

国 际 电 信 联 盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

G.8271/Y.1366

(07/2016)

G系列：传输系统和媒介、数字系统和网络

经传送网的分组网 – 同步、质量和可用性目标

Y系列：全球信息基础设施、互联网协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市

互联网协议方面问题 – 传送

分组网络中时间和相位同步方面问题

ITU-T G.8271/Y.1366 建议书

ITU-T



国际电信联盟

ITU-T G 系列建议书
传输系统和媒质、数字系统和网络

国际电话连接和电路	G.100-G.199
所有模拟载波传输系统共有的一般特性	G.200-G.299
金属线路上国际载波电话系统的各项特性	G.300-G.399
在无线电接力或卫星链路上传输并与金属线路互连的国际载波电话系统的一般特性	G.400-G.449
无线电话与线路电话的协调	G.450-G.499
传输媒质的特性	G.600-G.699
数字终端设备	G.700-G.799
数字网	G.800-G.899
数字段和数字线路系统	G.900-G.999
服务质量和性能 — 一般和与用户相关的概况	G.1000-G.1999
传输媒质特性	G.6000-G.6999
经传送网的数据 — 一般概况	G.7000-G.7999
经传送网的分组网概况	G.8000-G.8999
经传送网的以太网概况	G.8000—G.8099
经传送网的MPLS概况	G.8100—G.8199
同步、质量和可用性目标	G.8200—G.8299
业务管理	G.8600—G.8699
接入网	G.9000-G.9999

欲了解更详细信息，请查阅 ITU-T 建议书目录。

分组网络中时间和相位同步方面问题

摘要

ITU-T G.8271/Y.1366建议书定义了分组网的时间和相位同步问题。建议书还规定了分配参考时间信号的适用的方法，这些信号可根据要求的质量恢复相位和/或时间的同步。

要保证不同厂商生产的设备的互操作性和令人满意的网络性能，必须满足本建议书规定的同步特性要求。

历史沿革

版本	建议书	批准日期	研究组	唯一ID*
1.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2012-02-13	15	11.1002/1000/11527
1.1	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 1	2013-08-29	15	11.1002/1000/12033
1.2	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 2	2015-01-13	15	11.1002/1000/12391
2.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2016-07-07	15	11.1002/1000/12812

关键词

方法和界面、时间和相位同步要求。

* 为访问建议书，请在万维网浏览器的地址栏中输入URL： <http://handle.itu.int/>，并后跟建议书的唯一ID。例如： <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>。

前言

国际电信联盟（ITU）是从事电信和信息通信技术（ICT）领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定 ITU-T 各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA 第 1 号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属 ITU-T 研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2017

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目录

页码

1	范围	1
2	参考文献	1
3	定义	2
4	缩写词和首字母缩略语	2
5	惯例	3
6	时间和相位同步的必要性	3
7	时间和相位同步方法	4
7.1	分布式PRTC	5
7.2	带有中间节点时间支持的分组方法	6
8	网络参考模型	7
8.1	带有PTP/本机接入IWF的HRM接入部分	9
9	时间和相位同步界面	10
附件 A	– 每秒一脉冲（1PPS）时间和相位同步界面规范	11
A.1	1PPS ITU-T V.11界面	11
A.2	1PPS 50 Ω 相位同步测量界面	17
附录I	– 时间分布链中的时间和相位噪声源	18
I.1	主参考时钟（PRTC）产生的噪声	18
I.2	分组主时钟功能产生的噪声	18
I.3	分组从属时钟功能产生的噪声	18
I.4	电信透明时钟产生的噪声	18
I.5	链路产生的噪声	19
I.6	时延非对称性的来源	19
I.7	噪声源的特性	21
I.8	时钟链中的时间误差累积	23
附录II	– 时间和相位最终应用同步要求	24
附录III	– 使用不同波长的非对称补偿	27
附录IV	– 链路和网络非对称性补偿	28
附录V	– PTP未知网元内接口速率变化造成的时延非对称性	30
参考资料		33

分组网络中时间和相位同步方面问题

1 范围

本建议书定义了分组网的时间和相位同步问题。建议书还规定了分配参考时间信号的适用方法，这些信号可根据要求的质量恢复相位和/或时间的同步。与此同时，本建议书还规定了相关时间和相位同步的界面和相关性能。

本建议书范围内的分组网当前限于以下情况：

- 以太网 ([IEEE 802.3]和[IEEE 802.1Q])
- MPLS ([IETF RFC 3031]和[ITU-T G.8110])
- IP ([IETF RFC 791]和[RFC 2460])

与本规范相关的物理层是[IEEE 802.3]中定义的以太网媒介类型。

2 参考文献

下列ITU-T建议书和其他参考文献的条款，在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其他参考文献均会得到修订，本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其他参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

- [ITU-T G.703] ITU-T G.703建议书（2016年）– 系列数字接口的物理/电特性。
- [ITU-T G.810] ITU-T G.810建议书（1996年）– 同步网的定义和术语。
- [ITU-T G.8110] ITU-T G.8110/Y.1370建议书（2005年）– MPLS层网络体系结构。
- [ITU-T G.8260] ITU-T G.8260建议书（2015年）– 分组网中同步的定义和术语。
- [ITU-T G.8261] ITU-T G.8261/Y.1361建议书（2013年）– 分组网络的定时和同步方面。
- [ITU-T V.11] ITU-T V.11/X.27建议书（1996年）– 数据信号速率低于10 Mbit/s的平衡双流互换电路的电器特性。
- [IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2014 – IEEE关于局域网和城域网的标准 – 桥接器与桥接网络
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1Q-2014.html>>
- [IEEE 802.3] IEEE Standard 802.3（2012年）– IEEE关于以太网的标准。
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>>
- [IEEE 1588] IEEE 1588-2008 – 适用于网络测量和控制系统的精密时钟同步协议标准。
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/1588-2008.html>>

- [IETF RFC 791] IETF RFC 791（1981年）－ 互联网协议 (IP)。
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>>
- [IETF RFC 2460] IETF RFC 2460（1998年）－ 互联网协议，版本6 (IPv6) 规范。
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>>
- [IETF RFC 3031] IETF RFC 3031（2001年）－ 多协议标签交换架构。
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>>

3 定义

本建议书中采用的术语和定义见[ITU-T G.810]、[ITU-T G.8260]和[IEEE 1588]。

4 缩写词和首字母缩略语

本建议书采用了下列缩写词和首字母缩略语：

1PPS	每秒一脉冲
CDMA	码分多址
DCF	色散补偿光纤
FCS	帧检查序列
FDD	频分双工
GBAS	地面增广系统
GNSS	全球导航卫星系统
GPS	全球定位系统
HRPD	高速分组数据
IP	互联网协议
IRNSS	印度区域导航卫星系统
LTE	长期演进
LTE-A	长期演进－先进
MAC	媒体访问控制
MBMS	多媒体广播组播业务
MBSFN	基于单频网络的MBMS
M2M	机器对机器
NTP	网络时间协议
OTN	光传输网络
PDV	分组延时变化
PHY	物理层协议
PRTC	主要参考时间时钟
PSN	分组交换网
PTP	精确时间协议

QZSS	准天顶卫星系统
RTT	无线电传输技术
SBAS	卫星增广系统
TAI	国际原子时
TDD	时分双工
TD-SCDMA	时域同步CDMA
T-BC	电信边界时钟
T-GM	电信最高级时钟
T-TC	电信透明时钟
T-TSC	电信时间从属时钟
UDP	用户数据报协议
UTC	协调世界时
UTRA	通用地面无线电接入
WCDMA	宽带码分多址
WDM	波分复用
WiMAX	微波接入世界互操作性

5 惯例

本建议书使用了下列惯例：术语精确时间协议（PTP）是[IEEE 1588]定义的协议。作为形容词，系指在[IEEE 1588]语境中规定或得到解释的经修改的名词。

术语电信边界时钟（T-BC）系指由[IEEE 1588]定义的构成边界时钟的一个装置，附加性能特性有待进一步研究。

术语电信透明时钟（T-TC）是构成[IEEE 1588]定义的透明时钟的一个装置，附加性能特性有待进一步研究。

术语电信最高级时钟（T-GM）系指构成[IEEE 1588]定义的最高级时钟的一个装置，附加性能特性有待进一步研究。

术语电信时间从属时钟（T-TSC）系指构成[IEEE 1588]定义的仅为PTP普通从属时钟的一个装置，附加性能特性有待进一步研究。

6 时间和相位同步的必要性

传统上而言，为了支持计费和报警功能（维护或故障隔离），需要进行时间同步。在此环境下，通常同步必须精确到数百毫秒之内。

时间同步的另一个应用领域是监督互联网协议（IP）网络的时延。在这种情况下，要求的精确度是在几百微秒之内（实际要求取决于具体应用）。

严格时间同步要求（即，若干微秒范围内）适用于经过一些移动系统（如CDMA2000或LTE FDD单播）的经空中接口的信号生成，因为在这些情况下要求支持同步CDMA2000的互通。

为支持一些移动系统（时分多址（TDD）系统），如LTE TDD）的空中接口要求，常常需要进行相位同步；在支持多媒体广播/组播业务（MBMS）时，也需要进行相位同步。敬请注意WCDMA MBMS不要求有精确的相位同步，因为其规范和设计已能保证其满足50 ppb频率精确度要求，从而在网络中正常工作。由WCDMA节点同步功能（见 [b-3GPP TS 25.402]）保证的该要求将相位漂移限制在10至20毫秒之间。但如果MBMS是基于单频网络（MBSFN）模式的，则时间的精确度必须是在若干毫秒之内，这是因为同时从多个小区发射相同波形。之后来自那些小区的信号被合并成单一小区的多路径成分。有鉴于此，终端必须感知整个发射小区组的信号，就好像这些信号源自一个单一小区。因此，所有的发射必须得到非常严格的同步，并为每一基站提供完全相同的内容。

附录II总结适用于应用（如无线电应用的无线电接口上）输出的主要要求。

在表II.1的基础上，可以将应用分类为要求等级，具体见以下表1。

注 – 在表II.1所述的移动应用情况中，要求通常以基站之间的相位误码表示，在集中高级时钟（master）情况下，要求可以适用于具体技术的、准确性要求 $\pm$ 一半表示。表1表示的是这种格式的要求，目的是方便分析从主要参考时钟（PRTC）到最终应用分布的时间误码预算。

表 1 – 时间和相位要求等级

精确度等级	时间误码要求 (注 1)	典型应用 (供参考)
1	500 ms	计费、告警
2	100 μ s	IP时延监测
3	5 μ s	LTE TDD（大蜂窝小区）
4	1.5 μ s	UTRA-TDD、 LTE-TDD（小蜂窝小区） WiMAX-TDD（某些配置）
5	1 μ s	WiMAX-TDD（某些配置）
6	x ns (注 3)	各种不同应用，包括基于位置的服务和 一些LTE-A功能特性 (注 2)

