

使用增强型主参考时钟（ePRTC）标准，通过精确时间架构应对 5G 弹性挑战

Microchip Technology Inc.

新兴产品频率和时间系统主管

Eric Colard

移动运营商需要为其 5G 网络提供高精度时间和相位保护，但是当依赖全球导航卫星系统（GNSS）时很难做到这一点，因为全球导航卫星系统很容易因人为干扰、欺骗或自然现象而导致长时间无法使用。增强型主参考时钟（ePRTC）为移动网络运营商提供一种令人高枕无忧的解决方案：即保持功能，它拥有解决问题所需的精度、可靠性和性能。要成功部署 ePRTC，需要了解构建可靠、弹性的精确时间架构所需的关键要素，包括最符合网络运营商要求的时钟和其他相关系统。

保持 5G 正常运行

设想一下：移动网络速度很快，支持快速下载视频，并且提供的密集 5G 服务能够满足多地客户的要求。突然，一切都中断了。移动服务关闭，客户指责移动运营商，运营商声誉受损，导致用户流失。GNSS 中断期间很容易发生这种情况。

负责国家关键基础设施的移动运营商和团队一直在考虑采用各种方法来提供 GNSS 备份或者总体减少对 GNSS 技术的依赖。即使在最近的 3G 或 4G 移动网络中，流行的无线电技术也主要采用基于频率的同步策略。这项技术为业内所熟知，已广泛部署并且效果卓著。随着 5G 的到来，必须有非常严格的时间和相位精度才能最大程度地利用移动运营商所投资的珍贵频谱。避免数据冲突和频率干扰至关重要，与此同时，还需要最大程度地缩小防护频带的范围，以增强和更有效地利用其频谱。此时，凭借精确的计时便可实现此目的。

这种精度级别所需的时间源主要通过 GNSS 提供。不过，随着 5G 网络的密集化，将不再考虑这种选项。无线电台或基站中缺少 GNSS 接收器时，需要无线电台或基站迅速停止运行，以避免由于无线电台或基站中缺少高质量保持振荡器而出现干扰问题。这种技术考虑可使基站计时减少对 GPS 的依赖，并逐步迁移到精确时间协议（PTP）架构。移动运营商需要最大程度地减少使用 GPS 的站点，同时保留极具弹性的精确时间架构，以确保 GNSS 中断期间客户服务的连续性。

ePRTC 标准是应对这一挑战的理想选择。它是 ITU-T（ITU 电信标准化部门）为提高时间精度而定义的主参考时钟（PRTC）的几个版本之一。PRTC A 类可以满足相对于协调世界时（UTC）的 100 ns（纳秒）精度要求。PRTC B 类更精确，精度达 40 ns。增强型 PRTC 具有符合 ITU-T G.8272.1 定义的 30 ns 最高精度。

ePRTC 的独特设计使其具有最大弹性，能够使用铯钟作为参考时钟保持 14 天或更长时间，同时在整个长时间中断期内与 UTC 的最大偏差维持在 100 ns。这将成为 5G 移动

运营商部署 ePRTC 的关键优势。如果 GPS 关闭，整个网络范围内的服务交付都将保持无缝切换。这样可确保所需时间来修复 GPS 中断或在 GPS 长时间不可用的情况下保持运行。

时钟与配件的重要性

ePRTC 不能单独运行。高质量 ePRTC 的核心原理是通过产生独立自主的时标来产生时间。时标将提供时间、相位和频率，随着时间的推移，这几个参数会根据 GNSS 信号进行调节和校准。高质量 ePRTC 引擎使用获得专利的测量算法来评估和测量其相对于 GNSS 的自主时标偏移。

ePRTC 系统的方法可为自主的主时间源设置时标，而铯原子钟和 GNSS 可帮助保持 ePRTC 时标的准确性。

因此，在理想情况下，应将 ePRTC 连接到 GPS 时钟和原子钟（铯原子钟通常用于最大程度地提高弹性，因此建议使用两个铯原子钟）。ePRTC 不是仅仅锁定到一个原子钟，而是在适当加权的时标集合中主动无缝锁定到两个时钟。例如，如果一个原子钟的性能下降，则 ePRTC 将平稳地降低其权重，以避免影响传出时间和频率服务。

要强调的一点是，高质量 ePRTC 需要通过适当的智能化来实现集合和自主时标功能，同时还要善于与高质量原子钟“耦合”。对于保持功能尤其如此。最高质量的铯原子钟将为 ePRTC 系统本身提供最佳的保持性能。

