

白皮书

# 无线网络的定时和同步标准

作者: *Reza Vaez-Ghaemi* 博士

*VIAVI Solutions* 产品线管理高级经理

多年以来，同步网络一直是无线网络的关键组成部分。高级 LTE 服务和 5G 服务的引入对同步网络提出了新的要求。本白皮书描述了同步要求、技术以及同步标准和测试与测量应用。本文最后描述了无线网络中同步的 ITU G.826x/G.827x 标准，并重点介绍了与现场应用部署相关的一些主要指标和网络限制。

## 目录

简介	2
时间误差、抖动和漂移测量	4
无线同步要求	6
基于分组的同步标准	6
IEEE 1588v2	7
电信同步标准	9
频率同步标准	10
时间和相位同步标准	14
展望	20

## 简介

同步网络已经在电信网络中部署多年。同步数字体系 (SDH)/同步光网络 (SONET) 代表并仍然构成大量城域核心网的关键组成部分。接入网部署了 PDH/DS1/DS3 和 SONET/SDH 服务，以同步客户端的终端应用。随着电信级以太网的引入，过去十年中引入了基于分组的定时和同步的新标准。

几十年前就出现了同步的需求，当时电信网络引入了数字交换和传输。这些技术需要同步发射机和接收机；更具体地说，需要接收机时钟来跟踪发射机信号。正确的跟踪能够正确地检索传输的信号；另一方面，不良的同步会导致传输质量下降，从而影响语音或数据等传输服务的质量。

在理想的传输系统中，脉冲以精确的间隔传输，并以完全相同的时间间隔到达接收器。在实际系统中，各种因素都会导致信号不完美，从而使得频率或相位同步不佳。频率同步也称为谐振，是指时钟与相同频率对齐（图 1）。类似地，相位/时间同步是指将两个设备分别对准同一个相位（图 2）和一天中的时间（图 3）。

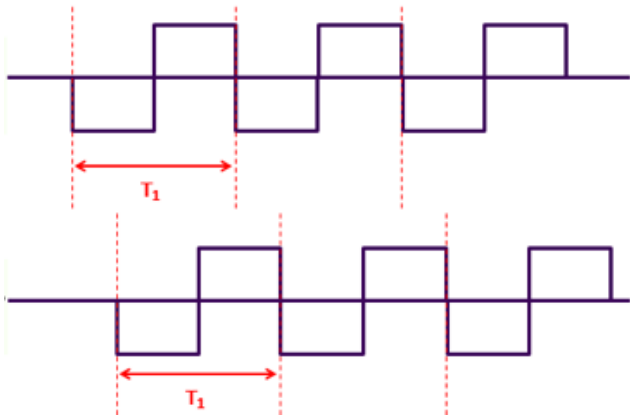


图 1: 频率同步（谐振）

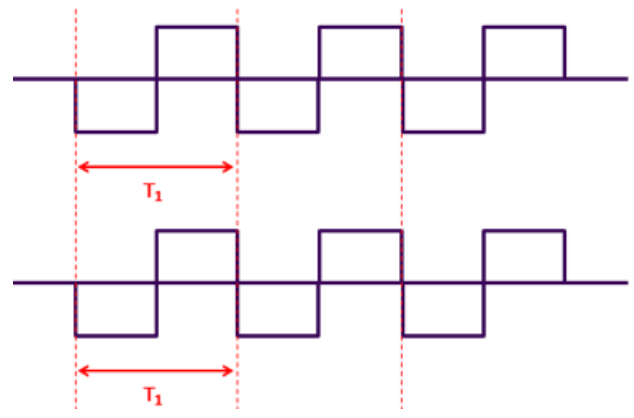
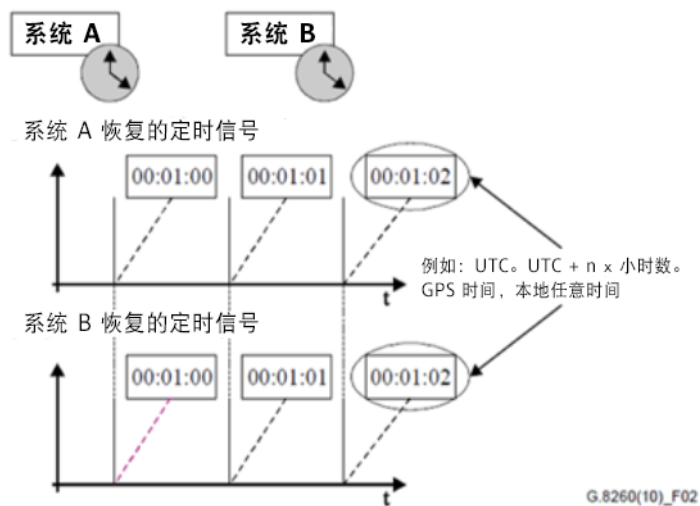


图 2: 相位同步



G.8260(10)\_F02

图 3: 时间同步

不完美的同步会导致抖动或漂移。抖动和漂移表征了发射信号的相位偏差。漂移通常是由导致缓慢相位变化的现象（如温度变化）引起的。抖动可能是时钟电路工作的结果。

ANSI T1.101 中规定了时钟性能，从第 1 层到第 4 层分为五类（表 1）。最高的性能是Stratum 1。它也称为主要参考源 (PRS) 或主要参考时钟 (PRC)，尽管它们之间有所不同。与第 1 层时钟不同，PRS 不需要是自主的。PRS 必须可追溯到 Stratum 1。例如，它可以基于满足Stratum 1可追溯性要求的 GPS，但它不是自主的。铯原子钟是电信中使用的唯一自主时钟。

层级	精度
1	$1 \times 10^{-11}$
2	$1.6 \times 10^{-8}$
3/3E	$4.6 \times 10^{-6}$
4	$32 \times 10^{-6}$

表 1: 层分类

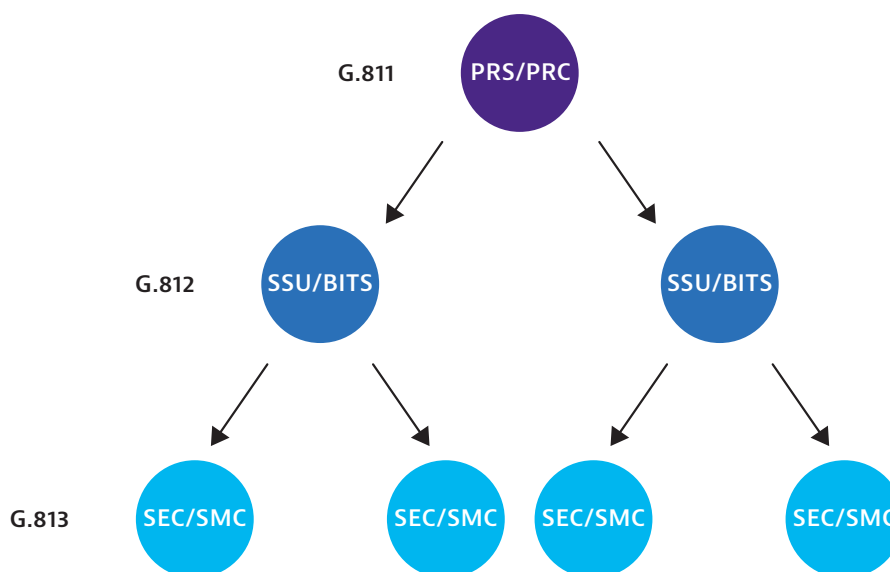


图 4: 同步层次结构

典型的电信网络为各个节点部署一个或多个 PRS 定时基准。由于在每个节点部署 PRS 并不经济，因此需要一种同步方法来为各个应用提供最低的同步性能；例如在基站处的Stratum 3E。主流方法是主从方法（图 5），其中 PRS 同步下游的一系列节点。为了提供冗余，需要第二个主机。SONET/SDH 网络部署同步供给单元 (SSU) 或通信楼综合定时源 (BITS)，以接受替代同步源并选择最佳可用源。在 PRS 和 SSU 之间，SONET/SDH 网络使用 SONET/SDH 设备时钟 (SEC) 将时钟从上游节点下发到下游节点。

