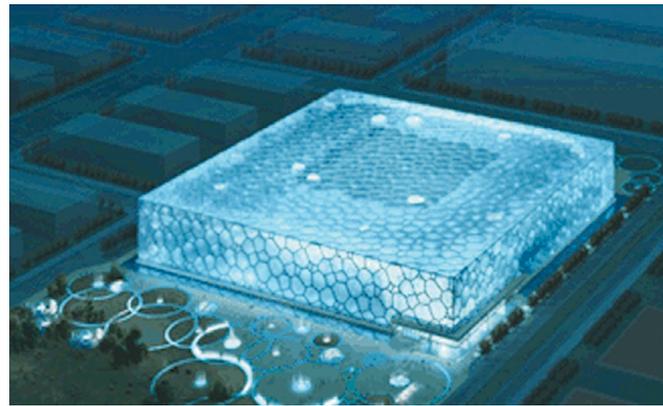


结构监测与控制解决方案



目 录

1. 结构健康监测

大桥健康监测

- 基于 GPS 技术实现分布式数据同步采集系统 2
- 使用 LabVIEW Real-Time 来监测 Rion-Antirion 大桥结构的健康状况 5
- 基于 cRIO 的远程数据采集终端 7
- 基于 PXI 和 SCXI 的多传感器桥梁远程监测系统 9
- 应用 NI 技术快速构建土木工程在线监测系统解决方案 11

体育馆与建筑物监测

- 鸟巢和水立方采用 LabVIEW 和 CompactRIO 平台搭建结构监测系统 14
- 梅亚查体育场使用 CompactRIO 平台搭建先进的结构监测系统 16

雕塑与地标建筑监测

- LabVIEW 用于监测欧洲最高的中世纪钟楼 18
- 借助 LabVIEW 和 PXI 为拉姆西斯二世雕像重新定址 20

隧道与测井监测

- LabVIEW 精确测量欧洲英吉利海峡隧道基础设施的状况 22
- 基于 NI 数采模块的测井数据采集控制系统设计 23

堤坝与码头监测

- 基于 LabVIEW 的数字化大坝监测管理系统 26

管道与线缆监测

- 部署 LabVIEW 以监测北海奥曼—兰格天然气田的管线 29
- 基于虚拟仪器的原油管道泄漏监测系统 31
- 高温超导电缆监测系统的构建 34

地震监测

- 基于 LabVIEW 和 PXI 技术的核电站数字地震监测系统 38
- Northrhine-Westphalia 的地质调查局使用 DIAdem 记录地震 41

其他 NI 便携式与分布式监测系统

- 便携式实时振动监测系统 43
- 若干技术在设备远程故障诊断中的应用 44

2. 结构控制与运动控制

- 海沃德贝克公司使用 NI LabVIEW，可编程自动化控制器修复遭受卡特琳娜飓风破坏的堤坝 47
- 基于 PAC 的核能发电厂的维护和监测控制系统 48
- Schlumberger 使用 NI FieldPoint 硬件设备和 LabVIEW 实时软件来设计可靠的定制控制系统 49
- CERN 采用 LabVIEW 软件及 PXI 硬件控制世界上最大的粒子加速器 51
- 基于 CompactRIO 的无人驾驶旋翼飞行器 52
- 基于 LabVIEW 的四自由度机械臂运动控制系统设计 54
- 基于 LabVIEW 和 Fuzzy Logic ToolKit 的模糊控制位置纠偏系统设计 57
- 研究人员基于 NI CompactRIO 平台开发并控制无人水下探测车 59
- 基于 NI LabVIEW 和 Compact FieldPoint 的水底爬行器 60

基于 GPS 技术实现分布式数据同步采集系统

詹永麟 - 上海巨一科技有限公司

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。

产品：

数据采集 模块化仪器
PXI/CompactPCI 声音与振动

“GPS PPS 时钟同步技术在适用性、准确性、成本等方面具有相当优势，并依靠 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，节约了大量的人力物力成本。”

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。

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

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 同步时钟接收器相连，GPS PPS 接收器接受 GPS 时钟同步信号，做

解决方案

使用 GPS PPS 时钟同步技术，对分布在桥体各个位置的采集基站进行采样时钟同步，每个采集基站都采用 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。



图 1 桥梁健康监测系统的预警监测图

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：

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

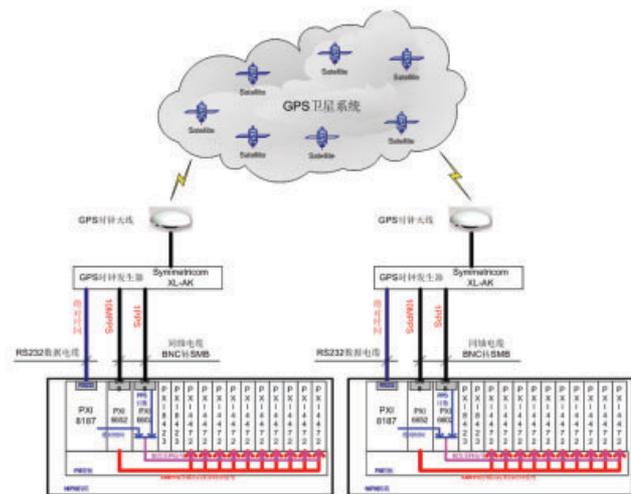


图2 GPS PPS 时钟同步系统组成图

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，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_Ttrig5 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。

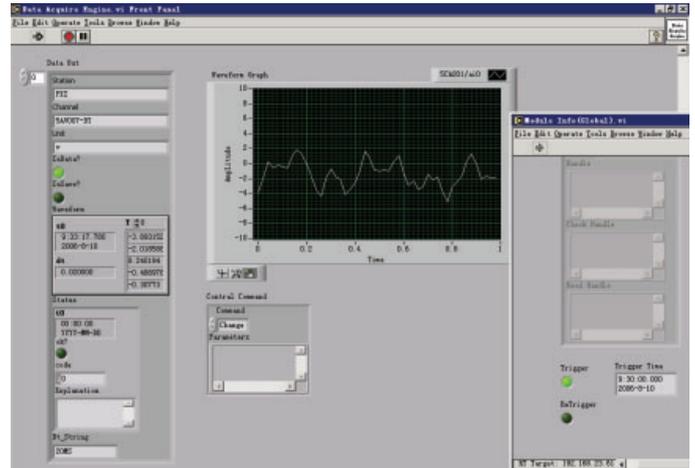


图5 GPS 时钟同步采集系统测试界面

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，并依靠 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。

使用 LabVIEW Real-Time 来监测 Rion-Antirion 大桥结构的健康状况

作者: Bernard Basile - Advitam, Inc.

挑战

开发出结构监测系统，测量和确定 Rion-Antirion 大桥在正常工作下、大风作用下和地震情况时的状态。

产品

PXI/CompactPCI

“这个系统功能完整，用户非常满意。它还启发了我们在法国的 Millau 高架桥上使用相似的监测系统。我们将不断优化该系统，并且在不久的将来，为其它监测系统提供个性化的版本。”

Advitam 是 Vinci Construction 的附属公司，我们发展资产管理、土木工程和结构监测服务，重点在于意外检测和风险分析方法。凭



Advitam 公司利用虚拟仪器来监测 Rion-Antirion 大桥的完整性，该大桥有 10,000 英尺长且容易遭受恶劣环境的损害。

借这一独特经验，Advitam 公司负责了 Rion-Antirion 大桥结构监测系统的设计和实现，Rion-Antirion 大桥横跨科林斯海峡，并将希腊南部的波罗奔尼撒与希腊大陆连在一起。这座大桥长 2883 米 (9458 英尺)，暴露在频繁而猛烈的侧向风力下。它还坐落在地震活动频繁的地区，是不同大陆板块的末端，这导致了大桥每年 2 厘米的相对运动。

我们的挑战是设计能够在如此恶劣环境中工作的监测系统，同时提供可靠、连续的数据流以记录测量结果和能够影响大桥结构完整性的事件。

解决方案

使用 4 个 PXI/SCXI 机箱和美国国家仪器公司的 LabVIEW Real-Time 软件，集成调理、采集、处理、控制、存储和测量数据的共享等功能。

实现

该项目在大桥落成前三年就开始启动了，我们首先进行了风险分析，确定大桥上需要进行监测的关键部件。Advitam 公司确定了所需的传感器及其在大桥上摆放的位置。其中包括：

- 在桥面、桥基、斜拉索和地面上的 3 维加速度计，来确定风的运动和地震的震动
- 斜拉索和角撑板上的应力计和压力传感器
- 伸缩缝上的位移传感器来测量塔基的热膨胀
- 在桥基上的水位传感器来检测渗漏
- 在桥面上的温度传感器来检测冰冻情况
- 在斜拉索上的线性可变微分传感器 (LVDT) 来测量位移
- 在发生地震时，对固定装置进行重新校准的压力传感器
- 测量风的强度、方向和测量空气温度、相对湿度的两个气象站

加上电源和照明控制，所需的系统共需要 372 个测量通道。同时，还需要采集并同时动态处理多路信号，用于长时间监测，同时具有友好的用户界面和设计良好的输出报告。考虑到大量的输入通道和恶劣的操作环境，我们选择了 NI 公司的 PXI/SCXI 机箱来装载 NI LabVIEW Real-Time 软件完成任务。最终的系统可以完成如下的工作，并具有高度的可靠性：

- 信号调理
- 数据采集
- 数据处理
- 程序控制
- 数据存储
- 数据传输

大桥的四个桥基上都装有一个 NI PXI-1010 机箱 (拥有 8 个 PXI 插槽和 4 个 SCXI 插槽)，里面装有 NI PXI-8175 控制器、连接到传感器上的 SCXI 信号调理模块、采集数据的 NI PXI-6040E 模块和用于集成从气象站获得的数据的 NI PXI-8423/2 模块。NI LabVIEW Real-Time 软件在每个 PXI 控制器上运行，进行测量的采集和定标，将其与固定或可变的阈值进行比较，并在必要时触发警报。四个系统通过光纤以太网络连接到操作间的控制 PC 机上。

每个PXI设备不断采集数据，并创建历史文件，将其定时发送到控制PC机上。当阈值超过限定时，每个机箱上进行实时记录的选择性采集单元将会启动。我们还加入了预触发机制，确定并记录在报警前瞬间发生的事件。

控制PC机上的界面为用户提供了不同的窗口，包括显示了测量点的大桥概况图。这些点通常被显示成绿色，但是当阈值超过特定的限制时会变为红色。界面还包含了自动和专家分析功能。我们可以通过调试解调器远程访问计算机，来获取信息或重新定义监测参数。

这个系统功能完整，用户非常满意。它还启发了我们在法国的Millau高架桥上使用相似的监测系统。我们将不断优化系统，在不久的将来，我们将为其它监测系统提供个性化的版本。

需要了解更多信息，请联系：

Bernard Basile

Advitam

1 bis, rue du Petit Clamart

BP 102

78143 Velizy Cedex

France

Tel: +33 1 01 46 01 85 00

E-mail: bbasile@advitam-group.com

在美国境内，请联系：

John Stieb, P.E.

Advitam, Inc.

44880 Falcon Place

Sterling, VA, 20166

USA

Tel: (703) 437 7177

E-mail: jstieb@advitam-group.com

www.advitam-group.com

相关案例分析参见 ni.com/china：

鸟巢和水立方采用LabVIEW和CompactRIO平台搭建结构监测系统

使用LabVIEW Real-Time 实现复杂控制系统

使用LabVIEW Real-Time 和FieldPoint 进行环境室监测和控制

使用LabVIEW 和SCXI 来开发汽车过桥测试系统

Performing Structural Health Monitoring of the 2008 Olympic Venues Using NI LabVIEW and CompactRIO

Using LabVIEW Real-Time to Implement Complex Control Systems

Performing Environment Chamber Monitoring and Control with LabVIEW Real-Time and FieldPoint

Using LabVIEW and SCXI to Develop a Vehicle Bridge-Crossing Test System

基于 cRIO 的远程数据采集终端

彭泓 - 上海聚星仪器有限公司

挑战

利用先进的自动化测试测量技术构建分布式的远程数据采集终端，对大桥的各类环境数据、静/动态响应等信号进行精确的同步采集，为整个大桥健康监控系统提供最底层的数据支持。

产品：

数据采集	分布式 I/O
cRIO-9004	cRIO-9104
cRIO-9401	cRIO-9215
cRIO-9203	LabVIEW 8.2
LabVIEW RT 8.2	LabVIEW FPGA 8.2
NI-DFD 7.5	

“可以毫不夸张地说，NI 的 cRIO 平台是构建该采集终端的最佳解决方案。”

大桥健康监控系统结构如图 1 所示，监控系统包含多台基于 cRIO 的数据采集终端，它们分布在大桥的不同位置。数据采集终端的主要任务是按照控制终端的要求，在各类传感器的配合下采集大桥的各类环境数据、静/动态响应等信号，进而将这些信号数据一方面实时传送到监视终端；另一方面按指定的策略将部分信号数据以文件的形式存储在本地，以供数据存储终端下载并利用数据库来统一管理信号数据。

运行于各数据采集终端的应用软件是基于 LabVIEW、LabVIEW RT 和 LabVIEW FPGA 构建的，具有统一的软件架构。其难点在于不同类型信号采集任务的模块化与规范化，多机箱间精确的同步采集，以及复杂的数据存储机制的实现。

系统硬件组成

不同数据采集终端的具体硬件配置都不一样，但是硬件模块类型一致。除了机箱 cRIO-9104 和嵌入式控制器 cRIO-9004 外，每个采集终端都配有 cRIO-9401 和 cRIO-9215，在 GPS 接收机的支持下，对大桥的振动信号进行 GPS 精确同步采集；cRIO-9215 和 cRIO-9203 对大桥的慢变或静态电压、电流信号进行采集；配有 ENET-485/4 对部分传感器和调理器的串口输出信号进行采集；同时 cRIO-9401 对部分数字脉冲信号（如雨量计输出信号）进行采集和计数。

系统软件结构

采集终端统一的系统软件架构可以使上位机能通过一致的接口与其交互命令、状态与数据，方便用户的使用；也可以极大地提高代码

解决方案

基于 cRIO 硬件平台，利用 NI LabVIEW 开发出一套适用于整个大桥健康监控系统中不同数据采集终端的统一的远程数据采集系统。

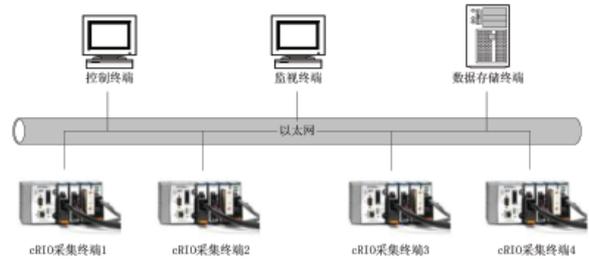


图 1 大桥健康监控系统结构

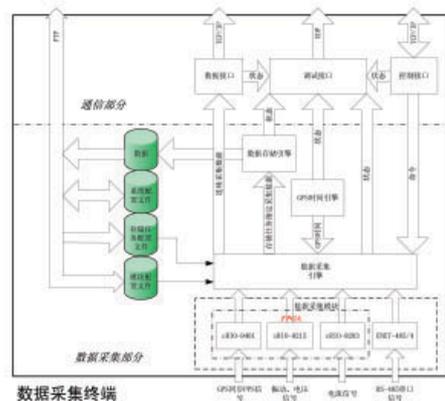


图 2 数据采集系统软件结构

的重用性，使所有终端使用同一套代码（不同的终端仅在 FPGA 程序和配置文件信息上有所区别），方便开发人员维护代码。采集终端系统的软件结构如图 2 所示。

整个数据采集终端的软件由数据采集和通信两大部分组成。数据采集部分又可分为数据采集模块、数据采集引擎、数据存储引擎、GPS 时间引擎。通信部分则由数据接口、控制接口和调试接口组成。在 LabVIEW 中实现时，这些不同的引擎和接口都是独立运行的 VI，通过上层的动态调用来执行。这样可利用 LabVIEW 多线程的特性，避免各个模块之间的相互阻塞干扰。

这些所有的引擎和接口都是在 cRIO-9004 的 RT 上实现。cRIO-9401、cRIO-9215、cRIO-9203 等模块的数据采集是在 cRIO-9104 的 FPGA 上完成的，采集到的数据通过 DMA 传送到 RT 上的数据采集引擎进行降采样、滤波等预处理；ENET-485/4 模块对串口信号的采集，并将数据通过以太网传送到 RT 上的数据采集引擎进行预处理。

不同数据采集终端的硬件配置都有所不同,所采集的物理信号也各不一样,再考虑到将来增加、改变测点,调整系统的可能性,数据采集终端的软件必须是高度模块化,便于开发人员增加新的测点、硬件。模块化的核心在于对不同类型信号采集任务的模块化与规范化,将不同类型的数据采集模块封装成一组具有相同接口的VI供上层的数据采集引擎根据各采集终端特定的模块配置文件来动态调用。

GPS 同步采集

为满足大桥模态分析的要求,各数据采集终端需要对大桥的振动信号进行精确的同步采集。对于大桥健康监控系统而言,各数据采集终端的距离都在100米以上,传统的主从终端同步采集方案已经不能适用。我们利用基于cRIO-9401和cRIO-9215的GPS同步采集方案可以很好的解决远距离终端同步采集的难题。具体而言,我们为每个数据采集终端配置一个GPS接收机,它们分别获取已与卫星同步的PPS秒脉冲信号和GPS绝对时间信号,并送至对应采集终端的cRIO-9401和cRIO-9104的串口进行同步、计数和采集。我们在cRIO-9104的FPGA上构建了一个数字锁相环和同步触发模块,参考由cRIO-9401引入的PPS秒脉冲信号,经过一系列的锁相、计数和触发机制,确保不同终端上的所有cRIO-9215(包括cRIO-9203)在同一绝对时刻以同频同相的采样时钟对大桥的振动信号进行精确的同步采集。

数据存储机制

已有的大桥健康监控系统采集终端的数据存储机制大都设计为保存所有信号通道所有连续的数据,这样一方面带来海量数据的存储和管理问题,另一方面使得用户真正关心的大桥异常信号数据淹没在大量日常的正常信号数据中间,不利于用户对其进行提取和分析。我们将数据采集终端的存储机制设计为人工干预存储、触发存储和间断存储相结合,其中人工干预存储优先级最高,触发存储次之,间断存储优先级最低。用户可以在控制终端通过人工干预存储命令对任一采集终端的任一信号通道进行指定时间段的数据存储;也可以在存储任务配置文件中配置触发存储任务,将某一采集终端上的某几路信号通道与其它采集终端或同一采集终端上的某几路信号通道进行触发存储任务关联。当产生触发任务的若干路信号通道数据满足触发条件时,它将会触发关联的那些被触发信号通道进行指定时间段的数据存储。并且触发存储任务还支持不同的优先级设置以及复杂的触发存储重叠处理机制,确保不会丢失对各触发任务指定的信号数据的储存。用户也可以在存储任务配置文件中配置间断存储任务以完成对各采集终端信号通道日常的正常数据存储,如每小时存储各信号通道10分钟的数据。

这样,在间断存储任务的基础上,用户只要合理的配置触发存储任务,在紧急情况下启动人工干预存储,就可以在显著降低日常的正

常信号数据存储容量的基础上,完全保存和突出实际关心的异常信号数据,极大的方便了用户对于大桥异常信号数据的保存、提取和分析。该数据存储机制的难点在于不同采集终端信号通道之间的触发存储任务关联的实现。

模块配置和存储任务配置

不同数据采集终端的具体硬件配置都不一样,它们采集的信号种类及数量也不尽相同,但运行于各采集终端的系统软件则完全一致,区别仅在于不同采集终端有自己特定的FPGA程序、系统配置文件、模块配置文件和存储任务配置文件。用户在上位机可以利用提供的配置程序,通过对相应配置文件的处理来完成对各采集终端的系统配置文件、模块配置信息和存储任务配置信息的查询和更改设置。

结论

大桥健康监控系统要监测大桥大量不同类型的信号,对于振动信号还需要精确的同步采集。这不仅要求采集终端有很好的开放性和灵活性以集成不同种类的数据采集模块对不同类型的信号进行统一的采集,而且要求采集终端提供高性能的时钟和触发同步功能。同时,恶劣的海洋环境及桥面路况影响对采集终端的健壮性也提出了很高的要求。可以毫不夸张地说,NI的cRIO平台是构建该采集终端的最佳解决方案。

另外,LabVIEW强大的数据采集和信号处理功能极大地节省了采集终端系统软件的开发时间,在LabVIEW RT和LabVIEW FPGA模块的配合下使得采集终端能够实时高质量地完成数据采集、信号处理、数据传送和数据存储的工作,为整个大桥健康监控系统提供灵活、强大的底层数据支持。该数据采集终端的实现和具体应用将是cRIO平台在国内大桥健康监测领域的首次成功案例,对于该领域及其它相关领域的类似应用具有很强的示范性和参考价值。系统中的数据采集终端如图3所示:



图3 大桥健康监测数据采集终端

基于 PXI 和 SCXI 的多传感器桥梁远程监测系统

胡嘉 - 清华大学精密仪器与机械学系

挑战

构建一个桥梁虚拟监测系统,实现对实验室模型桥梁的多传感器监测,同时实现数据的远程共享。本系统在多种多路传感器同时测量、多路测量信号同时显示处理、多通道数据同时远程传送三个方面遇到较大的挑战。

产品:

PXI-1042 PXI 8 槽机箱	PXI-8186 PXI 控制器
PXI-6070E 多功能数据采集卡	SCXI-1000 信号调理机箱
SCXI-1121 4 通道带激励隔离模拟输入	
SCXI-1102B 32 路模拟输入模块	SCXI-1300 信号调理连接附件
SCXI-1321 信号调理连接附件	LabVIEW 7.1

“本监测系统一个突出的特点就是同时使用了不同种类的11个传感器进行数据采集。这一功能的实现,得益于 SCXI 模块强大的信号调理能力。”

该系统包括以下组成部分:热电偶、应变片、涡流及磁电式检波器传感器、SCXI 前置信号调理箱、PXI 模块化仪器、本地计算机和网络计算机。其中,通过 4 种不同的传感器检测环境温度、桥梁模型的应变、挠度和振动信号,SCXI 前置信号调理箱主要传感器的输出信号进行放大、隔离、滤波,使之适应数模转换,并给应变信号提供桥路及激励电压。PXI 模块则主要对 SCXI 的输出信号进行数模转换,并以 LabVIEW 为平台完成数据采集、记录、分析、远程传输等功能。

实验室拱桥模型的测试结果表明:该系统能够较好的完成常规桥梁测试的所需功能,并实现了远程监测,测试结果正确地反映了拱桥模型的固有特性和载荷情况,达到了预期的设计目标。

一、引言

桥梁建设是一个国家民用基础设施中不可缺少的组成部分,在经济建设中发挥重要作用。在桥梁的使用过程中,由于荷载作用(尤其是交变荷载)、疲劳效应、腐蚀效应、材料老化和突发事故(如撞击、地震)等不利因素的影响,桥梁结构不可避免地出现结构损坏和损伤积累,严重的甚至会导致突然倒塌。为了避免事故的发生,对桥梁进行监测是十分有必要的。

近年来,在新兴的虚拟仪器技术的支持下,各类桥梁监测系统发展

解决方案

使用 NI 公司的 LabVIEW 软件,配合实验室现有的 PXI 和 SCXI 模块,构建一个能对模型桥梁实施多传感器监测的系统。SCXI 前置调理模块能很好地完成多路传感器信号同时输入、同时处理的任务,为多传感器的同时使用提供了可能。而 LabVIEW 软件简便易行的多路信号显示处理功能以及强大的远程数据传输能力,又让多路数据的同时显示和传送成为可行。为将来的模型桥或实际桥梁多传感器监测,提供经验及数据。

迅速,在实际桥梁监测中收到了较好的效果。为了进一步研究多传感器的虚拟桥梁监测方法,本人利用实验室已有的设备,搭建一个基于 PXI 和 SCXI 的多传感器桥梁远程监测系统,并通过对模型桥的监测评估了该系统的各项性能。

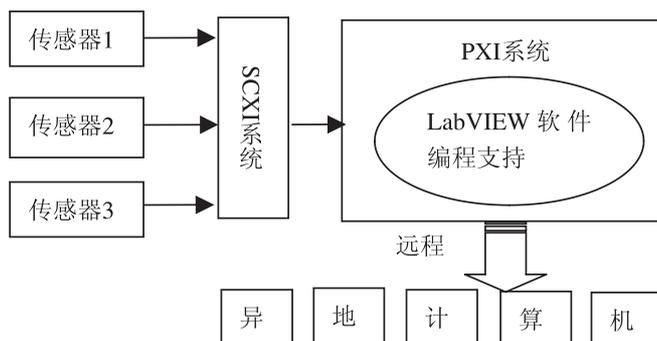


图 1 基于 PXI 和 SCXI 的多传感器桥梁远程监测系统原理框

二、监测系统实现原理

本桥梁检测系统的基本原理是:利用 SCXI 模块的强大信号调理功能,连接多路传感器,并实现传感器信号的前置调理,然后将信号送入 PXI 模块。PXI 在 LabVIEW 的支持下完成数据的观察,记录,初步分析及远程传送等功能。其基本原理如图 1 所示,该监测系统硬件实物如图 2 所示。



图 2 监测系统硬件实物图

三、系统硬件设计与实现

本系统用到热电偶 1 个(检测环境温度),应变片 3 对(测量模型桥应变情况),涡流传感器 1 个(测量模型桥挠度变



图 3 模型桥传感器布置位置示意图
图中:桥面上的长方片代表应变片,桥面及桥下的短圆柱体代表磁电式检波器,桥下的长条圆柱体代表涡流传感器(包括支架)

化), 磁电式检波器 6 个 (测量模型桥速度变化情况), 其位置分布如图 3 所示 (图中没有表示热电偶)。

利用 SCXI-1000、SCXI-1321、SCXI-1121、SCXI-1300 和 SCXI-1102B 来实现对传感器输出信号的前置调理工作。

本监测系统一个突出的特点就是同时使用了不同种类的 11 个传感器进行数据采集。这一功能的实现, 得益于 SCXI 模块强大的信号调理能力, 例如: 多路信号同时输入、对多路信号分别进行隔离放大和滤波、为应变片提供桥路和激励电压等, 这是本系统硬件部分顺利达到预期目的的关键。

四、系统软件设计与实现

图 4 显示了本次程序设计的整体框架。器软件界面如图 5 所示。

本次设计的程序可分为 7 个模块: 数据记录模块、数据分析模块、远程数据传送和共享模块。

其主要功能是: 在用户设定采样频率后, 采

集 11 路传感器的信号, 并分别进行显示。同时, 用户

及其他部分可使用手动或自动方式, 根据

需要记录相关数据。其中, 自动记录以速度信号触发(阈值由用户设定), 并可记录触发信号前 1000 个数据点。另外, 用户

还可根据需要向异地用户传输数据(使用 DataSocket 方法)。用户也可以随时将已记录数据提取出来观察、分析。

NI 公司的 LabVIEW 是本系统设计的软件平台, 它所具有的图形化编程特点以及简便易行的数据显示、存储方式, 使多路传感器采集的大量信息可以方便有序地在同一程序中显示和储存, 这不但满足了本次设计同时处理多路输入数据的预期要求, 同时还达到了方便用户的目的。LabVIEW 自带的多路远程实现方式很好地解决了远程传输多路数据的问题。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

五、系统的模型桥试验验证

利用实验室的模型桥, 对系统进行试验验证。共进行 3 个不同位置的 8 组静载试验和不同车速不同车重 3 次动载试验, 还进行了远程数据传输试验。

选取静载实验时 1/2 桥跨处的信号曲线 (如图 6 所示), 可以看到: 该信号曲线符合模型桥应力应变及挠度变化的理论分析、以及相关桥梁静载荷分析, 同时, 各传感器测量数据与各个传感器布置位置相符, 证明此系统可以完成桥梁的静载监测。

