虚拟主参考计时时钟（vPRTC）

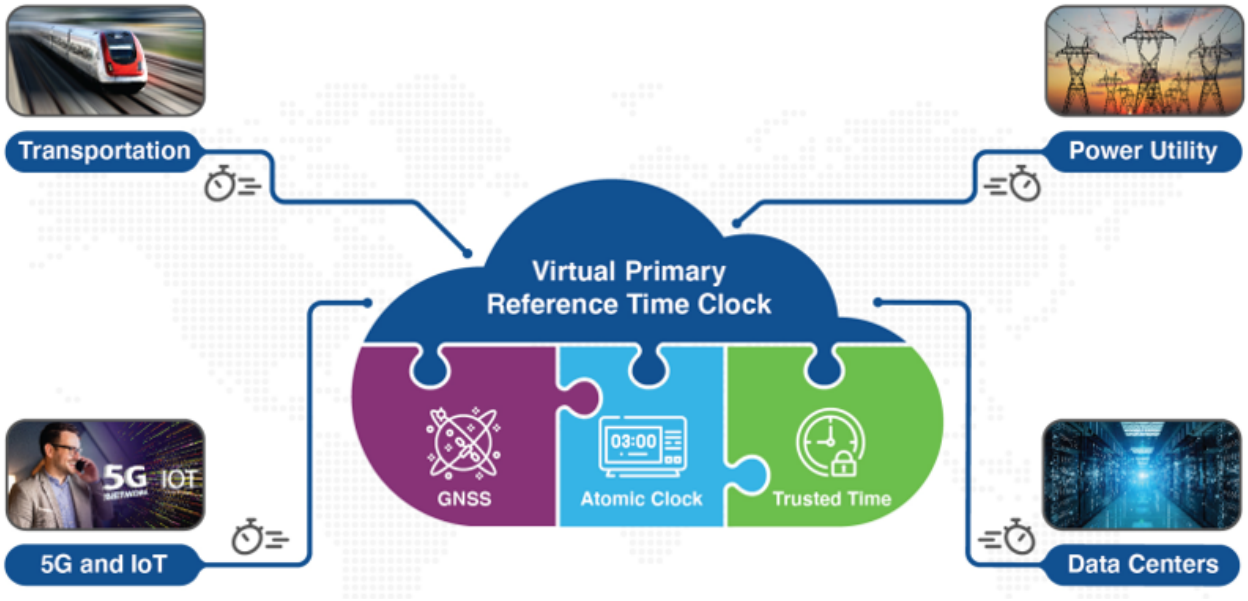
简介

Microchip 是为实现关键服务提供计时技术和同步技术的全球领先者。Microchip 一直致力于创新，在虚拟主参考时间时钟（virtual Primary Reference Time Clock，vPRTC）技术上也延续了这种创新传统。vPRTC 是一种网络架构，可让 DWDM 网络上的任意点都实现极为稳定的不到 100 纳秒的时间精度。TimeProvider® 4100 高性能边界时钟专门为增强新的或现有的 DWDM 网络而设计，可增强光传输层以建立“虚拟 PRTC”，以前所未有的精度水平提供具备恢复能力的确定性计时服务，从而节省运营商时间和成本，同时降低整个网络的复杂性。

众所周知，在通信、运输、能源和数据中心等关键基础设施中，对时钟准确性和精度的需求越来越高。作为向这种需求日益增长的领域提供 100 ns 精度的本地计时解决方案的“惟一方法”，GNSS 已在这些行业中广泛部署，这使任务关键型应用中高度准确的点计时解决方案迅速增长。

如今，业界关注的焦点正在从纯粹的准确性和精度转向安全性和恢复能力。仅提供准确的计时实例还远远不够。关键基础设施运营商必须考虑其整体的计时运行状况，并且需要了解其时间源是否可靠、是否经过验证以及是否具备全网络的可见性和监视能力。最重要的是，他们必须确保这些时间源具有备份和保护功能，在出现问题时能够迅速恢复。

图 1. 虚拟主参考时间时钟可为关键基础设施提供安全且有恢复能力的计时



vPRTC 的概念很简单。它将成熟的计时技术融合到一个受保护的中央时间源位置，然后利用商用光纤网络链路与高级 IEEE® 1588 精确时间协议（Precision Time Protocol，PTP）高精度边界时钟，将 PRTC 100 ns 级的计时分配到数百公里外有需求的端点。中央时间源位置使用受到高度保护且经过验证的接收器从 GNSS 接收其 UTC 时间可追溯性。其利用先进的防火墙技术，持续监视 GNSS 欺骗或干扰攻击威胁，以确保仅将来自太空的有效信号传递到中央时钟。中央时钟系统采用业界公认的铯原子钟来建立可追溯到 UTC 的 30 ns 保障精度。如果检测到 GNSS 无效，甚至完全被拒绝，vPRTC 时间源将在至少 14 天内保持 UTC 的 100 ns 可追溯性。