只要设备时钟连接到它们各自的时钟，它们的同步性能将由基准时钟（例如 PRC）定义。然而，如果它们失去同步源，它们的稳定性将取决于内部时钟的性能。在基准事件丢失后的有限时间内，设备可以依靠其保持功能来限制相对于基准的漂移程度。保持功能使用保持前的历史数据来控制其内部振荡器。除了保持算法和数据，内部振荡器的选择对于保持良好的稳定性也至关重要。耐热晶体振荡器广泛用于同步应用，支持 SEC 和其他stratum 3/3E用例的一系列稳定性要求。铷振荡器具有更好的稳定性，通常用于 SSU/BITS 设备，而且理所当然的，它们也更贵。PRC/PRS 和 SSU/BITS 通常作为独立设备生产；SEC/SMC 更普遍地被集成为网元的一部分，例如 SONET/SDH 或同步以太网节点。

为了区分和选择适合应用的同步解决方案，需要考虑几个因素。这些因素包括长期准确性和短期稳定性。前者是通过使用 GPS 接收器来保证的，该接收器最终可追溯到世界协调时 (UTC)。然而，GPS 接收器可能无法满足短期稳定性要求。因此，同步解决方案通常依赖于某种具有各种成本/性能参数的精密石英振荡器。

## 时间误差、抖动和漂移测试

**G.810**（同步网络的定义和术语）提供了定时和同步建议中使用的定义和缩写。

标准	标题
G.810	同步网络的定义和术语
G.811	主基准时钟 (PRC) 的时序特征
G.812	适合用作同步网络中节点时钟的从时钟的定时要求
G.813	SDH 设备从时钟 (SEC) 的时序特征
G.823	基于 2048 千位/秒层次结构的数字网络中对抖动和漂移的控制
G.824	基于 1544 千位/秒层次结构的数字网络中对抖动和漂移的控制
G.825	基于同步数字层次结构 (SDH) 的数字网络中对抖动和漂移的控制

表 2: ITU-T 定时/同步的同步标准

**时间误差 (TE)** 函数：相对于频率标准，时钟的时间误差是该时钟的时间与频率标准的时间之差。时间误差是可依据其对许多不同稳定性参数（如 MTIE、TIErms、阿伦方差等）进行计算的可计算出。

**时间间隔误差 (TIE)** 函数：由时钟提供的时间间隔测量值和由基准时钟提供的相同时间间隔测量值之间的差值。

抖动和漂移分别被定义为数字信号的重要时刻相对于其理想时间位置的短期和长期变化。短期/长期意味着这些变化的频率大于/小于10 Hz（图 6）。

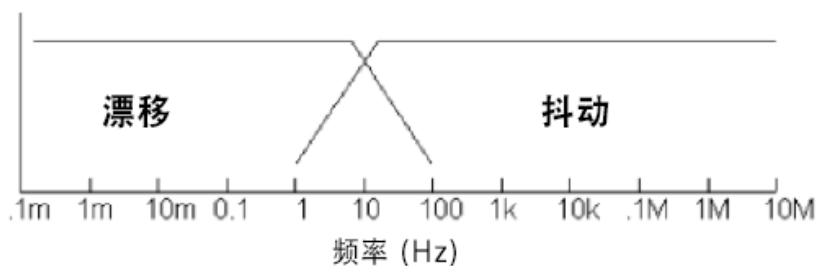


图 5: 抖动和漂移的频率范围 (G.810)

**抖动:** 推荐规范 G.823、G.824 和 G.825 中给出的网络节点接口抖动要求分为两个基本类别:

- 分级接口输出端最大允许抖动的规范;
- 正弦抖动压力测试规范, 用于确保输入端口能够适应预期的网络抖动水平。

抖动通常被指定并测量为一个或多个测量带宽内的最大相位幅度。抖动幅度以单位间隔 (UI) 表示, 因此一个抖动 UI 等于一个数据位宽度。

**漂移:** 漂移要求分为以下几类, 并在 PDH/SDH 网络的推荐规范 G.811、G.812 和 G.813 中定义。同步以太网和基于分组的网络的要求在下文进一步描述的 G.826x/G.827x 标准 (通常称为 G.81x 标准) 中定义。

- 同步网络节点输出端的最大允许漂移;
- 压力测试, 用于确保同步设备输入端口能够容纳预期的
- 网络漂移水平;
- 主基准时钟和从时钟的漂移规范可能包括:
  - 在锁定条件下的固有输出漂移;
  - 在自由运行条件下的固有输出漂移;
  - 在压力测试条件下的输出漂移;
  - 漂移转移特征。

漂移测量值通常由时间间隔误差 (TIE) 函数得出, 并以几个度量指标进行表征, 包括最大时间间隔误差 (MTIE) 和时间偏差 (TDEV), 单位为纳秒:

- MTIE: 在测量周期 (T) 内该长度的所有观察时间内, 给定定时信号相对于理想定时信号在观察时间 ( $t=nt_0$ ) 内的最大峰峰值延迟变化
- TDEV: 测量信号的预期时间变化, 作为积分时间的函数。

## 无线同步要求

无线服务从一开始就依赖于同步。GSM/EDGE 服务（表 3）依赖于频率同步来保证网络正常运行。3gpp 标准要求宏 BTS 的频率稳定性为 50 ppb。3G (UMTS/WCDMA-FDD) 和 4G (LTE-FDD) 应用了相同的要求。CDMA-2000、WCDMA-TDD、LTE-TDD 推动了对微秒范围内定时和相位同步的需求。为了实施这些要求，在基站和无线交换/聚合站点部署 GPS (GNSS) 和 PDH/T1/T3/BITS 以及 SONET/SDH 定时。

无线电技术	频率同步	时间/相位同步
GSM	50-100 ppb	
CDMA 2000		3-10 微秒
UMTS/WCDMA-FDD	50-100 ppb	
WCDMA-TDD		3 微秒
LTE-FDD	50-100 ppb	
LTE-TDD	50-100 ppb	3-10 微秒

表 3: 无线同步要求 (2G/3G/4G)

尽管全球定位系统 (GPS) 技术仍然是基站的主要同步方法，但在包括美国在内的许多国家/地区，基于网络的同步已经越来越多地部署在世界各地的新网络中，作为备份或主要同步源。在新的网络中，基于分组的网络同步技术已经越来越多地取代基于 PDH/T1/T3 或 SONET/SDH 的系统。

## 基于分组的同步标准

电信级以太网标准制定的关键组成部分是对基于分组的同步标准的必要增强，它可以满足关键的终端用户应用，例如无线服务。在这些活动之前，各种基于分组的技术已经被部署在较小的专用网络中，例如企业或工业自动化应用。网络时间协议 (NTP) 已经应用多年；主要用于从 NTP 服务器获取基准时间并同步各种地理上分散的端点。NTP 也被选为无线接入网络的一种技术，尽管随着 IEEE 1588v2 标准（表 4）的引入，它的普及速度也减慢了。