注 1 – 该要求以对应普通参考的误码表示。
 注 2 – LTE-A功能特性的性能要求正在研究之中。仅为参考起见，针对某些LTE-A功能特性提到了500 ns至1.5 μ s之间的数值。根据3GPP最终制定的规范，LTE-A应用可有不同等级精确度。
 注 3 – 关于数值x，请参见附录II的表II.2。

本建议书主要涉及表1当中精确等级为4、5和6的更为严格的要求等级。

7 时间和相位同步方法

传统上而言，无网络时间支持的分组方法（主要采用网络时间协议（NTP））是用以支持时间和相位同步要求较低（如表1的1级）的应用的。

本建议书的侧重点是对应表1所示的等级4、5和6的应用。

对这些应用而言，本建议书考虑了下列方案：

- 分布式主要参考时钟（PRTC）方式 – 在最终应用接收机（如全球定位系统（GPS））中实施全球卫星导航系统（GNSS）。
- 带有中间节点时间支持的分组方法。

注 – 不带有中间节点时间支持的分组方法的使用以及其可支持的、表1中的等级定义有待进一步研究。

以下各节详细阐明不同同步方法的特性。

7.1 分布式PRTC

实现时间和相位同步的一个方法是在网络中直接向每一时钟分布同步信号。该方法称作“分布式主要参考时钟”，且通常可实现无线电分布，因为整个网络的有线分布将需要可能很不切实际的一个完整额外网络。然而，在有些情况下，经过有线的PRTC信号远程分布也是可行的。一般来说，无线电分布通过GNSS手段实现（如GPS即是这种情况）。也可使用其它无线电系统。

同步网络的一个主要目的是实现要求时间参考的最终应用的同步。如果一个站址上存在若干最终应用，则可在该站址部署一个单一PRTC参考，之后通过集中功能，在该站址内进一步分布时间/相位参考。有关集中功能的细节有待进一步研究。

以下图1概要给出分布式PRTC方法。在基于GNSS的同步的情况下，参考时间信号由卫星信号分布，GNSS接收机则作为网络的PRTC发挥作用。接收机（图中的RX）处理GNSS信号，并为最终应用提取参考信号。

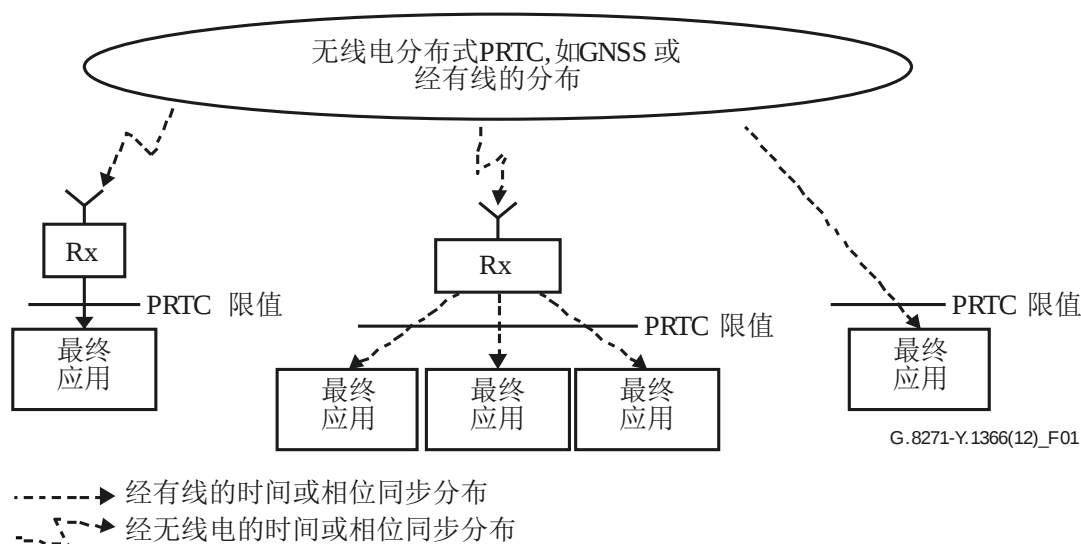


图 1 – 分布式PRTC同步网络示例

主要特性

分布式PRTC方法的一个主要优点是在GNSS情况下，可在世界范围内提供参考时间信号。该方法有助于实现扁平的分布层次，同时没有出现时间循环的风险。总体而言，整体网络规划也更加容易一些。

该方法的一个主要缺点是对导航系统运营商的依赖，要求有一个指向天空的宽角度天线，且需要解决免受闪电保护影响问题。与此同时还需解决一般性的与天线线缆有关的问题。

最后，基于GNSS的系统具有被电视系统干扰、饱和和其它干扰的风险。

然而，应当指出，技术的发展已降低了其中一些主要缺点（如安装、可靠性等）。此外，在提供准确频率参考（如同步以太网信号）的情况下，该方法应能确保GNSS接收机的安全性。有关确保GNSS接收机安全性的选择方案有待进一步研究。

在性能方面，通过PRTC系统实现准确性的工作有待进一步研究。

7.2 带有中间节点时间支持的分组方法

可通过诸如PTP等时间协议（见[IEEE 1588]）进行时间同步分布。目前本建议书的侧重点是带有网络支持的时间参考的传送。

中间节点（如以太网交换机）的时间支持涉及具体硬件及软件时间功能（见图2）。

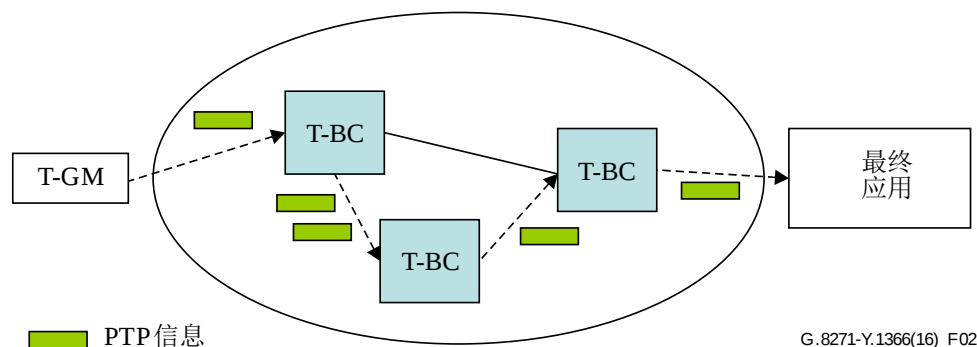


图 2 – 带有网络节点支持的分组方法示例

在PTP情况下，这些功能或对应T-BC或对应T-TC，在相关界面上均有硬件时间标记。

T-BC终接并重新生成时间标记信息。

T-TC提供测量由网元或与网元连接的链路增加的时延的手段。本版建议书只考虑T-BC支持。T-TC在电信应用中的使用有待进一步研究。

下图所示为带有网络时间支持的、经过分组方法的相位/时间同步分布示例。在可获得符合PRTC限值参考时间信号的T-GM中，分组主时钟功能启动分组时间分布，且每一个传送节点均实施T-BC。

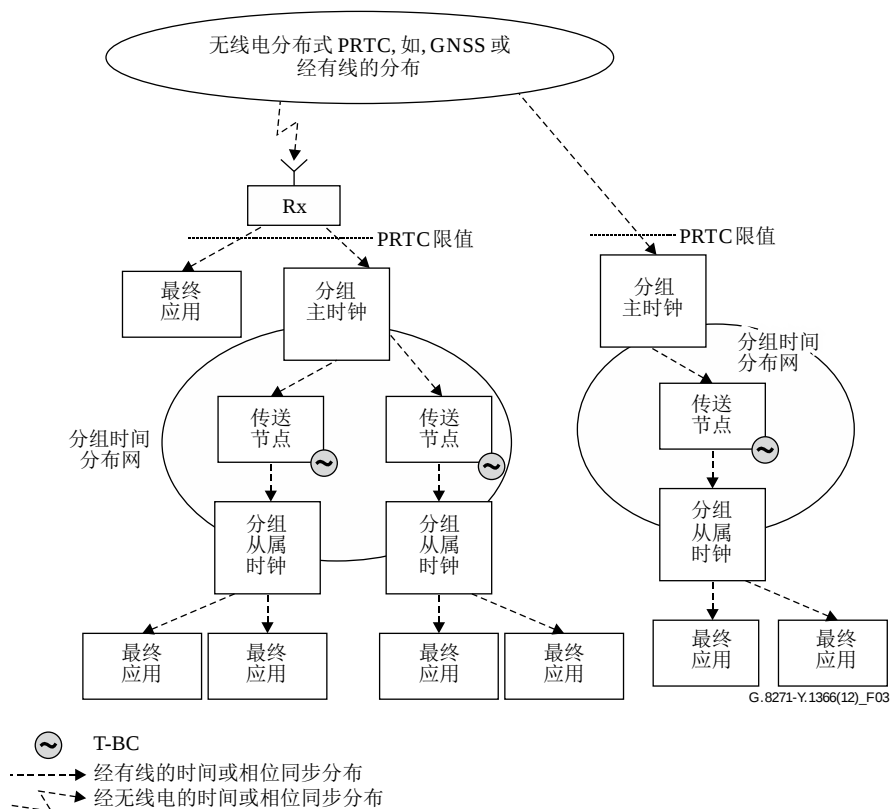


图 3 – 经分组方法的时间同步分布示例

主要特性

经分组方法的时间同步分布解决方案的主要优点是能大大减少GNSS接收机的数量。敬请注意，如果PRTC是基于GNSS的，那么在PRTC处需要GNSS接收机。

这一方法的缺点是网络规划工作更为复杂（如会出现时间循环风险）。此外，还必须考虑到噪声累积问题。最后，与该方法相关的另一个问题是与网络不对称性有关的时间误码，这一点需要得到控制（如，意味着需要校准光纤长度）。

