

基于 GPS 技术实现分布式数据同步采集系统

作者：詹永麟

职务：软件开发

公司：上海巨一科技有限公司

应用领域： 桥梁健康监测

使用的产品：

Labview 7.1

NI-SYNC 时钟同步开发包

PXI 1045 机箱

PXI 8187 主控制器

PXI 6652 同步时钟模块

PXI 6602 计时器

PXI 4472B 动态信号采集卡，

挑战： 构建大型分布式数据同步采集系统，该系统分布在近 30 公里长的东海大桥上，范围较广，同时大桥处于外海，并担负着连接市区与深水港枢纽的重任，因此需要对桥梁健康状况进行实时监控，而监测数据的正确性对于桥梁的评估和研究显得尤为重要。

应用方案： 使用 GPS PPS 时钟同步技术，对分布在桥体各个位置的采集机站进行采样时钟同步，每个采集机站都采用 NI 公司的 PXI 工控机箱以及相关的板卡与 GPS 时钟同步信号接收器相连。在此硬件基础上，通过 NI 公司 LABVIEW 平台以及相关软件开发包来设计开发整个同步采集系统。

介绍：

采集系统自身的环境限制导致设备的分散性，保证各个采集设备之间数据的同步性，使之分析出来的结果更具有研究和实用价值，并在一个可控的成本下实现，是摆在设计者面前的难题。相对于其他 2 种技术方案：基于短距离低成本的机箱同步技术和基于长距离高成本的卫星同步技术。GPS PPS 是一种集二者优点于一身的时钟同步技术。不仅能获得和高成本技术相同的效果，并且还能节约大量成本。

正文：

一. 分布式实时采集系统概述

东海大桥由于身处外海海域，不仅需要经受海水腐蚀、地震台风自然灾害、还有各种通行工具对桥梁结构造成缓慢的损害。对桥梁进行实时监控，为了及时获知桥梁的健康状况，对各种突发事件做出响应，以及进行必要的养护工作，延长桥梁的使用寿命。监测数据还能进行进一步研究分析，对桥梁的基础研究具有非常大的帮助。

为什么要使用时钟同步技术？由于桥梁属于较为特殊的结构，构造范围很广，监测点分散在各地，很多监测项目又具有实时性的特点，例如地震、台风、交通事故等等，对于各部位监测数据需要非常准确的时间同步，一般的数据采集技术难以达到监测要求，如果不采用时钟同步技术，极有可能造成各个监测点采集数据时间上的微小误差，不仅造成监测结果的不准确，还严重影响了对桥梁健康的研究分析。而通过 GPS 时钟同步技术完全可以避免这

些问题。

二. GPS PPS 技术和其他时钟同步技术介绍与比较



图 1 桥梁健康监测系统的预警监测图

如图 1 所示，整个采集系统分散在桥梁的各个部位。桥梁按照区域划分为若干区段，在主要几个区段中安置着信号采集基站，各个采集基站之间相距几公里甚至十几公里，每组采集基站均和 GPS 同步时钟接受器相连，GPS PPS 接收器接受 GPS 时钟同步信号，做相应的处理得到时钟同步信号和绝对时间戳并发送给 PXI 采集设备，采集设备接收处理后的 GPS 同步信号，达到同步整个分布式采集系统。

这里说的时钟同步有 2 方面含义：

- 数据采样频率的同步，包括采样时钟信号的脉冲同步以及相位同步。
- 时间轴上的同步，即采样点时间标签的同步。

只有 2 方面都达到同步，才能称为真正的同步采集。

目前除了 GPS PPS 时钟同步技术方案外，主要还有其他 2 种时钟同步技术方案：

1. 机箱直连时钟同步技术：

主要采用了 PXI 6653 时钟同步模块的时钟频率共享技术，每个采集设备中都装有 PXI 6653 时钟同步模块，然后用同轴电缆把各个采集设备的 6653 模块相连，以其中一个模块作为主模块，其余的作为从模块；主模块内部的时钟信号通过同轴电缆同步从模块内部的时钟信号，PXI 4472B 都用次信号作为采样时钟。时间戳同步可以采用网络时间服务器。

