

时钟透传技术白皮书



华为技术有限公司

Huawei Technologies Co., Ltd.



目 录

1	前言	1
1.1	背景	1
1.2	同步的概念	1
1.3	通讯网络对同步的需求	3
1.3.1	传统固网 TDM 业务对时钟同步的需求	3
1.3.2	无线 IP RAN 对同步的需求	3
1.3.3	专用时钟同步网 (BITS) 的需求	4
2	基于以太网的时钟透传技术	4
2.1	同步以太网技术	4
2.1.1	基本介绍	4
2.1.2	相关标准和产品	5
2.1.3	技术实现	5
2.1.4	测试结果	6
2.1.5	性能和部署局限	6
2.2	电路仿真包恢复时钟技术	7
2.2.1	基本介绍	7
2.2.2	相关标准	7
2.2.3	自适应时钟恢复算法原理	8
2.2.4	性能测试结果	9
2.3	TOP 方式恢复时钟	10
2.3.1	基本介绍	10
2.3.2	实现原理	11
2.3.3	性能	11
2.4	几种时钟恢复方式的精度对比	11
3	典型应用	13
3.1	同步以太网时钟透传方案	13
3.2	TDM 电路仿真时钟透传方案	14
3.3	TOP 时钟方案	15
3.4	混合组网方案	16



4 结束语	17
附录 A 参考资料	18
附录 B 缩略语	18



时钟透传技术白皮书

摘 要：尽管未来网络和业务的发展趋势是全IP化，但是在从传统网络到未来网络的过渡仍然面临很多困难，时钟和时间的同步就是其中一个关键性难题。本文描述了在以太网络上时钟频率同步特性的需求和技术关键点以及华为数通CX产品的实现。

关键词：同步, BITS, GPS, IEEE 1588, TDM over PSN

1 前言

1.1 背景

IP化是未来网络和业务的发展趋势，承载网也是如此。但是以SDH为基础的传统网络过渡到以IP为基础的以太承载网络目前还存在很多困难，一个关键技术是解决新网络对传统TDM业务的承载。传统TDM有两个主要的应用，语音业务和时钟同步业务。对于语音，VoIP化后，在IP网络上承载的技术已经成熟并且大规模应用；但是对于时钟同步业务相关的各种技术还在发展中。

1.2 同步的概念

同步包括频率同步和时间同步两个概念。

■ 频率同步

频率同步，就是所谓时钟同步，是指信号之间的频率或相位上保持某种严格的特定关系，其相对应的有效瞬间以同一平均速率出现，以维持通信网络中所有的设备以相同的速率运行。

数字通信网中传递的是对信息进行编码后得到的PCM（Pulse Code Modulation）离散脉冲。若两个数字交换设备之间的时钟频率不一致，或者由于数字比特流在传输中因干扰损伤，而叠加了相位漂移和抖动，就会在数字交换系统的缓冲存储器中产生码元的丢失或重



复，导致在传输的比特流中出现滑动损伤。

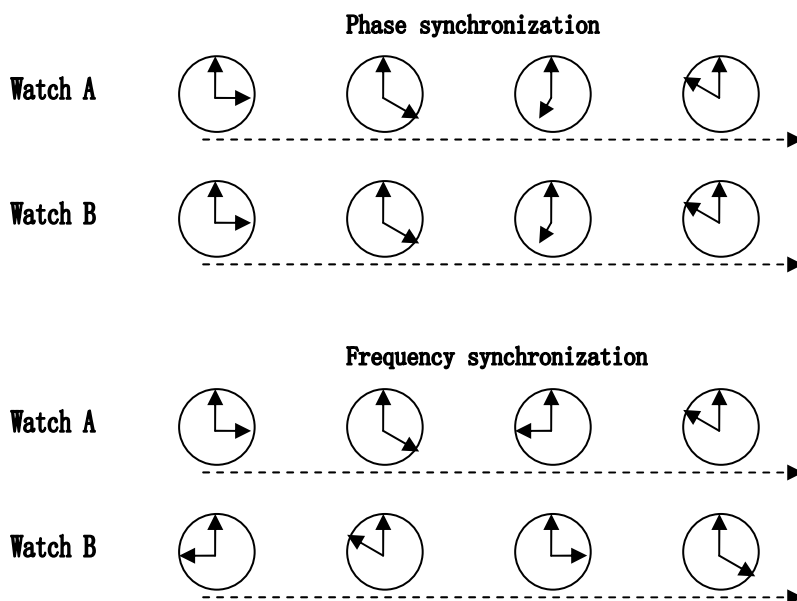
■ 时间同步

一般所说的“时间”有两种含义：时刻和时间间隔。前者指连续流逝的时间的某一瞬间，后者是指两个瞬间之间的间隔长。

时间同步的操作就是按照接收到的时间来调控设备内部的时钟和时刻。时间同步的调控原理与频率同步对时钟的调控原理相似，它既调控时钟的频率又调控时钟的相位，同时将时钟的相位以数值表示，即时刻。与频率同步不同的是，时间同步接受非连续的时间信息，非连续调控设备时钟，而设备时钟锁相环的调节控制是周期性的。

