

WiMAX宽带无线接入技术及其应用

刘丹谱, 郝建军, 乐光新

(北京邮电大学, 北京 100876)

[编者按] 作为一种新兴的宽带无线接入技术, WiMAX近年来受到了业界的普遍关注。它的主要技术特点是传输速率高、覆盖范围大、支持移动性、提供QoS保证并采用基于全IP的网络架构, 实现了数据分组化、接入宽带化和终端移动化三者合一, 因而具有广泛的应用前景。本讲座将分3期对该技术进行介绍: 本期介绍WiMAX及IEEE 802.16系列协议的基本特点、协议结构和物理层基本特性及关键技术; 第2期将讲述WiMAX技术的MAC层特性及其QoS机制; 第3期将介绍WiMAX技术的网络架构、组网模式及其应用, 并分析其未来发展趋势。

中图分类号: TP92 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2008) 01-0057-04

1 WiMAX与IEEE 802.16标准

无线通信是通信领域中发展最快的通信方式, 它的发展趋势是宽带化、IP化、多业务化和泛在化。除已广泛应用的蜂窝网技术外, 宽带无线接入技术还包括无线局域网技术、无线城域网技术和新兴的无线广域网技术, 其中基于IEEE 802.11标准系列的无线局域网技术最早被推出, 目前已逐步走向成熟并商用。

与此同时, 为了获得更大的覆盖范围、更高的传输速率和更好的服务质量, IEEE 802.16工作组自1999年成立以来制定了一系列的无线城域网标准。借鉴无线局域网联盟(Wi-Fi)组织对基于IEEE 802.11标准的无线局域网的巨大推动作用, Intel、富士通和诺基亚等公司于2001年共同成立了非营利性工业贸易联盟——全球微波接入互操作(WiMAX)论坛, 旨在推动与保证基于IEEE 802.16系列标准的宽带无线设备的兼容性和互操作性。从此以且, WiMAX就成为了IEEE 802.16系列标准技术的代名词。

IEEE 802.16 (以下简称802.16)工作组相继推出的空中接口标准包括802.16、802.16a、802.16d、802.16e。目前的两个主流标准是802.16d和802.16e, 分别应用于固定和移动通信。802.16d是对802.16和802.16a标准的整合和修订, 定义了支持多种业务类型的固定宽带无线接入系统的媒体接入控制(MAC)层和相对应的多个物理层框架。802.16e在802.16d的基础上增加了部分新的功能, 以支持用户的移动性。总的来说, 作为一种以无线方式实现“最后一公里”宽带接入的技术解决方案, 802.16系列标准规范了一个支持语音和视频等低时延应用的协议, 可以为用户提供固定、移动、便携形式的高速数据、语音和视频传输服务。

与其他无线通信技术相比, WiMAX有传输速率高、覆盖范围大, QoS机制完善, 数据安全性高, 网络架构全IP等优势:

(1) 传输速率高, 覆盖范围大

通过在物理层采用先进的正交频分复用、多天线技术以及灵活的编

码调制方式, WiMAX系统的频谱利用率得到显著提高, 同时可支持非视距通信和无缝覆盖。使用20 MHz带宽时最高数据传输速率达75 Mb/s, 是3G所能提供的30倍。同时, WiMAX采用宏小区方式, 视距传输下每个基站的最远覆盖半径可达50 km, 典型覆盖半径为6 km~10 km, 只要建设少数基站就能实现全城覆盖。

(2) 完善的QoS机制

WiMAX采用面向连接的方式, 其MAC层定义了较为完整的QoS机制和4种不同的业务类型。WiMAX可分别为用户提供高质量的视频和语音业务、普通质量的视频和语音业务、以及无质量保证的Internet等业务, 并可根据业务的实际需要动态按需分配带宽, 灵活性较大。

