

一种新型的认知无线网络架构

唐 龙¹ 伍爵博²

(武汉大学计算机学院 武汉 430072)¹ (深圳市安捷信联科技有限公司 深圳 518057)²

摘 要 网络宽带化、业务多样化以及现有的固定频谱管理模式使无线网络面临资源日益匮乏的巨大挑战。动态变化的异构网络环境更加剧了资源紧缺和业务需求之间的矛盾,严重制约了现有和未来无线网络的部署和运行。为解决以上难题,首先对现有无线网络协议进行了详细讨论与分析,总结出其自身特点和存在的问题,包括 IEEE 802. 22 认知功能、IEEE 1900. 4 认知功能和 ETSI RRS(重配置无线子系统)认知功能。在深入研究无线网络中认知理论与方法的基础上,提出一种全新的认知无线网络架构模型,包括系统频谱管理、网络规划管理、重配置管理、无线资源管理、认知环处理以及认知信息承载方式。该架构能够更好地协调和支持网络的学习、推理、预测、融合、决策和重构等行为。

关键词 认知无线电, 认知网络, 无线网络架构

中图分类号 TN99 **文献标识码** A

Novel Architecture Network for Cognitive Radio

TANG Long¹ WU Jue-bo²

(Computer School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)¹ (Shenzhen Angelshine Co., LTD, Shenzhen 518057, China)²

Abstract Due to the growing bandwidth, business and the existing fixed frequency management mode, the wireless network is facing great challenges that the network resources are becoming more and more shortage. The dynamic changes of heterogeneous network environment causes more conflicts between resource shortage and business needs, so it seriously restricts the deployment and operation of wireless network in the present and future. To solve the above problem, this paper made a detailed discussion and analysis to the existing protocols of wireless network, and it summarized the characteristics and existing problems including the cognitive function of IEEE 802. 22, IEEE 1900. 4 and ETSI RRS. It proposed a novel architecture for cognitive wireless network based on the cognitive theory and method of wireless network. This model contains system frequency management, network planning management, heavy configuration management, wireless resource management, cognitive ring processing and cognitive information load mode etc. According to this architecture, it will be better to coordinate and support network learning, reasoning, forecasting, fusion, decision-making and reconfiguration.

Keywords Cognitive radio, Cognitive network, Wireless network architecture

1 引言

认知无线电(Cognitive Radio, CR)的概念由 Joseph Mitola III 于 1999 年首先提出^[1,2],并在其博士论文中对此进行了进一步的阐述。Mitola 的认知无线电给出了一个主要应用层的、以通信前后环境和定位为基础的认知(Cognition Cycle)模型,其能够感知、理解、学习、适应所处的环境,在做出改变运行参数决定的时候,无线节点和网络观察到的每一个可能的参数都被考察到。Mitola 的认知无线电通常又被称为“全认知无线电”。根据美国联邦通信委员会(Federal communications commission, Fcc)的定义,认知无线电被描述为能够基于同所在环境的交互而动态改变发信机参数的无线电^[3,4]。

网络宽带化、业务多样化以及现有的固定频谱管理模式使无线网络面临资源日益匮乏的巨大挑战。动态变化的异构网络环境,更加剧了资源紧缺和业务需求之间的矛盾,从而严重制约了现有和未来无线网络的部署和运行。建立在认知科学、计算机科学以及信息与控制理论基础之上的认知无线网络技术通过对无线环境、网络环境和用户环境的智能学习、推理和决策,从而实现资源的有效共享与优化利用,不仅是解决资源受限条件下多网络共存的根本手段,也是实现未来异构网络融合的重要途径;不仅将为管理者和运营商提供未来无线频谱管理和运营的全新模式,也将为用户带来动态和异构网络环境下更优越的业务体验。本文在深入研究无线网络中认知理论与方法的基础上,提出一种全新的认知无线网络架构模型,并对其相关功能模块进行描述。