IEEE 1588v2 也称为精确定时协议 (PTP)，是基于 IEEE 1588 标准提出的，该标准最初旨在解决较小网络（例如生产或实验室测试台）中仪器应用的同步需求。为了使其在更大的地理分布上达到电信等级，并满足更严格的时间要求，已经增加了各种功能。除了这些增强之外，ITU 还创建了一套强大的标准，这些标准利用了 IEEE 1588v2 的优势，并定义了电信网络中部署的网络要求、时钟方面、方法和配置文件。

最后，同步以太网 (SyncE) 代表了电信级以太网项目的另一项主要增强点。它将 SONET/SDH 的最佳同步能力与以太网相结合。稳定振荡器 (例如稳定性为 4.6ppm 的 Stratum 3E) 取代了异步网络中使用的常规振荡器 (100ppm)。此外，同步接收器可以依据传入以太网分组恢复时钟，并将其与内部振荡器同步，从而使节点能够与其上游节点同步。最后，以太网同步报文信道 (ESMC) 为各 SyncE 节点之间的同步质量信息交换提供了一个通信协议。自然而然，这些功能使 SyncE 成为一种强大的频率同步技术。

技术	频率	时间/相位	基于网络?
GPS	Y	Y	
PTP/NTP	Y	Y	基于分组层
SyncE	Y	N	基于物理层
E1/E3/DS1/DS3、2/10 MHz BITS/SSU、SONET/SDH	Y	N	基于物理层

表 4: 同步技术

## IEEE 1588V2

IEEE St. 1588™-2008 也称为 IEEE 1588v2，它定义了一个协议，该协议使用网络通信、本地计算和分布式对象来实现测量和控制系统中时钟的精确同步。该标准使同步精度优于 1 纳秒成为可能。它包括用户数据报协议 (UDP)/互联网协议 (IP) 和二层以太网实现，并指定了精确时间协议 (PTP) 以及节点、系统和通信属性来支持 PTP。该协议将在主-从层次结构中的组织的节点与顶层的时钟同步，从而确定整个系统的基准时间。

PTP 系统由 PTP 设备和非 PTP 设备组成。这些设备交换事件和一般报文 (表 5)。事件报文需要精确的时间戳。

事件报文	一般报文	注释
Sync	Follow_up	
Delay_Req	Delay_Resp	
Pdelay_Req	Pdelay_Resp_Follow_Up	仅在使用对等延迟机制的 PTP 网络中
Pdelay_Resp		
	Management	
	Announce	
	Signaling	

表 5: PTP 报文

非 PTP 设备可以是路由器、网桥、计算机等。这些设备不处理 PTP 报文。PTP 设备包括：

- 普通时钟 (OC)，可以从时钟，也可以是祖时钟。
- 边界时钟 (BC)，充当前向其上游节点的从设备，并充当下游路径上的主设备。
- 如下所述的端到端和对等透传时钟 (TC)。
- 管理节点，充当 PTP 管理报文的人工或编程接口。它可以与上述任何设备结合使用。

PTP 协议交换（图 7）从建立主-从层次结构开始。将使用最佳主时钟算法 (BMCA) 比较输入时钟的 announce 报文内容来确定最佳时钟。一旦建立了层次结构，OC 和 BC 通过使用 Sync、Delay\_Req（如有必要）、Follow\_Up 和 Delay\_Resp 报文交换 PTP 报文（图 1）来进行同步。

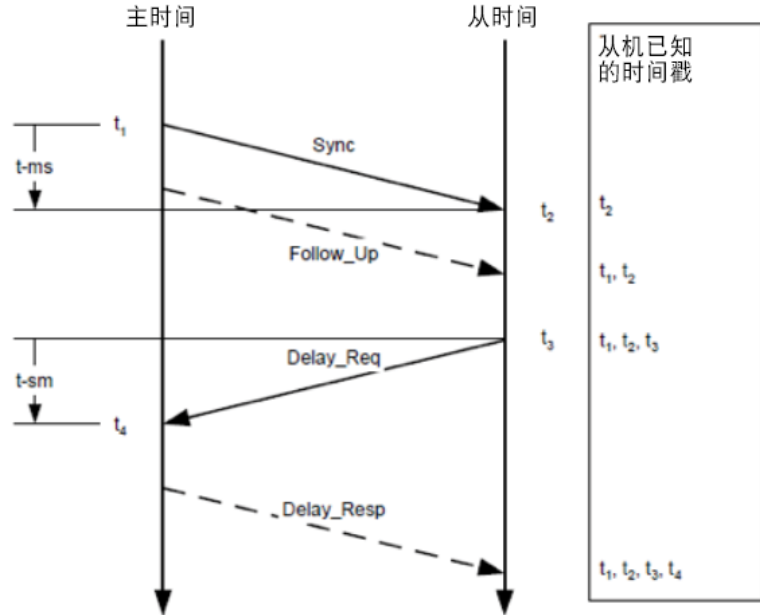


图 6：基本同步报文交换

除了 OC 和 BC，透传时钟 (TC) 还可以用于 PTP 网络。它们不承担主时钟或从时钟的角色，但与传统（非 PTP）开关不同，它们执行关键操作，允许 OC/BC 解释它们在超级主节点和从节点之间的路径中发生的延迟。有两种机制：

1. 端到端 TC 通过利用 Sync Delay\_Req、Delay\_Resp 和 Follow\_Up（如有必要）报文来使用 Delay\_Request 和 Response 机制。
2. 对等 TC 通过交换其他 Pdelay\_Req、Pdelay\_Resp 和 Pdelay\_Resp\_Follow\_Up（如果需要）报文来使用备用 Peer Delay 机制。

端到端 TC 向下游 OC/BC 提供传输时间信息。这是 TC 在入口和出口之间花费的传输时间。这些信息允许 OC/BC 考虑延迟，并计算 TC 产生的总延迟。对等 TC 不仅仅提供传输时间信息。它们使用对等延迟机制来执行延迟测量，从而允许它们精确地表征对等端口之间的延迟。他们使用这些信息来纠正 Sync 和 Follow\_Up 报文中的定时信息。

最后一类 PTP 报文是管理和信令报文。前一种报文在管理节点和时钟之间交换，并用于查询或更新具有单独时钟节点的 PTP 信息。它们也适用于初始化和故障管理节点。最后，信令报文用于所有其他必要的功能。例如，它们可用于协商主设备和其各自从设备之间的事件报文交换速率。



**IEEE 1588v2 配置文件：**由于 IEEE 1588v2 涵盖了广泛的应用和属性，PTP 配置文件被定义为允许特定的属性值选择和 PTP 的可选特性，当使用相同的传输协议时，这些特性相互作用并实现满足特定应用要求的性能。电信配置文件的示例将在下面进一步提及。

## 电信同步

IEEE 1588v2 为不同的同步应用提供了强大的基准。这些应用包括电信/无线、音频/视频和公用事业应用。在这一节中，我们将重点讨论在电信网络中的应用。ITU-T 为同步应用定义了一系列标准（图 8）。

