



经典译丛



CRC Press
Taylor & Francis Group

信息与通信技术

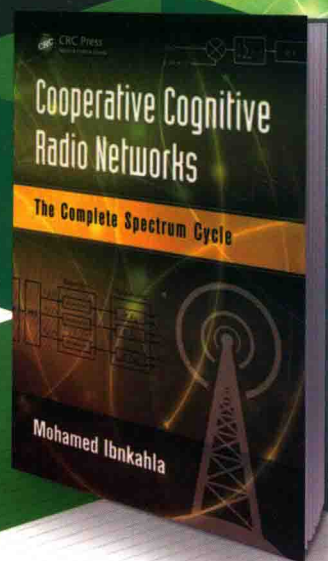
Cooperative Cognitive Radio Networks: The Complete Spectrum Cycle

认知无线电网络

Cooperative Cognitive Radio Networks
The Complete Spectrum Cycle

【加】 Mohamed Ibnekahla 著

刘玉军 尚世峰 蔺敏 杨新旺 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>

经典译丛·信息与通信技术

认知无线电网网络

Cooperative Cognitive Radio Networks
The Complete Spectrum Cycle

[加] Mohamed Ibnkahla 著

刘玉军 尚世峰
蔺敏 杨新旺 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共12章。第1章概述认知无线电的基本概念、框架和功能,第2章开始介绍认知无线电物理层,第3章和第4章论述合作频谱的获取,第5章描述频谱感知测量与设计。从第6章起介绍数据链路层和媒体接入子层,第7章介绍认知无线网络MAC层的特殊性,第8章研究认知无线电局部控制原理,第9章研究认知无线电Ad Hoc网络的介质访问控制,第10章研究认知无线网络的多跳路由技术,第11章和第12章分别就认知无线网络的经济性和安全性进行描述。

本书可作为高等院校相关专业研究生(或高年级本科生)的教材或教学参考书,也可供从事无线通信科研的人员及工程技术人员参考。

Cooperative Cognitive Radio Networks: The Complete Spectrum Cycle

ISBN: 978-1-4665-7078-8

Copyright © 2015 by Taylor & Francis Group, LLC

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书原版由Taylor & Francis出版集团旗下,CRC出版公司出版,并经其授权翻译出版。版权所有,侵权必究。本书中文简体翻译版授权由电子工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有Taylor & Francis公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2015-8697

图书在版编目(CIP)数据

认知无线网络/(加)穆罕默德·本卡赫拉(Mohamed Ibnkahla)著;刘玉军等译. —北京:电子工业出版社, 2017.9

(经典译丛·信息与通信技术)

书名原文: Cooperative Cognitive Radio Networks: The Complete Spectrum Cycle

ISBN 978-7-121-30788-1

I. ①认… II. ①穆… ②刘… III. ①无线电通信-通信网 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第004549号

策划编辑:马 岚

责任编辑:李秦华

印 刷:三河市兴达印务有限公司

装 订:三河市兴达印务有限公司

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:16 字数:410千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次印刷

定 价:59.00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)88254888,88258888。

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

本书咨询联系方式: classic-series-info@phei.com.cn。

译者序

自从无线通信问世以来,人们已经习惯了不同的通信系统在各自固定的频谱上进行通信。近几年来无线通信业务发展迅猛,适合无线通信的频谱资源变得越来越稀缺。为了提高信息传输能力,业界的普遍做法是在授权频段内深耕、挖潜,在信源编码、信道编码、复用、智能天线等方面做出了巨大的努力。但是这些努力并不能从根本上解决授权频段内和未授权频段频谱利用率较低的问题。

目前,国内外在无线通信领域的研究比较活跃。其中,认知无线电技术是继软件无线电之后的又一个研究热点。在技术路线上可谓是另辟蹊径。认知无线电用户通过感知无线环境,寻找频谱空穴,在不妨碍授权用户使用的前提下,建立自己的通信信道。该技术突破了以固定方式分配频谱资源的模式,认知无线电用户可以共享全部频谱资源,以这种思路建立起来的无线通信系统将大幅度提高频谱利用率。