2. GPS IRIG-B 时钟同步技术：

该技术与 GPS PPS 技术极为相似，都是通过 GPS 接收器接收 GPS 同步信号，做相应的处理并发送给采集设备做采集同步，和 GPS PPS 所不同的是 IRIG-B 时钟同步信号中含有绝对时间，需要由 PXI 6608 来接收该信号，并将其解析为可用的时间戳。

3. 三种时钟同步技术的比较:

1) 适用性

机箱同步技术由于电缆的局限性,距离过长会导致信号衰减,很难做到公里级数的时钟同步采集,所以在本系统中无法适用。而 GPS PPS 和 GPS IRIG-B 技术都采用卫星来作为同步时钟信号传输的载体,可以做到无地域限制的同步采集,符合本系统的同步需求。

2) 准确性

机箱同步技术采用主从时钟模块同步的方式,以一个时钟模块的内部时钟作为其余时钟模块的参考时钟,虽然理论上同步的准确性可以保证,但是由于信号通过电缆作为载体发送,长时间运行后,电缆的自身老化以及外部的突发事件是否会对信号的造成干扰,不得而知。而其它 2 种 GPS 技术,在时钟信号的传输上都采用卫星无线发送,极少会受到信号干扰,唯一需要担心的是信号接收天线的维护。

3) 成本对比

机箱同步技术由于无需额外的 GPS 信号接收设备,所以成本最低。GPS IRIG-B 技术不仅需要额外采用相对昂贵的 PXI 6608, 还须包括 GPS IRIG-B 信号接收器的成本。而 GPS PPS 可以把 PXI 6608 换成便宜的 PXI 6602, PXI 6653 换成 PXI 6652, 并且 GPS PPS 信号接收器的成本远低于 GPS IRIG-B。

三. GPS PPS 时钟同步技术的系统组成

该系统主要由 GPS 接收器和 NI PXI 采集设备 2 大部分组成。结构如图 2:

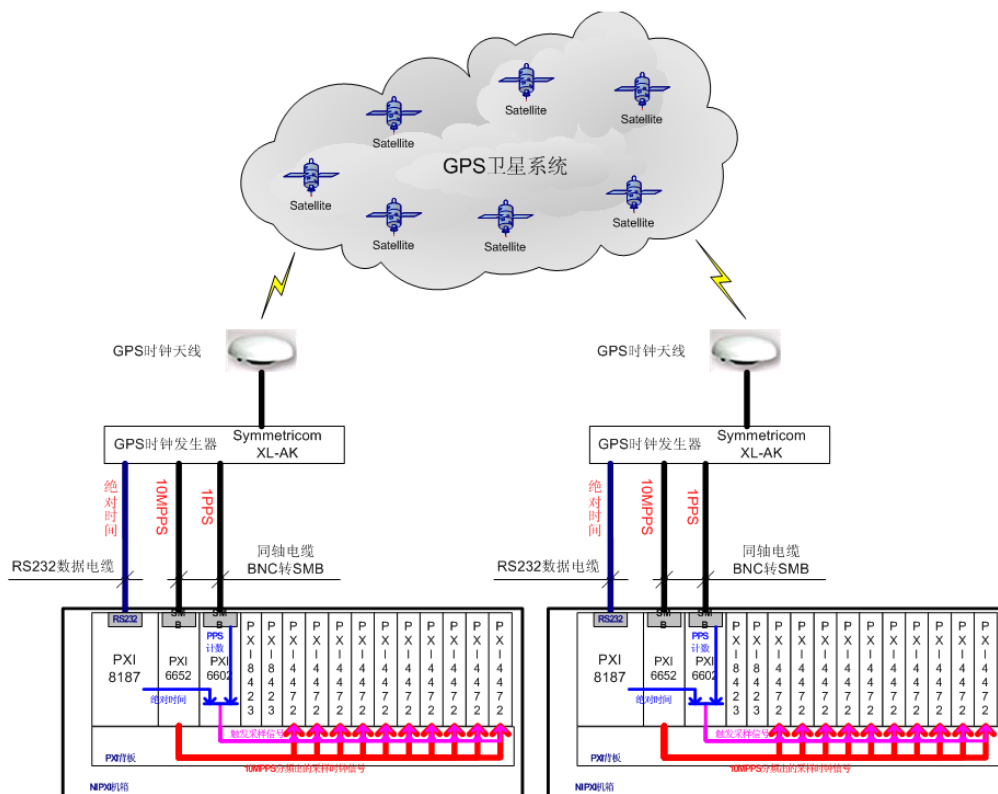


图 2 GPS PPS 时钟同步系统组成图

1. GPS 接收器系统组成

GPS 同步时钟接收器的输入端连接着一个 GPS 信号接受天线，接受来自 GPS 卫星发送的时钟信号，输出端分为 3 部分：

- 10M PPS (**Pulse Per Second**) 信号：用于同步采集系统，作为采集系统的采样基频。此信号不包含任何的时间信息，仅仅为简单的脉冲信号，脉冲间隔为 10 纳秒。
- 1 PPS (**Pulse Per Second**) 信号：用于采集系统触发采集使用，此信号同上，仅仅为简单的脉冲信号，脉冲间隔为 1 秒。
- 绝对时间 (GMT) 信号：用于替代采集系统自身的时间标签，此信号采用 NEMA 标准。

对于 PPS (**Pulse Per Second**) 信号，如图所示，它是一个很简单的，不包含任何时间信息（年或月之类）的脉冲信号，以 1 PPS 为例，每秒发生 1 次脉冲，每个脉冲的宽度通常为 100 毫秒，PPS 信号是一种较为简单的同步技术，但其效果却不亚于任何复杂的同步时钟信号。

绝对时间信号，该信号采用 NEMA 标准，表现形式为 GMT 时间，以字符串方式显示，例如“06.001.....”，其中第一部分为年份，第二部分为年中天数，第三部分为一天的具体时间，精确到秒级。



图 3 GPS PPS 信号接收器硬件组成图

2. PXI 采集设备系统组成

PXI 采集设备采用 NI PXI 1045 18 槽机箱，NI PXI 8187 主控制器为主，采集卡为 NI PXI 6652、6602、4472B，其中：

- PXI 6652 时钟同步模块采用 NI 提供的 SMB（类似 BNC 同轴电缆的接口）接口于 GPS 接收器的 10M PPS 输出端相连，接收 10M PPS 时钟信号，并且将此时钟信号进行分频，把分频后的时钟信号提供到 PXI 机箱背板，提供给高速同步采集卡 PXI 4472B 作为采样时钟频率。
- PXI 6602 计数器采用接线端子板与 GPS 接收器的 1 PPS 输出端相连，需要同时接入 2 个输入端口，都接收 1 PPS 信号，第一个输入端收到信号后，按 1 PPS 频率进行计数，并设定采集时间，当达到采集的起始时间，PXI 6602 提供触发信号，触发 PXI 4472B 开始采集；第二个输入端的 1 PPS 频率脉冲为 4472B 提供相位同步触发脉冲。
- PXI 8187 控制器的标准 232 串口与 GPS 接收器的绝对时间输出端相连，接收 GPS 接收器提供的绝对时间信息，并计算每个采样点的时间间隔 + 触发开始的绝对时间来获取该采样点的绝对时间标签。