(3) 较高的数据安全性

安全性是无线网络需要考虑的一个重要问题。802.16在MAC层中定义了一个加密子层, 为信息传输提供鉴权、加密和保密的管理机制。

(4) 基于全IP的网络架构

802.16设备可以作为一个路由器接入现有的IP网络, 与现有网络实现互联互通, 同时也可与下一代网络进行无缝融合。

(5) 开销及投资风险小

标准化的空中接口和技术规范, 使不同设备制造商的产品可以进行互通, 降低了运营商对单一厂商设备的依赖性, 降低了投资成本和风险。

(6) 部署灵活, 配置伸缩性强, 可平滑升级

总之, 在实现了数据分组化、接入宽带化和终端移动化三者合一的基础上, WiMAX技术提供了比其他无线系统更具优势的覆盖范围、传输速率和QoS保障。因此, WiMAX一推出便受到业界的广泛关注, 成为宽带无线接入领域的研究和开发热点。本文后面就将以802.16d/e标准为基础, 详细介绍WiMAX物理层和MAC层的特性及关键技术, 分析其网络架构、组网模式及其应用, 并展望WiMAX未来的

发展趋势。

2 802.16协议栈参考模型

IEEE 802.16标准定义的空中接口由物理层和MAC层组成,如图1所示。MAC层独立于物理层,能支持多种不同的物理层规范,以适应各种应用环境。

物理层由传输汇聚子层(TCL)和物理媒质依赖子层(PMD)组成,通常说的物理层主要是指其中的PMD。TCL将收到的MAC层数据分段,封装成TCL协议数据单元(PDU)。PMD则具体执行信道编码、调制解调等一系列处理过程。

MAC层采用分层结构,分为特定服务汇聚子层(CS)、公共部分子层(CPS)和安全子层。

(1) CS子层负责和高层接口,汇聚上层不同业务。它将通过服务访问点(SAP)收到的外部网络数据转换和映射为MAC业务数据单元,并传递到MAC层的SAP。协议提供了多个CS规范作为与外部各种协议的接口,可实现对异步传输模式(ATM)、IP等协议数据的透明传输。

(2) CPS子层实现主要的MAC功能,包括系统接入、带宽分配、连接建立和连接维护等。它通过MAC层SAP接收来自各种CS层的数据并分类到特定的MAC连接,同时对物理层上传输和调度的数据实施QoS控制。

(3) 安全子层的主要功能是提供认证,密钥交换和加解密处理。该子层支持128位、192位及256位加密系统,并采用数字证书的认证方式,以保证信息的安全传输。

3 802.16物理层基本特性

根据使用频段的不同,802.16定义了5种不同的物理层技术,即单载波调制(SC)、单载波接入(SCa)、正交频分复用(OFDM)、正交频分多址接入(OFDMA)以及高速且免许可使用的城域网网络(HUMAN)。其中,SC适用于10~66 GHz频段,SCa、OFDM和OFD-

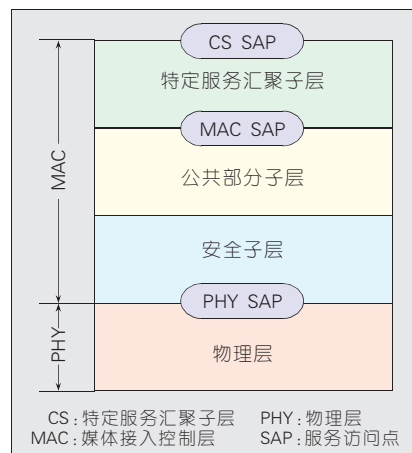
MA适用于11 GHz以下许可频段,HUMAN则用于11 GHz以下免许可频段。由于OFDM和OFDMA具有较高的频谱利用率,在抵抗多径效应、频率选择性衰落和窄带干扰方面具有明显优势,因此是目前在11 GHz以下许可频段中采用的两种主流技术。

802.16的信道带宽可以在1.25~20 MHz之间灵活选取,这使得系统可以在带宽和连接用户数量之间取得平衡。考虑各个国家已有固定无线接入系统的信道带宽划分,802.16规定了几个系列,分别是1.25 MHz的倍数(1.25/2.5/5/10/20 MHz等)和1.75 MHz的倍数(1.75/3.5/7/14 MHz等)。对于10~66 GHz的固定无线接入系统,还可以采用25 MHz和28 MHz的信道带宽,以提供更高的接入速率。

调制方式上,SC支持四相移相键控(QPSK)和正交幅度调制(16QAM),可选支持64QAM。SCa可以采用的调制方式最多,包括BPSK、QPSK、16QAM和64QAM,256QAM可选。OFDM物理层中的每个子载波支持两相移相键控BPSK、QPSK、16QAM和64QAM,其中64QAM对于免许可频段可选。OFDMA支持QPSK和16QAM,64QAM可选。HUMAN则可采用SCa、OFDM和OFDMA这3种方式。与3GPP HSDPA最高仅支持16QAM相比,WiMAX采用了更高阶的调制方式来获取更高的传输速率。由此可以看出,不同于3G系统强调地域上的全覆盖和高速的移动性,WiMAX更强调在信道条件较好时的高峰速率。