8 网络参考模型

图4所示为用于确定时间和相位同步性能目标的网络参考模型。

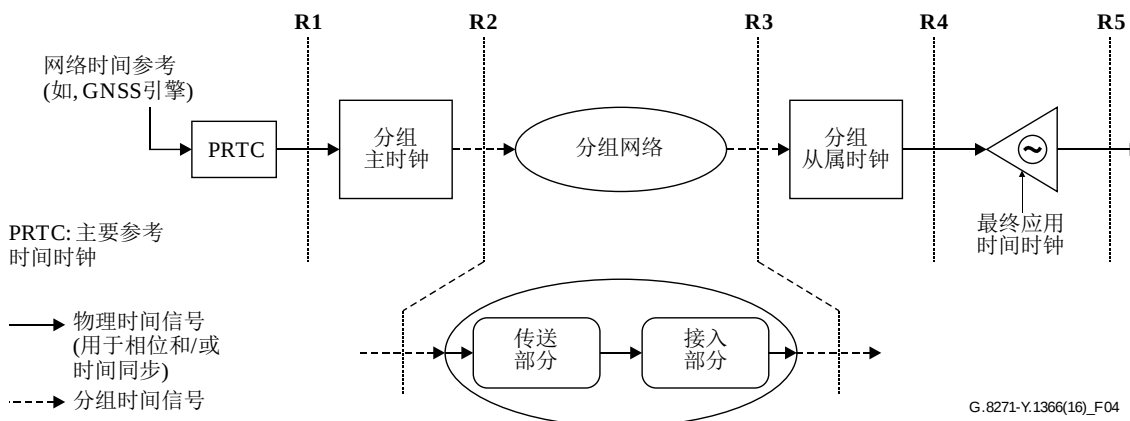


图 4 – 网络参考模型

确定了下列参考点。所有与这些参考点相关的要求都是针对共同时间参考，即，任何得到认可的时间参考（如GPS时间），确定的。

- R1: PRTC输出
- R2: 分组主时钟输出
- R3: 分组从属时钟输入
- R4: 分组从属时钟输出
- R5: 最终应用输出

有些情况下，在网络参考模型中可能需要考虑到一些具体的接入技术。例如，有些情况下，R2和R3点之间的分组网络可由传送部分和接入部分组成。之后每一部分都有其从具体媒介衍生出的、自身的相位/时间预算，前者是为了传送频率和时间同步的。

注 1 – 在图4中，分组主时钟可对应T-GM，分组从属时钟可对应T-TSC（电信时间从属时钟）。

注 2 – 目前进行的性能研究以带有硬件时间标记（如 [IEEE 1588]情况中的每一节点的T-BC）的网络完整时间支持为基础，其中可以有也可以没有物理层的频率同步支持（如同步以太网支持）。

注 3 – 在有些情况下，在网络参考模型中可能需要考虑到一些具体接入技术。例如，一些情况下，R2和R3点之间的分组网络可由传送部分和接入部分组成，且每一部分都有其自身的相位/时间预算。在其它情形中（如前传（fronthaul）），接入段可置于R4点 – 分组从属时钟与最终应用之间。考虑到接入技术的网络参考模型的确定有待进一步研究。

部分时间支持的情况有待进一步研究。

总体预算与测量点'R5'有关（即，针对普通时间参考的R5点上的时间误差）。

'R1'、'R2'、'R3'和'R4'确定其它相关测量参考点和相关网络数值，这些也表明可分配给相关网络段的噪声预算（如，'R1至R3'、'R1至R4'等）。

涉及某一具体应用的测量点可能取决于网络行政域边界适用于何处。

此外，如上所述，在有些情况下需要在双向时间信号上做出测量，这可能需要进行具体测试设置并确定计量标准。

双向时间信号测量的设置以及测量测试设备可增加的噪声有待进一步研究。

另一个可能性是利用外部专用相位/时间输出参考（如1PPS界面）进行测量。本建议书附件A提供有关这类界面的指南。

8.1 带有PTP/本机接入IWF的HRM接入部分

图4中的一般网络参考模型可进一步得到拓展，以具体说明可在网络边缘使用的同类型接入技术，如微波、DSL或PON。

总体而言，接入技术可分为点对多点共用技术或点对点技术。点对多点共用媒介技术的一个示例是带有单个多端口前端和多尾端装置的PON。点对点技术的一个示例是微波系统。图5将接入部分拓展，以表明形成现有传送部分同步HRM的以太网技术与HRM接入部分的技术之间出现的媒介转换。本部分的时间误差预算可能取决于具体类型技术。

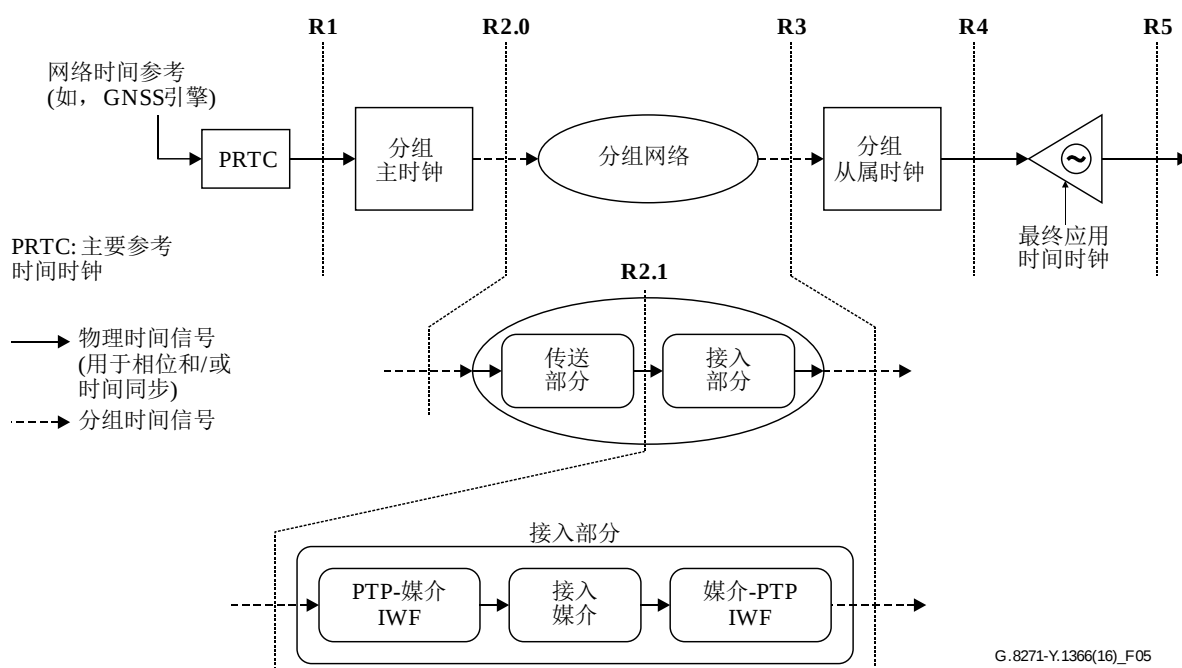


图 5 – 带有接入部分的网络参考模型

例如，在R2.0和R2.1之间，传送部分由[ITU-T G.8271.1]网络链构成 – 包含使用PTP & SyncE的具有完全时间意识的ITU-T G.8273.2。在接入部分的R2.1和R3.0之间，可能还有T-BC。在这种情况下，它们与本机接入时钟相互连接。这些本机接入时钟提供到媒介的直接连接。根本而言，T-BC和本机接入时钟提供互通功能（IWF），进行承载PTP的以太网与接入媒介之间的转换。

接入部分将有时间误差，是媒介恒定和动态成分的合并以及接入部分的时钟造成的。

9 时间和相位同步界面

为实现下列目的，需要时间和相位同步界面：

- 1) 测量界面
为了方便网络运营商测量分布在同步链上的时间/相位同步质量，每一个PRTC、T-GM、T-BC和T-TSC都必须实施专门的外部相位/时间输出界面。
每秒一脉冲（1PPS）界面是适当的测量界面，应按照附件A确定的界面之一予以实施。其它更多测量界面有待进一步研究。
- 2) 分布界面：
有时需要时间和相位分布界面来连接属于时间/相位同步分布链上的系统。
其中一个典型应用是与最终应用相连接的T-TSC（如基站），它配备有现有的1PPS输入界面。分布界面的细节有待进一步研究。

图6所示为两类时间和相位同步界面示例：测量界面（参见上述第1点）和分布界面（参见上述第2点）。这些可能适用不同要求。

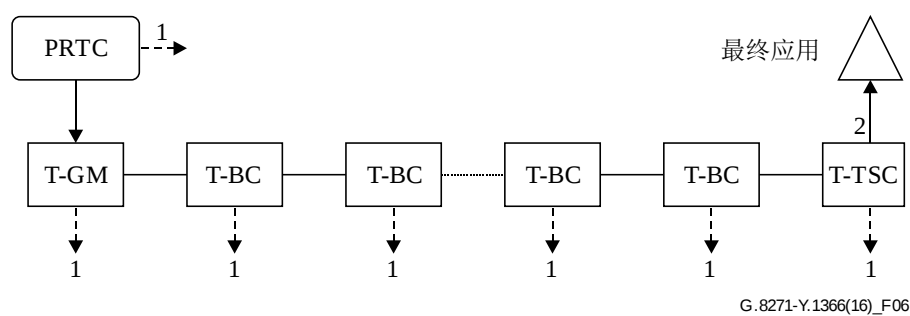


图 6 – 电信边界时钟链中外部时间和相位界面的可能位置

附件 A

每秒一脉冲（1PPS）时间和相位同步界面规范

（本附件是本建议书的组成部分）

A.1 1PPS ITU-T V.11界面

1PPS时间/相位界面使用 [ITU-T V.11] 规定的点对点ITU-T V.11界面，但带有 [ITU-T G.703] 规定的附加的、有关1PPS信号上升/下降时间要求。对于提供1PPS信号所需的准确性，这是必要的。

该界面可用于时间同步分布以及时间测量。

该界面是一个平衡界面，可容忍重大普通模式噪声。

1PPS界面由平衡的100 ohm 1PPS差分信号组成，可用于与下一个时钟连接或与测量设备连接。

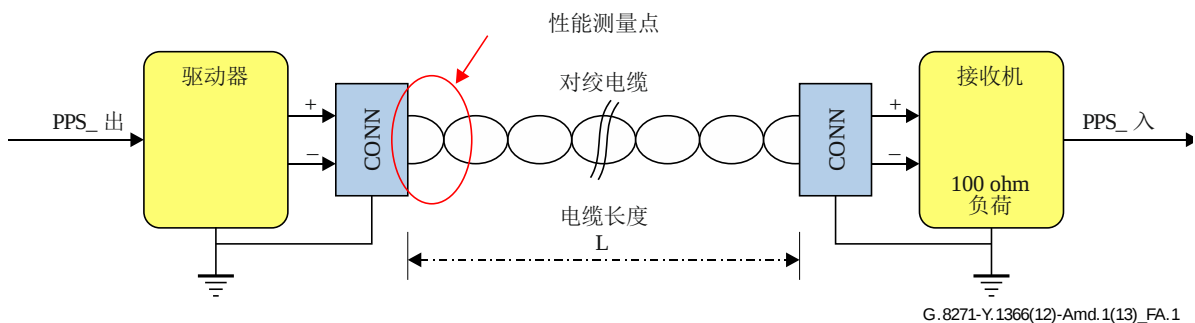


图 A.1 – 平衡1PPS V.11界面

A.1.1 界面信号

本节定义该界面信号如下：

- 1PPS_OUT+/1PPS_OUT-: 该输出信号对表明信号领先边缘正在出现重大事件，并由主时钟生成。
- 1PPS_IN+/1PPS_IN-: 该输入信号对表明在信号领先边缘正在出现重大事件，并由从属时钟使用。
- TX+/TX-: 该输出信号对用于序列通信信道，以便在主时钟和从属时钟之间传送时间信息和状态信息。
- RX+/RX-: 该输入信号对用于序列通信信道，以便在主时钟和从属时钟之间传送信息。

