

浅析通信网络中同步网的发展

汤其林

(中国电子科技集团公司第七研究所, 广东 广州 510310)

【摘要】 时钟同步网和时间同步网的融合是同步网络发展的趋势, 分析了同步网中所涉及到的同步技术的发展历程, 介绍了两种同步网的统一历程, 提出了同步技术融合的解决方案: 通用定时接口技术+北斗二代通信卫星。

【关键词】 同步网 时间同步 时钟同步 通用定时接口技术 北斗二代卫星

中图分类号: TN927⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1010(2013)-07-0053-06

1 引言

随着人们对通信的需求越来越高, 通信系统的各个方面都得到了长足的发展。比如:

(1) 网络方面: 通信网从模拟发展到数字, 交换从TDM(时分复用)发展到分组直至后续的以IP包交换为主;

(2) 业务方面: 从TDM语音业务为主发展到以IP数据包业务为主的多业务模式, 从固定语音业务为主发展到固定和移动语音业务并重, 从窄带业务发展到宽带业务等;

(3) 传输技术方面: 从同轴传输发展到PDH(准同步数字序列)、SDH(同步数字序列)、WDM(波分复用)和DWDM(密集波分复用), 以及最新的OTN(光传输网)和PTN(分组传送网)技术。

新技术和新业务的不断发展, 对通信系统中的支撑网——同步网也提出了新的要求, 促使其“同步”

的概念得到拓展, 即同步不仅指时钟同步, 还包括时间同步。时间同步是指网络各个时间节点以及通过网络连接的各应用界面的时间时刻和时间间隔与UTC(Coordinated Universal Time, 协调世界时)同步, 最起码在全国范围内要和北京时间同步。从发展趋势来看, 时间同步网络将和时钟同步网络融合起来。

2 现状分析

目前, 在通信网络中为实现其同步功能, 利用了独立的同步支撑网。比如: 在移动通信网络中早期基于FDD(频分双工)模式的无线系统如WCDMA需要各节点之间保持时钟同步即可, 而基于TDD(时分双工)模式的无线系统, 包括CDMA2000、TD-SCDMA、WiMAX、LTE则不但需要时钟同步, 而且需要更为严格的时间同步来满足移动业务的漫游和切换。表1列出了几种常见的无线制式对同步的要求, 两种同步方式未能实现真正意义上的融合, 造成资源的极大浪费。从技术的角度来看, 时钟同步所涉及的频率和相位同步问题已经基本解决, 而时间同步没有得到很好的解决。

收稿日期: 2013-01-06

责任编辑: 左永君 zuoyongjun@mbcom.cn

表1 各种无线制式同步要求

无线通信应用	时钟频率精度要求	时间同步要求 (μs)
CDMA2000	$< 5 \times 10^{-8}$	< 10 (UTC)
GSM	$< 5 \times 10^{-8}$	N/A
WCDMA (FDD模式)	$< 5 \times 10^{-8}$	N/A
WCDMA (TDD模式)	$< 5 \times 10^{-8}$	< 2.5 (UTC)
WiMAX (FDD模式)	$< 8 \times 10^{-6}$	N/A
WiMAX (TDD模式)	$< 8 \times 10^{-6}$	5 (UTC)

目前,对于时间同步问题,一般采用部署GPS的方式来解决,但存在如下问题:

(1) GPS系统受美国军方控制,其P码仅对美国军方和授权用户开放。民用C/A码的时间精度比P码低两个数量级,而且安全性没有保障;

(2) GPS信号通过无线方式传输,易受外界干扰;

(3) GPS接收机的时刻信息是通过标准接口(如RS232接口)输出的,而很多网上设备(如交换机)并没有这些专用接口。

下面分别对现行时钟同步和时间同步技术进行分析,总结出它们各自的特点,并结合当前的技术发展提出融合两种同步网络的办法。

2.1 时钟同步

时钟同步技术的发展历程见表2:

表2 时钟同步技术的发展历程

时钟同步技术		特点	
位同步		通信双方的位定时脉冲信号频率相等且符合一定的相位关系	
帧同步		通信双方的帧定时信号的频率相同且保持一定的相位关系	
网同步	准同步	各节点时钟信号相互独立	
	同步	主从同步	在一个交换局设立一高精度的基准时钟
		等级主从同步	交换局的每个节点时钟精度维持在相同等级
		外基准同步	借助外部高基准钟源作为基准
	互同步	交换节点无主节点和从节点之分,时钟传输路线呈网状结构	

时钟同步所涉及的最基本的技术包括时钟源技术和锁相环技术,随着应用需求的不断扩大、技术和工艺的不断改进,这两种技术也得到了快速的发展。

(1) 时钟源技术

时钟源按照出现时间的先后,可分为普通晶体钟、具有恒温槽的高稳晶振、原子钟、卫星钟、芯片级原子钟等,其逐步向小型化和模块化方向发展,它们各自的特点详见表3。

(2) 锁相环技术

锁相环技术是时钟同步的核心技术,它经历了模拟锁相环技术、数字锁相环技术,直至今天的智能锁相环技术,即DDS(数字直接频率合成)技术。智能全数字锁相环功能在单芯片FPGA中就可以实现,借助锁相环状态监测电路,通过CPU的控制可以缩短锁相环锁定时间,并逐渐改进其输出频率的抖动特性,达到最佳的锁相和频率输出效果。

2.2 时间同步

(1) 时间同步需求

随着信息处理技术、计算机技术和网络技术等的飞速发展,不管是有线通信还是无线通信,为完成共同的任务,对准确、统一的时间要求越来越高。例如:

- 1) 不同运营商的网间结算;
- 2) 市话、长话计费系统一致性核对;
- 3) 现代化的电信管理网对信令的跟踪、大话务量数据统计等;
- 4) 带有子网的数据业务与主网的时间同步要求在规定的范围内;
- 5) 计算机网中对标准时间的高要求;
- 6) 凡是有“时戳”概念的信息都对时间标准提出了要求。

以上各种通信系统中业务对时间同步的需求是不同的,有高精度时间需求(微秒级和纳秒级)和普通精度时间需求(毫秒级和秒级)之分,从而出现了不同的时间同步技术。

(2) 时间同步技术

实现时间同步是通过时刻比对,将分布于不同地方时钟的时刻值调整至具有一定的准确度或符合度。其同步方式为:从时间源(如GPS或者北斗二代等全球卫星定位系统)获得标准时间后,将时间信息通过局间/局内时间分配链路发送到各种需要时间同步的设

表3 时钟源发展历程表

时钟源		特性		
		准确度	优点	缺点
普通晶体振荡器		1.0×10^{-5}	价格便宜、尺寸小、功耗低	稳定度受环境温度影响非常大
恒温晶体钟		1.0×10^{-8}	稳定度受环境温度影响较小	不能满足通信技术发展的新要求
原子钟	铷钟	1.0×10^{-10}	精度高、稳定性好	尺寸大、功耗高、寿命短
	铯钟	1.0×10^{-12}		
	芯片级原子钟	1.0×10^{-10}	尺寸小（只有立方厘米量级）、耗电小、不消耗原子	还处于试验阶段
卫星钟	GPS卫星	1.0×10^{-12}	全天候、无人职守、精度高	单向通信，容易受到人为干扰
	北斗二代	1.0×10^{-12}	全天候、无人职守、精度高，短信息、实现双向通信	还处于试验组网阶段，未大规模使用

表4 时间同步方式总结

时间同步方式	传输方式	传输距离 (km)	精确度	可扩展性	性价比
IRIG	交流传输 (IRIG-B)	< 100	10 ~ 100 μ s	一般	低
	直流传输 (DCLS)	< 0.2	10 ~ 1000 μ s	一般	低
秒脉冲 (1PPS)	同轴电缆	< 0.1	纳秒级	一般	低
ACTS	通过Modem/ISDN的拨号方法进行传输	< 10	10 ~ 1000 μ s	一般	低
NTP	双绞线或者光纤	< 1	局域网：10 μ s ~ 10ms； Internet：100 ~ 1000 μ s	强	低
	以太网	无限制			
PTP	双绞线或者光纤	< 1	纳秒级	强	一般
	以太网	无限制	微秒级		
短波	短波	< 3000	毫秒级	差	低
长波	长波	< 3000	纳秒级	差	低
数字卫星电视	微波	卫星覆盖区	< 100ns	一般	高
双向时间频率	微波	卫星覆盖区	亚纳秒级	一般	高