有了这些恢复能力较高的时钟，运营商就可以使用其安全的光纤网络将受保护的时间分配到有需要的所有位置。正如基于 GNSS 卫星的计时系统通过无线传输将时间分配到各端点一样，vPRTC 通过光纤网络进行时间分配。区别在于，光纤网络完全由网络运营商控制，并且可以受到保护。vPRTC 架构可以部署为唯一的时间源，也可以部署为基于 GNSS 的计时解决方案的备份方案。

通信行业是最早采用 vPRTC 架构的行业之一。通信网络使用中央铯原子钟和基于网络的时钟分配技术已有悠久的历史。随着 5G 技术呈爆炸式增长，以及越来越多的位置对 PRTC 100 ns 级计时的需求不断增加，运营商正在不断寻找保护能力更强、恢复能力更高的方式来为其 5G 网络提供计时服务。本文分析了 vPRTC 架构的设计注意事项，并给出了初步的现场验证结果。

目录

简介 1

1. 精确计时和网络要求 4

2. 最终应用要求驱动着同步架构不断改进 5
   - 2.1. 端到端时间误差 5

3. 相位同步 6
   - 3.1. 时间边界时钟 6
   - 3.2. T-BC 变更带来的运营影响 6

4. 虚拟主参考时间时钟（vPRTC）网络 7
   - 4.1. 虚拟 PRTC 网络传输 8

5. 光传输（DWDM） 9
   - 5.1. TimeProvider 4100 高性能边界时钟（HPBC） 9
   - 5.2. 在 DWDM 系统上部署 9

6. 虚拟 PRTC 参考架构 10
   - 6.1. 性能结果 11
   - 6.2. vPRTC 和运营商要求 12
   - 6.3. vPRTC 与 PTN 的比较 13

7. 总结 14

8. 版本历史 15

Microchip 网站 16

产品变更通知服务 16

客户支持 16

Microchip 器件代码保护功能 16

法律声明 16

商标 17

质量管理体系 17

全球销售及服务网点 18

1. 精确计时和网络要求

5G NR 架构要求将 PTP 用作主计时协议来为射频单元（Radio Unit，RU）提供计时服务（请参见 5G Changes Network Timing Architectures）。从运营商的角度来看，最大的问题是在哪里放置源主参考时间时钟（Primary Reference Time Clock，PRTC）。5G 传输网络没有像 4G 网络中的 BBU 那样的自然分界点。可通过部署 vPRTC 来解决这一难题，部署后，网络上的每个点都可以达到等效 PRTC 性能水平（100 ns）。

计时和同步是现代网络的关键功能，也是基本功能，网络运营商希望计时和同步具备可预测性和稳定性，同时也需要传输网络设计具备灵活性。下表对比了这些不同的要求。

表 1-1. 网络和计时要求对比

一般要求	同步网络要求
灵活的传输技术	确定性
灵活的接口速度	可恢复
灵活的交换机/路由器容量	可追溯到主参考源
灵活的网络协议	面向未来
灵活的调配	独立于传输层 独立于流量

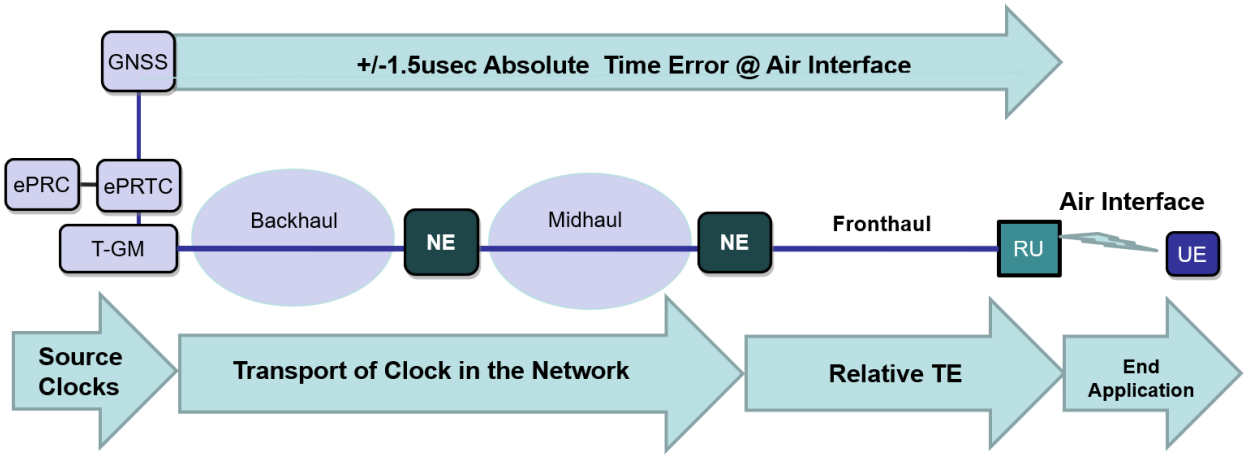
2. 最终应用要求驱动着同步架构不断改进

最终应用要求驱动着网络计时架构不断改进。现代移动网络要求相邻 RU 之间的频率和/或时间精准一致。传输网络和同步网络都必须经过精心设计，以保证这些计时参数的精确度。同步网络需要设计成能满足这些最严苛的要求，同时具备一定的灵活性，以满足日益提高的最终应用计时要求。