**G.8260** 提供了分组网络中频率、相位和时间同步中使用的定义、术语和缩写。它包括时间误差函数的各种指标的定义（依据上面简要描述的 G.810 标准）。

- 恒定时间误差 (cTE)，可通过对时间误差函数的前 M 个样本求平均值来估计
- 最大绝对时间误差（最大 |TE|）是时间误差函数的最大绝对值

除了 G.8260，还有两类适用于频率 (G.826x) 和时间/相位 (G.827x) 同步的标准。

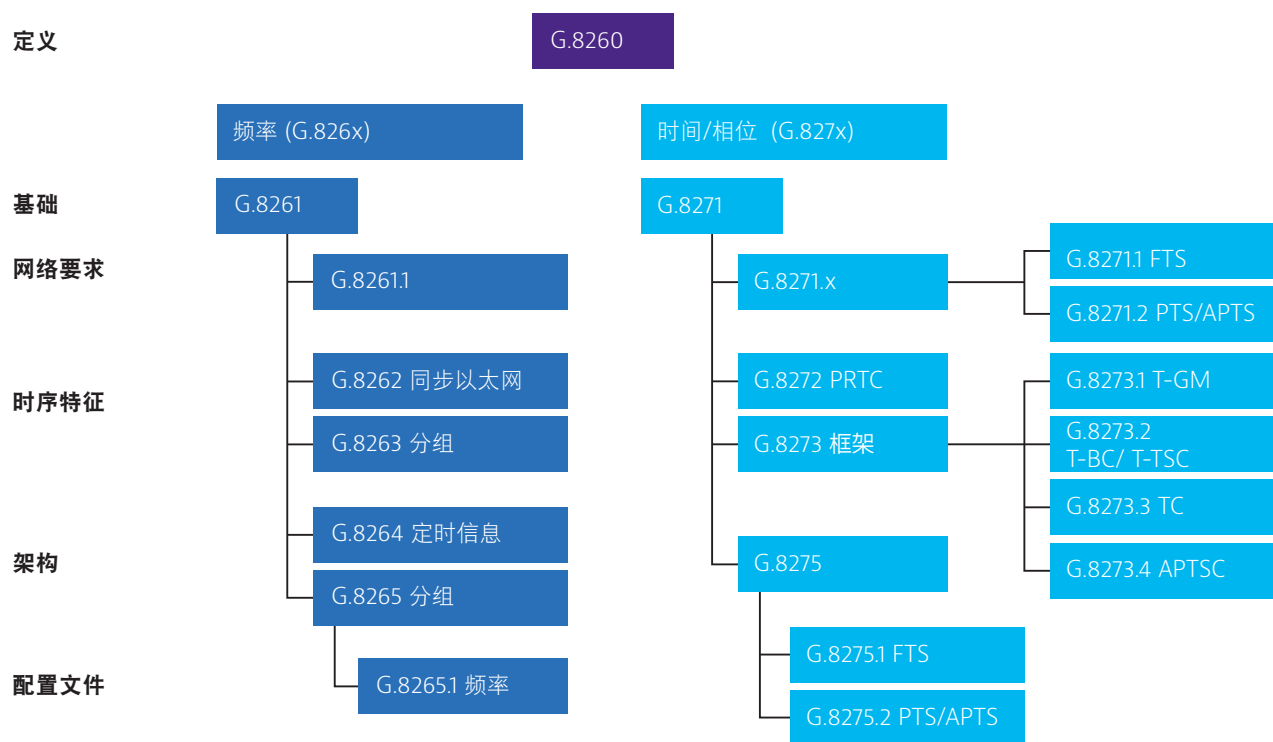


图 7: ITU-T 同步标准概览

## 频率同步标准

**G.8261**（分组网络中的定时和同步方面），重点关注频率同步应用，例如：

- 分组网络上的基准定时分布：PTN（分组网络时间）域
- 通过分组网络传输的恒定比特率服务的定时恢复：CES（电路仿真服务）域

PNT 域可以由分布式 PRC 或主-从方法提供支持。分布式 PRC 的可扩展性有限，并且相对昂贵。主-从方法可能包括：

- 同步以太网
- 基于分组的方法，例如 PTP 或 NTP（网络定时协议）

CES 域是关于对恒定比特率 CBR 服务的支持，例如电路仿真时域复用 TDM 信号。它可以通过各种方法来解决，例如网络同步操作、差分方法、自适应方法或 TDM 端的基准时钟。

除了定义频率同步的用例和方法，G.8261 还定义了上述应用的网络限制。网络限制的特点是漂移和抖动测量，将在下面进一步描述。

**G.8261.1**（适用于基于分组的方法的分组延迟变化网络限制）规定了通过分组网络进行频率同步时的假设参考模型 (HRM) 和分组延迟变化 (PDV) 网络限制。HRM 可以由基于光以太网的传输技术或替代接入技术提供。后者可以包括数字用户线路 (DSL)、无源光网络 (PON) 或微波回传技术。

网络限制是为各种网络基准点定义的（图 9），例如

- 基于分组的设备时钟主机 (PEC-M)
- 基于分组的设备时钟从机频率 (PEC-S-F)

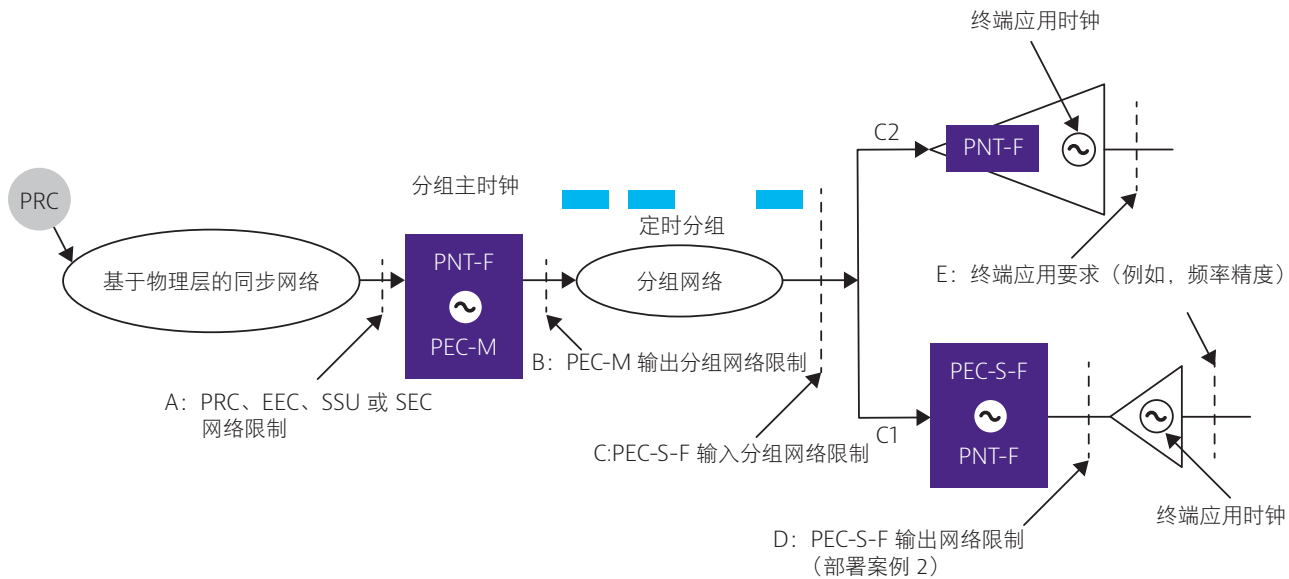


图 8：网络限制的基准点

G.8261.1-Y1361(12)\_F03

在 G.8261.1 中，网络限制分为三类：

- PEC-M 输入端的网络限制
- PEC-S-F 输出端的网络限制
- PDV 限制

前两类涉及时钟接口，它们的限制取自其他标准，例如 G.8261 或 G.823/G.824。PDV 网络限制代表接口 C 处 PDV 的最大允许水平（上面的图 x）。如果一个网络能够产生受控量的 PDV，它就有资格进行频率同步。我们如何确定 PDV 的受控量？G.8261.1 引入了 HRM-1（以太网）的最低分组百分比 (FPP) 的概念；HRM-2 的 PDV 有待进一步研究。