本文受国家科技支撑计划项目(2009CB320401)资助。

唐 龙(1982-),男,博士,主要研究方向为计算机软件理论基础、软件认知无线网络;伍爵博(1981-),男,博士,主要研究方向为数据挖掘、移动电子商务。

2 现状分析

2.1 IEEE 802.22 认知功能^[5]

IEEE 802.22 固定无线区域网络(WRAN)工作于 54 MHz~862MHz VHF/UHF(扩展频率范围 47MHz~910MHz)频段中的 TV 信道,它可自动检测空闲的频段资源并加以使用,因此可与电视、无线麦克风等已有设备共存。利用 WRAN 设备的这种特征可向低人口密度地区提供类似于城区所得到的宽带服务。图 1 为 IEEE 802.22 提出的协议参考模型,其提出了感知平面(Cognitive Plane)的概念,并将感知平面分为数据平面、控制管理平面。其中数据平面包括:频谱感知功能(SSF)、地理定位功能(Geo-Location)、频谱管理单元(SM)、频谱感知自动化单元(SSA)、两个安全子层(SP)、通用部件子层(CPS)、汇聚子层(CS)及各层之间的服务接口(SAP);管理控制层包括管理信息数据库(MIB)。

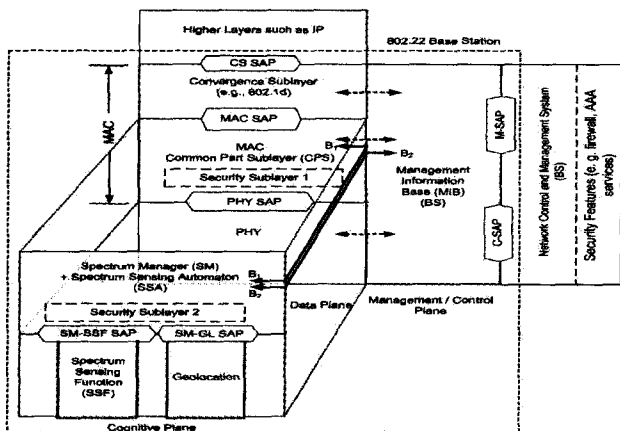


图 1 IEEE 802.22 协议参考模型

图 2 为 802.22 的无线认知能力图,体现了 802.22 框架实现的主要功能及各功能之间的关系。

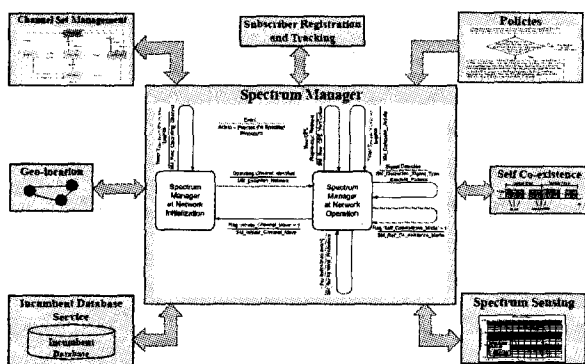


图 2 IEEE 802.22 无线认知功能

IEEE 802.22 给出了实现认知无线电功能的认知无线网络协议结构,同时存在以下两个方面的缺陷:

1) IEEE 802.22 主要针对广播电视网。对于复杂的、多种异构网络并存的环境,需要给出实现异构网络平滑融合的认知无线网络架构;

2) IEEE 802.22 数据库只存储频谱占用信息。而实际网络需要感知的环境信息具有多域特性,因此数据库不仅包含与频谱相关的信息,还需要存储与无线环境、网络环境、用户环境以及政策管理相关的多域认知信息,除了多域认知信息,数据库还需以案例库/知识库的形式存储经过智能推理/学习

