

认知无线电技术在电力通信中的应用浅析

姚继明，黄 莉

（中国电力科学研究院，江苏 南京 211106）

摘 要：认知无线电技术因具有提高频谱资源利用率、提高频谱资源管理水平的优势在多个行业得到了应用研究，电力行业同样存在应用的需求。电力通信是坚强智能电网各环节正常运行的重要基础，而电力无线通信作为有线通信的重要补充，对智能电网的发展有着不可或缺的作用。针对电力行业无线通信频谱资源有限、海量无线通信终端通信需求的现状，提出将认知无线电技术应用于电力通信中，首先对认知无线电与软件无线电的区别和研究现状进行了简要介绍，并对具体应用的需求、优势以及难点问题进行了详细分析和阐述。基于认知无线电技术的电力通信系统将体现出快速的无线接入、高效的频谱利用、合理的频谱共享、优质的频谱管理、有效的干扰规避等特点，将是智能电网无线通信网络发展的重要支撑力量。

关键词：智能电网；认知无线电；电力通信；频谱资源；无线通信

0 引言

随着国家电网公司在 2009 年提出“坚强智能电网”的发展规划，智能电网的建设正在按照规划有条不紊地开展进行着。伴随着智能电网的发展，也带动了一批新兴技术的发展，同时新兴技术也促进了智能电网的发展。物联网就是其中的技术之一，将物联网技术应用在智能电网的建设中，可以实现电厂生产设备的全程监控，让输电线路变电设备可视可控，让配电网络更智能、用电信息采集互动服务水平更高，实时交互体现人性化的互动服务。然而，物联网的发展需要以频谱资源有效供给为前提^[1]，智能电网的发展必将产生海量终端，形成海量的数据量，频谱资源短缺将成为限制物联网在智能电网应用的重要因素。另外，电力通信在发展过程中，也积极探索了各种无线通信技术，使用了多种无线通信终端，这些都对频谱资源的利用和管理提出了更高的要求。

为解决现阶段频谱资源固定分配的弊端，提高频谱资源利用率，Joseph Mitola提出了认知无线电（cognitive radio, CR）的概念^[2]，不同的使用组织定义了不同的认知无线电概念，但其基本思想都是一致的，综合来说，认知无线电是一个智能无线通信系统，它能够感知外界环境，并使用人工智能技术从环境中学习，通过实时改变某些操作参数(比如传输功率、载波频率和调制技术等)，使其内部状态适应接收到的无线信号的统计性变化，具有认知能力和重构能力两个基本特征，实现任何时间任何地点的高度可靠通信，对频谱资源的有效利用。

将认知无线电技术应用于电力通信中，将有效解决电力无线通信发展的频谱资源瓶颈问题，提高频谱资源的利用效率，弥补固定频带分配策略的不足，提高频谱资源管理水平，有力支撑物联网技术在智能电网的应用，推进智能电网的发展，提高智能电网建设水平。

1 认知无线电与软件无线电区别

Joseph Mitola博士认为认知无线电是对软件无线电(Software Defined Radio, SDR)功能的进一步扩展^[3]，作为一种更智能的频谱共享技术，认知无线电是具有频谱感知能力的智能化软件无线电，理论上允许在时间、频率以及空间上进行多维的频谱复用，从而大大降低频谱和带宽限制对无线技术发展的束缚。两者的主要区别在于认知无线电自适应频谱环境，而软件无线电自适应网络环境。认知无线电的实现不一定需要软件无线电的支撑，但如果借助于软件无线电，则认知无线电会具有更多潜在的优势。

文[4]中认为软件无线电关注的是采用软件方式实现无线电系统信号的处理；而认知无线电强调的是无线系统能够感知操作环境的变化，并据此调整系统工作参数，实现最佳适配。从这个意义上讲，认知无线电是更高层的概念，不仅包括信号处理，还包括根据相应的任务、政策、规则和目标进行推理和规划的高层活动。所以，认知无线电是智能化的软件无线电。

对以上内容进行分析,本文认为,认知无线电技术是软件无线电技术的基础上发展的一种新型智能通信技术,是对软件无线电技术的丰富和提升,进一步丰富了系统的调整参数,改变单一调整参数的不足,从更全面的角度来调整通信参数使系统自适应的适应通信环境;进一步提升了系统的智能水平,能够主动进行频谱感知、分析和决策,智能化地选择合适的调制机制、通信功率、通信频段等,有效提高频谱资源利用率,有力对抗各类电磁干扰对频谱的影响。在现阶段,认知无线电的发展还是需要基于软件无线电的基础上进行,通过技术结合,充分发挥软件无线电和认知无线电的技术优势,实现技术的平稳过渡,实现原有技术的升级。

