

SOFTWARE RADIO TECHNOLOGIES
AND THEIR APPLICATIONS

软件无线电技术 及其应用

吴利民 薛峰 吴宁生 编著

武汉大学出版社

软件无线电技术及其应用

SOFTWARE RADIO TECHNOLOGIES
AND THEIR APPLICATIONS

吴利民

薛 峰 编 著

吴宁生

2101020
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

软件无线电技术及其应用/吴利民,薛峰,吴宁生编著. —武汉:武汉大学出版社,2000.6

ISBN 7-307-02969-3

I. 软… II. ①吴… ②薛… ③吴… III. 计算机通信:无线电通信—技术 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 18317 号

EF73/05

责任编辑:陈礼榕 责任校对:杜强 版式设计:支笛

出版: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

发行: 新华书店湖北发行所

印刷: 湖北省荆州市今印集团有限责任公司

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.5 字数: 164千字 插页: 2

版次: 2000年6月第1版 2000年6月第1次印刷

ISBN 7-307-02969-3/TN·8 定价: 10.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本书概述了软件无线电技术产生的背景及其优越性与必然性，软件无线电的基本思想、主要功能结构以及实现软件无线电系统的几项关键技术。概括了目前国内外在软件无线电技术方面的一些应用成果以及作者自己在该方面的一些研究成果。并提出了今后软件无线电技术的发展与研究及应用过程中应当注意的几个问题。

其主要内容有理想的软件无线电结构，实用的软件无线电结构，宽带智能天线技术，宽带高速 A/D/A 转换技术，高速数字信号处理技术，系统总线结构技术，上、下变频技术，直接数字频率合成技术以及软件无线电在军事通信与民用通信中的最新应用示例。它也包括对软件无线电系统软件化程度的衡量，以及软件无线电系统中关键技术的发展方向等内容。

本书可作为高等院校电子、通信与信息专业类高年级本科生与研究生专业教材或选修教材，亦可作为有关研究所工程技术人员的继续教育或参考用书。

序

众所周知，当今发展最为迅猛的无疑属现代通信系统及其新技术。在无线电通信领域内，已经历了从模拟至数字通信，从固定至移动通信的二次变革；在 90 年代，它又面临着一次重大的技术革命，即软件无线电通信技术的问世、发展及其应用。随着现代微处理器技术，软件技术，数字信号处理（DSP）技术以及专用集成电路（ASICs）的进一步发展，软件无线电系统的发展及其高新技术的应用前景也将日益广阔。它将在军事通信，民用通信以及个人通信等领域内发挥巨大的作用。目前，国内外均把软件无线电作为本世纪末、下世纪初通信领域内的一项重大研究课题。

由于软件无线电是在 90 年代初才提出的一门高新技术，因此，为及时跟上现代通信新技术发展的步伐，了解其最新进展与动态，在高等院校理工科电子、通信与信息专业的高年级本科生与研究生层次的教学也可考虑开设与软件无线电系统及其新技术有关的课程。鉴于目前国内尚无此方面的系统专著与教材，空军雷达学院吴利民教授及其合作者为满足对软件无线电系统及其技术的教学、科研方面的需要，系统地参考了国内外有关软件无线电研究的最新文献与技术资料，并穿插了他们

自己在该方面研究所取得的一些成果，编写了这本书。该书的特点是内容层次高且新，并突出了工程应用型的特点，具有较高的理论与工程实用价值。因此，本书既可作为大学、研究生的相关专业教材与参考书籍，也可供研究所从事该方面研究的工程技术人员的继续教育和参考用书。

最后，我也非常高兴地看到，在我国日益增多的现代电子与通信技术图书百花园中，又增添了这样一本既有高新技术含量，又有工程实用意义的新书。我也坚信，该书的出版对今后国内在软件无线电技术及其应用方面的研究可以起到一定的作用，也将为加速我国高新技术通信产业的发展作出一份贡献。

武汉大学电子信息学院教授 张肃文
1999年10月于珞珈山

前 言

软件无线电是 90 年代初国外提出的一项较新的通信技术。它自问世以来，就作为一种新的无线电通信理念和体制在国内外受到极大的重视。由于它可使通信体制具有良好的通用性、灵活性；可使各种通信系统的互联与升级变得非常便利；并可实现一种多频段、多模式、多功能的无线电通信体制（MBMMMFR）。因此，软件无线电技术被视为在无线电通信领域内继模拟通信到数字通信，固定通信至移动通信之后的第三次通信技术革命。它也将在 21 世纪的民用、军用通信领域内有着极其广泛的应用前景。目前，国内外都将对软件无线电系统及其技术的研究纳入本世纪末、下世纪初的重要研究范畴。我国在“863”高科技计划中的高新通信技术栏目中就专门制定了对“软件无线电技术”方面的研究项目。

由于国内目前对软件无线电技术的研究及应用尚属起步阶段，至于该方面的理论书籍或教材更属空白。本书是作者基于上述这方面的考虑，在近年来潜心研究软件无线电技术的基础上，并参阅了国内外有关最新原文文献与最新技术资料，加上自己在该方面的部分研究成果，较系统地、全面地将软件无线电系统及技术的主要

