



国外信息技术精品丛书



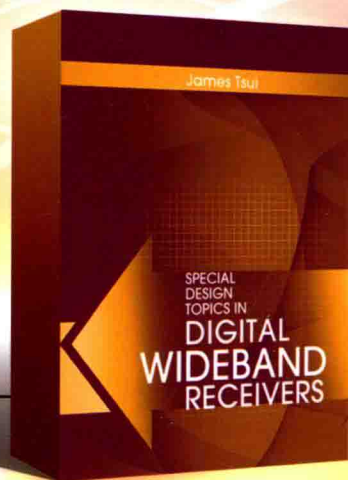
ARTECH HOUSE

BOSTON | LONDON

PRACTICAL BOOKS FOR ENGINEERING PROFESSIONALS

数字宽带接收机 特殊设计技术

*Special Design
Topics in
Digital
Wideband
Receivers*



[美] James Tsui 著

张宏伟 俞静一 何芳 等译



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国外信息技术精品丛书

数字宽带接收机 特殊设计技术

Special Design Topics in Digital Wideband Receivers

[美] James Tsui 著

张宏伟 俞静一 何芳 译
李德顺 徐阳 李博

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书主要包括四个方面的内容,一是讨论了完整接收机设计的一些细节问题,给出了不同类型接收机设计的解决方案,并基于传统 FFT 接收机提出了电子战接收机的基本性能;二是讨论了其他领域的一些概念在数字宽带接收机设计中的应用,如低阶相关矩阵特征值在信源数目估计中应用、MUSIC 算法在频率相近信号的识别中的应用等;三是深入讨论了数字宽带接收机第二版中部分概念的细节,如数字化、IQ 不平衡性对接收机动态范围的影响等;四是讨论了一些特殊信号的检测问题,主要基于 FM 信号和 BPSK 信号的特性,进行两类信号的检测,可以分为两个步骤,一是确认信号的存在,二是对信号的特征参数进行测量。全书的讨论中大量采用仿真结果,而不仅是基于理论的推导,从而大大增加了本书的易读性。

本书适合作为高等学院通信工程、电子工程、情报处理、电子对抗等专业的本科生、研究生的专业教材,也是电子战接收机设计人员不可多得的一本参考书。

James Tsui

Special Design Topics in Digital Wideband Receivers

ISBN-13: 978-1-60807-029-9

Copyright © 2010 by ARTECH HOUSE

本书中文简体字版专有出版权由 ARTECH HOUSE 授予电子工业出版社。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-8331

图书在版编目(CIP)数据

数字宽带接收机特殊设计技术/(美)徐(Tsui,J.)著;张宏伟等译. —北京:电子工业出版社,2015.7
(国外信息技术精品丛书)

书名原文: Special Design Topics in Digital Wideband Receivers

ISBN 978-7-121-26379-8

I. ①数… II. ①徐… ②张… III. ①数字通信系统-宽带通信系统-通信接收机 IV. ①TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 135836 号

策划编辑: 刘海艳

责任编辑: 周宏敏

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.75 字数: 557 千字

版 次: 2015 年 7 月第 1 版

印 次: 2015 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译 者 序

本书由有着丰富电子战接收机设计经验的 James Tsui 博士撰写而成,也是对 Digital Techniques for Wideband Receives(《宽带数字接收机技术》)一书的进一步探讨,并根据技术的发展和时代的需要,添加了许多新的内容和新的观点。本书作为电子战接收机设计方面的专著,阐述了许多电子战接收机设计方面的许多新技术和细节,体现了电子战接收机设计方面的发展动态和更新的技术成果,通过对本书的学习,可帮助国内电子战接收机设计人员设计出性能更好的电子战接收机,也可帮助即将从事电子战接收机设计的人员更加深刻的理解接收机设计中需要注意的问题等。

全书共分为 16 章,内容编排如下:

第 1 章介绍了撰写本书的目标、完整的接收机组成、以及本书的组织结构等方面的内容。

第 2 章介绍了 ADC 前端的放大需求,包括接收机 ADC 前端的设计原则、设计的输入、灵敏度和动态范围的推导以及 ADC 位数对接收机性能的影响等,并举例进行了说明。

第 3 章和第 4 章介绍了不同类型接收机的动态范围,包括动态范围的定义和测量条件、不同类型接收机的动态范围、瞬时动态范围的确定方法、数字化对动态范围的影响以及如何获得高瞬时动态范围的方法等。

第 5 章介绍了 IQ 通道的不平衡性,包括通道不平衡的测量方法以及不同方法(FFT、Hilbert、多相滤波、特殊采样下变频等)获得 IQ 数据的不平衡性的研究。

第 6 章介绍了利用 FFT 输出进行信号检测的方法,包括不同检测概率条件下的门限确定、频率测量的不同方法。

第 7 章介绍了信号的时域检测方法,包括时域测量方法、时间分辨率与窗长的关系、窗长的选择以及窗长对时域测量结果的影响等。

第 8 章介绍了特征值在接收机设计中的应用,包括影响特征值法检测性能的因素、特征矩阵构建、基于特征值处理的不同检测方法(门限法、AIC 法、MDL 法)等。

第 9 章介绍了频率相近信号的检测,包括不同算法(FFT 算法、MUSIC 算法、特征值算法)对频率相近信号的检测性能。

第 10 章介绍了数字瞬时测频接收机(IFM)的设计,包括模拟和数字 IFM 的组成与基本概念、IFM 的性能以及实信号到复信号的转换方法等。

第 11 章~第 13 章介绍了接收机的不同设计方法,包括常规 FFT 方法、复合 FFT 方法和多相滤波方法等。

第 14 章和第 15 章介绍了两类特殊信号的检测方法,包括不同方法实现 BPSK 信号和 FM 信号的检测以及不同方法之间检测性能的比较。

第 16 章介绍了信号到达角和频率的测量方法,包括频率和到达角测量中的二维相干处理、均匀和非均匀间距条件下 AOA 的测量方法及到达角测量过程中获得的额外灵敏度提高等。

全书由张宏伟组织翻译，并对全书进行了审校，俞静一、何芳、李德顺、徐阳、李博等参与了本书翻译和校对工作。在此对上述各位同志的辛勤劳动表示衷心的感谢！另外，在成书的过程中，得到了中国洛阳电子信息装备试验中心多位领导和专家的指导和帮助，在此代表全体译者表示衷心感谢！

因译者水平所限，书中难免会出现未尽或错误之处，敬请广大读者批评指正。

前 言

本书可以看作是对 *Digital Techniques for Wideband Receivers* (《宽带数字接收机技术》) 的进一步探讨, 该书中讨论了许多针对宽带接收机的不同设计方法。电子战 (electronic warfare, EW) 接收机设计的主要问题是译码器的设计。在 *Digital Techniques for Wideband Receivers* 第二版中没有讨论该技术, 因为当时该技术还不够成熟。现在的现场可编程门阵列 (field programmable gate array, FPGA) 不仅使得译码器的设计变为可行, 同时也开创了接收机设计的多个领域。

本书有四个目的。第一是提出一个完整的接收机设计, 包括译码器。虽然不可能讨论所有的细节, 但主要的问题都涉及了。包括四种类型的接收机设计: 数字瞬时测频 (instantaneous frequency measurement, IFM), 常规的 FFT 处理, 复合 FFT 处理, 多相滤波器。数字 IFM 接收机有更好的解决方案, 比起模拟系统, 其更自动化, 成本更低。传统的 FFT 接收机提出接收机的基本性能。复合 FFT 处理和多相方法可以实现一个梦幻设计, 即灵敏度和频率分辨率依脉冲宽度而定。基于天线阵列的到达角 (angle of arrival, AOA) 研究, 可以获得额外的灵敏度。