时间同步有两个主要的功能：授时和守时。用通俗的语音描述，授时就是“对表”。通过不定期的对表动作，将本地时刻与标准时刻相位同步；守时就是前面提到的频率同步，保证在对表的间隙里，本地时刻与标准时刻偏差不要太大。

■ 时间同步与频率同步的区别



上图给出了时间同步与频率同步的区别。如果两个表（Watch A与Watch B）每时每刻的时间都保持一致，这个状态叫时间同步（Phase synchronization）；如果两个表的时间不一样，但是保持一个恒定的差，比如6小时，那么这个状态称为频率同步(Frequency synchronization)。



1.3 通讯网络对同步的需求

不同的业务对时钟同步有不同的需求。

1.3.1 传统固网 TDM 业务对时钟同步的需求

传统固网的TDM的业务主要是语音业务。如果承载网络两端的时钟不一致，长期积累后会造成滑码。ITU在G.823中定义了对固网TDM业务的需求和测试标准，称为TRAFFIC接口标准。

1.3.2 无线 IP RAN 对同步的需求

通讯网络对时钟频率最苛刻的需求体现在无线应用上，不同基站之间的频率必须同步在一定精度之内，否则基站切换时会出现掉线。与前面提到的固网TDM应用不同的是，这里的时钟是指无线的射频时钟。在这个应用场景下，对时钟频率的需求要高于前者。

目前的无线技术存在多种制式，不同制式下对时钟的承载有不同的需求。

无线制式	时钟频率精度要求	时钟相位同步要求
GSM	0.05ppm	NA
WCDMA	基站 0.05ppm	NA
TD-SCDMA	0.05ppm	3us
CDMA2000	0.05ppm	3us
WiMax FDD	0.05ppm	NA
WiMax TDD	0.05ppm	1us
LTE	0.05ppm	倾向于采用时间同步

总的来看，以GSM/WCDMA为代表的欧洲标准采用的是异步基站技术，此时只需要做频率同步，精度要求0.05ppm（或者50ppb）。而以CDMA/CDMA2000代表的同步基站技术，需要做时钟的相位同步（也叫时间同步）。

对于时间同步，目前业界只能GPS来解决，GPS也能同时解决时钟的频率同步，所以CDMA系列的承载网络不需要再提供额外的同步功能。

对于GSM/WCDMA网络，因为不需要部署GPS（GPS存在成本和军事上的风险），需



要由承载网络为它提供时钟。传统的解决方案是采用PDH/SDH来提供，IP化后，需要IP网络提供。

因为IP RAN这个应用是以前没有的，所以ITU-T 正在为它G.8261制定新的合适标准。目前讨论的结果是要求满足ITU-T G.823 traffic接口同时保持50ppb的频率精度。

1.3.3 专用时钟同步网（BITS）的需求

在传统的通讯网络结构中，除了业务承载网络外，一般还会存在一个独立的时钟发布网络，采用PDH/SDH来分发时钟。ITU-T规定，在这个应用场景下，需要满足G.823中的TIMING接口指标。

2 基于以太网的时钟透传技术

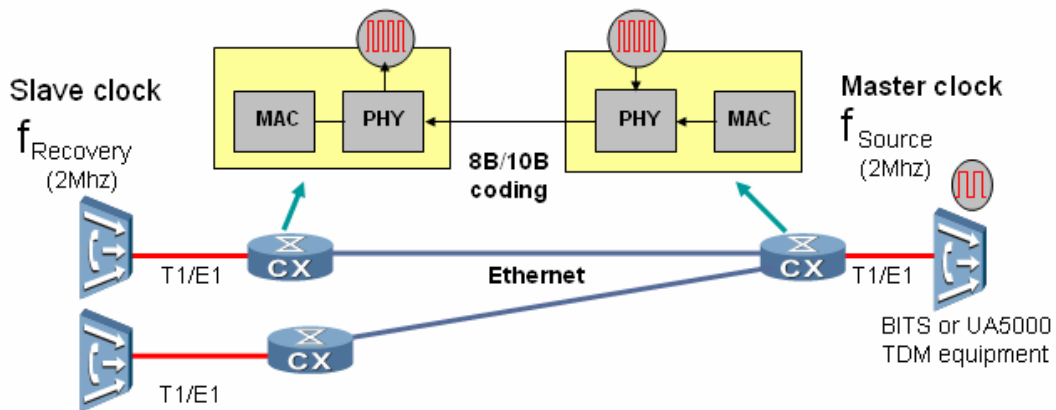
2.1 同步以太网技术

2.1.1 基本介绍

同步以太网是一种采用以太网链路码流恢复时钟的技术。

因为以太网是一个异步系统，不需要高精度时钟也能正常工作，所以一般的以太网设备都不提供高精度时钟。但是这并不是说以太网不能提供高精度时钟。实际上，在物理层，以太网与SDH一样采用是串行码流方式传输，接收端必须具备时钟恢复功能，否则无法通讯。换句话说，以太网其实本身就已经具备传送时钟的能力，只是我们没有使用而已。