理论及其应用综合写成的，它是一本有关软件无线电高新技术及其应用方面的新书。

全书共五章，第一章绪论在简述了无线电通信发展简史之后，全面概述了软件无线电产生的背景、基本思想及其优越性与必然性。第二章主要阐述了理想与实用的软件无线电、系统结构及相应功能，以及其它几方面因素的综合考虑。第三章着重探讨了实现软件无线电系统的几项关键技术，如宽带智能天线技术、A/D/A 转换技术、DSP 技术、系统总线标准、DDC 技术以及 DDS 技术等。第四章较系统地总结了国内外将软件无线电技术应用于军事、民用通信以及在两种具体的通信系统（如扩频通信与卫星通信系统）中的较新应用成果。该书最后一章还对软件无线电系统的软件化程度的衡量以及软件无线电技术发展的方向及应用前景作一总结。因此本书既可用于高等院校理工科无线电、通信与信息系统专业高年级本科生与研究生的教材，也可作为有关研究所通信工程技术人员的继续教育与参考用书。此外，由于本书各章节之间具有相对的独立性，读者可根据具体需要，灵活选用。

本书主编为空军雷达学院吴利民教授。并参与编写了第一、三、四章，第二炮兵指挥学院的薛峰，空军第二研究所的吴宁生参与编写了一、二、三、五章。全书由吴利民定稿。在本书的编写过程中，还承蒙武汉大学电子信息学院张肃文教授的悉心指点并担任主审。中国卫星发射测控系统部跟踪与通信研究所聂皋研究员，信息产业部第五十四所系统工程部吴葳研究员，空军第二

研究所陈正林工程师，以及天津大学光电子工程学院曾周末博士，对本书的编写均提出了指导性的意见。在此，一并表示衷心感谢。

由于软件无线电属一门高新技术，加之作者的水平有限，书中难免有错误之处，恳请专家、同行与读者指正，以便改进。

编 者

1999年5月

于中国人民解放军空军雷达学院，武汉

Preface

This book is an introduction to software radio technologies and their applications that have occurred in the field of radio communication in recent years. Software radio has been so far regarded as a completely new idea and system of radio communication and much more concerns as well as studies contributed, since it newly emerged in the early of 1990. Continuing advances and advantages in software radio system have resulted in the system that may be in more available, more flexible, much easier inter-communication, and eventually used for implementing the expected multi-band multi-mode multi-function radio communication (MBMMMFR). Of course, software radio is now viewed as the third technical revolution following from analogue to digital and fixed to mobile systems, in the domain of radio communication. Therefore, this book reflects the developments of the software radio technologies, which have initi-

ated an unprecedented growth in the use of radio systems for military and civil communications, including mobile communication, spread spectrum and satellite communication.

In consideration of study of software radio being only at the preliminary period and no specific books and teaching material on this aspect in our country, this book is compiled systematically and comprehensively by referring to the newest relative original references abroad and integrating our own theoretical research and practical results of software radio technologies in the past a few years.

Software Radio Technologies and Their Applications is a new book, because of its broad coverage of both software radio technologies themselves and their illustration of applications with a few examples from real systems for the first time. Especially, the available systems that use practical software radio architecture instead of idealized one are emphasized in this book. As a result, this volume meets the need for a comprehensive book on software radio.

The first chapter presents in textbook form a brief introductory of the development history of wireless communication, as well as the fundamental idea and superiorities of

software radio. It is followed by a thorough treatment of software radio architectures, including canonical and available ones, and their system functions and estimation of resources in Chapter 2. Chapter 3 is devoted to the key technologies for implementation of a software radio system, which includes the wide-band smart antenna, A/D/A conversion, high-speed DSP, VME bus architecture and DDC as well as DDS frequency synthesis technologies. The material presented in Chapter 4 provides considerable information on applications of software radio architecture and its technologies respectively to military and/or civil communication system. The last chapter gives a summary on the measurement of software extent of a software radio communication system and the developmental prospect of software radio in the years to come.

This book is intended to be both a textbook for senior-level students or graduates in electronic and/or telecommunication engineering and a reference or re-study material for the working engineers even versed in the current radio communication art in the relative institutes.

This book is compiled mainly by Professor Wu Limin, and examined and revised by Professor Zhang Suwen.

Chapters 1, 2, 3 and 4 were completed by Wu Limin with the collaboration of Xue Feng. Also chapters 1 to 5 were contributed by Xue Feng and Wu Ningsheng. In the whole stages of this project we received invaluable theoretical and technical assistance from Professor Zhang Suwen. Professor Zheng Linhua and Dr. Zeng Zhoumo provided us many worthwhile suggestions during the writing of this book. We are also indebted to the research fellows Nie Hao, Chen Zhenglin and Wu Wei for their helpful advice on various technical points. Finally, our special thanks go to all of them for their generous help.