选取一组东在数据进行分析 (如图 7 所示), 可以看到: 其信号曲线符合模型桥振动情况的理论分析, 以及相关桥梁动载荷分析, 同时, 测量数据与各个传感器分布位置相符, 表明此系统可以完成桥梁的动载监测。

利用实验室的网络条件, 还进行了多次远程数据传输实验。在远端客户机上, 均能够接收到相关数据。证明此系统可以完成桥梁监测数据的远程传输任务。

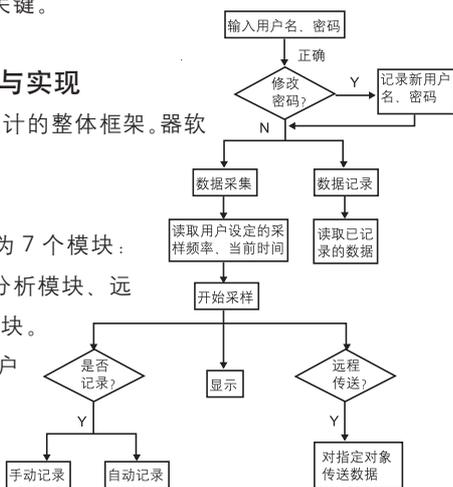


图 4 程序流程图

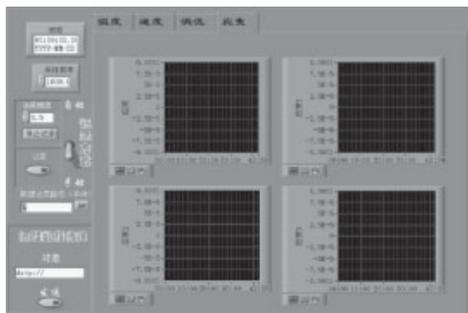


图 5 虚拟桥梁监测系统界面

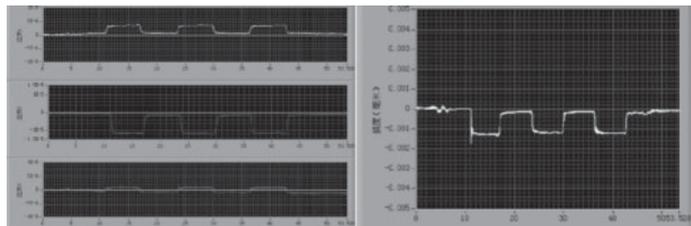


图 6 中央桥面静载试验数据

左图为应变曲线, 由上到下分别为 1/4 桥跨、1/2 桥跨、3/4 桥跨处的应变信号; 右图为挠度曲线

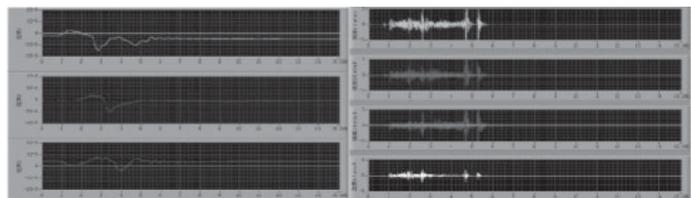


图 7 中央桥面静载试验数据

左图为应变曲线, 由上到下分别为 1/4 桥跨、1/2 桥跨、3/4 桥跨处的应变信号; 右图为速度曲线, 由上到下分别为 1/4 桥跨、1/2 桥跨、3/4 桥跨处的速度信号

六、结论

本系统具有支持多传感器信号输入, 支持数据远程传输和共享, 具备自动记录、数据保密等附加功能, PXI 模块集成度高、机械及电气性能好等特点。可以完成对桥梁动载、静载的监测任务, 同时能够将监测数据远程共享, 达到了预期设计目标。同时, 积累了多传感器在桥梁监测中运用的经验, 可以为将来的实际桥梁监测提供参考。另外, 本系统在设计时有意识的增加了其可操作性, 以方便一般用户操作使用。

应用 NI 技术快速构建土木工程在线监测系统解决方案

李涛 - 清华大学深圳研究生院

挑战

将众多采集设备集成到一个开放平台下，统一进行数据采集，并需要有一便捷的工具来快速地构建信号计算处理模型。在室外无人值守的条件下，要保证系统能长期稳定运行，并需要具备一定的故障自恢复能力。同时整个系统要具备很好的灵活性以及软硬件的兼容性，传统的土木工程安全监测解决方案大多是定制的方案，不利于系统本身的扩展也不利于整个方案推广到其它类似的系统上。

产品

- cFP-2020 Compact FieldPoint 控制器模块
- cFP-AI-110 Compact FieldPoint 模块输入模块
- cFP-TC-120 Compact FieldPoint 热电偶输入模块
- cFP-SG-140 Compact FieldPoint 应变片输入模块
- PXI-1052 PXI 与 SCXI 复合机箱
- PXI-8186 PXI 控制器
- PXI-6220 M 系列多功能数据采集板卡
- SCXI-1520 应变片调理模块
- SCXI-1530 加速度输入调理模块
- LabVIEW7.1 图形化集成开发环境

“PXI 对于结构动态测试有不可取代的优势，尤其在大型桥梁测试中，具有定时和触发特性的 PXI 系统可提供多达 5000 个通道同步测量，且相位误差在 1KHz 时小于 0.1 度。”

土木工程监测具有监测点多、分布广、环境影响因素复杂等特点。应用 NI 的 Compact FieldPoint 系列分布式测控模块实现对应变、温度等静态参数的精确测量，具体来说，本系统中使用了 AI-110、TC-120、SG-140 分别对钢筋锈蚀传感器、热电偶、混凝土应变的信号进行采集。而对于振弦式传感器读数仪与光纤光栅解调仪，可以通过 cFP-2020 主控模块提供的 RS232/485 接口，代替 PC 机来控制；应用 PXI 模块化采集硬件实现对振动、加速度等动态参数测量，具体设计上，采用 NI PXI-1052 PXI/SCXI 组合机箱，将 PXI-8186 控制器、PXI-6220 采集卡、SCXI-1520、SCXI-1530 信号调理模块集中到一个机箱里，组成一个基于 Windows 的测量平台。并应用 LabVIEW 信号分析处理工具对采集信号进行计算处理，作为评估结构安全的依据。

一、系统综述

土木工程的安全性受它本身的材料特性、力学特性以及所处的环境

解决方案

应用 NI 的 Compact FieldPoint、PXI 硬件，以 LabVIEW 为软件平台，开发一套桥梁监测系统，对深圳大学城内某在役桥梁进行了实时的安全监测。这样一套以虚拟仪器技术为核心的方案具有很好的扩展性和移植性，同时 NI 公司软硬件的无缝集成更为整个系统的开发提供了很大便利，并且运行实时操作系统的平台提高了系统的实时性和稳定性。

影响。土木工程安全系统是一个实现包括数据采集、数据分析管理、智能决策等多种功能的庞大系统。数据采集是整个系统最基础的功能。土木工程安全监测系统的的核心数据采集通常包括静态监测和动态测量。静态监测通常是不间断进行的；动态测试的周期可根据结构的实际状况来确定。介于以上的需求，需要一个长期稳定运行的计算机系统对结构的数据进行采集、分析、管理，以此作为评定结构安全性依据，为达到此要求，采集设备必须能在野外恶劣环境下长期稳定工作，并要保证采集数据的可靠性；软件一方面能以统一模式管理从众多传感器采集来的数据，另一方面要能根据不同工程的需要迅速重新构建数据采集、分析系统。

NI 的 Compact FieldPoint 是坚固和可靠的平台，其主控模块运行 RT 操作系统，确保系统能长期稳定运行；并且提供了丰富的通讯接口，通过 LabVIEW RT 开发应用，能控制现场的光纤仪、振弦仪工作。PXT 同样是可运行 RT 系统的牢固的模块化平台，期精确的定时和触发功能确保了大型结构测量时多个测点同步采样，并且有丰富的 SCXI 信号调理模块供选用。

本系统以 cFP 为核心构建静态监测模块，以 PXI 为核心构建动态测试模块，组合成一个桥梁安全监测的数据采集系统，实现采集数据到实时数据库。静态监测系统以长期在线的形式运行，主要目的是获取运营的土木结构随时间变化的状态数据；而动态测试主要是为

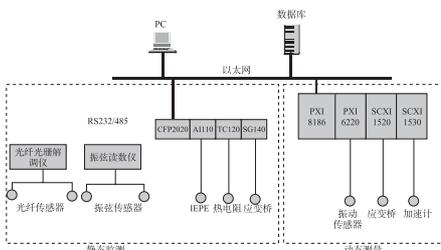


图 1 系统物理结构示意图

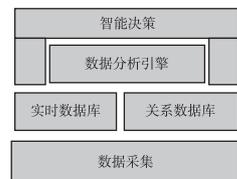


图 2 系统逻辑示意图

了在结构出现损伤后对其损伤进行识别和鉴定。系统中统一以标签来管理数据,将采集来的原始数据和经过信号处理后的计算数据分为模拟量、数字量、波(模拟量序列)进行数据库存取。而在数据处理模块中则使用LabVIEW开发了多种计算分析模型用于分析结构特性。系统结构请台照图1、图2。

二、基于 Compact FieldPoint 的静态监测

在本系统中,静态监测的内容包括混凝土的渗透、钢筋锈蚀、混凝土构件的应力应变及开裂状况。用于土木工程监测的传感器通常分三类:光纤光栅传感器、振弦式传感器和传统的基于电信号传感器。根据监测位置及物理对象的不同,三种传感器均有所用,而对每种传感器均有其专用的采集仪。光纤传感器测量精度高,抗腐蚀性强,比较适用于埋入结构内部,进行分布式温度、应变监测;振弦式传感器抗干扰性强

NI 的 Compact FieldPoint 提供了多种 IO 模块,本系统中使用了 AI-110、TC-120、SG-140 分别对钢筋锈蚀传感器、热电偶、混凝土应变的信号进行采集。而对于振弦式传感器读数仪与光纤光栅解调仪,可以通过 cFP-2020 主控模块提供的 rs232/485 接口,代替 PC 机来控制。cFP-2020 上运行了 RT 操作系统,应用 LabVIEW VISA 串口驱动,开发一个仪器的通讯程序,如此,所有采集仪的数据便汇总到 cFP-2020 主控模块。cFP-2020 还提供了以太网接口,可以很方便地将数据传送到监控中心的计算机。cFP 系统的硬件实物图如图3所示。

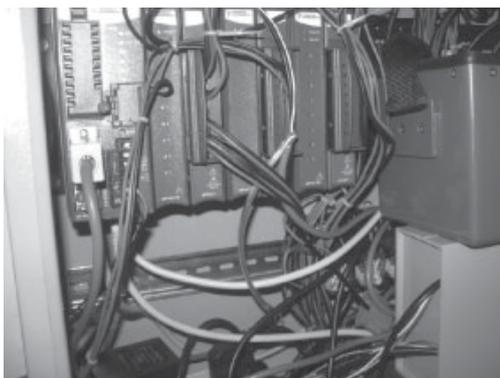


图3 运行 RT 系统的 Compact FieldPoint 模块

LabVIEW RT 中提供了多种网络通讯方式,像 DataSocket、TCP、UDP、SMTP,此外还可通过共享内存的方式与主机交换数据。本系统中使了 TCP 的方式,CFP-2020 作为 TCP 客户端,与监控中心主机 TCP Server 建立连接后,将采集到的数据封装成 XML 文档,通过该 TCP 连接发送到主机。

cFP-2020 带有一个 Compact Flash 槽,可插入一块 512M 的存储卡,如果由于网络故障暂时不能将数据传到主机,可将数据以文件形式存储在 Flash 上,网络通讯恢复时由将其发送到主机,确保数据不丢失。cFP-2020 内置了看门狗,设备在发生运行故障时可自行重启,有效提高了系统长期监测的可靠性。

通过安装 LabVIEW RT,可在运行 Windows 的主机上,LabVIEW 环境下,运用开发 Windows 程序的方法,来开发 cFP 所需的

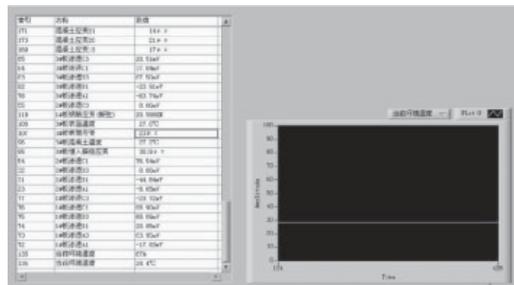


图4 实时监测数据

实时软件,而不需要了解 RT 系统更多的细节。如此,通过列可靠的 RT 系统,实现了与 PC 机同样灵活的功能,而在软件开发上还是相当容易。本系统静态监测部分的软件界面如图4所示。

三、基于 PXI 的动态测试

土木结构的动态测试的目的是诊断结构损伤的程度和位置。桥梁的动态测试主要包括桥跨结构自振特性和桥跨结构在载荷作用下强迫振动特性测量。此外某些桥梁的局部构件也需进行自振特性测,例如斜拉桥的索,钢梁桥的钢桁梁等。桥梁的动态测试通常需要多个点同步进行,各点间的相位误差要控制在一个较小范围内。同时需要有相应的触发信号控制采集仪在产生激励后开始采样。

PXI 结合高速 PCI 总线和专为测量与自动化应用设计的完整的定时和触发功能,为结构动态测试提供了一个高效的、易用的平台。NI 提供了众多 PXI 模块,来满足用户搭建自己的 PXI 测试系统。

本系统采用 NI PXI-1052 PXI/SCXI 组合机箱,将 PXI-S186 控制器、PXI-6220 采集卡、SCXI-1520、SCXI-1530 信号调理模块集中到一个机箱里,组成一个基于 Windows 的测量平台。PXI-6220 是 NI 新推出的 M 系列采集卡,由于采用了 NI-STC2 定时控制技术,使得多通道测量能达到一个较好的同步要求,如需更高要求的同步,可采用每通道配置一个 ADC 的 S 系列同步数据采集卡。



图5 PXI 模块化测试仪

硬件系统构成实物图如图5所示。

系统使用了八个速度型低频振动传感器测量桥梁的自振特性,该传感器输出信号为 ± 10 V 电压信号,测量频率范围 0.35-50Hz,直接到 PXI-6220 数据采集卡。采用脉动法,激励信号为随机的环境激励,不需要触发,由软件启动,每次测试以 200Hz 的采样频率采

集 600s 的波形。直接使用 LabVIEW 的 DAQ Assistant 生成一个采集任务。

桥梁在载荷作用下强迫振动测试需要测量桥跨的动挠度和应变, 挠度测量采用位移型低频振动传感器, 连接到 PXI-6220 采集卡; 应变测量采用电阻应变桥, 接到 SCXI-1520 应变调理模块, 采用数字触发方式, 由红外车辆探测器产生的数字信号控制采集启停。

另外使用了四支 MA21 型加速传感器进行了钢桁梁自振特性测试, MA21 输出为 TEPE 工业标准信号, 直接接到 SCXI-1530 加速度输入模块, 测试方法与桥梁自振测试相同。采样频率设为 200Hz。

使用 LabVIEW 开发一个测试程序, 由于有新的设备驱动 DAQmx 和 LabVIEW Express VI 支持, 开发变得非常简单。本系统动态测试部分软件设计为一个 C/S 结构, 运行于 PXI 控制器的是一个测试服务程序, 可以本地操作, 也可能由远程的客户端软件控制进行测量。动态测试远程控制界面如图 6 所示。

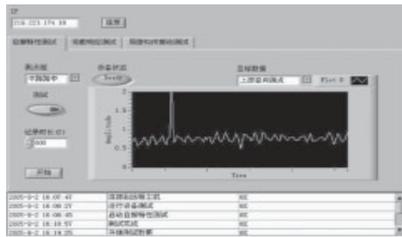


图 6 动态测试远程控制界面

四、动态信号处理

桥梁结构动态测量的信号处理涉及到的内容比较广泛, 在此只作简单陈述。传统的结构诊断采用基于傅利叶变换的频谱分析方法, 从测得的动态信号中提取结构的模态参数, 如固有频率、振型、阻尼比等等, 也可以通过微积分运算获取结构的应力应变参数。不同的参数在鉴定结构损伤程度的有效性上有明显的差别。LabVIEW 提供了数百个测量分析函数, 能根据研究需要, 迅速地建立相应的分析计算模型, 验证结构诊断方法的有效性。

近年来, 兴起于基于小波分析的结构健康诊断方法, 由于其能从时频两域表征信号的局部特征, 识别正常信号与异常信号间的细微差别, 因此特别适合结构损伤的诊断。NI 在 Signal Processing Tool 包里提供了用 LabVIEW 实现小波变换的工具。

五、总结

长期无人执守的在线监测需要控制设备运行 RT 操作系统, Compact FieldPoint、PXI、Compact RIO 均提供了 RT 控制器确保系统能可靠运行。

PXI 对于结构动态测试有不可取代的优势, 尤其在大型桥梁测试中,

具有定时和触发特性的 PXI 系统可提供多达 5000 个通道同步测量, 且相位误差在 1KHz 时小于 0.1 度。对于在恶劣环境下小型的结构测量, 可考虑使用 NI 新推出的 Compact RIO 产品。

LabVIEW 在测试测量方面的专长和与 PXI、cFP 的无缝集成, 使得整个系统开发变得非常高效, 而且此套基于虚拟仪器的解决方案能够很灵活地重构。

与传统的以硬件为核心的测量仪器相比, 采用以软件为核心的虚拟仪器解决方案, 明显减少系统的开发周期及成本, 提高了整个系统的扩展性与可移植性, 从而满足了工程安全监测不断变化的数据采集技术需求。

鸟巢和水立方采用 LabVIEW 和 CompactRIO 平台搭建结构监测系统

Chris McDonald - CGM Engineering, Inc. (June Zhu 改写)

挑战

为北京奥运会的主体育场鸟巢和主游泳馆水立方搭建一个稳定而可靠的建筑结构健康监测系统。

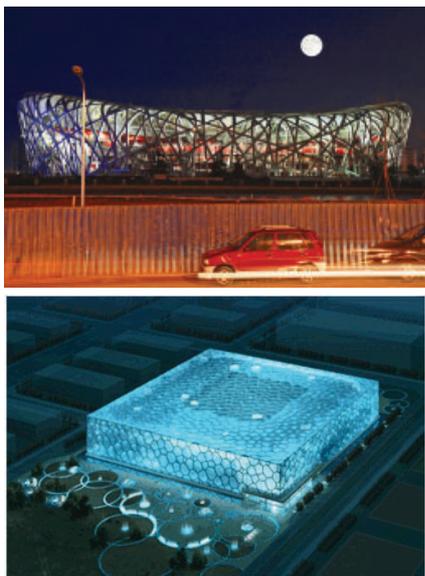
“采用 LabVIEW 和 CompactRIO 作为计算平台，我们开发的这个嵌入式监测系统具有无可匹敌的精度，价格和灵活性。”

北京国家体育场作为 2008 年北京奥运会的主体育场，可容纳 8 万名观众。整个体育场结构部件相互支撑，形成网络状构架，外观酷似树枝织成的鸟巢，“鸟巢”体育场故因此得名。而另一奥运水上比赛项目举办地——中国国家水上运动中心，其设计理念源于自然状态下肥皂泡沫的形状，称为“水立方”。

它独特的设计结构使其具有诸多环保特性，比如泳池和馆内均由太阳能供热，馆内反冲水经过过滤可重新作为泳池用水，等等。这两座标志性建筑即将在 8 月奥运期间成为世界瞩目的焦点。由于两个场馆体积巨大，如何监测它们的建筑安全、以及确保运动员和观众的安全也成为了中

国政府的一大重视。与其它新近建造的大型建筑一样，中国地震局需要选择尖端的建筑健康监测系统在场馆内监测。该系统必须监测任何可能影响建筑物的波动——从自然地质的震动到在场观众造成的震动，以确保安全。举例来说，当比赛进入高潮时，观众会情不自禁地挥手示意，甚至跳动或以某种节奏摇晃身体来表示对

运动员的支持。如果这些运动节奏正好处于建筑结构的谐振频率，建筑物会产生共振，带来安全隐患，所以对场内状况进行监测，确保这些震动处于安全范围之内就显得尤为必要。经过仔细评估，CGM 工程公司（美国国家仪器有限公司合作伙伴之一）的 SeismoCast 建筑监测方案被甄选为上述建筑物的监测管理系统。

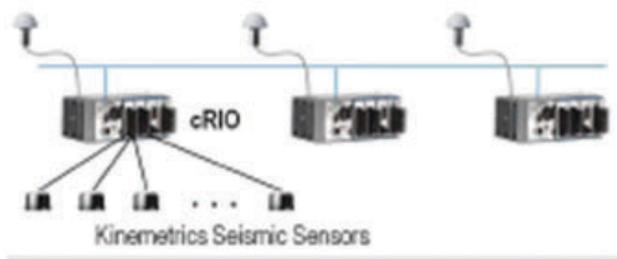


解决方案

采用 NI LabVIEW 图形化编程环境和 NI CompactRIO 硬件平台设计一个高精度的建筑结构健康监测系统，使用 GPS 卫星的精确时钟进行同步，并可实时报告监测结果。

此方案提供简单即用的安装、多种 I/O 选择，工程师可快速简便地重新配置系统以满足系统的变化要求，同时其高性能及低单位成本等优势使得 SeismoCast 最终获选成为鸟巢和水立方的守护者。

通过 NI LabVIEW 软件和 CompactRIO 硬件平台进行系统的设计、原型、发布，CGM 在不到一年的时间里就完成了两套系统的开发以满足中国政府的特定需求。鸟巢采用了 9 套 64 通道的 CompactRIO 系统，水立方则是 2 套 36 通道的系统，每套系统分别与嵌入式单板电脑相连并安置在坚固的 NEMA 4 机箱中，各个机箱再以客户端-服务器的构架与主服务器连接后分布在各结构关键点进行监测与预警。系统的主要任务在于测量结构振动和加速度，因此保证各通道之间的同步是非常重要的，这使得研究人员可以同步监测多个位置的振动，从而更好地理解 and 描述整个建筑结构所受的影响。传统基于线缆的同步方法限制每个系统间最多相隔 100 米，考虑到鸟巢和水立方的场地规模，至少需要分布上百套这样的



系统，因而基于线缆的方案并不适用于这种场地。为此，SeismoCast 采用了全球定位系统(GPS)来构建同步解决方案。使用 GPS 卫星的精确时钟，SeismoCast 建筑监测方案不受距离限制，而且能够达到 ± 10 微秒内的同步精度，符合系统的同步需求。CompactRIO 系统将采集得到的大量数据和分析结果传送到同机箱的嵌入式单板电脑并临时储存，借助 LabVIEW 对于分布在不同地点数据的管理能力将数据通过以太网发送到主服务器，以进行进一步的分析。此外，系统允许研究人员通过客户端软件远程连接并实时监测建筑物的健康状况。

根据世界银行统计，到2015年，全球半数以上新建楼宇会在中国拔地而起；中国将继续保持强劲经济增长势头。诚然，只有在世界中不断提升竞争力，中国才能脱颖而出。值得指出的是，中国的独特机遇在于没有很多传统系统的负担，可以直接采用最新的科技。比如前文所讲的建筑物监测，在诸如美国等西方国家中，先进的监控系统研发诞生之前就已高楼林立，引入最新技术遇到了较高的门槛。而在中国，新的楼宇建筑可以利用革新的监控科技，在设计构建的过程中考虑到健康监控功能，最终确保人员与建筑物的安全性。

实现创新的策略很明显：1) 选择一个模块化平台可以综合使用多种商用现成技术 (COTS)；商用现成技术的快速发展确保了性能的持续增长，模块化架构则提供了更大的灵活性，方便工程师选择最合适的配置。2) 采取软件为中心的系统构架，将控制权从系统供应商转到工程师自己的手里，工程师可以通过加入自己的知识产权 (IP) 来突出产品优势和满足特殊需求。以软件为中心的方式结合模块化架构提供了很好的灵活性，可以在尽可能保持硬件层不变的情况下，增加其他附加功能。这也是NI的一贯宗旨，提供以软件为中心的模块化平台让工程师和科学家构建创新应用，并改善人们的日常生活。

梅亚查体育场使用 CompactRIO 平台搭建先进的结构监测系统

作者：A.卡布里奥利、M.瓦纳利、乔瓦尼·莫斯奇奥尼、A.西伽达 单位：米兰理工大学

挑战

为大型体育场的结构监测搭建一个连续、实时的振动监控系统。

“使用 LabVIEW 和 CompactRIO 平台，系统的软件架构变得非常灵活——无需高级软件技巧，即可在任何时刻做对系统任意的修改。”

米兰的梅亚查体育场（又名圣西罗）作为大型体育场，一直面临着一些建筑结构上问题，比如人们使用建筑物内部设施带来的结构应力（举办音乐会时乐曲、歌曲带来的振动）。米兰市政府请米兰理工大学（是意大利最大也最负盛名理工科大学）对梅亚查体育场进行研究，并设计一个新型的监控系统，能够测量振动、金属部件腐蚀和其他物理参数。整个监控系统必须坚固耐用、适用于体育场环境，可以克服高温、强振以及复杂的电磁环境等不利因素。

米兰梅亚查体育场始建于 1925 年，与 50 年代和 80 年代扩建了中圈和外圈看台，可容纳八万名观众。最初体育场用于足球比赛，从



图 1. 梅亚查体育场

80 年代后期开始，体育场也举办非体育活动，比如音乐会、演唱会等。在足球比赛和音乐会期间，人们会感觉到体育场有强烈振动。这是由于成千上万的人随着音乐的旋律跳跃和舞动引起的。为了应对这样的问题，米兰理工使用结构评估、模态分析、动/静态测量和腐蚀测评等方法研究了体育场的状态。通过大量的实验和数据分析表明，有必要为进行振动、应力、温度和其他物理量的定量分析搭建一个实时监控系统，以评估长时间下体育场的结构特性、变化趋势，并预报危险情况。

体育场举办音乐活动时，观众随着旋律摇摆、舞动或者跳跃，引起结构振动。振动幅度随着这种由观众引起的、交替性的外力而变

解决方案

米兰理工大学根据建筑物结构设计和开发一个分布式监控和数据采集/存储系统。整个系统坚固耐用、适用于体育场环境并且可以克服高温、强振以及复杂的电磁环境等不利因素。

化。振动的强度不仅于观众人有关，如果歌曲的节奏（引起的观众的运动）与结构的固有频率匹配时，振动会明显加强。因此，需要测量这种情况下的振动，在达到引起破坏的量级之前采取控制措施。

监控系统必须连续测量 0~50Hz 振动范围内相关的物理量，进行可靠的数据采集、存储和传输。米兰理工大学的力学和热学测量组曾经为很多建筑搭建过实时监控系统，在这一领域享有盛誉。对于梅亚查体育场的应用，他们基于 CompactRIO 平台搭建一个业内领先水平的系统，并利用 LabVIEW 图形化编程环境开发了功能强大的软件程序。

传感器的功能是量化各种物理量，从传感器的角度来看，为了尽可能保证采集精度，采集模块和传感器之间的连线需要尽可能的缩短。从网络的角度来看，布线越长越好，这样采集模块可以集中而变少。因此这两者之间有一个妥协。因为测量中大量使用了加速度计，所以使用 ICP 标准的加速度计可在两者之间找到比较好的平衡。

PC 安放在一个受保护的环境中，作为系统的主控端。在通常的操作条件下，他主要是收集和分析各个采集节点上的数据。在搭建过



图 2. 监控系统的主控室

程中，它还可以在配置节点和校准传感器时作为人机界面。PC 还可以作为 Internet 网上远程访问本系统的网关。这个测试系统的关键部分是如何经济有效的放置分布式的数据采集节点。最终目的就是在上万部手机、成百电视信号收发天线和无数的电力传输的环境下，减少传感器连线，改善采集效果。