连接器由[ITU-T G.703]确定，该建议书还规定了该界面的物理方面内容。

连接要求使用交叉电缆，以便按照表A.1将信号对进行连接。

表 A.1 – 电缆连接

连接器 A	连接器 B
1PPS_OUT+/1PPS_OUT-	1PPS_IN+/1PPS_IN-
1PPS_IN+/1PPS_IN-	1PPS_OUT+/1PPS_OUT-
TX+/TX-	RX+/RX-
RX+/RX-	TX+/TX-
注 – 并非同时需要表A.1中所有的信号（如，有些情况下仅有一个方向就足以）。信息信道的反向有待进一步研究。	

A.1.2 电缆时延自动补偿（可选）

作为一种选项，1PPS ITU-T V.11界面可支持电缆时延自动补偿。增强型1PPS ITU-T V.11界面增强对电缆和ITU-T V.11收发信机自动补偿的支持 – 采用反馈环路，以方便主时钟测量1PPS信号的双向时延并在生成1PPS信号时对路径时延做出补偿。

1PPS信号首先在1秒边界上由主时钟生成 – T1。该信号在到达从属时钟前经过电缆时会被延误。在从属时钟上，1PPS信号被还回并发送至主时钟。主时钟同从属时钟T2那里获得接收1PPS信号的时间，并测量从1PPS信号生成起的双向时间延误。

假设路径是对称的，那么主时钟对平均电缆的时延计算为： $(T2 - T1)/2$ ，并或者对电缆时延予以补偿（通过平均电缆时延将1PPS信号提前），或采用另一种方式，即，通过ITU-T V.11序列通信信道通知从属时钟有关平均电缆时延情况，以便从属时钟能够做出补偿。

以下A.1.3节确定序列通信信道使用的协议。

在ITU-T V.11收发信机后，从属时钟在某一时间点上进行1PPS信号的回环。

A.1.3 序列通信信道

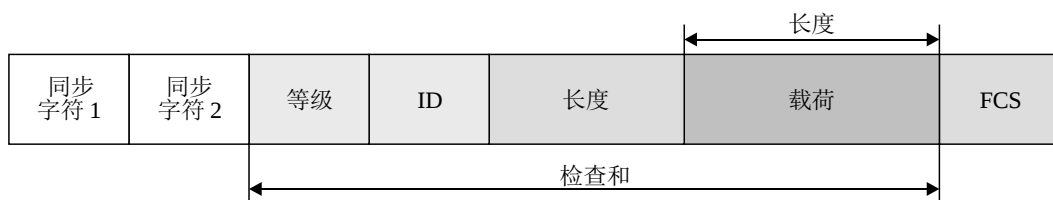
A.1.3.1 传输特性

下列特性适用于系列通信信道：

1. 默认波特率为9600，无奇偶校验。
2. 发送每一字节数据时，需包含由低电压电平标注的一个起始比特，八个数据比特和一个由高电压电平标注的结束比特。在非数据期间，应保持高电压电平。
3. 在1PPS升高边缘1毫秒后应发送信息数据，并必须在500毫秒内完成。
4. 信息代表当前1PPS开始的时间。
5. 信息应当每秒发送一次。

A.1.3.2 信息结构

图A.2确定信息结构：



G.8271-Y.1366(16)_FA.2

图 A.2 – TOD信息结构

每一条信息都是带帧检查序列（FCS）的多个8位（八位字节）。信息由信息等级和信息ID确定。在多个八位字节字段中的8位字节传送顺序应遵守“高位优先”（Big Endian）规则，即，从最大八位字节开始到最小八位字节结束。在一个八位字节中的比特的传送应从比特0到比特7。载荷的传送应从偏移0开始（见表A.3、A.5和A.7）。

可在系列通信信道上发送多个信息。信息之间的发送可以无时延，也可以在信息之间带有非零时延。然而，所有信息的传送都必须在A.1.3.1节所表明的时间段内完成。

每一信息字段的解释如下：

1. 起始信息

起始信息有两个八位字节：同步字符1和同步字符2。这两个八位字节用于信息统一。每一八位字节都被分配了公共0x43和0x4D数值，分别代表ASCII字符"C"和"M"。

2. 字头

信息字头包括子字段等级（1个八位字节）和信息ID（1个八位字节）。等级表明信息的基本类别。ID被编码为每一等级信息的子类别。

3. 长度

长度字段有两个八位字节，表明载荷的长度（不包含同步字符1、同步字符2、字头、长度和FCS字段）。

4. 载荷

载荷字段包含信息内容。按照信息类别的不同，该字段的长度可能有所变化。

5. FCS

FCS有一个八位字节。检查和包含信息字头、长度、载荷和FCS字段。生成FCS的多项式是 $G(x) = x^8 + x^5 + x^4 + 1$ 。该字段的初始值应设为0xFF。应使用右移运算。输入和输出值之间不应有比特倒转。该八位字节的传送应与其它数据八位字节的比特传送顺序相同。

A.1.3.3 信息内容

为1PPS V.11界面的系列通信信道确定了三种不同信息：

- **时间事件信息** – 时间标记和基本可跟踪性信息
通常该信息由使用该界面的各类时钟传送。
- **时间公布信息** – 虚拟PTP公布信息
通常该信息由PTP时钟传送。
- **GNSS状态信息** – 提供有关GNSS时间接收机状态的信息
通常该信息由基于GNSS的时钟传送。

时间事件信息

该信息用于在整个1PPS V.11界面上输出一日当中的时间。

表 A.2 – 时间事件信息

名称	时间事件信息						
描述	时间事件情况						
类型	得到报告的每一秒钟						
帧结构	同步字符 1	同步字符 2	等级	ID	长度	载荷	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x01	0x000E	见表 A.3	见第 A.1.3.2段

表A.3 – 时间事件信息载荷

漂移	长度（八 位字节）	名称	说明
0	6	时间	PTP秒（未标出的48位整数）
6	1	预留	预留
7	1	标志	比特0：闰秒61 – 正闰秒未到 比特1：闰秒59 – 负闰秒未到 比特2：UTC漂移有效 比特3：预留 比特4：可追踪时间 – 可追踪到主要时间标准的时间 比特5：可追踪频率 – 可追踪到主要频率标准的频率 比特6、7：预留
8	2	当前UTC漂移	TAI与UTC（即TAI – UTC）当前漂移值
10	4	预留	预留

时间通知信息

该信息用于输出带有PTP时钟的在整个1PPS V.11界面上提供的的时间的质量和可追踪性。

在PRTC输出界面上使用该信息有待进一步研究，除非含有PRTC的设备也包含T-GM。

该信息的字段直接拷贝了[IEEE 1588]所述的、名称相同的PTP通知信息字段。接收ToD信息的PTP时钟可以将该信息作为也按照相关PTP特征在虚拟PTP端口上收到的信息（如[ITU-T G.8275.1]）处理。

表A.4 – 时间通知信息

名称	时间通知信息						
描述	提供等同于PTP通知信息所含的有关时间来源质量和追踪性的信息						
类型	得到报告的每一秒钟						
帧结构	同步字符 1	同步字符 2	等级	ID	长度	载荷	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x02	0x0020	见表 A.5	见第 A.1.3.2段

表A.5 – 时间通知信息载荷

漂移	长度（八 位字节）	名称	说明
0	1	versionPTP	PTP版本号码
1	1	domainNumber	PTP域名号码
2	2	flagField	PTP标签字段（见注）
4	8	sourcePortIdentity.clockIdentity	发送时钟的时钟身份
12	2	sourcePortIdentity.portNumber	发送虚拟PTP端口的端口号码
14	1	grandmasterPriority1	PTP最主要时钟的1优先性数值
15	1	grandmasterPriority2	PTP最主要时钟的2优先性数值
16	1	grandmasterClockQuality .clockClass	PTP最主要时钟的时钟等级
17	1	grandmasterClockQuality .clockAccuracy	PTP最主要时钟的时钟准确性
18	2	grandmasterClockQuality .offsetScaledLogVariance	PTP最主要时钟的漂移时标对数变化
20	8	grandmasterClockIdentity	PTP最主要时钟的时钟身份
28	2	stepsRemoved	从PTP最主要时钟去除的时步
30	1	timeSource	PTP最主要时钟提供的时间来源类型
31	1	预留	预留
注 – 直接拷贝自PTP通知信息字头部分的标签字段，尽管其中一些标签并不具备相关性。			

GNSS状态信息

该信息用于输出PRTC整个1PPS V.11界面上GNSS接收机的状态和告警。通常该信息不是由PTP时钟产生的，除非时钟包含在与GNSS接收机相同的设备中。

表A.6 – GNSS状态信息

名称	GNSS状态信息						
描述	GNSS时间接收机当前状态						
类型	得到报告的每一秒钟						
帧结构	同步字符 1	同步字符 2	等级	ID	长度	载荷	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x03	0x0008	见表 A.7	见第 A.1.3.2段

