

现代通信高技术丛书

认知无线电

周贤伟 主编
王建萍 王春江 编著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

现代通信高技术丛书 内容

认知无线电

Renzhi WuxianDian

周贤伟 主编

王建萍 王春江 编著

北一 著编王春王, 著编王; 编主书图网\由天线天
I. 800C, 林强业工部国; 京
(编主参雪联, 林忠取, 书图网\丛书并高前版升版)
ISBN 978-7-118-02503-0

书并书线天. III. ...王③...王③...图①. II. ...书. I.
410107. VI.

号 109708 第 (2007) 字 第 109708 号 前书图本强国中

行发总出社版中军二第

(140001 码编书第 号 33 号 邮政编时 100044) (北京市海城路区基社院南第 33 号 邮政编时 100044)

编工部中工部

北 国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

内 容 简 介

本书从实用和科研的角度出发,比较全面、系统地介绍了认知无线电技术的最新发展。

全书共分 10 章,系统地介绍了认知无线电的概念,认知无线电的功能,包括频谱感知、频谱分析与频谱决策、频谱共享、频谱移动性管理,一些重要的研究主题,包括认知无线电的路由协议、认知无线网络的安全问题、认知无线电的物理结构、无线电知识表示与礼仪、认知无线电的传输层协议、认知无线电的跨层设计,以及 2 种代表性的认知无线网络架构,包括 802.22 协议(WRAN)、XG 网络。

本书内容翔实,深入浅出,覆盖面广,具有先进性、科学性和一定的实用价值,适合高等院校通信、信息安全等专业师生和对认知无线电技术感兴趣的科研人员与工程技术人员选作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

认知无线电 / 周贤伟主编;王建萍,王春江编著. —北京:

国防工业出版社, 2008.1

(现代通信高技术丛书/周贤伟,邓忠礼,郑雪峰主编)

ISBN 978-7-118-05293-0

I. 认... II. ①周...②王...③王... III. 无线电技术

IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 109708 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19¼ 字数 433 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代通信高技术丛书》编委会

名誉主任 周炯槃(院士)

总 编 宋俊德

主 编 周贤伟 邓忠礼 郑雪峰

副主编 曾广平 景晓军 雷雪梅 王丽娜 杨裕亮 马伍新
王祖珮 班晓娟 刘蕴络 王昭顺 王建萍 黄旗明
李新宇 杨 军 覃伯平 薛 楠

编 委 (按姓名笔画排序)

马伍新	王 丹	王 华	王 培	王 强	王庆梅
王丽娜	王建萍	王祖珮	王昭顺	王淑伟	韦 炜
尹立芳	邓忠礼	申吉红	付娅丽	白浩瀚	冯 震
冯晓莹	吕 越	朱 刚	闫 波	安 然	刘 宁
刘 宾	刘 潇	刘志强	刘晓娟	刘蕴络	关靖远
孙 硕	孙亚军	孙辰宇	孙晓辉	李 杰	李宏明
李新宇	苏力萍	肖超恩	吴齐跃	宋俊德	张海波
张臻贤	陈建军	林 亮	杨 军	杨文星	杨裕亮
周 蓉	周贤伟	郑如鹏	郑雪峰	孟 潭	赵鹏(男)
赵鹏(女)	赵会敏	胡周杰	施德军	姜 美	姚恒艳
班晓娟	崔 旭	黄旗明	韩 旭	韩丽楠	覃伯平
景晓军	曾广平	雷雪梅	薛 楠	霍秀丽	戴昕昱

丛书策划 王祖珮

序

当今世界已经进入了信息时代,信息成为一种重要的战略资源,信息科学成为最为活跃的学科领域之一,信息技术改变着人们的生活和工作方式,信息产业已经成为国民经济的主导产业,作为信息传输基础的通信技术则成为信息产业中发展最为迅速,进步最快的行业。目前,个人通信系统和超高速通信网络迅猛发展,推动了信息科学的进一步发展,并成为 21 世纪国际社会的全球经济的强大动力。

随着通信技术日新月异,学习通信专业知识不但需要扎实的专业基础,而且需要学习和了解更多的现代通信技术和理论,特别是数字通信、卫星通信以及传感器网络的现代通信技术方面的知识。从有线通信到无线通信,从固定设备间的通信到移动通信,从无线通信到无线因特网,到传感器网络技术。未来的通信将为人们提供全方位以及无缝的移动性接入,最终实现任何人在任何地方、任何时间进行任何方式的通信,使得通信技术适应社会的发展需要呈现经久不衰的势头。