2.1 端到端时间误差

为了使网络上的无线电元件满足应用的时间或频率一致要求，网络必须将计时信号从源时钟传输到无线电设备。时间误差（Time Error，TE）是相对于通用（可溯源的）时间/时钟（通常是 UTC）的。LTE 和 5G 无线电的频率最大 TE 必须为± 50 ppb，相位协调最大 TE 必须为± 1.5µs。基本的端到端架构如下所示。

图 2-1. 基本网络计时架构



同步架构分为时间源、传输段和应用段。移动运营商面临的主要挑战是在规定的 TE 要求范围内将计时从源时钟传输到最终应用。

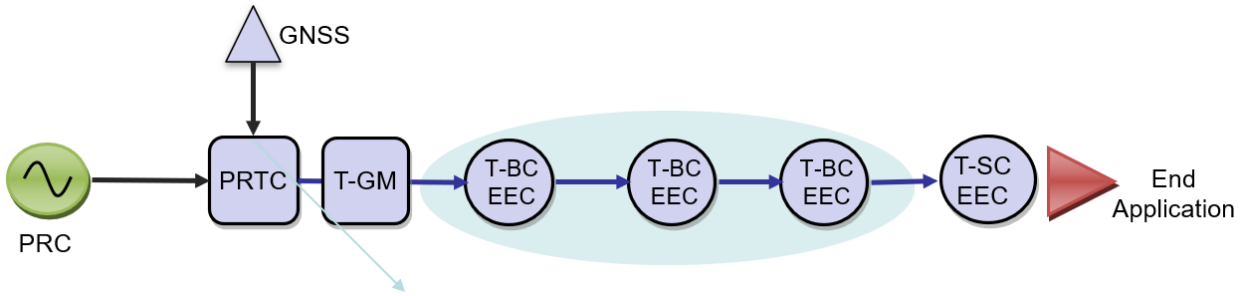
3. 相位同步

LTE 和 5G 网络在基站或 PTP（也称为 IEEE 1588）上使用 GNSS。

与 PTP Grandmaster 结合使用的主参考时间时钟（PRTC）支持到 PTP 客户端的 PTP 数据包双向通信，然后 PTP 客户端提取相位信息并使用它来同步无线电元件。

对于基于相位的 LTE-TDD/LTE-A 和 5G 服务，运营商可以选择 PTP 配置文件：G.8275.2 使用基于 IP 第 3 层的 UDP 单播模型。该协议在网络元件中不需要专用时钟硬件，G.8275.1 在 L2 传输层使用多播 PTP。这种逐跳模型需要使用 G.8273.2 时间边界时钟（Time Boundary Clock，T-BC）来控制 PTP 信号，并使用 G.8262.1 syncE（eEEC）PHY 来稳定每个传输节点上的元件振荡器。G.8275.1 架构如下所示。

图 3-1. G.8275.1 架构



3.1 时间边界时钟

时间边界时钟 T-BC 在提供对 G8275.1 PTP 计时服务的路径支持方面起着至关重要的作用。虽然 T-BC 功能通常被视为沿此路径的交换机和路由器中的嵌入式功能，但它也可以是独立的，这将在稍后讨论。

为了确保网络能够在要求的 TE 范围内传输 PTP，T-BC 必须满足严格的规范。这些规范在过去的十年中不断演变。

下表显示了从 A 类到 D 类的时间误差要求。

表 3-1. T-BC（G.8273.2）和 T-TSC（G.8273.3）的 cTe 规范

参数		A 类	B 类	C 类	D 类	高于 D 类	单位
maxITEI	未滤波	100	70	20 – 22	10		ns
$cTE+dTE_L$				15	10	5	ns
cTE		50	20	10	5	3	ns
dTE_L (MTIE)	临时恒定值最大为 1.000s	40	40	10	5	2	ns
	临时变量最大为 10.000s	40	40	FFS	5		ns
dTE_L (TDEV)	临时恒定值最大为 1.000s	4	4	2	1		ns
dTE_H	临时变量最大为 1.000s	70	70	20	10		ns

3.2 T-BC 变更带来的运营影响

运营商希望在网络服务设计方面拥有最大的灵活性，并希望拥有不受传输和协议变更影响的非常稳定的同步网络。T-BC 规范的不断变化需要传输元件中的硬件不断变化，这可能会带来高额成本和破坏性后果。