为适应高质量数据通信的要求,WiMAX系统强制支持RS(Reed-Solomon)分组码和卷积码,可选的信道编码方式包括纠错能力强但译码延时较大的块Turbo码和卷积Turbo码、以及低复杂度低延时的低密度奇偶校验码(LDPC)。

物理层定义了两种双工方式:时分双工(TDD)和频分双工(FDD),以适应不同国家或地区电信体制的要求。FDD需要成对的频率,TDD则不需要,



▲图1 IEEE 802.16协议栈示意图

而且可以自适应地调整上下行传输时间,从而调整带宽。这两种方式都使用突发数据传输格式,支持自适应的突发业务数据,在MAC层协助下,可以动态调整传输参数(调制方式、编码方式、发射功率等)。802.16e中还规定FDD模式下可支持半双工终端,降低了对终端的要求。

在多址方面,802.16d/e在上行采用时分多址(TDMA),上行信道被划分为多个时隙。初始化、竞争、维护、业务传输等应用都是通过占用一定数量的时隙来完成,其占用的数量由基站的MAC层统一控制,并根据系统性能优化要求而动态改变。下行信道采用时分复用(TDM),基站送给不同用户的信息被复用成单个的数据流,通过下行信道广播发送给扇区内的所有终端。另外一种多址方式是采用OFDMA,将在下面详细介绍。

4 802.16物理层关键技术

4.1 OFDM技术与OFDMA技术

OFDM技术的基本思想是将信道的可用带宽划分成若干相互正交的子载波,在每个子载波上独立进行数据传输,从而实现对高速串行数据流的低速并行传输。它由传统的频分复用(FDM)技术演变而来,区别在于OFDM是通过离散傅立叶变换(DFT)和逆离散傅立叶变换(IDFT)而不是传

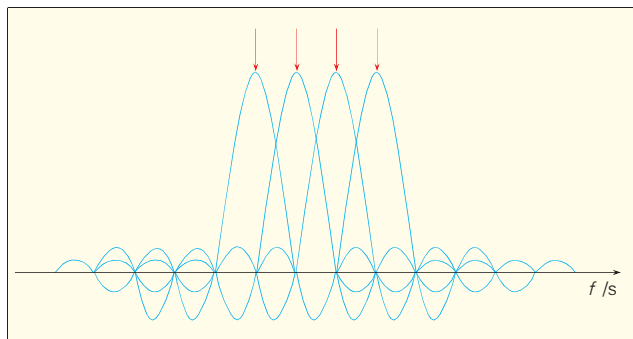


图2 OFDM信号的频谱结构示意图

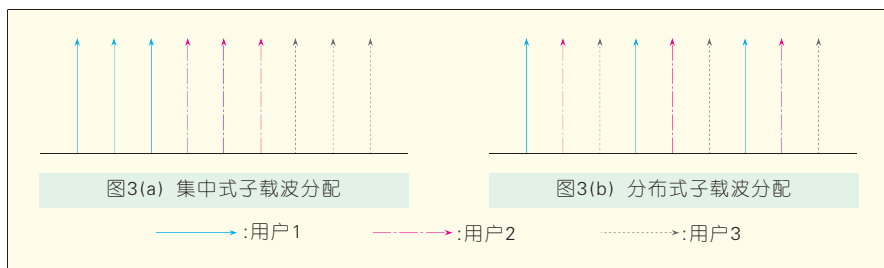


图3 子载波分配方式示意图

统的带通滤波器来实现子载波之间的分割。如图2所示,各子载波可以部分重叠,但仍然保持正交性,因而大大提高了系统的频谱利用率。此外,数据的低速并行传输增强了OFDM抵抗多径干扰和频率选择性衰落的能力。因此,在许多新一代无线通信系统标准,例如无线局域网、数字音频广播(DAB)、数字视频广播(DVB)以及B3G中,都采用了OFDM作为其基本的物理层技术。