2 认知无线电研究现状

自从认知无线电的概念被提出以来,引起了国内外大量的研究机构、组织、高校等单位的积极关注,并开展了大量认知无线电项目的研究,旨在提出完整的认知无线电框架、突破认知无线电关键技术、促进认知无线电有序发展,本小节针对研究单位和应用现状对认知无线电的发展现状进行简要阐述。

2.1 研究单位

研究机构、组织^[5]:

IEEE 相关标准: IEEE 对于认知无线电技术的标准化推进工作比较积极,目前正在制订的与认知无线电相关的标准主要包括: IEEE802.22、IEEE802.16h、IEEE P1900、IEEE802.11h 以及 IEEE802.11y 等。

ITU-R: ITU 关于认知无线电的研究工作目前仍隶属于 ITU-R8 A 工作组中的软件无线电研究课题,将认知无线电单独作为一个研究课题进行研究。

软件无线电论坛: 该论坛于 2004 年 10 月成立了认知无线电工作组与认知无线电特殊兴趣组,专门开展有关认知无线电技术的研究。认知无线电工作组主要任务是标准化认知无线电定义及确认可用于认知无线电的技术。

DARPA XG: 美国国防部高级研究计划署 (DARPA)于 2003 年成立了下一代通信计划(XG),着眼于开发认知无线电的实际标准和动态频谱管理标准,计划研制以认知无线电为核心的系统方法和关键技术,以实现动态频谱接入和共享。

研究高校:

目前,国内外多个高校启动了很多针对认知无线电的重要研究项目,国外^[2],德国Karlsruhe大学的F.K.Jondral教授等提出的频谱池系统、美国加州大学Berkeley分校的R.W.Brodersen教授的研究组开发的COVUS系统、美国Georgia理工学院宽带和无线网络实验室Ian F.Akyildiz教授等人提出OCRA项目。国内,清华大学、西安电子科技大学、北京邮电大学、南京邮电大学等国内高校都开展了大量的认知无线电技术的研究和应用工作。

2.2 应用现状

军事方面: 文[6]中简要叙述了认知无线电产生的背景和关键技术,重点分析了认知无线电技术在军事通信中的应用优势,最后对军用认知无线电面临的机遇和挑战进行了初步探讨。文[7]中也开展了认知无线电在军事通信中的研究,定义了军用认知无线电,并对认知无线电在军事领域的应用前景进行了概括。

传感网方面: 文[8]中针对传统无线传感器网络技术的不足,提出将认知无线电技术应用到无线传感网中,提出了一种认知无线电无线传感器网络(CR-WSN)模型,并对其体系结构进行了分析,将认知无线电技术应用到无线传感器网络中能有效减少同信道干扰,增强数据传输的并发性,解决传统无线传感器网络对信道的利用率不高的问题。文[9]中尝试将认知无线电技术应用到基于 ZigBee 技术的无线传感网中,提出了一种多频多跳的 Ad-hoc 组网方法,解决了传统网络采用时分复用的方法时对信道的利用率不高的问题。

矿井方面: 文[10]中提出为实现矿井的有效通信,将认知无线电应用于煤矿井下,分析了矿井下的特色通信环境,并在此基础上重点针对认知无线电系统网络结构、频段划分和切换以及信道估计技术在煤矿通信中所面临的问题进行了讨论,并给出了相应的解决方案。文[11]中介绍了适用于矿井的 CR-WSN

监测系统结构、节点的硬件组成和 CR-WSN 模块间的通信,给出了性能测试方案。测试结果表明 CR-WSN 比普通 WSN 具有更强的抗干扰性能。

公网通信方面:文[12]中从频谱感知技术、动态频率选择技术、频谱共享和分配技术方面探讨了认知无线电与 WiMax 的可能结合点,为认知无线电在 WiMax 中的应用奠定了基础。

应急通信方面:文[13]中提出将认知无线电技术应用于震后应急通信中,根据应急通信的特殊性和要求,建立了一个基于认知无线电技术的通信模型,提出了解决震后通信线路拥堵并提高频谱资源利用率的新方法,为震后应急通信建设提供了新的思考模式和技术前景。

3 电力通信应用需求

安全、可靠、实时的通信是支撑坚强智能电网建设的公共平台和重要手段,贯穿发电、输电、变电、配电、用电、调度六个环节,是坚强智能电网各环节运行的重要基础,无线通信作为有线通信的重要补充,有力地支撑了智能电网通信全面覆盖的需求,而且物联网技术在智能电网的应用也促进了智能电网的发展,大量无线通信终端的使用带动了电网各环节的发展,但同时也带来了以下新的需求:

(1) 火力发电、风力发电等发电设备会产生大量的电磁干扰,不仅对各类保护设备造成影响,也会对无线通信设备造成影响,无线通信设备一般用于各类状态监测数据的传输,选择合适的频带进行数据传输,提高通信设备的抗干扰能力,保证监测数据实时、可靠传输,对发电相关设施的正常运营有着十分重要的意义;

(2) 大多数输电杆塔处于野外,横穿山脉、树木和植被等多种物体,无线信号受到多种因素的干扰,各类因素会造成信号衰减,同时系统的通信范围、可靠性也受到影响,进而对输电线路状态监测的效果造成影响,对通信终端的自适应通信能力提出了更高要求;

(3) 变电站范围内的高电压设备较多,运行过程中会产生较大的电磁干扰,对变电站内的传输状态监测数据的无线通信终端造成干扰,频谱环境干扰情况较为复杂,一般不具有可循规律性,采用固定频谱规避方法作用不大,另外随着智能变电站的建设,小范围内无线通信终端数量越来越多,这些现状都对无线终端的使用频谱的方式提出了挑战;

(4) 大量的配电状态监测终端一般分布在市区等人口密集区,这种区域频谱环境较为复杂,存在多种无线通信设备和未知的无线干扰,而且不同地区的频率干扰不同,给通信频率的选择带来了难题,通信终端需进一步解决高效通信问题,减少干扰影响程度,进一步提高配电自动化的准确性和实时性;

(5) 随着智能用电小区建设的推进,将会出现多种无线通信终端,这使频谱资源匮乏的程度进一步加重,对电力用户的用电信息采集、智能家居、清洁能源发电系统以及电动汽车充电系统都会造成影响,选择频谱利用率高、通信稳定性强的技术手段十分必要;

(6) 电力通信调度的正常与否直接关系到电力网运行的安全,通信网络是调度自动化的有效支撑,无线通信可以作为有线通信的备用,也可以作为有线的延伸和补充,大量无线通信设备的使用离不开频谱资源的支撑,在现阶段频谱资源固定分配和频谱资源有限的情况下,找出高效利用频谱资源的方法对电力智能调度意义重大。

4 技术应用的优势

为了有效解决无线通信质量问题,在实际中形成了一定的基本技术措施,包括增大发送功率提高传输能力,采用全向天线提高天线增益,利用高效信道编码技术提高接收机灵敏度,采用 OFDM 技术、单载波频率均衡、时域均衡等手段对抗多径干扰,使用频分、时分、码分等共享机制提高频谱利用率,甚至采用电力专用的无线频段来用于数据传输以减少其他无线设备的干扰,但这些措施还不能满足普遍适应的效果,智能电网下的无线通信需要保证快速的无线接入、高效的频谱利用、合理的频谱共享、优质的频谱管理、有效的干扰规避,满足各类数据的随时随地传输通信需求,因此,具有自感知、自分析、自决策和自适应能力的认知无线电技术将对应用于智能电网的无线通信发展有着积极的促进作用,主要表现在以下几个方面:

(1) 实现高效无线通信

相对于传统的无线通信系统，采用基于认知无线电技术的无线通信系统能够智能地对无线通信环境进行感知，充分挖掘空闲的频谱资源信息并加以利用，通信效率得到了提高，实现高效率的无线通信，有效缓解了各类服务于电力运行状态监测的通信终端的无线通信需求。

（2）提升系统通信能力

相对于固定频谱资源分配的现状，基于认知无线电技术的无线通信系统能够有效弥补固定分配策略的不足，灵活地利用固定分配的频谱资源且不对授权频段的用户产生干扰，保证电力无线通信授权终端的正常通信，同时还实现频谱资源共享，扩大了系统的通信能力，在一定程度上缓解了频谱资源匮乏的现状。

（3）提高频率资源管理水平

无线频谱资源管理一直都是难题，采用固定频谱资源策略能够缓解资源管理的压力，但随着无线技术的不断发展，该种策略的弊端日益凸显，对电力行业来说，固定分配的可利用频谱资源更加稀缺，采用认知无线电技术能够实现频谱资源动态分配，提升频谱资源管理水平。