4. 虚拟主参考时间时钟（vPRTC）网络

G.8272 PRTC 源时钟与 PTP GM 功能结合，具备以下基本属性：

- GNSS 输入（捕捉相对于 UTC 的时间/相位信息）
- 使用 G.8275.1 或 G.8275.2 配置文件的 PTP 输出
- PTP 输出≤±100 ns 时的最大 TE（PRTC 也有 MTIE 和 TDEV 要求，请参见 ITU-T 建议书 G.8272。）

ITU 将 PRTC 时钟功能和 PTP GM 协议功能视为独立的组件。尽管许多 PRTC 单元被部署为独立时钟功能，但有时会使用 PRTC 术语来定义在集成单元中支持这两种功能的系统。

此外，这些功能组件可以是独立的，也可以集成到网络元件中。然而，由于 G.8272 定义的是功能而不是实现，因此满足端到端 G.8272 规范的网络可以被描述为基于网络的或“虚拟”PRTC。

可以将虚拟 PRTC 定义为满足以下要求的网络：

- 网络任意点的 PTP 输出相对于 UTC 的 PRTC-A 规范时间精度≤±100 ns
- 网络上任意点的 PTP 输出满足 G.8272 MTIE 模板要求
- 网络上任意点的 PTP 输出满足 G.8272 TDEV 模板要求
- 可在网络上的任意点提供 SyncE（eEEC）（可选）
- 可在网络上的任意位置提供任何 PTP 输出
- 可在网络上的任意位置提供 1 PPS 和当日时间（Time of Day，ToD）输出（可选）

为此，vPRTC 需要一组定义明确的时钟和传输组件：

网络组件

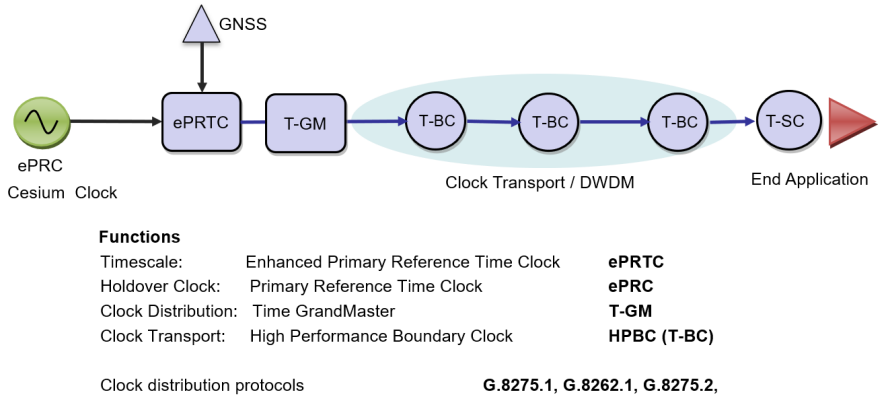
- 源时钟：
  - 用于频率保持的增强型主参考时钟（Enhanced Primary Reference Clock，ePRC）铯原子钟
  - 用于相位保持的增强型主参考时间时钟（Enhanced Primary Reference Time Clock，ePRTC）
  - B 类主参考时间时钟（Primary Reference Time Clock class B，PRTC-B）高性能源时钟
- 传输时钟：
  - D 类或更高类别的高性能光边界时钟（High-Performance Optical Boundary Clock，HPBC）

网络要求

- 首选传输类型 DWDM 纯波长（推荐）
- 直接在第 0 层传输（暗光纤）
- 使用任何适当的 PTP 配置文件
- 可以选择使用 SyncE

vPRTC 使用 G.8275.1 的 ITU 传输模型，如下所示：

图 4-1. vPRTC 为 ITU-T G.8275.1 模型



4.1 虚拟 PRTC 网络传输

为了满足 vPRTC 的严格时间传输要求，最佳的传输方式是采用 DWDM 光网络。将 PTP 流与更高层的传输和协议分开，可确保网络计时能够满足严格的端到端要求，并避免在 OTN、以太网或 MPLS 层上设计 PTP 时出现固有的复杂性和不确定性。它还增加了一个固有的安全层。在某些使用情形中，可以在 OTN 环境中为在计时中使用 C 类边界时钟的 vPRTC 设计有限的跳数。该实现的关键是 vPRTC 架构的 ePRTC 组件。

5. 光传输（DWDM）

密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing，DWDM）可将信号复用到单个光纤对上。80 多个不同波长可以共用一条光纤，同时保持数据流完全分隔。这使运营商可以在同一光纤/波长内添加多种服务。专用波长可以用于计时等服务。

与以太网（L2）一样，本地 DWDM 网络也受到不对称性的影响，这是由于信号的发送和接收分别使用独立的光纤、信号再生、O-E-O 交换以及波长之间的频率差异造成的。即使每个系统的局部影响很小，也会对相位传输产生显著的累积影响。对这些局部影响的最有效管理方式是在 DWDM 网络元件上使用诸如 T-BC 之类的控制机制。但是，当今的 DWDM 系统没有可与 L2/L3 交换机/路由器上的时钟相媲美的嵌入式时钟。