的认知信息。

2.2 IEEE 1900.4 认知功能^[6]

IEEE 1900 标准由 IEEE Standards Board 发布,通过定义一系列简化网络资源使用优化的合理的系统架构和协议,在多种无线接入技术环境下,达到改进整个无线系统综合能力和服务质量的目的。IEEE1900.4 系统功能架构如图 3 所示。

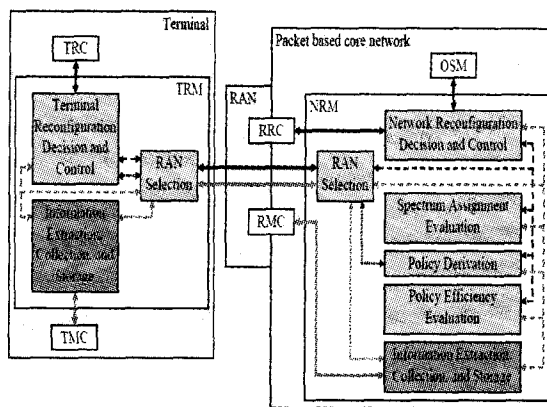


图 3 IEEE 1900.4 功能架构

IEEE 1900.4 主要技术特点如下:1)总的来说,重配置包含了三大过程:决策制定所需要的上下文信息获取;重配置决策制定;根据重配置决策执行重配置。2)功能模块比较集中。由功能架构图可以看出,网络侧和终端侧的功能实体主要集中在 NRM 和 TRM 中,RMC、RRC、TMC 和 TRC 主要辅助这些功能实体完成信息的收集或重配置管理的工作。3) NRM、TRM 内部各功能实体间的交互性比较强,各个决策的制定都有相应的信息模块及评估模块作为支撑,这样可以使得决策的制定更为合理和有效。4) IEEE 1900.4 涵盖了三种使用案例:动态频谱分配、动态频谱共享、分布式无线资源使用优化,能够在很大程度上提高无线资源利用率。5)网络侧、终端侧各结构实体之间、各功能实体之间以及结构实体和功能实体之间定义了完备的通信接口,使得信息的传递更便捷。

相比于 IEEE 802.22, IEEE 1900.4 一方面实现了多种无线接入技术环境下的高效资源管理以及网络与终端的重配置。而另一方面对于认知信息获取、处理、存储以及传输,系统功能架构并没有给出具体的功能模块给予支持。

2.3 ETSI RRS(重配置无线子系统)认知功能^[7]

RRS 是 ETSI 标准化方向之一,是基于 SDR 和 CR 技术的通用概念。RRS 可以利用重配置无线电的功能以及网络对于动态变化环境自适应调整的能力,有效解决异构系统之间的不兼容性以及频谱稀缺特性,达到提高频谱利用率的目的。

RRS 主要工作是给出了实现异构环境下系统频谱管理、无线资源管理以及网元及终端自配置管理的功能架构,图 4 给出了单运营商场景下的功能架构示意图(在属于不同运营商的同一功能模块间引入接口可以推广到多运营商场景)。从图中可以看出,功能架构主要包括四个功能模块:DSM(动态频谱管理)、DSO(NPM(动态自组织网络规划与管理)、JR-RM(联合无线资源管理)以及 CCM(配置控制模块)。各个功能模块并非独立工作,它们之间存在紧密联系,通过在不同功能模块之间引入接口的方式实现各模块的协同工作。

3.2 新型框架功能模块描述

3.2.1 认知信息获取管理模块

认知信息获取管理模块主要完成两部分功能:认知信息获取和认知信息表征。认知信息获取即认知信息获取管理系统外部环境(无线环境、网络环境、用户环境、政策管理)的行为、状态以及参量并进行感知。认知信息通常具有复杂、繁多的特点,认知信息表征即通过统一、完备、规范、科学的数学表征对认知信息进行初步处理,形成可量化、可识别的离散环境情景集合。表征后的认知信息可以分为两部分进行处理:

1)对于其它功能模块(ASM 模块、DNPM&SON 模块以及 JRRM&SO 模块)需要直接使用而又不需要存储的认知信息通过接口传递给其它模块,例如与用户动态变化的信道状况有关的认知信息。

2)对于需要直接存储的认知信息以多域认知信息矢量的方式存放到认知信息/知识库中;除了上述单运营场景下认知信息管理模块的功能,当 DNPM&SON 模块以及 JRRM&SO 模块需要在多运营场景下实现网络规划以及无线资源管理功能时,运营商的认知信息管理模块接口可以为 DNPM&SON 模块传递不同运营商的网络配置信息,以避免或者降低网络间干扰。为不同运营商之间 JRRM&SO 模块交换网络/小区的负载信息,并支持不同运营商之间用户的切换协商与执行。

3.2.2 认知信息知识库

认知信息知识库实现认知信息的存储功能,为其他功能模块提供数据的查询和更新功能。认知信息知识库由三部分组成:案例库、知识库以及多域认知信息矢量。其中知识库源于人工智能,在人工智能中,知识库的定义描述如下。

知识库:知识工程中结构化,易操作,易利用,全面有组织的知识集群,是针对某一(或某些)领域问题求解的需要,采用某种(或若干)学习方法在存储实体中存储、组织、管理和使用的互相联系的知识片集合。这些知识片包括与领域相关的理论知识、事实数据,启发式知识以及常识性知识等。

案例库:知识库中还可存在一个通常被称作案例库的特殊部分。如果对于某些问题的解决途径是肯定和必然的,就可以把其作为一部分相当肯定的问题解决途径直接存储在案例库中。本课题将案例作为单独存储的部分进行处理。在使用这部分时,智能推理学习机制将只限于选用案例库。

多域认知信息矢量:由不同域的认知信息组成,主要包括无线环境域、网络环境域、用户环境域以及政策管理域。例如地域特性、RAT 接入、干扰等级、移动性、网络负载、网络能力、用户业务需求等。

认知信息/知识库除了根据认知信息来源进行分类,还可以根据认知信息的使用范围、时间粒度等分类方法将各个部分进行更细致的划分,提高认知信息的辨识度,以便提取与存储。

3.2.3 ASM 模块

ASM 模块可以根据业务量的变化,利用感知无线电和网元重配置能力,在不同运营商的 RAT 之间动态、灵活地进行频谱资源的重新分配。ASM 作为异构网络动态频谱分配的管理模块,需要根据当前各 RAT 的业务负载情况进行负载预测,并结合考虑各 RAT 的干扰情况,保证控制在一定的相

互干扰前提下,通过异构网络间的频谱的交易管理,最终实现频谱的重新配置。ASM 模块的主要任务包括:1)关于频谱分配策略的知识(策略包含频谱使用的框架);2)关于目前频谱分配的知识(包含主频谱分配和次级频谱分配),至于知识是否以小区为基本单位还需要进一步研究;3)为 RAT 提供一个频谱框架,其基于对频谱占用以及系统级参数的评估;4)关于可交易频带的知识(用于多个运营商场景);5)具有与其他 ASM 功能模块(比如属于另一个运营商)交易频带的能力。

3.2.4 DNPM&SON 模块

DNPM&SON 模块的目标是给定特定输入信息,采用具有学习属性的优化方法为某个网络提供中期以及长期的重配置行动决策。输入信息包括三个部分:1)反映网络实体及其所处环境的状态信息(上下文信息);2)网络实体及终端的软硬件处理能力、行为、偏好以及用户的需求和限制信息(情景信息);3)与网络运营商有关的策略信息(政策信息)。

完成 DNPM&SON 优化步骤的决策有多个部分组成,主要包括:

1)应用层:QoS 分配(比如最大/保证比特速率/QoS 等级/小区);

2)网络层:RATs 和网络的业务分布,网络性能(比如切换参数优化、负载均衡、干扰控制等),网络实体交互(回程网选择以及需要支持的 mesh 方面);