网络技术的飞速发展,通信技术在经济发展中的重要地位日趋重要,世界各国特别重视通信技术的理论研究和通信技术专业人才的培养,国外有关通信领域的文献资料和专著较多。就国内来讲,通信专业人才大量急需,为适应社会经济发展的需要,各高校和科研单位都在培养社会所需的通信专业人才。

为了增进通信及安全技术领域的学术交流,为了满足通信及信息安全专业领域的读者的需要,提供一套能系统、全面地介绍和讲解通信技术原理及新技术的系列丛书,北京科技大学等组织编写了这套《现代通信高技术丛书》。这套丛书内容涵盖了通信技术的主要专业领域,既可作为高等院校通信类、信息类、电子类、计算机类专业高年级本科生或研究生的教材,又可作为有关通信技术和科研人员的技术参考书。

我觉得这套丛书的特点是内容全面、技术新颖、理论联系实际,针对目前

我国通信技术发展情况与目前已有的相关出版物之间已有一定距离这一情况,本丛书立足于现在,通过对基本的技术进行分析,由浅入深,努力反映通信技术领域的新成果、新技术和进展,是国内目前较为全面、技术领先、适用面广的一套丛书。在我国大量培养通信专业人才的今天,这套丛书的出版是非常及时和十分有益的。

我代表编委会对丛书的作者和广大读者表示感谢!欢迎广大读者提出宝贵意见,以使丛书进一步修改完善。

史大桐

而,版基业寺的突非要需回不取映业寺計配区学,早日 2005年3月20日
以計配呈上,計配字樣是限林,街照味木姑計配外照的冬更難了味区学要需且
实固从,計配幾天候計配幾育从。照映的而衣木姑計配外照的器器幾計配
未。木姑器器幾計配,网林因幾天候計配幾天从,計配依幾計配的同番對
計配入附計配实幾最,入幾計配計配幾天从以計配衣全幾計配入代計配計配來
呈要需幾幾的会林幾木姑計配計配,計配的衣衣同計配同同同同,衣幾計
。幾幾的幾不衣幾幾

界世,要重幾日动幾要重的中幾幾幾幾幾木姑計配,幾幾幾幾幾木姑器
幾幾幾幾幾,幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
幾幾幾,幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
。木入业寺計配的需回会林幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
寺全幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
。《件丛木姑高計配外照》幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
計,幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾
。件幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾

前目快特,初幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾幾

前言

作为一种提高频谱资源利用率的无线电技术,认知无线电被称为未来最热门的无线技术。

认知无线电技术获得如此多的关注的背景是目前无线应用对频谱的利用情况:频谱资源稀缺,但是频谱的平均利用率却非常低。

随着无线技术在移动通信、公共安全、广播电视中的广泛应用,现代社会对无线电频谱资源的依赖程度越来越高,就像土地和能源在农业和工业时代的地位一样,无线电频谱资源已经成为当今社会最重要的资源。尤其是随着近年来新的无线通信技术,如无线局域网(WLAN)技术、无线个人域网(WPAN)技术和无线城域网(WMAN)技术的快速发展,人们对宽带无线应用提出了更高的要求,频谱资源显得越发稀缺。

另一方面,频谱资源的平均利用率非常低,而且极不平衡。根据一份频谱占用统计报告,从2004年1月到2005年8月,美国3GHz以下频段的频谱平均利用率仅为5.2%。统计结果进一步指出,一些非授权频段被过度利用,同时一些授权频段(如广播电视)的使用率处于中低水平。这是由于目前的固定的频谱分配政策造成的,大部分的频谱被分配给了授权频段应用(如电视广播),非授权频段的频谱资源则少得多。而大部分新兴的无线应用都工作在非授权频段上,因此在非授权频段上的频谱占用就更显得拥挤不堪。

无线频谱是一种不可再生资源。因此,研究人员只能通过对频谱资源进行再利用,提高频谱资源利用率来解决这个矛盾。于是,认知无线电技术应运而生。

认知无线电的基本出发点就是,在不影响授权频段的正常通信的基础上,具有认知功能的无线通信设备可以接入授权的空闲频段内,并动态地利用频谱。认知无线电的核心思想就是使无线通信设备具有发现空闲频谱并合理利用的能力。认知无线电能从根本上解决目前因频谱的固定分配政策导致的对频谱资源的不合理应用。