表 A.7 – GNSS状态信息载荷

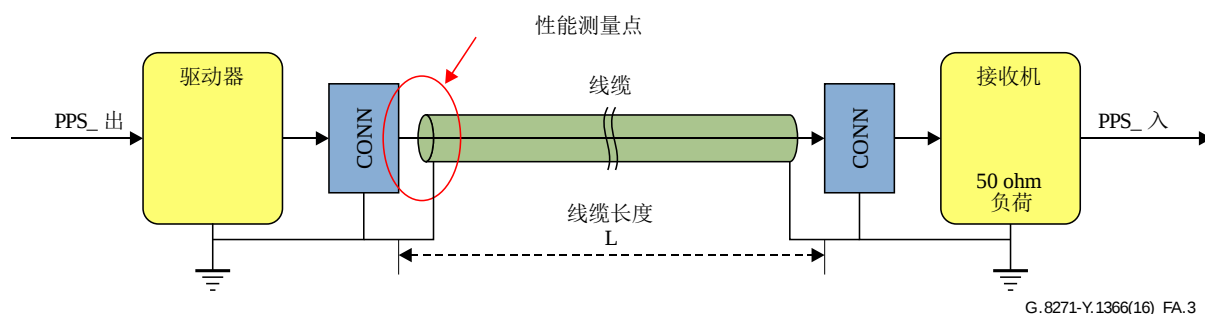
漂移	长度（八位字节）	名称	说明
0	1	时间来源类型	0x00: Beidou (Compass) 0x01: GPS 0x02: PTP 0x03: Galileo 0x04: Glonass 0x05: QZSS 0x06: IRNSS 0x07: GNSS（合并卫星群） 0x08: 未知（完全不知道GNSS使用何种时标，也无法采取行动来促进模块与具体GNSS时标一道工作） 0x09 ~ 0xFF: 预留
1	1	时间来源状态	GNSS固定类别： 0x00: 无固定 0x01: 仅为推测 0x02: 2D-固定 0x03: 3D-固定 0x04: GNSS与推测合并 0x05: 仅为时间固定 0x06: A-GNSS 0x07: GNSS + SBAS 0x08: GNSS + GBAS 0x09 ~ 0xFF: 预留
3	2	告警状态监测	时间来源告警状态： 比特0: 未使用 比特1: 天线打开 比特2: 天线缩短 比特3: 未跟踪卫星 比特4: 未使用 比特5: 调查进行中

表 A.7 – GNSS状态信息载荷

漂移	长度（八位字节）	名称	说明
			比特6: 无存储位置 比特7: 闰秒未到 比特8: 测试模型 比特9: GNSS解决方案（即，衍生的位置和时间）不确定 比特10: 未使用 比特11: 天文历不完整 比特12: 已生成PPS 比特13~比特15: 预留
4	4	预留	预留

A.2 1PPS 50 Ω相位同步测量界面

1PPS界面由一个不平衡的50-ohm 1PPS信号构成，可用于与测量设备连接（见图A.3）。
 [ITU-T G.703]定义了该界面的物理特性。



图A.3 – 不平衡1PPS 50 Ω测量界面

该系统必须对系统的内部时延做出补偿，以确保在方框边缘符合1PPS信号时间。
 预期测量设备将补偿与1PPS界面互连相关的时延。

附录I

时间分布链中的时间和相位噪声源

（本附录不是本建议书的组成部分）

量化时间分布链中的误差源对于定义网络参考模型中噪声预算的过程至关重要。

本附录列举的误差源基于由电信边界时钟（T-BC）提供的全定时支持网络。

在一些节点（或所有节点）无定时支持的情况下，应考虑附加噪声源。这一点有待进一步研究。

因电信透明时钟（T-TC）提供的定时支持造成的噪声源亦需要进一步研究。

I.1 主参考时钟（PRTC）产生的噪声

下表提供了PRTC中的误差源。

	误差源	说明/假设
1	参考时间误差	见I.7.1段

I.2 分组主时钟功能产生的噪声

下表提供了分组主时钟功能中的误差源。分组主时钟功能可能是电信超级主时钟（T-GM）或T-BC的组成部分。

	误差源	说明/假设
1	物理层协议（PHY）节点内时延非对称性	见I.7.2段

I.3 分组从属时钟功能产生的噪声

下表提供了分组从属时钟功能中的误差源。分组从属时钟功能可能是电信从属时钟（T-TSC）或T-BC的组成部分。

	误差源	说明/假设
1	本地振荡器相位噪声	见I.7.4段
2	节点内PHY时延非对称性	见I.7.2段
3	时间标记颗粒度	见I.7.3段
4	频率参考相位误差	见I.7.5段
5	时间瞬变	见I.7.6段

I.4 电信透明时钟产生的噪声

电信透明时钟中的误差源需要进一步研究。

I.5 链路产生的噪声

下表提供了链路中的误差源。

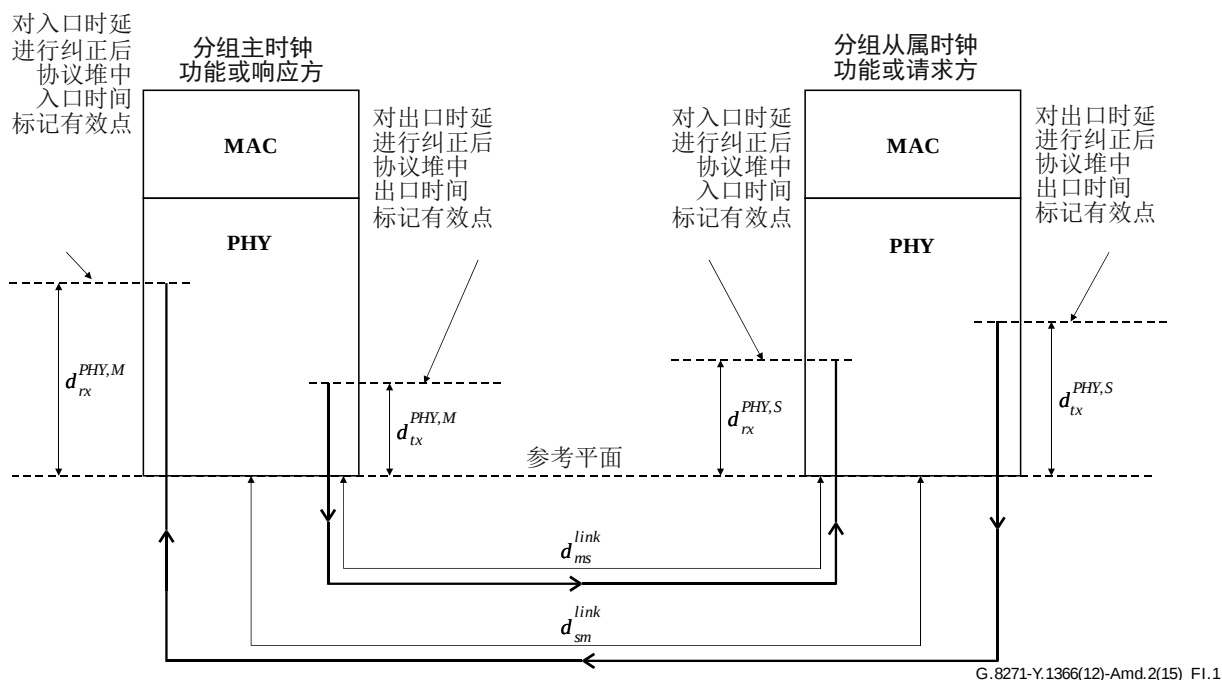
	误差源	说明/假设
1	链路非对称性	见I.7.7段

I.6 时延非对称性的来源

图I.1显示了分组从属时钟功能或请求方（在本段中被定义为从属）和分组主时钟功能或响应方（在本段中被定义为主要一方）之间的时延。平均传播时延是在事件信息交换后通过从属时钟测量的。如使用时延请求和时延响应机制（见[IEEE 1588]），从属时钟发送Delay_Req，主时钟发送Delay_Resp，二者分别发送Sync和Follow_Up（即，Sync和Follow_Up的发送不属于Delay_Req/Delay_Resp交换的组成部分。Follow_Up是在且仅在时钟为二阶的情况下发送的消息）。如使用对等时延机制（见[IEEE 1588]），从属时钟发送Pdelay_Req，主时钟发送Pdelay_Resp，如时钟为二阶，发送Pdelay_Resp_Follow_Up。

下图显示了各时钟协议堆在纠正了入口和出口时延后产生时间标记的有效点（见[IEEE 1588]第7.3.4节和图19）。在理想状况下，这些点将处于参考平面，即PHY和网络物理媒介之间的边界点。然而，在现实情况下，入口和出口时延的纠正并非完美无缺，时间标记产生的有效点与参考平面不同。提取时间标记的有效点以及参考平面之间的时延在主时钟上分别用 $d_{tx}^{PHY,M}$ 和 $d_{rx}^{PHY,M}$ 代表出口和入口，在从属时钟上用 $d_{tx}^{PHY,S}$ 和 $d_{rx}^{PHY,S}$ 代表出口和入口。在此符号中，小字 t （发射）用来表示出口，小字 r （接收）用来表示入口。总之，这四个量可以完全不同。

该图亦显示出一时钟参考平面到另一时钟参考平面之间的链路时延。从主时钟到从属时钟之间的时延用 d_{ms}^{link} 表示，从属时钟到主时钟的时延用 d_{sm}^{link} 表示。



图I.1 – 分组从属时钟功能或请求方与分组主时钟功能或响应方之间的时延显示

从主时钟到从属时钟的总时延 t_{ms} 是该方向时延的总和：

$$t_{ms} = d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S} \quad (I-1)$$

同样，从从属时钟到主时钟的时延 t_{sm} 是该方向时延的总和：

$$t_{sm} = d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M} \quad (I-2)$$

时延非对称性的符号公式采用[IEEE 1588]第7.4.2节所述相同规定。 D_{mean} 表示所测量的平均路径时延（即，Delay_Req和Delay_Resp或对等时延消息交换结果的测量）， D_{asym} 表示总时延非对称性。当主时钟到从属时钟的时延大于从属时钟到主时钟的时延时， D_{asym} 定义为正数。同样，当主时钟到从属时钟的时延小于从属时钟到主时钟的时延时， D_{asym} 定义为负数，那么：

$$\begin{aligned} t_{ms} &= D_{mean} + D_{asym} \\ t_{sm} &= D_{mean} - D_{asym} \end{aligned} \quad (I-3)$$

等式（I-3）意味着，按照要求：

$$D_{mean} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2} \quad (I-4)$$

将等式（I-1）和（I-2）替换到等式（I-4）中得出：

$$D_{mean} = \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \quad (I-5)$$

(I-3) 中的两个等式都可配合等式 (I-4) 使用以获得部分时延中的时延非对称性。使用 (I-3) 中的第一个等式得出：

$$\begin{aligned}
 D_{\text{asym}} &= t_{\text{ms}} - D_{\text{mean}} \\
 &= (d_{\text{tx}}^{\text{PHY},M} + d_{\text{ms}}^{\text{link}} + d_{\text{rx}}^{\text{PHY},S}) - \frac{(d_{\text{tx}}^{\text{PHY},M} + d_{\text{ms}}^{\text{link}} + d_{\text{rx}}^{\text{PHY},S}) + (d_{\text{tx}}^{\text{PHY},S} + d_{\text{sm}}^{\text{link}} + d_{\text{rx}}^{\text{PHY},M})}{2} \\
 &= \frac{d_{\text{tx}}^{\text{PHY},M} - d_{\text{rx}}^{\text{PHY},M}}{2} + \frac{d_{\text{ms}}^{\text{link}} - d_{\text{sm}}^{\text{link}}}{2} + \frac{d_{\text{rx}}^{\text{PHY},S} - d_{\text{tx}}^{\text{PHY},S}}{2} \\
 &= e_{\text{phy}}^M + e_{\text{link-asym}} - e_{\text{phy}}^S
 \end{aligned} \tag{I-6}$$