我们阅读了大量的认知无线电著作,但是能够帮助读者认识完整认知无线电频谱周期的著作并不多。*Cooperative Cognitive Radio Networks*一书从网络体系的角度给读者建立了认知无线网络的总体概念。作者采用5层网络模型描述认知无线网络,重点介绍了认知无线网络的物理层、数据链路层和网络层。

翻译工作分工如下:前言、第1章由刘玉军翻译,第2章、第11章由苏彦翻译,第3章由何彬翻译,第4章由杨新旺翻译,第5章、第6章由秦珂哲翻译,第7章由杨健康翻译,第8章由孙虹翻译,第9章由薛廷梅翻译,第10章由尚世峰翻译,第12章由李皓翻译。参加审稿的人员有刘玉军、蔺敏、尚世峰、许文峰。全书统稿由刘玉军和尚世峰完成。

感谢装甲兵工程学院信息工程系王维锋主任、张文阁副主任对于译著的帮助和支持,将本书的翻译列入了“2110”学科建设资助项目。

感谢参加了翻译工作的张行知、侯涛、刘正锋、张忠辉、邓琦、张玉青、周浩、沈承江等同学。

由于认知无线电技术还处于不断发展的过程中,译者的学识有限,翻译错误在所难免,恳请读者批评指正。

译者

前 言

认知无线电将成为未来无线通信系统中一项可行的技术。认知无线电的概念是当获得频段许可的主用户空闲或者次用户访问该频段引起的干扰低于给定阈值时,可以让次用户访问无线电频谱,这将大幅度提高无线系统的频谱利用率。为了让次要用户访问授权频段时不损害授权用户的利益,需要连续感应和仔细监测频谱。无线电频谱周期包括感知、学习、计划、决策和行动。认知无线电用户可以采取不同形式的行动集合,如频谱使用、数据包路由、切换和资源分配,其中行动通常依赖于感知和学习过程中获得的环境信息。这些信息可能包括认知无线电网络的状态和主要网络、服务质量、物理信道条件、交易规则、经济指标、社会影响和环境影响等。

过去的几年里,认知无线电的相关研究一直分散在大量的会议和期刊论文当中。这些出版物选择性地探讨认知无线电周期,只关注特定的方法或技术,而没有研究整个频谱周期。本书通过探讨整个频谱周期,从而填补了这一研究的空白。本书介绍了这一领域的发展状况,并针对贯穿整个频谱周期的各种不同的途径和方法提出了统一的观点。本书可为研究认知通信各层协议栈奠定基础。

本书的结构

第1章对认知无线电系统进行了概述,解释了频谱周期不同的组成部分,这些概念的解释将贯穿全书。

第2章到第5章描述了物理层问题。这些章节探讨了频谱感知、学习和决策等频谱周期方面的概念。第2章在单波段和多波段框架下,通过深入探讨和比较不同方法研究了主要的频谱感知技术。第3章介绍了协同频谱感知的基本原理,并讨论了频谱感知与获取高级组合的协同分集技术。第4章研究了在频谱交织和衬垫模式下使用的协同频谱获取技术,其中干扰被视为设计参数。第5章讨论了频谱感知与获取技术在设计和操作阶段需要考虑不同的权衡因素,例如,在延迟、吞吐量或功率效率等方面,其性能会受到怎样的影响。

第6章到第9章致力于链路层和介质访问层的设计问题。这些章节探讨了学习、决策、访问和频谱撤离等频谱周期方面的问题。第6章提出了频谱移动性问题,并深入对比了几种切换技术和策略。第7章介绍了认知无线网络介质访问协议。特别是提出了在缺乏共同的控制通道时,可以使用的合作和非合作的媒体访问控制层协议。本章还探讨了协议设计面临的挑战和需要满足的特殊要求。第8章主要探讨了认知无线电自组织网络,解决了频谱共享、公平以及度量规则等基本问题。重点研究了频谱共享的局部控制计划和公平协议。第9章研究了认知无线电自组织网络介质访问协议,主要探究了自组织网络在移动性和主要专属区域(PER)两方面的特性,并对不同协议进行了对比和举例说明。

