

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

端到端重配置 无线网络技术

纪阳 张平 等编著

DUANDAODUAN CHONGPEIZHI

WUXIAN WANGLUO

JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

端到端重配置无线网络技术

纪阳 张平 等编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书专门介绍基于软件无线电技术的端到端可重配置网络。本书的主要内容包括软件无线电发展的历史及与端到端重配置网络的关系,端到端重配置的体系架构和重配置管理机制与流程,软件无线电技术在基带、射频部分的体系结构和关键组件,重配置技术在空中接口方面的改进,重配置技术对无线资源管理的影响等。

本书可供从事移动通信技术研究,特别是从事未来移动通信技术研究的工程技术人员阅读,也可作为高等院校从事相关研究的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

端到端重配置无线网络技术/纪阳等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1180-6

I. 端... II. 纪... III. 无线电通信-通信网 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 142010 号

书 名: 端到端重配置

编 著: 纪 阳 张 平等

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm × 960 mm 1/16

印 张: 13.5

字 数: 292 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1180-6/TN·417

定 价: 25.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

新一代信息通信技术书系

编委会

名誉主编：周炯槃

执行主编：乐光新

编委(专辑主编/副主编)：

吴伟陵 张平 刘元安 李道本

杨义先 顾畹仪 纪越峰 张杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)

总 序

21 世纪是经济全球化、全球信息化的崭新世纪。

信息化要靠信息系统的支持,通信则是信息系统的核心和桥梁。离开了通信来谈信息化是不可能的。今天,人们越来越倾向于以更为广义的信息通信的丰富内涵来替代相对狭义的通信的概念。

信息通信发展的目标是要实现无论何人在何时何地都能与另一用户(包括网站)进行用各种媒体表达的高质量的信息传输,实现各种信息服务。信息通信是一个巨系统,凡是人类活动之所及都能找到它的踪迹。信息通信同时又是一个整体,任何一种通信方式和通信技术都不可能孤立地存在、单独地发挥作用,各种通信方式和技术只有互相协同、配合和支撑才能构成一个完整的通信过程。当代信息通信系统还有一个特点是与计算机相互交融、相伴相随、密不可分。自 20 世纪以来,计算机与集成电子技术得到了飞速发展,与此相应,信息通信技术也呈现日新月异的发展态势。摩尔定律在信息通信领域同样显示出它的规律。

信息通信既是一个巨大的概念,又是一个巨大的系统,同时还是发展迅速、变幻莫测的领域。我们不敢奢望用一两本书的有限容量来展示它的全貌和魅力。显然,在世纪之初全面地回顾、盘点信息通信技术在近年的发展 and 现状,展望和评述它的趋势和变化,无疑是有意义的和必要的。基于此,北京邮电大学出版社聘请业界的著名专家、学者组成阵容强大的编委会,全面、深入、系统地分析并探讨当今信息通信最新技术的发展和未来发展的走向,条分缕析,精挑细选,决定策划出版一套反映信息通信技术最新发展及其热点的图书,并向信息通信领域的知名专家组稿。在经过周密而细致地论证、研讨,并得到方方面面的热情支持和鼎力相助之后,初步形成了现在由 4~5 个专辑组成的“新一代信息通信技术书系”。

由于覆盖面宽、内容庞大,该书系按技术基础和应用相近的原则划分为不

同的专辑,基本涵盖了当今信息通信技术发展的大部分前沿领域。每一专辑只介绍信息通信领域中的一种技术门类,包括原理综述,技术进展的评介和作者自己的工作成果。由于该书系的作者都是信息通信领域的知名学者和领军人物,他们撰写的内容无疑具有权威性和前瞻性,相信会得到广大读者的欢迎,并产生积极意义和影响。

在写作方式和篇幅上,书系不追求系统、严格和完善的理论分析,不追求大而无当的鸿篇巨制,而坚持立足于对相关技术的原理阐述、应用开发、趋势评介和引导等原则,尽可能做到深入浅出、规模适当,因此特别适合大多数信息通信和相关领域工程师及高等院校的教师学生以及从业人员阅读和参考。

本书系从一开始就得到许多领导和专家学者的热情支持和帮助,在此一并表示深切的感谢!