本书的第二个目标是在电子战接收机设计中引入其他领域的概念。例如, 利用低阶相关矩阵的特征值来确定信号的数目, 这是 EW 应用中的一个重要因素。而且, FFT 输出服从瑞利分布, 并用来确定门限。可以由卷积方法得到 FFT 输出幅度求和的门限。多信号分选 (multiple signal classification, MUSIC) 方法用于频率相近信号的识别。

本书的第三个目标是产生 *Digital Techniques for Wideband Receivers* 第二版中讨论的一些概念的细节信息。通过包含数字化影响的 MUSIC 算法研究了动态范围的问题。研究了 FFT、利用 Hilbert 变换的多相处理、特殊采样频率等多种方法的 IQ (in-phase and quadrature) 不平衡性。这些结果对接收机设计来说是很重要的。如果 IQ 通道的平衡性不好, 接收机的动态范围将会受到限制。

本书的最后一个目标是讨论特殊信号的检测。信号限制为二进制相移键控 (biphase shift keying, BPSK) 和频率调制 (frequency modulated, FM 或 chirp) 信号。这两种类型信号的特性是基于检测方法进行分析的。在 FFT 或多相滤波器处理之后进行检测, 用于模拟接收机的影响。首先必须确认信号的存在。然后进行信号特征的测量, 如 BPSK 的码元速率和 chirp 信号的调频率等。

本书中介绍的所有主题都是和电子战接收机设计密切相关的, 并针对其中的一部分进行了详细讨论。因此, 书名使用了“特殊设计技术”。大部分的探讨都是基于仿真结果, 而不是纯粹理论推导。本书列举了几个常用的子程序。为了尽量减少仿真误差, 相似的问题在不同的章节进行讨论。例如, 采用不同设计方法的接收机灵敏度分列于不同的章节。如果所有的结果具有可比性, 可以认为该仿真是正确的。有些意料之外的结果需要进一步研究和解释。

本书可供本科生或研究生使用, 是专为电子战和通信领域的研究人员和管理人员编写的。几乎所有的章节都有示例。为了能够对各个章节的结果进行比较, 书中的例子使用了相似的条件, 如采样频率和输入频率范围等。

在写这本书时，我得到了我的同事 Mr. David Lin 和 Dr. Liyeh Liou 的许多帮助。经过讨论，他们帮助我更好地理解问题和避免错误。在很多项目上，Dr. Maan Broadstock 与我一起工作，她通过仿真给出了很多详细的结论，揭示了许多内在的细节，我非常感激她的协助。我还要感谢 Mr. Chuck Ward，一个有着 30 多年接收机设计经验的接收机工程师，他给了我很多好的建议。