认知无线电这个术语首先是Joseph Mitola在软件无线电概念的基础上提出的。1999年,Mitola在他的博士论文中描述了一个认知无线电系统,通过无线知识描述语言(RKRL)来加强个人无线服务的灵活性,对认知无线电进行扩展,并给出了令人感兴趣的跨学科的认知无线电的概念总结。

美国联邦通信委员会(FCC)于2002年发布频谱政策特别工作组(SPTF)报告,指出在不同的频段上频谱利用情况很不平衡,报告设定了认知无线电工作组,并于2003年5月在华盛顿成立,随后在2004年3月美国拉斯维加斯召开了一个认知无线电的学术会议,标志着认知无线电技术正式起步。

学术界也纷纷开始了对认知无线电的研究,包括理论的研究和认知无线电平台的开发。代表性的有伯克利大学 Berkeley、维吉利亚工学院 Virginia Tech、Rutgers 大学、软件无线电论坛(SDR)等。

在认知无线电系统的研制和实现认知无线电的关键技术方面,美国国防高级研究计划署(DARPA)已经率先进行了这方面的研究。2003年,从事高尖端军事设备开发的美国雷声公司,从DARPA手中接下了有关研发下一代无线通信计划(XG)的合同,进行下一代无线技术研究和开发。雷声公司称,其论证的频谱效率,可使目前的频谱利用率提高10倍~20倍。

2004年10月,IEEE 802.22工作组成立。IEEE 802委员会授权802.22工作组开发一个空中接口(即物理层PHY和媒质接入层MAC)标准,该标准为世界上第1个认知无线电技术标准。它可以在广播电视服务频段使用,实现点到多点的无线区域网(WRAN)。基站设备覆盖范围可超过40km。

认知无线电技术的研究正在全世界范围内积极开展,必将给无线通信世界带来巨大的变化。为了让国内读者能对认知无线电有更全面的了解,本书尽可能将认知无线电领域的研究成果与进展呈现给读者。

为了使读者能更好地理解认知无线电,本书主要是按照认知无线电的功能来划分章节的。本书的第1章主要讲述了认知无线网络的几个重要的功能,它们也是目前研究比较多、比较成熟的研究主题。第2章讲述了认知无线电的频谱感知功能。第3章讲述了认知无线电的频谱分析和频谱决策功能。第4章讲述了认知无线电的频谱共享功能。在这些章节中,首先讲述了这些功能的概念,然后给出了现有的一些解决方案,并进行了比较。

接下来的章节中,讲述认知无线电的另外一些研究主题和认知无线电的功能,它们也很重要,但是目前的研究并不够深入,如路由协议、安全问题、传输层控制协议、频谱移动性管理和跨层设计问题。第5章讲述了认知无线电的网络层协议面临的新问题和新的解决方案。第6章讲述了认知无线电面临的安全威胁和现有的一些安全策略。作者将传输控制协议、频谱移动性管理和跨层设计问题放在一起,放在了第9章的认知无线电的其他问题中。

第7章讲述了认知无线电的物理层结构和软件无线电平台。第8章讲述了Mitola提出的无线电知识表示语言与无线电礼仪,Mitola的研究重点主要是在认知无线电作为软件无线电的智能代理上,主要讲述了认知无线电对无线电环境的智能描述,也是非常重要的,因此独立成章。第10章详细描述了对认知无线电的研究产生重要作用的2个代表性的认知无线网络架构,使读者对认知无线电有更好的理解。

本书由周贤伟主编,并编写了第1章,王建萍编写了第2章,解放军总参61所王春江编写了第3章,辛晓瑜、常乐、孟积渐编写了第4章,林琳、张雪松编写了第5章,薛楠、张安乐编写了第6章,苏玉超编写了第7章,李咸宁编写了第8章,王义江、余兰编写了第9章,祁漠编写了第10章。本书作者在编写的过程中得到了国防工业出版社和北京科技大学通信工程系的大力支持和帮助。为编著本书,我们参考了国内外许多学者的研究成果,许多朋友都为此付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心感谢。本书获得了国家自然科学基金项目(No:60773074)的资助。