FPP 的特征在于窗口间隔  $W$ （200 秒）和从最低延迟开始的 150 微秒的固定簇范围。如果在任何 200 秒的窗口间隔  $W$  内，至少有 1% 的传输分组在固定的簇内被接收，则网络是合格的。簇从各个窗口观察到的最低延迟开始，范围为 150 微秒。

$$FPP(n, W, \delta) \geq 1\%$$

**G.8262**（同步以太网设备从时钟的定时特征）概述了支持同步以太网的同步网络设备中使用的定时设备的最低要求。要求包括：

- 频率精度
- 拉入、保持、拉出范围
- 根据设备输出的抖动和漂移定义的噪声产生（图 10）
- 根据设备可容许的输入抖动和漂移定义的噪声容限
- 噪声传递
- 瞬态响应

这些要求适用于一系列接口，包括 PDH/T 载波、SONET/SDH 和同步以太网接口。

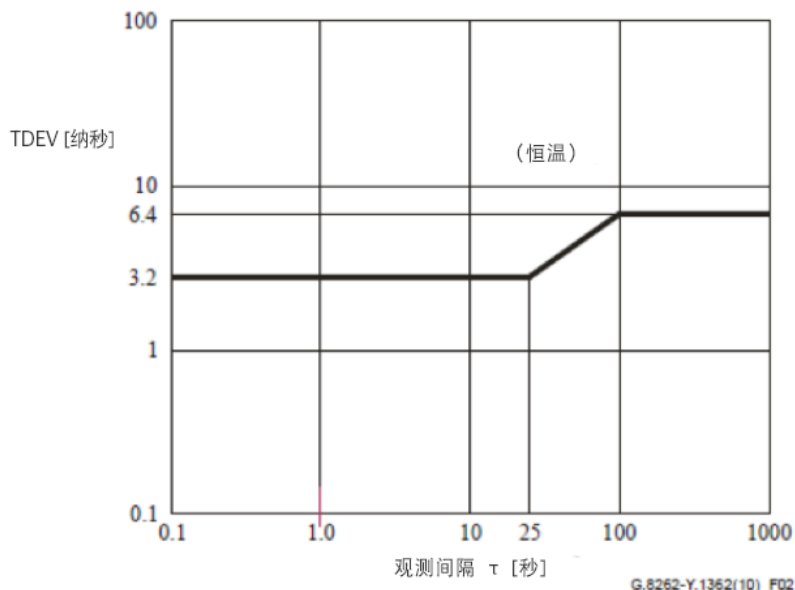
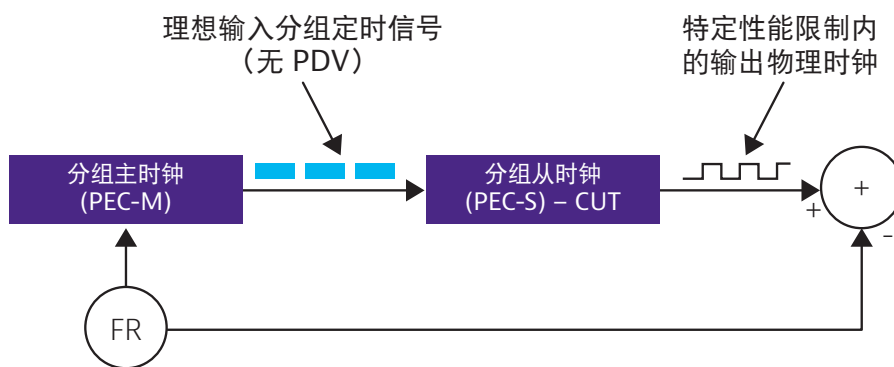


图 9: 恒温条件下 EEC-选项 1 的漂移产生 (TDEV)

**G.8263** (基于分组的设备时钟的定时特征) 概述了分组从时钟定时功能的最低要求 (图 11)。输入接口是以太网，同步输出可以是：

- 1544 Kbit/s接口，符合 [ITU-T G.703];
- 2048 kHz 外部接口，符合 [ITU-T G.703];
- 2048 千位/秒接口，符合 [ITU-T G.703];
- 同步以太网接口。



G.8263-Y.1361(12)\_F01

**缩写含义**

CUT: 测试中的时钟  
FR: 基准频率

图 10: G.8263 针对噪声产生的测试程序

要求包括：

- 输出频率精度 < 4.6 ppm（自由运行条件）
- 输出噪声产生（图 12）
- PDV 噪声容限：PEC-S-F 应容许的噪声水平。它在 G.8261.1 PDV 限制（上文）下定义。
- 长期相位瞬态响应（保持）

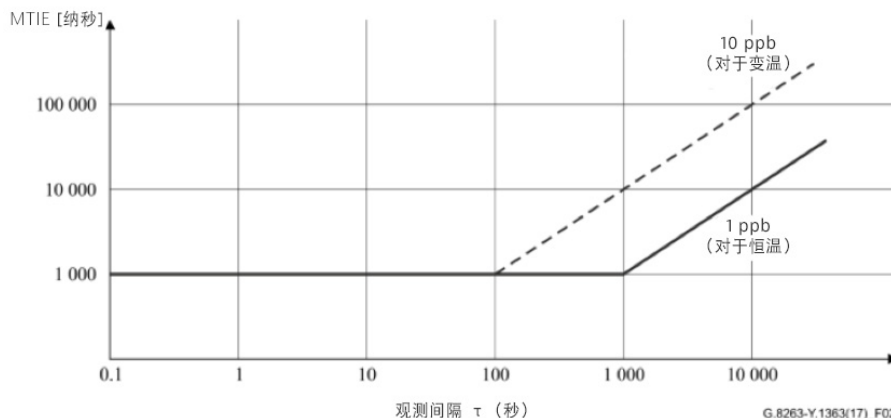


图 11: PEC-S-F 输出噪声产生

**G.8265**（基于分组的频率传送的架构和要求）描述了电信网络中基于分组的频率分配的架构和要求。推荐规范涵盖：

- 基于分组的频率分布架构（图 13）
- 定时保护
- 分组网络划分
- 基于分组的协议，包括网络时间协议 (NTP) 和 PTP/IEEE 1588v2。它引用 G.8265.1 作为描述 PTP 电信应用配置文件的文档（下一节）
- 安全方面