从纯技术角度分析，因为物理层编码以太网物理层提取时钟的精确度甚至是超过SDH的。我们知道，从线路码流中提取时钟的前提是码流必须保持足够的时钟跳变信息，换句话说就是码流要避免连续的长1或者长0。SDH技术的做法是做一次随机扰码，这样可以大大降低连1连0的概率，但这只不过是降低，连续的1或者0还是会出现的。而以太网的物理层编码是4B/5B（FE）和8B/10B（GE），平均每4个BIT就要插入一个附加比特，这样绝对不会出现连续4个1或者4个0，更加便于提取时钟。

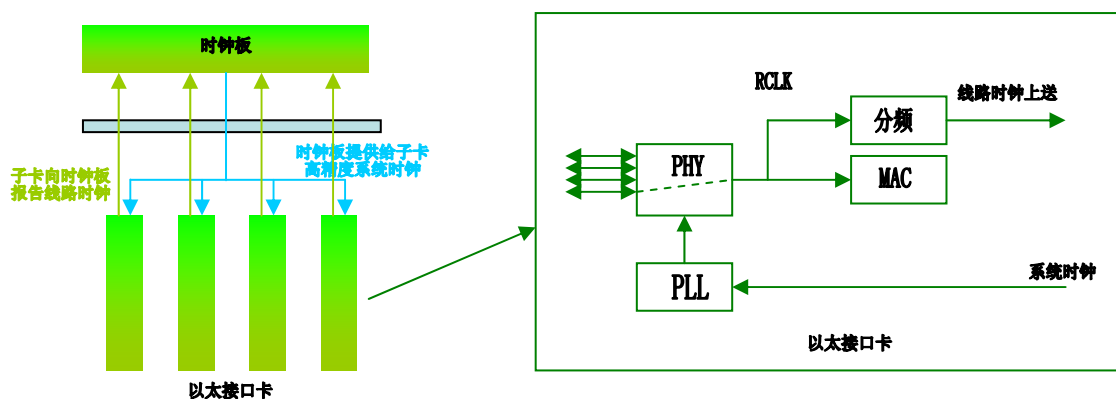


如上图，在发送侧 CX 将高精度时钟注入以太网的物理层芯片(PHY)，PHY 芯片用这个高精度的时钟将数据发送出去。接收侧的 CX 的 PHY 芯片可以从数据码流中提取这个时钟，在这个过程中时钟的精度不会有损失。这就是同步以太网的基本原理。

2.1.2 相关标准和产品

目前 ITUT 已经开始进行研究，相关标准为 G.8261。一些欧洲运营商比较感兴趣，但是目前只有 Huawei CX 系列产品商用化。

2.1.3 技术实现



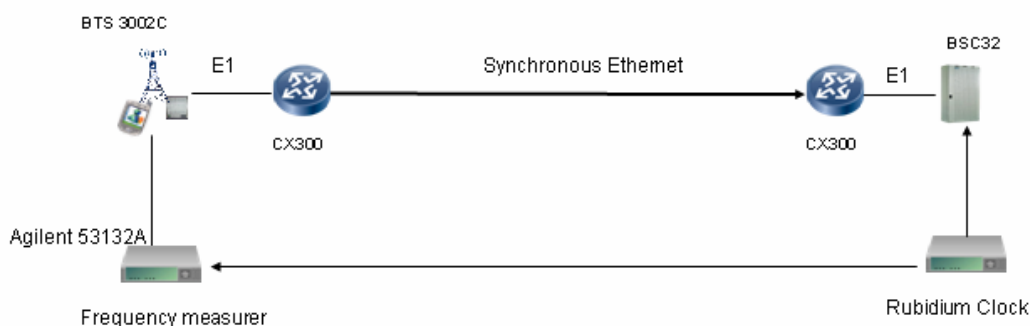
同步以太网实现起来非常简单，如上图，系统需要支持一个时钟模块（时钟板），统一输出一个高精度系统时钟给所有的以太接口卡；以太接口上的 PHY 器件利用这个高精度时钟，将数据发送出去。在接收侧，以太网接口的 PHY 器件将时钟恢复出来，分频后上送给时钟板。时钟板要判断各个接口上报时钟的质量，选择一个精度最高的，将系统时钟与其



