

## IEEE 1588协议在WiMAX网络中的应用

在通信网络中，接入技术自始至终都是发展的热点。从时分、频分、码分到目前的空分，从TDMA、CDMA到OFDMA，从单天线到智能天线，先进的技术日新月异，层出不穷。而随着这些新技术的涌现，WiMAX网络也逐渐成为下一代通信系统的竞争者。很多人认为WiMAX即使无法最终取代3G，也将是构建未来4G网络的基础，因此很多国际通信设备厂商对于正在兴起的WiMAX寄予厚望，北电网络甚至放弃了传统3G的研发而专攻WiMAX。

WiMAX是全IP网络，在标准中规定了分组CS和ATM CS两种汇聚子层（CS），其中分组CS用于在WiMAX上传输IP帧、以太网帧和802.1Q VLAN帧，ATM CS用于在WiMAX上传输ATM信元，但它并没有规定汇聚子层如何处理TDM电路，所以它无法像TDM应用一样从线路中恢复定时同步。在移动通信中，通常在无法从PDH、SDH等TDM网络中获取同步信号时采用GPS接收机，GPS可以提供一个高精度的同步时钟参考。然而在现在网络基础设施投资逐渐减少的情况下，采用昂贵的GPS接收方式并不是一个最佳方案，因此在进行WiMAX基站设计时必须找到一个成本低且效率高的时钟参考。

IEEE 1588 协议的出现成为 GPS 接收的一种替代方案。它是专门针对分组网络设计的一种定时传送机制，采用时间分布机制和时间调度概念，客户端或从设备可以使用普通振荡器，通过软件调度与主机的主时钟保持同步，过程简单可靠，占用带宽很少，与部署 GPS 相比可以显著减低成本，也更加便于维护。即使不完全取代 GPS，在 GPS 卫星不可用时作为一种备用方案将其部署在网络的主时钟处，在基站中部署 IEEE 1588 的从时钟，也可以保证网络始终处于同步状态。

### 一、WiMAX网络

WiMAX 是全球微波接入互通(Worldwide Interoperability for Microwave Access)的简称，它是基于 OFDM 调制方式的一种宽带接入技术，共享数据率最高可以达到 70Mbps，传输距离可以达到 3 至 5 公里，目前主要有用于固定无线服务的 IEEE 802.16-2004 (802.16d) 和用于移动服务的 IEEE 802.16-2005 (802.16e) 两个版本。WiMAX 的结构设计具有低延时、低抖动的特点，保证了实时服务，而 WiMAX 提供的多等级 QoS 适合于多种不同的应用和用户需求，在互联网接入、流媒体、互动游戏、视频点播 VOD、以及语音服务 (VoIP 或 TDMoIP) 等方面都可得到应用。以 IP 为核心架构的 WiMAX 可以成为个人宽带服务的基础，因为采用 IP 网络相当于搭建

了一个开放的移动数据网络，可以显著降低网络的运营费用和复杂度。WiMAX 技术的兴起正使其成为下一代宽带无线移动应用的推动技术，成为最后一英里接入、热点、蜂窝回程以及移动高速宽带接入等的备选方案。在全国很多地方，WiMAX 的实际部署已经开始，广东网通目前已在所有地市同步建设 WiMAX 网络，主要用来无线上网，而英特尔公司与大连、成都政府也达成了 WiMAX 部署合作协议。

WiMAX网络的基站设计通常采用时分双工(TDD)或频分双工(FDD)两种方式与客户端(CPE)进行通信。TDD 基站在上行和下行链路中使用同一个频率，为了保证发送器和接收器处理的是连续的信息流，这种单频工作基站需要很快地从时间上划分信道。它的主要优点是信道占用时间可以调整，非常适合于需要在上行或下行链路上开展不对称业务的场合。因为上下行业务流量不对称时 FDD 模式会产生一定的信道空闲时间，而 TDD 模式下信道空闲时间很短，因此与 FDD 模式相比 TDD 效率更高。FDD 模式下，通信信道的上下行链路频率不同，它更适合于那些需要提供对称业务的系统。在全双工 FDD 基站中，每个 PHY 或者处理发送，或者处理接收，因此需要用 2 个独立的射频模块，所以 FDD 模式的系统总体成本会比较高。为了降低收发器的成本和复杂度，大部分 WiMAX 基站硬件实现都采用时分双工技术，只有在面临频谱分配或规范要求时才考虑使用频分双工模式。