第10章探讨了认知无线电的网络层和路由选择。本章涉及学习、决策和路由选择等频谱周期方面的问题,并提出了路由协议的分类及其面临的难题。特别研究了分布式、集中式的学习、决策和路由选择方法,网络移动性问题以及高动态网络。

第11章主要提出了一个基于博弈论的认知无线网络经济框架结构。本章涉及学习、决

策和行动等频谱周期机制，研究了不同的策略和市场模型，包括物理层参数和干扰水平作为部分经济架构时的固定价格市场、单一拍卖和双拍卖。第 12 章概述了认知无线电网络的安全问题。包括有关学习、决策和分类等频谱周期概念，这些行为会导致网络中其他认知无线电用户的特定行动。本章将信任定义为确定网络中用户好坏优劣的一个指标，研究了路由中断、堵塞和模拟主用户攻击等几种攻击类型，并深入讨论了这些攻击对网络的影响以及可以采取的应对措施。

背景要求

本书探讨了认知无线电频谱周期的主要难题和技术。读者需要具备无线通信系统的基本知识，建议(但不要求)按照给定的章节顺序阅读，各章节在概念上相互依赖，但在数学推导或协议设计上，各章节相互独立。

本书特点

- 本书涉及认知频谱周期的所有方面内容并进行举例说明。
- 所有章节按照教材风格编写，易于理解。
- 每章都包含一个深入调查当前发展状况的主题。
- 根据大量计算机模拟逐步分析了不同算法和系统，并附有图解。

Mohamed Ibnkahla
女王大学
加拿大安大略省金斯顿市

致 谢

我对在这个项目的各个阶段中帮助过我的人深表感激。我的博士生和硕士生对于文章编写和章节的模拟/实验结果做出了贡献：硕士生 G. Hattab(第 1 章至第 3 章及第 5 章)、博士生 A. Abu Alkheir(第 3 章和第 4 章)、博士生 P. Hu(第 8 章和第 9 章)、硕士生 J. Mack(第 10 章)、硕士生 A. Bloor(第 11 章)和硕士生 J. Spencer(第 12 章)。G. Hattab、Dr. W. Ejaz 和 Dr. S. Aslam 花费大量时间审查了书稿的不同版本，对他们深表感激。

对在过去的 10 年间支持我研究的所有组织和公司表示感谢。其中包括加拿大自然科学和工程研究委员会(NSERC)、安大略研究基金(ORF)万信项目和 NSERC DIVA 网络。

我对家人的鼓励、支持与关爱表示感谢，特别是我的妻子 Houda，儿子 Yasinn，女儿 Beyan 和 Noha。

目 录

第 1 章 认知无线电概论	1
1.1 概述	1
1.2 认知无线网络架构	1
1.3 认知无线电架构的功能	3
1.3.1 收发器结构	3
1.3.2 设计面临的主要挑战	4
1.3.3 频谱管理进程的功能	4
1.4 认知无线电模式	5
1.4.1 交织模式	5
1.4.2 重叠(底层)模式	5
1.4.3 覆盖模式	6
1.4.4 小结	6
1.5 本书的结构	7
参考文献	8
第 2 章 频谱感知	9
2.1 概述	9
2.2 频谱感知	9
2.2.1 匹配滤波(相干检测器)	9
2.2.2 能量检测器	10
2.2.3 特征检测	11
2.2.4 比较	13
2.2.5 设计权衡与挑战	13
2.3 多频带频谱感知	14
2.3.1 引言	14
2.3.2 串行频谱感知技术	16
2.3.3 并行频谱感知(多频带检测器)	17
2.3.4 小波感知	19
2.3.5 压缩感知	22
2.3.6 基于角的感知	23
2.3.7 盲感知	24
2.3.8 其他算法	24
2.3.9 比较	24
2.4 本章小结	25
参考文献	25