Microchip 通过 TimeProvider® 4100 高性能边界时钟（High-Performance Boundary Clock，HPBC）解决了这个问题。

5.1 TimeProvider 4100 高性能边界时钟（HPBC）

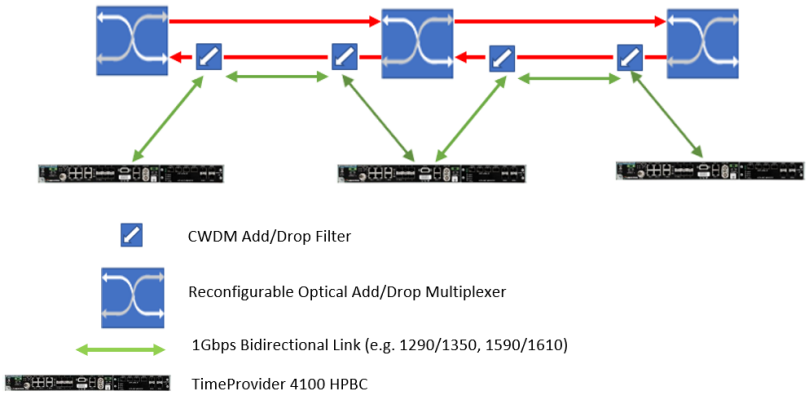
TimeProvider 4100 是一种复杂的网络时钟元件，能够以极高的精度传输时间，并且可以配置为不同的操作模式：ePRTC、PRTC-A、PRTC-B、网关时钟，以及设计用于光传输层的 HPBC。在 HPBC 或“边界时钟”模式下，它符合或优于上述 ITU-T G.8273.2 D 类规范。有关操作模式的更多信息，请参见 TimeProvider 4100 数据手册。

虽然 DWDM 上的 HPBC 可以起到类似作用，但它与以太网 T-BC 截然不同。后者是单向的，具有单时钟域和非常基本的去抖动功能。而 HPBC 是一种复杂的时钟元件，每个端口具有多个 PTP 输入和客户端以及双时钟域。通过全双向功能，系统可以同时接受来自不同方向（“东向”和“西向”）的 PTP 输入。HPBC 可监视输入时钟并选择最稳定、质量最高的输入。HPBC 还具备全局最佳主时钟算法（Best Master Clock Algorithm，BMCA）功能，可以根据需要在 PTP 输入之间快速切换。

5.2 在 DWDM 系统上部署

现代 DWDM 可重构光分插复用器（Reconfigurable Add/Drop Multiplexer，ROADM）系统可以利用分插滤波器在双向链路上建立逐跳信道，非常适用于精确的时间传输。在这种情况下，TimeProvider 4100 PTP 输出可以直接连接到 DWDM。此方法允许在网络的最基频层传输时间，提供独立于用户流量的非阻塞路径，避免 L2 或 L3 交换机中任何拥塞的影响，避免对上层网络或协议重排的计时的影响，并使计时网络与无关的 L1/L2/L3 设计或调配隔离开来。下图显示了一个 DWDM 传输互连示例。

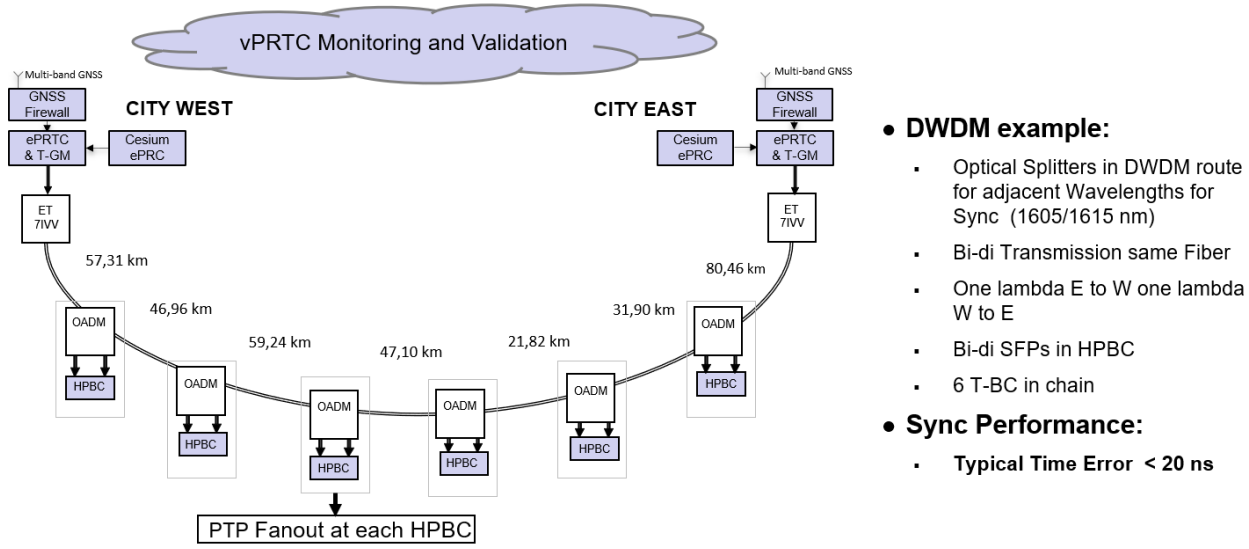
图 5-1. TimeProvider® 4100 HPBC DWDM 传输示例



