

本文档概述了IEEE 802.1AS (gPTP) 如何提供作为时间敏感网络 (TSN) 基础的高精度同步, TSN网络中各设备类型的精度要求, 测试和开发汽车 gPTP 将面临哪些挑战, 如何测试TSN网络中各设备类型的同步精度, 以及用于验证TSN设备同步性能的最佳测试解决方案。

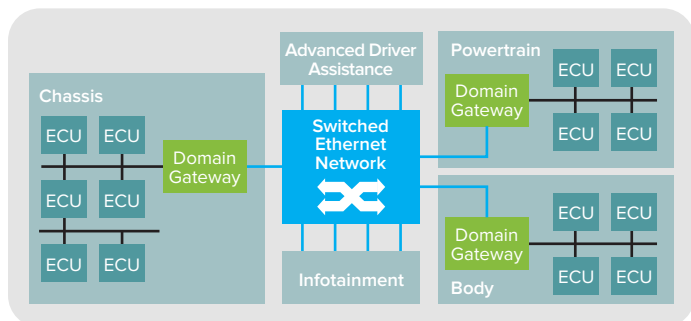
gPTP: 汽车TSN网络

同步性能测试



IEEE 802.1 – TSN和同步

汽车系统涵盖了广泛的应用,如音频视频、运动传感、停车辅助以及在某些情况下的自动驾驶,这些系统虽然在特定的网络需求方面有所不同,但都具有分布式实时数据传输的共同需求。为了实现潜在的新功能,并提供一种可处理当前和未来数据需求的解决方案,再加上由交换多路复用网络拓扑提供的减轻重量和简化连接带来的好处,明确的趋势是分别从CAN和MOST的点-to-点和环拓扑转移,到一个完整的车内以太网网络。



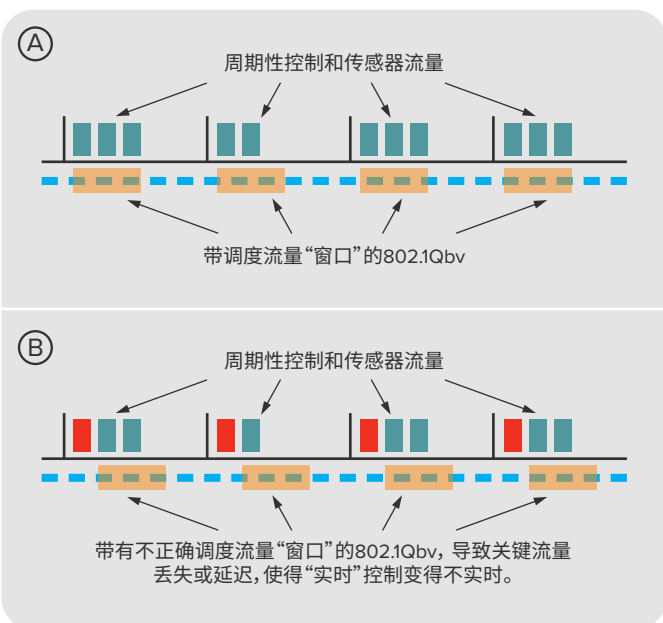
为了使以太网能够满足分布式实时系统的特殊需求,这些系统在汽车应用中越来越重要。IEEE 802.1 TSN (Time-Sensitive Networking) 任务组致力于开发802.1协议族,以便为以太网网络提供一个“工具箱”,从而使面向某个特定应用的部署可以使用已有的功能来满足该特定需求。

虽然基于端部应用的细节可能千差万别,但是一般的共识认为网络实施必须提供以下功能:

- 高精度的同步
- 确定性的延迟
- 受控的带宽

从信息娱乐到自动驾驶辅助,最终实现自动驾驶,许多车内应用都需要同步。参与这些应用的设备在整个系统中的时间校准应优于 1 μ s。

不仅如此,许多802.1标准所定义的用于提供所需的网络特性时, (例如, 802.1Qbv通过时间感知型的流量调度来保证服务质量), 依然要依赖于贯穿整个以太网网络而提供的精确定时来保证性能。时间误差对时间感知型调度所带来的影响如下图所示。时间传送方面的错误将显示出其他TSN特性的性能劣化或失效。



gPTP (IEEE 802.1AS) 介绍

在整个汽车以太网网络中时间同步对于同步终端应用程序以及启用时间敏感的网络功能(如改善网络延迟确定性的调度)至关重要(注:通过网络和设备保证的同步级别越高,潜在的最终性能就越好——对于安全关键型应用尤其重要)。