（4）增强系统抗干扰能力

采用认知无线电的无线通信系统，能够主动感知使用频带上的干扰情况，经过频谱感知、分析和决策的过程进行自适应通信参数调整，有效缓解各类高压电气设备干扰、多类通信设备干扰以及其他未知干扰的影响，提高通信抗干扰能力，实现信息可靠传输。

5 技术应用的难点

认知无线电的使用，能够有效缓解频谱资源的不足，对服务于电力通信的无线通信系统有着重要意义，但认知无线电也还存在一些难点问题需要解决，一方面是认知无线电技术本身需要解决的难点，另一方面是在电力通信中应用的难点，本文侧重于电力通信的研究，所以下面主要介绍认知无线电在电力通信中应用的难点。

处理能力：认知无线电技术认知能力和重构能力离不开强大的处理能力支撑，在高速、高效的基础上才能实现更可靠的频谱感知、频谱分析和频谱决策，而应用于电力行业的无线通信终端一般受硬件、功耗、成本等因素的限制，处理能力不高，这是应用的一个难点。

功耗：处理能力要求的提高必然带来功耗的增大，大量频谱信息的感知、融合将进一步消耗能量，而电力监测的传感装置一般功耗有限，且布置位置较为特殊不利于更换电源，这也给认知无线电技术应用于电力无线通信终端带来一定的问题。

成本：处理能力的提高也对硬件提出了进一步的要求，硬件的支撑也将直接影响设备的成本，而随着智能电网的建设，将部署大量的无线监测通信终端，这就需要综合考虑设备的成本，如何降低应用的成本也是需要解决的问题。

安全：认知无线电的使用允许非授权用户使用授权用户的频带资源，这样就给无线通信系统带来了一定的安全隐患，必须采用更安全的技术手段来保证数据的安全、接入的安全和系统的安全。

异构融合：随着无线通信技术的不断发展，多种通信技术融合已成为无线通信发展的趋势，对频谱感知、MAC 协议的有效运行提出了挑战，研究异构网络下的认知无线电应用模型和应用方法十分重要也是研究的难点。

6 结束语

认知无线电技术作为解决频谱资源匮乏的有效技术手段，近几年来，得到了国内外大量研究机构、高校以及组织等单位的重视，并开展了认知无线电技术在多个行业的应用研究。通信网络作为智能电网的重要支撑，对智能电网的发展有着不可或缺的作用，无线通信作为有线通信的重要补充，对智能电网的发展有着积极的作用。大量无线通信终端的使用给频谱资源使用带来了难题，本文提出将认知无线电技术应用于电力通信中，并对应用的需求、优点和难点问题进行了探讨和分析。

参考文献:

- [1] 何廷润.物联网发展需以频谱资源有效供给为前提[J]. 通信世界,2010(3):28-28.
- [2] 王军,李少谦.认知无线电:原理、技术与发展趋势[J].中兴通讯技术,2007,13(3):1-4.
- [3] 赵勇.认知无线电的发展与应用[J].电讯技术, 2009,49(6):93-101.
- [4] 杨小牛.从软件无线电到认知无线电,走向终极无线电——无线通信发展展望[J].中国电子科学研究院学报,2008,3(1):1-7.
- [5] 陈劫,吴非.认知无线电标准化进展[J].中兴通讯技术,2007,13(3):9-11.
- [6] 赵陆文,周志杰,缪志敏,等.浅析认知无线电在军事通信中的应用[J].无线通信技术,2007,16(4): 31-35.
- [7] 王忠思,黄辉,于爽.认知无线电技术及其在军事通信上的应用[J].四川兵工学报,2009,30(7): 125-127.
- [8] 陆佃杰,黄晓霞.认知无线电在无线传感器网络中的应用[J].传感器与微系统,2009,28(8): 113-115.
- [9] 张欣,贾明华.认知无线电思想在ZigBee无线传感器网络中的应用[J].单片机与嵌入式系统应用,2009(7):15-18.
- [10] 马国礼,王中苓,黄衍法.认知无线电技术在煤矿井下的应用[J].计算机科学,2010,37(7):34-36.
- [11] 王泉夫,陈丽华,钟强,等.认知无线电在矿井无线传感器网络系统中的应用[J].传感器与微系统,2009,28(8):113-115.
- [12] 刘颖,魏翼费,张勇,等. WiMAX系统引入认知无线电的探讨[J].移动通信,2008,32(12):30-34.
- [13] 蒋晓红,吕东强,肖斌.认知无线电在山区无线通信中的应用研究[J].无线电通信技术,2010,36(6): 55-58.

作者简介:

姚继明 (1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 电力通信技术;

黄 莉 (1986-), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向: 电力通信技术。