

无线区域网和 认知无线电技术

田峰,程世伦,杨震

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

1

802.22工作组的主要任务是开发和建立一套基于认知无线电(CR)技术,在现有电视频段利用暂时空闲的频谱进行无线通信的区域网空中接口标准。由于基于802.22协议的无线区域网(WRAN)工作在现有电视频段中,要求不能对正在广播的电视频谱产生干扰,所以WRAN采用了CR技术,对电视频段进行感知和测量,利用动态频谱管理技术找到空闲频谱进行再分配。CR技术将是未来无线通信的发展方向之一。本讲座将分3期对无线区域网和认知无线电技术进行介绍,第1讲介绍无线区域网和IEEE 802.22工作组情况,包括WRAN背景、802.22系统、802.22空中接口等;第2讲介绍CR技术和实现其的基础——软件无线电(SDR)技术,包括无线电知识描述语言(RKRL)和认知循环、无线电频谱礼仪等;第3讲介绍802.22 WRAN频谱共存问题和CR技术的应用。

中图分类号:TN92 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2006) 04-0061-04

1 无线区域网和802.22 工作组

随着信息时代的到来,无线设备被广泛使用,使得无线频谱成为现代社会不可或缺的甚至是比土地和矿藏更宝贵的资源。一般通信系统发射机和接收机进网使用都需要政府批准,授权频段,然后才能进入通信网络。因此那些免授权的频段,如无线局域网(WLAN)所在的频段(2.4 GHz ~ 2.484 GHz),在无线技术的发展中起到了重要作用,许多重大技术革新在这里发源。由此产生的一系列突破性的成功以及由之带来的许多先进技术使得制订标准的组织,如美国电气电子工程师学会(IEEE)、美国联邦通信委员会(FCC)等,开始分析如今频谱的利用方式以试图提高无线资源的利用率。

2002年11月FCC发布了频谱政策特别工作组(SPTF)递交的报告,目的在于提高频谱管理方式。事实上在许多频段,频谱利用率是比频谱物理稀缺更重要的问题。如果对城市地区和乡村偏远地区进行无线电频谱扫描,就会发现:某些频段在大部分时间里

是空闲的,一些频段只是有时被占用,剩余频段则被过度使用。出现这种现象的一个原因是目前有线电视被广泛使用,收看无线电视的观众大大减少,在城市地区这一现象尤其突出。这就促使FCC重新审视频谱管理的传统方法。他们不仅意识到在特定的授权频段频谱利用率很低,而且意识到无线资源的缺乏极大地制约了无线应用的发展,使得包括宽带接入、公共安全、卫生保健、商业以及娱乐方面的应用无频率资源可用。

认知无线电(CR)被认为是解决上述无线频谱低利用率问题的最佳方案。认知无线电是一种智能的无线通信系统,它能感知周围无线环境,通过对环境的理解、主动学习等措施,实现在特定的无线操作参数上(如功率、载波调制和编码等)的实时改变并且能调整系统的内部状态,适应外部无线环境的变化。认知无线电具有在不影响其他授权用户(即主用户(PU))的前提下智能地利用空闲频谱的能力,并具有随时随地、智能、高可靠通信的潜能。而诸如信号处理、人工智能、软件无线电、频率捷变、功率控制等技术的迅猛发展使得认知无线电具有特殊性能。

FCC于2004年5月发布建议制订

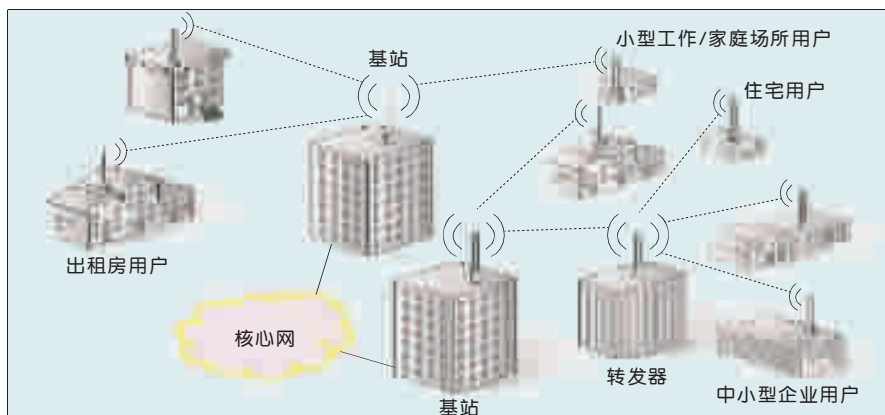
规则的通告(NPRM),允许未授权用户在不影响授权用户(如电视接收者)业务的前提下,通过基于认知无线电的技术使用电视广播频段中的空闲无线资源。