其中：

$$e_{\text{phy}}^M = \frac{d_{\text{tx}}^{\text{PHY},M} - d_{\text{rx}}^{\text{PHY},M}}{2} \tag{I-7}$$

$$e_{\text{link-asym}} = \frac{d_{\text{ms}}^{\text{link}} - d_{\text{sm}}^{\text{link}}}{2} \tag{I-8}$$

$$e_{\text{phy}}^S = \frac{d_{\text{tx}}^{\text{PHY},S} - d_{\text{rx}}^{\text{PHY},S}}{2} \tag{I-9}$$

等式 (I-7) 和 (I-9) 是由主时钟和从属时钟PHY时延非对称性分别产生的误差。等式 (I-8) 是由于链路非对称性产生的误差。等式 (I-6) 表明，在计算总非对称性时，主时钟产生的PHY延迟造成的误差加链路造成的误差，同时减去从属时钟PHY时延造成的误差。

I.7 噪声源的特性

前几段中所述各种噪声源在建模和累积上分别具有不同特性，举例而言，由级联T-BC产生的噪声可按照ITU-T对时钟链采用的传统方法进行分析。

以下各段分析了上表列出的噪声源。

I.7.1 参考时间误差

T-GM的分组主时钟功能收到用来分布的参考时间。误差可由以下情况造成：

GNSS时间误差 使用不同GNSS系统（如GPS和未来Galileo两种系统）可能因为驱动系统的原子时钟群之间的差异造成固有的时间误差。

GNSS实施限制 GNSS接收机产生的时间信号可能与使用相同卫星系统的另一个GNSS接收机具有偏差。

该噪声源仅适用于PRTC。

噪声源 e_{ref} 的建模方式有待进一步研究。

I.7.2 PHY时延变化和非对称性

该噪声源涉及硬件时标功能，即时间标记测量点和媒介接口之间的差异（如802.3bf定义了支持802.3bf的每个PHY可能的最小和最大发射和接收值）。为妥善实施，通常在纳秒范围内。PHY时延非对称性定义为 $(d_{\text{tx}} - d_{\text{rx}})/2$ ，其中 d_{tx} 是发射路径的时延， d_{rx} 为接收路径时延，见第I.6段和图I.1。

该噪声源适用于（在T-GM或T-BC中的）分组主时钟功能以及（在T-BC或T-TSC中的）分组从属时钟功能。

噪声源 e_{phy} 的建模方式有待于进一步研究。

I.7.3 时间标记颗粒度

时间标记颗粒度取决于时间标记时钟速率。时间标记颗粒度误差范围受到 $T_{ts,rx}$ 限制，在接收机时间标记计数器上递增：

$$0 \leq e_{ts} < T_{ts,rx} \quad (I-10)$$

如接收机的时间标记时钟速率为发射方速率的整数倍/约数，则可观测到拍频效果，误差 e_{ts} 几乎为静态，相位锁定环路中固有的低通滤波无法将其降低。如速率基本为主要速率，误差 e_{ts} 将随机化，并在模型中妥善地设为白噪声（平坦频谱）。

该噪声源适用于分组主时钟和分组从属时钟的到达时间测量。同一模式可适用于出发时间测量。

I.7.4 本地振荡器相位噪声

分组从属时钟功能使用主时钟定时数据作为过滤出本地参考相位噪声的参考，以便将产生的时间误差降至最低。本地振荡器越好，所产生的噪声越少。不可能过滤出所有相位噪声。

该噪声源适用于PTP消息恢复了频率（即没有物理层频率同步支持）时（T-BC或T-TSC中的）分组从属时钟功能。

噪声源 e_{ϕ} 的建模方式有待于进一步研究。

I.7.5 频率参考相位误差

（T-BC或T-TSC中的）分组从属时钟功能可能使用外部频率参考，而不是本地振荡器帮助恢复时间。该频率参考比本地振荡器具有更好的定时特性，但并不完美。

该噪声源适用于分组从属时钟。

[ITU-T G.8261建议书]第9.2段的网络限值定义了该噪声源 e_{syncE} 。该噪声源的建模有待进一步研究。

I.7.6 时间瞬变

参考交换或短时间中断可能造成时间瞬变。超级主时钟或链路故障可能产生网络重新安排。在此阶段，时间误差可因某种形式的保持功能形成累积。

该噪声源适用于分组从属时钟。

该噪声源 $e_{transient}$ 的建模方式有待进一步研究。

I.7.7 链路非对称性

分组定时协议（如网络时间协议和精准时间协议（PTP））通过网络测量往返时延，即从服务器到客户端以及返程（或反向）的时延。单向时延是使用网络前向时延与反向时延相同的假设而估算的。前向和反向时延之间的任何差异（所谓时延非对称性）将对客户时钟与服务器的偏差估算造成误差。

使用全定时支持（如每个节点的T-BC或T-TC）可消除因包时延变化（PDV）以及两个流量方向不同流量负载造成的时延非对称性以及数据包在各个方向采用不同路由造成的非对称性（在此情况下端对端透明时钟已不能解决问题）。然而，通过网元之间点对点链路无法纠正时延非对称性。这种非对称性是由于前向或反向路径在同一线缆中走过不同光纤或铜线对造成的。这些光纤或铜线对可能具有不同的长度以及不同的电气或光特性，从而产生时延差异。

光纤链路造成的时延非对称性可对每个方向造成每米若干纳秒的差异。在用于多个光纤链路时，对于所考虑的一些应用的严格容限要求，误差水平显而易见。

链路非对称性被定义为 $(d_{ms}-d_{sm})/2$ ，其中 d_{ms} 指从主时钟或响应方到从属时钟或请求方的路径时延， d_{sm} 指从从属时钟或请求方到主时钟或响应方的路径时延，见第I.6节和图I.1。

该噪声源适用于链路。

该噪声源 $e_{link-asym}$ 的建模方式有待进一步研究。

I.7.8 节点内时间分配误差

该误差是在从一个节点的中心位置（如，系统卡）向一个节点的其它的位置（如，线路卡）分配时间参考时出现的不同内部时延造成的。该误差可能是由于背板踪迹长度、接插件和各种逻辑功能造成的。

注 – 这些时延可能不可忽视，因此需要适当的设计和补偿。

该噪声源定义为 $e_{intranode}$ ，并有待进一步研究。该噪声源适用于T-GM、T-BC和T-TSC。

I.8 时钟链中的时间误差累积

总时间误差可被看作恒定时间误差部分和动态时间误差部分的总和。

注 – 假设没有频率偏移和漂移部分，动态时间误差中仅包含随机部分。

这两部分在建模和累积上具有不同特性，更多详情见[b-ITU-T G.8271.1]附录IV。

附录II

时间和相位最终应用同步要求

（本附录不是本建议书的组成部分）

下表概括了应用输出的主要要求（如，无线应用中的无线电接口）。

表II.1 – 时间和相位最终应用要求

应用/技术	精确度	规范
CDMA2000	使用GPS时标（除闰秒调整外，可跟踪并与UTC同步）的CDMA系统 $\pm 3 \mu\text{s}$ 在不足8小时时间内（当CDMA系统外部源切断时），CDMA系统 $\pm 10 \mu\text{s}$	[b-3GPP2 C.S0002] 第1.3节 [b-3GPP2 C.S0010] 第4.2.1.1节
TD-SCDMA （NodeB TDD模式）	相同频率上任何具有重叠覆盖区的站址对之间帧启动时间最大差异 $3 \mu\text{s}$	[b-3GPP TS 25.123] 第7.2节
WCDMA-TDD （NodeB TDD模式）	在TDD模式中，为支持站址间同步和切换，需要NodeB之间共用时间参考同步区域内任何NodeB输入端的相对同步信号相位差异不超过 $2.5 \mu\text{s}$	[b-3GPP TS 25.402] 第6.1.2和6.1.2.1节
W-CDMA MBSFN	单频网络上的MBMS $12.8 \mu\text{s}$ ，NodeB的传输与通用参考时间具有密切的时间同步	[b-3GPP TS 25.346] 第7.1A和7.1B.2.1节
LTE MBSFN	所提到的通用时间参考（延续时标）值 $< \pm 1 \mu\text{s}$	研究中
W-CDMA （家庭NodeB TDD模式）	精确到微秒（未列出硬性要求）	[b-3GPP TR 25.866] 第8节
WiMAX	1) 服务基站和邻近基站发射的下行链路帧须同步至至少1/8循环冠字长度（相当于 $1.428 \mu\text{s}$ ） 基站的发射无线电帧须在时间上与IPPS时间脉冲对齐 2) 基站发射参考定时须与IPPS脉冲时间对齐，精确度为 $\pm 1 \mu\text{s}$	[b-IEEE 802.16] 表6-160, 第8.4.13.4节 [b-WMF T23-001] 第4.2.2节
LTE-TDD （广域基站）	小型站址（ $< 3 \text{ km}$ 半径） $3 \mu\text{s}$ 大型站址（ $> 3 \text{ km}$ 半径） $10 \mu\text{s}$ 覆盖区重叠且相同频率的站址对之间帧启动时间最大绝对偏差	[b-3GPP TS 36.133] 第7.4.2节

表II.1 – 时间和相位最终应用要求

应用/技术	精确度	规范
LTE-TDD (居民区基站)	1) 小站址 (< 500 m半径) 3 μs。大站址 (> 500 m半径)，基站之间的时间差为$1.33 + T_{propagation}$，其中$T_{propagation}$是家庭基站和所选择的作为网络聆听同步源的站址之间的传播时延。在网络聆听同步源的选择上，应选择与GNSS最准确的同步源。如家庭基站在未使用网络聆听的情况下获得同步，适用小站址要求。 2) 要求规定3.475 μs，但在很多情形下，可采用3 μs同步要求。	[b-3GPP TS 36.133] 第7.4.2节 [b-3GPP TR 36.922] 第6.4.1.2节
LTE-TDD到CDMA 1xRTT和HRPD的切换	eNodeB须同步至GPS时间。随着CDMA系统时间外部源的切断，eNodeB须将相对于CDMA系统时间的精确度在不足8小时内保持在 $\pm 10 \mu$ s	[b-TS 3GPP TS 36.133] 第7.5.2.1节
LTE-A	以下列出的各项应用的相位/时间要求正在研究之中： • 载波集总 • 协调多点传输（亦称为网络-MIMO） • 转接功能	[b-TR 3GPP TS 36.814]
IP网时延监测	精确度要求取决于所监测的质量水平。举例而言，对于共用时间参考（如UTC）可能要求 $\pm 100 \mu$ s，亦有提及 ± 1 ms。	注 – 尚无标准要求。要求因运营商而异（取决于应用情况）
计费和报警	共用时间参考（如UTC） ± 100 ms	
注1 – 对于移动应用，有关要求用基站之间的相位误差表示。对于集中式超级主时钟，有关要求可用$\pm$表示，适用于某项技术的一半精确度要求。 注2 – 这些要求通常在正常条件下有效。故障情况下可适用的要求有待进一步研究。		