6. 虚拟 PRTC 参考架构

下图所示的参考架构是几种 vPRTC 部署的典型架构。城市西部和城市东部代表了部署核心 ePRTC 时钟系统的“区域计时中心”。这些系统包括兼容 ePRC 的铯原子钟，以及经过 GNSS 防火墙验证的对 TimeProvider ePRTC 系统的输入，从而为运营商网络建立恢复能力较高的自主时间标度。TimeProvider 4100 HPBC 功能桥接了光分插复用器（Optical Add/Drop Multiplexer，OADM）传输元件，可在传输网络上维持<±5 ns 的 PTP BC D 类逐跳时间传输。整个端到端 vPRTC 精确时间分配网络由 TimePictra®管理系统持续监视和验证。这种类型的网络中，从源时钟（例如城市西部）到时钟输出的典型时间传输误差在任何节点上都小于 20 ns。

图 6-1. TimeProvider® 4100 HPBC 测试台（345 km 的专用双向波长）



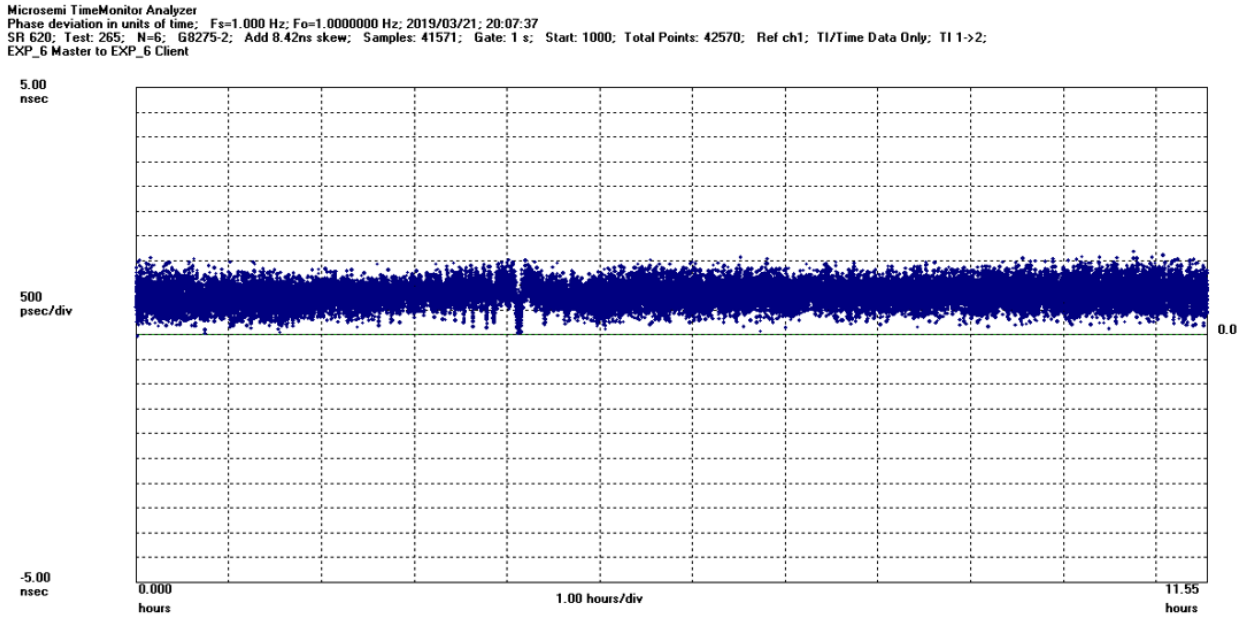
6.1 性能结果

上图总结了概念验证试验结果。实际的时间误差结果远低于目标值。HPBC 的时间误差小于±3 ns。这远低于±5 ns 的 BC D 类标称值。下面显示了其他的实验室测试结果，展示了单独的 HPBC 测量和多跳场景。