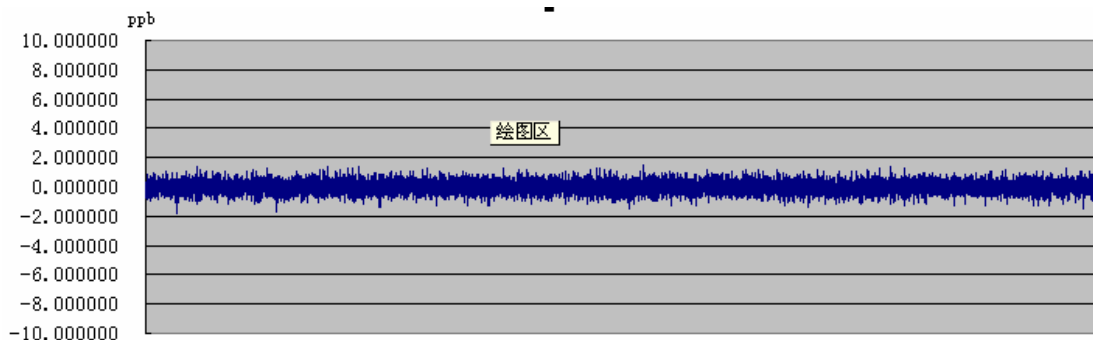
同步。

为了正确选源，在传递时钟信息的同时，必须传递时钟质量信息（SSM）。对于 SDH 网络，时钟质量（等级）是通过 SDH 里的带外开销字节来完成的。由于以太网没有带外通道，采用通过构造专用的 SSM 报文的方式通告下游设备。

2.1.4 测试结果



如上图所示，在基站控制器 BSC 和基站 BTS 署两台 CX，使用同步以太链路连接。BSC 从铷钟接入高精度时钟源，通过 E1 接口提供给 CX，CX 将这个时钟发布到同步以太链路上，对端的 CX 将这个时钟恢复出来，提供给 BTS。使用一个频率计来检测恢复的时钟质量。



同步以太网恢复出的时钟指标非常好，基本在 2ppb 之内，完全满足 50ppb 的频率精度要求。

2.1.5 性能和部署局限

同步以太网传递时钟的机制是成熟的，恢复出来的时钟性能是最可靠的，能够满足 G.823 规定的 TIMING 接口指标，而且不会受网络负载变化的影响。

同 SDH 一样，同步以太网在部署上有局限，时钟的传递是基于链路的，它原则上要求



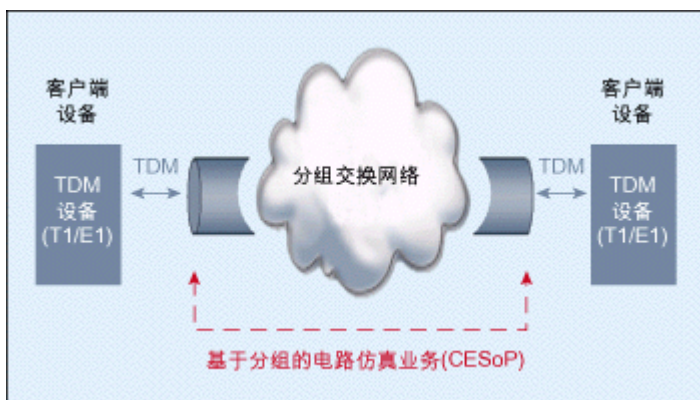
时钟路径上的所有链路都具备同步以太网特性。

2.2 电路仿真包恢复时钟技术

2.2.1 基本介绍

电路仿真技术起源于 ATM 网络，采用虚电路等方式，将电路业务数据封装进 ATM 信元在 ATM 网络上传输。后来这种电路仿真的设计思想被移植到城域以太网上面。在以太网上面提供 TDM 等电路交换业务的仿真传送。

电路仿真是电路交换业务在网络上透明传输所采纳的机制。它用特殊的电路仿真头来封装 TDM 业务，并通过一定的机制来实现时钟在包交换网上的传输。实现这种封装功能的物理层器件一般称为成帧器或映射器，它能直接和原有的 TDM 网络连接。



2.2.2 相关标准

目前业界对电路仿真的研究非常活跃，各个标准组织都进行了专题研究。总的来看，虽然电路仿真的标准很多，但是基本上是在仿真报文的帧结构上做文章，没有什么本质的区别。

标准组织	相关标准	框架文档	工作模式	
			结构化仿真	非结构化仿真
IETF	Draft-ietf-pwe3-tdm-requirements	√		
	Draft-ietf-pwe3-satop		√	
	Draft-ietf-pwe3-cesopsn			√
ITU-T	Y.1413		√	√
MEF	CES Framework & Requirements	√		