信息通信技术的发展变化极快,本书系虽尽可能顾及方方面面,但仍有一些内容没能被纳入,我们会不断地充实,在今后的一段时间内努力完善这一书系。另外,书系中的每一本书也会受种种条件的限制,在内容和行文中可能存在欠缺,对技术发展的评价也会因人而异,我们也并不追求一致。本书系虽经编委会、所有作者和编辑出版者的努力,但疏漏和错误在所难免,我们恳请读者的批评和建议,希望能把这一有意义的工作做得更好!

乐克新

于 2005 年新春

序

信息通信日新月异,无线技术前景无限。

为了尽快适应飞速发展的无线通信的需求,北京邮电大学出版社在2004年特别组织有关专家撰写了“新一代信息通信技术书系·无线通信专辑”,在这一专辑中为广大专业读者提供了近10本图书。在内容上,这些书大致可以分为两大类型:物理层技术与网络层技术。其中:

在物理层技术中,本专辑汇集了“移动通信中多媒体业务基础”、“无线通信中的先进DSP技术”等内容,同时还涉及以空域为主体的比较前沿的新技术“智能天线技术”、“无线通信中的多天线技术”。

在网络层技术中,则除了包含“移动通信中的资源管理”、“宽带移动互联网”等内容外,本专辑还包含更为前沿的新技术“无线网络中的信息安全”、“无线重构技术”和“异构网的业务综合”等。

以上内容将分别成书,陆续出版提供给广大的读者,同时,也殷切希望广大读者对本专辑的编写提出宝贵的意见,并提出新的需求,以便我们能进一步充实和改进,为读者提供更好的服务。

吴体刚

2005年3月于北京邮电大学信息学院

前 言

移动通信技术发展迅速,新的无线通信技术和标准层出不穷,通信产业正在经历一个新的发展变革期。从目前备受关注的 3G 技术到面向未来的 Beyond3G 技术,其发展思路可大致分为两大类:一是空中接口技术进一步高速化;二是异构无线网络技术的融合。

早在 20 世纪 90 年代初,软件无线电技术就被应用于多模式无线通信设备的设计。理想的软件无线电技术能够通过配置网络设备和终端实现任意模式的变化。因此在网络融合的时代,软件无线电技术备受关注。

随着研究的深入,人们发现,软件无线电技术不仅会影响未来的终端设计和制造,而且会对整个网络架构和端到端的通信过程产生深远的影响,因此,基于软件无线电技术的端到端重配置研究应运而生。相对于传统的技术融合思路,端到端的重配置技术具有更广泛的通用性和可扩展性。一方面,使用软件无线电设计的多模/可变模终端和网络设备具有灵活的软件下载和无线技术的重配置能力,用户能够根据异构环境的特征和业务需求选择合适的接入技术;另一方面,可重配置网络的管理体系提供了一套完善的软件下载、终端重配置、上下文信息所需的管理控制机制,更重要的是它为重配置技术的应用制定出一套标准框架。重配置技术的相关研究还包括异构网络的联合无线资源管理、动态频谱分配技术上,后者是基于感知无线电的频谱管理技术。

本书作者结合在软件无线电和重配置技术方向上的研究和开发经验,围绕重配置技术的历史、现状、关键技术等内容撰写了本书。全书共分 7 章。第 1 章引言部分回顾了软件无线电发展的历史和关键技术,在此基础上提出了端到端重配置的基本概念,同时对目前国内外重配置的研究现状和成果进行了简单的介绍。第 2、3 章分别叙述了端到端重配置的体系架构和重配置管理机制与流程,定义了和重配置相关的新模块、协议,并给出了重配置过程中网络监视和发现、网络协商和选择、安全诊断和软件下载等重要过程的具体流程。第 4 章描述了软件无线电技术在基带、射频部分的体系结构和关键组件。第 5 章介绍了重配置技术在空中接口方面的改进,重点阐述了可重配置协议栈的理念和实现方法。第 6、7 章主要讲述了重配置技术对无线资源管理的影响,第 6 章对灵活的频谱管理技术进行了介绍,第 7 章介绍了目前 JRRM(联合资源管理)在功能和算法方面的研究成