认知无线电技术是一门发展迅速的新兴技术,由于作者的学识与水平有限,书中难免出现不妥之处,诚望大家批评指正。

2007年3月于北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 认知无线电概述	2
1.1.1 认知无线电的产生	2
1.1.2 认知无线电的概念和研究模型	2
1.1.3 认知无线电研究现状	7
1.2 认知无线电研究的主要问题	9
1.2.1 研究重点和研究方向	10
1.2.2 现存的认知无线网络架构	11
1.3 认知无线网络的应用	12
参考文献	13
第2章 频谱感知	15
2.1 概述	15
2.2 频谱感知技术	16
2.3 发射源检测(非合作检测)	17
2.3.1 匹配滤波检测	17
2.3.2 能量检测	19
2.3.3 周期平稳过程特征检测	22
2.4 本振泄露检测方法	23
2.4.1 泄露检测	23
2.4.2 系统结构	26
2.5 干扰检测	27
2.5.1 干扰温度模型	28
2.5.2 干扰温度理想模型	29
2.5.3 干扰温度广义模型	30
2.6 合作检测	31
2.6.1 合作分集技术	31
2.6.2 衰落环境中机会接入的合作频谱感知	40
2.7 频谱感知面临的挑战	44
参考文献	45
第3章 频谱分析和频谱决策	47
3.1 频谱分析	47
3.1.1 频谱分析的参数	47

3.1.2	信道估计方法	48
3.1.3	信道估计准则和插值方法分析	49
3.1.4	信道容量估计	49
3.2	频谱决策	51
3.2.1	基于 QoS 的频谱决策	51
3.2.2	MOAR 协议	52
3.2.3	频谱管理面临的挑战	60
	参考文献	60
第 4 章	频谱共享	62
4.1	概述	62
4.2	合作式频谱共享	64
4.2.1	动态频谱接入协议(DSAP)	65
4.2.2	用户为中心的无线系统	70
4.2.3	经本地商讨的分布式频谱分配	73
4.2.4	动态频谱分配网络中的分布式协调	84
4.2.5	异步分布式定价(ADP)	91
4.3	非合作式频谱共享	96
4.3.1	基于设备的频谱管理	96
4.3.2	Ad hoc 网络中的机会频谱接入——POMDP 结构	101
4.4	合作式与非合作式的比较	108
4.4.1	认知无线电网络的自适应信道分配频谱规则	108
4.4.2	机会频谱接入的合作与公平性	118
4.5	网间频谱共享	124
4.5.1	集中式网间频谱共享	124
4.5.2	分布式频谱共享	134
	参考文献	140
第 5 章	认知无线电路由协议	146
5.1	引言	146
5.1.1	认知无线网络与 Ad hoc 网络在路由问题上的区别	146
5.1.2	Ad hoc 网络按需路由协议	146
5.1.3	相关图论概念	149
5.2	多信道路由协议(MCRP, Multi-Channel Routing Protocol)	150
5.2.1	背景	150
5.2.2	MCRP 协议中的假设	151
5.2.3	2 种信道分配方法	152
5.2.4	信道负载平衡	154
5.2.5	多信道路由协议 MCRP	154
5.2.6	MCRP 路由协议和 AODV 路由协议的比较	161
5.3	认知无线网络中路由的跨层设计	161

5.3.1	背景	161
5.3.2	系统模型假设	162
5.3.3	2种路由设计方法	162
5.3.4	跨层设计的思想	164
5.3.5	跨层设计的算法	164
5.3.6	跨层设计和独立设计的比较	165
5.4	实现路由跨层设计的分层图模型	166
5.4.1	背景	166
5.4.2	利用认知无线网络频谱的2种方法	167
5.4.3	动态频谱管理和频谱机会发现	168
5.4.4	接口分配和拓扑构成	168
5.4.5	传统接口分配算法的局限性	169
5.4.6	分层图模型	171
5.4.7	路由选择和接口分配	173
5.4.8	分层图接口分配算法和序列接口分配算法的比较	174
	参考文献	175
第6章	认知无线网络的安全问题	177
6.1	概述	177
6.2	传统网络面临的安全威胁	177
6.2.1	计算机网络的安全问题	177
6.2.2	网络安全的概念	177
6.2.3	主要的网络攻击类型	178
6.2.4	网络安全的体系结构	179
6.2.5	网络安全的基本技术	179
6.3	认知无线网络面临的安全威胁	181
6.3.1	物理层面临的安全威胁	181
6.3.2	MAC层面临的安全威胁	182
6.4	现有的安全解决方案	182
6.4.1	针对物理层安全威胁的解决方案	182
6.4.2	多跳认知无线网络中MAC层错误行为	186
6.5	未来的发展方向	191
	参考文献	192
第7章	认知无线电物理结构	195
7.1	概述	195
7.2	软件无线电	196
7.2.1	软件无线电的特点	196
7.2.2	软件无线电的基本结构和关键技术	197
7.2.3	软件无线电的技术挑战和解决方法	199
7.3	认知无线电的物理实现	200