在全球范围内, GPS常常被用来为通信网络提供时间同步。然而, GPS 的安装需要外部天线, 并且要求卫星清晰可见(该条件在高楼林立的区域往往难以获得), 另外, 如果某个工业环境内的端部要求是将时间分布式地发送到几十或几百个节点, 那该方案的成本无疑是难以接受的昂贵。

作为一个替代办法(同时依然保持高精度), 通过以太网网络来传送时间信息可以使用PTP (Precision Time Protocol, 精确时间协议, 由IEEE1588-2008定义)。另外, 1588协议允许针对某个特定需求开发面向应用的协议子集(profiles), 因此也就开发产生了针对音频, 视频桥接应用的IEEE 802.1AS gPTP (通用PTP) 协议子集, 并进一步发展为称之为802.1AS-2020的TSN工作组。

什么是 PTP?

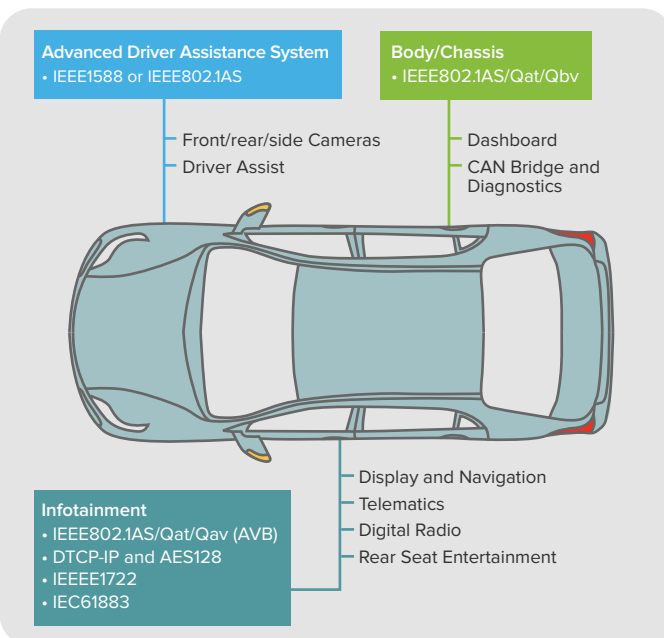
PTP是基于报文消息的时间传输协议, 用于在数据报文网络中传送时间(相位)和/或频率。它使得网络中的各种节点能够精确地同步到参考时钟(Master主时钟), 从而网络可以根据不同的网络应用达到某个特定的性能门限指标。

PTP定时消息被携带在报文净荷中。一个报文通过PTP感知型设备的入口或出口的精确时间被时间戳记录下来。评估由这些设备所引入的时间误差, 对于决定网络拓扑, 设备的适用性, 以及评估网络定时的合规性是至关重要的。

为什么选择 gPTP?

工业网络的一个特殊优势在于其快速“启动”能力, 在同步的语境中, 这意味着它可以在几秒钟之内锁定并进行精确定时。为了满足扩充性和成本方面的要求, 必须要求能够使用现成的含有低成本晶振的NIC网卡。