果。

本书内容丰富全面,作为国内对重配置技术的较早介绍性书籍,它将有助于我国无线通信领域的工程技术人员以及高等院校师生了解重配置技术的基本原理和关键技术,有助于了解融合网络领域新的发展方向和技术趋势。本书部分资料援引自 WWRF(无线世界研究论坛)的白皮书,WWRF 主席 Mikko Uusitalo 博士致信本书作者,对相关工作表示认可和赞赏。欧盟第六框架 E2R 项目负责人 Didier Bourse 博士与本书作者合作完成了本书的第 1 章。

鉴于时间仓促,作者水平有限,也鉴于目前重配置技术尚处于研究阶段,有许多技术问题有待研究和解决,因此书中难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评指正。

北京邮电大学无线新技术实验室的章魁、姜艳、潘森、杨光、李东瑞、张万强、梁立涛、赵臻真、张晓璐、张永靖、陈杰、余凯、曾宪等参与了本书的写作,在此表示感谢,同时感谢英国 Surrey 大学的 Rahim Tafazolli 教授和德国西门子公司的 Jessy Luo 博士对本书出版的鼓励与支持。最后,对长期支持我们研究工作的国内外同行表示衷心的感谢!

作者

2005 年 12 月

目 录

第1章 引言

1.1 软件无线电	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 软件无线电的起源	2
1.1.3 软件无线电的概念	3
1.1.4 软件无线电的发展现状和市场前景	3
1.1.5 软件无线电的关键技术	5
1.1.6 软件无线电的发展趋势——重配置	7
1.2 端到端重配置	7
1.2.1 概述	7
1.2.2 研究的动机及技术优势	9
1.2.3 国内外研究状况	10
1.2.4 面临的主要问题	11

第2章 端到端重配置体系结构

2.1 支持端到端重配置的系统结构	18
2.2 移动网络中的重配置系统功能	19
2.2.1 重配置支持功能	22
2.2.2 功能分布	23
2.2.3 重配置支持功能的细节	24
2.3 网络耦合与重配置支持	29
2.3.1 更紧耦合	29
2.3.2 紧耦合	30
2.3.3 松耦合(域内)	32
2.3.4 松耦合(域间)	32
2.4 重配置管理平面	35
2.4.1 平面管理功能	35
2.4.2 层管理功能	37
2.5 本地重配置管理器	38

目 录	2.5.1 设备管理架构的功能描述.....	38
	2.5.2 设备管理重配置模块/元件	39
	2.6 SDR 系统架构	46
	2.6.1 代理重配置管理.....	49
	2.6.2 SRM 和 HRM 的角色	50
第 3 章 重配置管理机制与流程		
3.1 终端重配置管理的内部机制与流程.....	51	
3.1.1 协议功能的扩展/协议内部参数的调整	51	
3.1.2 功能性描述及重配置机制的结构.....	51	
3.1.3 CMM 更新软件安装	55	
3.1.4 协议栈重配置的调度.....	55	
3.2 终端重配置管理的外部机制与流程.....	56	
3.2.1 监视和发现.....	56	
3.2.2 协商和选择.....	56	
3.2.3 安全诊断.....	57	
3.2.4 软件下载.....	59	
3.3 实体(模块/元件)和过程之间的交互关系	60	
3.3.1 程序和模块之间的交互关系.....	60	
3.3.2 重配置模块控制器和 CMM 之间关系的定义.....	66	
3.3.3 安全管理器和 CMM 之间关系的定义.....	69	
3.4 重配置管理的安全机制.....	69	
3.4.1 重配置的安全问题.....	69	
3.4.2 安全软件下载和执行.....	70	
3.4.3 重配置控制.....	71	
第 4 章 软件无线电		
4.1 软件无线电的 RF/IF 体系结构	72	
4.1.1 软件无线电的 RF/IF 参考模型和体系结构	72	
4.1.2 接收机体系结构.....	72	
4.1.3 发信机结构.....	77	
4.1.4 模拟/数字接口	79	
4.1.5 关键组件.....	79	
4.1.6 SDR 设计选择	80	
4.1.7 未来的方向.....	83	
4.2 SDR 基带	87	