我还要感谢 Dr. Stephen Hary 和 Mr. Todd Kastle 对我的一些研究的支持和对书稿的审查。我还要感谢 Mr. Keith Graves 审阅我的书稿。我还得到了在 AFRL 工作的许多管理人员和工程师的帮助，感谢 Dr. Chris Lesniak, Mr. Douglas Abner, Mr. Bob Blumgold, Mr. Jon Buck, Mr. Peter Buxa, Mr. Thomas Dairymple, Dr. Dan Janning, Mr. Matt Longbrake, Mr. John McCann, Mr. Bob Neidhard, Mr. John Norton, Dr. George Simpson, Dr. Dale Stevens, Mr. Kyle Zeller, 以及 Ms. Desney Burrick 等人的鼓励和支持，我还要感谢来自 ITT 的 Mr. John Zaccaria, Mr. Peter DiTore, Mr. Stuart Lopata, Mr. Rich Barozzi, Mr. Dan Jacobson, Mr. Brain Mayhew 和 Mr. Dan Henry，感谢他们在一些研究项目上的支持、技术项目上的讨论和电子接收机的测量程序等。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 本书的目的	1
1.3 建立接收机性能的需求	3
1.4 完整的电子战接收机系统	3
1.5 译码器设计	4
1.6 方法和参考文献	5
1.7 软件方法的标准	5
1.8 本书的组织结构	6
参考文献	6
第 2 章 ADC 前端的放大需求	7
2.1 介绍	7
2.2 基本的设计准则	7
2.3 计算机程序的输入	9
2.4 常量的产生	10
2.5 方程推导	11
2.6 前面程序的修正	11
2.7 例子	11
2.8 标称灵敏度和单信号动态范围	13
2.9 为不同位数的 ADC 产生标称值	14
2.10 噪底和 ADC 位数	15
2.11 另一个例子	17
2.12 结果的讨论	18
参考文献	18
第 3 章 通过特征值和 MUSIC 算法进行动态范围研究	19
3.1 引言	19
3.2 动态范围的基本定义	19
3.3 测量动态范围的先决条件	20
3.4 单信号接收机的动态范围	20
3.5 具有多信号处理能力的接收机的动态范围	20
3.6 特征值分解和 MUSIC 算法概述	22
3.7 定义处理过程	23
3.8 纯噪声信号与噪声加信号的特征值	23

3.9	通过特征值确定 IDR	25
3.10	MUSIC 算法	28
3.11	通过频率分辨来确定 IDR	28
3.12	ADC 前端放大需求	33
3.13	数字化对灵敏度的影响是 ADC 位数的函数	33
3.14	数字化对瞬时动态范围计算中的影响	35
3.15	瞬时动态范围的曲线拟合	37
3.16	采用 128 个数据点并进行数字化计算 IDR	38
3.17	长数据得到的高 IDR	40
3.18	结论	41
	参考文献	41
第 4 章	通过快速傅里叶变换 (FFT) 研究动态范围	43
4.1	简介	43
4.2	利用仿真方法确定 IDR	43
4.3	局部波峰	44
4.4	仿真程序	45
4.5	门限的确定	46
4.6	窗和输入频率	47
4.7	IDR 结果	48
4.8	加矩形窗的 IDR	48
4.9	加矩形窗和存在频率相近信号时的 IDR	50
4.10	加汉明窗的 IDR	51
4.11	加 Blackman 窗时的 IDR	53
4.12	加 Chebyshev 窗时的 IDR	55
4.13	加 Park-McClellan 窗时的 IDR	56
4.14	数据长度与 IDR	58
4.15	接收机设计的注意事项	59
4.16	结论	60
4.17	备注	61
	参考文献	61
第 5 章	同相和正交相 (IQ) 研究	62
5.1	简介	62
5.2	确定 IQ 通道不平衡的方法	63
5.3	FFT 输出不平衡的测量过程	63
5.4	测量 FFT 的结果	65
5.5	FFT 输出的不平衡	65
5.6	不平衡输入的 FFT 输出	71
5.7	加窗 FFT 输出的不平衡研究	72