第3章	协同频谱感知	31
3.1	概率	31
3.2	协同频谱感知的基础	32
3.2.1	硬结合	32
3.2.2	软结合	33
3.2.3	混合结合	34
3.2.4	协同频谱访问多频带认知无线网络	34
3.3	典型协同频谱感知技术	36
3.3.1	基于能量检测的协同频谱感知决策	36
3.3.2	性能分析	37
3.4	协同传输技术	39
3.4.1	追踪融合混合自动请求重发	39
3.4.2	协同分集	39
3.5	选择协同频谱感知策略	42
3.5.1	双门限选择性	42
3.5.2	最大协同频谱感知策略	45
3.5.3	最大-最小协同频谱感知策略	48
3.5.4	比较与探讨	50
3.5.5	小结	51
3.6	本章小结	51
	参考文献	51
第4章	干扰条件下协同频谱感知	57
4.1	概述	57
4.2	追踪获取合并型混合自动重传请求(HARQ)	57
4.3	再生型协同分集	61
4.3.1	平均频谱功率	62
4.3.2	中断概率	63
4.3.3	差错概率	63
4.3.4	仿真结果	63
4.3.5	小结	66
4.4	频谱重叠	66
4.4.1	重叠访问	66
4.4.2	解码转发中继	67
4.4.3	放大转发中继	67
4.4.4	增量中继	67
4.4.5	模拟结果与图解	72
4.4.6	差错概率	73
4.5	本章小结	74
	参考文献	74

第5章 频谱感知性能标准和设计权衡	76
5.1 概述	76
5.2 接收机工作原理	76
5.2.1 单频段	76
5.2.2 协同频谱感知	78
5.2.3 多频段认知无线电	79
5.3 吞吐量性能标准	80
5.4 基本限制和权衡	82
5.4.1 感知时间最优化	82
5.4.2 多样性和采样权衡	86
5.4.3 功率控制和干扰限制权衡	87
5.4.4 资源分配权衡	90
5.5 本章小结	91
参考文献	92
第6章 频谱切换	96
6.1 概述	96
6.2 频谱移动	96
6.3 频谱切换策略	97
6.3.1 无切换策略	97
6.3.2 被动切换策略	98
6.3.3 主动切换策略	98
6.3.4 混合切换策略	99
6.3.5 对比	100
6.4 频谱移动管理的设计需求	100
6.4.1 传输层协议修改	100
6.4.2 跨层链路维护和最优化	101
6.4.3 寻找最佳备用信道	101
6.4.4 频谱切换时的信道竞争	101
6.4.5 公共控制信道	101
6.5 性能标准	101
6.6 频谱切换数学模型	102
6.6.1 频谱切换策略的性能	102
6.6.2 频谱切换的关系模式	107
6.7 多频段认知无线网络切换	110
6.8 本章小结	110
参考文献	111
第7章 认知无线电网的 MAC 协议	112
7.1 概述	112
7.1.1 无线通信频谱访问中 MAC 协议的功能	112

7.1.2	传统 MAC 与认知无线电 MAC 之间的差异	113
7.1.3	集中式与分布式体系结构的对比	113
7.1.4	认知无线电 MAC 中的公共控制信道概念	114
7.1.5	MAC 协议的分类	114
7.2	帧间间隔与无公共控制信道的 MAC 挑战	115
7.2.1	基于 CSMA/CA 的协议中的帧间间隔	115
7.2.2	无公共控制信道的 MAC 挑战	115
7.2.3	无公共控制信道的网络设置	119
7.2.4	公共控制信道中的公平分配	120
7.3	认知无线电 MAC 中的服务质量	122
7.3.1	服务质量保障的分布式认知无线电 MAC 协议(QC-MAC)	122
7.3.2	服务质量感应 MAC 协议	123
7.4	移动管理	124
7.4.1	带有公共控制信道的授权用户体验与移动性支持	124
7.4.2	无公共控制信道移动支持	125
7.5	本章小结	126
	参考文献	127
第 8 章	认知无线电自组网和传感器——网络模型和局部控制方案	128
8.1	概述	128
8.2	认知无线网络与认知无线电自组网	129
8.3	认知无线电自组网中的频谱共享	129
8.4	认知无线电自组网中的介质访问控制协议	130
8.5	认知无线网络中的量度规则	131
8.6	认知无线电自组网模型	132
8.6.1	频谱可用性图谱	132
8.6.2	频谱可用性概率(SAP)	133
8.6.3	可变大小的频段	134
8.6.4	多频道多无线电支持	134
8.6.5	合成频道模型	134
8.6.6	接收端和全局信息	134
8.6.7	频谱管理的局部控制	136
8.6.8	博弈方法	137
8.6.9	基于图着色的算法	137
8.6.10	部分可观测马尔可夫决策过程	138
8.6.11	仿生方案	139
8.7	频谱共享的局部控制方案	139
8.7.1	如何在认知无线电自组网中应用局部控制方案	139
8.7.2	局部控制方案框架	140
8.7.3	频谱共享公平性	141
8.7.4	协议设计与图解	142