备上。现有的比较通用的时间同步方法是：IRIG-B、DCLS、NTP、ACTS、1PPS、串行口ASCII字符串等，它们各自的特性见表4。

(3) 存在问题

目前，相对于成熟的时钟同步网络，建立全球或者区域性的时间同步网存在诸多问题需要解决，比如用户端设备（如交换机、基站控制器等）没有合适的接口电路，致使用户与GPS/北斗等接收机、无线电授时接收机、NTP（Network Time Protocol）协议等无法互连。虽然已经有一些制造商和运营商在研究交换机等设备的接口电路，但交换机的制式繁多，进一步的开发尚需时日，对现行设备进行改造则成本又非常高。同时，时间同步网络的标准化也是急需解决的问题。

题，它和现有的时钟同步网标准一样，包括网络技术指标、设备的技术指标以及接口的技术指标等。

3 统一历程

随着现代技术的发展，有设备制造商提出一种用PTN（分组传送网）来替代GPS系统的时间同步方案，并希望能实现时钟同步网与时间同步网络的融合。PTN分组网络可实现对时钟和时间同步信号的传递，有两种可行技术：

(1) 基于物理层的同步技术，如G.8261的同步以太网技术。同步以太网通过物理层串行比特流提取时钟，可以获得类似SDH的时钟精度，实现网络时钟同步，但无法实现精确的时间同步。同步以太网时钟精

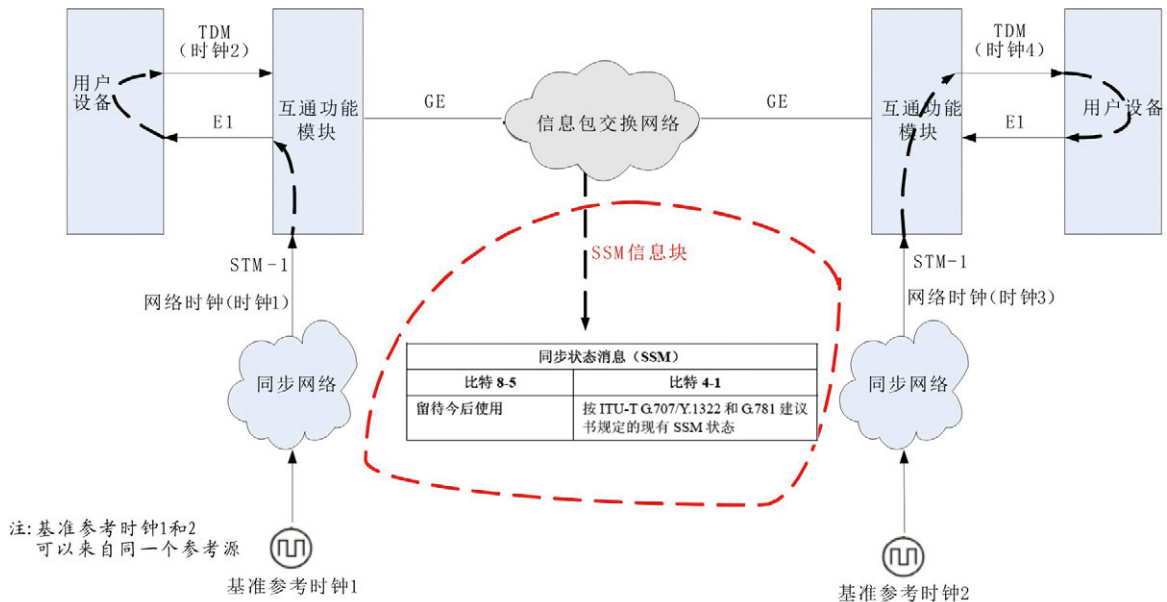


图1 G.8261实现时钟同步的网络流向图

度通过物理层来保证，与以太网链路层负载和包转发时延无关，时钟的质量等级信息可以通过专门的SSM（同步状态消息）帧进行传送。目前同步以太网只能支持时钟信号的传送，不支持时间信号的传送，适用于不需要时间同步要求的场景，其实现网络见图1。