## 二、WiMAX网络的同步需求

虽然视频点播、在线游戏等高带宽需求的业务是WiMAX网络的最佳应用场合，但是在目前需求并不明确的情况下，如何通过WiMAX网络提供高质量的语音服务仍然是运营商要考虑的首要因素。而WiMAX采用IP网络的最主要缺点就是失去了同步链，基站没有了可靠精准的时钟参考，同步分配遭到破坏最终会导致掉话，直接后果就是用户满意度下降，运营商减少营收。

由于在WiMAX系统中，下行链路采用TDM数据流，在上行链路采用TDMA方式，即每个客户端只有在分配给自己的时隙内发送数据，如果它的一秒钟比实际短，那么这个定时数据就失去了准确性，基站就会提前发送数据，随着误差的增加，这个基站就有可能在属于别的基站的时隙内发送数据，导致冲突。

同样的，定时同步在WiMAX基站的效率方面也有很重要的作用。FDD模式下，可用频谱被分为上行和下行频道，但是在TDD模式，整个频谱被分为上下行的时隙，通过上行和下行之间的保护间隔，基站和客户端实现发送和接收的转换。IEEE 802.16标准将这种保护间隔定义为接收/发送的发送间隔（RTP）和发送/接收的发送间隔（TTP）。然而当基站时钟出现漂移失去了同步

准确性，它的TDD帧将会超出保护间隔影响到相邻的站点。时钟源越不准确，间隔保护间隔就要越大，否则TDD帧就会超越发送间隔，引起错误。为了提高容量，标准中容许RTG和TTG最小为 $5\mu\text{s}$ ，在这样的条件下需要及其精确的同步。如果基站间同步很差，那就需要加大保护带宽，这就浪费了宝贵的频谱资源。良好的同步可以降低保护带宽，相应地增加有效带宽，提高工作效率。

所以WiMAX系统需要有一个同步架构实现时间和频率的同步。标准要求在FDD模式下频率准确度达到 $8\times 10^{-6}$ ，在TDD模式下除了要求频率准确度达到 $8\times 10^{-6}$ 外，时间准确度要求在5到 $25\mu\text{s}$ 内。只有有了既精确（precise）又准确（accurate）的定时，才能保证网络最高效的工作，减少掉话和掉线，保证用户持续的得到最佳的服务质量，增加运营收入。

### 三、IEEE 1588 PTP标准

为了解决以太网定时同步能力不足以及测量和控制应用中分布网络定时同步的需要，网络精确时钟同步委员会起草了 IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) 标准，它的全称是“网络测量和控制系统的精确定时同步协议标准”。IEEE 1588 在起草过程中主要参考以太网来编制，是通用的提升网络系统定时同步能力的规范，它可以使分布式通信网络能够具有严格的定时同步。其基本构思是通过软硬件配合，记录同步时钟信息的发出时间和接收时间，并且给每一条信息加上时间标签，有了时间记录，接收方就可以计算出自己在网络中的时钟误差和延时，从而实现网络上从设备的内时钟与主控机的主时钟同步，达到同步建立时间小于  $10\mu\text{s}$ ，与不支持 IEEE 1588 的以太网延迟时间  $1\text{ms}$  相比，整个网络的定时同步指标有显著的改善。

一个简单的 IEEE 1588 PTP 系统包括一个主时钟和多个从属时钟。如果同时存在多个潜在的主时钟，那么将根据最佳主时钟算法选取最精确的时钟同步所有其他时钟。所有的时钟不断地与主时钟比较时钟属性，如果新时钟加入系统或现存的主时钟与网络断开，则其他时钟会重新决定主时钟。当多个 PTP 子系统需要互联时，则必须由具有多个 PTP 端口的边界时钟来实现。边界时钟的某个端口会作为从属端口与子系统相联，并且为整个系统提供时钟标准。因此这个子系统的主时钟是整个系统的原主时钟。边界时钟的其他端口会作为主端口，通过它们将同步信息传送到子系统，边界时钟的端口对子系统来说是普通时钟。

每一个从设备通过与主时钟交换同步信息保持与主站的同步，为此 PTP 协议定义了四个传送的信息类型：一个是同步信息，简称 Sync；一个是 Sync 之后的信息，简称 Follow\_Up；一个是延时要求信息，简称 Delay\_Req；还有一个是 Delay\_Req 的回应信息，简称 Delay\_Resp。