3)物理层/MAC 层:网元收发信机数量,被选收发信机的激活 RAT,频谱选择,RAT 的无线参数配置(比如最大功率等级、天线倾斜角、信道选择等)。

3.2.5 RM 模块

重配置管理功能模块负责发起网络侧的重配置命令,并协调由设备发起的重配置命令。为了监管端到端重配置过程,它必须支持能力交互和协商等信令逻辑;在进入预定的软件下载过程后,它将把剩余的重配置控制权转交给软件下载管理功能;在发生域间切换时,它还需要完成一些必要的会话管理和移动性管理的上下文转换和翻译功能。重配置管理功能模块主要分为网络重配置管理功能(Network Reconfiguration Management, N-RM) 部分和终端重配置管理功能(Terminal Reconfiguration Management, T-RM) 部分。

3.2.6 JRRM 模块

此模块主要完成异构 RAT 间的无线资源联合管理,主要功能包括用户接入选择、邻近信息提供、QoS/带宽分配/接纳控制以及提供移动性和资源管理指示,在网络侧和终端侧都具有 JRRM 功能。

JRRM 模块根据用户请求的业务类型特征、终端/网络的能力等因素控制用户接入;为用户在异构 RAT 覆盖的环境下提供无缝的连接性;提供管理系统间切换的监测与判决过程,以达到更为平衡的传输和负载分配;通过与各 RAT 的 JRRM 模块协作,实现业务流更细粒度的分割和更灵活的调度。通过对业务的合理分配和对异构无线资源的合理利用,JRRM 的最终目标是在满足所有用户 QoS 要求的同时最优化网络性能,以实现用户满意度、资源利用率和系统容量等方面的提升。旨在最优化无线资源的利用率和最大化系统容量的网络控制机制。

结束语 在无线网络体系结构发展过程中,业务与控制

的分离获得了网络性能的飞跃。随着传统无线网络向认知无线网络的演进,无线网络将承载更多的认知信息,认知信息与业务和控制信息属性不同,混合承载将导致网络效率低下、处理复杂、演进困难。本文所提出新型的认知无线网络架构模型,能够更好地协调和支持网络的学习、推理、预测、融合、决策和重构等行为,使网络获得更多的自由度,可以在更高的层次上实现网络性能的再次飞跃。

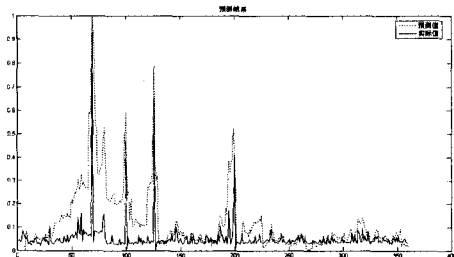
下一步研究方向是改进框架内部的认知协调功能,使得框架能够应用到实际的系统当中。

参考文献

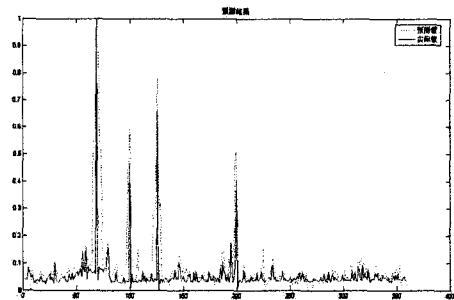
[1] Mitola J III. Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture

(上接第 298 页)