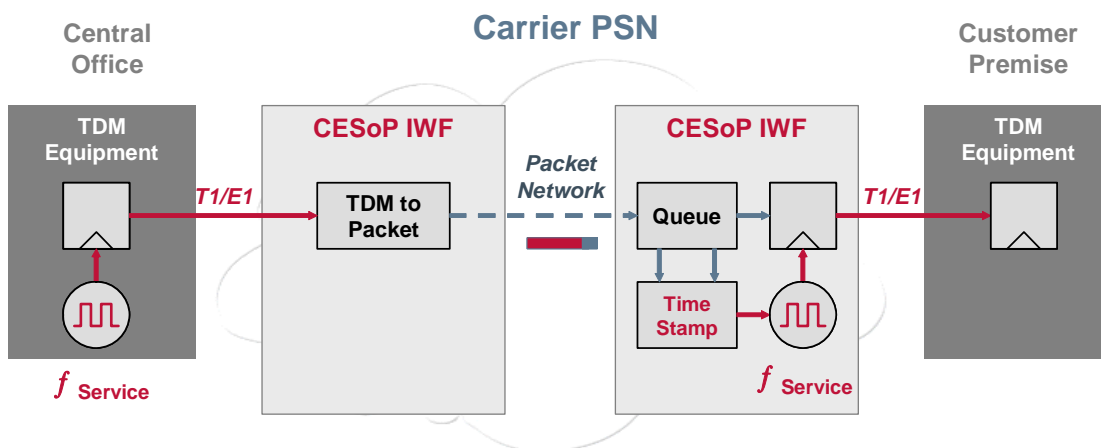


	PDH Implementation Agreement		✓	✓
MPLS	CESoMPLS Scope and Requirements	✓		
	CESoMPLS Implementation		✓	✓

电路仿真包恢复时钟技术就是当以太网应用电路仿真方式解决 TDM 业务承载的时候，采用自适应算法从数据包中恢复时钟同步信息。

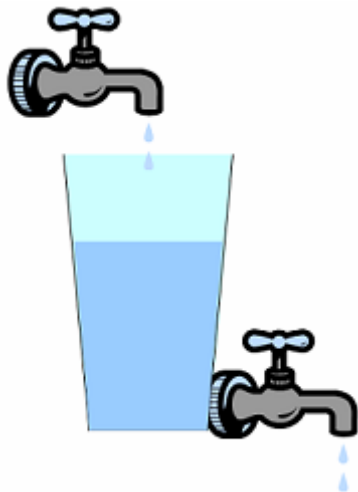
2.2.3 自适应时钟恢复算法原理

电路仿真技术一般采用自适应算法来实现时钟（频率）同步。下面简单介绍一下这种算法的基本原理。



上图中，位于时钟源侧的网关（IWF）设备定期向对端的网关设备发送时间信息。这个时间信息是与 T1/E1 的仿真报文一起提供的。在另外一端，网关设备从报文中提取出时间戳，通过算法恢复出业务时钟 f-service。

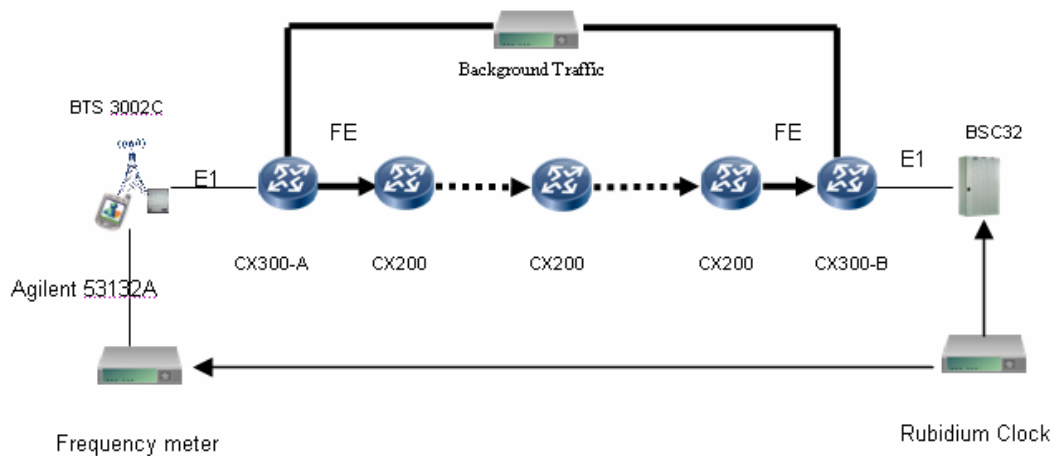
算法的核心思路是，左侧的 IWF 设备用根据自己的源时钟向目的 IWF 设备发送报文。目的 IWF 设备使用一个队列先缓存这些报文，然后用自己的本地时钟发送出去。假如源时钟和目的地的本地时钟不一致，哪怕只是非常微小的差异，都会造成目的地设备中缓存队列的深度变化。这样，我们就可以根据这个队列的深度来判断本地时钟与源时钟是否保持一致。如果发现队列深度持续增加，表明本地时钟比源时钟慢，需要调高本地时钟；如果发现队列深度持续减少，表明本地时钟比源时钟快，需要降低本地时钟。这是一种负反馈机制，稳定后，我们会发现，目的地的本地时钟与源时钟在长期看是相同的，这样就完成了在 IP 网络上两个 IWF 设备之间的频率同步过程。