8.8 本章小结	150
参考文献	150
第9章 认知无线电 Ad Hoc 网络介质访问层	155
9.1 概述	155
9.2 网络模型和需求	156
9.2.1 系统模型	156
9.2.2 需求	156
9.3 CM-MAC:基于 CSMA /CA MAC 协议的认知无线电自组网	159
9.3.1 协议描述	159
9.3.2 信道聚合	160
9.3.3 频谱访问和共享	160
9.3.4 移动性支持	161
9.4 结构分析	163
9.4.1 移动性影响	163
9.4.2 吞吐量	164
9.4.3 案例研究 ^[32, 33]	166
9.5 数值结果	167
9.6 本章小结	172
参考文献	172
第10章 多跳认知无线网络路由协议	174
10.1 概述	174
10.2 认知无线网络中的路由问题	174
10.3 认知无线网络的分类	176
10.3.1 频谱知识	176
10.3.2 主用户活动	177
10.4 集中和基本的分布式协议	178
10.4.1 集中协议	178
10.5 分布式协议	183
10.5.1 控制信息	183
10.5.2 基于源或目标的路由	183
10.6 动态网络中基于地理信息的协议	184
10.6.1 初始路由建立	184
10.6.2 贪婪转发	185
10.6.3 主用户避免	186
10.6.4 联合信道-路径优化	186
10.6.5 仿真验证	186
10.7 随机认知无线电多跳协议	188
10.7.1 协议概述	189
10.7.2 随机认知多跳网络性能标准	189

10.7.3	概率表达	190
10.7.4	进一步改进	191
10.7.5	仿真结果说明	192
10.8	协议小结	195
10.9	本章小结	197
	参考文献	197
第 11 章	认知无线电经济学	199
11.1	概述	199
11.2	博弈论	199
11.2.1	战略型博弈模型	199
11.2.2	市场演化与均衡	200
11.3	认知无线电合作交易模型	201
11.4	固定价格交易模型	203
11.5	拍卖模型	207
11.5.1	单边拍卖	209
11.5.2	双边拍卖	212
11.6	模拟与说明	213
11.6.1	固定价格市场	213
11.6.2	单边拍卖	215
11.7	后续研究	219
11.8	本章小结	219
	参考文献	221
第 12 章	认知无线网络安全	223
12.1	概述	223
12.2	认知无线网络的安全属性	223
12.3	认知无线电中的信任	225
12.3.1	信任评估基础	225
12.3.2	信任的基础公理	225
12.3.3	信任模型	228
12.3.4	信任管理的效果	229
12.4	路由破坏攻击	230
12.4.1	概述	230
12.4.2	Liu-Wang 安全机制	231
12.4.3	对 Liu-Wang 安全机制的说明	231
12.5	干扰攻击	234
12.5.1	概述	234
12.5.2	系统模型	234
12.5.3	有完备知识时的优化策略	235
12.5.4	对 Wu-Wang-Liu 模型的说明	238

12.6	主用户仿冒攻击	239
12.6.1	面向频谱感知的信号发射机验证模式	240
12.6.2	Chen-Park-Reed 主信号发射机的非交互定位	241
12.6.3	Chen-Park-Reed 方法的模拟结果	241
12.7	本章小结	244
	参考文献	244