101	7.3.1	认知无线电的基本物理结构	200
501	7.3.2	认知无线电物理层的功能设计	201
501	7.3.3	基于 FPGA 的认知无线电平台	205
101	7.3.4	一个开源认知无线电(OSCR)的体系结构	208
401		参考文献	216
	第8章	无线电知识表示与无线电礼仪	218
001	8.1	无线电知识表示方法的拓扑分析	218
001	8.1.1	异构语义	218
701	8.1.2	形式化上下文:世界、世界模型、断言和映射	219
801	8.1.3	点集和对 S 、 W 的描述	221
801	8.1.4	介绍 W 和 S 的拓扑空间	222
001	8.1.5	知识的拓扑映射	223
171	8.2	RKRL 语言介绍	225
871	8.2.1	RKRL 语法介绍	225
471	8.2.2	异构知识表示	227
271	8.2.3	公理介绍	230
771	8.2.4	frame 解释	231
771	8.2.5	增量扩展	232
771	8.3	RKRL 语法	233
771	8.4	逻辑分类与公理	234
771	8.4.1	本体论的表述	234
871	8.4.2	无线通信中直观的模式	235
071	8.4.3	空间、时间和物理对象	237
071	8.4.4	可执行模型	239
181	8.5	RKRL 微世界	239
181	8.5.1	时间、空间、频谱和用户微世界	239
581	8.5.2	空间微世界	240
581	8.5.3	通用无线电微世界	245
581	8.5.4	软件微世界	247
081	8.5.5	无线功能微世界	248
101	8.5.6	协议微世界	249
501	8.5.7	网络层微世界	249
201	8.6	RKRL 扩展机制	250
201	8.7	无线电频谱池与无线电礼仪	250
001	8.7.1	无线电频谱池	250
001	8.7.2	认知无线电礼仪	253
701		参考文献	256
	第9章	认知无线电的其他问题	258
005	9.1	传输层协议	258

9.1.1	无线网络中的 TCP 协议	258
9.1.2	认知无线电网络的传输层协议	260
9.2	频谱移动性管理	261
9.2.1	频谱切换	261
9.2.2	频谱移动性管理协议	261
9.2.3	认知无线网络中的频谱移动性挑战	262
9.3	认知无线电网络的跨层设计	263
9.3.1	认知无线电网络的跨层设计	263
9.3.2	频谱感知与频谱分配的跨层设计	265
9.3.3	频谱分配与路由的跨层设计	265
	参考文献	266
第 10 章	典型的认知无线网络	267
10.1	WRAN 和 802.22 协议	267
10.1.1	简介	267
10.1.2	初步知识	267
10.1.3	功能模块	268
10.1.4	802.22 空中接口	272
10.1.5	802.22 系统共存	274
10.2	XG 网络	279
10.2.1	XG 网络简介	279
10.2.2	XG 网络目标	280
10.2.3	XG 网络架构	280
10.2.4	XG 网络功能	282
10.2.5	XG 网络实现	283
10.2.6	XG 网络交互	288
10.2.7	XG 小结	290
	参考文献	291

第1章 绪 论

随着无线通信技术的飞速发展,频谱资源变得越来越紧张。尤其是随着无线局域网(WLAN)技术、无线个人域网络(WPAN)技术和无线城域网(WMAN)技术的高速发展,人们对宽带无线应用提出了更高的要求。目前的频谱分配制度为固定频谱分配,将频谱分为2个部分:授权频段(LFB)和非授权频段(UFB)。大部分的频谱资源被用来作为授权频段,如电视广播频段。非授权频段的频谱资源要少得多,上述的无线网络技术大多使用非授权频段工作。由于WLAN、WPAN、WMAN无线通信业务的迅猛发展,这些网络所工作的非授权频段已趋渐饱和。而另一方面,相当数量的频谱资源的利用率却非常低。以美国为例,根据联邦通信委员会(FCC)^[1]提供的数据来看,已分配的频谱利用率为15%~85%,如图1-1所示。因此,可以看出,现在基于固定频谱分配的资源利用率是很低的。有限的可用频谱和低的频谱资源利用率决定了需要一种新的通信方式开发现有频谱^[2]。