使用 CompactRIO，系统有了可靠的数据采集节点，并且把数据有效的存储在本地。通常主控 PC 负责协调这些节点，并且控制数据存储和回传。如果主控 PC 不能正常工作，每一个 CompactRIO 节点仍然可以采集数据，并独立保存数天的数据。CompactRIO 提供了强大的计算和存储功能，小巧的体积，并能承受高湿度等不利环境因素。目前整个体育场的监控系统使用了 14 套 CompactRIO 硬件设备。

此外，很重要的是它具有很好的扩展、升级的性能。一个大规模的系统节点数和信号接入类型非常重要。尤其对于动态信号采集，CompactRIO 平台还提供了数字和模拟的滤波器。

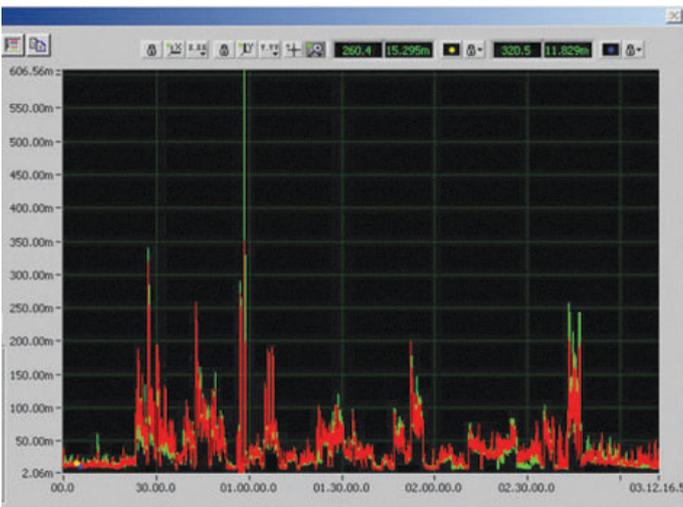


图 3. 振动信号分析界面

LabVIEW 是一种方便快捷的开发语言，力学组的研究人员一部分工作必须深入结合采集系统。使用 LabVIEW，不需要无需高级软件技巧，即可在任何时刻做对系统任意的修改。系统的管理软件提供了非常灵活、便捷界面，从底层配置到常规控制。经过长时间运行，证明系统稳定可靠。最后，作者致谢米兰市政府、国际和米兰足球协会的支持。

LabVIEW 用于监测欧洲最高的中世纪钟楼

作者: Giovanni Moschioni - Politecnico di Milano

挑战

针对砖石结构的大型钟楼，开发一套用于长期动态、静态性能监测的复杂系统。

产品

Compact FieldPoint, LabVIEW, FieldPoint,

“我们通过 LabVIEW 及美国国家仪器公司的硬件实现了测量目标，软硬件的可升级性节省了大量开发时间。”

报告

意大利的科雷莫纳省以斯特拉迪瓦里琴而闻名，米兰理工大学在该省的标志建筑 Torrazzo 大教堂钟楼上进行了一项长期研究。这座古老建筑可以追溯到 13 世纪末，Torrazzo 钟楼高 112 米（367 英尺），是欧洲最高的砖石结构钟楼。钟楼的外墙上已出现多处损坏迹象，如贯穿的裂纹及表面劣化，因此需要通过现场研究来了解钟楼在风力及温度梯度等影响下的动态和静态性能。研究中采用基于 PC 的系统进行连续测量及在线分析，并监测慢速信号（如墙体和空气温度、裂纹等）及快速信号（如振动、风速及风向）。

测量及传感

静态测量主要针对钟楼裂纹，这些裂纹和热效应在一天内（太阳辐射）及一年内（季节更替）的变化有很大相关。空气及墙体温度由 40 个 RTD（Pt100）测量，裂纹通过 16 个 LVDT 测量。研究组在钟楼的各部位安装传感器。慢速测量的主要目的在于研究裂纹是以年为周期按照闭合循环的方式产生，还是随着时间推移越来越大。动态测量（钟楼的固有振动及其与风力或钟摆间的关系）相对来说较复杂。研究组需要给出直接信息及诊断信息。直接信息有助于理解风力、钟摆及其它动态激励是否可能对钟楼结构造成损坏。期间，数据可用于校正钟楼结构的有限元模型。一旦获取直接信息，便可用于诊断：如果信息出现变化，如某标准位置的固有频度异常，就可作为钟楼结构发生变化的一种信号。

简而言之，完成研究的第一部分后就能了解钟楼的“主旋律”，在接下来的几年中，只需“聆听”旋律的变化就能了解哪里出了问题。

动态信号来自于安装在不同位置及轴线的九个伺服加速度计，可测量钟楼的弯曲及扭转。在接近钟楼顶部（85 m）的四边安装了四台风杯风速仪及四台风向标，用于测量建筑承受风力的瞬时速度及方向。采用多台风速仪可降低钟楼结构堵塞效应对风力测量的影响。同时进行采集的还有 LVDT 测量的裂纹动态信号。最低的传感

解决方案

设计基于 LabVIEW 控制的混合系统，并通过调制解调器实现远程监测。系统采用 DAQ 卡进行振动的高频测量，采用 Fieldpoint 网络进行裂纹的低频测量。

器安装在钟楼地基附近（约 15 米），而最高的安装在 100 米。

采集及分析系统

调查中的一大挑战在于设计测量及数据采集系统，当然还有以下需求：

- 考虑到经济原因及测量可靠性，信号及供给电缆要尽可能短；
- 所有信号都需要一个较好的参考基准，用以避免接地回路；
- 考虑到可能存在的组件失效，或测量中需要添加新的传感器，系统必须是灵活、可升级的；
- 足够大的数据量以正确、详细地描述钟楼性能，但又不能有过大冗余，或过分消耗存储容量（以及操作人员的耐心）；
- 可通过调制解调器在任何位置控制系统。

最终的选择是将慢速测量及动态测量分离开，例如加速度计以 100 S/s 采集信号；对于 RTD 来说 10 分钟的采样时间就足够了。此外“动态”传感器在某些位置上安装得很靠近，而温度及裂纹传感器分散安装在钟楼的各个角落。

动态采集及分析

对于长时间的无人测量（如本研究中，对可能发生的现象及信号幅度缺乏了解，或仅知道振幅会时而极高时而极低），这种情况下就要求系统能同时在大信号时提供大测量范围，在小信号时提供高分辨率。因此实际应用中选择了 16 位 NI PCI-6031 E 来进行动态信号采集。正如之前所述，完整了解钟楼性能是最基本的目标，但避免数据溢出也同样重要。

因此采用 LabVIEW 编写的软件以 10 分钟为基准连续采集数据（连续扫描），并仅在不出现数据溢出的情况下才将其存储到磁盘中，否则仅存储所有通道的统计数据（如均值、RMS 等）。举例来说，用户可决定仅存储 10 个文件，限定风力方向 0-10°、风速 5-10 m/s。当出现上述环境时，程序将波形数据写入磁盘，直至写满 10 个文件，此后将仅保存统计数据。该过程针对所有风向及风速重复进行。

按照此方法仅需数月就可采集到所有 360° 方向、风速达 27 m/s 的风力情况，可用于完整的动态分析。同时，测量还记录了整个阶段的均值数据。

在如此高通道数的测量中采用连续扫描，对同步性要求很高，但这种方法可以在确定的风力环境下采集 20 小时的连续波形，对于谱分析来说是极其高的频率分辨率。(0-50 Hz 带宽下达 10⁻³ Hz 分辨率)。

采用通用程序或专用 LabVIEW 程序，可直接对存储数据进行现场分析或实验室分析。

静态采集及分析

静态测量中的采样频率及数据量已不再是关键问题。另一方面，高通道数及钟楼内传感器的分布要求 FieldPoint 网络能与位于 35 m 高的房间中的 PC 连接。网络由两块 FP1001 网络模块组成，分别安装于 25 米与 75 米的高度，通过 PCI 485/2 板与 PC 进行通信。网络模块控制 LVDT 及 RTD 信号的模拟输入模块。方案允许信号与采集调理端有短电缆连接，仅可用两根串口线（分别来自塔顶与塔底），不允许在每个传感器与 DAQ 板之间连线。LabVIEW 程序控制 FieldPoint 网络，将采集数据送入专用 PC，该 PC 独立与“动态”PC 组建成以太网。

结论

类似 Torrazzo 的测量应用需要在不利且嘈杂的环境中进行，并存在后勤问题，需使用种类繁多的传感器，所以要求采集系统可靠、易用，针对测量量身定做，同时成本尽可能低。我们通过 LabVIEW 及美国国家仪器公司的硬件实现了测量目标(尽管研究小组由仅有一点编程背景的机械及建筑工程师组成)，软硬件（重用了许多已有且经过调试的代码）的可升级性节省了大量开发时间。很难估计与购买商业系统相比所省下的资金投入，但如果未采用 LabVIEW，不可能设计出准确满足测量需求的系统。

借助 LabVIEW 和 PXI 为拉姆西斯二世雕像重新定址

作者: Tamer Elnady - Ain Shams 大学声音及振动实验室

挑战

将 83 吨的珍贵雕像移动 35 公里, 且不能造成不必要的损坏。

产品

PXI/CompactPCI

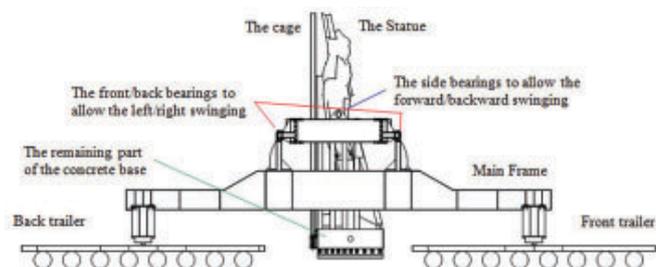
LabVIEW

“LabVIEW 编程环境的灵活性及 PXI 系统的坚固性为雕像的安全运输提供了理想的解决方案。”

1882 年在埃及的 Ptath 神庙中发现了巨大的拉姆西斯二世法老的雕像。花岗岩雕像重达 83 吨, 被发现时共分为 6 部分, 高达 12 米。当时重新树立雕像的尝试失败了多次, 直至 1955 年才成功将它定址在开罗的



2005 年的拉姆西斯广场



运输过程的结构图

解决方案

采用 LabVIEW 及 PXI 开发高敏感度的振动监测系统, 用于雕像的危险状态指示。

Bab Al-Hadid, 此后该地被命名为拉姆西斯广场。对当时来说, 这是个理想的选址, 雕像周围绿树环抱, 并且靠近一个非常著名的喷泉。然而, 近年来城市繁重的交通污染及地铁的振动不断危及着雕像。为了保护雕像不受此类侵害, 政府决定将其重新定址在规划中的埃及博物馆, 预计将在 2011 年开放。

当考古学家及政府作出雕像搬迁的决定后, 就不得不开始面对工程实现中的挑战。Ain Shams 大学经过研究提出了零风险过程的方法。雕像的周围将架起保护栏, 并与混凝土基座固定, 这样就可以将雕像抬起。保护栏上的四个球型轴承提供了足够的自由度, 即使在倾斜的路面上也能让雕像保持垂直(作用类似于陀螺)。运输装置的主体框架安装在两辆拖车上, 每辆有 64 个车轮。由于此方法为初次尝试, 并考虑到雕像的历史意义重大, 工程中建造了一座雕像复制品用于模拟运输。

连接雕像六部分的钢杆状况很令人堪忧, 因为连接处的重量承受能力可能随时间而衰退。为保证整个运输过程中不会对雕像产生损害, 我们决定对振动进行测量, 以监测雕像可能受到的极端冲击力。整个运输过程中有三个阶段需要进行振动测量。第一阶段是在雕像周围施工搭建运输设备时, 需要在地面上挖掘并建造混凝土支撑柱为运输设备修建起支撑平台, 并在雕像原有的混凝土地基上钻洞, 这也是最危险的过程; 第二阶段是在运输雕像复制品时, 要求确保振动不会对雕像造成损害; 第三阶段则是在运输原始雕像时。在所有的阶段中, 运输设备上安装有在线监测系统, 用于连续地监测振动信号, 任何非正常观测测量都将作为运输过程的停止指示信号。

美国国家仪器 PXI 测量系统被用于采集运输各阶段中不同的加速度传感器的测量输出数据。选择 PXI 系统是由于其高通道数及可通过 LabVIEW 进行测量编程的多功能性, 同时其坚固的设计适合在苛刻的环境中应用。当某加速度计的输出值超过了编程设定值时, 控制程序将发出警报汽笛。

在准备阶段的振动监测时, 我们在雕像边安置了用以保护 PXI 系统的木质保护盒。在运输复制品及原始雕像的过程中, PXI 系统被安装在前端十字梁上, 发电机被安装在后端十字梁上, 用于对系统供电。运输工程中无法由运输人员进行振动信号监测, 所以我们准备了两套与 PXI 系统远程通信的方法。第一种方法是采用无线网络; 第二种方法是由一位成员坐在紧随运输队后的汽车上, 通过笔记本电脑来获取数据并进行监测。

在场地的准备阶段，对雕像进行实时测量是非常关键的。在整个准备过程中，我们都需要对雕像振动进行每天24小时，每周七天的连续监测，并持续数月。一旦振动程度超过了警报值，将停止工程，并对其原因进行调查。多数警报发生在对雕像混凝土底座直接钻挖的过程中。

而在雕像运输阶段，测量的目的在于监测运输活动中雕像所受到的振动。这项工作将进行两次，分别在运输雕像复制品与运输原始雕像时。我们努力在两次运输中维持相同测量点。

在完成警报值设定后，将在工程过程中连续地测量振动信号。其间可能出现几次峰值及数次警报，但多数时间的振动值是可接受的。发生警报时将停止工程，并针对警报的可能原因进行讨论，以期在之后的工程中解决并避免再发生。

在对雕像复制品运输过程中的振动测量表明，建议的运输方法是可行的。通过振动测量所得到的结论很重要，它有助于承包商进一步开展项目，并将原始雕像在运输中的测量值与警报值进行比较。

雕像重新定址的过程被认为是现代历史上的一大工程成就，各个不同领域的工程师及专家都参与到了其中。在此关键工程中进行振动测量是非常重要的。测量的主要目的在于保障雕像的安全性，承包商的任何处理都不允许损害雕像，至少不能将其打碎。这就需要在场地准备阶段、混凝土复制品的移动阶段、及原始雕像的移动阶段进行测量。LabVIEW 编程环境的灵活性及 PXI 系统的坚固性为雕像的安全运输提供了理想的解决方案。

LabVIEW 精确测量欧洲英吉利海峡隧道基础设施的状况

作者: Veronique Newland - New Vision Technologies Inc. 新视觉技术有限公司
Gerard Delacre - Eurotunnel 欧洲隧道公司

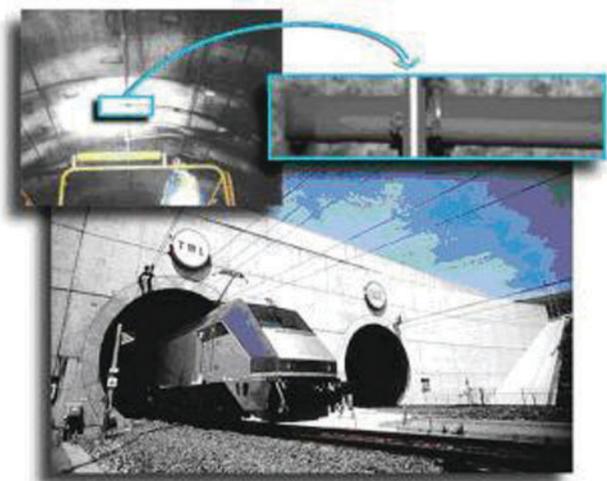
挑战

在不中断交通的情况下测量英吉利海峡隧道内部通信电缆的磨损状况。

产品

LabVIEW 视觉模块与 LabVIEW

“欧洲隧道公司定期进行维护工作以确保铁路系统的安全性。利用该系统，我们的工程师们可以方便、有效地测量通信电缆的位置与磨损，以便检测与修复任何可能导致线缆断裂或故障的异常错位或损坏。”



NI 公司的 LabVIEW 与视觉模块用于测量欧洲英吉利海峡隧道中超过 100 公里长的电缆的磨损状况。

欧洲英吉利海峡隧道是 50 公里长的双轨铁路隧道，它贯穿于英吉利海峡的多佛海峡底部，连接英国肯特郡的福克斯通和法国北部靠近加莱市的科盖尔。它是世界上最长的海底铁路隧道。欧洲隧道公司自 1994 年开始运营与维护该隧道，英法政府已经特许我们运营欧洲隧道直至 2086 年。

无需中断运营即可进行测量

仅在 2004 年，欧洲隧道就运载超过 1.6 千万名乘客。我们需要一种方法能够在不中断隧道交通的情况下测量隧道内 100 公里长的通信电缆上的磨损情况，该方法还需要同时测量电缆上接触磨损的位置、高度和宽度。我们利用 NI 公司的 LabVIEW、NI 视觉开发模块和 NI CVS-1454 紧凑视觉系统，以及一个高速 IEEE 1394 (火线®) 摄像头，解决了这两个挑战。我们选择紧凑视觉系统以及 NI LabVIEW 和 NI 视觉开发模块，以实现嵌入式视觉系统的强大功能

解决方案

利用 NI LabVIEW、NI 视觉开发模块与 NI 紧凑视觉系统，设计一个能够快速进行精确光测量的嵌入式成像方法，而无需中断服务。

和可靠性，并与 LabVIEW 的灵活性相整合。

捕获图像

利用一个金属卤化物高亮度光源照射通信电缆，使得线缆上任何磨损区域能够在黑暗的背景下自行发亮。通过一个具有 IEEE 1394 输出的 CMOS 单色区域扫描摄像头捕获这些图像，该摄像头每秒可以采集高达 500 帧 640x100 像素格式的图像。然后，CVS-1454 紧凑视觉系统抓取这些图像帧，并利用 NI 视觉开发模块处理这些图像，进而我们可以通过给图像帧中通信电缆取阈值的方法确定磨损区域的宽度。

640 毫米宽的视野 (FOV) 覆盖了线缆的最大偏离距离，而 100 毫米的 FOV 高度也足以测量线缆的整体磨损。我们可以每秒测量 100 次线缆的宽度和位置，数据以每 50 毫米的间隔存储于监控 PC。为了避免光强的变化，阈值水平随图像中线缆的位置而调整。

我们所面临的最具有挑战性的障碍之一是，所开发的视觉系统需要能够在非常短的时间内在隧道内、列车间进行安装与配置。

利用 LabVIEW 与 NI 视觉开发模块，我们的工程师们可以在一个基于 PC 的 Windows 平台上，利用先前在隧道内记录的图像库开发与测试该处理软件。同样的代码可以方便地再迁移至紧凑视觉系统。

LabVIEW 与视觉开发模块也使得紧凑视觉系统上的图像处理软件的更新非常方便。例如，可以非常方便地增加图像录入以记录线缆上的特别的故障或异常。而且，模块化硬件与软件的方式意味着，我们可以在未来添加额外的紧凑视觉系统，以测量和检视基础设施中的其他要素，如滴水点、铁路系统和轨道外形。

欧洲隧道公司定期进行维护工作以确保铁路系统的安全性。利用该系统，我们的工程师们可以方便、有效地测量通信电缆的位置与磨损，以便检测与修复任何可能导致线缆断裂或故障的异常错位或损坏。

如欲了解更多信息，敬请接洽：

Gerard Delacre，欧洲隧道公司

E-mail: gerard.delacre@eurotunnel.com

电子邮件: gerard.delacre@eurotunnel.com

基于 NI 数采模块的测井数据采集控制系统设计

贾宏宇 - 大庆油田测试技术服务分公司

挑战

使用标准工业数据采集产品设计并开发石油测井行业特有的以等深度（位移）间隔触发和控制为核心的对直流信号、脉冲信号、数字信号等多种信号进行同步、高速和实时数据采集与控制的测井数据采集和控制系统。

产品

PCI-6070E	PCI-6024E
PCI-6534	PCI-6533
PCI-6602	PCI-6601
Measurement Studio 6.0	数据采集

“我们仅用了 3 个月的时间就完成了过去需要 2 年以上的系统核心设计，并在业界首次实现了全部基于标准工业数据采集产品的测井数据采集控制系统设计，同时使系统在采样精度，深度控制，采集速度等主要技术指标上得到了全面的大幅度的提升。”

测井数据采集控制系统是用于对各种置于地层中的井下仪器产生的信号进行采集、处理并对井下仪器进行控制的油田基础测控设备。由于专业性极强，以往系统中的数据采集及控制单元通常是以自我设计为主，因此导致系统的开发周期长、成本高、稳定性较差。现在，我们硬件使用 National Instruments 公司的数据采集卡，软件使用 VC++ 结合 Measurement Studio 软件包，实现了测井数据采集和控制单元的基于标准工业数据采集产品的设计与开发，大幅度的降低了系统的开发和维护成本，缩短了系统的开发周期，提高了系统的稳定性和可靠性。目前这套系统已制造 20 余套，成功应用于全国各大油田，取得了可观的经济效益。

系统原理

测井数据采集控制系统主要由工控机、NI 通用数据采集卡、信号调理模块、绘图仪、综合控制箱、直流电源、交流电源、UPS 电源、示波器等构成。系统原理框图如图 1。

主机 1 主要用于系统的数据采集、处理和控制在。绘图仪用于测井曲线实时出图。深度信号调理模块对光电编码器信号及其它井口信号进行调理，并控制深度显示；数字信号调理模块用于配接各类编码（例如，曼彻斯特编码）传输的井下仪器，如双源距 C/O 能谱测井仪、脉冲中子氧化化测井仪等；脉冲信号调理模块主要配接采用脉冲、周期信号传输的井下仪器以及各种脉冲编码类型的仪器。如：井壁超声成像测井仪等；直流信号调理模块主要配接采用直流量、低频模拟信号传输的井下仪器。直流电源为井下仪器提供直流供电、交流电源为井下仪器提供交流、泵、阀、继电器和释放器的供

解决方案

深度开发 NI PCI-6602，产生控制系统采集的等距和定时触发信号，并实现系统深度的高精度测量；充分开发和利用 NI 数据采集卡的 RTSI 功能并结合其 DMA 传输模式，实现 Windows 环境下的直流、脉冲、数字信号的高速、实时、同步采集和处理。

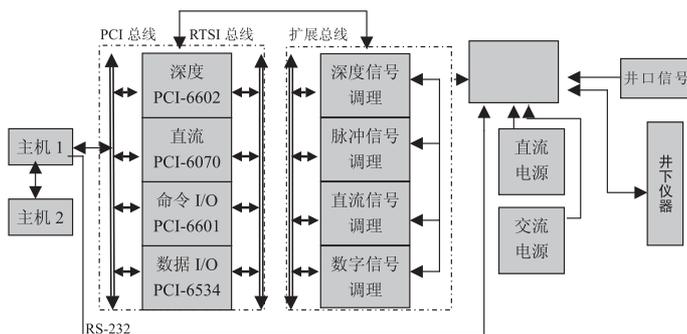


图 1 系统原理图

电。综合控制箱负责完成缆芯切换、供电控制。UPS 电源用以保证在停电或外部供电不正常时，维持一段时间的供电，以免测井数据因得不到及时存储而丢失。以上各单元统一安装到两组 19 英寸标准机柜中。关于信号的流程，从图 1 中可以看出。我们把进入数据采集控制系统的信号归结为两类：井口信号和井下信号。井口信号来自井口和电缆绞车，它包括电缆张力信号、电缆磁记号和深度系统的光电编码信号。井下信号是指来自井下仪器的信号。来自井下仪器的感应型或脉冲型信号、深度系统的两路光电编码信号、井口的张力信号及电缆磁记号，通过电缆线进入采集箱内的深度调理模块、脉冲信号调理模块或直流信号调理模块，经过调理后，输出到 NI 数据采集卡。井下仪器编码信号经过综合控制电路的分离及预处理后通过电缆线进入到数字信号调理模块，进行信号调理、解码。解码后的信号同样输出到 NI 数据采集卡。NI 数据采集卡控制数据采集的方式、采样的间隔，同时实现对脉冲信号、直流信号和数字信号的实时采集，采集到的数据以 DMA 方式传给主机内的数据缓冲区，由系统软件按不同的采样方式控制数据的显示、处理、打印和存盘。

数据采集方案设计

测井数据采集控制系统设计的核心是其数据采集方案设计。数据采集方案设计主要由系统深度数据采集和深度中断管理方案设计；多路复合信号实时同步采集方案设计；复杂编码格式数字信号高速传输与采集模式设计；直流信号高精度采集方案设计；系统状态及井下仪器控制方案设计等构成。由于专业性极强，以往系统中的数据采集及控制单元通常是以自我设计为主，因此系统的开发周期长、成本高、而且稳定性较差，并经常导致使用过程中，系统死机、深

度测量不准等问题的出现,使系统的维护成本成倍增长,同时由于技术水平的限制,自己开发的系统只能配接一些信号类型简单和传输速率低的井下仪器,不具备多路信号实时同步采集以及高速传输的数字信号采集和处理能力。为了克服现有系统的缺陷,我们在充分调研和试用各大公司的数据采集产品的基础上,选择了NI公司生产的系列数据采集卡和Measurement Studio软件开发包,经过对NI各个采集卡的仔细研究和深度开发,我们仅用了3个月的时间就完成了过去需要2年以上的系统核心设计,并在业界首次实现了全部基于标准工业数据采集产品的测井数据采集控制系统设计,同时使系统在采样精度,深度控制,采集速度等主要技术指标上得到了全面的大幅度的提升。

(1) 系统深度数据采集和深度中断管理方案设计:

系统深度模块是该系统中行业性最强的一个模块,它需要对正交光电编码器信号进行测量,得到系统当前的深度数据,同时它还要根据当前的深度数据生成用于同步各信号采集的深度等距触发信号。例如,在光电编码器顺时针转动时,每隔固定位移间隔(例如5 cm)产生一个触发信号,这个触发信号通知系统对所有测量信号进行采集,如果系统光电编码器突然反方向转动,则不产生触发信号,系统不做任何采集,从而使系统只按照单方向等位移的状态采集数据。此外,该模块还要具备对正交光电编码信号防抖动,防滑动处理的功能。在系统开发过程中,我们发现NI PCI-660X系列产品的用户手册上没有实现该工作模式的基本功能。为了实现该功能,我们经过深入研究和开发,通过利用PCI-6602处理光电编码器信号的计数器通道所能生成的某种特殊状态信号,同时结合其它计数器通道的脉冲生成功能,最终生成了我们所需要的连续的深度等距触发信号。在最终的产品设计中我们利用PCI-6602的5个计数器通道通过程序初始化控制实现了这个功能。这是我们首次通过使用标准工业数据采集卡实现深度数据的精确读取和触发信号的定距输出,它为整个系统得成功研制奠定了坚实的基础。

(2) 多路复合信号实时同步采集方案设计:

测井数据采集系统通常需要根据定距或定时触发信号对多路直流信号、脉冲信号和数字信号进行实时同步测量。这就需要系统保证对多个采集卡间以及同一采集卡内部的多个测量通道间的数据采集的同一性和实时性,否则得到的数据就不能反映井下仪器在地层中真实状况。我们采用具有RTSI(实时同步接口)总线的NI 6070E或NI6024E用于直流信号的测量,PCI-6602或PCI-6601用于脉冲信号和深度信号的测量,PCI-6534或PCI-6533用于数字信号的测量。系统中任何一块卡都可以根据工作模式的不同作为主卡来生成同步触发信号或用作从卡来接收同步触发信号。我们把主卡产生的同步触发信号加载到RTSI总线上,由RTSI来同步其它从卡上的各个测量通道的数据采集,各块采集卡采集到的数据都以DMA方式传给主机内各自的数据缓冲区。由于整个触发和采集过程都是

由系统硬件独立控制完成的,使得各个测量通道的采集延时可以控制在纳秒级。所有采集卡都采用DMA模式传输数据,这与以往系统多采用中断模式相比,极大的提高了系统工作效率。