下图显示了测试网络上系统的典型性能。

- 测得的 MAX|TE| = 1.7 ns
- 观察到的 TE 在标称 D 类范围（±5ns）内

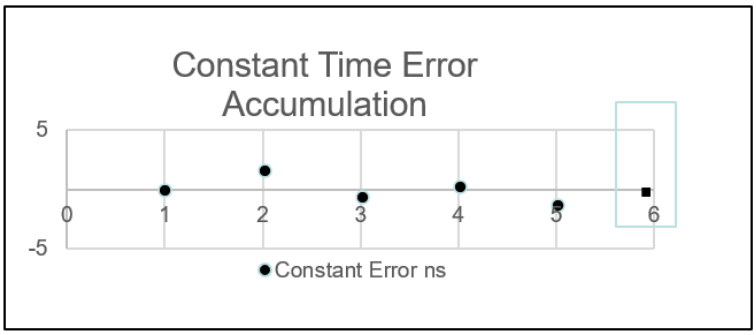
图 6-2. 专用波长上的 85 km PTP（具有 cTE 补偿）



下图显示了测试网络上 6 个 HPBC 的累积 cTE。可以看出，TimeProvider 4100 HPBC 表现出了卓越的准确性和精度，能够很好地控制整个网络中的恒定时间误差。

- 恒定时间误差（constant time error，cTE）无明显增长
- 动态噪声累积（dTE）呈适度增长
- 在 5 个节点上保持 D 类性能

图 6-3. 测试网络上 344.5 km 和 6 个交换机的累积 cTE



6.2 vPRTC 和运营商要求

对照上述运营商要求评估 vPRTC 非常重要。

表 6-1. 运营商要求与 vPRTC 的比较

运营商要求	vPRTC 架构优势
独立性	ePRTC 功能使用核心位置上的铯原子钟来建立自主时间标度，这些位置已使用 GNSS 校准为 UTC，但可以独立于 GNSS 运行。 网络架构可以在不改变计时和同步架构的情况下不断发展。
安全性和可靠性	利用专用波长使得攻击或欺骗 PTP 流变得极为困难。HPBC 会立即检测到协议层的任何异常。 双向计时流是提供冗余的一种选择，适用于环形和线性环形拓扑。 使用 Microchip 的 BlueSky™ GNSS 防火墙解决方案可以监视和保护系统免受潜在的 GNSS 欺骗或计时异常的影响，从而进一步保护核心 ePRTC 站点。 有关 BlueSky GNSS 防火墙的更多信息，请参见 Microchip Synchronization and Timing Systems。
监视功能和可见性	整个系统使用 Microchip TimePictra®端到端同步管理系统进行监视和管理。
可靠性/连续性	计时设计在最基本层（光 DWDM）进行，因此当网络上层/协议不断发展，并且必须改变或重新设计时，它也无需不断改变。
可预测性和确定性	计时可追溯到源时钟和 UTC。公认的可预测延迟，不受任何其他层或网络功能变化的影响。
可扩展性	计时随着光网络的扩展而稳定发展。
灵活性	使用任意 PTP 配置文件，SyncE 可选。
弹性	为电信、电力、金融、数据中心和智慧城市等提供 100 ns 内的任何精度级别的计时。

6.3 vPRTC 与 PTN 的比较

比较基于以太网的 PTN 和 vPRTC 也很有趣。

表 6-2. L2 PTN 与具有 HPBC 的 vPRTC 的比较

参数	L2 PTN	具有 HPBC 的 vPRTC
PTP 配置文件	G.8275.1	G.8275.1 和 G.8275.2
eEEC（G.8262.1）	必需	可选
T-BC（cTE）	C 类（±10）	<D 及更高类（±3 ns）
计时流	单向	双向
去抖动	基本	精密去抖动和时钟选择
管理	无	紧密集成的同步网络管理
BC 监视	无/基本	丰富的板上监视
传输	L2	独立传输层
PTP 流	带内，与用户流量一起	带外，独立于用户流量
实现	嵌入在交换机中	在任何 DWDM 上独立运行
棕地	否	是：新的或传统 DWDM
冗余	基本 A-BMCA	全局（增强）A-BMCA

7. 总结

随着网络逐步发展到高级智能 5G 服务的下一阶段，对网络边缘计时精度的要求将越来越高。运营商将要求计时网络具备长期稳定性和可预测性，同时确保在服务层的设计过程中实现低成本、高灵活性和强适应性。

虚拟主参考时间时钟是一种全新的概念，采用高度安全且受保护的基于网络的计时架构，旨在满足现代关键基础设施不断增长的需求。请与您的 Microchip 代表联系，详细了解我们的解决方案如何助力运营商构建 vPRTC 网络，以无与伦比的稳定性、安全性和可靠性提供超高精度计时服务。

8. 版本历史

版本	日期	部分	说明
A	2020 年 8 月		初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站（www.microchip.com/）为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（ESE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc.及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc.的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。

Microchip“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc.在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc.的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN： 978-1-5224-7803-4