Sync 信息是从主时钟周期性发出的(默认为每两秒一次), 它包含了主时钟选取算法所需的时钟属性, 精确描述数据包发出的预计时间的时间标签等。由于信息包含的是预计的发出时间而不是真实的发出时间, 所以 Sync 信息的真实发出时间被测量后在随后的 Follow\_Up 信息中发出。Sync 信息的接收方记录下真实的接收时间。使用 Follow\_Up 信息中的真实发出时间和接收方的真实接收时间, 可以计算出从属时钟与主时钟之间的时差, 并据此更正从属时钟的时间。理想状态传输路径上没有延时, 此时主从时钟达到同步。但是实际此时计算出的时差包含了网络传输造成的延时, 所以使用 Delay\_Req 信息来定义网络的传输延时。Delay\_Req 信息在 Sync 信息收到后由从属时钟发出。与 Sync 信息一样, 发送方记录准确的发送时间, 接收方记录准确的接收时间。准确的接收时间包含在 Delay\_Resp 信息中, 从而计算出网络延时和时钟误差。为了降低从设备的负荷, 延时测量并不周期进行, 默认是在 4 到 60 秒的时间间隔内随机进行。在延时测量中主到从和从到主的延时是否对称对精度有很大的影响。同步的精确度与时间标签和时间信息也紧密相关, 纯软件的方案可以达到 100 μs 的精度, 软硬件结合的方案可以达到 10 μs 的精度。

IEEE 1588 PTP 的基本架构如图一所示:

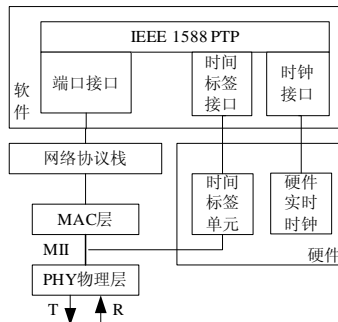


图 1、 IEEE 1588 示意图

从图中我们可以看到硬件部分主要由一个高精度的实时时钟和时间标签单元组成, 软件部分通过实时时钟和时间标签完成 IEEE 1588 协议。时间标签接口用来给 PTP 协议提供 Sync 和 Delay-Req 信息中的时间标签。根据对精度需求的不同, 时间标签既可以由硬件单元也可以由软件生成。时钟接口用来读取和调整本地时钟。另外, 它还包含用来控制时间同步质量的算法, 包括准确度、稳定度以及瞬变切换。端口接口用来调度或接收 PTP 信息, IEEE 1588 的报文采用 UDP/IP 多播包, 因此它不局限于以太网, 只要支持多播的总线系统都可以采用 PTP, 在任何 IP 协议栈的套接字接口上都可以发送和接收。PTP 节点上也无需进行地址管理, 所以 PTP 可以支持很多个节点。

#### 四、将IEEE 1588应用于WiMAX基站

在传统同步网中定时同步分配主要有三种可实现的途径：地面传输主要利用PDH网或SDH的STM-N，空中分配主要利用全球定位系统GPS。

在移动通信诸如GSM和UMTS的基站设计中一直以来都是通过TDM方式的T1/E1回程来实现频率同步，TDM网络在物理层通过实际信道来传送定时信息，避免了定时参考的劣化，构建了一个可靠的端对端同步链。但是WiMAX协议中并没有明确规定如何处理本原TDM信号，即使是加入本原TDM CS层，它也只能终止于WiMAX的MAC层，对于没有PSTN上行链路的WiMAX基站仍然无法实现这种方式。其次在网络的营运成本中，租用传统TDM回程的费用会占到总支出的30%到50%。由于这个原因，许多的运营商希望能够通过IP或以太网方式来实现这一过程，实现在拥有更宽的数据通路的同时降低运营成本。随着需求与技术的发展，在未来的分组网络里PDH方式必将被淘汰，所以将T1/E1传时钟的方式引入WiMAX基站设计并不可行。