通过RTSI总线我们把原来需要通过系统软件轮询依次读取各通道数据的工作方式转变成通过初始化各个采集卡的工作状态,然后由各采集卡(即系统硬件)的RTSI来控制采集的同步。这种工作方式的转变,不但降低了系统负荷,而且使系统测量的同步性和实时性得到了显著提高。这也是我们选用NI公司数据采集卡来实现系统数据采集的一个重要原因。

(3) 复杂编码格式数字信号高速传输与采集模式设计:

由于测井仪器种类繁多,一个设计合理的测井系统,必须考虑能与不同编码格式的井下仪器配接使用。由于PCI-6534通常情况下具有40MS/s的采样率,我们在系统设计中,充分开发PCI-6534的Pattern I/O功能,实现了复杂高速传输的信号的采集和解码,同时根据井下仪器的特点,可以把调理模块触发PCI-6534的信号加载到RTSI总线上,以同步系统深度和其它数据的采集,也可以通过RTSI总线把定距或定时触发信号加载到PCI-6534上,以控制数字信号的采集模式。PCI-6534与系统前端数字信号调理模块配合使用,使系统具备了配接各种传输速率高、编码协议复杂的测井井下仪器的能力。

(4) 直流信号高精度采集方案设计:

有些测井仪器上传的信号中,既有直流量也有脉冲量还有数字量,而且其直流量的采样频率一般要求达到1MS/s。采集系统除了要完成井下仪器直流信号的高速采集外还要以定时或定距的模式和较低的采样率采集其它直流信号和脉冲信号。我们在设计中,通过对NI 6070E、PCI-6024E、PCI-6602、PCI-6534这四块卡综合编程控制,采用多通道多次复合同步触发技术,同时充分开发PCI-6534的数字信号模式触

发控制技术,实现了定时或定距触发条件下以高采样率采集井下仪器的直流信号,同时以低采样率采集井下仪器的脉冲信号、井口的直流信号和数字信号的工作模式。这是整个测井数据采集系统设计的难点。

(5) 系统状态及井下仪器控制方案设计:

在系统调理模块和井下仪器状态控制设计中,我们选用PCI-6601,利用它的Digital I/O功能,建立起了一套控制能力强大的32位命令输出体系。选用PCI-6601,主要是为了降低系统的总成本,根据需要也可以选择专门的数字I/O卡,或其它多功能卡。

系统软件设计

测井数据采集控制系统软件主要由现场测控及数据采集软件和测后

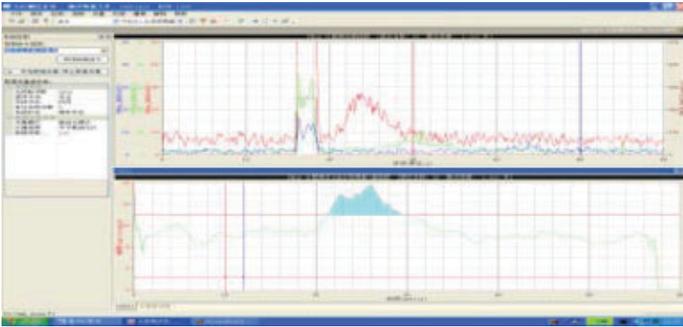


图2 脉冲中子氧活化测井及解释软件界面

数据分析处理软件构成, 在软件开发上, 我们选择使用VC++ 与NI 公司 Measurement Studio 软件包相结合的开发方式, 用VC++ 开发与操作系统底层相关的程序和曲线打印输出程序, 使用 Measurement Studio和CVI提供的类库开发与数据实时采集和曲线显示相关的程序。这种开发方案不但可以对操作系统进行灵活的控制而且充分利用了NI 公司提供的开发工具, 从而极大的缩短了系统软件的开发时间。我们仅用了三个月的时间就完成了系统软件的设计, 开发和测试工作。图2为系统软件中的脉冲中子氧活化测井及解释软件序界面。图3为系统软件总体框图。

结论

我们使用NI 公司的数据采集卡和软件开发工具实现了测井数据采集控制系统的基于标准工业数据采集产品的设计与开发。大幅度地降低了系统的开发和维护成本, 缩短了系统的开发周期, 提高了系统的稳定性和可靠性。此外, 我们可以根据用户的需要对系统数据采集卡进行多种组合或把系统更新为PXI 总线系统, 实现功能各有侧重的测井数据采集控制系统。目前这套系统已生产20余套, 成功应用于大庆油田和全国其它油田, 取得了可观的经济效益, 具有相当广阔的应用前景。

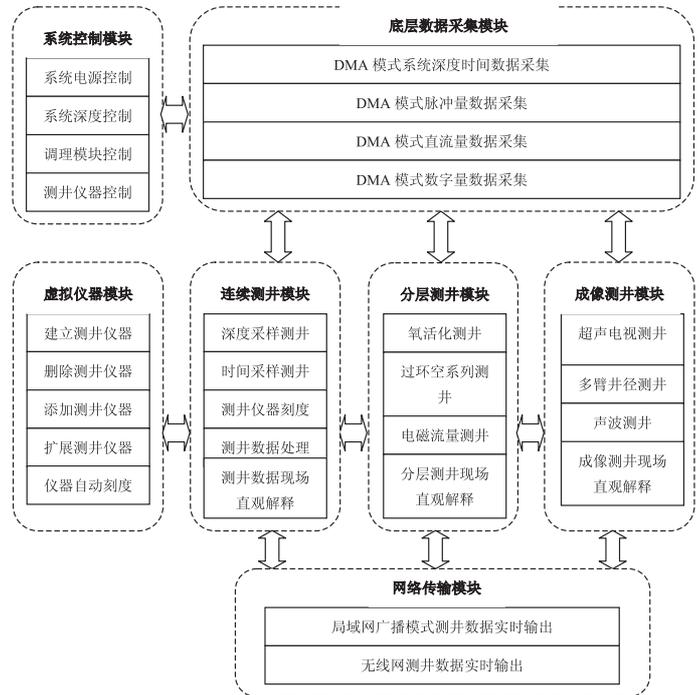


图3 系统软件总体框图

基于 LabVIEW 的数字化大坝监测管理系统

李亚伟 - 大连理工大学土木水利学院

李亚奎 - 武汉理工大学自动化学院

挑战

利用 NI 公司的软硬件产品设计一个高度智能化的水库大坝监测管理系统, 由它来完成对水库、大坝全方位的准确、及时的监测, 改变传统的监测管理模式, 实现对大坝监测的高度数字化的管理。

产品:

LabVIEW 6i	分布式 I/O 系统 (CFP-2020、
PXI-1006	cFP-TC-120、cFP-AI-110、
PXI-8211	DI-301、cFP-BP-4、CB-37FV
NI 4351	和带电缆 DIN 螺丝导轨)
嵌入式实时 PXI 控制器 PXI-8146 RT 等	

“原有的监测系统无论是在使用还是在维护方面与该基于 LabVIEW 的数字化水坝监测管理系统都有较大差距, 并且数字化大坝监测管理该系统在建设费用上只有原系统的 2/3, 操作简便, 扩展方便, 通用性强, 管理人员对此评价较高。”

当前, 水资源在全球资源结构中的重要地位日益突现, 水库大坝的安全监测和稳定运行显得更加关键。随着计算机和网络技术的飞速发展, 以及 NI 的产品在数据采集、分析和仪器控制等方面的优秀表现, 使建立数字化大坝监测管理系统成为可能。本文采用 NI 的 LabVIEW、分布式 I/O 产品 (Compact FieldPoint) 等构建集变形、应力和沉降监测、安全评估等多方位的分布式数字化大坝监测管理系统, 充分发挥 LabVIEW 强大的人机交互功能。实现监测大坝的应力变化以及三维变形, 根据应力变化以及变形情况预测未来趋势, 对大坝的安全进行评估。具有实用性强、性能稳定、运行可靠的优点, 可以有效的改变当前传统的监测管理模式, 加速水资源管理的信息化步伐。

当前我国绝大多数的水库运行管理中, 依然采用传统的监测设备与管理模式, 其缺点日益暴露: 设备成本居高不下, 维护难度大, 设备通用性差。本文建立了数字化大坝监测管理系统能对水库大坝进行实时地监测管理, 通过对监测数据采集、分析、处理、查询, 掌握水库大坝的实时运行状况, 及时发现异常情况并采取措施。此外监测管理系统具有广泛的适应性、较强的通用性、运行可靠、维护简便、建设费用合理, 可从根本上改变传统的监测管理模式。本系统监测设备主要由美国国家仪器的嵌入式实时 PXI 控制器、分布式 I/O 系统配合高精度的光纤传感器等一系列国际上广泛采用的精密传感器件经过优化组网构成, 监控软件由 NI 的 LabVIEW 6i 生成, 其人机交互功能强大。

解决方案

应用美国 NI 公司的虚拟仪器技术, 采用 PXI 系统, 以 LabVIEW 6i 为开发平台, 建立起了功能强大的水库、大坝监测管理系统。

监测管理模式的选择

目前, 国内外多数监测系统采用集中控制模式和分布式控制模式两种, 也有一部分系统是二者兼有的混合型。

集中控制模式的监测系统主要是由工业计算机作为中央控制装置配合监测设备共同组成。它可以实现对被测对象的数据采集、分析、处理、数据存储、显示、超限报警等功能, 这些功能一般集中于一个庞大的一体化的监控设备之中。但是集中控制模式的监测系统有其固有的缺陷: 系统软件开发难度大, 人机交互功能不强, 通用性差, 硬件设备故障集中, 随监测对象的增加系统处理速度急剧下降, 传感器输出的模拟信号易受噪声的干扰。对于像水库大坝等这样的大型监控系统, 监测对象众多, 形式多样, 用集中控制模式的系统在国内外成功的案例较少, 因而不适应于开发数字化水坝监测管理系统。

分布式控制系统由集中操作管理单元、分布的测控单元和通信网络构成。它是在网络技术、大规模集成电路和嵌入式技术的基础上发展起来的, 其主要特点有: 可将复杂的系统分解为相对简单的独立模块, 系统层次清晰。本系统在建设初期对监测系统进行分解时采用了优化的遗传算法, 对整个系统进行了优化分解, 监测任务合理分配, 有效的提高了系统的运行速度, 数据采集由分布在监测现场附近的高精度传感元件配合智能节点 (本文使用美国国家仪器的 Compact FieldPoint CFP-2020 等) 来承担, 有效的提高了测量精度。

数字化大坝监测管理系统涉及各智能节点 (CFP-2020 与多个智能化的 I/O 模块组成) 与上位机 (嵌入式实时 PXI 控制器 PXI-8146 RT、PXI-1006、PXI-8211、NI 4351 等组成) 之间的数字信号通讯采用以太网传输, 抗干扰能力强, 各通讯接口的硬件 (物理层) 和软件 (通讯协议) 都采用 NI 的产品, 消除了兼容性的问题, 各种硬件执行标准统一, 信号传输可靠, 单个故障不会严重影响系统正常运行, 并且容易维护, 另外, 本文涉及的监测管理系统适应能力强, 可根据现场的要求, 灵活配置各智能节点的位置与数量, 中央控制单元只需要对各个智能节点传来的数据进行接受和处理即可, 有效的减轻了主机的负担。总之, 分散式的监测控制模式以后必将会成为水利工程的一个最佳选择。

数字化水坝监测管理系统的主体构成

监测管理系统的网络结构合理、层次简明是十分重要的，如图1所示，在数字化水坝监测管理系统分为三个子系统，即水力学监测子系统，动力学监测子系统，安全监测子系统，对于某些重要的监测对象（如位移、渗流、应力应变异常、渗压等信息），本系统采用专项监测，便于监测系统迅速地反映水库运行中出现异常时的信息，有利于及时采取措施。

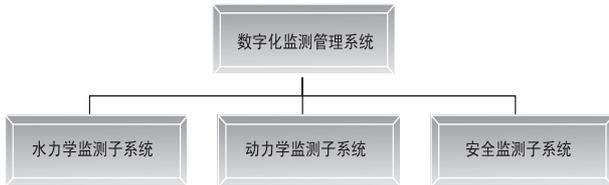


图1 数字化水坝监测管理系统主要组成

大坝变形监测网络的构建

为实现大坝的数字化监测与管理，我们抛弃传统的监测检测方式，采用美国国家仪器的分布式I/O系统（CFP-2020、cFP-TC-120、cFP-AI-110、DI-301、cFP-BP-4、CB-37FV和带电缆DIN螺丝导轨）配合光纤传感器实现高精度快速的监测，图2、图3、图4分别描述了数字化水坝坝体变形监测网络的架构图。

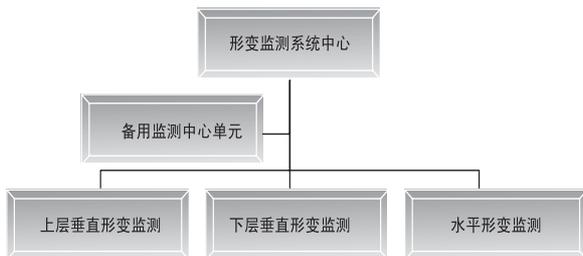


图2 数字化水坝坝体形变监测网络框图

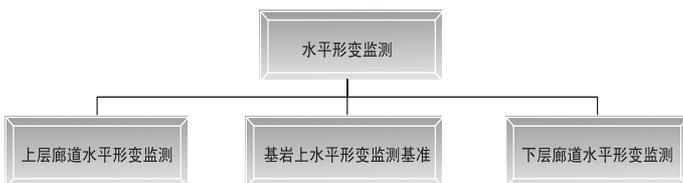


图3 数字化水坝坝体水平形变监测组成

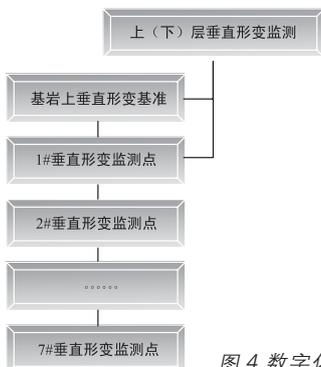


图4 数字化水坝坝体垂直形变监测组成

大坝形变监测采用阵列式光纤和高精度应力应变传感器，配合分布式I/O系统，组建分布式光纤传感器模块；同时智能化的I/O模块cFP-TC-120、cFP-AI-110的高精度低噪声的特点保证了系统的监测精度；智能型以太网控制器CFP-2020位系统提供了强大的网络交换功能，保证了数据存储的安全性。在变形监测网中基准网的构建由建立在基岩上的监测点组成，用于测量变形体上目标点的“绝对”变形。基准网的精度直接影响着对大坝变形监测的实时性和准确性，为保证监测的实时性和准确性NI的分布式I/O系统毫无疑问的成为我们的最佳选择。为形象地反映大坝实际形变，在监测网络构造时采用了多路分布式I/O分别对大坝的多层水平形变和多点垂直形变进行实时监控，并根据大坝混凝土和基岩特性，编制相应的有限元程序，根据程序处理结果，链接模型库，并构建大坝三维监测模型，从而给决策者提供快捷、有效的决策信息。

数据库与模型库的组建

数据库与模型库的建设直接关系到系统运行的可靠性与稳定性，该监测管理系统的数据库与模型库由各级洪水预报调度、水情自动遥测、气象自动采集、水库日常调度、雨水情自动采集、历史数据管理与查询、水库数字三维模型、大坝安全监测数据采集与数据综合分析系统共同提供支持。其承担各智能节点传输的监测数据的记录，同时为管理人员提供各种数据查询、信息综合分析以及水坝运行三维数字模型的构建等重要任务。我们采用双闭环的网络，并配合智能型以太网控制器CFP-2020（配有大容量的存储器）为系统稳定运行提供双重保证。

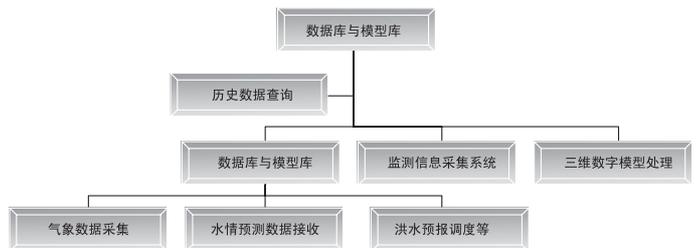


图5 数字化水坝数据库系统与模型系统

其它子系统的构建同样以提高监测精度以及系统运行可靠性，节约系统建设费用，易操作与维护简便为目标，与大坝形变监测网的建设思想基本相同。

数字化大坝监测管理系统的各个监测工作站采用普通PC机以太网的组网方式或无线连接的方式连接在监测网络中，这些监测工作站广泛的分布在政府、大坝安全技术监督机构、流域管理部门和大坝安全监测现场，为各级部门和机构实时地提供监测信息，为大坝的安全运行提供有力的决策依据。



图6 数字化水坝监测管理系统的监测界面
(图上显示了在2004年5月11日的一次监测时安全监测子系统的检测结果)

系统测试与实际应用

为了验证此数字化大坝监测管理系统的实际运行状况,对某水电站大坝进行了局部测试,系统在测试过程中表现出令人满意的效果,图6显示了测试中一个监控站上的实际信息,此次测试整个系统共运行了5天,并与水坝内原有的监测系统进行了对比,这套基于LabVIEW和NI的Compact FieldPoint表现出明显的优势,原有的监测系统无论是在使用还是在维护方面与该基于LabVIEW的数字化水坝监测管理系统都有较大差距,并且数字化大坝监测管理系统在建设费用上只有原系统的2/3,操作简便,扩展方便,通用性强,管理人员对此评价较高。

结论

基于LabVIEW的数字化大坝监测管理系统中重点研究了系统结构层次的构建、网络结构模式的优化和数据管理系统总体结构的建立,采用系统分析、功能对比等方法,其突出的优点在于:①监控模式采用分布式控制;②各监控系统采用简洁的总线形网络结构;③在分布式控制系统中,采用NI的具有独立功能的智能化节点;④数据库系统采用分级管理模式;⑤系统结构具有开放性、可扩充性;⑥具有强大的人机交互界面,维护简便;⑦从系统的稳定性和建设费用等多方面综合考虑,系统适当的加入冗余设计,有效的保证了系统的可靠性;⑧便于和NI的其他软硬件结合起来,构建功能更加强大、完整的测量系统,便于形成标准化,有效的加快我国水电事业数字化建设的步伐。

部署LabVIEW以监测北海奥曼-兰格天然气田的管线

作者: Marco Schmid - Schmid Engineering 施密德工程公司
Harald Mnum - Bjørge AS 公司

挑战

开发并安装一个面向沿挪威海岸线, 跨度120公里的管线长期监测系统。

产品

面向 Blackfin 处理器的嵌入式模块、LabVIEW

“鉴于奥曼-兰格天然气田的恶劣条件和辽阔范围, 我们需要严格的时间规划和创新的方法以解决各种工程挑战。”

奥曼-兰格是位于挪威大陆架的仍在开发中的最大的天然气田。其管线穿越沿挪威海岸线的 Storegga 岩石滑坡——位于大陆架上最长的岩石滑坡之一。

极端的条件需要革命性的解决方案

经过数千年累积的大量碎石堆导致了如今海床上极度的崎岖不平, 而我们则需要有这样的海床上部署天然气管线。所以, 需要在海底管线上安装一个实时振动监测系统, 以预测损害并对其采取快速应对措施。

挪威高科技公司 Bjørge AS 长期致力于智能水下仪器系统和状况监测, 它通过 LabVIEW

开发了一套用于安装在奥曼-兰格天然气田的长期监测系统。

施密德工程公司, 是瑞士一家为机电应用和嵌入式系统提供解决方案的系统集成商, 采用他们的 Zbrain™ 硬件系统, 施密德工程公司实现并部署了管线监控系统。

北海自然环境对于海底管线监测系统的需求

该监测系统必须能工作于极端的海底环境, 其中包括水下激流、低

解决方案

采用一个可定制开发的灵活系统——该系统可以通过 LabVIEW 以及基于 Blackfin 处理器的 LabVIEW 嵌入式模块所开发, 并部署在施密德工程公司的 ZMobile™ 硬件平台。

可见度、低功耗、墨西哥湾洋流、崎岖海底所引发的湍流以及管线内部气流的变化等。

除了这些极端的条件, 该项目需要: 一个严格的开发时间规划以实现生产目标, 一个低功耗的现成硬件实现平台以及一个具有内置数据记录功能的高度可靠的系统。

利用 LabVIEW 自动生成 C 代码以满足软件开发的进度要求

利用面向 Blackfin 处理器的 LabVIEW 嵌入式模块, 工程师可以在不到 12 个月的时间内, 由 LabVIEW 图形化环境生成超过 50000 行 C 代码, 从而缩短开发时间。

该图形化代码和所生成的 C 代码由 8 个异步线程组成, 其中 4 个线程需要线程间的通信。根据 Bjørge 的调研, 77% 的反馈者认为一名普通的嵌入式程序员每个月可以生成 1000 行 C 代码或更少的调试后的 C 代码。根据经验测算, 利用直观的 LabVIEW 图形化编程方式, 该工程师能够完成超过 4-6 倍的代码。

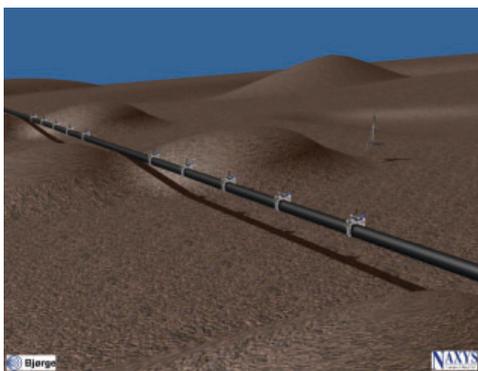
利用现成的嵌入式硬件进行部署

Bjørge 公司通过 LabVIEW 软件与 ADI 公司的嵌入式数字信号处理 (DSP) 芯片 Blackfin 的结合, 按照计划进度提供软件解决方案。利用图形化编程技术与面向 Blackfin 处理器的 LabVIEW 嵌入式模块中的软件工具, Bjørge-NAXYS 创建了一套应用程序, 不仅能编译 C 代码, 并可以在 ADI 嵌入式 ADSP-533 Blackfin 处理器平台上实现。Bjørge 实现了与施密德工程公司嵌入式技术的整合, 其中, 施密德工程公司基于 ADI Blackfin 处理器所构建的 ZMobile OEM 核心模块具有内置的集成式非易逝性移动存储器、功率管理工具与模拟 I/O、数字 I/O 和通信 I/O 等。

内置数据记录功能、可靠的、低功耗、电池供电的系统

政府明确要求监测管线的振动状况。

为了记录所有三个轴上的振动情况, 我们将同步测量点 (被称为钳



奥曼-兰格天然气田的管线穿越挪威海岸。

式传感器套件 (CSP) 按规则间隔地附着在管线上。该 CSP 受控于一个安装在海床上的惯性主传感器套件 (MSP)。该 MSP 同时还记录了能完整表示特征所需的水流、含盐度、温度和压力等参数。CSP 单元与 MSP 单元通过声波调制解调器无线连接。该监测系统提供三种基本操作模式。

1. 长期数据录入: MSP 会间隔一定的时间后被唤醒, 而间隔时间的长短可以自行配置, 典型情况下每三个小时唤醒一次。首先, 它根据补偿的需要测量其与每个 CSP 之间的距离。然后, 该 MSP 通过发送一组对所有 CSP 节点的调用, 发起分布式模拟数据记录, 频率为 10-20 赫兹, 持续时间为 10-30 分钟。接下来, 该 MSP 通过串行接口开始读入水流、含盐度、温度和压力等参数, 并将其存储在移动存储器中。通过编程设定下一次唤醒之后, 该 MSP 与 CSP 开始休眠并重复整个过程。

2. 事件监测: 与数据监测并行执行的同时, 具有最低功耗的智能混合信号电路持续监测所有的振动与水流水平信号, 保证他们处于限定的范围。如果任何 CSP 在休眠中检测到较大的加速情况, 它会自我唤醒并发送信号至该 MSP 以启动数据记录策略。与此相似, 该 MSP 如果在休眠中检测到较高的水流水平, 也将自我唤醒并发起数据记录。

3. ROV 汇集: 一辆水底遥控车 (ROV) 负责安装和维护该系统。通过与 ROV 或顶侧的调制解调器进行声波通信, 工程师们可以在运行时改变所有的重要参数, 以及上传指定时间段的采样数据或傅立叶分析数据。ROV 能够在任何时候以独立于其当前操作模式的方式向 CSP 或 MSP 请求数据。这一可靠的通信接口是该嵌入式软件的关键特性之一。

内置冗余度

冗余度是该系统的一大挑战, 因为每项动作均受到监测。当错误发生时, 一个节点会执行自我纠错操作, 并向其调用者报告这一情况。所有的节点通过通信以确定该错误是只发生在该节点还是涉及其他任何节点。如果实际的 MSP 不能正常工作, 任一个 CSP 可以成为新的 MSP 以支持该操作。该管线监测系统具有长达数年的生命周期, 并每次将浸入水下至少六个月; 因而, 对于软硬件的可靠性、程序内异常处理和有效能量管理均提出了更高要求。

鉴于奥曼-兰格天然气田的恶劣条件和辽阔范围, 我们需要严格的时间规划和创新的方法以解决各种工程挑战。Bjorge 公司能够应用基于 ADI 公司的 Blackfin 处理器硬件, 并应用图形化编程方法生成所需的代码。利用面向 Blackfin 处理器的 LabVIEW 嵌入式模块, 我们的工程师们在不到 12 个月的时间内, 由 LabVIEW 图形化环境生成了超过 50000 行 C 代码。

如欲了解关于此案例研究的更多信息, 敬请接洽:

Marco Schmid

Schmid Engineering 施密德工程公司

marco@schmid-engineering.ch

相关案例研究

位于水下 1000 米的 LabVIEW: 通过声波同步采样自主单元
利用针对 ADI Blackfin 的 NI LabVIEW 嵌入式模块开发大学的机器人课程

嵌入式图形化系统设计赋予救生蜘蛛机器人更强大功能

在机器控制应用中运用高级的软硬件原型系统

CompactRIO 帮助 Nexans 蜘蛛挖泥系统平整海床以探测石油和天然气

LabVIEW 1000 m below the Waves: Synchronized Sampling of Autonomous Units Through Sound

Developing an Undergraduate Course in Robotics Using the NI LabVIEW Embedded Module for ADI Blackfin Processors

Embedded Graphical System Design Empowers Life-Saving Spider Robots

Using High-Level Prototyping Hardware and Software in Machine Control Applications

CompactRIO Helps Nexans Spider Dredging System Level Seabed for Oil and Gas Exploration

基于虚拟仪器的原油管道泄漏监测系统

李庄 - 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室

周琰 - 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室

王立坤 - 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室

挑战

近年来我国原油泄漏事故频仍，造成巨大经济损失和环境污染，所以需要有一个能够及时发现并精确定位的监测系统。

“我们综合运用了数字滤波、中值滤波、频谱分析等各种信号处理函数，使用起来只需连连线，小波分析软件包也为现场应用提供了很大的方便。”

近年来我国原油泄漏事故频仍，造成巨大经济损失和环境污染，所以需要有一个能够及时发现并精确定位的监测系统。我们使用 National Instruments 公司的虚拟仪器开发平台 LabVIEW 和数据采集卡，不间断采集压力、流量、温度等参数，监视管道运行状况，并利用电话线路构成通信网络，建立了一个实时性较好的监测系统。对于突发的原油泄漏，我们综合运用了包括小波分析在内的多种信号处理方法，能够及时准确地定位泄漏点。本系统已经成功地应用于胜利油田和华东输油管理局等集输管网和长输管线，取得了可观的经济效益。

一、泄漏监测与定位的原理

随着管道的建设，各种监测技术也在不断发展，目前应用于管道泄漏监测的主要有压力梯度法、负压力波法、流量平衡法、超声波检测法等物理方法和一些化学方法，这些方法的特点和应用场合各不相同。国外虽然有比较成熟的技术，但是不能够适应中国原油输送的特点，而且价格昂贵。在国内，多家大学和油田均做过一定研究，但到目前为止，只有天津大学研制的系统成功地应用于现场，取得了显著的经济效益。