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务网点

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话：480-792-7200 传真：480-792-7277 技术支持： www.microchip.com/support 网址： www.microchip.com **亚特兰大** 德卢斯，佐治亚州 电话：678-957-9614 传真：678-957-1455 **奥斯汀，德克萨斯州** 电话：512-257-3370 **波士顿** 韦斯特伯鲁，马萨诸塞州 电话：774-760-0087 传真：774-760-0088 **芝加哥** 艾塔斯卡，伊利诺伊州 电话：630-285-0071 传真：630-285-0075 **达拉斯** 阿迪森，德克萨斯州 电话：972-818-7423 传真：972-818-2924 **底特律** 诺维，密歇根州 电话：248-848-4000 **休斯顿，德克萨斯州** 电话：281-894-5983 **印第安纳波利斯** 诺布尔斯维尔，印第安纳州 电话：317-773-8323 传真：317-773-5453 电话：317-536-2380 **洛杉矶** 米慎维荷，加利福尼亚州 电话：949-462-9523 传真：949-462-9608 电话：951-273-7800 **罗利，北卡罗来纳州** 电话：919-844-7510 **纽约，纽约州** 电话：631-435-6000 **圣何塞，加利福尼亚州** 电话：408-735-9110 电话：408-436-4270 **加拿大 - 多伦多** 电话：905-695-1980 传真：905-695-2078	**澳大利亚 - 悉尼** 电话：61-2-9868-6733 **中国 - 北京** 电话：86-10-8569-7000 **中国 - 成都** 电话：86-28-8665-5511 **中国 - 重庆** 电话：86-23-8980-9588 **中国 - 东莞** 电话：86-769-8702-9880 **中国 - 广州** 电话：86-20-8755-8029 **中国 - 杭州** 电话：86-571-8792-8115 **中国 - 香港特别行政区** 电话：852-2943-5100 **中国 - 南京** 电话：86-25-8473-2460 **中国 - 青岛** 电话：86-532-8502-7355 **中国 - 上海** 电话：86-21-3326-8000 **中国 - 沈阳** 电话：86-24-2334-2829 **中国 - 深圳** 电话：86-755-8864-2200 **中国 - 苏州** 电话：86-186-6233-1526 **中国 - 武汉** 电话：86-27-5980-5300 **中国 - 西安** 电话：86-29-8833-7252 **中国 - 厦门** 电话：86-592-2388138 **中国 - 珠海** 电话：86-756-3210040	**印度 - 班加罗尔** 电话：91-80-3090-4444 **印度 - 新德里** 电话：91-11-4160-8631 **印度 - 浦那** 电话：91-20-4121-0141 **日本 - 大阪** 电话：81-6-6152-7160 **日本 - 东京** 电话：81-3-6880-3770 **韩国 - 大邱** 电话：82-53-744-4301 **韩国 - 首尔** 电话：82-2-554-7200 **马来西亚 - 吉隆坡** 电话：60-3-7651-7906 **马来西亚 - 槟榔屿** 电话：60-4-227-8870 **菲律宾 - 马尼拉** 电话：63-2-634-9065 **新加坡** 电话：65-6334-8870 **台湾地区 - 新竹** 电话：886-3-577-8366 **台湾地区 - 高雄** 电话：886-7-213-7830 **台湾地区 - 台北** 电话：886-2-2508-8600 **泰国 - 曼谷** 电话：66-2-694-1351 **越南 - 胡志明市** 电话：84-28-5448-2100	**奥地利 - 韦尔斯** 电话：43-7242-2244-39 传真：43-7242-2244-393 **丹麦 - 哥本哈根** 电话：45-4485-5910 传真：45-4485-2829 **芬兰 - 埃斯波** 电话：358-9-4520-820 **法国 - 巴黎** 电话：33-1-69-53-63-20 传真：33-1-69-30-90-79 **德国 - 加兴** 电话：49-8931-9700 **德国 - 哈恩** 电话：49-2129-3766400 **德国 - 海尔布隆** 电话：49-7131-72400 **德国 - 卡尔斯鲁厄** 电话：49-721-625370 **德国 - 慕尼黑** 电话：49-89-627-144-0 传真：49-89-627-144-44 **德国 - 罗森海姆** 电话：49-8031-354-560 **以色列 - 若那那市** 电话：972-9-744-7705 **意大利 - 米兰** 电话：39-0331-742611 传真：39-0331-466781 **意大利 - 帕多瓦** 电话：39-049-7625286 **荷兰 - 德卢内市** 电话：31-416-690399 传真：31-416-690340 **挪威 - 特隆赫姆** 电话：47-72884388 **波兰 - 华沙** 电话：48-22-3325737 **罗马尼亚 - 布加勒斯特** 电话：40-21-407-87-50 **西班牙 - 马德里** 电话：34-91-708-08-90 传真：34-91-708-08-91 **瑞典 - 哥德堡** 电话：46-31-704-60-40 **瑞典 - 斯德哥尔摩** 电话：46-8-5090-4654 **英国 - 沃金厄姆** 电话：44-118-921-5800 传真：44-118-921-5820