第1章 认知无线电概论

1.1 概述

频谱资源匮乏是现代通信系统正面临的最大挑战之一。日益增加的无线电频谱需求和频谱管理部门死板的静态频谱分配方法导致频谱利用率低下,如何提高现有授权频段的利用率正成为一个主要问题。认知无线电(CR)已成为最有前途的解决频谱短缺和利用效率低下的一种方式。认知无线电的基本思想是当频段的授权用户(主用户, PU)不使用该频段或非授权用户(次用户, SU)对主用户的干扰低于一定阈值时,非授权用户可以使用该频段。因此,在网络中引入认知的概念,可以提高频谱利用率。

认知意味着电台了解它所处的环境,并根据获得的无线信道情况调整操作参数。只有这样,电台才能灵活地利用可能为空的授权波段。认知网络的认知性和敏捷性取决于网络的学习、参数调整和决策能力。

本章提出了认知无线网络(CRN)的基本概念;1.2节介绍认知周期;1.3节讨论认知无线电框架的功能;1.4节提出了认知无线电的接入方式;最后,第1.5节给出了全书的概述。

1.2 认知无线网络架构

认知无线电架构建立在网络中不同实体之间的交互、实体与周围环境交互的基础之上。每个实体都作为认知实体出现在网络中,代替纯粹的中心控制网络或预定义通信规则网络。认知无线电架构的目的是,基于每个实体对网络情况和所处环境的自适应,进而更好地利用资源和管理相应行为。

跨层设计能使节点在做决策时使用相关信息来优化不同的协议,从而提高网络性能。然而,这种方法有其局限性,它无法优化多个目标,也无法从周围环境中学习相关信息。因此,需要一种经过改进的智能新技术来进行学习和规划。认知是一种感知、推理以达到认识的学习过程。

认知无线网络是一种有自我感知、自我组织的智能自适应网络。自适应机制会在网络节点观察网络状态、共享跨层信息以及学习、推理相关信息的过程中启动,从而制定和执行优化决策。

认知无线电在研究领域迅速获得重视是因为该技术能让网络更智能、更优化。认知周期的概念首先出现在文献[1]中,它总结了认知无线电工作过程中的主要步骤(见图1.1)。认知循环能够通过学习和共享不同网络实体间的信息来实现智能自适应。认知无线电周期包括6个主要元素:

- 环境 包括网络环境和网络周围环境,如物理信道、其他用户、设备、网络等一切能影响到当前网络状态的东西(如天气状况、障碍物、经济指标和交易规则等)。

- **感知** 不同的认知无线电实体感知和监视环境。环境信息包括频谱带宽、干扰程度、物理传播信道参数以及主用户与次用户的位置。
- **规划** 次用户制定多种规划并在决策前评估这些规划。
- **决策** 基于知识和学习制定决策、优化系统资源。
- **行动** 基于决策，次用户可以通过一系列行动影响环境，如媒体接入、路由、资源分配、修改传输计划等。
- **学习** 学习是认知周期中的核心部分。配备知识库和学习工具，节点能够追踪所有与网络和网络环境有关的信息。学习能力使系统能够根据当前和过去的行为，预测未来的行动，并在规划和决策制定过程中更智能地加以运用。