我国近年来的原油泄漏主要是因为人为破坏造成的，特点是持续时间短、泄漏量较大，属于突发性事故，我们采用负压力波检测法。1997年我们为华东石油管理局濮阳-滑县的管线设计了一套泄漏监测系统，是在 DOS 操作系统下用 C 语言实现的，其主要缺点是无法实现多任务，数据采集和通信不能同时进行。从2000年初至今，我们使用 LabVIEW 平台，设计并不断完善了基于虚拟仪器的原油管道泄漏监测系统，已经成功地安装于临盘-济南和沧州-临邑的两条管线上。

解决方案

我们使用 National Instruments 公司的虚拟仪器开发平台 LabVIEW 和数据采集卡，不间断采集压力、流量、温度等参数，监视管道运行状况，并利用电话线路构成通信网络，建立了一个实时性较好的监测系统。对于突发的原油泄漏，我们综合运用了包括小波分析在内的多种信号处理方法，能够及时准确地定位泄漏点。本系统已经成功地应用于胜利油田和华东输油管理局等集输管网和长输管线，取得了可观的经济效益。

负压力波法是一种声学方法，所谓压力波实际是在管输介质中传播的声波。当管道发生泄漏时，由于管道内外的压差，泄漏点的流体迅速流失，压力下降。泄漏点两边的液体由于压差而向泄漏点处补充。这一过程依次向上下游传递，相当于泄漏点处产生了以一定速度传播的负压力波。根据泄漏产生的负压波传播到上下游的时间差和管内压力波的传播速度就可以计算出泄漏点的位置。定位的原理如图1所示，L为管道长度，X为泄漏点，t1、t2为负压波传播到上下游的时间。图2为采集到的负压波波形，纵坐标单位为 MPa。

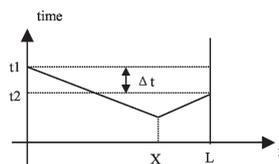


图1 负压波定位原理

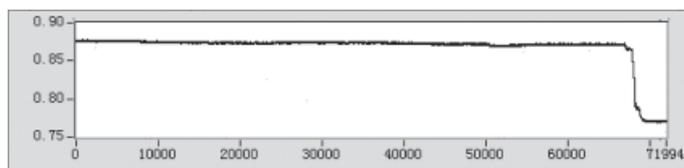


图2 负压波波形

常规的负压波法定位公式为：

$$X = \frac{L + a\Delta t}{2} \quad (1)$$

其中a为管输介质中压力波的传播速度，Δt为上、下游传感器接收压力波的时间差。此公式的前提是压力波速为常数，但是声波的速度与媒质的密度、压力、比热和管道的材质都有关。由于国外大多是轻质油，常温输送即可，原油的密度沿管线变化不大，所以波速可以看作常数。而我国的原油具有高粘度、高含蜡和高凝点的特点，必须加热输送。由于管道传输距离长，散热明显，一般沿程的温度变化约十几到二十几摄氏度，所以压力波的传播速度并不是一个常数，受温度影响很大。考虑到液体的弹性、密度和管材的弹性

的因素，压力波传播速度 a 重新写为：

$$a(t) = \sqrt{\frac{K(t)/\rho(t)}{1 + \frac{K(t) \cdot D}{E \cdot e} \cdot C_1}} \quad (2)$$

其中 K 为液体的体积弹性系数， ρ 为液体的密度， E 为管材的弹性模量， D 为管道直径， e 为管壁厚度， C_1 为与管道约束条件有关的修正系数。其中体积弹性系数 K 和密度 ρ 都是温度的函数。所以采集压力的同时还要采集管道的温度用来校正压力波的传播速度。

流量在监测中也是一个重要的参数。因为我国很多原油管道都不是密闭输送，收油端直接接入大罐，本身压力就很低，再加之大罐的滤波作用，压力的变化可能会淹没在一片噪声之中。若同时监测流量的变化，也可以及时发现泄漏，弥补压力灵敏度低的缺点。另外，除了泄漏，泵站内部的操作，如调泵、调阀，也会产生负压波。我国的现状要求只能在站内安装一台压力变送器，所以仅靠压力就不能判断负压波是站内产生的还是站外产生的。而流量变化对于泄漏和站内操作具有不同性质，通过分析流量变化就可以甄别负压波的来源。

基于以上考虑，我们采取压力流量联合判断的方法，分别在管道的出口和进口加装合适量程的压力变送器、温度变送器和流量变送器，不间断采集原油的压力、温度和流量，监视管道的运行状况。压力变送器和温度变送器输出标准的 $4\sim 20\text{mA}$ 电流模拟信号，流量变送器输出的是脉冲。由于模拟量的采集速率不是很高，大约为几百 Hz，脉冲的频率约为 700 多 Hz，我们选用低价的多功能卡 PCI-6023E，利用其两路模拟量单端输入和一个通用 24 位计数器。从功能、价格和开发周期等因素来考虑，这款采集卡都非常适合我们的要求。对于微弱信号的提取效果明显，可以观察到万分之几 MPa 的微小变化。在临-济线和沧-临线上共使用了 10 块 PCI-6023E，连续工作的稳定性很好。

为了节约存储空间，我们采用二进制格式保存文件。压力和温度每一小时一个文件，流量因为是累积量，每一天一个文件，供泄漏定位和查阅历史数据之用。

二、精确捕捉压力波传播到上下游的时间差

精确获得泄漏引发的压力波传播到上下游传感器的时间差，需要准确地捕捉到泄漏负压波信号序列的对应特征点。由于不可避免的工业现场的电磁干扰、输油泵的振动等，采集到的压力波信号序列附加了大量噪声，如何从噪声当中准确地提取出信号的特征点是定位的关键。

首先，因为不同条件（管径、温度、压力、输送工艺、环境噪声等）

下的信号具有不同的特征，我们利用 LabVIEW 中丰富的信号处理函数对信号的特征作了深入的研究分析和预处理，使得系统能够针对不同的信号做出相应的处理。例如，在沧州首站，启泵的时候信号中含有比较有规律的尖锐噪声，虽然幅度并不大（只有约千分之一兆帕），却因为压力比较低而非常明显，如图 3。针对这样的情况，我们使用了中值滤波器。中值滤波器能够平滑尖锐噪声，又能保持信号的边沿，而且计算速度非常快，可以用于在线处理。对比下面两图，可以看到滤波的效果。

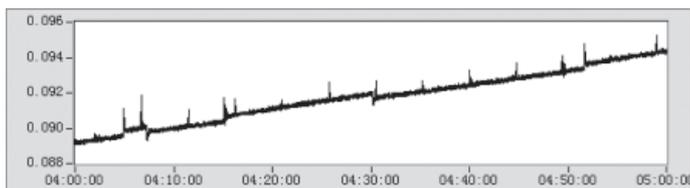


图 3 含有脉冲噪声的负压波信号

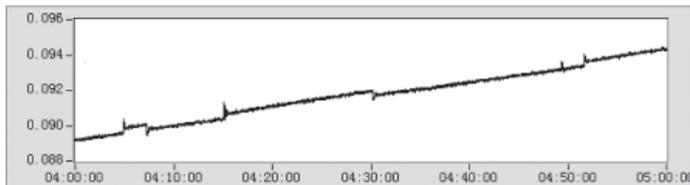


图 4 上图的信号经过中值滤波器之后的波形

对信号作了一定预处理之后，我们采用 Signal Processing 软件包里提供的小波分析的动态库来捕捉压力波变化的特征点。将含有负压波信号的数据通过两通道滤波器，分为低频概貌和高频细节两路输出，负压波的位置就是高频细节当中最小值对应的索引值。图 5 为图 2 所示信号的高频结果。因为我们仅分析信号，不作重构，所选择参数设计更为灵活的双正交的滤波器组，而不必考虑对偶滤波器组是否收敛。利用 Wavelet and Filter Bank Design Toolkit 提供的 Design Panel 和 1D Test Panel，我们在现场对于不同的信号可以方便地调整滤波器参数，观察滤波效果，大大提高了应用的效率。

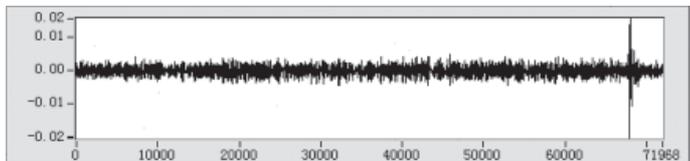


图 5 图 2 的信号通过两通道滤波器后的高频结果

三、系统的软件设计

以沧州-临邑长输管线的泄漏监测系统为例介绍一下整个系统的设计。系统的组成如图 6，由安装于沧州、东光、德州和临邑的四套装置和沧州处调度室的中心计算机组成。各站的装置包括各种传感器、计算机、信号调理装置、信号采集卡和调制解调器等。

因为管道全线长 180 公里，两座泵站之间的距离一般是 60 公里左

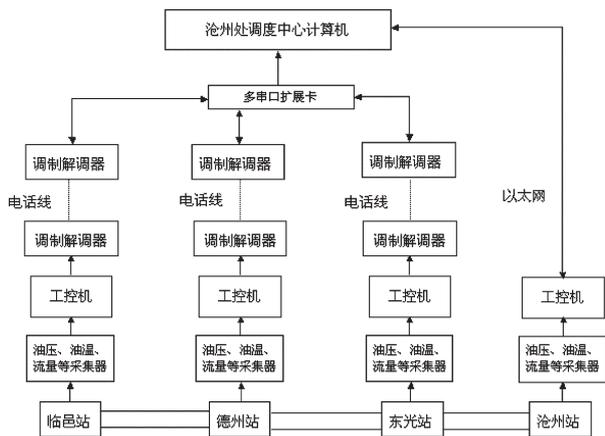


图6 系统的总体构成示意图

右，所以只能通过电话网络实现数据通信。LabVIEW的函数库里没有现成的函数可供调用，我们综合运用Serial Port VIs, In Port, Out Port和Call Library Function调用自己编写的动态链接库，控制调制解调器实现远程的数据通信，各个子站的数据都可以实时传到中心站，线路中断能够自动重新连接。主程序每一分钟调用一次泄漏判断子程序，该子程序综合运用负压波法、压力梯度法和流量差法分析采集到的工况数据，判断是否有泄漏发生。沧州市和沧州市调度室仅有几百米的距离，两台计算机之间建立了以太网，使用TCP/IP实现数据传输。现场还有其他PLC系统，我们用DDE实现LabVIEW和Excel之间的数据交换，作为与其他系统的接口。

用户对系统的操作都设计为菜单操作，包括参数设置、文件处理、历史数据、泄漏定位和退出系统等几项。每一项菜单还有报警、都通过VI Server的方法动态调用，这样既节省内存，又使程序结构清晰，模块化好。

图7和图8为中心计算机的主界面和定位程序的操作界面。

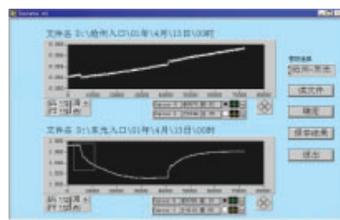


图7 沧州处调度中心计算机主界面

图8 定位程序操作界面

总结

作为虚拟仪器开发平台，和其他同类产品相比，LabVIEW在数据采集、存储、显示、信号处理、数据传输等方面显示了强大的功能，尤其是其数据采集和信号处理的优势提高了我们的工作效率。我们综合运用了数字滤波、中值滤波、频谱分析等各种信号处理函数，使用起来只需连连线；小波分析软件包也为现场应用提供了很

大的方便；另外我们选用的PCI-6023E数据采集卡价格并不比其他同类产品高，而且性能非常出色，在LabVIEW当中有多种方法可供调用。同时，Advanced Functions和其他通信函数扩展了LabVIEW的性能，使系统设计更加灵活。模块化的设计使编程简单明了，我们仅用了两个多月的时间就在实验室完成了全部程序的编制，在现场调试阶段，也可以很快作出调整，实现用户的要求。系统反映灵敏，报警时间小于200秒；定位精度比原来用C语言设计的系统大大提高，最大定位误差小于被测管长的2%。还能够估算泄漏量，具有和其他程序的接口，方便扩展。据统计，在胜利油田临盘-济南管线，2001年3月5日至4月12日，共监测到泄漏

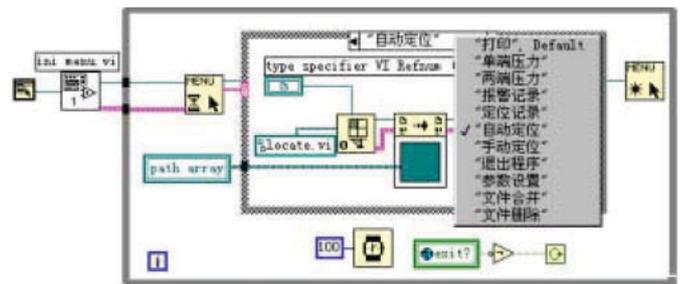


图9 用动态调用实现菜单操作

39次，抓获盗油车辆8辆。在沧州-临邑管线2001年4月9日至5月13日，抓获盗油车辆17辆，发现阀门40多处，为国家挽回经济损失数十万元。

天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室经过多年的探索，对我国各地的原油、成品油管道作了深入的理论研究和丰富的现场实验，研制的泄漏检测系统能够适应各种不同的工况特点。除了前文提到的应用之外，本系统还将应用于中（原）-洛（阳）的全线改造、辽河油田曙光-锦西等管线，在我国的石油生产和运输领域具有广阔的前景。本实验室对天然气管道泄漏也作了一定研究，随着我国天然气管道的发展，美国国家仪器公司的产品在天然气管道泄漏系统上也将获得成功应用。

高温超导电缆监测系统的构建

肖立业 - 中国科学院电工研究所应用超导重点实验室

宁政 - 中国科学院电工研究所应用超导重点实验室

挑战

对高温超导电缆系统中具有分布特性的温度、压力参数以及性能试验中需要高精度测量的电流、电压数值，通过计算机平台构建经济性监测系统。应用方案：采用基于计算机的监测技术，使用FieldPoint模块化分布式系统实现温度、压力数值的数据采集；利用高精度标准仪器和 GPIB PCI 板卡实现电流、电压数值的数据采集；通过 LabVIEW 开发监测程序，用最经济的方法构建了高温超导电缆监测系统。

产品

FP-1000, FP-AI-100, FP-RTD-122, GPIB PCI, LabVIEW

“由于FP系统出色的分布性、灵活多变的配置、数据通讯的抗干扰性，成为高温超导电缆监测系统中完成温度、压力测量的最佳选择”

为保证高温超导电缆的安全可靠和稳定运行以及性能试验的要求，需要对各项参数进行监测。由于10米长高温超导电缆的特殊结构，采用FieldPoint分布式模块构建监测电缆温度和液氮压力的硬件设备；通过GPIB PCI板卡实现对高精度标准仪器的控制和数据采集；采用LabVIEW软件开发监测程序，以美观、友好的界面完成监测系统的数据显示、存储和控制等多项功能。监测结果对于研究高温超导电缆性能与相关参数变化的关系、取得电缆运行的最优条件等奠定了一定的基础。

引言

高温超导电缆具有体积小、重量轻、损耗低和传输容量大的优点，是解决大容量、低损耗输电的一个重要途径，可极大地降低输电成本，被认为是实现高温超导电力应用最有希望的领域之一。

中国科学院电工研究所于2003年8月顺利完成10米长10.5kV/1.5kA三相交流高温超导电缆的研制工作和初步试验。10米长10.5kV/1.5kA三相交流高温超导电缆为柔性结构，导体层采用多芯超导带材，在不锈钢波纹管材质的电缆芯骨架上以预算的角度绕成多层螺旋形结构，放置于具有高真空和超绝热的双不锈钢波纹管结构的低温容器中。图1是整个高温超导电缆系统集成的示意图，主要由三相电缆本体和终端、低温系统、电源系统三部分组成。

高温超导电缆监测系统需要监测高温超导电缆预冷和长时间通电运行时超导体的温度和循环冷却液氮的压力，以及超导电缆的通电电流和超导体上的电压，完成超导电缆交流损耗的测量。

解决方案

采用基于计算机的监测技术，使用FieldPoint模块化分布式系统实现温度、压力数值的数据采集；利用高精度标准仪器和 GPIB PCI 板卡实现电流、电压数值的数据采集；通过 LabVIEW 开发监测程序，用最经济的方法构建了高温超导电缆监测系统。

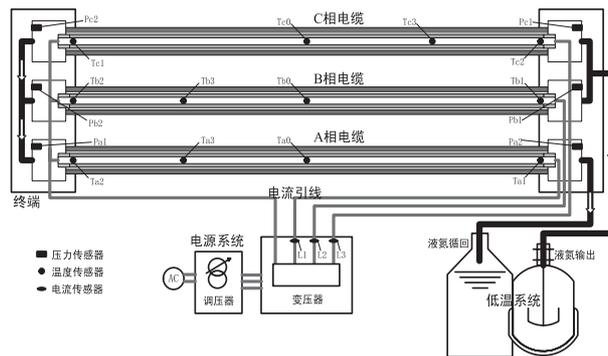


图1 高温超导电缆系统集成示意图

监测参数的位置及传感元件的选择

对于整个高温超导电缆系统来说，冷却液氮循环速度的快慢对于电缆系统的低温环境是至关重要的。考虑到监测设备集成和经济性因素，每相电缆布置4个温度测量点，共选择12个温度测量点；在电缆各相的终端安装压力传感器。在电缆长时间通电运行时，由超导体两端焊接出的引线测量超导体两端的电压；交流电流由变压器各相引线上安装的电流传感器进行测量，同时完成超导电缆交流损耗的测量。这样监测系统完成了温度、压力、电压、电流参数的测量，总共在电缆系统中放置21个传感器，位置如图1所示。

对于温度，由于需要将传感元件安装于电缆芯中，同时测量温度较低（-200℃左右），而且要有较高的灵敏度和响应速度，经济性也是考虑因素。在综合对比常用的温度传感器之后，最终选择其尺寸小、精度高、响应快、重复性好、价格合适的铂电阻作为温度传感元件。对于液氮压力，选择陶瓷压力传感变送器进行测量，由24V直流电源供电，输出为标准4~20mA电流。利用磁平衡式电流传感器将交流电流转换为毫伏级信号，和超导体上的电压均属于微量信号，使用实验室已有的多台高精度标准仪器进行测量。

监测系统硬件设备的构建

在高温超导电缆监测系统的设计中，需要考虑以下几方面的特性：

1. 测量数据的分散性：需要测量的温度、压力分为两组分别在 10 m 电缆两端的终端引出测量引线；
2. 测量数据的类型多样性：需要测量的温度、压力、电流、电压等各项参数，测量结果的数据类型各不相同；
3. 测量数据的大量性：需要完成 12 个温度测量点、6 个压力测量点和多个电流、电压的测量工作；
4. 监测系统的稳定性：需要长时间对高温超导电缆进行试验和监测，监测系统需要保证良好的稳定性；
5. 监测系统的抗干扰性：高温超导电缆的试验条件较为恶劣，存在各种仪器设备的干扰，需要保证测量数据的准确性；
6. 监测系统的兼容性和可扩展性：在监测系统的构建时尽可能使用现有的仪器设备；同时要能够易于改变监测系统的配置为其他试验的所使用。

随着在测控技术领域，计算机应用的发展，应运而生的虚拟仪器技术带来新型的测控解决方案。1986 年美国 NI (National Instruments) 公司首先提出虚拟仪器 (Virtual Instrument) 的概念，随后虚拟仪器技术逐步形成了一个以计算机为基础，以软件为核心的完整体系。虚拟仪器并不完全等同于计算机辅助测控，它是一种新的工业标准，一种现代化的技术规范，一种建立在信号采集与分析理论的基础之上，软硬件及其接口实现标准化，具有良好集成性与柔性的仪器体系。采用这个体系，按照它的规则操作，就能充分发挥计算机在数据采集、计算、传输、存储和显示等方面的巨大优势，投入最少的财力和人力，通过最方便快捷的途径，得到最高的测控精度和稳定性。

NI 公司的 FieldPoint (FP) 模块化分布式 I/O 系统具有工业级性能和出色的软件集成性，实现了通讯和信号终端的模块化结构，其提供三种类型的选配模块元件：I/O 模块、接线座和网络模块，能够在不同的测控区域配置不同的 I/O 模块，通过接线座引入测控信号，就地实现信号调理、A/D 转换，然后通过选定的网络模块与计算机进行通讯。由于 FP 系统出色的分布性、灵活多变的配置、数据通讯的抗干扰性，成为高温超导电缆监测系统中完成温度、压力测量的最佳选择。温度、压力测量引线分为两组，分布在 10 m 电缆的两端，每端有 6 个铂电阻和 3 个压力传感变送器的测量引线，因此配置两套 FP 系统安装于两端，每套测量模块能够提供铂电阻的恒流激励和压力传感变送器的 24V 直流电压供电，可以直接测量铂电阻温度传感器的阻值信号和压力传感变送器的电流信号，在数字化处理后通过串口与计算机连接，监测显示用计算机放置于远离超导电缆的隔离位置。

同时，采用 NI 的 GPIB PCI 板卡，将其插入计算机主机的 PCI 插槽内，通过 GPIB 电缆与标准仪器连接，在 IEEE 488 仪器控制标准协议下实现利用计算机对标准仪器的控制和数据读取，传输率 1.5

Mbytes /s，最多可以同时控制 14 台标准仪器。这样就可以利用监测显示用计算机控制标准仪器完成电缆中电流、电压数据的采集。

交流损耗试验采用锁相放大器，由电流传感器的输出信号作为锁相放大器的参考输入量，电缆的导体上的电压信号输入锁相放大器进行测量。测量的电压信号经过锁相放大器分离，得到与运行交流电流同相的分量 $V\cos\theta$ ，该分量与运行电流 I 的乘积即为该电缆运行在一定交流电流下的交流损耗 $P=I \cdot V\cos\theta$ 。

最终，利用实验室已有的高精度标准仪器和 NI GPIB PCI 板卡实现了电流、电压数值的数据采集，选择两套 NI FP 系统完成了温度、压力数值的数据采集，用最经济的方法构建了高温超导电缆监测系统的硬件设备。高温超导电缆监测系统硬件框图如图 2 所示。图 3 为安装于电缆终端一侧的 FP 测量模块实物，图 4 为计算机监测显示界面和标准仪器平台。

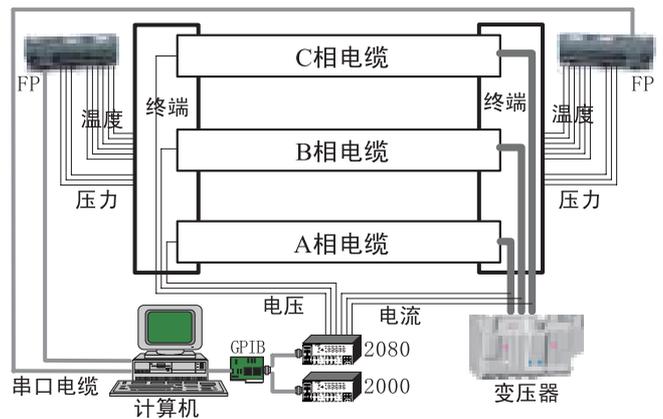


图 2 高温超导电缆监测系统硬件框图



图 3 安装于电缆终端一侧的 FP 测量模块



图 4 计算机监测显示界面和标准仪器平台

监测系统的软件设计

NI公司开发的LabVIEW软件，将G语言和图形化的开发环境融和在一起，可以用来完成数据采集和设备控制等工作。因此高温超导电缆监测系统的数据显示、存储和控制的软件平台采用LabVIEW软件开发完成。

图5是温度压力监测系统的主程序界面，该程序能够设定监测频率，直观的显示超导电缆各相所有测量位置的温度、压力值大小，完成监测数据的存储，并且能够后台显示温度、压力值的历史曲线，方便随时调用查看。

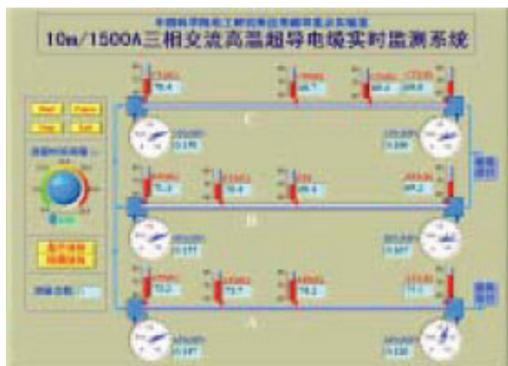


图 5 温度压力监测系统主程序界面

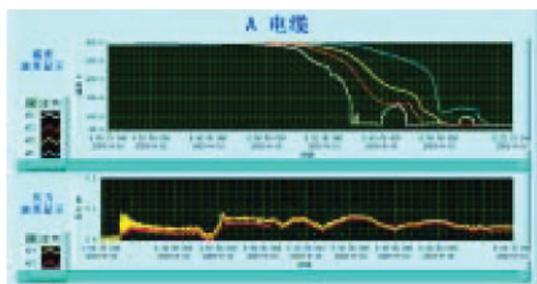
图6是交流运行监测系统的主程序界面，该程序可以设定报警数值，能够在超导电缆交流运行中实时显示电缆各相通过的交流电流和超导体上电压的大小，以波形显示测量数据的变化、并且自动完成监测数据的存储。



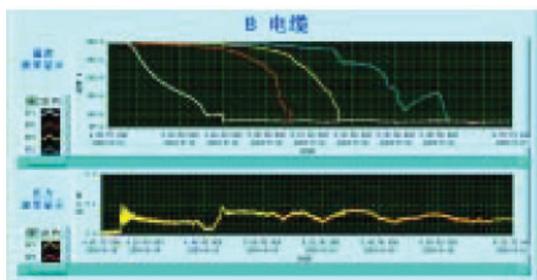
图 6 交流运行监测系统主程序界面

试验结果

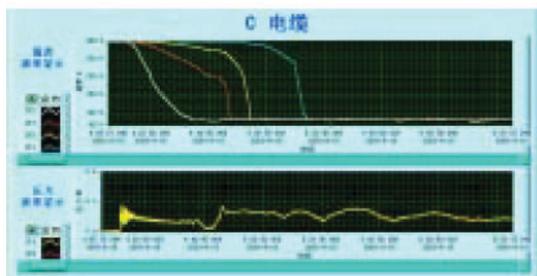
我们对10米长10.5kV/1.5kA三相交流高温超导电缆系统进行了七次冷热循环试验，完成了超导电缆的直流性能测量、交流额定电流的长时间运行试验和交流损耗特性试验。在试验中，温度、压力监测系统工作稳定，直观的显示了电缆各相在液氮冷却循环方向上的温度梯度和电缆各相终端压力的变化，对低温系统起到很好的反馈作用，协助低温系统以最低的损耗对超导电缆进行更好的冷却，同时实时记录了超导电缆各个状态的温度、压力数据。图7显示的是利用温度压力监测系统监测到的电缆系统预冷时高温超导电缆各相的冷却曲线，这也是我们首次监测到10米长高温超导电缆的冷却曲线。



(a) 高温超导电缆 A 相冷却曲线



(b) 高温超导电缆 B 相冷却曲线



(c) 高温超导电缆 C 相冷却曲线

图7温度压力监测程序监测得到的高温超导电缆冷却曲线
交流运行监测系统在高温超导电缆的交流额定电流长时间运行试验中以波形实时显示了高温超导电缆各相通过的交流电流和超导体上电压的大小，如图8所示。