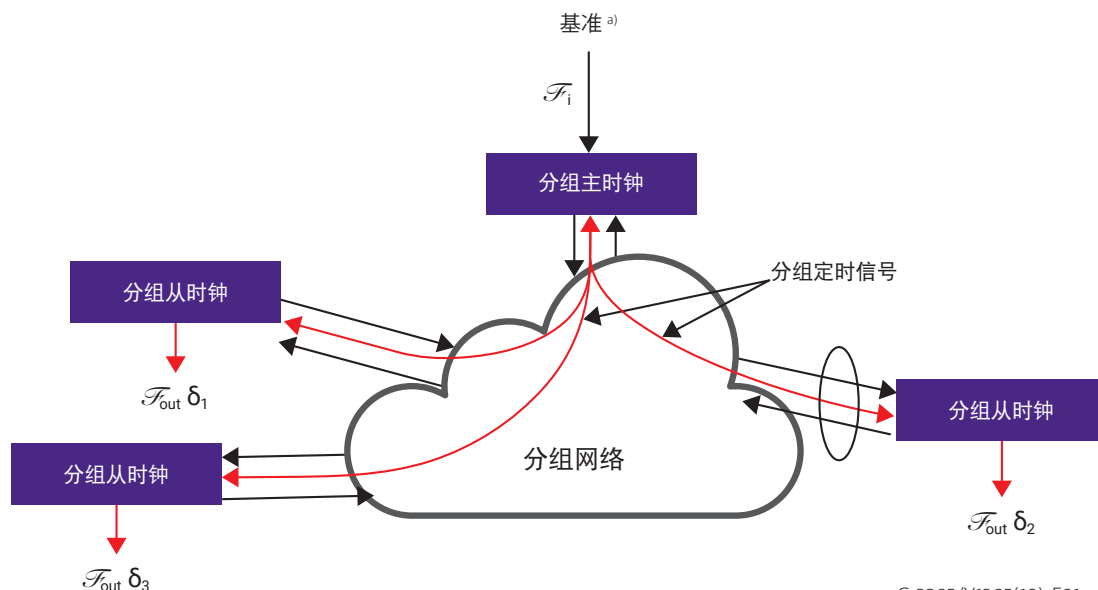


图 12: 通用分组网络定时架构

**G.8265.1**（用于频率同步的精确时间协议电信配置文件）规定了 PTP 功能，这些功能是确保网元互操作性所必需的，仅适用于频率传输。配置文件的一些重点包括：

- 无路径支持（不需要边界或传输时钟）
- IP/三层网络层（通过以太网或其他低层协议），因为它在世界各地普遍存在
- 在 G.781 中定义的、用于 SONET/SDH 和 SyncE 同步状态报文 (SSM) 中的 Announce 报文传送质量水平 (QL)
- 单播传输
- 静态配置（而不是最佳主时钟算法 BMCA）
- 报文速率（表 6：PTP 报文速率）

报文速率	最小值	最大值	默认值
Announce	每 16 秒 1 条报文	8 条报文/秒	每 2 秒 1 条报文
Sync	每 16 秒 1 条报文	128 条报文/秒	未定义
Delay_request	每 16 秒 1 条报文	128 条报文/秒	未定义

表 6: PTP 报文速率

## 时间和相位同步标准

**G.8271**（分组网络的时间和相位同步方面）定义了分组网络中的时间和相位同步方面。时间/相位同步有许多用例（表 7）。G.8271 侧重于第 4 类、第 5 类和第 6 类。

准确度	时间误差要求（注 1）	典型应用（供参考）
1	500 毫秒	计费、警报
2	100 微秒	IP 延迟监测
3	5 微秒	LTE TDD（大型小区）
4	1.5 微秒	UTRA-TDD、 LTE-TDD（小型小区） WiMAX-TDD（某些配置）
5	1 微秒	WiMAX-TDD（某些配置）
6	x 纳秒（注 3）	各种应用，包括基于位置的服务和某些 LTE-A 功能（注 2）

表 7: 时间和相位要求分类

正如频率同步一样，时间/相位同步要求可以通过分布式 PRC 方法或基于分组的方法来满足。基于分组的方法可以使用诸如 PTP 等协议来部署。目前，G.8271 侧重于在网络支持下传输定时基准的情况，即中间注释将实现边界时钟或透传时钟功能。最后，G.8271 定义了一个测量接口，允许网络运营商沿着同步链测量时间/相位同步的质量。附录 A 中规定了每秒一个脉冲 (1PPS) 的接口。

**G.8271.1** (分组网络中时间同步的网络门限) 规定了不得超过的相位和时间误差的最大网络限制。它规定了在相位和时间同步接口处的分组网络边界应提供的相位和时间误差的最小设备容差。它还概述了网元同步功能的最低要求。该推荐规范针对完全定时支持的用例。限制是针对两种主要案例定义的 (图 14)：

- 部署案例 1: 电信时间从时钟 (T-TSC) 集成在终端应用中
- 部署案例 2: T-TSC 在终端应用的外部

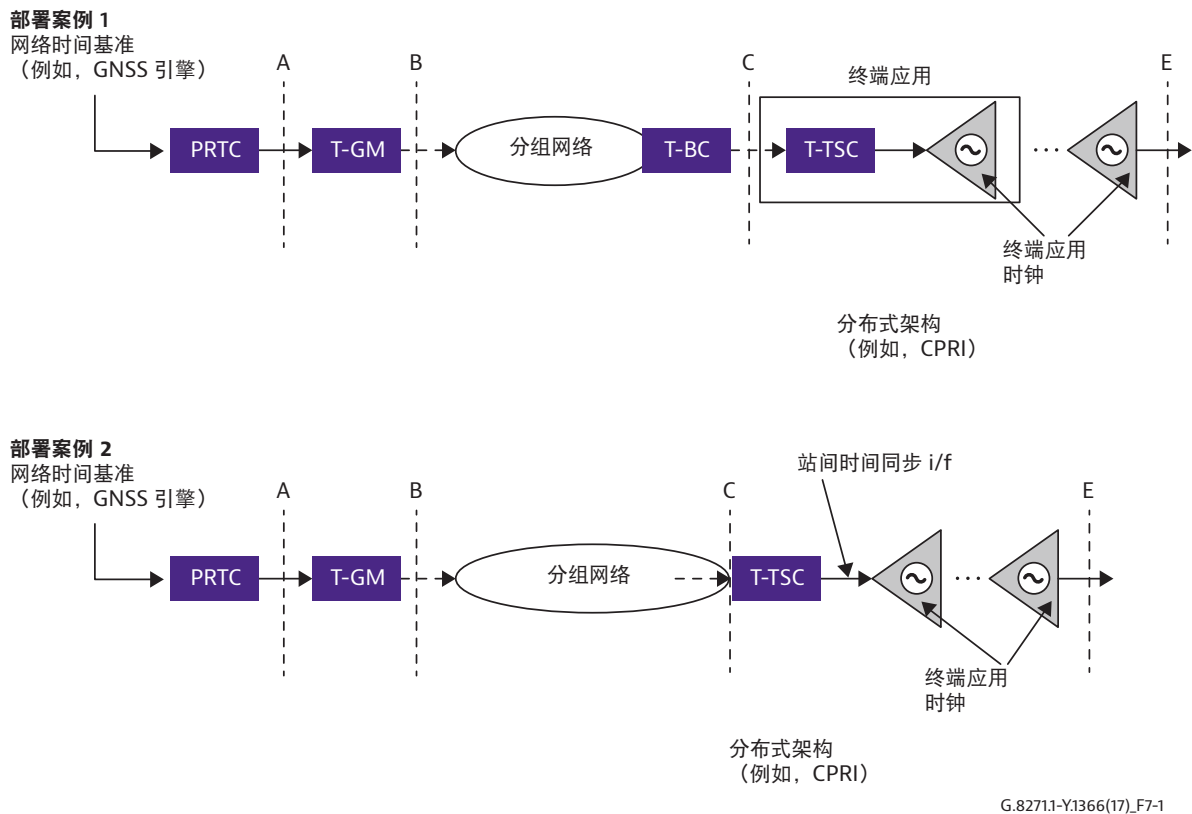


图 13: 时间同步部署案例

基准点 A 处的网络限制: 在 G.8272 中有规定 (见下文)

基准点 B 处的网络限制:

- 如果电信超级主时钟 (T-GM) 集成到 PRTC, 网络限制与基准点 A 相同。如果 T-GM 在 PRTC 外部, 网络限制有待进一步研究

基准点 C 处的网络限制：此推荐规范提供了第 4 类的限制（表 7）。它们是为部署案例 1 定义的。部署案例 2 的限制有待进一步研究。噪声以两个主要方面为特征：