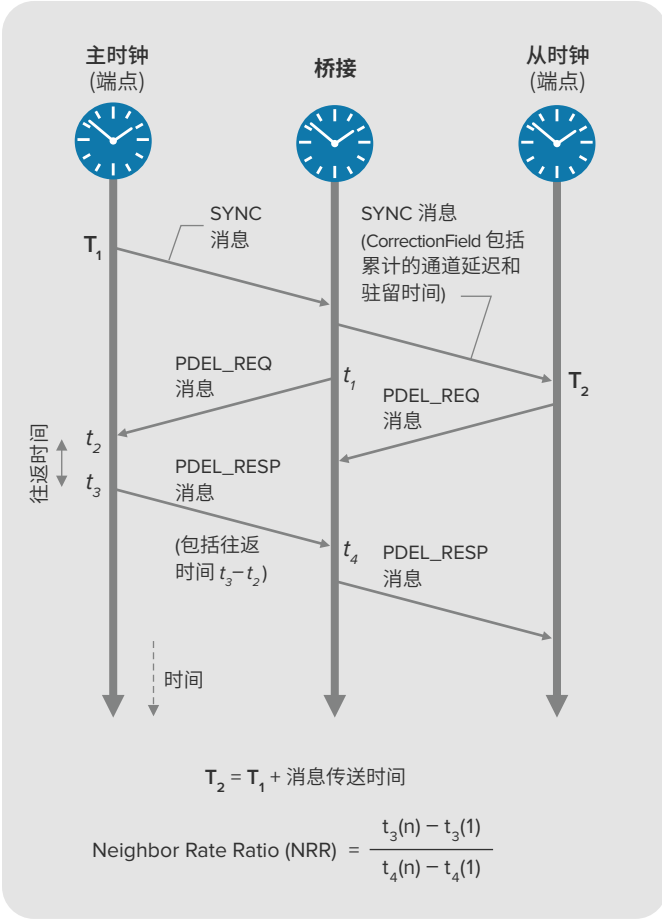
为了促进实现这个目标, gPTP系统使用逻辑同步(频率对齐)技术, 而不是使用其他PTP系统中的物理同步技术。这一点, 再加上对通道和设备延迟的实时测量, 使得网络中的桥接节点和端部节点可以快速实现时间对齐(同步)。



PTP如何工作？

gPTP通过标有时间戳的报文消息交换,在主时钟与多个桥接设备和端点设备之间进行时间通信。带有时间戳的报文消息是SYNC, PEER_DELAY_REQ 和PEER_DELAY_RESP, 如下所示。

与其他PTP实现方式的明显区别在于, gPTP还使用时间戳消息计算频偏,并在运行过程中进行调整。如本章稍后将要提到的, ANNOUNCE消息也被使用。(注:“两步法” 操作允许使用follow-up消息来携带更高精度的时间戳,但是为了简化,此处不提及。)



Peer Delay消息产生四个时间戳 (t1, t2, t3 和 t4), 针对发起端到响应端的消息 (以及反向路径), 从中可以计算出往返时间,并最终得到路径延迟。

桥接设备计算它们自身的内部延迟,并将该值加到计算得到的路径延迟上,然后将Sync消息的CorrectionField字段中的值进行增加并传送。这使得链路上的每一个节点都可以通过考察主时钟端的SYNC消息所经历的延迟来计算时间。

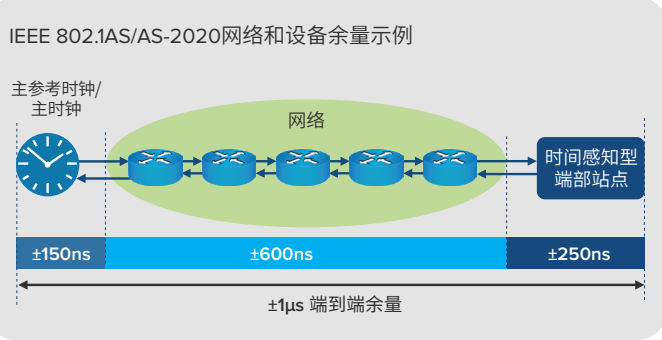
802.1AS还给出了通过Peer Delay消息来实时评估与主时钟的频偏的方法。Peer节点计算邻居频偏变化率 (与Peer节点的频偏), 并使用这个值来调整ANNOUNCE消息的CumulativeScaledRateOffset (CSRO)字段, 以便反映累积的频偏。该信息然后用于调整频偏,这对于精确的同步性能是至关重要的。