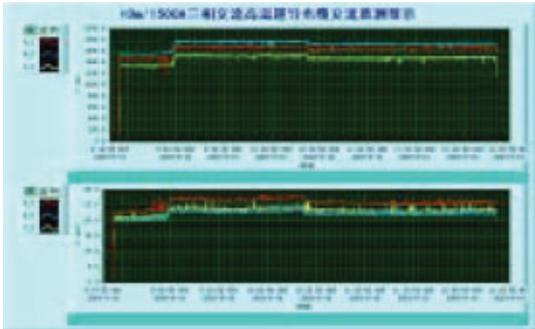


图 8 交流稳定运行电流—电压曲线

图9为实测的高温超导电缆各相导体的交流损耗特性曲线，由曲线可以得到各相导体的交流损耗为：

1000A 时，A、B、C 相分别为 0.15、0.18、0.35W/m；

1500A 时，A、B、C 相分别为 0.42、0.5、0.8W/m。

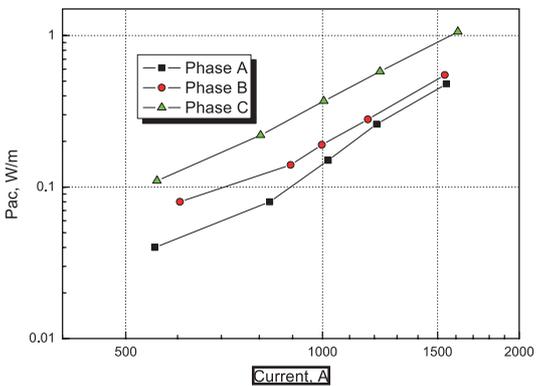


图 9 高温超导电缆各相导体的交流损耗特性

在一个多月的试验中，利用 NI 软、硬件产品构建的高温超导电缆监测系统，工作稳定，功能强大，在各项试验中表现出了良好的性能，达到了预期的设计要求，能够满足高温超导电缆系统研究的各项要求；同时高温超导电缆监测系统硬件设备的装配、接线和测量的易操作性、可靠性，监测程序的美观性、交互性赢得了好评。

致谢：非常感谢中国科学院电工研究所应用超导重点实验室的所有人员给予的帮助和支持。

基于 LabVIEW 和 PXI 技术的核电站数字地震监测系统

查美生 - 清华大学核能技术设计研究院

孙万峰 - 清华大学核能技术设计研究院

仲朔平 - 清华大学核能技术设计研究院

挑战

应用美国 NI 公司 LabVIEW 系统开发平台（包信号处理软件）、先进的 PXI 技术和地震动测量传感器，在较短时间内，研制成功了基于虚拟仪器的核电站数字地震监测系统，有力地支持了中国核电站的发展。

产品

美国 NI 公司的 LabVIEW6i, PXI-1010, PXI-PCI18335, SCX1102, PXI3031E, MXI-3 和 Signal Processing Suite 等。

“由 LabVIEW 和信号处理包完成的地震信号分析软件主要功能是：地震信号的调理、采集、存储、真伪地震的判定和报警；设备计算响应谱和设计响应谱的生成以及设计响应谱与理论响应谱的比较，最后输出完整的地震数据文件。”

为保证核电站安全运行和发生地震后对核电站安全性能的评价，根据核电站有关法规的规定，核电站必须设置地震仪表，以检测地面运动和抗震 I 类构筑物等的响应运动。

应用美国 NI 公司 LabVIEW 系统开发平台（包信号处理软件）、先进的 PXI 技术和地震动测量传感器，研制成功了基于虚拟仪器的核电站数字地震监测系统。由于 LabVIEW 强大的数据处理能力，丰富的数据表达方式和高效率，有力地支持和加快了系统的研制速度，在较短时间内，研制成功了核电站数字地震监测系统。该监测系统地震信号处理功能强大，信息表达丰富、多样、人机界面友好。它的主要功能是，实时监测地震加速度随时间变化过程，并判别真伪地震，当地震信号超过报警阈值时，显示、记录地震加速度峰值并向主控室发出报警信号；采集记录地震加速度反应时程数据，计算基础地面设备加速度响应谱和设计响应谱，并与理论设计响应谱进行比较，以验证抗震 I 类构筑物和设备的抗震设计是否合理，或判别是否需要某些物项实施地震后检查。

基础地面设备地震动测量原理

设一基础地面设备的单自由度模型如图 1 所示：

解决方案

应用美国 NI 公司 LabVIEW 系统开发平台（包信号处理软件）、先进的 PXI 技术和地震动测量传感器，在较短时间内，研制成功了基于虚拟仪器的核电站数字地震监测系统，有力地支持了中国核电站的发展。

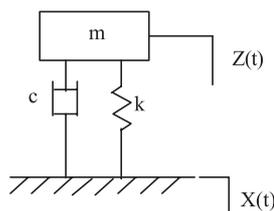


图 1 单自由度模型

图中：X(t) ——基础地面运动的位移；
Z(t) ——基础地面上设备的绝对运动的位移；
该设备 m 的受力情况见图 2 所示：

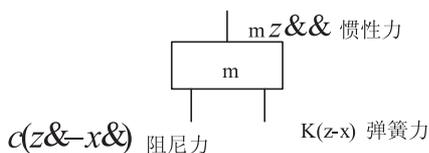


图 2 设备 m 的受力图

应用达朗伯尔原理，可得下列方程：

$$mz'' + k(z - x) + c(z - x) = 0 \quad (1)$$

令设备相对基础的相对位移为：

$$Y(t) = Z(t) - X(t) \quad (2)$$

方程 (1) 可写成：

$$m\ddot{Y}(t) + c\dot{Y}(t) + kY(t) = 0 \quad (3)$$

其中 m、c、k 分别为质量、阻尼、刚度。令：

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

则公式 (3) 可写为：

$$\ddot{Y}(t) + 2\xi\omega_0\dot{Y}(t) + \omega_0^2Y(t) = -\ddot{X}(t) \quad (5)$$

公式 (5) 中， $\ddot{X}(t)$ 为加速度传感器测量得到的基础地面加速度时程。

$$\text{初始条件} \quad \begin{cases} Y(t)|_{t=0} = Y(0) \\ \dot{Y}(t)|_{t=0} = \dot{Y}(0) \end{cases} \quad (6)$$

令 $p = \sqrt{1 - \xi^2} \omega_0$

解微分方程 (5) 得:

$$Y(t) = \left[e^{-\xi\omega_0 t} \left(\cos pt + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin pt \right) \right] Y(0) + \left[\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_0 t} \sin pt \right] \frac{\dot{Y}(0)}{\omega_0} - \frac{1}{p} \int_0^t \ddot{X}(\tau) e^{-\xi\omega_0(t-\tau)} \sin p(t-\tau) d\tau \quad (7)$$

$$\frac{\dot{Y}(t)}{\omega} = \left[-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_0 t} \sin pt \right] Y(0) + \left[e^{-\xi\omega_0 t} \left(\cos pt - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin pt \right) \right] \frac{\dot{Y}(0)}{\omega_0} + \frac{\xi}{p} \int_0^t \ddot{X}(\tau) e^{-\xi\omega_0(t-\tau)} \sin p(t-\tau) d\tau - \frac{1}{\omega_0} \int_0^t \ddot{X}(\tau) e^{-\xi\omega_0(t-\tau)} \cos p(t-\tau) d\tau \quad (8)$$

$$\ddot{Z}(t) = \ddot{Y}(t) + \ddot{X}(t) = -[2\xi\omega_0 \dot{Y}(t) + \omega_0^2 Y(t)] \quad (9)$$

对上述方程 (7)、(8) 和 (9), 应用两阶牛顿向前插值公式进行数值计算, 最后获得地面设备的加速度响应谱曲线。

按照 ASME 规范的规定, 根据计算所得的加速度响应谱曲线, 按频率 $\pm 15\%$ 拓宽加速度响应谱峰值点, 然后平行连接生成相应的设计响应谱曲线。

核电站数字地震监测系统

核电站数字地震监测系统, 其主要功能为:

- (1) 实时监测地震加速度随时间的变化过程, 并判别真伪地震信号; 当地震信号超过报警阈值时显示、记录地震加速度峰值并向主控室发出声光报警信号, 供值班人员决策是否发布警报或者停堆;
- (2) 采集、记录基础地面地震加速度反应时程数据, 算出地面设备的加速度响应谱和设计响应谱, 以了解和验证抗震 I 类构筑物和设备的抗震设计是否合理, 或判断是否需要某些物项实施震后检查;
- (3) 显示和打印采集到的地震加速度信号和分析获得的数据、图形, 并存储归档。

系统构成

地震监测系统由美国 NI 公司的 LabVIEW6i、PXI-1010、PXI-PCI18335、SCX1102、PXI3031E、MXI-3、Signal Processing Suite、三轴向加速度传感器、工业控制计算机、激光打印机构成(图 3)。

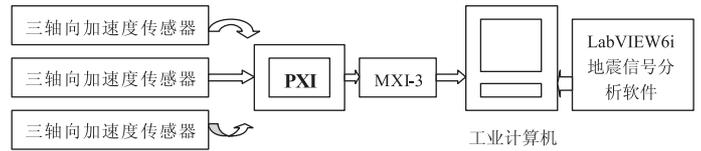


图 3 系统构成框图

数字地震监测系统平台

• 数字地震监测系统面板

数字地震监测系统平台面板见图 4 和图 5。该系统平台采用 LabVIEW 的标签翻页功能, 监测系统的功能一目了然, 功能之间的相互关系层次清晰, 选用方便。例如图 4 的面板所示, 该监测系统正处在地震监测功能下, 此时正测量和显示自由场, -15m 和 11m 各基础地面三个方向上的加速度时程, 同时显示加速度的最大和最小值。图 5 显示的是阻尼 ξ 为 2% 时的自由场, -15m 和 11m 处基础地面上的设备的计算地震加速度响应谱(地震信号取自同济大学地震试验台模拟地震信号)。

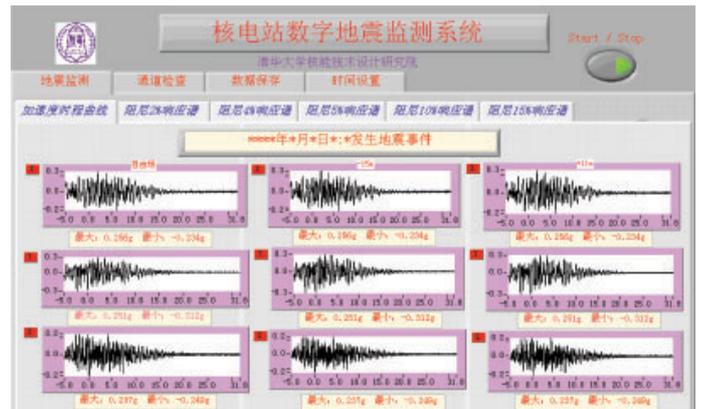


图 4 监测系统面板 1

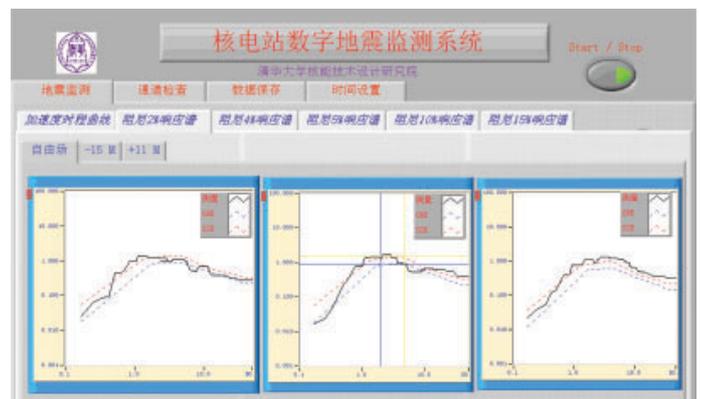


图 5 监测系统面板 2

由 LabVIEW 和信号处理包完成的地震信号分析软件主要功能是: 地震信号的调理、采集、存储、真伪地震的判定和报警; 设备计算响应谱和设计响应谱的生成以及设计响应谱与理论响应谱的比较, 最后输出完整的地震数据文件。

下面举例说明地震信号分析软件中的联合时频分析和小波分析的应用。

• 联合时频分析

对于地震信号的分析,人们除了要知道地震发生时的地震动加速度幅值和频率外,还需要知道地震发生时期,地震动频率随时间的变化,也就是需要对地震信号进行联合时频分析,以得到地震动频率与时间的关系。我们应用 LabVIEW 的联合时频分析软件包,使用同济大学地震试验台模拟地震信号,得到了地震动频率—时间关系,图 6 至图 7 是用 STFT 和 ConeShaped 两种算法得到的分析结果,从图中可以看到,约在 0-20 秒时间范围内,地震动中心频率大约为 1.5HZ,约在 8 秒时,地震动频率约为 3.0Hz。

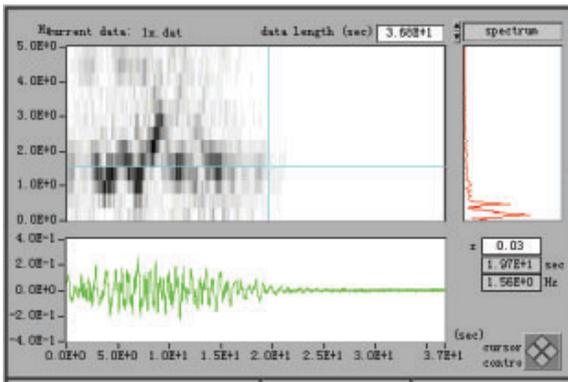


图 6 STFT 分析结果

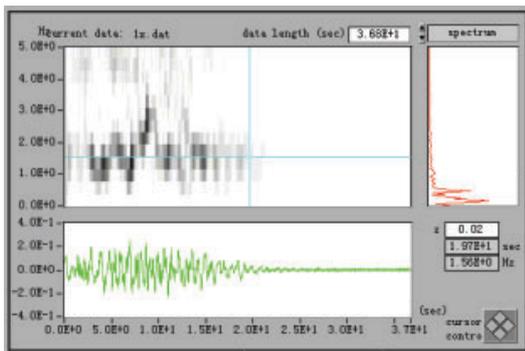


图 7 Cone-Shaped 分析结果

• 小波分析

自 1986 年以来,小波分析得到了迅速的发展,其应用也逐渐地变得越来越广泛,其在噪声消除,微弱信号的提取和图象处理等方面也取得超乎寻常的成果。显然,小波分析也是地震信号分析的极为有用的工具。我们应用 LabVIEW 的“Wavelet and Filter Bank Design”软件包,对上述地震信号作高通与低通滤波分解,图 8 (a) 是原始数据,图 8 (b) 是重构信号,(c) 是高通滤波后的信号,(d) 是低通滤波后的地震信号。应用小波分析技术,将信号中的高频和低频部分进行“细化和放大”,低通滤波后的地震信号(d)更加清晰。

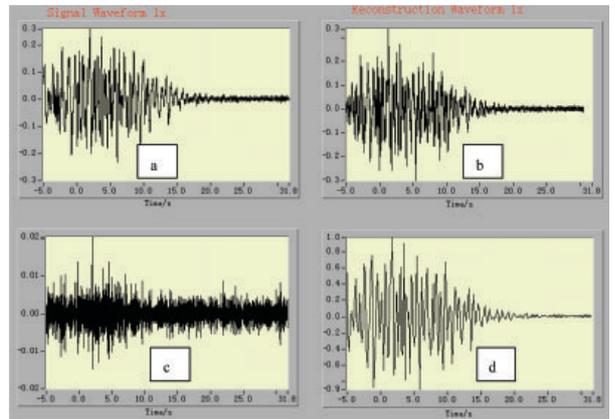


图 8 小波分析结果

结论

本文应用美国 NI 公司的 LabVIEW 和 PXI 等先进的虚拟仪器技术,在较短时间内,研制成功了基于虚拟仪器的核电站数字地震监测系统。该核电站数字地震监测系统集地震信号计算机数据采集和处理于一体,信号处理量大,数据表达直观、多样化。核电站数字地震监测系统的研制成功,有力地支持了中国核电站的发展。

Northrhine-Westphalia 的地质调查局使用 DIAdem 记录地震

作者: Dr. Rolf Pelzing - geoinfo@gd.nrw.de

挑战

Northrhine-Westphalia 地质调查局在 Lower Rhine 及其附近地区使用 13 个工作站组成的地震网络进行工作。记录数据通过 ISDN 或 DSL 发送至位于 Krefeld 的主办公室，数据在主办公室进行分析和评估。对于这样巨量的数据，需要一个有效的软件系统，提供处理数据所需的所有步骤。

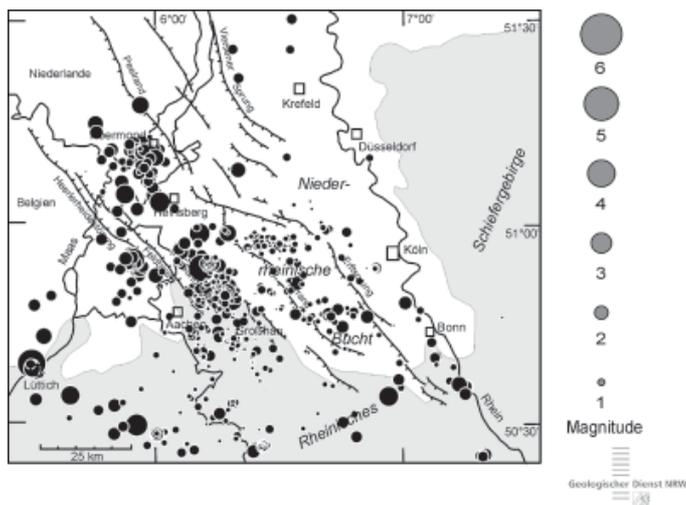
产品

DIAdem

“我们选择了 DIAdem，因为 DIAdem 十分方便地管理了大量数据，我们可以在一个程序中完成所有后续处理。”

概述

在 2002 年 7 月 22 日早晨，很多在 Rhineland 的人被一场里氏 4.8 级的地震震醒了。震中在 Aلسdorf 附近，它位于 Aachen 的东北部。



Northrhine-Westphalia 地址调查局记录的地震震中。点的大小表示里氏震级的强弱

完成位移整合之后，S 波垂直分量 (UD) 的频谱。

2002 年 7 月 22 日，Aلسdorf 附近发生地震的地震图，在距离震中 27 km 的 Aachen 西南 Großhau 地震站记录。

地震的到来对于地震学家而言并不意外，因为 Lower Rhine 地区是中欧地震最为活跃的地区。一场猛烈的地震在 1992 年 4 月 13 日已经袭击过该地区，当时震级高达里氏 5.9 级——它是在过去的 250 年中最强烈的一次地震。超过 20 人受伤，在德国和荷兰边境的财产损失累计 1.5 亿欧元。这次地震中的振动强度比在 2002 年

解决方案

DIAdem 完全满足了上述所有需求。用户可以在 DIAdem 视图中对数据进行查看和选择、在 DIAdem 中分析处理数据，并将结果在 DIAdem 报告中快速方便地显示。在评价的各个阶段中都要使用脚本。通过 DLL 将特殊的地震分析方法整合在程序中。

7 月 22 日记录到的地震强烈十倍。

在过去的几个世纪中，多次地震对该地区造成了破坏。在 Aachen 地区的地震灾害记录最早出现在 Charlemagne 时代。根据所发生灾害的描述，估计那次地震震级高达里氏 6.5 级。为了对 Lower Rhine 地区的地震进行详细检查，并对受灾地区进行进一步分类，Northrhine-Westphalia 地址调查局在 1980 年建立了地震网络，它由 13 个工作站组成。记录了超过 1000 次自然地震，其中大部分过于微弱，无法被当地居民感觉到。但是，这说明了尤其在 Lower Rhine 区域的西南部，地震活动十分频繁，预计在未来会发生严重的地震（见图 1）。

记录系统

在工作站中使用的实际测量设备是地震仪。地面振动会导致固定在弹簧上的磁铁和固定在地震仪外圈上的线圈之间产生相对移动。这就会在线圈中感应出电压，它与线圈相对于地面的移动速度成正比。这些信息可以用来在 DIAdem 中计算出对位移和对地加速度。每个地震站都有三个地震仪记录垂直振动、南北向振动和东西向振动。位于 Lower Rhine 地区中心地震站的地震仪被安置在深 400 米的空洞中。测量信号放大 200 倍之后，通过电缆被传送到地表。Lower Rhine 地区以外的工作站建立在地表坚硬的岩石上，因此仅需要几米长的信号电缆，无需放大。在两种情况中，测量信号都通过专为地震记录所设计的硬件来进行数字化。信号以 24 位分辨率、每秒 200 个周期的速率进行数字化，并以与 DIAdem 兼容的格式 (I32) 记录在计算机硬盘上。在受到轻微地震噪声干扰的工作站，只记录超过一定触发级别的信号。数据的记录要经过 20 秒延迟，以便避免丢失信号的头部。在受到严重地震噪声影响的工作站，信号以两分钟为一个单位进行连续记录，之后从中抽取相关时间范围。

数据每天通过 ISDN 或是通过 DSL 连续从工作站到位于 Krefeld 的主办公室间进行传输，并在主办公室进行评估。DIAdem 软件系统

起到了重要作用。在评估的第一个步骤中，数据在DIAdem视图中进行可视化显示，从而可以在自然地震信号（即 Lower Rhine 地区和世界其他地区的地震）与爆炸等需要丢弃的人为信号之间进行区分。在几分钟之内，DIAdem将地震记录转化为可以发布的图像。图2展示了在2002年7月22日Alsdorf发生地震的地震图，如图所示，在地震发生之后，很快就被DIAdem进行了处理。

使用DIAdem处理地震图

需要进行进一步处理的数据可以进行过滤，这样不但可以消除失真，还可以突出反应重要信息的频率范围。将来自多个工作站的信号进行综合分析以及将来自同一工作站的多次地震信号进行分析可以得到关于震源位置和地震时间历史的重要信息。多个波组的频谱用来确定震源破裂过程的时间历史。DIAdem分析快速方便地执行所有这些评估步骤，相对于老系统必须为每个步骤使用不同的程序而言，是一个巨大的改进，这样就不必为匹配不同程序而将数据转换成不同格式。常规的处理步骤如滤波等可以保存为脚本的格式。而更多扩展性的评估如确定里氏等级、使用来自多个工作站的记录确定震源位置等等，都可以使用由Fortran和Dephi开发的特殊程序执行完成，这些程序以DLL的形式集成到DIAdem中。图3给出了一个例子——计算振动运动，并由此判断破裂区域大小、位移和运动幅度。运动幅度是地震大小的新度量。由于它的物理意义更为基本，它已经逐渐开始取代里氏等级。在这两个等级中可能会出现较小的偏差（在这个例子中，偏差为0.1个单位）。

直到现在，都还没有开发出预测地震的可靠方法。在1992年4月13日和2002年7月22日都没有记录到地震发生之前的前期地震活动。但是，由于我们有了数据可以用于地震工程，因此对地震的记录是有用的。在设计建筑和工厂时，由于地震（大坝，化学工程）等造成的破坏所导致人员伤亡使得风险又增加了一重，而这些数据可以作为建筑物或工厂的计算机模型的振动输入信号，数据可以是时域信号或是响应频谱。因此，在地震数据进行记录或处理时，不仅要使用高质量的硬件，使用高质量的软件也十分重要，这样才能够确保快速可靠的交互式数据处理。DIAdem具有信号分析、图像显示功能，完全能够满足这些需求，这在软件包市场上是首屈一指的。

总结

DIAdem十分适合使用在Northrhine-Westphalia地理调查局地震站的数据记录评估中，因为程序提供了包含数据处理步骤的所有内容。在DIAdem视图中可以对相关地震事件的数据进行检查，在DIAdem分析中可以对数据进行分析，在DIAdem报告中可以图形化的显示数据。专用的地震逻辑评估方法以DLL的方式集成到系统中。使用脚本可以方便快捷地执行所有步骤。在工作站查看采集到的大量数据时，可以使用一个程序运行所有需要的处理步骤是一项很大的改进。

作者信息

要获取更多关于这个案例研究的信息，请联系：

Dr. Rolf Pelzing

geoinfo@gd.nrw.de

De-Greiff-Str. 195

D-47803 Krefeld

Germany

德国

Related Case Studies

相关案例研究

方便地分析天气数据：DIAdem DataFinder 将您从分离的解决方案带入综合分析系统中

使用DIAdem在薄膜太阳能技术中进行数据管理和分析

测试行人头部在汽车封闭零件上的撞击

使用NI LabVIEW对大规模公开地震仿真器进行操作

Evaluating Climate Data the Easy Way: The DIAdem DataFinder Moves You from Separate Solutions to an Overall Evaluation System

Data Management and Analysis with DIAdem in Thin-Film Solar Technology

Testing Pedestrian Head Impact on Automotive Closure Parts Using NI LabVIEW to Operate a Large-Scale Public Earthquake Simulator

便携式实时振动监测系统

Bipin M.. Kanth - Captronic Systems, Pvt. Ltd.