4.2.1	SDR 基带参考模型和架构	87
4.2.2	算法	88
4.2.3	可重配置基带的软件结构	88
4.2.4	可重配置基带的硬件结构	89
4.2.5	关键组件	100
4.2.6	未来方向/研究目标	102
4.3	软件无线电	102
4.3.1	概述	102
4.3.2	端到端设备中的硬件抽象	103
4.3.3	重配置架构的设计探索和综合挑战	107
4.3.4	4G/B3G 校验工具	110
第 5 章 灵活的空中接口		
5.1	基于通用协议栈的协议可重配置能力	118
5.1.1	通用协议栈的理念	118
5.1.2	通用协议栈的开发	119
5.1.3	协议栈通用功能和特殊功能的分解	120
5.2	基于技术融合的多模参考模型	121
5.2.1	一种多模协议的参考结构	121
5.2.2	用通用功能和特殊功能构造协议层	123
5.2.3	模式转换与模式共存	124
5.3	第 N 层模式汇聚管理模块的功能	124
5.3.1	协议汇聚	124
5.3.2	协议层的构造和重配置	125
5.3.3	数据保留和上下文传输	125
5.4	协议栈模式汇聚管理的功能	125
5.4.1	联合无线资源管理	125
5.4.2	模式间的调度	126
5.4.3	自组织	126
5.5	通用重配置链路层	126
5.6	通用的协议功能模块	128
5.6.1	模块化的方法	128
5.6.2	数据链路层的通用协议功能	129
5.6.3	功能模块的参数化	129
5.7	自适应数据传输的多天线方式	130

第 6 章 频谱管理	
6.1 重配置环境中的频谱管理概述	134
6.2 频谱管理技术的发展历程	135
6.2.1 频谱管理的技术需求	135
6.2.2 目前的频谱管理研究	135
6.2.3 频谱管理的远景	138
6.3 执行的进展情况	140
6.4 频谱管理规范	142
6.4.1 通用规范	142
6.4.2 现有的规范环境	142
6.5 标准、技术规范、ITU 有关频谱管理的建议	145
6.6 灵活的频谱分配	145
6.6.1 灵活的频谱管理与频谱共享	145
6.6.2 关键机制	153
第 7 章 联合无线资源管理	
7.1 重配置下的联合无线资源管理	157
7.2 JRRM 的灵活性	158
7.3 JRRM 算法的输入	160
7.3.1 从网络侧观察获得 JRRM 算法的输入	160
7.3.2 从用户请求或从注册信息基站获得 JRRM 算法的输入	160
7.4 JRRM 的功能概述	161
7.4.1 简介	161
7.4.2 不同子网间的互通	161
7.4.3 不同无线资源管理层面之间的互通	162
7.4.4 自适应无线多重引导概念	164
7.4.5 异构网络下的数据分离	165
7.4.6 实现 JRRM 的准则	167
7.5 研究课题	167
7.6 JRRM 算法举例	168
7.6.1 理论模型	168
7.6.2 算法描述	171
7.7 分级无线资源管理	180
7.7.1 所提方案的部分细节	181
7.7.2 资源获取流程	182