考察和验证 gPTP 性能

所需的网络和设备性能是怎样的? 如前所述, gPTP试图在整个时间感知型网络内提供一个最大偏差 $\pm 1\mu\text{s}$ 的时间信号。

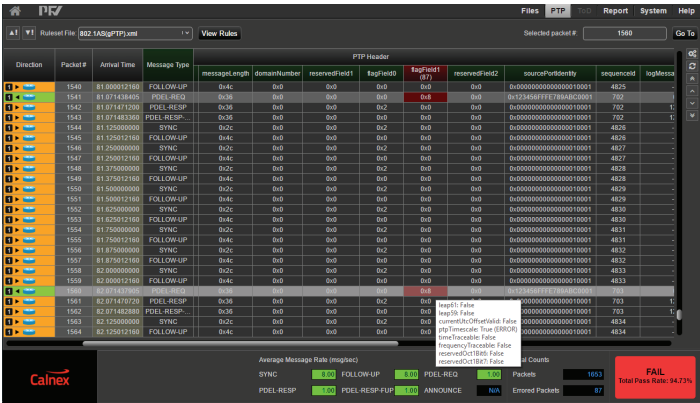
如下的示例给出了该指标是如何被分解,以获得主时钟端点设备,时间感知型桥接设备,以及从时钟端点设备等设备指标的。

依赖于网络端部节点之间的网络跳数的不同,桥接性能限值会因应用的不同和部署的不同而变化。如图所示,5跳链路会给出每个设备120ns ($\pm 600\text{ns}/5$)的设备限值。更好的定时性能可以获得更大的网络和/或TSN技术的更高效操作。



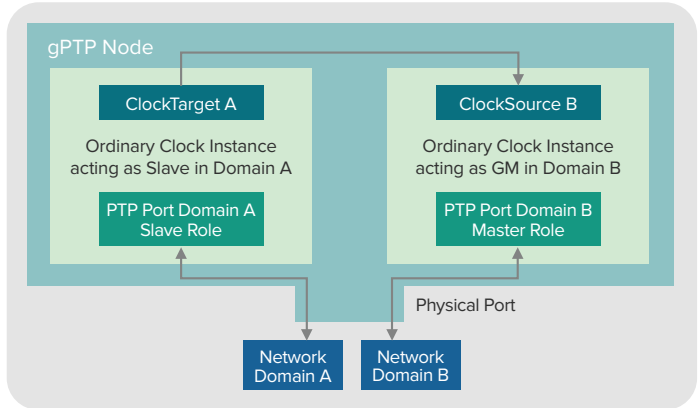
gPTP协议的互操作

在部署强健的PTP网络过程中往往容易被忽视的是确保所有的设备正确地一致地使用同样的PTP协议子集(profile)。这对于汽车环境尤其重要,其中在同一台网络设备上有可能部署了802.1AS-2011 和 802.1AS-2020,以及甚至其他的PTP协议子集。初始的“获准”测试和评估应该包括对PTP消息字段的验证。



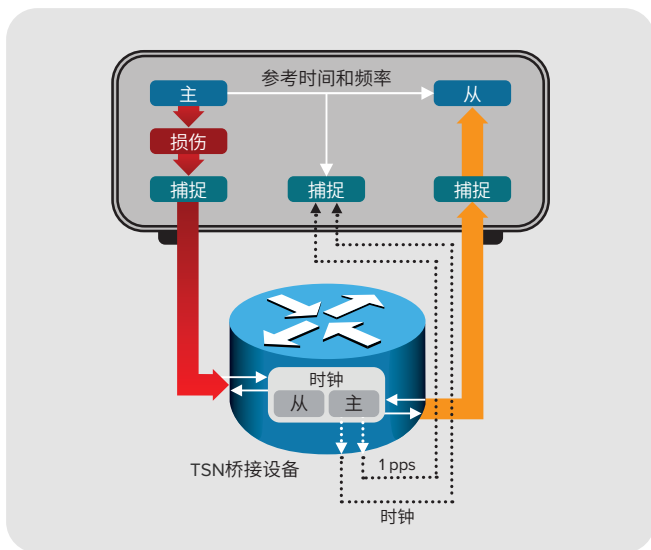
无1PPS输出的End-Station设备同步性能验证 — Reverse Sync方法

对于没有1PPS输出的End-station端节点设备,但我们仍然需要关注其同步性能,从而保证TSN业务的运行。Avnu在其文档中定义了Reverse Sync的测试方式,Paragon-X支持Reverse Sync的测试方式。



为了验证网络设备的PTP性能:

1. 必须显示设备能够正确连接到并参与到一个PTP会话中。因此, 建议使用能够产生并控制消息交换的测试设备, 以避免对诸如互操作性问题的掩盖 (而这是使用商业网络设备用于测试目的时常常出现的问题)。
2. “稳定状态”下的定时精度要么直接通过PTP消息来进行测量, 要么通过外部定时输出 (如果有的话) 来进行测量。重要的是, 测试设备对性能的验证, 其测量精度应该比被测设备性能指标高出一个数量级 (注: 这应该覆盖整个激励信号以及测试设置, 所有这些必须是时间对齐的, 例如要确保时间可追溯性)。
3. 对某些负面条件下的响应 (协议错误, 定时偏差) 也应该被测试和测量, 例如, 最坏条件下的性能。要使用长期的缓慢的定时偏差, 以及短期的定时跳变对设备的强健性进行检查。再次强调, 这不应该影响同时正在进行的定时精度测量。



测试覆盖误差的所有因素

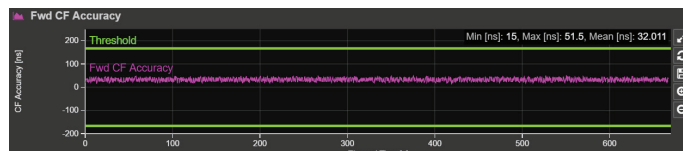
全面测试导致误差的因素

被测设备如果被检测到产生了不可接受的时间误差, 能够进一步分析可用数据至关重要。以时间感知桥设备 (Time-Aware Bridge) 为例, 如果时间误差不能满足要求的性能指标, 其导致误差的因素就如之前提到的:

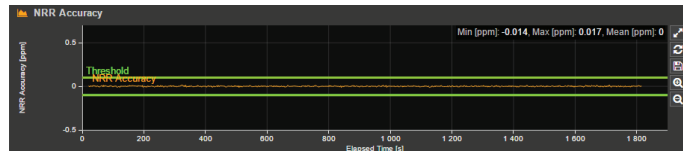
- 设备本身驻留时间计算 — Residence Time
- 设备本身处理时间的精度 — CF Accuracy
- 邻居频偏率 (NRR) 计算 — NRR精度
- 路径延迟计算 — 路径时延

因此, 强烈建议测试解决方案应该能够提供所有这些因素的实时同步分析, 还应具备压力测试所需的激励源。

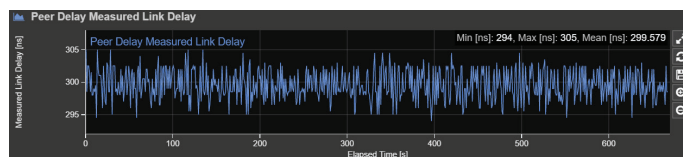
时间误差



NRR精度



路径时延



软件对定时性能的影响

虽然该话题已超出本文档所讨论的范围, 但是它依然值得考虑, 即在一个网络内的时间误差预算, 应该有多少要分配给基于硬件的实施, 又该有多少应该分配给基于软件的实施。

备注: 工业TSN网络也使用IEEE 802.1AS/AS-2020 PTP协议子集, 工业TSN网络有类似的要求和测试方法, 也可参考此文档。

相关产品



Calnex 工业/汽车版 Paragon-X

- 专注于gPTP一体化测试方案
- 支持1G到10G的端口速率
- 主时钟从时钟仿真, 实现完全可控的协议和定时测试
- 802.1AS/AS-2020自动协议配置
- 针对所有的gPTP定时指标和参数完整的定时分析
- 报告产生功能 — 验证性能
- 高测试精度



Calnex Paragon-neo

- 专注于gPTP一体化测试方案
- 支持1G到100G的端口速率
- 主时钟从时钟仿真, 实现完全可控的协议和定时测试
- 802.1AS/AS-2020自动协议配置
- 针对所有的gPTP定时指标和参数完整的定时分析
- 报告产生功能 — 验证性能
- 优于1ns的超高测试精度



Calnex PFV

- PTP字段检查器 — 以简便易用的表格方式, 解码和显示多个PTP字段
- 检查所传输的PTP消息是否符合 IEEE, IEC, ITU-T以及用户自定义的标准和规则
- 同时分析所有字段, 提供独立的Pass/Fail指示, 以及生成报告

联系Calnex Solutions:
电话: +86 400-100-4460
电邮: info@calnexsol.com

calnexsol.cn

© Calnex Solutions, 2023.
CX7005 v3.0



关注Calnex公众号
获取更多信息