(2) 基于分组包的同步技术，如IEEE 1588 V2，是一种精确时间同步协议（PTP，Precision Time Protocol）。它是一种主从同步系统，在系统的同步过程中，主时钟周期性发布PTP时间同步协议及时间信息，从时钟端口接收主时钟端口发来的时间戳信息，系统据此计算出主从线路时间延迟及主从时间差，并利用该时间差来调整本地时间，使从设备时间保持与主设备时间一致。时间精度依赖于两个条件：计数器频率准确度和链路的对称性。该技术只适合于时间同步信息的传送，不适合于时钟同步信息的传送。图2所示为该协议的流程图。

中兴通讯结合以上两种同步技术的优缺点，提出了“时间同步以太网”解决方案，即在同步以太网基础上实现IEEE 1588时间同步，硬件实现1588协议中精确时戳的插入和提取，既可有效提高时间同步精度，又可完成时钟同步信息的传送，具体实现框图见图3。图中的

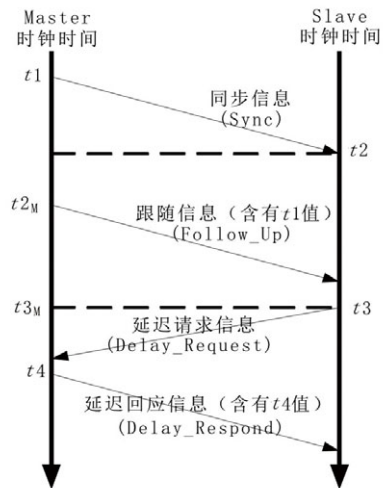


图2 IEEE 1588 V2的时序流程图

卫星接收机在常态下使用，一旦GPS/北斗二代通信卫星不可用，就可以借助PTN网络中支持IEEE 1588协议的交换机来实现同步时间信息的生成与提取。

4 解决方案

虽然基于PTN技术能实现时钟同步和时间同步的融合，在内部能实现互连互通；但一旦与外网连接

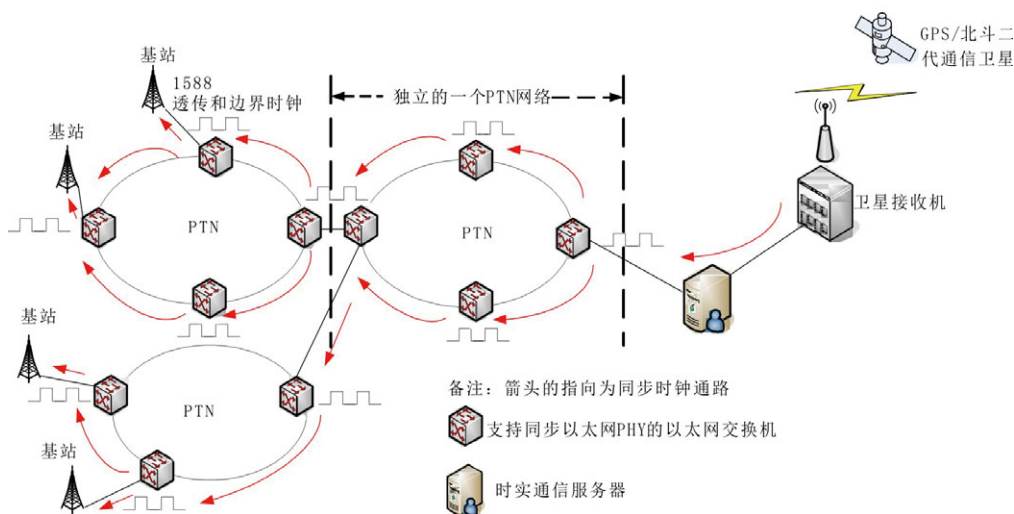


图3 PTN时间同步以太网网络图

时，就无法实现时间同步信息的传送。因为PTN网络要求每个以太网交换机网络接口芯片的PHY层必须支持IEEE 1588协议，而目前的大多数在用设备均未提供这样的接口芯片，无法真正意义上实现时间同步和时钟同步网络的融合。为此，本文提出通用定时接口技术和北斗二代卫星相结合这一解决方案。