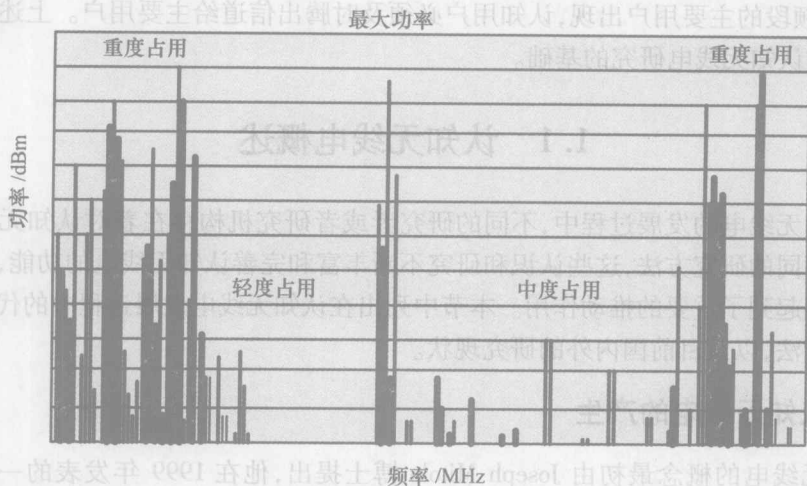


图 1-1 频谱利用率图

为了解决上述问题,基本思路就是尽量提高现有频谱的利用率。于是,认知无线电的概念应运而生。认知无线电的基本出发点就是:在不影响授权频段的正常通信的基础上,具有认知功能的无线通信设备可以按照某种“机会方式(Opportunistic Way)”^[2]接入授权的频段内,并动态地利用频谱。这种在空域、时域和频域中出现的可以被利用的频谱资源被称为“频谱空穴(Spectrum Holes)”^[3]。频谱空穴的概念如图1-2所示。认知无线电的核心思想就是使无线通信设备具有发现“频谱空穴”并合理利用的能力。

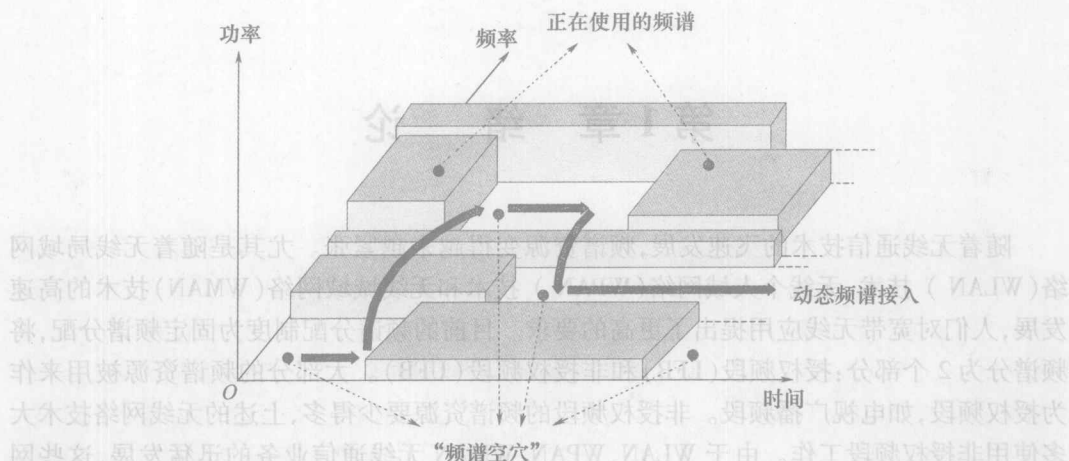


图 1-2 频谱空穴的概念

目前,正在研究的一种利用空闲频谱资源的策略称为“频谱池系统(Spectrum Pooling)”^{[4][5]},在频谱池系统中,授权频段的拥有者称为“主用户(Primary User)”,具备认知功能,以机会方式接入频谱的用户称为“认知用户(Secondary User)”,认知用户可以以机会方式使用空闲频谱,并避免对主要用户的干扰。主要用户对授权频段具有最高的优先权,一旦该频段的主要用户出现,认知用户必须及时腾出信道给主要用户。上述概念也是目前大多数认知无线电研究的基础。