2004年10月,IEEE 802委员会成立了802.22工作组,授权开发一个共同操作的点到多点(P-MP)的空中接口(即物理层和媒质接入层)标准,该标准用于现存广播电视服务所在的频段,实现基于认知无线电的无线区域网(WRAN)。WRAN能够实现基于包的传输,因此支持个人家庭住户、多聚居单元、小型工作/家庭场所(SO-HO)等的一系列通信服务(如因特网接入、数据传输、语音和流视频)。目前,802.22工作组已经基本完成了其技术需求的规范。

1.1 目标市场

目前,基于802.22协议的WRAN被用于在无干扰的基础上利用那些未被使用的广播电视频段,主要应用在农村和偏远地区,以及人口密度低、服务困难的地方,实现无线宽带接入,性能要能和那些在城市和城郊地区使用的固定宽带接入技术相媲美。由于农村人口密度低且宽带接入不方便,所以促使FCC加速了为现有

基金项目:教育部重点科技项目(206055)



▲图1 基于802.22协议的WRAN系统结构

网络技术难以覆盖地区提供宽带接入的新技术的研究, 同样WRAN在不发达的南美洲、非洲、亚洲也适用。

事实上, 为农村和偏远地区提供宽带接入需要新的网络具有大的覆盖面, 是FCC选择电视频段的主要原因, 因为该频段有特别适合偏远地区用户使用的传递特性; 另外, 如果大多数家庭和商业用户都依赖光纤和卫星实现电视服务, 那么美国许多地区大量的电视频道都没有使用, 造成了资源的浪费; 最后, 至关重要的一点是, 用于电视频段的802.22设备不需要牌照, 这将进一步降低成本, 从而提供一个可负担得起的服务。然而, 这并不是说802.22的应用和市场仅限于农村和偏远地区。实际上还有许多其他可利用WRAN的市场目标, 包括个人家庭住户、多聚居单元、SOHO、小商业用户、多用途写字楼, 以及工作场所和校园。相信基于CR的技术必将为现有的各种无线通信系统带来新的发展机遇。

1.2 基于802.22的WRAN系统

基于802.22的WRAN系统的目标在于提供类似于不对称数字用户线(ADSL) 和有线调制解调器差不多的宽带接入服务, 但是在低人口密度的乡村地区展开部署更经济。一个802.22系统包含一个802.22物理层和媒体访问控制(MAC)层的实现, 其中至少一个用户和基站通过点到多点的

无线空中接口通信。点到多点的无线电系统主要目标在于使用甚高频/超高频(VHF/UHF) 广播电视频段。在美国, VHF/UHF广播电视频段(从2到69电视频道), 一般一个电视频道占用6 MHz的带宽, 这样开放的频谱范围包括 54 ~ 72 MHz、76 ~ 88 MHz、740 ~ 806 MHz。除了被称作主要业务的电视业务, FCC允许其他的业务, 如无线微型电话, 在空闲的电视频段上进行通信, 只要不相互影响。802.22的目标是制订一个能适用于不同国家的国际标准。由于电视业务未进行全球统一信道化, 推出的标准也必须适用于其他国家的各种不同的电视信道带宽, 如6 MHz、7 MHz和8 MHz的带宽。

图1所示为基于802.22的WRAN系统部署结构示意图。802.22系统必须包括一个基站和多个用户驻地设备(CPE), 至少要有有一个CPE。基站必须是点到多点, 通过使用全向天线和一个成形扇区或者自适应天线阵列实现下行流信号发射到用户设备。为