需要注意的是，PXI 6652 采集卡必须插在机箱的第二个槽位，即主控制器相邻的槽位，否则时钟同步无效。

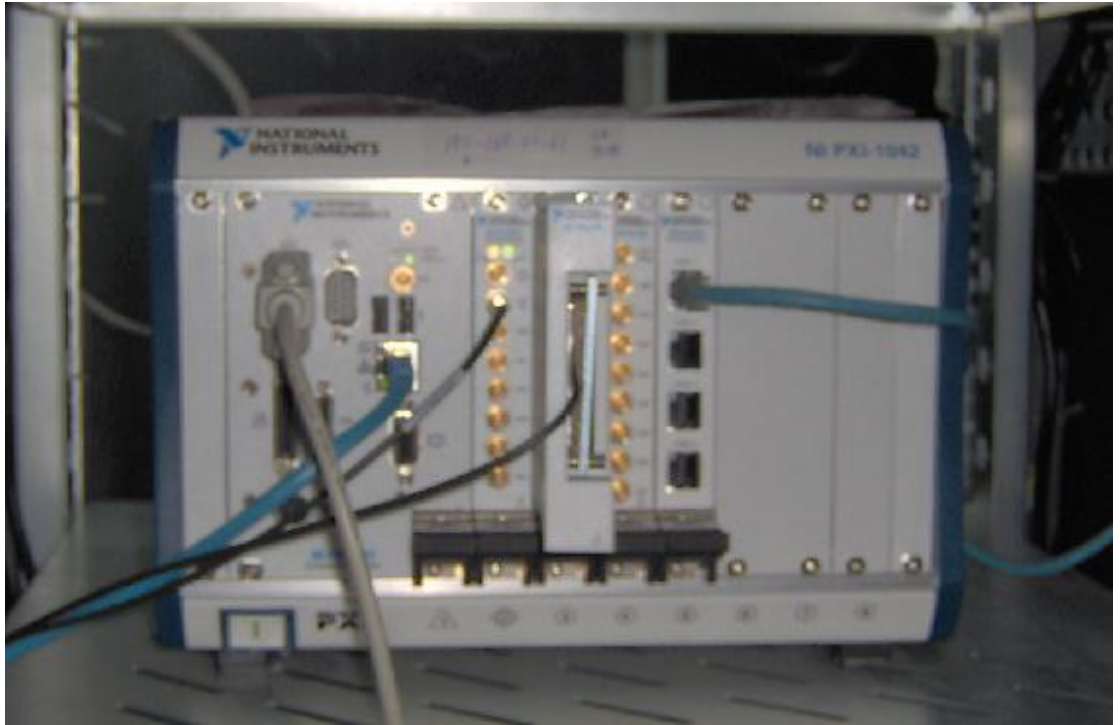


图 4 PXI 工控机箱硬件组成图

四. 系统的设计与实现

该系统的软件开发是以 Labview 7.1 为平台,并配以 NI-SYNC 开发工具包。采用 PXI 1045 18 槽机箱, PXI 8187 主控制器, PXI 6652 时钟同步模块, PXI 6602 计数器模块, PXI 4472B 动态信号采集卡等作为硬件基础。开发人员则通过 NI-SYNC 开发工具包以及 Labview DAQmx 采集模块对相关硬件进行开发。

1. 获取 GPS 时钟同步信号

首先通过 NI-SYNC 开发工具包提供的编程模块对 PXI 6652 进行相应配置。开启 6652 的 PLL 锁相环以及 PLL 频率,设置 10M PPS 信号的输入端获取同步时钟信号,对时钟信号分频,将分频后时钟信号发布到机箱背板的 PXI_STAR 信号线上进行时钟频率脉冲同步,并将 PXI_Trig2 触发线(源)连接到 PXI_Trig5 触发线上,以同步频率时钟为触发频率进行相位同步的设置。

2. 配置 6602 计数器模块

通过 Labview DAQmx 模块对 PXI 6602 进行配置,首先设置 6602 的第 2 个 1 PPS 输入端将信号发送给 PXI_Trig2 给 4472B 的相位同步做准备,然后设置 6602 的第 1 个 1 PPS 输入端将信号发送给 PXI_Trig0 作为 4472B 触发采集信号,最后根据定时触发采样的时间戳,设置 6602 倒计时的初始数值,倒计时开启触发采样。

3. 触发 4472B 动态信号采集卡

通过 Labview DAQmx 模块,将 PXI_STAR 信号线作为 4472B 的采样时钟频率源的时钟频率,将 PXI_Trig5 信号线作为相位同步源;并设置 PXI_TRIG0 信号通过 6602 的计时触发信号开启 4472B 的采集工作。