因此，IEEE 802.16标准要求使用GPS接收机来提供WiMAX网络所需的准确时钟参考。GPS提供一个高度准确和精确的一级时钟参考源（PRS），精度可以达到 $10^{-11}$ ，提供时间和位置数据，广泛运用于无线基站的同步，例如在IS-95中规定，CDMA空中序列的绝对准确度必须在 $3\mu s$ 以内，为了满足这一要求，目前的CDMA基站都配置了GPS系统。GPS性能优良，但在部署时却面临一些问题：GPS需要每个基站都有一个接收机，并且保证卫星处于地面基站的视野范围内，当基站无法放在室外时，GPS的安装和天线的空间视野都会成为棘手的问题；安装和维护GPS天线需要较多的运营支出，因此成本高昂，难于应用和管理；当GPS信号丢失时需要有一个保持振荡器，当长期无法接收到卫星信号时基站就会无法正常工作；GPS接收机完全依赖于美国的全球定位导航系统，它受到美国军方控制，所以无法避免面临政治、战争等方面的风险。IEEE 1588的出现成为GPS的有力替代者，它的时间分布机制和时间调度概念，容许从设备使用普通振荡器，通过软件调度与主控机的主时钟保持同步，过程简单可靠，通过IP或以太回程传送定时，可大幅降低每个WiMAX基站的设备和安装成本。它既可以是单独的方案，可以在有GPS接收机的基站里提供一个可靠的时钟参考备份，当GPS信号变的不可用出现保持状态时，基站可以在GPS未恢复前通过IEEE 1588保持同步。这样的话，同步永远不受损，网络状态也不会有变化。

在部署采用IEEE 1588 PTP的新基站时，如图2所示，可以把PTP时钟配置为点对多点即主从模式，将IEEE 1588主时钟安装在中心局汇聚点的现有BITS或SSU系统中，然后将从设备安装在远端基站中。主时钟通过分组网络与远端从设备建立双向通信，传送准确的时间和频率同步。

在WiMAX应用中，IEEE 1588 PTP在节点间提供一个价廉质优的方式来传递准确的时钟参考，无论是FDD还是TDD模式它都可以满足系统的同步要求。

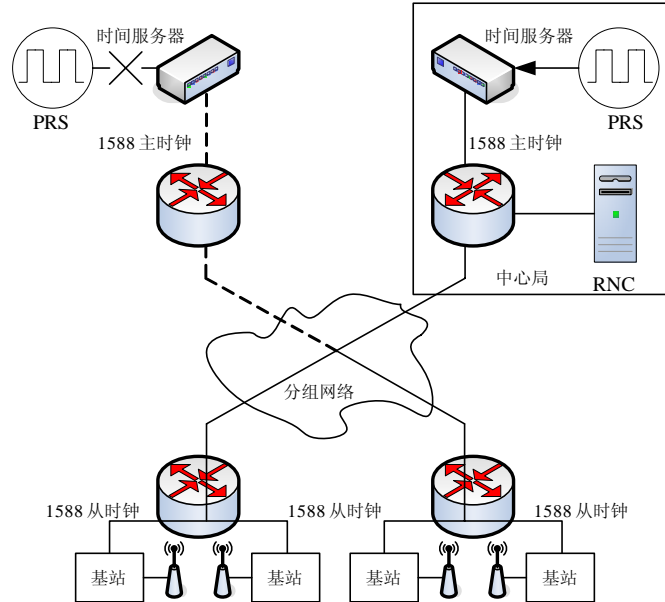


图2 IEEE 1588在WiMAX网络中的应用

## 五、结论

IEEE 1588 PTP技术现在已经进入许多电信应用的测试阶段，但是它推出的时间尚短，还有一些地方需要完善和修正：例如它不如GPS准确，在还未推出的IEEE 1588 版本2中才会针对电信应用有进一步的改进，Maxim/Dallas公司支持IEEE 1588 版本2的芯片可以实现同步精度10ns；它对透明网络可提供很好的定时同步，但还未克服经过路由器等具有不确定性网络的定时；作为一种新兴的技术它没有足够的实际应用。

虽然目前还有上述诸多不完善的地方，但是IEEE 1588 PTP在设计时就特别考虑到尽量减少资源需求，对内存和CPU没有特殊要求，工作时只需要很少的带宽和监控，支持冗余主时钟，自动选取最佳时钟，特别适合于WiMAX这种新兴的技术。采用IEEE 1588协议的分组网络，可以解决通用以太网延迟时间长和同步能力差的瓶颈，因此将IEEE 1588引入WiMAX基站的设计，通过GPS与IEEE 1588主备方案或者单独的IEEE 1588方案，运营商可以在降低成本的同时可靠高效的开展WiMAX业务。

杨勇涛

Dallas Semiconductor公司