- 最大绝对 TE，最大 |TE| < 1,100 纳秒
- 图中定义的 MTIE（图 15）；TDEV 有待进一步研究

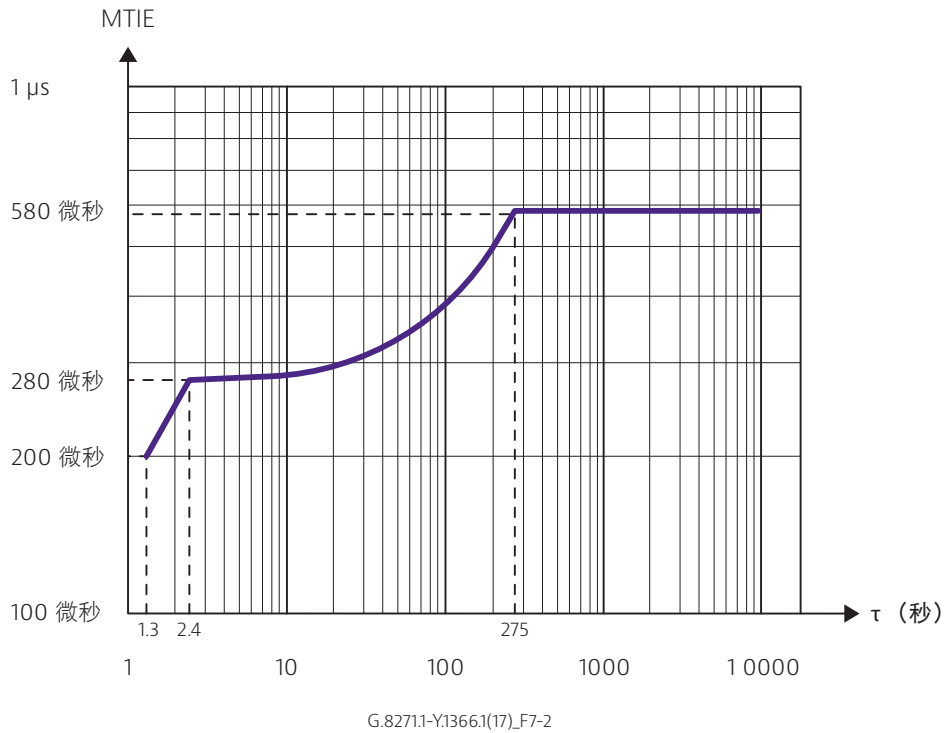


图 14：基准点 C 处的动态时间误差网络限制 (MTIE)

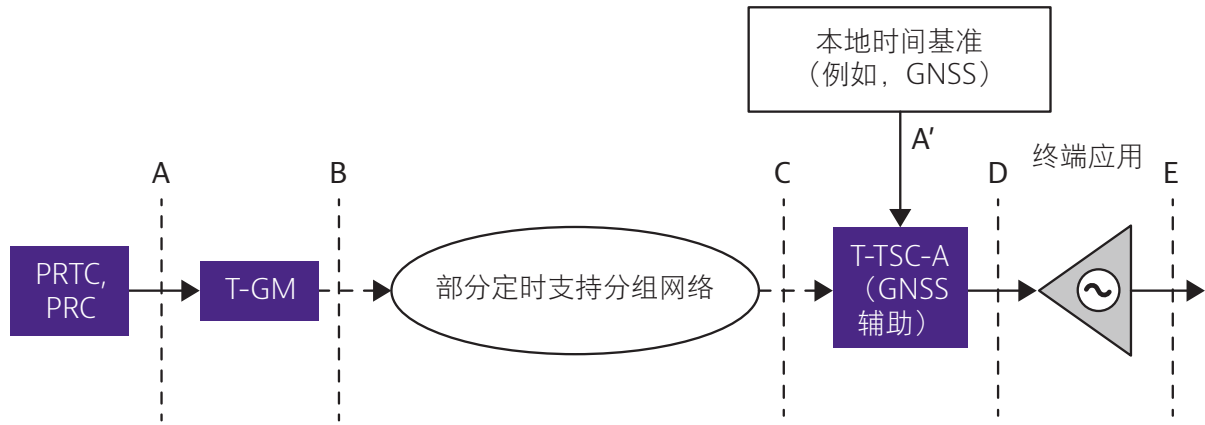
基准点 D 处的网络限制：对于部署案例 1 有待进一步研究。对于部署案例 2，限制与部署案例 1 中的基准点 C 相同（图 14）。

基准点 E 处的网络限制：由特定应用定义，如上面的表 x 中所示。

**G.8271.2**（由网络支持部分定时的分组网络中时间同步的网络限制）针对支持部分定时的分组方法情况定义了网络限制，这种方法以两种情况为特征：

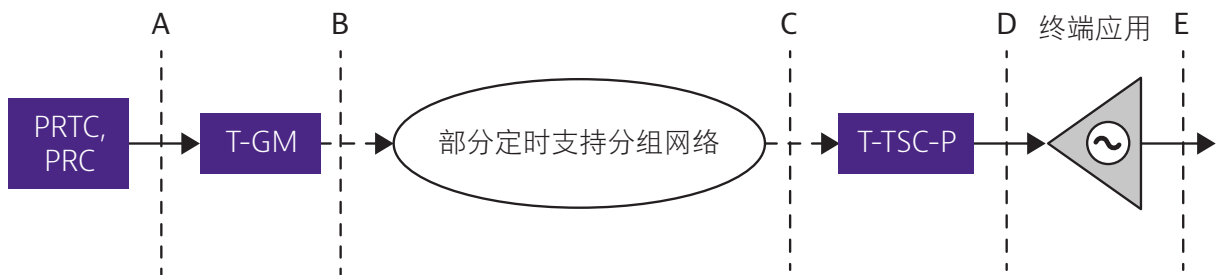
- 辅助部分定时支持 (APTS)，在这种情况下，PTP 被用作基于全球导航卫星系统 (GNSS) 的本地时间基准的备份（图 16）
- 部分定时支持 (PTS)，在这种情况下，PTP 是主要的时间来源（图 17）





G.8271.2-Y1366.2(17)\_F01

图 15: APTs



G.8271.2-Y1366.2(17)\_F02

图 16: PTS

基准点 A 和 A' 处的网络限制：它们在 G.8272 中定义（见下文）；具体而言，

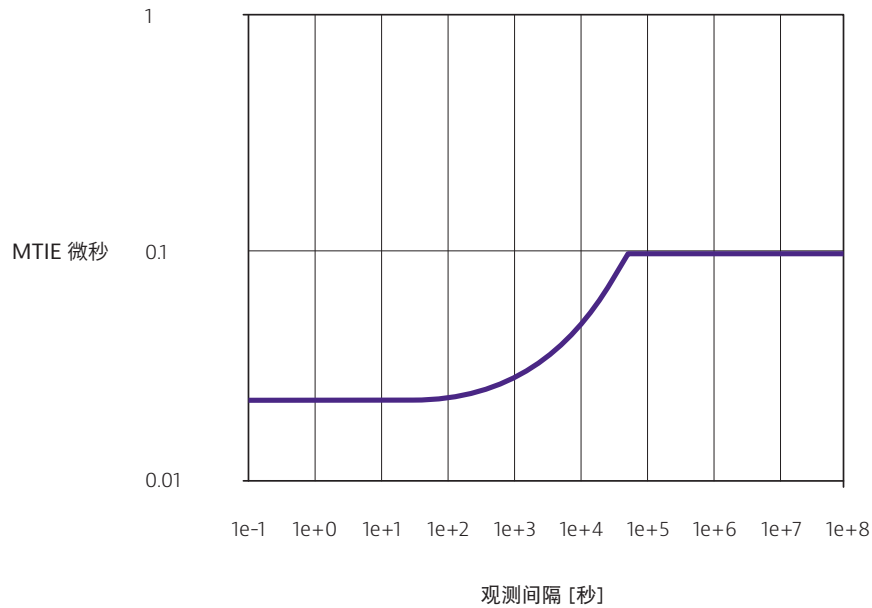
- 最大  $|TE| < 100$  纳秒

基准点 B 处的网络限制：如果 T-GM 集成在 PRTC 中，则限制与基准点 A/A' 的限制相同。对于外部 T-GM，限制有待进一步研究。

**G.8272**（主要基准时间时钟的定时特征）规定了适用于分组网络中的时间、相位和频率同步的主要基准时间时钟的要求。典型的 PRTC 为网络或网络部分内的其他时钟提供时间、相位和频率同步的基准信号。此推荐规范定义 PRTC 输出要求。应按照此推荐规范中的规定保持 PRTC 的准确性。此推荐规范还涵盖了 PRTC 与 T-GM 时钟集成的情况。在这种情况下，它定义了组合的 PRTC 和 T-GM 函数的输出性能，即精确时间协议 (PTP) 报文。