5.8	FFT 后的相位跟踪方法	73
5.9	确定 Hilbert 变换的 IQ 不平衡的方法	74
5.10	加矩形窗的 Hilbert 变换的 IQ 不平衡结果	75
5.11	加 Blackman 窗的 Hilbert 变换的 IQ 不平衡结果	78
5.12	多相滤波器的 IQ 不平衡	80
5.13	特殊采样下变频方法的 IQ 不平衡	85
5.14	结论	86
第 6 章	利用快速傅里叶变换输出的信号检测	88
6.1	介绍	88
6.2	由噪声输出得到瑞利分布	89
6.3	信噪比(S/N)分布	91
6.4	检测概率	91
6.5	加 Blackman 窗时的检测概率	93
6.6	通过卷积方法得到门限	94
6.7	通过高斯近似法获得门限	96
6.8	通过求和得到的检测概率	97
6.9	多相滤波法的门限和检测概率	98
6.10	关于灵敏度的计算和讨论,并最终考虑通道数调整的小结	99
6.11	相位比较法	100
6.12	64 点 FFT 运算和辅助幅度比较的相位比较法得到的结果	101
6.13	创建额外的人工输出频率通道	104
6.14	多相相位比较研究及基本思路	106
6.15	利用多相滤波器输出的相位比较进行频率测量	107
6.16	增加人工频率通道的多相滤波器	109
6.17	减少多相滤波器的移位时间(长短移位)	111
6.18	多相滤波器的 3 种精细频率测量方法的比较	113
6.19	结论	114
	参考文献	114
第 7 章	1 位 ADC 的时域检测方法	115
7.1	引言	115
7.2	降低时间分辨率和窗的个数	115
7.3	利用幅度信息的常规时域测量方法	116
7.4	利用相位检测信号	118
7.5	相关输出的幅度是频率的函数	119
7.6	相关幅度随特定频率和初相的变化	121
7.7	不同窗长的滑动平均法	122
7.8	不同的滑窗	124
7.9	TOA 和 PW 的计算	127

7.10	门限设置	128
7.11	输出波形的细节	131
7.12	匹配窗的确定	132
7.13	确定匹配窗的比值法	133
7.14	从匹配窗中选择短窗	137
7.15	TOA 和 PW 的结果	137
7.16	灵敏度测试结果	138
7.17	结论	139
	参考文献	139
第 8 章	特征值及相关处理	140
8.1	引言	140
8.2	特征值问题的输入参数	140
8.3	简化方法	141
8.4	矩阵构建与噪声特征值分布	141
8.5	一个复信号、噪声特征值分布及检测概率	142
8.6	矩阵阶数的影响	144
8.7	两个复输入信号	145
8.8	数据长度的影响	147
8.9	通过低阶矩阵累加增加数据长度	149
8.10	低阶矩阵的特征值解析解	150
8.11	特征值与初始相位差的关系	152
8.12	特征值与频差	153
8.13	确定信号个数的特征值门限法	154
8.14	AIC 和 MDL 法	155
8.15	虚警测试	156
8.16	一个和两个输入信号时的虚警测试	157
8.17	IQ 不平衡对信号个数检测的影响	159
8.18	时域检测的特征值方法	159
8.19	特征值方法的时域检测仿真	160
8.20	结论	164
	参考文献	164
第 9 章	频率相近信号的研究和 MUSIC 算法	165
9.1	绪论	165
9.2	输入信号的频差和信噪比 (S/N)	165
9.3	一个信号时 MUSIC 算法的阶数研究	166
9.4	两个信号时的 MUSIC 算法的阶数研究	169
9.5	利用 FFT 算法分选频率接近的两个信号	171
9.6	利用 FFT 输出检测频率接近的两个信号	172

9.7	利用特征值检测频率相近的两个信号	175
9.8	频率相近信号的频率分辨	178
9.9	常规 MUSIC 算法	179
9.10	低阶 MUSIC 算法	181
9.11	低阶 MUSIC 算法的性能	182
9.12	MUSIC 算法的频率选择性	183
9.13	结论	184
	参考文献	184
第 10 章	数字瞬时测频接收机	185
10.1	引言	185
10.2	模拟 IFM 接收机的基本概念	185
10.3	数字 IFM 接收机的基本硬件组成与基本概念	186
10.4	1 位 ADC 的影响	187
10.5	相位差的计数与处理	188
10.6	信噪比对相位 θ 的影响	191
10.7	解模糊	193
10.8	仿真结果	194
10.9	门限与确认	196
10.10	存在两个同时到达信号时的性能	197
10.11	频率折叠	199
10.12	时间分辨率改善与滞后门限	201
10.13	IQ 通道的不平衡性	203
10.14	利用 Hilbert 变换转换实信号为复信号	204
10.15	特殊采样的下变频变换	206
10.16	结论	208
	参考文献	208
第 11 章	利用常规 FFT 法设计接收机	209
11.1	简介	209
11.2	需求	209
11.3	FFT 长度选择和频率分辨率	210
11.4	虚警概率和检测概率确定的门限	211
11.5	门限调整	214
11.6	通过幅度比较改善频率读数	214
11.7	两个信号的频率分辨	217
11.8	检测接收机中的第二信号	219
11.9	PA 测量	219
11.10	TOA 和 PW 测量	222
11.11	联合输入脉冲的所有信息	222