ITU-T J.211标准中规定了一种新型的定时接口，即DTI (DOCSIS Timing Interface, 通用定时接口)。DTI应用于有线电视网络，通过协议交互方式，在一根电缆上同时实现时钟和时间同步的传输。DTI基本工作原理是：服务器 (Server) 和客户端 (Client) 之间采用一根DTI电缆进行连接，服务器在获取精确时间戳和基准时钟信号后，校正本地时钟并向下游DTI客户端输出DTI信号，在一根DTI电缆的服务器和客户端两侧，通过乒乓 (ping-pong) 机制不间断地发送和接收DTI报文，从而实现DTI客户端与服务器的同步，流程见图4。

通用定时接口技术+北斗二代通信卫星具有如下优势：

(1) 可以自动监测并计算出单向传播时延，实现时延的自动补偿，从而解决了传统的基于光传输系统的时间传送技术难以实现的时延自动补偿问题；

(2) 能同时提供统一的时间和时钟同步，可以很好地兼容现有的时钟同步网和时间同步网，以及兼容

现有通信网中所有需同步的设备与系统；

(3) 北斗二代由我国独立自主研制，具有独立的知识产权，可克服GPS等卫星系统的不可靠性。目前已经发射16颗北斗卫星，具备区域覆盖能力，到2020年达到全球覆盖的目标。

传统的时钟同步网中，时钟信息只能溯源到各运营商独立运行的铯原子钟等基准钟，时间同步网只能溯源到UTC。如果采用通用定时接口技术，当时间信号溯源到卫星授时系统时，在卫星接收机天馈线时延补偿应用方面可以实现自动时延补偿。

具体而言，时间源头设备的卫星接收机天馈线部分会引入固定时延；对于不同型号不同长度的天馈线，其时延无法按照统一的经验值 (例如4~5ns/m) 进行补偿，尤其在串联了避雷器、放大器、分配器、连接器后，时延误差更加难以控制。如果在天线和卫星接收机之间采用具有自动时延补偿的通用定时接口技术，则可以有效保证时间源头设备的同步精度。

同时，采用通用定时接口技术和北斗二代通信卫星相结合的技术，还可以将现有的频率基准和时间基准溯源到地面的国家级时频基准上，以至于从根本上摆脱对GPS等卫星授时系统的依赖，从而实现可同时提供高可靠、高质量时间和频率服务的目的。

近年来，又发展了利用激光和卫星实现时间频率传递的技术，其系统包括具有收发功能的两地面站和卫星。激光时间传递技术利用同步卫星上的激光反射器，将一个地球站向卫星发射的激光脉冲发射到另一个地球站进行时间频率同步，预期同步精度将优于1ns，不过还有待于实践验证。