设置和调试要求

成功构建优化的时标系统包括成功构建铯原子钟和 ePRTC 系统，需要格外小心地进行设置和调试。ITU 标准规定了需要执行的调试验证，包括：

- ePRTC 已完全锁定到传入的参考时间信号，并且未在预热过程中运行
- 参考路径中没有故障或设备错误，包括但不限于天线故障
- 环境条件处于设备规定的工作限值内。
- 设备的固定偏移经过适当的调试和校准，例如天线电缆长度、电缆放大器和接收器延时以及参考时间信号（例如，GNSS 信号在相关运营机构确定的限值内运行）。
- 如果参考时间信号是通过 GNSS 等无线电系统运行的，则必须将多路反射和来自其他本地发射的干扰（例如人为干扰）尽可能减小到可接受的水平。
- 没有极端的传播异常，例如严重的雷暴或太阳耀斑。
- 根据原子钟，时间参考为 GNSS，频率参考为 1 pps/10 MHz。常见的错误是将 GNSS 的时间和频率设置为最高优先级，这会使原子钟成为经典备用角色，从而无法发挥 ePRTC 的运行优势。

在考虑了这些调试要求后，选择 ePRTC 解决方案的下一步是系统验证和测试。

验证和测试

测试和验证分为 3 个主要阶段：

1. 21 天“学习”期
2. 14 天“保持”期
3. 7 天“恢复”期

21 天的学习期有助于以超高精度确定 ePRTC 时标的 UTC 校准校正参数和本地铯原子钟的频率偏移估值。GNSS 子系统报告本地时标相对于 UTC 的一组连续时间误差测量结果，以便可以缓慢地调整本地时标速率。这段为期三周的学习期（第一阶段）有助于验证 ePRTC 是否确实符合 ITU-T 的时间精度规范。