表II.2 – 其它时间和相位要求

典型应用（供参考）	时间误差要求 （注1）	规范
频段内非连续载波集总（有或无MIMO或TX分集） 及频段间载波集总（有或无MIMO或TX分集）	260 ns	[b-3GPP TS 36.104] 第6.5.3.1节
频段内连续载波集总（有或无MIMO或TX分集）	130 ns	[b-3GPP TS 36.104] 第6.5.3.1节
使用OTDOA基于位置的服务（注3）	100 ns	
各载频的MIMO或TX分集传输	65 ns	[b-3GPP TS 36.104] 第6.5.3.1节
更多新兴的LTE-A功能需要群集内多个天线合作。	x ns（注2）	
注1 – 用相对于另一基站的误差表示的要求，二者具有相同参考。 注2 – LTE-A功能的性能要求正在研究之中。百分比值（x值）有待进一步研究。 注3 – 100 ns在OTDOA用于至少三个基站时约支持30-40m的位置精确度。 注4 – 用天线之间相对误差（即基站扇区）表示的要求，二者具有同样的时间参考。尽管CA和CoMP的相位/时间精确度要求为一般性要求，并非针对任何特别的网络拓扑，这一相位误差预算水平意味着，有关要求适用的天线通常通过直接链路相同的BBU并置或连接。		

其它需要准确时间和相位同步的应用类别包括机器对机器（M2M）通信和行业互联网（如运输和连接的车辆、智能电网、金融贸易、远程医疗和保健系统、增强的安全和安全监测等），实际同步要求取决于具体的应用并有待进一步研究。

附录III

使用不同波长的非对称补偿

(本附录不是本建议书的组成部分)

使用不同波长造成的非对称补偿是通过计算适用于前向和反向波长的群体时延获得的。

A 表示非对称性，以下公式适用：

$$A = d_f - d_r = L * (n_r - n_f)/c$$

其中 L 为距离， c 为光速， d_f 和 d_r 为前向和反向传输时延， n_r 和 n_f 为前向和反向分别使用的波长所适用的群折射指数。

评估折射指数可使用所谓色散数据（来自光纤数据表）或在色散未知时，直接对三个不同波长进行直接时延测量（这样便可通过二次插值法获得人为波长值）完成。

之后可使用这些数据获得原波长的群时延。尤其对于符合ITU-T G.652的光纤，可利用[b-ITU-T G.652]所述Sellmeier等式计算适用波长的群时延。

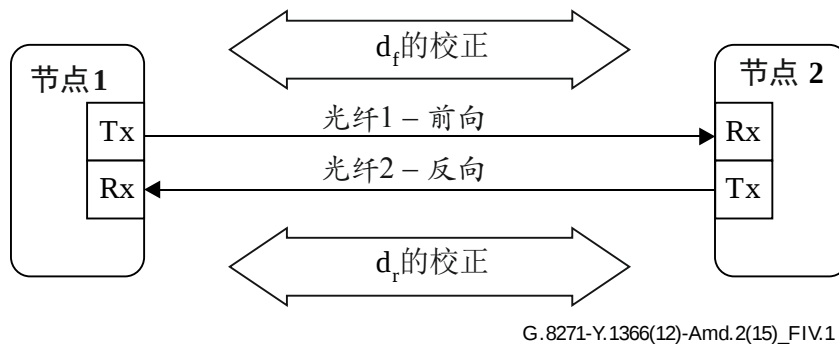
附录IV

链路和网络非对称性补偿

（本附录不是本建议书的组成部分）

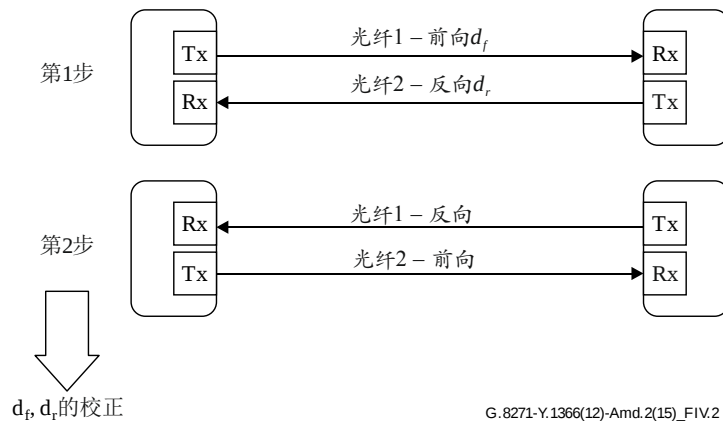
为补偿链路时延非对称性，适宜的做法可能是建立某种自动链路非对称性校正程序。该程序可基于对流量所使用的光纤进行双向测量计算得出传播时延。

两根光纤（前向使用的光纤和反向使用的光纤）的计算程序可分别设立，由此提供前向传播时延 d_f 和反向传播时延 d_r ，见图IV.1。



图IV.1 – 链路非对称性校正程序（两根光纤分别进行）

另外，两根光纤的往返测量可通过扭转传输方向分两步进行，见图IV.2。



图IV.2 – 链路非对称性校正程序（两根光纤同时进行）

注1 – 在主从连接情况下（见图I.1），以下公式适用：

$$d_f = d_{ms}$$

$$d_r = d_{sm}$$

链路非对称性校正机制必须满足 d_f 和 d_r 估算的准确度目标。该限值有待进一步研究。

注2 – 在非对称性计算程序中，当一个节点进入保持状态（如程序要求的跳频造成的），频率保持效应需要考虑在内，因为这可能影响到测量的准确度。

可行的实施方式包括若干种，如基于光交换机或固定或可调谐上下过滤器。根据实施方式的不同，校正过程中可能无需中断流量，因此可以在运行中操作。然而，非对称性补偿程序只在启动或网络重新安排时需要。

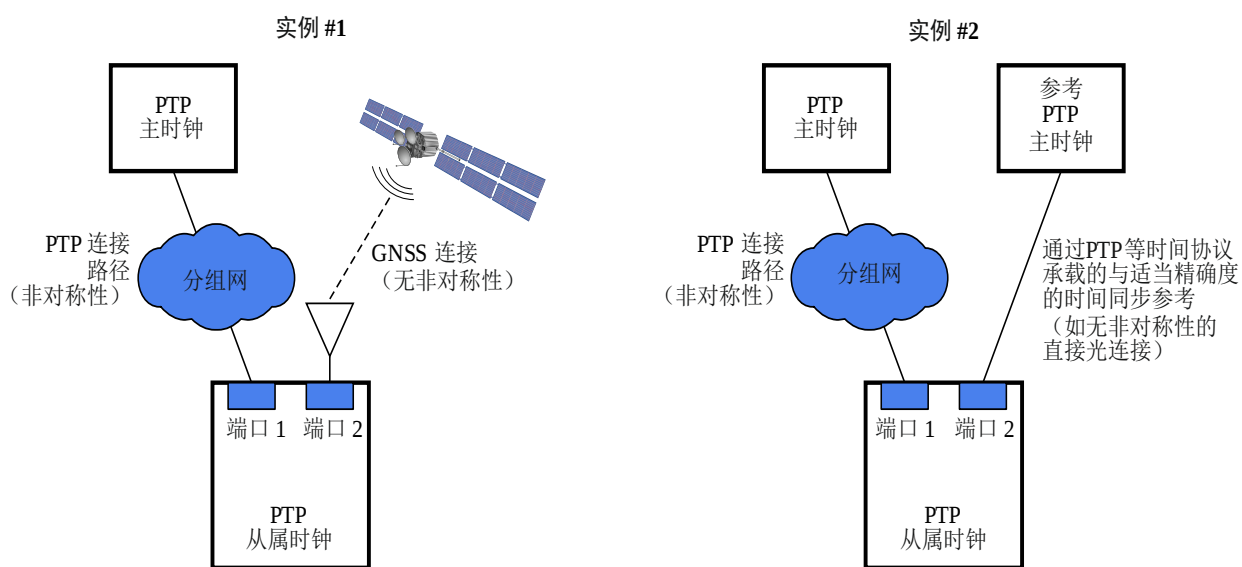
该测量适用于波分复用（WDM）系统（包括光传送网（OTN））和非WDM系统。对于波分复用系统，该测量亦应考虑到可能出现的色散补偿光纤（DCF）造成的时延。

注3 – 对于WDM系统，因两个方向使用不同波长造成的非对称性亦应考虑在内。的确，在两根光纤上使用不同波长（或使用一根光纤的单根光纤传输系统），将导致不同时延，即使光纤波长的长度相同。亦请注意，如链路非对称校正程序中使用的波长不同于流量使用的波长时，需要相同的补偿。附录III介绍了解决这一问题的适当方法。

评估时延非对称性时可使用时间恢复程序中的差异（ $d_f - d_r$ ）。特别值得一提的是，时延非对称性参数在[IEEE 1588]第7.4节中的定义相当于该差异的一半。

注4 – 如T-BC实施在每个节点中，T-BC可直接触发补偿，从而了解差异（ $d_f - d_r$ ）。如并非此情况，必须采用一些手段，以便在网络中处理准确时间协议（PTP）的各点提供差异（ $d_f - d_r$ ）。这一点有待进一步研究。

注5 – 对于PTP进行的时间同步，PTP连接可能因为多种原因产生不对称性，包括网络路径、负载水平或线缆长度。PTP连接的非对称性可在一个PTP网元内评估，如该网元获得未受到非对称性严重影响的二次同步源（如GNSS接收机或时间或通过PTP等时间协议传送的与适当精确时间的同步参考），如图IV.3所示。如PTP连接的非对称性使用这种二次同步源评估，则非对称造成的偏差可通过网元得到补偿。同一原则可适用于链中网元之间的连接。