了实现共存, 802.22必须包含相应的物理层和MAC层控制机制, 允许基站基于对授权用户的频谱感知来动态改变网络的功率或者频率, 以避免干扰。为了解决排列或重叠覆盖造成的问题, 实现更好的共享频谱, 系统还必须包含各基站之间的协调机制。

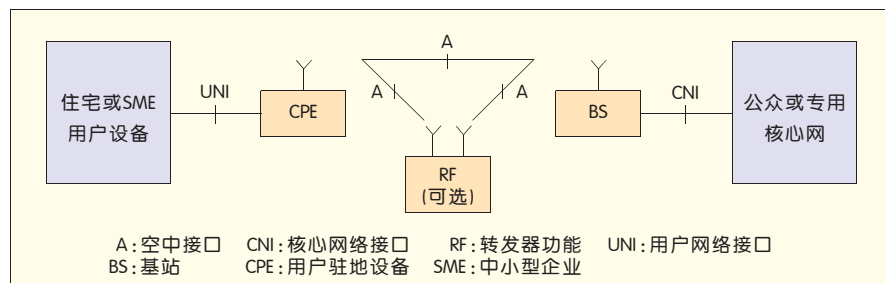
1.2.1 无线接入参考模型

图2所示为802.22系统的无线接入参考模型, 它描述的是用户网络(UN)和核心网(CN)之间的空中接口模型。一个大型的802.22系统包括用户终端、基站互联网络和网络管理等设备, 但这个模型主要考虑的是空中接口问题, 如模型中所示的核心网络接口(CNI)和用户网络接口(UNI)。一个CPE通过UNI可以支持多个用户, 它们可以互相传输数据、语音、图像等信号; 同样一个基站通过一个或多个CNI也可以支持多个核心网。

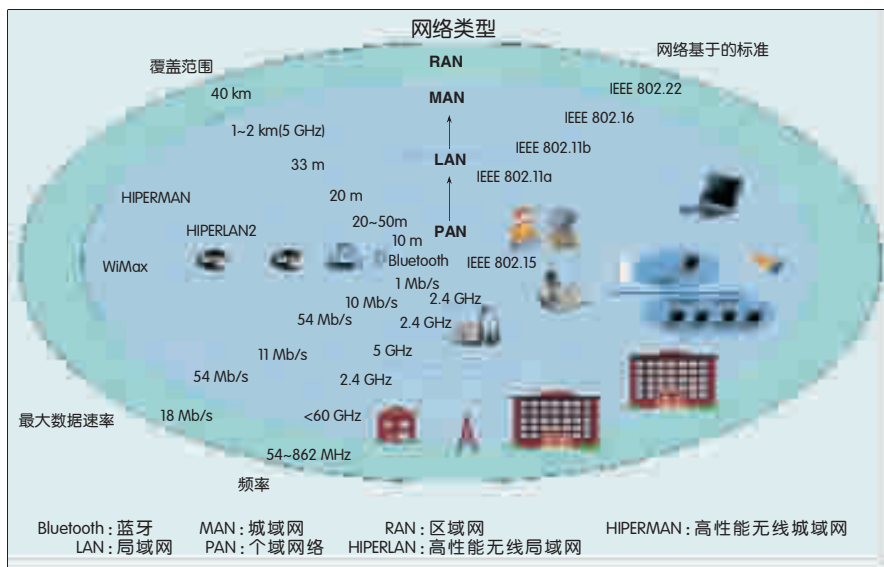
1.2.2 网络实体关系和拓扑结构

802.22系统规定了固定的点到多点的无线空中接口, 中继器用于扩展覆盖范围或者增加网络的容量, 其中的所有设备都必须在基站的控制之下, 包括中心化的功率控制、频谱管理和调度控制。

在图1所示的系统里, 基站监督和控制无线资源分配。基站控制单元内的媒体接入并通过下行方向向不同的用户驻地设备传送信息, 同时用户驻地设备通过上行方向响应基站。为了确保对授权业务的保护, 802.22系统中基站和用户驻地设备之间应建立严格的主从关系。在没有接收到来自基站的正确授权以前, 任何用户驻地设备都不允许传送信息, 并且基