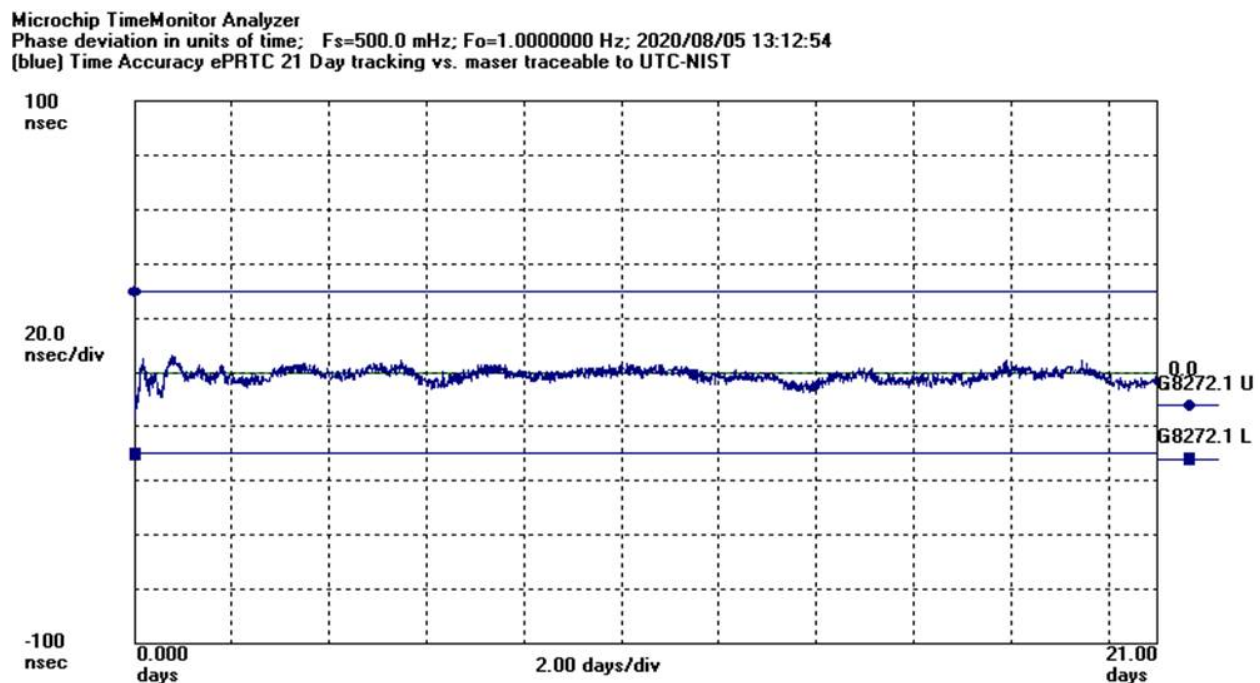


图 1. 21 天后显示符合 ITU-T G.8272.1 时间精度标准

在 14 天的保持期内，GNSS 信号断开，ePRTC 必须验证其是否可以在 14 天的保持期内保持 100 ns。铯原子钟越出色，此测试的性能就越高。

如图 2 所示，经过测试的 ePRTC 在几乎整个中断期内都将时间误差性能限制保持在 100 ns 标准内，并维持了 25 ns 的时钟类。使用高性能铯原子钟可提供比标准要求高四倍的保持性能。

Microchip TimeMonitor Analyzer
Time Accuracy ePRTC 14 Day Holdover (plus 1 day recovery)
vs maser traceable to UTC-NIST

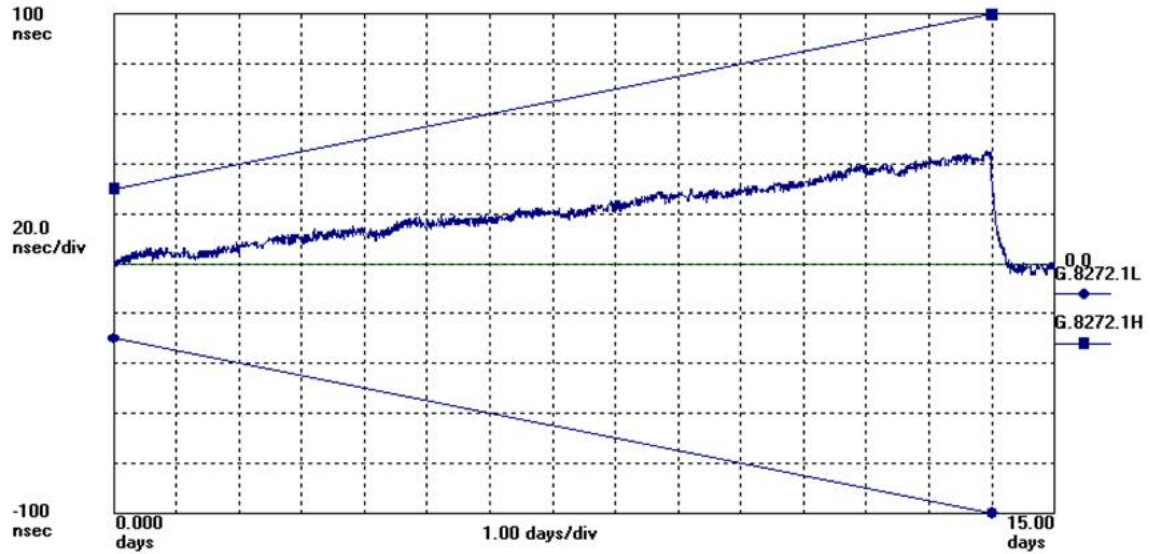


图 2. 在 Microchip 的 [TimeProvider 4100](#) 的 ePRTC 测试过程中，经过 14 天的中断期（+1 天的恢复期）后，时间误差完全处于 100 ns 要求（42 ns）之内。重新连接 GNSS 时返回零

恢复期是为了验证将 GNSS 重新连接到 ePRTC 单元时，一切是否恢复正常。目标是验证能否成功重新收敛和重新建立 100% 的正常时标保护操作，如图 3 所示。

Microchip TimeMonitor Analyzer
TDEV; Fo=1.000 Hz; Fs=500.0 mHz; Cl=0.683; FPM; 2020/08/05 15:42:37
ePRTC post-holdover tracking vs. maser traceable to UTC-NIST