G.8271-Y.1366(12)-Amd.2(15)_FIV.3

图IV.3 – PTP从属时钟评估PTP连接非对称性

附录V

PTP未知网元内接口速率变化造成的时延非对称性

（本附录不是本建议书的组成部分）

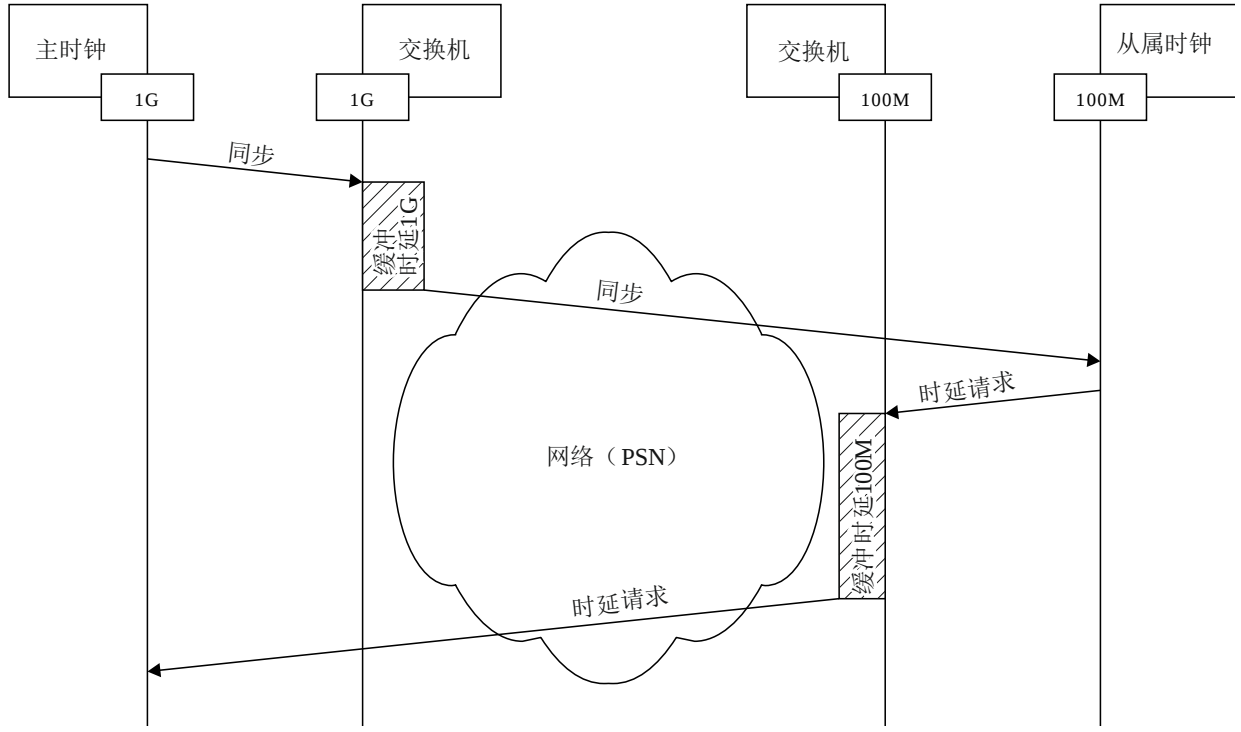
当主时钟和从属时钟未与PTP所了解的网元（如BC或TC）连接时，且未使用相同以太网线路速率时，以太网交换机的“存储转发”性质可造成时延非对称性。“存储转发”意味着交换机需要在更快线速的端口上开始发射前接收全帧以确保包数据可供传输。将包传过交换机所需的最短时间取决于包的长度和入口线速。Sync 和Delay_Req PTP包已定义为具有相同长度，以便减少不同过渡时延造成的时延非对称性，然而以太网速率非匹配将产生非对称性。

基于PTP事件消息包大小和接口速率可估计预期的非对称性。

在了解速率非匹配造成的静态非对称性时，使用[IEEE 1588]第11.6节定义的非对称性时延补偿机制可通过从属时钟实现补偿。

以下实例用来显示速率非匹配产生的非对称性：

- 包格式使用UDP/IPv4/以太网字头，使整包尺寸达到86字节（超出报头和FCS）。
- 报头8字节。
- FCS 4字节。
- PTP超级主时钟时间标记事件接口为GE（1000 Mbit/s）。
- PTP从属时钟时间标记事件接口为FE（100 Mbit/s）。
- 分组交换网（PSN）时延假设同步。



G.8271-Y.1366(16) FV.1

图V.1 – 速率非匹配实例

由此产生了时间标记事件点之间的时延等式。

从主时钟到从属时钟的前向，时间标记事件点之间的时延为：

$$t2 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + t1 \quad (V-1)$$

在从属时钟到主时钟的反向，时间标记事件点之间的时延为：

$$t4 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + t3 \quad (V-2)$$

由等式（V-2）得到的<meanPathDelay>公式为：

$$< meanPathDelay > = \frac{[(t2 - t1) + (t4 - t3)]}{2} \quad (V-3)$$

用（t2 - t1）替代（V-1），（t4 - t3）替代等式（V-2），得出：

$$< meanPathDelay > = \frac{(L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times (GE + FE)_{ns} + 2 \times D_{PSN}}{2} \quad (V-4)$$

$$< meanPathDelay > = (L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times \frac{GE + FE}{2}_{ns} + D_{PSN} \quad (V-5)$$

根据规定，当前向路径大于反向路径时，<delayPathAsymmetry>为正数。

因此，时延路径非对称性为等式（V-1）和（V-5）之差。

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2} \right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2} \right)_{ns} \quad (V-6)$$

或等式（V-5）与（V-2）之差。

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{GE - FE}{2} \right)_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{FE - GE}{2} \right)_{ns} \quad (V-7)$$

将实际数值插入等式（V-6），得出：

$$< delayPathAsymmetry > = (86 + 4) \times 8 \times \left(\frac{1-10}{2} \right)_{ns} + (8) \times 8 \times \left(\frac{10-1}{2} \right)_{ns}$$

$$< delayPathAsymmetry > = -2952_{ns}$$

速率非匹配造成的时延非对称性一般条件为：

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-M} - V_{PEC-S}}{2} \right) + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times \left(\frac{V_{PEC-S} - V_{PEC-M}}{2} \right)$$

其中：

L_{PKT}	包长度（字节）（不包括报头和FCS）
L_{FCS}	包FCS的长度（字节）
$L_{Pre-amble}$	包报头的长度（字节）
V_{Master}	PTP主时钟时间标记接口速度（比特/秒）
V_{Slave}	PTP从属时钟时间标记接口速度（比特/秒）

参考资料

- [b-ITU-T G.652] Recommendation ITU-T G.652 (2009), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*.
- [b-ITU-T G.8271.1] Recommendation ITU-T G.8271.1/Y.1366.1 (2013), *Network limits for time synchronization in packet networks*.
- [b-IEEE 802.16] IEEE 802.16-2012, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems*.
<<http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16-2012.html>>
- [b-IEEE 802.3bf] IEEE 802.3-2011, *IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 7: Media Access Control (MAC) Service Interface and Management Parameters to Support Time Synchronization Protocols*.
<<http://www.techstreet.com/ieee/searches/13964866>>
- [b-WMF T23-001] WMF-T23-001-R015v03 (2012), WiMAX Forum® *Air Interface Specifications – Mobile System Profile Specification*
<http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/04/WMF-T23-001-R015v03_MSP-Common-Part.pdf>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD*
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25836.htm>>
- [b-3GPP TR 25.866] 3GPP TR 25.866 (2009), *1.28 Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25866.htm>>
- [b-3GPP TR 36.814] 3GPP TR 36.814 (2010), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36814.htm>>
- [b-3GPP TR 36.922] 3GPP TR 36.922 (2015), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36922.htm>>
- [b-3GPP TS 25.123] 3GPP TS 25.123 (2015), *Requirements for support of radio resource management (TDD)*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25123.htm>>
- [b-3GPP TS 25.346] 3GPP TS 25.346 (2016), *Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25346.htm>>
- [b-3GPP TS 25.402] 3GPP TS 25.402 (2016), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25402.htm>>
- [b-3GPP TS 36.104] 3GPP TS 36.104 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36104.htm>>
- [b-3GPP TS 36.133] 3GPP TS 36.133 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management*.
<<http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36133.htm>>

- [b-3GPP2 C.S0010] 3GPP2 C.S0010-E v2.0 (2014), *Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations*
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-E_v2.0_20140321.pdf>
- [b-3GPP2 C.S0002] 3GPP2 C.S0002-F v2.0 (2014), *Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems*.
<http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-F_v2.0_20140519.pdf>

全球信息基础设施、互联网的协议问题和下一代网络、物联网和智慧城市

全球信息基础设施	
概述	Y.100–Y.199
业务、应用和中间件	Y.200–Y.299
网络方面	Y.300–Y.399
接口和协议	Y.400–Y.499
编号、寻址和命名	Y.500–Y.599
运营、管理和维护	Y.600–Y.699
安全	Y.700–Y.799
性能	Y.800–Y.899
互联网的协议问题	
概述	Y.1000–Y.1099
业务和应用	Y.1100–Y.1199
体系、接入、网络能力和资源管理	Y.1200–Y.1299
传输	Y.1300–Y.1399
互通	Y.1400–Y.1499
服务质量和网络性能	Y.1500–Y.1599
信令	Y.1600–Y.1699
运营、管理和维护	Y.1700–Y.1799
计费	Y.1800–Y.1899
运行于NGN的IPTV	Y.1900–Y.1999
下一代网络	
框架和功能体系模型	Y.2000–Y.2099
服务质量和性能	Y.2100–Y.2199
业务方面：业务能力和业务体系	Y.2200–Y.2249
业务方面：NGN中业务和网络的可操作性	Y.2250–Y.2299
NGN的增强	Y.2300–Y.2399
网络管理	Y.2400–Y.2499
网络控制体系和协议	Y.2500–Y.2599
基于分组的网络	Y.2600–Y.2699
安全	Y.2700–Y.2799
通用移动性	Y.2800–Y.2899
电信级开放环境	Y.2900–Y.2999
未来网络	Y.3000–Y.3499
云计算	Y.3500–Y.3999
物联网和智能城市及社区	
概述	Y.4000–Y.4049
定义和术语	Y.4050–Y.4099
要求和使用案例	Y.4100–Y.4249
基础设施、连接性和网络	Y.4250–Y.4399
框架、结构和规范	Y.4400–Y.4549
服务、应用、计算和数据处理	Y.4550–Y.4699
管理、控制和性能	Y.4700–Y.4799
识别和安全	Y.4800–Y.4899
评估和估计	Y.4900–Y.4999

欲了解更详细信息，请查阅ITU-T建议书目录。

ITU-T 系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听及多媒质系统
I系列	综合业务数字网
J系列	有线网络和电视、声音节目及其他多媒质信号的传输
K系列	干扰的防护
L系列	环境与ICT、气候变化、电子废物、节能；线缆和外部设备的其他组件的建设、安装和保护
M系列	电信管理，包括TMN和网络维护
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备的技术规范
P系列	终端和主观与客观评估方法
Q系列	交换和信令
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网、开放系统通信和安全性
Y系列	全球信息基础设施、互联网的协议问题、下一代网络、物联网和智慧城市
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题