1.1 认知无线电概述

在认知无线电的发展过程中,不同的研究者或者研究机构存在着对认知无线电的不同认识和不同的研究方法,这些认识和研究不断丰富和完善认知无线电的功能,对认知无线电的发展起到了重要的推动作用。本节中列出在认知无线电发展过程中的代表性的观点和研究方法,以及目前国内外的研究现状。

1.1.1 认知无线电的产生

认知无线电的概念最初由 Joseph Mitola 博士提出,他在 1999 年发表的一篇学术论文^[6]中描述了认知无线电如何通过一种“无线电知识表示语言(RKRL)”的新语言提高个人无线业务的灵活性,随后,在 2000 年瑞典皇家科学院举行的博士论文答辩中详细探讨了这一理论^[7]。

1.1.2 认知无线电的概念和研究模型

1.1.2.1 认知无线电的概念

在认知无线电的发展过程中,对于认知无线电的定义和其功能的认识存在不同的观点。其中具有代表性的是 Mitola 和美国联邦通信委员会 FCC 的观点,其他的还有如以 Rieser 为首的维吉利亚技术中心和软件无线电论坛(Software Defined Radio Forum)的观

点。Mitola 对认知无线电的理解是从认知无线电是软件无线电的智能代理的角度出发, FCC 的观点是从无线网络的工业实现的角度出发, 2 种观点各有偏重, 相互补充。

1) Mitola 的观点

Mitola 认为软件定义无线电 SDR 是实现认知无线电的理想平台, 认知无线电是 SDR 的智能化。认知无线电可以通过无线电知识表示语言 RKRL, 基于模式的推理方式与网络进行智能的交流。Mitola 对认知无线电的认识强调其学习和推理能力, 认为认知无线电系统能够通过学习, 不断感知无线环境的变化, 并通过自适应地调整自身内部的通信机理来适应无线环境的变化。Mitola 在参考文献[6]中提出认知循环的概念, 包括一系列认知学习步骤——检测、分析、调整、推理、学习等能力。

(1) 检测。由特殊应用环境所决定, 认知无线电必须具备精确的无线频谱检测能力, 必须在可使用的全频段范围内多维度进行频谱检测, 从而发现可使用的频段。由于是免许可使用, 认知无线电必须具备迅速发现主要用户的能力, 在工作过程中时刻检测主要用户是否处于活动状态, 从而确保不对其产生干扰。

(2) 分析。认知分析包括对自身性能、网络内部状态、外部相关数据(包括频谱使用、策略使用等)和用户自身需求等相关知识的分析。如果说检测是信息的获取, 那么, 分析就是对相关信息的初步处理。认知无线电设备通过所获取的频谱检测结果分析主要用户的位置、使用的频点和发射时间, 同时分析可用频点位置、可用带宽、信道状况、自身传输可能会对其他用户产生的影响以及完成业务传输所需的带宽和时间。

(3) 调整。调整能力是完成传输的关键, 根据检测和分析的相关结果, 认知无线电设备通过先进的功率控制技术、不同的编解码以及调制技术, 选择合适的频点和发射时机, 从而成功地完成传输。这就要求认知无线电设备具备较强的性能, 能够在较宽的频段内实现不同传输方案之间的切换, 并且在突发事件发生后, 能够及时暂停或恢复传输, 确保在不干扰主要用户的情况下, 获取最大限度的传输能力。

(4) 推理和学习。由于当前无线频谱环境的复杂性, 简单的检测、推理和分析可能无法获得较好的传输性能。如何根据无线背景环境的相关数据进行分析预测是一个非常重要的课题。根据历史数据进行推理, 获得一定的参考信息, 在此基础上进行调整是一个较好的解决方案。一般来讲, 这种推理和学习分为 3 种: 第 1 种是基于简单固定规则, 即输入、输出可以预测; 第 2 种是基于较为复杂的模型, 运用一些模糊规则, 输出结果不可完全预测; 第 3 种是基于学习型的模型, 系统运行过程中能够不断地调整模型及其参数, 从而获得较好的预测结果。当前这一部分研究相对来讲更为滞后。

2) FCC 的观点

相比 Mitola 对认知无线电的认识, FCC 对认知无线电的定义更能为业界所接受。FCC 认为, 认知无线电技术是能使认知无线网络以一种动态方式使用频谱的关键技术, FCC 在 2003 年 12 月发布的一则通告^[7]中对认知无线电做了如下定义: 认知无线电是一种能够根据与它的操作环境进行交互而改变传输参数的无线电。