7.7.3 环境的改变	183
7.7.4 未来研究	185
缩略语	186
参考文献	194

1.1 软件无线电

1.1.1 概述

通信技术的发展,在经历了有线到无线,模拟向数字的两次革命浪潮之后,目前已经进入了一个新的创新期。从目前移动通信市场的发展状况和技术演进的趋势来看,移动通信环境中多种异构的移动通信技术并存将是一个显著的特点。这主要是由开放的移动通信市场环境和快速的技术研发过程等因素决定的。移动通信技术的发展由产业界、标准界和学术界共同推动,各国对移动通信标准领域主导权的争夺也异常激烈。这种局面导致各阶段的移动通信技术都没有一个全球统一的标准。比如 3G 的主流标准就有北美主导的 cdma2000、欧洲的 WCDMA 和中国自主研发的 TD-SCDMA。移动通信技术之间有着鲜明的地域特点。异构移动通信技术并存的现象,应该说在某种程度上促进了移动通信的发展,由此带来了技术的研发周期缩短、商用化过程加快等好处,并在一定程度上满足了广大用户不断提高的业务数量和质量的要求。但是其弊端也很明显。首先,这种局面造成了一定程度的资源浪费,因为研发周期短意味着研发机构需要投入更多的人力物力。其次,异构技术间的兼容性较差,为了满足用户全球漫游的要求并充分利用网络资源,提高投资回报,异构技术间的互通和融合需求日渐强烈。而由于制式众多,这种融合需要考虑各种复杂的组合和应用场景,代价巨大。最后,异构技术间造成的系统间干扰成为影响系统容量和资源利用率的根源。

基于移动通信领域的发展情况,20 世纪 90 年代提出了一种新的无线通信理念——软件无线电。软件无线电技术的核心思想是以硬件体系作为整个通信系统的平台,而把尽可能多的无线及个人通信功能用软件方式实现。软件实现的通信功能采用模块化的设计思路,通过各种可转换、可替代、可定制、可重用的组件化模块的使用,完成终端的可重配置能力。

软件无线电是一种实现无线通信的新思路,可以说软件无线电的兴起是继 20 世纪 70 年代到 80 年代中从模拟到数字、80 年代中到 90 年代中从固定到移动通信之后的第三

次通信技术革命,是一次从硬件无线通信到软件无线通信的革命。

1.1.2 软件无线电的起源

软件无线电的研究最初也是始于军事方面的应用。美国军方在 20 世纪 80 年代就开展了研制软件无线电电台的工作,其目标是研制一种可以工作于较宽的无线频带(包括 HF, VHF, UHF, SHF)、可以接收多种信道调制方式(包括语音的 AM, FM, 各种数据通信连接格式,以及其他安全措施调频、直接扩频等技术)的具有很强“可互操作性”的无线电台。1990 年 8 月,美国国防部与 Hazeltine 公司开始研制 Speakeasy 19-10,这是该软件无线电系统的第一阶段工作。1994 年 8 月,Speakeasy I 型样机研制成功并进行了技术演示,主要功能包括:分别与 4 种不同的电台通信;同时和两种不同的电台通信;作为网桥网关,连接两个不同的、相互独立的、具有不同信号特点的无线网络,使信号能在两个网络间透明地传输,演示过程包括语音和数据的传输。1995 年美军启动了 Speakeasy 二期工程,目标是完成一个更为实用的系统,能兼容美军 7 种电台,能够同时与其中任意 4 种电台通信。系统的目标是实现一个波形可编程、多波段、多模式电台。Speakeasy 多频段多模式电台(MBMMR, Multi-Band Multi-Mode Radio)较完整地体现了软件无线电的设计思想。同时,Speakeasy 的成功表明软件无线电在技术上是完全可行的,并昭示了未来无线通信的发展趋势。

1992 年 5 月,在美国电信系统会议上,MITRE 公司的 Joe Mitola 首次明确提出了软件无线电的概念。1995 年 5 月,IEEE《通信杂志》出版了软件无线电的专刊,这其中也包括了 Mitola 阐述软件无线电思想的里程碑文章。这份专刊进一步阐述了软件无线电的体系结构,包括与数字式无线电的区别,以及软件无线电的功能性结构、性能分析、硬件结构和软件开发工具,并预测了软件无线电的开发成本和未来发展方向;综述了有关取样、A/D 变换及其动态范围理论和实际应用;综述了 DSP 的结构特点,以及软件无线电所用的多处理器结构中处理器间进行通信的基本原理,并给出了可以用于软件无线电的现有的 DSP 芯片清单,由此,为软件无线电的关键技术研究,包括射频前端技术、宽带 A/D/A 技术、高速 DSP 技术等提供了理论基础。