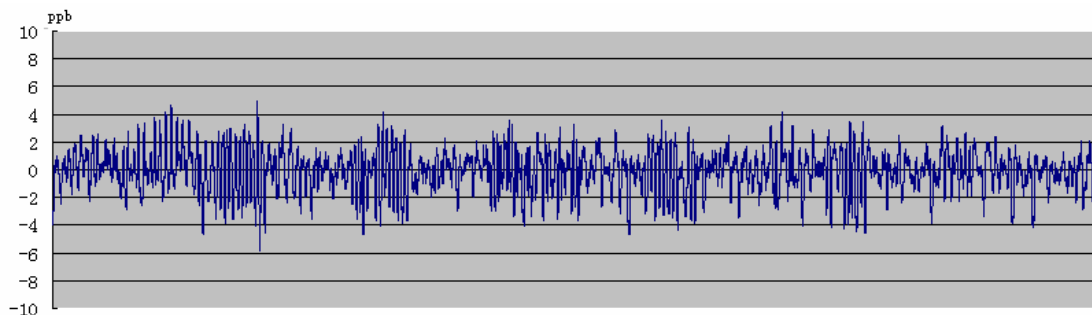
一个形象的比喻可以有助于理解自适应算法。时钟源处的 IWF 设备相当于一个水龙头，以一定的时钟频率将报文发送给下面的水桶里。目的地处的 IWF 设备相当于另外一个水龙头，通过调节自己的开关，让桶里的水保持一个恒定的高度，这样就完成了两个设备之间的同步。

自适应算法的实现难点就是，IP 网络天生存在延迟的抖动（PDV），报文的抖动也会造成缓存队列的深度变化，而目的地 IWF 设备无法区别这种变化到底是因为频率的差异造成的还是因为 IP 网络的延迟抖动造成的，无法做出正确的反应。但是 IP 网络的延迟抖动都是非积累性的，所以通过一些统计上的方法，比如求平均值，来进行过滤。

2.2.4 性能测试结果

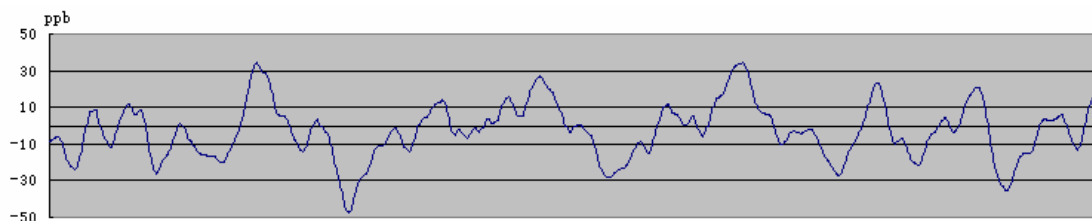


为了验证自适应算法的精度，我们搭建了一个10跳的以太网，通过SMARTBIS设备构造各种背景流量，模拟网络拥塞、带宽突变的情况，然后用专用的TDM时钟测试仪器进行测试。



当没有背景流量时，恢复出的时钟质量在10ppb以内，如上图。

通过背景流量冲击，在网络抖动在1-10ms的情况下，时钟精度可以保持在50ppb内，如下图所示，满足无线要求。



电路仿真包恢复时钟性能与承载网络密切相关，虽然会受到网络传输延时变化影响，但是在一些场景下也还是适用的，比如承载网负载比较松，时钟包服务优先级比较高可以保证无拥塞的传送；网络结构比较简单，中间节点较少，网络传送延时变化不大。

2.3 TOP 方式恢复时钟

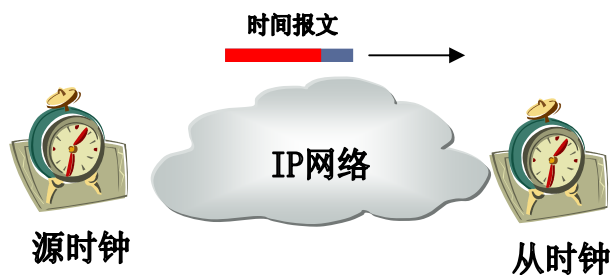
2.3.1 基本介绍

前面介绍的电路仿真技术中使用到的自适应恢复算法，时钟的恢复是与业务在一起完成的。在无线的一些应用场景下，业务已经 IP 化，不再需要 TDM 接口，但是仍然需要时钟，此时需要一种 TOP（TIMING OVER PACKET）的技术来实现。

TOP 这种机制也是在 ITUT G.8261 中定义的。



2.3.2 实现原理



如上图,源时钟定期的发送时间报文到从时钟,后者计算出本地时间和远端时间的差异,就是“对表”。如果两个钟表的频率是一样的,这个时差应该保持不变,比如北京和伦敦之间就要维持 7 小时的差异。但是如果这个差异慢慢变大或者慢慢变小,说明两边的频率有差异,需要调整。