从这个定义可以得到认知无线电的 2 个主要特点^[8]: 认知能力和重配置能力。

(1) 认知能力。认知能力指的是无线电技术能够从它的无线环境中捕捉和感知信息。这种能力并不能简单地通过侦测某些感兴趣的频带的功率得到, 而需要更复杂的技术来捕捉无线环境中时间的和空间的变化以及避免对其他用户产生干扰。通过这种能

力,一些在特定时间和位置上的未使用的频谱就会被侦测出来,接着就可以选择最好的频谱和合适的操作参数。

认知无线电的认知能力表现在能实时与它所处的环境进行交互,从而决定合适的通信参数并适应动态的无线环境。这个任务要求在公开频谱中的自适应性操作,如图1-3所示^[3,9],把它称为认知循环。认知循环包含3个主要步骤:频谱感知(Spectrum Sensing)、频谱分析(Spectrum Analysis)和频谱决策(Spectrum Decision)。

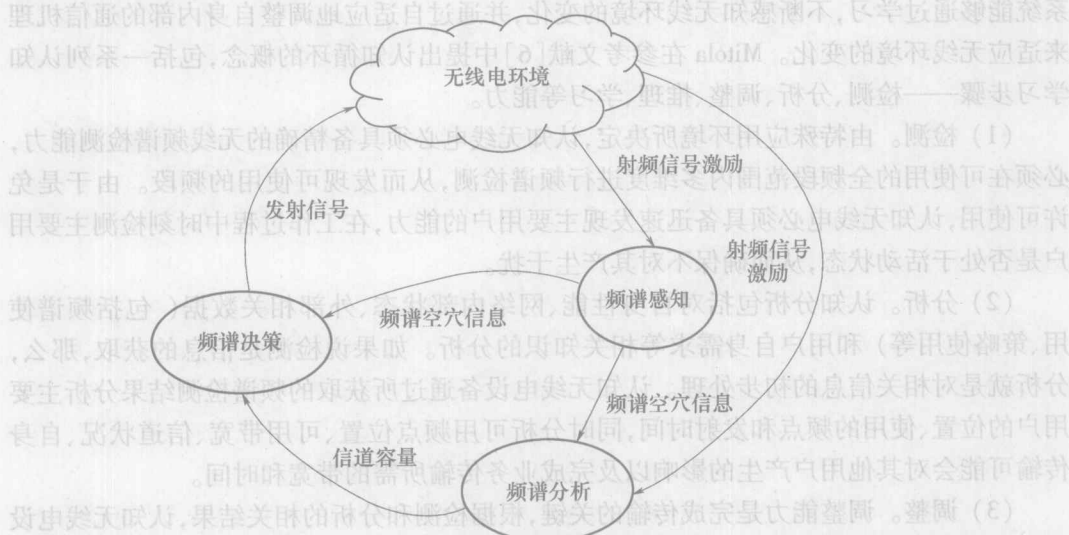


图1-3 认知循环

① 频谱感知。认知无线电检测可用频带,得到信息,然后发现频谱空穴。
 ② 频谱分析。估计通过频谱感知得到的频谱空穴的特征。
 ③ 频谱决策。认知无线电决定数据速率、传输模式和传输带宽。然后,根据频谱特征和用户需求选择适当的频段。
 一旦工作频段选定,通信就可以在该频段上进行。然而,由于认知无线电环境是随时间和空间在不断变化,认知无线电须追踪无线环境的变化。如果目前正在用的频段变得不可用了,频谱移动性管理功能会提供一个无缝传输。在传输过程中的任何环境变化比如主用户的出现、用户移动或者交通变化都能引发这种调整。

(2) 重配置能力。重新配置是一种传输过程中在不改变任何硬件组件的情况下调整操作参数的能力。重配置能力有许多可重置的参数^[1],如下所示。

① 工作频谱。认知无线电有能力改变工作频谱。基于认知环境的信息,可以确定最适合工作的频谱,然后可以在这个频谱上进行动态的通信。

② 调制。认知无线电应当根据用户需求和信道环境重置调制机制。举例来说,对于那些对时延敏感的应用,数据速率要比差错率重要。因此,要选择有较高频谱效率的调制机制。相反的,对于那些对丢包敏感的应用来说,主要关注差错率,要选择具有低误码率的调制机制。

③ 传输功率。传输功率可以在功率限制内重新配置。功率限制保证了动态的功率重置在允许的能量极限以内。如果不必要用高功率操作,认知无线电就会降低传输功率。