11.12	基于 FFT 的接收机的一些可能改善	223
11.13	接收机测试	224
11.14	总结	225
	参考文献	226
第 12 章	基于复合 FFT 处理的接收机设计方法	227
12.1	简介	227
12.2	通过 FFT 处理设计的级联滤波器	227
12.3	采用多相滤波器的级联滤波器组	229
12.4	半带滤波器	229
12.5	FFT 长度的选择	232
12.6	门限确定及检测概率	233
12.7	用以提高 PW 检测能力的附加检测方法	235
12.8	窄脉冲	236
12.9	弱的宽脉冲信号	237
12.10	多窗复合的信号检测	238
12.11	窗的选择	240
12.12	一个频率通道中存在两个信号	240
12.13	参数测量	242
12.14	结论	242
	参考文献	242
第 13 章	多相滤波器设计的接收机	243
13.1	介绍	243
13.2	方法	243
13.3	多相滤波器设计	243
13.4	多相滤波器的特性	247
13.5	时域检测和灵敏度	249
13.6	兔耳效应的产生	251
13.7	检测序列和兔耳效应	251
13.8	PW 和 FFT 处理	252
13.9	确定信号数目	253
13.10	奇偶复接收机的输出	253
13.11	确定输入频率	255
13.12	频率分辨率是 PW 的函数	257
13.13	幅度、TOA 和 PW 测量	259
13.14	最小脉宽限制与虚警概率的降低	259
13.15	结论	260
	参考文献	260

第 14 章	二进制相移键控 (BPSK) 信号的检测	261
14.1	简介	261
14.2	巴克码的基本属性	261
14.3	BPSK 信号的生成及其 FFT 输出	262
14.4	利用 FFT 输出检测 BPSK 信号	265
14.5	研究复 BPSK 信号和 CW 信号的两个特征值	269
14.6	研究复 BPSK 信号和 CW 信号的两个特征值	270
14.7	定义 BPSK 信号的码元时间极限	271
14.8	用常规 FFT 接收机的输出来检测一个 BPSK 信号	272
14.9	用两个帧来检测 BPSK 信号	274
14.10	FFT 处理后利用特征值法检测 BPSK 信号	277
14.11	在多相滤波器之后通过相位比较来检测 BPSK 信号	278
14.12	在多相滤波器之后通过特征值比值来检测 BPSK	279
14.13	寻找 BPSK 信号中相位转换的位置	280
14.14	结论	284
	参考文献	284
第 15 章	调频 (FM) 信号	285
15.1	引言	285
15.2	时域和频域输出中的 chirp 信号	285
15.3	FFT 法检测 chirp 信号	286
15.4	特征值法检测 chirp 信号	288
15.5	FFT 法和特征值法的 chirp 信号检测结果比较	290
15.6	从接收机输出中识别 chirp 信号	291
15.7	频率测量的幅度比较法	293
15.8	在常规 FFT 处理之后检测 chirp 信号的条件	294
15.9	一个频率通道中的 chirp 输出	294
15.10	位于两个频率通道边界的 CW 信号	295
15.11	两个相邻频率通道的 chirp 输出	296
15.12	多相滤波器法检测 chirp 信号	296
15.13	FFT 或多相滤波器之后检测 chirp 信号	297
15.14	在常规 FFT 处理之后进行相位比较	297
15.15	在多相滤波器运算之后进行相位比较	299
15.16	从两个 CW 信号中分离 chirp 信号	300
15.17	总结	301
	参考文献	301
第 16 章	到达角 (AOA) 和频率的测量	302
16.1	引言	302
16.2	问题定义	302