Wu Limin

Xue Feng

Wu Ningshen

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 无线电通信发展简史	(1)
§ 1-2 软件无线电产生的背景及其优越性 与必然性	(3)
1-2-1 软件无线电产生的背景	(3)
1-2-2 软件无线电的基本思想及其优越性	(5)
1-2-3 软件无线电产生的必然性	(7)
§ 1-3 软件无线电的研究及应用简述	(8)
1-3-1 研究现状	(8)
1-3-2 应用前景	(9)
§ 1-4 结论	(10)
思考题与习题	(11)
参考文献	(11)
第二章 软件无线电结构及其功能概述	(12)
§ 2-1 软件无线电结构及其系统功能	(12)
2-1-1 无线电通信结构的演变	(13)
2-1-2 理想的软件无线电台结构	(14)
2-1-3 实际的软件无线电结构	(17)
2-1-4 软件无线电系统功能	(18)

§ 2-2 软件无线电系统信道流程模块划分	(20)
2-2-1 天线模块	(20)
2-2-2 RF 转换模块	(21)
2-2-3 A/D/A 转换模块	(22)
2-2-4 中频 (IF) 处理模块	(22)
2-2-5 基带处理模块	(23)
2-2-6 比特流模块	(24)
2-2-7 源模块	(25)
2-2-8 端至端的定时预算功能	(25)
§ 2-3 对软件无线电关键资源需求的估计	(26)
2-3-1 系统需求和容量的标准化测量	(26)
2-3-2 从标准数据流文本中估计相关模块的 资源需求	(27)
2-3-3 从软件无线电资源利用率精确预测其性能	(31)
§ 2-4 对软件无线电系统其它因素的 综合考虑	(36)
2-4-1 软件无线电系统开放结构的软件工具问题	(36)
2-4-2 软件无线电系统的经济因素分析	(38)
§ 2-5 结论	(40)
思考题与习题	(41)
参考文献	(43)

第三章 实现软件无线电系统的几项关键

技术	(44)
§ 3-1 宽带智能天线技术	(44)
3-1-1 宽带智能天线的基本概念	(45)

3-1-2 实现智能天线的几项重要技术	(53)
3-1-3 软件无线电系统对智能天线的支持与要求	(59)
3-1-4 智能天线在软件无线电系统应用中值得注 意的几个问题	(60)
§ 3-2 软件无线电系统中的 A/D 转换	(62)
3-2-1 常用 A/D 转换器的类型	(63)
3-2-2 A/D 转换器的性能指标分析	(66)
3-2-3 A/D 转换在软件无线电结构中的应用方案	(68)
§ 3-3 软件无线电系统中的 DSP 技术	(69)
3-3-1 软件无线电系统对 DSP 的特殊要求	(70)
3-3-2 实用软件无线电系统前端的信号处理	(70)
3-3-3 软件无线电系统中 DSP 的几种方案	(71)
§ 3-4 软件无线电系统中的总线标准	(75)
3-4-1 VME 总线标准的发展简史	(76)
3-4-2 VME 总线的特点	(76)
3-4-3 VME 总线的基本原理	(78)
3-4-4 适用于软件无线电结构的 VME 总线并行 处理机制分析	(80)
§ 3-5 软件无线电系统中的 DDC 技术	(82)
3-5-1 实用软件无线电结构中 DDC 原理分析	(83)
3-5-2 DDC Hsp50016 芯片原理及性能分析	(84)
§ 3-6 直接数字频率合成技术 (DDS)	(88)
3-6-1 DDS 基本工作原理	(89)
3-6-2 AD9850 工作原理及特性	(90)
§ 3-7 结论	(92)
思考题与习题	(93)

参考文献	(96)
------------	------

第四章 软件无线电技术的

应用	(98)
§ 4-1 软件无线电在军事通信中的应用	(98)
4-1-1 Speakeasy 系统的技术特性及方案	(100)
4-1-2 Speakeasy 系统的结构及其信号处理器	(104)
4-1-3 Speakeasy 系统波形处理的软件编程功能	(108)
4-1-4 Speakeasy 系统可编程信息安全功能	(113)
4-1-5 Speakeasy 系统现状及其展望	(113)
§ 4-2 软件无线电在民用通信中的应用	(115)
4-2-1 在蜂窝/PCS 基站中的运用	(116)
4-2-2 CAPITAL 监测方面的应用	(116)
4-2-3 在智能天线阵列中的应用	(122)
§ 4-3 软件无线电在扩频通信系统中 的应用	(130)
4-3-1 扩频通信的基本概念	(131)
4-3-2 扩频通信系统的基本组成	(132)
4-3-3 软件无线电技术在直接序列扩频通信 系统中的应用	(134)
4-3-4 具有实用软件无线电结构的扩频系统 的计算机仿真波形分析	(140)
4-3-5 软件无线电技术应用于扩频通信系统 中需解决的问题	(145)
§ 4-4 软件无线电在卫星通信系统中的 应用	(147)