者在函数逼近方面的缺陷,综合两者的优点。因此,构建小波神经网络进行预测,识别准确率达到 90% 以上,弥补了 BP 神经网络预测精度不高的缺陷。



(a) BP 神经网络实验结果



(b) 小波神经网络实验结果

图 7

结束语 网络流量预测是近年来的研究热点,在网络规划、流量管理等方面起着重要的作用,也是业务管理的主要研究内容之一。本文针对 BP 神经网络模型的不足,引用小波理论中多分辨分析技术对 BP 神经网络的预测模型进行改进,将小波变换独特的多分辨分析能力与神经网络的自学习自适应和非线性逼近功能相结合,建立了基于小波神经网络的预测模型。该模型弥补了 BP 神经网络和小波变换在函数逼近方面的缺陷,综合了两者的优点,大大地提高了对网络流量预测的精度,识别准确率在 90% 以上。由于在本文提出的预测模型中,对输入数据采取的是全部 IP 流统计和,并没有区分不同的业务类型,而不同的业务对网络服务质量的要求是不同的,所以下一步工作是区分不同业务建立预测模型。

参考文献

[1] Yu Guo-qiang, Zhang Chang-shui. Switching ARIMA model

for Software Defined Radio[D]. KTH Royal Institute of Technology, 2000

[2] Mitola J, Maguire G Jr. Cognitive Radio: Making software radio more personal[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1999, 6(4): 13-18

[3] FCC ET Docket No 03-322 Notice of proposed rule Making and order[OL]. 2003-12

[4] FCC, ET Docket No 02-135, Spectrum Policy Task Force[OL]. 2002-11

[5] <http://www.ieee802.org/22/>[OL]

[6] <http://grouper.ieee.org/groups/scc41/4/>[OL]

[7] <http://www.etsi.org>[OL]

based forecasting for traffic flow[J]. ICASSP 2004, (2): 429-432

[2] 韩良秀, 丛锁, 阎华, 等. 基于小波技术的网络流量特征刻画[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(9)

[3] 张光胜, 李靖波, 窦文华, 等. 自相似网络流量预测研究[J]. 湖南大学学报, 2008, 35(6)

[4] 程光, 龚俭, 丁伟. 基于小波的网络流量分解模型[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 3(26)

[5] Park K, Willinger W. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation[M]. Wiley, 2000

[6] Park K, Kim G, Crovella M E. The Protocol Stack and Its Modulating Effect on Self-Similar Traffic, 2000

[7] 薛可, 李增智, 刘浏. 基于 ARIMA 模型的网络流量预测[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(7)

[8] 韩敏, 王晨, 席剑辉. 基于改进 RBF 神经网络的非线性时间序列预测[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4 增刊)

[9] Yu Guo-qiang, Zhang Chang-shui. Switching ARIMA Model based forecasting for traffic flow[J]. ICASSP 2004, (2): 429-432

[10] Gao Chuan-shan, Han Liang-xiu, Cen Zhi-wei, et al. New Multifractal Traffic Model Based on the Wavelet Transform[C]// Proceedings of the ISCA 14th International Conference: Parallel and Distributed Computing Systems. Richardson, Texas USA, Aug. 2001

[11] 曹雪, 魏恒义, 程竹林, 等. 基于小波方法的 Internet 流量的预测建模[J]. 计算机工程, 2003, 9(29)

[12] 胡俊, 胡玉清, 肖巾卿. 基于小波变换的网络流量预测模型[J]. 计算机工程, 2008, 34(19)

[13] 冯海亮, 陈淦, 林青家, 等. 一种基于神经网络的网络流量组合预测模型[J]. 计算机应用, 2006, 9

[14] 陈哲, 冯天瑾. 小波分析与神经网络结合的研究进展[J]. 电子科学学刊, 2000

[15] 褚晓勇, 徐晨. 非线性逼近的自适应小波神经网络方法[J]. 工程数学学报, 2003, 20(2): 23-27

[16] Packard N, Crutchfield J, Farmer D, et al. Geometry from a Time Series Physical Review Letters, 2003, 45: 712-715

[17] Hecht-Nielsen R. Komogrov's mapping neural network existence theorem [J]. Proceedings of the international conference on Neural Networks, 1987, (3): 11-13

[18] 葛哲学, 孙志强. 神经网络理论与 MATLAB2007 实现[M]. 2007