▲图2 WRAN系统无线接入参考模型



▲图3 几种典型无线网络的覆盖范围

站控制所有用户驻地设备的射频特性(如调制、编码和操作频率)。除了调整一个单元内的数据传送外,802.22系统中的基站还具备传统基站所没有的分布式感知管理的特性,用来确保授权业务得到保护。在分布式感知过程中,基站通过对相关的用户驻地设备进行远程控制实现对射频环境的分布式感知。如果有反馈信息,则基站根据该反馈信息决定感知单元将要采取的步骤。

1.2.3 业务容量和覆盖区域

在802.22点到多点系统中,因为要给许多的用户驻地设备提供服务,所以基站的容量应该更大。其中每个用户驻地设备在下行方向上所需的最小吞吐率为1.5 Mb/s,上行方向的峰值吞吐率为384 kb/s,这个速率可与数字用户线相媲美。频谱效率是无线接入系统的重要性能指标。在基站的覆盖范围之内频谱效率随位置的改变而改变,受距离、传播信道损失、干扰,以及每个给定信道上可用的调制和编码参数的影响。802.22系统规定了从0.5 b/(s/Hz)~5 b/(s/Hz)的通信频谱效率。每个可能的传输链路上每个用户驻地设备通过设计可以实现最大的频谱效率。

与已经制订的各802标准相比,

802.22无线区域网的显著特点是基站覆盖范围更大,可达40~100 km。几种典型无线网络的覆盖范围如图3所示。由于WRAN设备采用高功放,加上电视频段优良的电波传输特性,无线区域网具有更大的覆盖范围。这种增强的覆盖范围不仅提供了机遇,也带来了技术挑战。

1.3 802.22协议

802.22协议决定了多个设备之间的协同操作。协议交互发生在协议的每一层。其中802.22 MAC和物理层协议栈对于所有被支持的服务都是相同的。802.22中MAC层的中心目的是共享无线信道资源。MAC协议定义了如何和何时初始化在信道上的传输。

由于用户驻地设备与一个或更多的基站竞争容量,所以MAC协议应该有效地管理竞争和资源分配。物理层可细分为一个会聚子层和一个物理媒体(PMD)子层。PMD是物理层的主要部分。就像MAC层的会聚层,物理层的会聚层能自适应映射MAC层的特定需要到通用的PMD服务。

1.4 802.22空中接口

由于802.22系统中的点到多点无线设备使用的是电视频段,在该频段

范围内基站和用户之间可以在短距离环境和无视线路径环境下通信,该频段的无线电波有很强的穿透性,即使在基站和用户被部分或完全阻挡的情况下仍然可以互相通信。不过在这种情况下会导致信号严重衰弱并且存在多径效应,影响通信质量。为了与原来电视频道的主用户共存,802.22系统的物理层和MAC层协议应该允许基站根据感知结果,动态调整系统的功率或者工作频率,还应包括降噪机制,这样可以避免对原来电视频道的主用户造成干扰。

为了保证在授权业务不受影响的前提下实现系统操作,802.22空中接口需要有较强的自适应性和可扩展性。自适应性是指对于特定传输参数的修改和用户驻地设备参数的更新与软件下载。自适应性应该包括速率和功率的自适应性。可扩展性是指系统的操作参数可变,如比特速率、信道带宽、覆盖程度、部署等。可扩展性包括带宽可扩展性和链路对称可扩展性。

1.4.1 物理层

图4描述了授权业务在广播电视频段上时域和频域的占用情况,横轴是时间,纵轴表示不同的频段。从图4可看出,802.22基站和用户驻地设备间的通信机会也就是信道空闲的出现是随机的,并且会影响物理层和MAC层的架构设计。此时物理层需要在较低的复杂度下提供高性能可靠通信。

802.22物理层在调制和编码方面具有高度的可扩展性。用户驻地设备到基站有着不同的距离,从而导致的不同的信噪比。基站可以通过动态调整调制和编码方式来解决,这样提高了系统效率。