该推荐规范包括锁定模式下的时间误差、漂移和抖动要求，以及保持要求。具体而言，该推荐规范建议界定了：

- 相对于适用的主要基准（例如世界标准时钟，UTC）的 100 纳秒的时间误差
- MTIE（图 18）和 TDEV



G.8272-Y1367(12)\_F01

图 17: PRTC 的 MTIE

如果 PRTC 与 PRTC 集成，则为 PRTC 输出或 T-GM 输出定义限制。以下测试接口是可能的：

- 对于时间/相位：
  - 基于 ITU-T V.11 的时间/相位分配接口，如 [ITU-T G.703] 和 [ITU-T G.8271] 中所定义；
  - 1PPS 50  $\Omega$  相位同步测量接口，如 [ITU-T G.703] 和 [ITU-T G.8271] 中所定义；
  - 以太网/PTP 接口
- 频率：
  - 2048 kHz 接口，符合 [ITU-T G.703]
  - 1544 千位/秒接口，符合 [ITU-T G.703]
  - 2048 千位/秒接口，符合 [ITU-T G.703]
  - 同步以太网接口（包括 PTP）
  - 基于 V.11 的时间/相位分配接口，如 [ITU-T G.703] 和 [ITU-T G.8271] 中所定义；
  - 1PPS 50  $\Omega$  相位同步测量接口，如 [ITU-T G.703] 和 [ITU-T G.8271] 中所定义

**G.8273**（相位和时间时钟框架）是一个框架推荐规范，适用于在 G.827x 系列推荐规范（如上）中定义的同步网络中使用的设备的相位和时间时钟。此推荐规范涉及下文进一步描述的一系列 G.8273.x 推荐规范。虽然 IEEE 1588v2 定义了诸如 OC、BC、TC 和 GM 等设备，但 ITU-T G.8273.x 系列定义了以下类型的设备。以下设备不仅包括各自的 IEEE 1588v2 设备的规范，还包含本文后面部分概述的其他性能特征

- G.8273.1 中的电信祖时钟 (T-GM)
- G.8273.2 中的电信边界时钟 (T-BC) 和电信时间从时钟 (T-TSC)
- G.8273.3 中的电信透传时钟 (T-TC)
- G.8273.4 中的辅助部分定时支持从时钟 (APTSC)

在撰写本文时，**G.8273.1** 尚未公开。

**G.8273.2**（电信边界时钟和电信时间从时钟的定时特征）允许在嵌入电信边界时钟 (T-BC) 和电信时间从时钟 (T-TSC) 的网络设备通过另一个电信边界时钟 (T-BC) 或电信超级主时钟 (T-GM) 定时的场景中，为相位/时间同步分配进行适当的网络操作。此推荐规范包括电信边界时钟和电信时间从时钟的噪声产生、噪声容限、噪声传递和瞬态响应。

T-BC 的噪声产生由最大  $|TE|$ （表 8）、 $cTE$ （表 9）和动态 TE 表征。B 类设备有更严格的要求，因此允许运营商在 T-GM 和 T-TSC 之间设计具有更多 T-BC 的网络。

T-BC 分类	最大绝对时间误差 - 最大 $ TE $ (纳秒)
A	100 纳秒
B	70 纳秒

表 8: T-BC 的最大  $|TE|$  限制

T-BC 分类	恒定时间误差的允许范围 - $cTE$ (纳秒)
A	$\pm 50$
B	$\pm 20$

表 9: T-BC 的  $cTE$  限制

动态 TE 的特征在于具有两个分量，即 dTEL 和 dTEH。前者通过测量 MTIE 和 TDEV 得到进一步验证（表 10）。这些测量是通过带宽为 0.1 Hz 的一阶低通滤波器完成的。dTEH 的特征是用带宽为 0.1 Hz 的一阶高通滤波器测量峰间时间误差。

MTIE 限制 (纳秒)	TDEV 限制 (纳秒)	TE (峰间值) (纳秒)	观测间隔
40	4	70	$m < \tau \leq 1000$

表 10: MTIE/TDEV 限制 (G.8273.2)

除了噪声产生，G.8273.2 还规定了超出本文范围的更多要求。它们包括噪声容限、噪声传递、瞬态响应和保持性能。最后，它还包括物理层频率性能要求，这些要求与上述 G.8262 文档中概述的要求一致。

**G.8273.3**（电信透传时钟的定时特征）提供了与 G.8273.2 类似的要求，但涉及到 T-TC 设备（表 11、表 12 和表 13）。与 T-BC 不同，在撰写本文时，T-TC 没有 TDEV 限制。

T-TC 分类	最大绝对时间误差 - 最大  TE  (纳秒)
A	100 纳秒
B	70 纳秒

表 11: T-TC 的最大 |TE| 限制

T-TC 分类	cTE 的允许范围 (纳秒)
A	$\pm 50$
B	$\pm 20$

表 12: T-TC 的 cTE 限制

MTIE 限制 (纳秒)	TE (峰间值) (纳秒)	观测间隔
40	70	$m < \tau \leq 1000$

表 13: T-TC 的 dTE 限制

**G.8273.4**（辅助部分定时支持从时钟的定时特征）在撰写本文时尚未公开。

**G.8275**（基于分组的时间和相位分配的架构和要求）描述了使用基于分组的方法进行时间和相位分配的一般架构。此推荐规范构成了开发电信时间和相位分配配置文件的基础架构。

**G.8275.1**（相位/时间同步的精确时间协议电信配置文件，网络提供完全定时支持）包含 ITU-T 精确时间协议 (PTP) 配置文件，用于相位和时间分配（网络提供完全定时支持）。它提供了必要的细节，以便以与推荐规范 ITU-T G.8275/Y.1369 中描述的架构一致的方式来使用 IEEE 1588。配置文件的一些重点包括：

- 此配置文件中使用了 OC、BC 和 TC
- PTP over IEEE 802.3/以太网
- 多播
- 备选最佳主时钟算法 (BMCA)
- 报文速率（表 14）

报文速率	标称值
Announce	8 条报文/秒
Sync/Follow_up	16 条报文/秒
Del_req/Del. Resp.	16 条报文/秒

表 14：PTP 报文速率 (G.8275.1)

**G.8275.2**（用于相位/时间同步的精确时间协议电信配置文件，网络提供部分定时支持）在编辑本文时已经预先发布。

## 展望

同步业界继续致力于研究无线应用的新标准。5G 网络带来了一系列新的要求，对网络同步提出了重大挑战。这些新挑战不一而足，如超低延迟应用和先进无线电技术（如载波聚合、发射分集和协调多点）的使用。