如图 3 所示,完成所有设置,并开启采集任务后,按照预定的采集时间,采集设备自动同步开始采集。经检验,采样数据无论从采样时钟同步还是相位同步都达到了预期的要求。

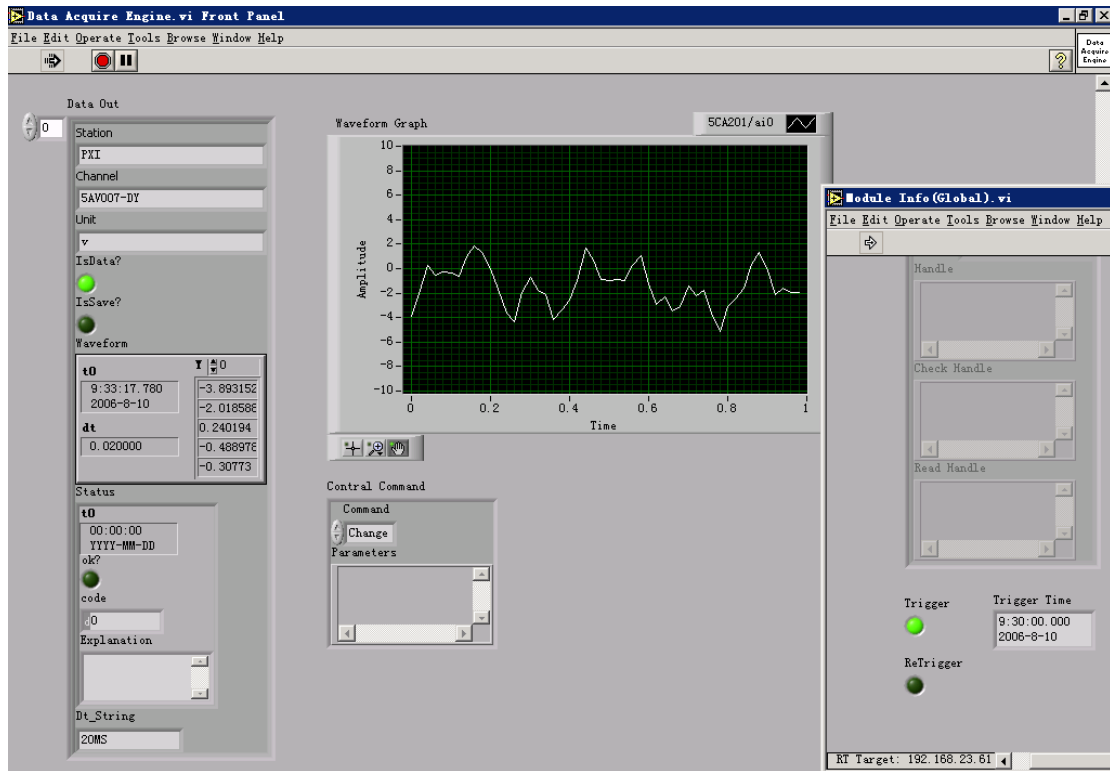


图 5 GPS 时钟同步采集系统测试界面

五. 总结与展望

本系统采用了目前技术领先的 GPS PPS 时钟同步技术，以及 NI 模块化数据采集设备。通过对现有的采集同步技术进行一系列对比，从适用性、准确性、成本等多方面考虑，GPS PPS 时钟同步技术具有相当的优势，并倚靠 Labview 强大的开发平台进行设计，成功的完成了整个采集系统设计，达到了最初的设计功能指标，节约了大量的人力物力成本。

GPS 同步技术经过多年的发展以及大量应用，现在已经有了比较成熟的开发方案，与现有的 NI 采集系统相结合开发，对于大型分布式采集系统，有着得天独厚的优势，不仅打破了原有时钟同步技术的地域局限，并且在完成相同功能的情况下，降低了 GPS 技术的开发成本。该系统目前已经全部开发完成并投入了正式的运行，对东海大桥的健康安全起着至关重要的作用，得到了业主以及相关桥梁研究人员的肯定；除了桥梁健康监测以外，其他一些大型结构项目的健康监测也完全适用于该系统，应用前景非常广阔。