16.3	信号产生	303
16.4	普通的和简化的方法	303
16.5	基线性能	305
16.6	角度测量	306
16.7	二维相干处理的处理增益	307
16.8	变频和滤波输出校准	309
16.9	16 单元的均匀线阵	311
16.10	通过 16 个天线单元测量角度	312
16.11	频率和 AOA 转换	313
16.12	AOA 测量的两个例子	315
16.13	幅度比较	317
16.14	两个同时到达信号	318
16.15	特征值法和 MUSIC 法	319
16.16	非均匀的天线间距	321
16.17	通过非均匀的天线阵列测量 AOA	321
16.18	前端设计的潜能	323
16.19	与频率无关的 AOA 测量	325
16.20	频率- AOA 处理	326
16.21	结论	327
	参考文献	327
	程序清单	328
	关于作者	332
	术语表	333

第1章 绪 论

1.1 引言

Digital Techniques for Wideband Receivers, Second Edition 中提出了许多接收机的设计思路,但却没有一个完整的接收机设计方案。本书增加了一些新的设计思路,并通过仿真结果进行了详细的讨论,阐述了它们的性能。电子战接收机的一个最重要的功能是能够通过译码方案(也称为译码器)对每一个输入脉冲生成脉冲描述字(pulse descriptor word, PDW)。因为译码器设计的复杂性,在上一版中没有进行讨论。大多数接收机的性能受限于译码器的设计,这正是本书所要研究的,并提出了一些概念。

数字信号处理的优点正在以惊人的速度发展。一些以前被认为不切实际的处理方式,今天可以在宽带数字接收机上实现。例如,如果以 3GHz 的采样率对输入信号进行数字化,并进行 256 点的 FFT,处理速度难以支持这样连续的处理方式。为了解决这个问题,过去有两种解决办法。第一种方法是使用多相法,也称为多速率处理。该方法对输入数据进行 1/32 倍抽取,并对 256 点数据依次进行 32 点 FFT 处理,这种方法扩大了接收机滤波器的带宽,降低了灵敏度和频率相近信号的分辨能力。第二种方法采用单比特方法,即 FFT 的核函数减小到几位,以避免在 FFT 处理时使用乘法。该操作可以高速进行。虽然这种接收机的灵敏度和单信号动态范围是比较高的,但双信号瞬时动态范围却相当低,只有几个分贝。这个缺点限制了接收机接收同时到达信号的能力。

今天的技术已经能够支持规则的 FFT 处理。采用 FFT 方法构建的接收机可以获得较高的灵敏度和较大的单信号动态范围以及较大的双信号瞬时动态范围。

1.2 本书的目的

本书的目的就是要回答几个问题。第一个目标是确定接收机性能的极限。例如,瞬时动态范围是一个经常引起接收机工程师争辩的术语。工程师们经常声称他们的设计结果超过了可实现的值。有人可能会声称他们设计的接收机的瞬时动态范围非常高,但其结果是通过观察示波器显示屏获得的;其他人可能会声称一个接收机系统的动态范围值,该接收机系统可能包括多个接收机。这些说法可能会使接收机设计产生较大的困难,因为用户总是希望获得一些超越现有技术能提供的性能。有些人出于无知提供了较大的动态范围信息,也有一些人提供与竞争对手抗衡的信息。接收机通常声称无法提供广告宣传的性能。在一些少有的特定条件下,接收机可能会产生某些性能值,但不能代表常规的接收机性能。