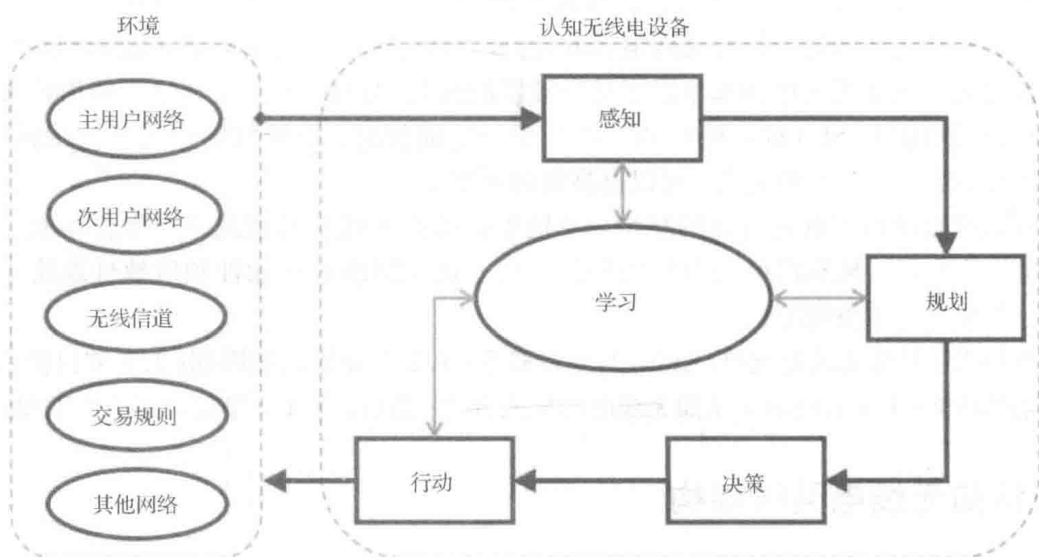


图 1.1 认知无线电周期

认知无线电定义

认知无线电系统的定义如下所示^[2]：

认知无线电系统整合多项技术，使其能够获取自身操作信息、地理环境信息、既定策略和内部状态；根据已有的知识不断自动调整自身操作参数和协议来实现预定目标，并从结果中进行再学习。

和传统的无线电相比，认知无线电系统的主要特征是动态频谱接入，而非墨守静态的频谱分配方法。从广义角度来讲，动态频谱接入被分为如下三类^[3]。

- **动态专用模式** 这种模式遵循当前的频谱调控政策，授权频谱是由当前授权用户专用的，但授权用户可出售、共享或与其他各方交易频谱产权。
- **频谱公用模式** 这种模式发展的基础是非授权的工业、科学和医疗(ISM)频段的成功应用，如 WiFi。该模式允许向所有接受既定标准的用户开放频谱共享。
- **分层访问模式** 基于主用户和次用户的分层访问结构。这种模式隐含的理念是，只要不造成对主用户的干扰，次用户可利用未占用信道。该模式可以进一步被分为独立模

式(换言之,不共享网络信息)和合作模式(亦即参与频谱信息共享以获得更好的优化频谱接入)。

尽管这些接入模式有本质的不同,但它们都力求达到同样的目的:提高频谱利用率,这也是认知无线电具有的潜在优势之一。认知无线网络还有其他优势:

- 提高无线链路的性能 认知无线网络可以通过优化分配给次用户的资源(如信道、功率、速率、调制方式和编码方案等)来提高无线链路性能。
- 限制干扰 认知无线网络可以通过动态频谱接入和自适应资源分配减少次用户对主用户的干扰。
- 平衡流量 认知无线网络可以帮助主用户将网络流量从密集频段转移到其他未被占用的频段。例如,当一个蜂窝网络出现高负荷时,认知无线电能帮助网络伺机将部分负载转移到其他可用频段。
- 协助主用户 认知无线电可以与主用户合作,协助其从发射机到接收机之间的信息中继。

1.3 认知无线电架构的功能

传统无线模式的特征是静态频谱分配策略,政府机构将频谱分配给按地域分布的授权用户长期使用。认知无线网络通过异构无线网络架构和动态频谱接入技术,使次用户和主用户能够共用频谱,有望改变传统无线模式。因此,认知无线网络中的每个次用户都必须能够可靠执行以下任务:

- 确定频谱中哪些部分(信道)可用
- 选择最佳的可用信道
- 与其他用户合作访问此信道
- 当主用户开始使用此信道或对主用户的干扰程度超过预定阈值时让出信道
- 与其他用户合作提高网络或用户的效率(可选)

从这些任务中,能推断出次用户必须具备下列特征^[4]:

- 认知能力 为了提供可靠通信、提高频谱利用率,认知无线电必须能够认知周围环境并智能调整其参数。
- 重构能力 认知无线电必须能够适当调整其运行参数,如发射功率、调制技术和路由方案,以提高频谱利用率,并限制对主用户网络的干扰。