在OFDM技术的基础上结合频分多址(FDMA),将信道带宽内可用的子载波资源分配给不同的用户使用,就是OFDMA。根据具体的子载波分配方式,OFDMA又可以分为子信道OFDMA和跳频OFDMA。

子信道OFDMA是将整个OFDM系统的带宽分成若干子信道,每个子信道包含若干子载波,以子信道为单位给用户分配频率资源。如图3所示,分配一个子信道的子载波可以是连续的,即集中式;也可以与分配给其他子信道的子载波交错排列,即分布式。子信道OFDMA方式的特点是子载波分配相对固定,在多小区环境中各小区的资源调度难免会有冲突,避免

此类干扰需要在小区间进行协调,复杂度较高。

如图4所示,跳频OFDMA是采用跳频的方式快速变化分配给每个用户的子载波资源。子载波的分配通常是随机抽取,但在同一个时隙内不同用户选用的子载波组不能重叠。因资源调度周期较短,可能出现的小区间干扰在时域和频域得到分散,因此对于负载较轻的网络,即使小区间没有协调,也可有效抑制干扰的影响。

WiMAX系统中的OFDM物理层采用了256个子载波。在OFDMA方式下,子载波数可在128/512/1 024/2 048之间变化,而且相应的信道带宽能够在1.75 MHz ~ 20 MHz间灵活调配,因而具备了更强的信道均衡能力和抗衰落能力,以保证WiMAX终端在移动环境中的正常使用。OFDMA系统的用户多址采用跳频方式。以2 048个子载波的情况为例,系统将所有可用的子载波分为32个子信道,子载波分配时可以采用集中式或分布式。跳频的频域单位为一个子信道,跳频的时域单位为2个、3个或6个

OFDM符号周期。

4.2 多天线技术

多天线技术在不增加系统带宽的情况下可以成倍地提升信道容量,从而实现更高的数据传输速率和更大的覆盖范围,或改善信号传输质量。鉴于此,该技术近年来受到了各种新型无线通信系统的青睐,WiMAX自然也不例外。

802.16标准支持的多天线技术包括多输入多输出(MIMO)和自适应天线系统两大类。

(1) MIMO技术

MIMO通过在基站和终端分别使用多根天线进行发送和接收,来抑制信道衰落和改善系统性能。该技术在802.16协议中为可选,其具体应用模式可以分为3种:空间分集模式、空间复用模式以及分集与复用相结合的混合模式。

空间分集模式包括发送分集和接收分集。通过在不同天线上发射包含同样信息的信号或合并来自不同天线的接收信号,可以获得分集增益,从而抵抗信道衰落、提高通信质量和增大覆盖。其中发射分集主要通过空时编码来实现,802.16中采用了经典的Alamouti两发射天线空时编码方案,以获得最大分集增益。

空间复用模式是指在不同的发射天线上发送相互独立的信号,接收端采用干扰抑制的方法进行译码,此时可获得空间复用增益,从而提高数

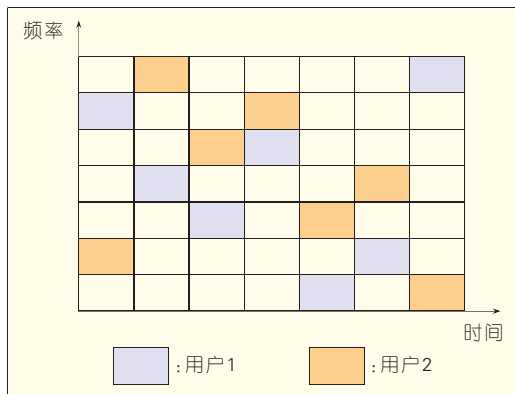


图4 跳频OFDMA载波分配图

据传输速率、增加系统容量。目前主要的实现方法就是各种分层空时码,例如贝尔实验室分层空时算法(BLAST)。

混合模式结合了分集和复用的优势,在分集增益和复用增益之间进行折衷,从而既能改善传输质量又可以提高系统容量。不过,处理的复杂度要比前两种模式高一些。

为进一步改善系统性能,802.16e中还提供了对闭环MIMO技术的支持,发射端可获得关于信道环境的各种反馈信息。因此,系统在运行的过程中,就可以根据应用环境以及信道条件在各种MIMO模式之间进行实时的转换。