可以看到, TOP 的时钟恢复机制与前面的自适应算法是一样的,区别是一个后者将业务与时钟绑定在一起,而 TOP 可以做到与业务无关。

时间报文的格式可以是多样的,比如 NTP/RTP/IEEE 1588,只要报文中携带了时间信息就可以了。

2.3.3 性能

TOP方式恢复时钟的精度与前面提到的自适应机制是相同的,没有本质差别。

2.4 几种时钟恢复方式的精度对比

业务类型	设计标准	关键指标	可以满足的时钟方式
数据专线 (DDN,帧中继,ATM)	G.823	Traffic接口指标	自适应时钟 同步以太网
固网TDM中继	G.823	Traffic接口指标	自适应时钟

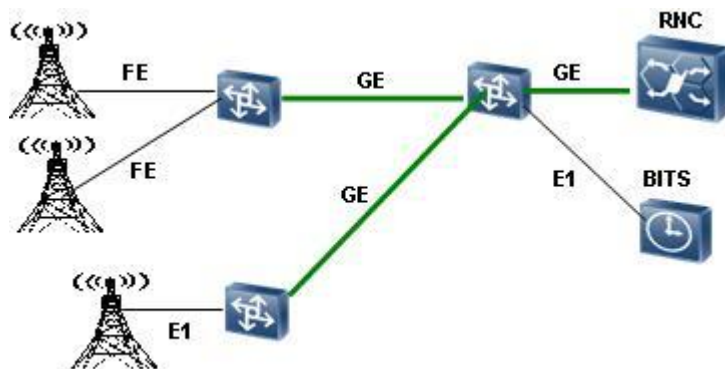


			同步以太网
无线基站	G.8261	G.823定义的 TRAFFIC指标+ 50ppb的时钟频率长 期稳定度	自适应时钟 TOP 同步以太网
专用时钟网络中继 (BITS)	G.823	TIMING接口指标	同步以太网



3 典型应用

3.1 同步以太网时钟透传方案



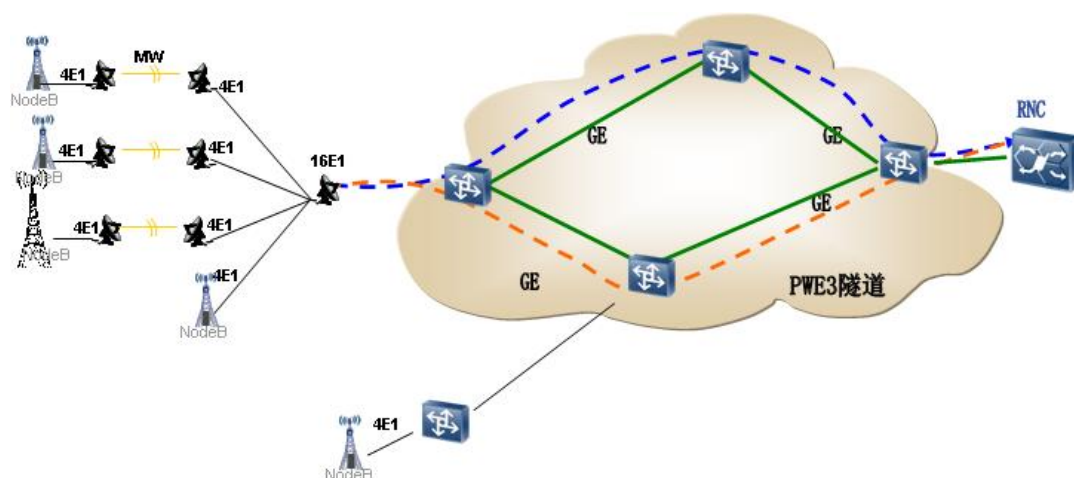
采用同步以太网链路传递时钟可以获得可靠的时钟传送质量保证，目前在无线接入网应用中主要有树状网和环网两种形式。BITS设备发布的时钟信息经过同步以太网网络被分发给与基站节点相连的数据通信设备，在经过同步FE接口或者E1接口传送给基站。



采用GE-RPR同步以太环网的组网方式，除了可以提供同步时钟的传送外，还能对数据传输链路提供类似SDH的链路保护功能，如上图典型应用所示，通过GE-RPR环网上的两台数据通信设备以双归属方式将RNC侧设备和BITS时钟接入环网，与各基站形成可靠连接。



3.2 TDM 电路仿真时钟透传方案



基站通过TDM接口E1接口接入包交换网络，在接入点放置带有TDM电路仿真功能的交换机或者路由器设备进行TDM业务仿真，采用包恢复时钟算法对RNC侧的时钟信息进行恢复。

采用这种方案要求优化网络结构，PWE3隧道经过的网络中间设备节点数量要尽可能的少，避免过多的中间网络节点引入变化较大的数据包延时抖动，同时将TDM仿真报文配置成最高优先级。