1996 年,美国政府为了推广 Speakeasy 的研究成果,并推动开放的软件无线电标准架构的研究,成立了软件无线电论坛(最初的名字是 MMITS 论坛, Modular Multifunction Information Transfer Systems forum)。SDR 论坛是研究无线电研究领域的第一个,也是影响深远的国际性论坛。该论坛的成员由超过 100 家的软件无线电的制造商、电信设备和终端制造商、芯片制造商、电信运营商以及各类科研机构组成。论坛下设 3 个委员会,分别是终端委员会、基站/智能天线委员会和移动委员会。3 个委员会针对软件无线电的几个关键应用问题分别进行研究;终端委员会的研究目标是在满足手持终端对设备尺寸、重量及功耗要求的前提下,实现终端的软件无线电应用;基站委员会试图将软件无线电技术和可重配置的自适应技术应用到无线基站中,以满足陆地、卫星、移动和固定等

各种网络类型的业务需求;而移动委员会旨在促进软件无线电技术在商业和军事领域的应用。虽然 SDR 论坛不是类似于 ETSI 或 TTA 的标准化组织,但是它极大地推动了软件无线电的研究和成果推广,并为软件无线电技术的标准化工作提供了重要的基础成果。

1.1.3 软件无线电的概念

传统的无线通信都是在硬件基础上实现的,只有有限的功能由软件加以控制。这种模式可以称之为硬件无线电。而软件无线电的核心思想是在既有的硬件平台上,用软件实现尽量多的无线信号处理功能,通过软件易于更新、可灵活配置的优点,提供一种通用的无线通信过程,从而加快制式更新的速度并节省运营商的投入。更具体一点说,软件无线电的定义应该是:无线电调制信道信号完全通过软件的方式进行定义,即信道信号是采样量化的数字信号,经宽带数模转换(D/A, Digital Analog Conversion),从中频上变频到射频(RF, Radio Frequency)后由天线输出。同样,接收部分通过宽带模数转换(A/D, Analog Digital Conversion)捕获软件无线电节点所有信道信号。接收机再基于通用的处理器软件析取、下变频、解调信道信号。软件无线电技术综合了多波段天线和射频变换技术,宽带模数转换、数模转换技术,及在通用可编程处理器件上实现中频和基带比特流处理技术。软件无线电即是将模块化、标准化的硬件单元以总线方式连接构成基本平台,并通过软件加载实现各种无线电通信功能的一种开放式体系结构。

软件无线电的关键思想是:ADC、DAC 尽可能地靠近天线;用软件来实现尽可能多的无线电功能。这种软件实现的无线电功能在移动通信领域有着诱人的发展前景。在未来异构化的无线通信环境中,新技术新制式的部署是网络运营商的主要投入。而使用软件无线电技术之后,运营商可以无需变更设备硬件,而只需在原有硬件基础上,通过软件的更新和升级的方式达到新制式部署的目的。这种软件的更新和下载将可以通过无线的空中接口来完成,这给无线网络的运营维护带来了巨大的灵活性,既节省了建网和人员维护的费用,又缩短了网络部署的周期。

软件无线电的主要特点可以归纳如下:

(1)灵活性。软件无线电可以通过增加软件模块,很容易增加新的功能;可以和其他任何电台进行通信,并可以作为其他电台的射频中继;可以通过无线加载来改变软件模块或更新软件。

(2)开放性。软件无线电采用了标准化、模块化的结构,其硬件可以随着器件和技术的发展而发展,软件也可以随需要而不断升级。软件无线电不仅能和新的体制电台通信,还能与旧的体制电台兼容。

1.1.4 软件无线电的发展现状和市场前景

软件无线电技术在 20 世纪 90 年代实现了长足的发展。欧洲的 ATCS (先进的通信技术和业务)计划中,有 3 项是将软件无线电技术应用在第三代移动通信(3G, 3rd Gener-