为了使认知无线电对授权业务以及自身的干扰最小,有效的传输功率控制(TPC)非常重要。802.22标准支持链路间的功率控制,允许用户驻地设备的功率减小到一个可靠的可维持链路通信的最低等级。为了尽可能



地增加链路的吞吐量,可以在较低的发射功率和灵活的调制机制之间进行折衷。为此802.22定义了功率控制的动态范围为以30 dB为中心,上下浮动1 dB。动态频率选择(DFS)是实现共存时其物理层需要考虑的另一因素。不仅体现在较短时间内调整操作频率,而且体现在如何调整频率以达到节能的目的。当考虑对电视频带和其他授权用户的邻信道干扰时,WRAN系统只能被限制在很小的一部分信道上操作。802.22必须包含占用信道的可扩展性,至少需要适应现存的6 MHz、7 MHz、8 MHz 3种不同的电视带宽。从调制的观点考虑,只要产生干扰便可以释放其中任何一个被干扰的信道,使得每个电视频道可以变得独立。这时WRAN系统可以考虑占用不止一个电视信道来增加链路容量。

1.4.2 MAC层

为了能及时对外界环境的变化如主用户的出现做出响应,基于认知无线电的802.22 MAC层需要具有高度的动态性能。除了提供媒体接入控制、鲁棒数据传输等传统业务能力,802.22 MAC层还需要提供一套传统标准所没有的全新的功能,其中包括频谱的分布式感知和频谱的动态管理等,以实现与广播电视共享频谱。

(1)接入初始化

在任何MAC协议中,初始化都是

必要的,而且一般依靠中心基站进行。但在WRAN中并不是这样的,802.22中的用户驻地设备启动时,首先需要花一定的时间扫描所有的电视频段从而建立一个标识,即每个信道占用情况映射图,用来表示是否探测到主用户信号。该信息将随后被传送给基站。802.22不像现存的无线技术,用户驻地设备没有利用预判决信道技术去寻找基站。802.22可能会利用信道融合技术,将多个空闲信道结合在一起,从而提高性能,但这样一来基站的同步任务将大大增加。

(2)感知管理和频谱管理

为了使802.22系统不对主用户业务造成破坏性干扰,基站需引导相关用户驻地设备在带内或带外进行周期感知测量活动。其中带外测量对应于其他所有未受影响的信道,带内测量涉及基站用于同用户驻地设备通信的信道以及受该通信影响的邻近信道。在带内测量时,基站必须停止信道中的一切数据传送,而在带外测量中不需要。802.22设备需要通过基站的动态控制在较低的信噪比下以非相干的方式感知信号,从而确定主用户的存在。但是在带内感知时,基站无法和用户驻地设备通信,因此感知时间越长对通信性能损害越大。另外,基站并不需要每个用户驻地设备都进行相同的感知活动,它可以使用一些智能的综合算法将感知任务分

配到各个用户驻地设备,一旦得到足够的感知数据,那么基站通过将它们进行融合从而获得整个蜂窝单元的频谱占用图,并采取适当的步骤改变相关的用户驻地设备的操作参数,如操作频率和功率等级,来解决潜在的干扰问题。802.22的MAC层设计中感知管理还需要考虑感知的测量持续时间、感知的测量频率以及采用设备等等。802.22还综合了管理频谱的功能,比如切换信道、挂起/重启信道传输、终止/重启信道操作等,以保证主用户业务得到保护和实现有效共存。

(3)传播延迟

另一个重要的问题是MAC层设计必须能够支持传播延迟。如802.22系统试图在离发送基站100 km范围内提供服务,其环形传播延迟将超过30 μ s。这使得MAC层需要补偿由不同用户驻地设备所引发的不同传播延迟。这种大的延迟将阻碍有效接入,有效接入在各种业务共存时特别重要。

(待续)

收稿日期:2006-03-23

作者简介



田峰,南京邮电大学信号与信息处理专业在读博士研究生,研究方向为无线通信与网络信号处理。



程世伦,南京邮电大学信号与信息处理专业在读博士研究生,研究方向为无线通信与网络信号处理。



杨震,南京邮电大学校长、教授、博士生导师,主要研究方向为无线通信与网络信号处理、语音处理与现代语音通信技术、信息安全技术。