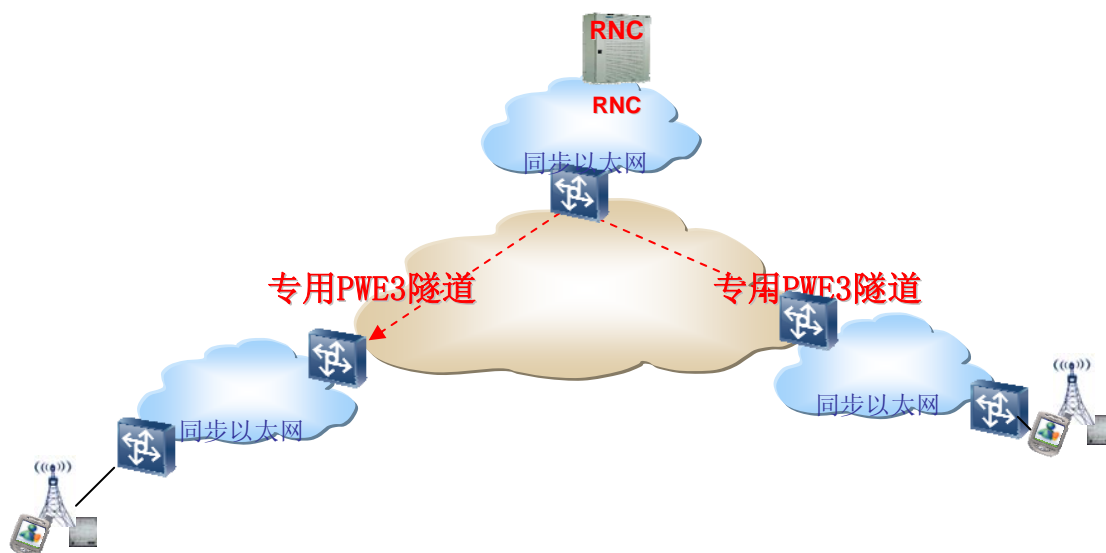
3.3 TOP 时钟方案



如上图，在网络中布署**CLOCK**服务器，在网络上发布时间信息。基站直接从**IP**网络获得时间信息，自己完成时钟频率的恢复。



3.4 混合组网方案



同步以太网技术要求全网设备都支持此特性，才能保证时钟质量，但是在实际的网络中，很多地方无法实现，中间存在一段不支持同步以太网的链路。在这样的场景下，可以在不同的同步以太网云之间建立专用的PWE3隧道，让时钟穿越这个不支持同步以太网的云，最后得到全网同步。



4 结束语

在全网IP化的今天，时钟同步问题已经成为一个关键的技术瓶颈。如果在IP网上解决了同步问题，建设一个真正的基于IP的多业务融合网络就成为可能。

在IP网络上传输时钟，主要有两类解决方案，以自适应算法代表的包时钟方案和以同步以太网代表的物理层时钟方案。他们有各自的优点和缺点，分别适应不同的应用场景，都是不可以缺少的。

在技术选择上，如果一个网络中大部分设备都支持同步以太网，或者在对时钟质量要求非常高的场景下，建议使用同步以太网技术；在其他情况下，建议使用以自适应算法为代表的包时钟技术。



附录 A 参考资料

- 1) ITUT G.823 TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS
- 2) ITUT G.8261
- 3) Digital networks – Quality and availability targets
- 4) RFC 3916, Requirements for Pseudo-Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3), IETF
- 5) RFC 3985, Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3) Architecture, IETF
- 6) RFC 4197, Requirements for Edge-to-Edge Emulation of Time Division Multiplexed(TDM) Circuits over Packet Switching Networks, IETF
- 7) RFC 4553, Structure-Agnostic Time Division Multiplexing (TDM) over Packet (SAToP), IETF
- 8) Internet Draft, “draft-ietf-pwe3-cesopsn-07”, IETF
- 9) MEF8.0, Metro Ethernet Forum
- 10) MFA 8.0.0, Emulation of TDM Circuits over MPLS Using Raw Encapsulation Implementation Agreement, MFA

附录 B 缩略语

英文缩写	英文全称	中文含义
ACR	Adaptive clock recovery	自适应时钟恢复
PSN	Packet –Switched Networks	包交换网络
TDM	Time Division Multiplex	时分复用
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	伪同步数字序列
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字序列
SONET	Synchronous Optical NETwork	同步光网络
PSTN	Public Switched Telephone Network	公共电话交换网
SAToP	Structure-Agnostic TDM over Packet	结构不感知的电路仿真



英文缩写	英文全称	中文含义
CESoPSN	Circuit Emulation Services over Packet Switch Network	包网络上的电路仿真
CAS	Channel Associated Signaling	随路信令方式
CCS	Common Channel Signaling	共路信令方式
MEF	Metro Ethernet Forum	城域以太网论坛
MFA	MPLS Forum	MPLS 论坛
	Frame Relay Forum	帧中继论坛
	The ATM Forum	ATM 论坛
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector	国际电信联盟—电信标准部
IETF	Internet Engineering Task Force	互联网工程任务组