现代电子战(EW)接收机的输出必须为脉冲描述字(PDWS)。大多数接收机确实提供 PDW 输出,因为 EW 处理器需要这些信息进行排序和脉冲串去交错,从而实现威胁的识别。在某些接收机系统中,接收机可能只需要指出一个信号是在确定的 RF 范围内即可。此接收

机可能不需要 PDWS 输出。这种类型的接收机性能不是典型的接收机性能。本书提到的性能基于可以产生 PDW 输出的接收机。

本书利用两章的篇幅研究了接收机可以达到的最大瞬时动态范围。然而,理论上限是不可用的。仿真结果用于确定瞬时动态范围的极限。仿真中,假设器件是理想的。例如,仿真中用到的 ADC(analog-to-digital converter)具有相同的量化电平,并且系统时钟也没有抖动。因此,ADC 不会产生不需要的杂散信号。较低的位数和 ADC 饱和都会产生杂散信号。虽然该极限不是通过理论推导得到的,但是多年的观察表明,仿真极限是很难达到的。

第二个目标是获取参考文献[1]中讨论的一些方法的某些详细信息。例如,快速傅里叶变换(FFT)和 Hilbert 变换可将实输入数据转换为复输出。这里不再讨论复输出的详细性能。本书中将会给出复输出的 IQ 平衡性,在实际的接收机设计中,这个信息是非常重要的。如果 IQ 输出不均衡,幅度将随时间而变化,这将导致检测问题并限制了动态范围。同样,在频域上也会产生杂散。

第三个目标是提供额外的接收机设计技术。例如,1 位数据可以被用来构建一个数字瞬时测频(IFM)接收机。虽然单比特接收机[1,第 12 章]可以产生类似的结果,并且可以很容易地在 FPGA 中实现。可以预料,这种方法可用于构建带宽非常大的数字接收机。

第四个目标是通过检测概率和虚警概率研究接收机灵敏度。在模拟接收机时期,常用 $S/N=14$ 来限定接收机的期望性能,然而难以测量虚警概率。利用数字数据,可以通过仿真找到噪声分布,通过噪声分布函数可以很好地界定虚警概率。

第五个目标是本书的主要目标:提供完整的接收机设计方案。接收机设计从数字化数据开始,通过时频转换,最终产生 PDW。本书给出三种类型的设计方法。一种方法是通过加窗 FFT 处理的一般方法,大多数电子战接收机是通过这种方法设计的。第二种是使用采用不同点数的复合 FFT 法。最后一种是通过多相滤波器和时域检测实现。最后两种方法可以使接收灵敏度和频率分辨率依赖于脉冲宽度(pulse width, PW),这是 EW 接收机设计的长远目标。

第六个目标是研究现代雷达信号。虽然新雷达可以使用非常复杂的信号,但研究中仅限于两种类型的信号:二进制相移键控(BPSK)和频率调制(FM 或 chirp),因为它们可能是威胁雷达最常用的信号。目的是通过一些特殊技术来检测接收机接收到的这些信号。

第七个目标是给接收机设计人员提供一些可供使用的参考。例如,FFT 输出的 IQ 平衡性是数据长度的函数。关于这个问题产生了很多数字,设计者从中可以选择 FFT 长度,以产生所期望的结果。在这个问题上有很多图形,接收机设计人员可根据这些图形选择 FFT 长度以产生期望的结果。

第八个目标是介绍二维信号处理。由于 RF 设计能力的提升,由多个单元构建天线阵列正在成为现实,每个单元后面都有一个 RF 电路和 ADC。所有这些输出的输出必须妥善处理,以获得到达角(AOA)信息,并通过额外的天线增益提高接收灵敏度。

总的目标是设计一个软件包,该软件包可在实际的接收机构建前评估接收机设计。如果接收机能够充分地建模,其性能是可以预测的。这种方法可降低接收机设计中的风险,加快整体设计过程。这样的程序在本书中是不可用的,因为程序需要预期的设计目标。本书中讨论的许多主题可以用于构建模块来实现之。