(2) 自适应天线系统

自适应天线系统(AAS)是一种基于自适应天线原理的移动通信技术,它采用空分多址技术,通过数字信号处理产生空间定向波束,使天线主波束对准期望信号到达方向、旁瓣或零瓣对准干扰信号到达方向,从而抑制干扰、实现期望信号的最佳接收。

在WiMAX体系中,AAS是一种可选技术,上下行链路都可以选择支持该技术,以应对阻隔视距(OLOS)和非视距(NLOS)传播造成的深衰落。不过AAS的设计和应用都是基于TDD方式,因为在TDD方式下,上行和下行共用相同的频带资源,基站和终端均可以利用上下行信道的互易特性方便地计算出波束形成的权值。而在FDD方式下,上行和下行的信道一般不同,要计算波束形成的权值,只有通过反馈,将增大整个系统的开销。

4.3 自适应调制编码技术

无线信道的时变和衰落特性决定了信道容量是一个时变的随机变量,要最大限度地利用信道容量,只有使发送速率也随之相应地变化,也就是说编码调制方式应该具有自适应特性。自适应调制编码(AMC)技术就是根据信道条件动态调整编码和调制方式,以提高传输速率或系统吞

吐量。基本方法是根据对信道质量的测量结果,在信道条件较好时使用高阶调制和高编码速率(例如64QAM, 5/6码率),以实现更高的峰值速率;而在信道条件较差时使用低阶调制和低编码速率(例如QPSK, 1/2码率),以保证传输性能。通过改变调制编码方式而不是发射功率来改善性能,还可以在很大程度上降低因发射功率提高而引入的额外干扰。

802.16的物理层提供了信道质量反馈机制。基站和终端可以根据需要测量上下行信道的接收信号强度指示(RSSI)和载干/噪比(CINR),并通过反馈信道上报。这里,RSSI和CINR就是用来衡量信道条件好坏的主要参数。需要指出的是,信道变化不能太快,否则参数调整的速度将跟不上信道变化的速度。因此自适应技术只适用于多普勒扩展不是很大的情况,特别是室内环境。这种情况下,AMC技术可以逐帧使用。

4.4 混合自动重传请求

混合自动重传请求(H-ARQ)是一种将自动重传请求(ARQ)和前向纠错编码结合在一起的物理层技术,可以用来减轻信道与干扰抖动对数据传输造成的负面影响。

H-ARQ的基本工作过程如下:将一个或多个待发送MAC层数据单元串联起来,根据物理层的具体规范进行编码,生成4个H-ARQ子包。基站每次只发送一个子包,由于4个子包之间存在很大的相关性,收端无需获得全部子包,也能够正确译码。因此,终端在收到第一个子包后,就尝试译码。如果译码成功,终端立即回送一个确认(ACK)消息给基站,阻止其发送后续子包;如果译码失败,终端回送否认(NACK)消息,请求基站发送下一个子包,依次类推。终端每次将根据接收到的所有子包来译码,以提高译码成功率。

由此可以看出,H-ARQ采用了最为简单的停等重传机制,以降低控制

开销和收发缓存空间。此时如果使用OFDMA物理层,则可以巧妙地克服停等协议信道利用率低的缺陷。因此,协议中仅规定OFDMA物理层提供对H-ARQ的支持。

4.5 功率控制

802.16e规定在上行和下行链路中都要进行功率控制,以全面提升系统的性能。总的发射功率由固定部分和动态调整部分组成。

上行初始入网阶段采用开环功控,以下行信道损耗估计上行信道损耗,相应地调整发射功率,以达到期望的信噪比。

入网之后,默认的功率控制方式为闭环功控。基站对上行信道的信噪比进行测量并与目标信噪比进行比较,向终端发送指令实时调整其发射功率。下行功率控制采用与AMC结合的闭环方式进行。

(待续)

收稿日期:2007-11-16

作者简介



刘丹谱,北京邮电大学教授。博士毕业于北京邮电大学。主要研究方向包括宽带无线通信技术、MI-MO/OFDM、超宽带无线通信系统物理层与MAC技术。发表论文三十余篇。



郝建军,北京邮电大学副教授。北京邮电大学在读博士。主要研究方向包括协同通信、感知无线电技术等。发表论文十余篇。



乐光新,北京邮电大学教授、博士生导师。主要研究方向包括宽带无线通信与无线IP网等。已发表论文百余篇。