.5 Volterra Model.....	18
2.4 Summary	20
Chapter3 Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)	21
3.1 The Basic Theory of PSO	21
3.1.1 Overview of PSO.....	22
3.1.2 Basic Process of PSO	22

3.2	The Objective Function of PSO	24
3.2.1	Objective Function Model	24
3.2.2	Test Function	24
3.3	The Basic Particle Swarm Algorithm	26
3.3.1	Principle of Basic PSO	26
3.3.2	Process of Basic PSO	26
3.3.3	Performance Test	27
3.4	Adaptive Weights Particle Swarm Algorithm (AWPSO).....	28
3.4.1	Principle of AWPSO	28
3.4.2	Process of AWPSO	29
3.4.3	Performance Test	29
3.5	Summary	31
Chapter4 Multi-band DPD for Restraining Harmonics		33
4.1	Introduction of Multi-band DPD for Restraining Harmonics	33
4.2	Non-linear Power Amplifier Model	34
4.3	Parallel DPD Structure	36
4.3.1	DPD Function.....	36
4.3.2	DPD with PSO.....	38
4.4	Multiobjective Optimization Problem.....	39
4.4.1	Tolerance Layered Sequence Method.....	39
4.4.2	Weight Function Method	40
4.5	Simulation Results	41
4.6	Summary	46
Chapter5 Multi-band DPD for IMD3 Distortion.....		47
5.1	Structure of Multi-band DPD for IMD3 Distortion.....	47
5.2	Intra-band DPD	49
5.2.1	Kronecker Model.....	49
5.2.2	Indirect Learning for the Coefficient of Kronecker Model.....	51
5.3	Inter-band DPD	53
5.3.1	Signal Injection Method	53
5.3.2	Signal Injection Method for Inter-band Distortion.....	56
5.4	Simulation Results	59
5.5	Summary	68
Chapter6 Conclusion and Prospect		69
6.1	Summary of This Paper	69
6.2	Future Work	70
6.2.1	Multiobjective PSO	70
6.2.2	Simplifying DPD Coefficients.....	70
References		71
Acknowledgement		75
Published Paper and Research during Master Degree		77

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库