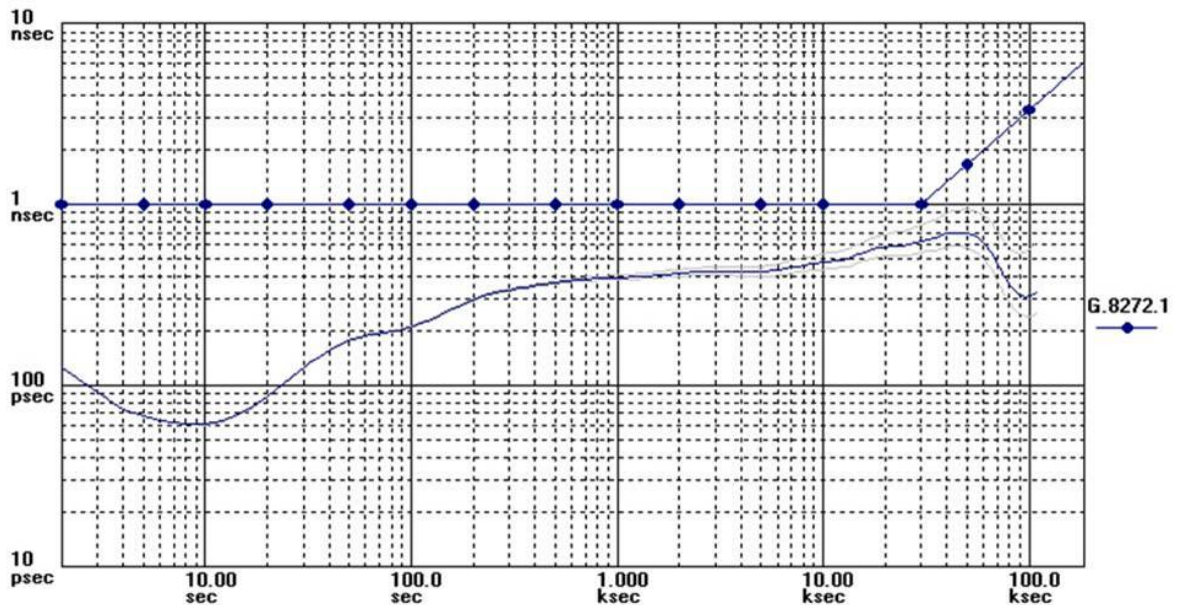


图 3. 与 G.8272.1 标准相比，后保持期与主 UTC-NIST 参考的时间偏差（TDEV）
—— 显示 7 天后保持期的结果

保持“油表”的重要性

“油表”特别有用，因为它可以帮助移动运营商充分了解 ePRTC 保持功能能够保持 100 ns 精度（相对于 UTC）的时间。标准要求的 14 天。

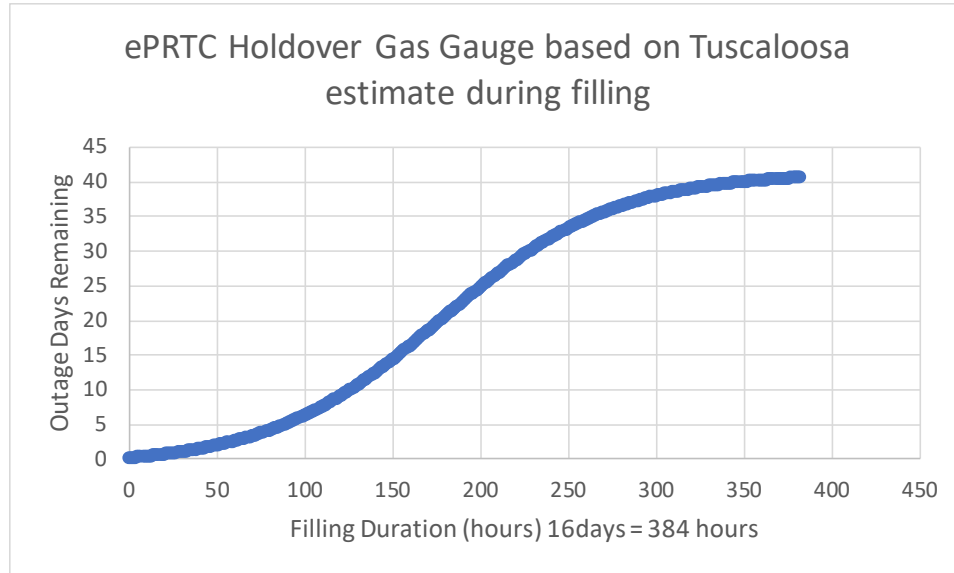


图4. 保持“油表”（拉出GNSS天线之前）的时间估值为40天（远优于要求的14天）

ePRTC 标准满足 5G 对保证交付一致、高精度的相位和时间的要求。它实现此功能的难易程度取决于是否作为完整解决方案的一部分正确部署，包括已充分验证、测试和调试的正确时钟和相关系统。