1.3.1 收发器结构

一个典型的认知无线电收发器包含两个关键部分:射频前端和基带处理单元,如图1.2所示^[5]。在射频前端,认知无线电必须是一种宽带架构,能够监测大范围的频谱。例如,宽带天线经调谐能在多频带上捕获主用户发出的信号,然后处理被检测到的频段以确定是否可用。如果有可用信道,用户可以调整该信道的参数(如传输频率,调制方式等),并在该信道上传输信号。

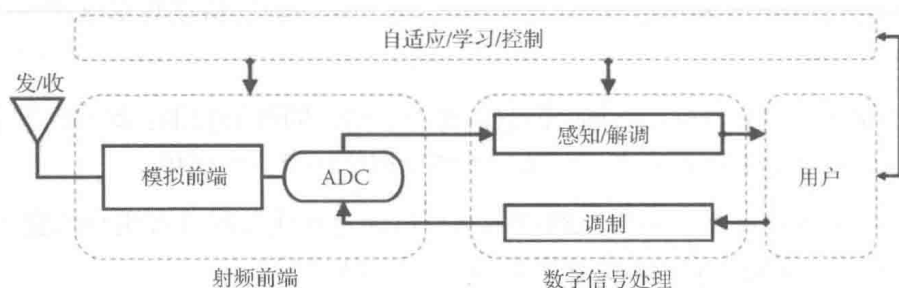


图 1.2 典型的认知无线电收发器模块

1.3.2 设计面临的主要挑战

由于不同类型的用户共存，他们对服务质量(QoS)的要求也不同，认知无线电架构在每一个抽象层次上的设计都面临着挑战。比如，为保证次用户不干扰主用户，次用户必须时刻监测主用户信号，包括主用户发出的非常微弱的信号。由于无线信道的随机性，这个过程非常困难。此外，当主用户返回时，次用户必须立即离开该信道，这就要求次用户进行定期的信道监测。这样一来，数据传输中断就难以避免，对次用户服务质量的支持可能无法得到保证。那么仅有的选择就是保证次用户能够流畅地从一个信道切换到另一个信道。常规切换技术无法在认知无线电环境下很好地工作。在认知无线网络中，切换过程通常在主用户返回时开始，因为不能预测主用户的行为，这个过程具有相当的挑战性。除了上述的挑战之外，一些设计上的问题也亟待探讨，比如大动态范围内弱信号的监测、载波的产生、多频带感知和重新配置等问题^[5,6]。

1.3.3 频谱管理进程的功能

由于认知无线电架构面临的独特挑战，运用恰当的管理进程来应对这些挑战就显得至关重要。一般来说，完整的频谱管理进程由4个要素构成(见图1.3)^[5]。

1. 频谱检测和感知 次用户必须了解频谱占用情况。被探测到的信道是空置的，还是已被主用户占用，可以通过局部频谱探测来加以确定^[7~10]。
2. 频谱决策 次用户必须决定是否需要访问一个信道。这个重要的决策不仅取决于频谱检测的结果，而且与服务质量要求以及其他内部与外部策略有关。
3. 频谱共享 次用户必须和其他次用户合作，共享可用频谱资源，避免干扰主用户。因此，介质访问控制(MAC)协议和功能必须与频谱检测进程一起运行^[11,12]。这个功能包括了频谱共享和频谱交易的经济模型。
4. 频谱迁移 与传统无线通信系统不同，认知无线网络中的信道切换不仅是由次用户的迁移引起的，还受到主用户行为的影响。因此，当主用户回收正在被次用户使用的信道时，次用户必须在可用信道间无缝切换。同时，当新地域里的信道不可用(即被主用户或次用户占用)时，次用户从一个地域移动到另一个地域。因此，次用户必须能够做出智能信道切换的决策。

频谱管理进程的任何一部分都要与其他部分合作。因此，跨层设计对于有效实现认知无线网络至关重要。例如，如果频谱决策工具通知主用户已返回，频谱迁移便开始实施切