挑战

开发一个在线监测记录系统,监测随机振动测试台上汽车部件经受的随机振动以研究随机振动对汽车不同部件的影响。

产品

数据采集	实时
分布式 I/O	NI CompactRIO
LabVIEW	LabVIEW FPGA
LabVIEW Real-Time	

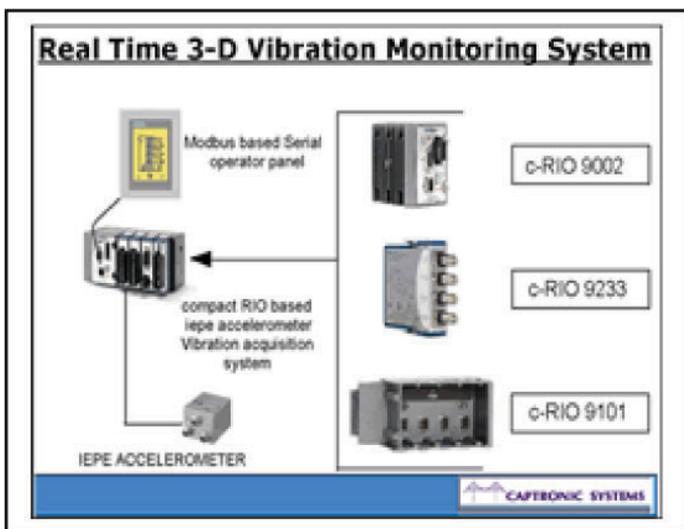
开发一个在线监测记录系统,监测随机振动测试台上汽车部件经受的随机振动以研究随机振动对汽车不同部件的影响。

应用方案:

基于 NI CompactRIO 可重配置平台以及灵活的 RIO 技术, 开发实时的3 维振动监测系统。汽车部件在出厂前要接受随机振动测试。这套系统可以对部件受到随机振动的影响进行实时而精确的分析。以前的系统主要做离线分析, 只具备有限的在线监测和分析能力。

软件实现

- 实时采集
- 实时浮点运算和记录
- 离线数据分析



实时采集

在接收到由串口连接的 LCD 面板发送的开始信号, 系统确认控制器 cRIO-9002 上的闪存空间数量, 如果空间不够系统会发送指示

解决方案

基于 NI CompactRIO 可重配置平台以及灵活的 RIO 技术, 开发实时的3 维振动监测系统。汽车部件在出厂前要接受随机振动测试。这套系统可以对部件受到随机振动的影响进行实时而精确的分析。以前的系统主要做离线分析, 只具备有限的在线监测和分析能力。

到串口连接的 LCD 面板, 以便在测试继续之前把闪存中的数据拷贝到笔记本电脑中。如果闪存空间足够, 采集即刻开始, 通过 cRIO-9233 采集 IEPE 加速度传感器信号并传送到 cRIO-9002 实时控制器中。

实时浮点运算和记录

实时浮点运算包括对 4096 点的数据块计算 RMS, 峰值, FFT 变换。应用合适的算法去除波形中的毛刺。在整个测试过程中 RMS 和峰值每隔五分钟被记录一次。整个测试时间长达 150 个小时。FFT 结果在测试开始后的 5 分钟和测试结束前的 5 分钟被记录, 用户可根据需要决定在测试中间的某个时间段纪录 FFT 结果。测试中的 RMS 和峰值也被传送到操作者面板并且每隔一秒钟更新一次, 操作者借此可以监察部件受到的振动水平以确认振动是否在预期的范围内。

离线分析

笔记本电脑上的用户界面允许用户对已经完成的测试进行离线分析。

操作顺序如下:

1. 选择需要的测试数据
2. 察看离线数据
3. 生成报告

结论

这套便携式实时振动监测方案与市场上现有的昂贵而庞大的系统相比有明显的优势, 它提供了定制而且便捷的振动分析。这是一个可靠而坚固的方案, 它结合了 NI RIO 技术和 LabVIEW 的强大功能。系统提供了实时的振动分析, 因此在部件故障发生时可进行及时的纠错操作。这套系统在每个部件的测试中可节省 6 到 8 个小时, 测试成本仅为现有系统的 30%。

更多信息, 请联系: Bipin M. Kanth, BipinM@captronicsystems.com

若干技术在设备远程故障诊断中的应用

张天宏 - 南京航空航天大学能源与动力学院

挑战

将诊断设备现场的监测仪表延伸到Internet上, 并提供基于CSCW的协同诊断工作环境。

产品

LabVIEW

Internet Developers Toolkit

ComponentWorks

“分别采用LabVIEW G Web Server技术和DataSocket技术实现诊断对象的远程状态监控; 并基于Data Socket技术开发一个多功能的CSCW远程协同故障诊断平台。”

1. 介绍

网络化的虚拟仪器可以为远程故障诊断提供形象生动的现场资源, 增强临场感。CSCW技术可以支持多个专家在网络环境下实现协同诊断, 充分体现远程会诊的思想。本文分别采用NI的LabVIEW G Web Server技术和DataSocket技术实现诊断对象的远程状态监控; 并基于DataSocket技术开发一个多功能的CSCW远程协同故障诊断平台。

2. 虚拟仪器网络化

2.1 概述

虚拟仪器网络化是指将工作于试验现场的虚拟仪器通过网络扩展到远程应用领域。

作为虚拟仪器领域的领头羊, NI公司在虚拟仪器领域取得了丰硕成果。随着Internet技术的飞速发展, NI更是全力出击, 分别以DataSocket技术、RDA技术、OPC技术为基础开发了能够实现远程监控的多种软件平台和工具, 如Internet Developers Toolkit (简称IDT)、Lookout等。

IDT是NI的面向G语言应用环境的网络应用开发工具包。IDT提供了G环境下的虚拟仪器与Internet连接的手段, 从而实现在Internet上存取数据或将虚拟仪器的前面板(Front Panel)发布到Internet上。它包括4种组件: FTP VIs、SMTP VIs、TELNET VIs、URL VIs, 另外包括一个内置的Web服务器G Web Server。其中, G Web Server可以提供远程用户基于浏览器访问虚拟仪器面板的功能。IDT的工作方式为LabVIEW的虚拟仪器网络化提供了便捷的通道。它的好处有: 不需开发专门的客户端软件; 开放性好, 无需分发客户端软件, 用户可随时加入; 服务器端不需编写专门的

解决方案

采用NI的LabVIEW、Internet Developers Toolkit、ComponentWorks分别实现了虚拟仪器的远程应用、CSCW的协同诊断工作环境, 为设备远程故障诊断提供了强有力的手段。

网关处理程序, 可以直接用该工具包提供的VI实现; 原有的LabVIEW应用可以轻松地提升到网络环境; 通过FTP、SMTP自动传输现场数据和信息, 便于在远程进一步分析。

2.2 远程监控系统的组成

对于发生故障进行维修, 或定期大修的发动机, 一般需要上台架试车, 而试车场地一般处于比较偏远的山区或旷野。这时就可以借助于远程虚拟仪器技术, 将试车现场虚拟仪器的前面板通过G Web Server在Internet上发布, 可以满足身处异地的专家同行们进行评价和诊断, 其实际意义是明显的。本文以某小型无人机的动力装置试车台为例, 实现试车台的远程状态监视。该小型动力装置是航模、无人驾驶侦察机和靶机等飞行器经常采用的一种带螺旋桨的活塞式动力装置。测试系统由试验台架、信号调理控制器、计算机等组成。计算机采用奔腾III工业控制计算机, 配置了一块NI公司的多功能数据采集卡Lab-PC-1200。这里利用5个AD通道采集缸头温度、排气温度、推力、扭矩和油门杆位置给定信号, 利用定时计数器测量转速信号。设计了信号调理与控制器, 用于向传感器提供激励电源, 对传感器输出的微弱信号进行滤波放大, 给风门的舵机提供脉宽调制信号以便控制舵机位置, 并提供2个开关实现发动机的停车控制。

本文研究目的是通过远程虚拟仪器技术实现对试车台远程监控。除了在试验现场一端具备虚拟仪器测试条件, 还需要网络环境的支持。图1是试车台远程监控系统网络环境。

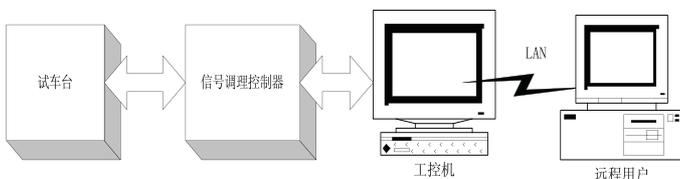


图1是试车台远程监控系统网络环境。

2.3 基于G Web Server的实现

2.3.1 在LabVIEW下设计虚拟仪器

在LabVIEW的虚拟仪器面板中, 将输入和输出的控制放置于不同颜色的矩形块上, 用不同的仪器来显示温度、耗油率、推力等值。

面板的左边放置用户的本地操作, 右边用于显示被测参数。在浏览器中, 用户可获取系统设置和当前的运行状态。这里更强调系统工作状态的共享。

2.3.2 在 G Web Server 上发布利用 G Web Server 并结合 LabVIEW 环境下 IDT 工具包的 CGI VIs 和 CGI Animations 编程工具, 可在浏览器中实现启动、停止、参数传递、密码保护等用户交互功能, 以静态图像 (snap) 或动态图像 (monitor) 显示所发布的 VI, 对试验对象进行远程监控。这里用 LabVIEW 的 Html Document Builder 自动生成 Html 文档。将该文档发布到 G Web Server 上, 使用浏览器访问文档时启动该测控系统, 以实施远程监控, 使不同地域的技术人员共同监视试验过程。图2为系统工作于远程监控状态时的界面。

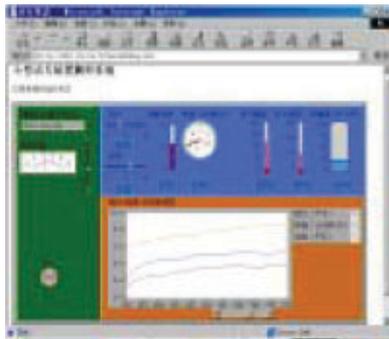


图2 IE 中的虚拟仪器面板

2.3.3 系统分析

基于该系统, 我们对40F 发动机进行了试验, 系统在实际运行中工作得比较理想。由于在本地局域网上传输速率能达到几百K 字节每秒, 可以将刷新速率提高, 从而可取得较好的运行效果。当然, 这里所设计的虚拟仪器面板有些简单, 实际上可结合 CGI 编程、FTP VIs 等, 设计出功能更加完备的远程虚拟仪器系统。

但是, 基于 G Web Server 实现的远程虚拟仪器是通过传输图像来实现的, 这样势必会消耗大量的网络资源, 实时性差, 而在 Internet 上因为受到网络带宽的限制, 这种缺点将更明显。

此外, 尽管基于 G Web Server 可以通过 CGI 编程实现远程虚拟仪器的操纵, 但开发起来不太方便, 功能也不够灵活。一种解决方法是, 在客户端的浏览器上运行某种插件, 如 ActiveX 或 Java 的 Applet, 利用网上传输过来的现场数据重现现场的虚拟仪器。这样速度快, 更具有临场真实感。当然, 如果直接通过网络编程, 将现场采集的数据在远程用户一端用虚拟仪器界面再现, 即在网络上仅传输数据, 这种解决问题的方法是最彻底的。但是这种方法将需要大量的网络编程工作量。为此, 本文采用 NI 的 DataSocket 技术解决网络编程问题。

2. 4 基于 DataSocket 的实现

2. 4. 1 DataSocket 的技术原理

关于网络编程, 我们已习惯于采用 TCP/IP 编程接口、DDE 等技术

实现网络环境下的数据共享, 但它们使用起来并不方便, 开发效率不高, 于是日益广泛和复杂的网络应用势必需要大量的编程工作量。DataSocket 是 NI 公司提供的一种基于 TCP/IP 协议的网络编程新技术, 它支持本地文件 I/O 操作、FTP 和 HTTP 文件传输、实时数据共享, 并提供统一的 API 编程接口。从数据共享的角度, 它是对 WinSock 的高级封装, 因此具有使用方便、编程工作量少、不需了解底层操作过程等优点, 特别适合于远程数据采集、监控和数据共享等应用程序的开发。

DataSocket 包括两部分: 即 DataSocket API 和 DataSocket Server。前者提供统一的编程接口, 作为客户, 可以在多种编程环境下与多种数据类型通信。NI 分别提供了 DataSocket 的 ActiveX 控件、LabWindows /CVI C 库、一系列的 LabVIEW 的 VIs, 所以可以在任何编程环境下使用。本文使用 Component Works 中提供的 ActiveX 控件。后者是一种轻量级的、独立的服务器组件, 通过该服务器, 使用 DataSocket API 程序可以发布、并以很高的速度广播实时数据到多个远程客户。

2. 4. 2 将 DataSocket 集成到

Web 应用中由于浏览器技术的发展, 使得在浏览器中运行插件 (如 Java 小程序 Applet、ActiveX 控件或文档) 成为可能。基于这种思路, 我们将 DataSocket ActiveX 控件进一步封装, 实现具有一定功能的 ActiveX 控件 (聚合控件) 并集成到 Web 页面上, 同时将现场数据发布到 DataSocket Server 上。这样, 用户通过在浏览器上访问该 Web 页面即可实现远程监控。

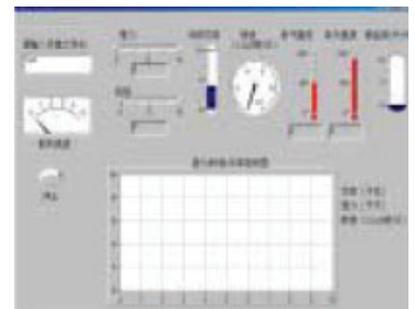


图3 聚合控件的界面

本文采用 DataSocket ActiveX 控件和 VB6.0 开发环境实现了远程监控的 Web 应用。具备的条件是: Componentworks 的 DataSocket 控件和 UserInterface 控件; VB6.0 专业版; IE4.0。图3 是试车台远程监控用聚合控件的界面。

3. 远程故障诊断的 CSCW 环境

3. 1 CSCW 与远程故障诊断

所谓 CSCW, 即“计算机支持的协同工作” (Computer Supported Cooperative Work), 是研究用计算机系统支持人们进行协同工作的技术, 具体地说就是研究如何利用计算机技术、多媒体技术和网络通信技术, 支持工作群体成员在共享环境下的协同工作、交互协

商、分工合作，共同完成特定任务。远程故障诊断的一种重要工作形式就是，在计算机网络环境支持下，由多个领域专家，在不同的地域相同的时间，对一个指定的疑难故障现象进行协同会诊。因此，这种工作方式需要 CSCW 环境的支持。

远程故障诊断的 CSCW 环境与一般的 CSCW 系统的结构相似。该环境应具有如下功能：多种共享交互功能（文字、图片、语音、视频等多媒体交互）；会议召集、主持、总集；提供诊断设备现场的诊断信息资源；登记、管理、维护功能等。

基于 Web 的 CSCW 系统综合利用现代动态 Web 开发的多种技术，可以满足远程协同诊断的一般要求，但在共享工作空间、协同设计方面功能较弱，这主要是因为受到浏览器应用环境的限制。所以本文研究了基于 NI 的 DataSocket 技术实现 CSCW 的共享工作空间。

3.2 基于 DataSocket 技术的实现

设计思想是，用 DataSocket 控件本身固有的远程数据传输的功能，实现文字、图片、语音等数据信息的远程传输，并将多种传输功能融入 CSCW 应用中。为了达到应用共享的目的，采用截获系统中的输入设备事件协议流和窗口事件协议流的方法，在数据发送端首先形成具有一定规律的数据流，再用 DataSocket 控件的写操作把这些数据传输到 DataSocket 服务器端，在各个客户端，用读操作从服务器端获取数据流，然后对数据流进行解析，恢复为原始信息并在客户端形成响应。这样就实现了协同工作的基本流程。

基于 DataSocket 实现的 CSCW 用户界面如图 4 所示，参与协同诊断的用户都需要运行特别设计的 CSCW 程序，并需要一个 DataSocket Server 提供信息中转。



图 4 基于 DataSocket 实现的 CSCW 用户界面

4. 结论

为了实现设备远程故障诊断，本文采用 NI 的 LabVIEW、Internet Developers ToolKit、ComponentWorks 分别实现了虚拟仪器的远程应用、CSCW 的协同诊断工作环境。基于 Internet Toolkit 实现远程监控的特点是图像快照传输，它具有实现便捷、不需开发专门的客户端程序，但速度慢，临场感不强。基于 DataSocket 技术，将虚拟仪器的界面封装为可以在浏览器中运行的 ActiveX 插件，在网络上只需传输数据，从而在客户端实现了真正的虚拟仪器，临场

感更强，这是将来的发展方向。基于 DataSocket 技术实现的 CSCW 平台具有灵活性好功能强的特点，可以实现文件、图片、语音、视频和数据的传输，并可以实现共同操作和批注功能。

需要说明的是，NI 产品在网络支持方面不断进步，如新版的 LabVIEW 和 Lookout 均具有强大的网络应用功能。新的工具将为设备远程故障诊断提供更有效的技术支持。

海沃德贝克公司使用NI LabVIEW，可编程自动化控制器修复遭受卡特琳娜飓风破坏的堤坝

Fritz Achhorner - Hayward Baker

挑战

更新控制，并且监视泥土搅拌系统设备的能力，该系统用于修复卡特琳娜飓风过后新奥尔良市受损的堤坝。

产品

LabVIEW

Compact FieldPoint

“在NI工具的帮助下，我们有能力自行开发产品，管理并维持该产品。我们现在能够生成质量控制报告，进而取代了执行价格不菲的检查过程。NI系统同未来的系统交互工作的灵活性是额外的好处。”

海沃德贝克公司是全球最大岩土工程建设公司之一。我们精通地面整修，在卡特琳娜飓风肆虐过后，我们承包修建新奥尔良市遭受破坏的堤坝。我们特别需要负责地下建设工程的质量保证。卡特琳娜飓风在墨西哥湾沿岸造成了严重的破坏，并且冲毁了庞恰特雷恩湖和新奥尔良市之间的堤岸的数条河道，淹没了80%的城市面积。

我们有幸获得几项修复新奥尔良市堤坝的合同。在此修复过程中，我们使用干土搅拌和高喷灌注技术，将新奥尔良市的安全保护恢复到至少飓风之前的水平。我们需要对重建建筑进行归档并保留详细记录。为此，准确的数据采集和控制显得非常重要。我们曾经在处理此类工作的过程中使用过美国国家仪器有限公司LabVIEW软件。所以基于此经验，我们知道通过使用NI LabVIEW和美国国家仪器Compact FieldPoint，我们有能力达到该项目的要求。

为此项目，我们需要一个新的泥土搅拌方法，该方法是使用空心螺旋钻进法和浆叶布置，并且有粘合材料的泥土机械共模法。这种泥土搅拌方案的目的是达到已改进特征，设计用于抗压强度或者抗剪强度以及/或者渗透率，这样可以加固堤坝并且避免其遭受更大破坏。我们从瑞典伙伴公司借来原装钻机，必须重新定制新设备来满足新的标准要求。为了提供更多的控制和灵活性，我们决定更新并且设置设备为内部结构而不依赖外部资源，并且依据美国陆军工程兵团公司重申规格，包括深度，加料速度，每分钟转速和粘合剂重量。我们使用NI Compact FieldPoint和LabVIEW来完成运行高喷灌注的控制算法，以及监测干土搅拌应用和记录质量保证的处理数据。这些数据会转换成美国陆军工程兵团公司要求的报告格式，用来核实正确操作。

因为LabVIEW是以PAC为基础，所以我们能够在很短时间内交付系

解决方案

美国国家仪器LabVIEW软件和PAC硬件被用于开发一个支持堤坝稳定工作的内部质量控制系统。



海沃德贝克公司在卡特琳娜飓风重建工作中，使用NI LabVIEW和Compact FieldPoint创建一个高度灵活的控制并且监测泥土搅拌系统。

统。开发系统的时间小于一个月。LabVIEW的灵活性以及NI旗下现有的硬件都可使设备开发一体化。因为我们可以用LabVIEW对控制器进行编程，所以我们能够自行修正嵌入码，而不依赖于第三方，为我们节省了时间和开支。在此之前的系统中，改写代码会增加同欧洲原装设备制造商签订合同及其来往行程费用等开销。现在如果需要改动什么，我们能够立刻实现并能方便地上传到电脑中。我们可以在办公室中进行改动，并且能够直接将应用程序传送至现场。

我们堤坝修建工作的内容需要控制和数据采集，同时也需要维持产品（泥土搅拌）一致性的能力。在NI工具的帮助下，我们有能力自行开发，管理并支持该产品。我们现在能够生成质量控制报告，进而取代了执行价格不菲的检查过程。NI系统同未来系统交互工作的灵活性是个额外的好处。

获取更多信息，可联系：

Fritz Achhorner

海沃德贝克公司

1130 Annapolis Road, Suite 202

Odenton, MD 21113-1635

fachhorner2@haywardbaker.com

基于 PAC 的核能发电厂的维护和监测控制系统

作者: Bryan Pudlo 单位名称: R. Brooks Associates

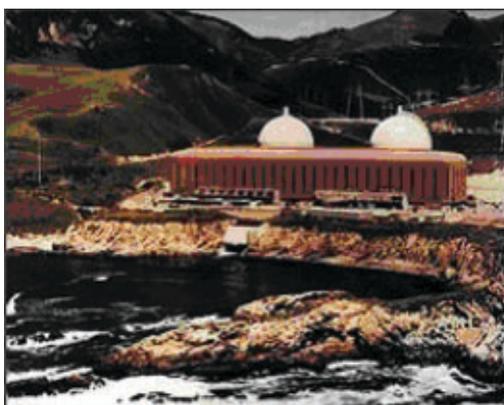
挑战

设计一个独立、灵活的系统，在工作域有限的空间和严酷的核反应环境，用来控制核电厂的多种不同监测和维护工具。

产品

LabVIEW	LabVIEW RT (实时)
运动控制	PXI/CompactPCI
可编程自动控制器(PAC)	机器视觉

利用 NI 硬件设计一个灵活的控制站 这一控制系统包含 3 个主要部分：安置在放射区外的操作站 2000 (OS2000)；位于放射区内低放射区域的 PAC，即本地控制站 (LCS)；以及靠近监测维护地点附近的工具终端连接中心 (TECC)。OS2000 通过线路连接 LCS，该线路能提供 RS232 通信、四个视频连接和 TELEX 音频连接。LCS 使用运行于嵌入式控制器的 NI LabVIEW RT 和 18 槽 PXI 机箱，机箱中包括一个用来控制摄像机选择的 RS 232 模块，一个用于进一步扩展的 NI 视频模块，两个 NI 运动控制模块，多功能数据采集模块，以及用于控制和反馈的数字 I/O 模块。RS 232 模块控制 LCS 中的一个视频多路复用器，它能在 8 个摄像机之间进行切换，而 NI 运动模块控制结合了防卫、方向和电流反馈的 8 个不同电机。多功能 DAQ 模块测量来自位置接近、压力、温度和倾角传感器的数据。数字 I/O 控制照明、调光器、螺丝管和其它部件。最后，该系统还能监控全体电源并为操作人员提供系统掉电报告。



加州圣路易斯-奥比斯波的 Diablo Canyon 是 R. Brook 公司采用 LCS 来进行监测的核电厂之一

利用 LabVIEW RT 模块和 PXI 硬件构建灵活的自动化控制系统

由于具备可靠的 LabVIEW RT、模块化的 PXI、以及范围宽广的 I/O 通道，这一解决方案可以确保在严酷的核电厂环境中执行操作。截至

解决方案

使用 NI 的可编程自动控制系统 (PAC) 硬件平台、LabVIEW RT 和 PXI 开发设计一个用于 5 种工具的灵活控制系统，并将继续开发以适用于更多工具。

2004 年，我们共在全美四个核反应堆部署了这一系统，它的灵活性使得 Brooks 的工程师得以顺利设计新的工具并重复使用同样的控制系统，从而节省了培训和配置的时间。

在使用过程中，我们发现 LabVIEW 可以非常方便的处理来自 PXI 模块的不同输入数据。此外，利用 LabVIEW RT 还可以非常简单的对 LCS 进行升级，只需一个以太网连接即可。单个 PXI 系统也可以减少管理费、培训费和运输费。利用灵活的 PXI 解决方案，我们可以比在传统控制系统中更快的部署系统和更换工具。

未来的扩展

就如绝大多数基于虚拟仪器的系统一样，将来的扩展可以有多种方式。目前的系统包含一个 PXI-7344 视觉模块，Brooks 的工程师正计划将 RS232 通信系统升级为以太网，并使用 PXI 视觉模块和其它 NI 视觉产品，采集来自 IEEE-1394 接口摄像机的图像。

如需更多详细信息，请联系：Matt Jewett R Brooks Associates, Inc. 6546 Pound Rd. Williamson, NY Tel: (315) 589-4000 Ext. 220



Schlumberger 使用 NI FieldPoint 硬件设备和 LabVIEW 实时软件来设计可靠的定制控制系统

信，能够完成远程关闭网络中任意泵机系统的操作。

我们还在系统设计中引入了许多其它的安全保障装置，包括“看门狗”模式，该模式对所有引擎参数进行监控，并在某参数超过预设的“正常值限制”时关机。系统能够监控液面，通过调节阀门维持一定的泵机液面。另外，如果泵机操作员的笔记本电脑失去连接，控制盒会将引擎传输设为中间值，并将阀门闲置。控制盒则继续监测引擎参数，一旦液面超过限制就关闭引擎。在笔记本电脑恢复连接之后，操作员可以重新登录。如果另一台笔记本电脑连接到控制盒上，控制盒会将设置上传到新操作员的笔记本电脑中，以便继续进行控制。

所有的校准设置，警报水平，控制流程都保存在控制盒当中。FieldPoint 模块支持热插拔，现场维护只需要很短的时间。

NI FieldPoint 为水泵，温度控制器和钻探系统等控制和监测仪器提供了各类解决方案。在阿拉斯加和马来西亚，Schlumberger 都在使用着这些系统。

CERN 采用 LabVIEW 软件及 PXI 硬件控制世界上最大的粒子加速器

作者: Alessandro Masi - CERN Roberto Losito - CERN

挑战

在世界最强大的粒子加速器 - 大型强子对撞机 (LHC) 上, 实现实时测量与控制大量组件位置, 从粒子束核心中吸收粒子能量, 并确保可靠性和精确性。

产品

数据采集	实时模块
R 系列	PXI/CompactPCI
SoftMotion 控制器	LabVIEW
FPGA 模块	

“部署平台我们选用了 LabVIEW 及 PXI 的解决方案, 是因为其相比于传统 VME 和基于可编程逻辑控制器的模块来说, 具有小型化、坚固性及低成本等优势。”

欧洲核子研究中心, 即 CERN, 是世界上最大的粒子物理实验室。她位于法国和瑞士的边界。CERN 于 1954 年成立, 作为一个研究组织, 科学家致力于研究物质的基本构成及物质间的相互作用力。

希望通过 LHC 来解释宇宙间的基本问题

CERN 依靠称之为粒子加速器的机器来使离子或质子束互相碰撞或撞击其它物质。这种撞击将释放巨大的能量, 足够用来重现宇宙形成时的高能环境。从 LHC 中粒子撞击采集到的数据将提供前所未有的关于宇宙形成的信息, 进而揭示诸如为什么粒子具有质量, 或暗物质的起源等问题。

LHC 圆周长 27km, 位于地底下 150m 深处。它能够让粒子束以接近光速实现碰撞。为了实现这样的撞击, LHC 将两束质子或正电荷离子送至圆形轨道的相对方向上。超流态氦中的超导磁体处于 1.9 K 的低温状态 (-271°C 或 -456° F), 控制 LHC 中粒子束的轨迹。每束粒子束具有的最大能量为 350 MJ, 大约为 400 吨以时速 150 km/h 行进中的火车所具有的能量, 能够融化 500 千克铜。

控制系统是否可靠是保障安全性的关键

由于粒子束具有极高的能量, 可靠性成为关键因素。高速传播中的粒子束产生碰撞很可能产生毁灭性的灾难。为防止粒子偏离既定的路径, 我们安装了超过 100 台称为瞄准仪的设备。瞄准仪通过石墨块或其它大质量材料来吸收粒子束核心中的高能粒子。每一台瞄准

解决方案

采用 LabVIEW、LabVIEW 实时模块、LabVIEW FPGA 模块、NI SoftMotion 软件及 PXI 总线的 NI R 系列可重新配置 I/O 硬件, 开发的基于 FPGA 运动控制系统, 能够中断被错误引导或不稳定的粒子束。

仪都由安装于独立 NI PXI 机箱中的可重新配置 I/O 模块控制, 总共 120 套 PXI 系统, 以实现冗余。在标准配置下, 每个机箱控制多达 15 台步进电机, 它们被安装在 3 个不同瞄准仪上, 在 20 分钟的运动中, 精确、同步地排列石墨块; 同时, 另一个机箱用于检查瞄准仪的实时位置。在工程的第二阶段, 将计划再加入约 60 台瞄准仪及 60 个 PXI 系统, 最终达到约 200 个 PXI 系统。

对一个瞄准仪来说, 为保障其可靠性, 两台 PXI 机箱的控制器上都运行 LabVIEW Real-Time 软件, 在外设槽的可重新配置 I/O 设备上运行 LabVIEW FPGA 软件, 实现对瞄准仪的控制。我们采用 NI SoftMotion 开发模块及 NI 可重新配置模块来实现 LHC 上 600 多台步进电机的快速自定义运动控制器设计, 27 km 上的同步率可达毫秒级。设备上的现场可编程逻辑门阵列 (FPGA) 提供了所需的控制级别。我们的部署平台选用 LabVIEW 及 PXI 的解决方案, 是因为它相比于传统 VME 和基于 PLC 模块来说, 具有小型化、坚固性及低成本等优势

准确定时、精度性及可靠性的解决方案

为了满足严格定时、精度及可靠性等要求, 我们选用了基于可重新配置 I/O 及 LabVIEW FPGA 的运动控制及反馈系统。我们选用的平台仅整合了所需的功能, 省却了不必要的成本, 无需自己开发软件驱动, 从而降低了完成系统对人力资源的需求。

LHC 计划于 2008 年夏天启动, 届时世界各地的科学家与研究人员将期待着通过 LHC 来探索宇宙的奥秘。



采用超导磁体控制粒子束轨迹, 蕴含的能量足以融化 500 kg 铜

基于 CompactRIO 的无人驾驶旋翼飞行器

作者: Roberto Pretolani - School of Engineering, University of Bologna

挑战

基于 CompactRIO 的无人驾驶旋翼飞行器。

产品

实时

分布式 I/O

“NI 的 CompactRIO 在这个项目的开发中起了至关重要的作用，它的易用性，可靠性以及可编程性对直升机的控制已经足够。”

我们开发了两个模型的直升机平台，每个都有 5.5kg 的有效载荷。自动飞行需要航空电子系统来使它们保持稳定的高度并依照设计的轨迹飞行。这样的航空电子系统由传感器，计算机，数据传输设备组成由软件来指示，导航，控制飞行器。这些组成部分对直升机是相当关键的，然而这些系统本身都不相当稳定的。因此我们决定选用 NI 的 CompactRIO 平台。