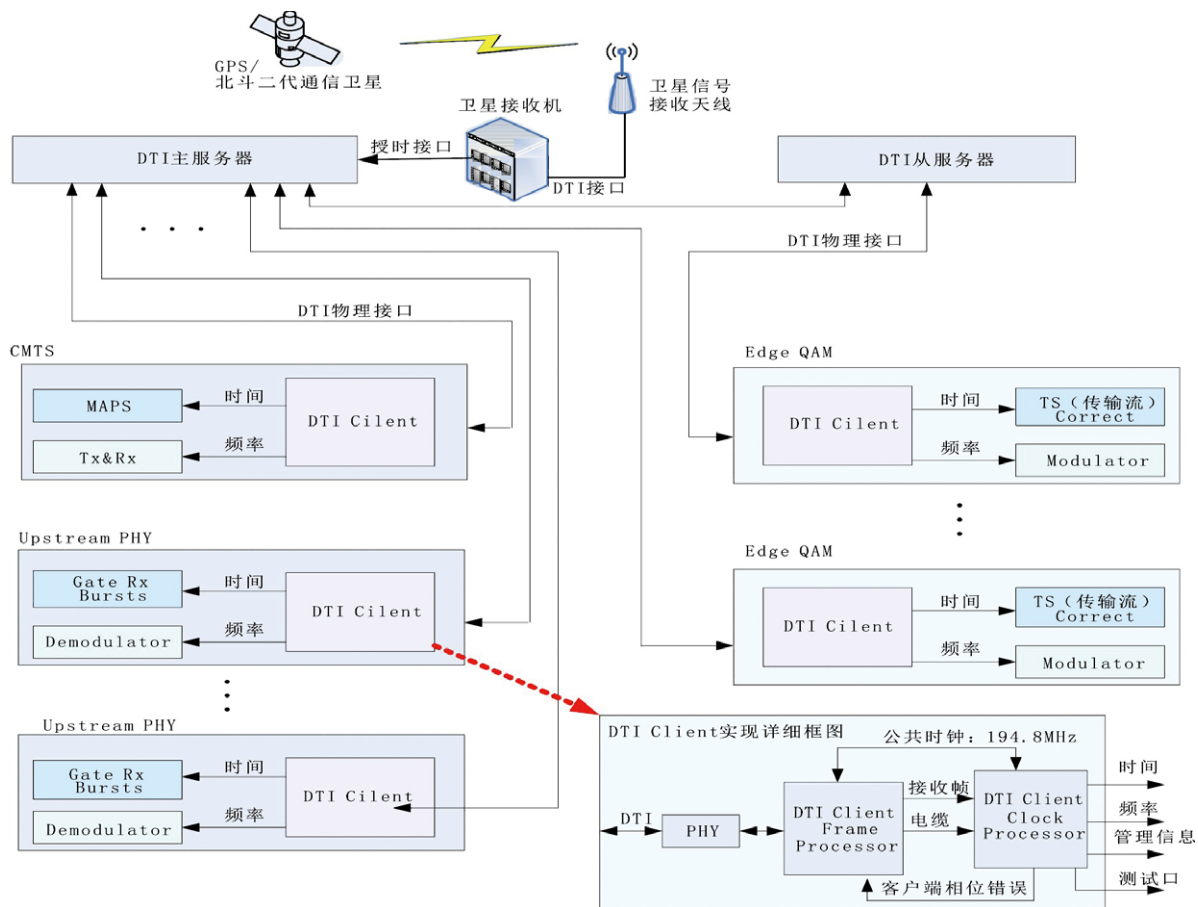


图4 DTI时序结构图

5 结束语

在时钟技术领域出现微型化、低功率的芯片级原子钟，无疑是同步技术的一次大变革。在时间同步领域，我国北斗二代通信卫星的逐步使用，打破了GPS、GLONASS等卫星导航系统的垄断地位；同时增加了一个频点，可作民用和军用，增强了系统的抗干扰性。可以说，通用定时接口技术+北斗二代卫星技术的推出，将为同步网的融合注入新的生命力，将在国民经济和国防建设中具备重要的战略意义。

参考文献：

- [1] 杨绪强,陈新华,马亚平. 基于PTP时间同步协议的时间精度检测[J]. 科技创新导报, 2010(20): 85-86.
- [2] 童宝润. 时间统一系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 114-116,187-203.

- [3] 王淑芳,王礼亮. 卫星导航定位系统时间同步技术[J]. 全球定位系统, 2005(2): 12-13.
- [4] 杨波,周亚宁. 大话通信——通信基础知识读本[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [5] 中国移动通信集团公司. 中国移动高精度时间同步1PPS+TOD接口规范V1.0[S]. 2011.

作者简介



汤其林：工程师，学士毕业于电子科技大学通信学院，现任职于中国电子科技集团公司第七研究所，主要从事网络交换和同步技术的研究。