工程领域学生使用装有 CompactRIO 的直升机模型进行飞机无人驾驶研究

人们对无人飞行器在军事领域的浓厚兴趣催生了私营企业研发无人飞行器的雄心。可想而知，无人驾驶飞行器在民用领域是一个值得期待的低成本选择。相比传统的飞行器，无人飞行器在人员安全，运营成本以及工作效率方面具有巨大的优势。无人飞行器以及旋翼无人飞行器的研究在美国已经相当发达，但是在欧洲才是刚刚起步。欧盟因此资助了 CAPECON，一个无人飞机的研究项目以启动欧洲民用无人飞行器工业的发展。在波罗尼亚大学，最近正在进行固定机翼无人飞行器系统的开发和制造，我们非常希望参加 CAPECON 项目。

除此之外，波罗尼亚大学也开始了旋翼无人飞行器的研究项目，显然旋翼无人飞行器在很多民用场合优于固定机翼，因为它灵活的飞行模式和机动性，并且具有垂直起飞和降落的能力。这个旋翼无人

解决方案

使用 NI LabVIEW 和 CompactRIO 平台作为飞行计算机编写整个控制系统管理飞行数据采集以及控制飞行。在波罗尼亚大学航空航天学院，我们开发了无人驾驶的旋翼飞行器作为无人飞行控制和导航研究的测试机。

飞行器项目的主要目的是为控制和导航研究开发一个具备直升机功能的自动飞行器。

硬件和系统结构:

我们开发了两个模型的直升机平台，每个都有 5.5kg 的有效载荷。自动飞行需要航空电子系统来使它们保持稳定的高度并依照设计的轨迹飞行。这样的航空电子系统由传感器，计算机，数据传输设备组成由软件来指示，导航，控制飞行器。这些组成部分对直升机是相当关键的，然而这些系统本身都不相当稳定的。因此我们决定选用 NI 的 CompactRIO 平台。

我们改进了 Hirobo 60 和 Graupner 90 业余直升机，使用装载航空电子设备。NI CompactRIO 作为飞行计算机工作，CompactRIO FPGA 采集传感器信息，根据控制算法产生 PWM 激励信号。CompactRIO 实时控制器接收由 FPGA 传送来的传感器信息并且记录所有飞行数据，同时管理和地面控制台之间的无线以太网通信。CompactRIO FPGA 通过 NI cRIO-9411 数字输入模块接收信号，通过 cRIO-9474 数字输出模块产生 PWM 激励信号。系统通过模拟输入模块 cRIO-9201 采集各种状态参数比如电池电压。

整个系统总重为 5kg ——正好在我们的小型直升机有效载荷之内。如果有更大的直升机平台，一个或更多的 NI CompactRIO 模块可以作为备用系统。

软件

旋翼无人飞行器系统具有典型的 CompactRIO 应用设计结构。其中的 FPGA 代码用了 4 个不同的定时读写循环和一个 PID 控制循环来控制直升机的高度。PID 循环速率接近 50Hz，写循环发送 PWM 指令给直升机的伺服马达和摄像机的稳定装置。第一个读循环读取直升机的高度，角速度，速度，并从 Crossbow NAV420 通过 RS232 读取 GPS 位置信息。使用 FPGA 的数字输入实现 RS232 协议以保证数据读取的确定性，这样的确定性用实时系统是无法实现的。我们使用 NI LabVIEW Real-Time 开发模块将通过 FPGA 读取的飞行数据存储在嵌入式控制器上，并利用 LabVIEW Real-Time 通信开发向导开发和地面控制台的无线以太网通信。在地面控制台，我们

使用笔记本电脑用 LabVIEW 开发了运行在 WindowsXP 上的地面控制程序。程序有两个窗口，一个是座舱仪表，另一个是遥测数据实时显示。

结论

NI 的 CompactRIO 在这个项目的开发中起了至关重要的作用，它的易用性，可靠性以及可编程性对直升机的控制已经足够。在不久的将来，我们计划集成更多的传感器（比如声纳高度表）到这套航空电子系统中，对更为复杂的飞行模式进行测试，并且完成导航算法，最终实现智能的自主飞行。

更多信息，请联系：

Roberto Pretolani , pretolani@ingfo.unibo.it

基于 LabVIEW 的四自由度机械臂运动控制系统设计

万志成 - 上海交通大学机器人研究所
张伟军 - 上海交通大学机器人研究所
陶俊 - 上海交通大学机器人研究所

挑战

短期内实现 4 自由度机械臂（3 台交流伺服电机、1 台微型直流电机）的变参数同步运动控制，为钢丝传动机构的控制提供应用解决方案。

产品

LabVIEW 8.20

NI PCI-7344 四轴运动控制卡

“本系统以 PCI-7344 为基础，通过 NI 公司最新的 LabVIEW8.2 为开发平台对 3 台伺服电机实行位置伺服和编码器反馈，对直流电机利用线性电位器反馈电压的方式实现了角度的反馈控制。”

尽管对于机械操作臂的研究已不是一个全新的课题，但是，如何在保证机械手臂高的位置精度的条件尽可能地降低制造成本和缩短制造周期，这仍然是值得我们不断探索的问题。

传统工业机械臂，其设计方法多为串联形式，即通过将驱动与传动元件如电机、减速器等直接安装在转动副附近，这样的设计虽然简单直接但是由于驱动件自身成为了机械臂负载，所以大大减少了机械臂的有效载荷，同时也会产生振动等不良影响降低机械臂定位精度。在本课题中我们提出了利用钢丝传动机构来实现驱动件到末端负载的动力传递，这样的设计可以最大程度的减小了驱动件本身对于机械臂负载能力的影响，同时由于钢丝本身的弹性也使得机械臂具有一定柔性，实现一定的自适应功能。由于传动件的位置调整，所

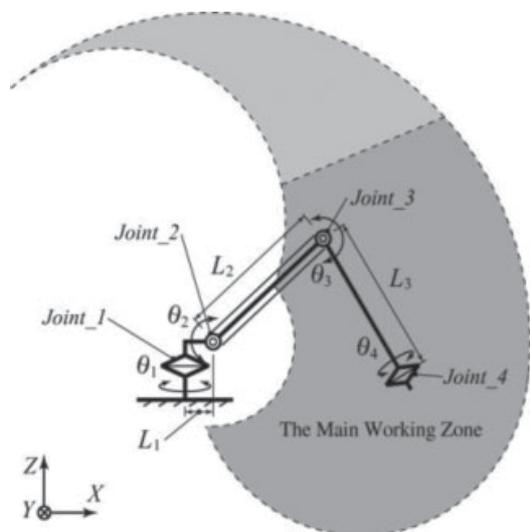


图 1 机械臂整体结构示意图

解决方案

方案采用 NI 公司的 LabVIEW8.2 作为开发平台，通过 NI PCI-7344 四轴运动控制卡和多功能数据采集卡来实现对于机械臂四个自由度的驱动控制，同时利用 LabVIEW8.2 中新增 Project 文件管理功能和控制设计工具包实现控制软件的快速开发与发布。

以在控制系统的设计要求能够对于机械臂最终的末端位置能够准确地进行反馈控制。本系统以 PCI-7344 为基础，通过 NI 公司最新的 LabVIEW8.2 为开发平台对 3 台伺服电机实行位置伺服和编码器反馈，对直流电机利用线性电位器反馈电压的方式实现了角度的反馈控制。借助 LabVIEW8.2 的强大功能，我们得以在短时间内完成了控制系统的开发，同时保证了机械臂的运动精度与负载能力。四自由度机械臂机械系统 本文讨论的四自由度机械臂面向中小型物流系统应用。其基本的设计要求为：实用、有相对大的作业空间、抓取重量不小于 2.5kg、具有不大于 10mm 的重复定位精度、自重轻、外观整洁。

出于操作便捷实用的考虑，设计腰部回转、大臂俯仰、小臂俯仰、腕部回转 4 个自由度，整体采用重力方向折叠展开型结构，大臂俯仰与小臂俯仰为一组平面自由度。机械手臂主要通过钢丝绳传动机构，把小臂俯仰关节的电机和齿轮减速器等额外负载放置在机械臂基座部分，从而减轻了对其他关节驱动元件的要求及机械臂整体的功耗，降低了机械臂自身重量，增加了其对外做功的能力和效率。

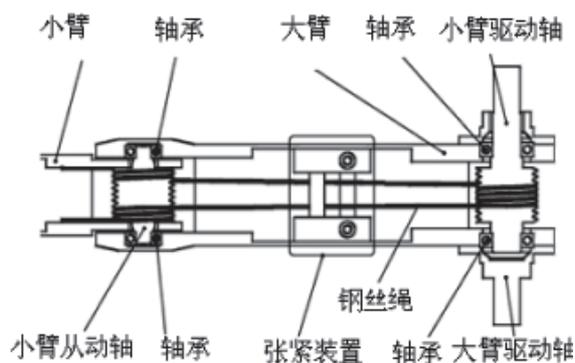


图 2 钢丝绳传动机构原理图

该机械臂不仅实现重量轻、对外做功能力大等性能指标要求，而且具有制造简单造价低等优点有利于工业推广普及。通过新型内嵌式钢丝绳张紧装置可以轻松简便的对张紧力进行现场调节，解决了钢丝绳传动存在的各种问题，有效的提高了机械臂的重复定位精度，自重与负载能力比达到 4:1，可以广泛的应用到以中小型物流系统

为代表的工业环境中，也可作为教学科研演示设备进行推广。

角度 θ_1	$\geq 280^\circ$ ($-140^\circ \sim 140^\circ$)
角度 θ_2	$\geq 150^\circ$ ($-10^\circ \sim 140^\circ$)
角度 θ_3	$\geq 180^\circ$ ($30^\circ \sim 210^\circ$)
角度 θ_4	$\geq 300^\circ$ ($-150^\circ \sim 150^\circ$)
L1, L2, L3 的长度	64mm、350mm、350mm
伸展长度	700mm
总重	12kg
负载	3kg

表 1 各项参数范围及取值



图 3 四自由度机械臂样机



图 4 钢丝传动机构示意图

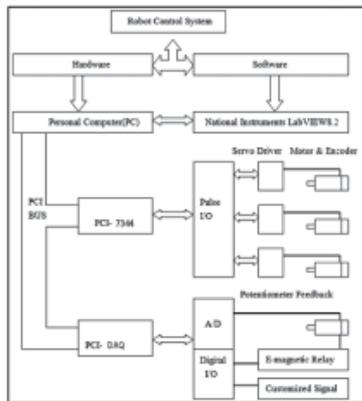
控制系统设计

在综合考虑了项目的机械结构要求、功能目标、开发周期等因素后，我们对于控制系统的设计定下如下的方案：

1. 对于底盘（腰部）、大臂俯仰、小臂俯仰这三个自由度，利用伺服电机驱动和编码器反馈来构成闭环控制系统，由于本项目对于定位精度的要求，伺服电机控制方式选为位置控制（即脉冲控制）。因此我们选用了 NI PCI-7344 作为伺服电机的运动控制器。

2. 对于手腕旋转自由度以及抓取手爪吸合张开的控制，考虑到这部分机构主要处于靠近末端负载，要求体积尺寸小等原因，我们选择采用了直流电机配齿轮减速器并通过线性电位计的电压值来间接测量角度值的方案。

3. LabVIEW 本身带有大量的数字信号处理 vi，可以十分有效地解决控制系统中常会遇到的信号干扰及滤波等问题。利用 LabVIEW 更可以大幅缩短项目的开发周期，在短短 3 个月内我们迅速完成了从机械设计、材料加工、控制系统软硬件设计等进度，这些也是我们优先选择 LabVIEW 作为系统开发平台的重要原因。图 5 显示了



5 显示了控制系统构成的整体框图

控制系统构成的整体框图。

软件设计

控制系统软件设计在考虑了整个机械臂的技术要求后，主要功能大致可以分为以下几类：系统硬件信息反馈、运动参数设置、手动及自动运动控制、机械臂空间位置的捕捉与再现、文件操作等。这几者之间的相互关系可以通过如下的软件流程图来表示。

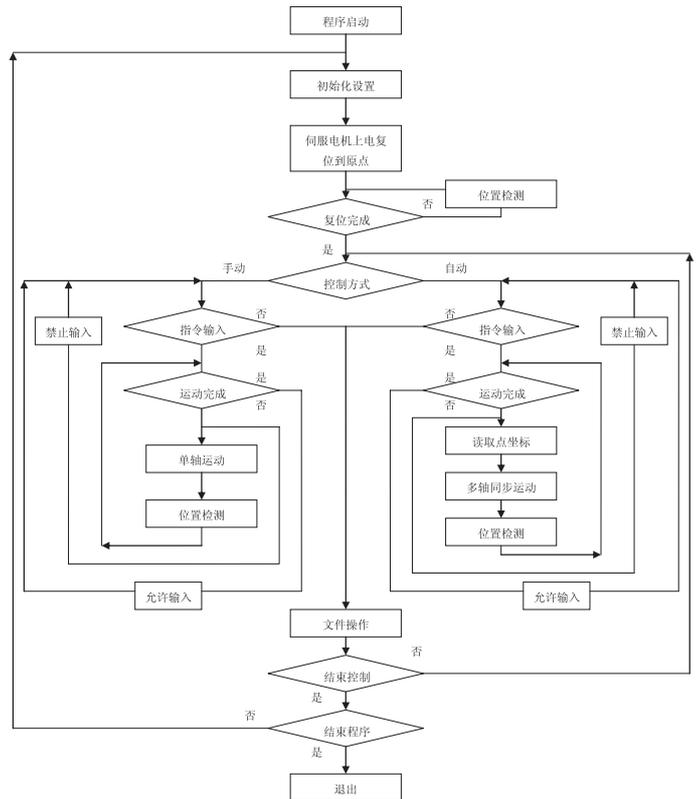


图 6 机械臂控制软件流程图

需要说明的是对于伺服电机位置的检测主要是通过通过对相应伺服电机编码器的读取来获得实际位置的反馈，在极限位置处我们借助霍尔传感器向 PCI-7344 传递触发信号，实现极限位置的检测并通过定时读取 IO 寄存器的值来实现机械臂运动状态的反馈。而直流电机的位置检测则是通过固结在齿轮减速器上的线性电位计的电压来间接测量出直流电机的转角。

软件的主界面如下图所示所示：

开发过程

在 LabVIEW 8.0 之前的版本中，许多在主程序中需要多次复用的功能都是通



图 7 机械臂控制软件前面板逐个去手动更新。

过 subvi 封装来进行调用的。当这样的 subvi 数量多的时候，对于这些文件的管理会成为不小的工作量。甚至，因为某些 subvi 的管理不善（如文件丢失等情况），整个软件系统的工作会受到较大影响。在 LabVIEW 推出的 8.0 及 8.2 版中，Project 开发方式的推出给这一问题的解决带来了希望。

通过 Project Explorer 我们在开发过程不仅可以有效对于各个功能（如伺服驱动器工作状态反馈、直流电机位置测量、直流电机位置控制等）进行独立开发，更可以保证主 vi 中调用的功能与 subvi 的一致，而不用像低版本中那样，一旦 subvi 有变化，主 vi 需要图 7 机械臂控制软件前面板逐个去手动更新。

使用 Project Explorer 的另一个好处在于程序封装发布的便利。如图 8 所示，通过 build specification 中的不同选择，可以将源程序封装成 exe 文件，或者是带 LabVIEW Runtime Engine 的 Installer 安装文件，以及动态链接库（dll）和屏蔽了源代码的 vi（Block Diagram 不可见）。

此外，在利用板卡采集直流电机电感器输入电压时我们遇到了交流干扰信号的影响，借助 LabVIEW 自带的信号处理函数可以有效地抑制干扰信号对于程序判断逻辑的影响（在现场无法快速需得物理滤波器时，可以考虑利用 LabVIEW 的软件滤波）。

文件操作

在程序的开发过程中我们时常会遇到需要对一些数据进行添加、保存、删除、读取等功能的场合，在例如 VC 或者 VB 等开发平台中，文档的操作由于涉及了文档模版结构的设计、文件指针操作及消息影射等，文件操作的实现显得较为复杂。

而在 LabVIEW 中借助 write to spreadsheet、read from spreadsheet 等文件操作 vi 和表格控件、数组操作 vi 及自定义空间等就可以轻松实现常用的 txt、xls 等数据文件格式的读写等功能（如图 9 所示）。

结论

借助 LabVIEW，我们在课题中能够快速地将开发和调试过程有机地结合在一起，利用 LabVIEW 开发出能够有效将机械臂所需要的电机驱动器、位置编码器、极限位置传感器和数字 IO 口等硬件资源整合的控制系统设计和相应软件，并且保证了机构的精度和开发时间的进度要求。

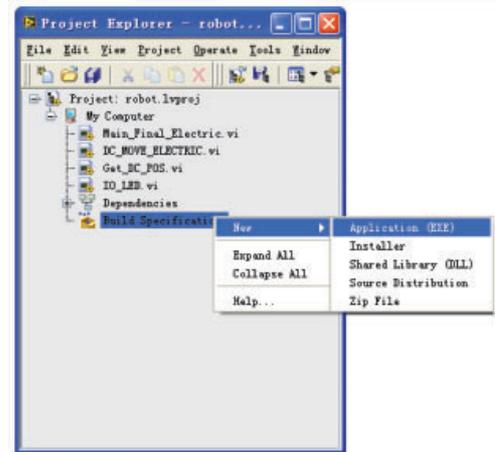


图 8 LabVIEW 中 Project 功能

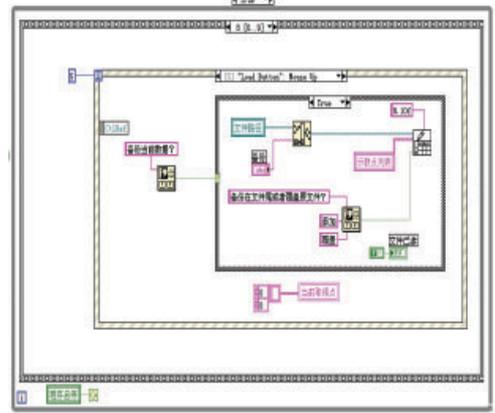


图 9 文件操作程序示例

参考文献

- [1] 雷振山. LabVIEW 7 EXPRESS 实用技术教程. 中国铁道出版社. 2004
- [2] 杨乐平. LabVIEW 高级程序设计. 清华大学出版社. 2003
- [3] Jianjun Yuan, Weijun Zhang, "Research on Novel Wire Driving Robot Manipulator for Local Industrial Production Line", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation, 2007
- [4] 宫金良, 赵现朝, 高峰. 基于 LabVIEW 和 PXI-7538 多轴运动控制卡的地震模拟振动台控制系统设计. 美国国家仪器中国有限公司 2006 年优秀论文合订本

基于 LabVIEW 和 Fuzzy Logic ToolKit 的模糊控制位置纠偏系统设计

刘航 - 广东汕头大学工学院机电系

挑战

基于 PC 平台，采用自调整模糊控制方法进行包装机械，特别是光电分条机和制袋机的位置纠偏控制。

产品

LabVIEW 5.0	Fuzzy Logic for G ToolKit1.0
PCI-1200 DAQ Board	5B32
5B39 系列信号调理模块	

“模糊工具包通过友好的人机交互界面直观方便地进行模糊控制器的设计且可以迅速地搭建所需的自动控制系统，进行模糊控制器的实际仿真及应用。”

基于 LabVIEW 高效的软件开发环境和强大功能，Fuzzy Logic ToolKit 直观方便的模糊逻辑控制器设计功能，结合 PCI-1200 数据采集卡和其它相关硬件，迅速有效地完成了一个采用自调整模糊控制方法的包装机械位置纠偏实验系统的开发设计、仿真及实际应用。

模糊控制及 Fuzzy Logic ToolKit

模糊控制是基于规则的一种智能控制，它不依赖于被控对象的精确数学模型，特别适宜对具有多输入—多输出的强耦合性、参数的时变性和严重的非线性与不确定性的复杂系统或过程的控制，且控制方法简单，实际效果好，近年来在各个工程领域得到了广泛应用。但由于模糊控制理论还并不完善，系统设计缺乏统一有效的理论指导，在模糊控制器的实际设计和应用中仍主要采用试凑的方法，

通过试凑法进行模糊控制器的设计，必须根据仿真或实际控制效果不断的调整控制器参数，如隶属函数的形状、分布，比例、量化因子的取值，解模糊方法，控制规则等，工作量大而繁琐，因此一个高效方便的开发环境对模糊控制控制器的设计至关重要。

利用 NI 的基于 LabVIEW 的模糊逻辑工具包 (Fuzzy Logic for G Toolkit)，不但可以在 LabVIEW 环境下通过友好的人机交互界面直观方便地进行模糊控制器的设计，还能充分利用 LabVIEW 的各种强大功能，特别是同数据采集板卡等硬件的良好结合，迅速地搭建所需的自动控制系统，进行模糊控制器的实际仿真及应用。

基于模糊控制的位置纠偏系统 对包装机械而言，最普遍和重要的一

解决方案

使用 LabVIEW 及 Fuzzy Logic ToolKit，结合 PCI-1200 数据采集卡和其它相关硬件，开发一个采用自调整模糊控制方法的包装机械位置纠偏实验系统。

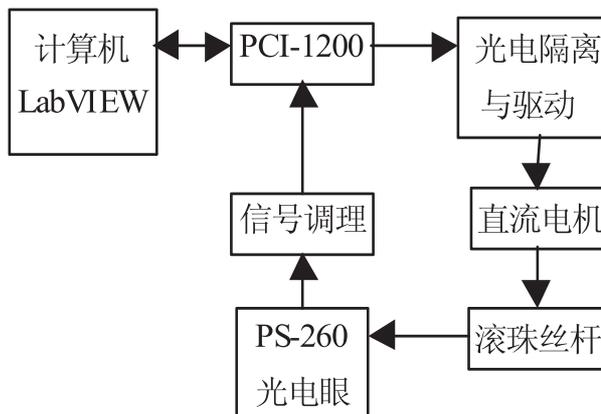
项控制即位置的纠偏控制，如各种分条机、制袋机中对包装膜位置的精确控制。由于该类机械及其控制对象大多具有非线性和时变性特征，数学建模困难，采用常规控制方法如 PID 控制等，难以满足性能要求，因此引入了模糊控制方法。

为提高系统设计的效

率，使用 LabVIEW 及 Fuzzy Logic ToolKit，结合 PCI-1200 数据采集卡和其它相关硬件，开发一个采用自调整模糊控制方法的包装机械位置纠偏实验系统。该系统一方面用于 LabVIEW 软件设计、模糊控制及位置纠偏控制方法的实验教学，另一方面用于对所设计模糊控制器的实际运行仿真，以便在应用单片机完成实际系统时减轻设计和调试的工作量。

位置纠偏系统的硬件结构

该模糊控制位置纠偏实验系统的硬件结构如图示。这是一个基于 PC 平台的控制系统，用 LabVIEW 和 Fuzzy Logic Toolkit 开发系统监控软件。由于本系统要求的输入输出通道不多，采用了适用型的 PCI-1200 数据采集卡，该卡具有八个模拟输入通道、两个模拟输出通道（12 位的 A/D、D/A 转换精度），以及 3 个 8 位 TTL 电平的数字 I/O 口。输入信号调理部分主要采用 5B32 模块，它可将输入电流转化为 0~+5V 的电压输出。控制信号输出部分除了进行光电隔离外，还使用了 5B39 信号调理模块，该模块能将 0~+5V 的



基于 LabVIEW 的模糊控制位置纠偏实验系统结构框图

电压输入转化为 4~20mA 的电流输出。

PS-260 为日本三桥生产的光电眼，它用于检测包装膜特征边或特征线标志，并通过由两路光敏元件产生相应的电流信号，经信号调理模块输出到数据采集卡 PCI-1200 的模拟输入通道。在 LabVIEW 中测量电流值，同平衡位置的电流设定值比较，将其误差和误差的变化作为模糊控制器输入，经模糊化、模糊推理和解模糊后，得到相应的控制量。该控制量由 PCI-1200 的模拟通道输出，经光电隔离后用以控制直流电动机驱动装置，从而控制电机的转速，并经滚珠丝杆转化为对直线位移的纠偏控制。

位置纠偏系统的软件设计

该位置纠偏系统软件设计主要有两个部分，一是输入信号的采集和控制信号的输出，二是模糊控制器的设计。相对于其它编程语言(如 C, C++)，利用 LabVIEW 和 Fuzzy Logic Toolkit 可以更迅速有效的完成以上两部分工作。

对于输入信号的采集和控制信号的输出，由于 LabVIEW 中提供了各种功能的模拟、数字信号输入、输出 VI，可以方便地在框图程序中直接调用，而不必涉及对数据采集硬件的底层操作，因此可以很快完成。本系统中只用到两个模拟输入通道、一个模拟输出通道和几个数字 I/O 端口（用于电动机的起/停、正/反转控制等），该部分并不复杂，以下重点介绍模糊控制器的设计思想和通过 Fuzzy Logic Toolkit 完成的方法。

当被控对象偏离设定的平衡位置时，其偏离误差为：

$$E = (I_{a0} - I_{b0}) - (I_a - I_b)$$

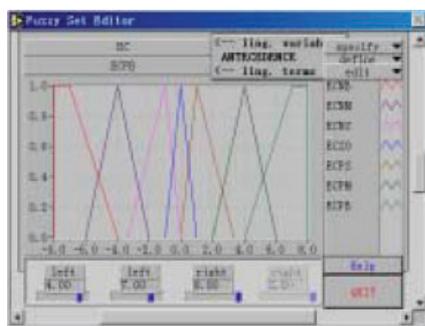
其中： I_{a0} 和 I_{b0} 为设置的平衡位置处两路光敏元件输出电流基准值。 I_a 和 I_b 为检测过程中任意检测位置处两路光敏元件电流输出值。

偏离误差的变化为：

$$\Delta E = [E(nT) - E(nT-T)]/T$$

定义误差 E 的语言值模糊子集为：{NL, NB, NM, NS, O, PS, PM, PB, PL}。定义误差变化 ΔE 和输出 U 的语言值模糊子集为：{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB}。

以上设计主要通过 Fuzzy Logic Toolkit 的模糊逻辑控制器设计 VI 进行，该 VI 由模糊集编辑器、模糊规则



利用模糊逻辑工具包进行模糊控制器设计。图中所示为通过模糊集编辑器设计误差变化

库编辑器和输入输出性能测试三部分组成，用户可以直观方便地设计和修改模糊控制器的隶属函数、控制规则、解模糊方法、推理算法及其它相关参数，并对模糊控制器的输入输出性能进行初步检验和测试。通过该 VI 设计好的模糊逻辑控制器，以后缀名 .fc 的形式保存于一个数据文件中。在后台框图程序中，利用模糊控制器 VI 将设计好的模糊控制器作为一个图形功能模块同程序其它部分相连，并在运行时通过模糊控制器载入 VI 将 *.fc 数据文件中的所有模糊控制器参数加载到模糊控制器 VI 中，以实现所需的控制功能。

另外，为了同常规控制方法进行比较，程序中还设计了 PID 控制模块。

自调整因子控制方法的实现

由于 LabVIEW 的模糊逻辑工具包只能进行常规模糊控制器设计，当控制对象参数变化时，控制效果受到影响，为此，引入了自调整因子模糊控制方法。

自调整因子模糊控制方法在常规模糊控制的基础上增加了性能测量和参数寻优、调整等功能，而这几个模块计算较复杂，利用 LabVIEW 的图形化 G 语言来编写相对烦琐，程序运行效率受到一定影响。由于 LabVIEW 提供了调用库函数节点 CLFN (Call Library Function Node) 和代码接口节点 CIN (Code Interface Nodes)，可以利用它们来调用如 C、FORTRAN 等编写的外部程序资源。因此，采用了 C 语言来编写以上几个功能模块，通过 CIN 方式在 LabVIEW 环境下调用，从而实现模糊控制器的自调整功能，经实际运行表明，程序执行速度有大幅度提高，并取得了较好的控制效果。

结论

以上基于自调整模糊控制方法的包装机械位置纠偏实验系统设计，充分发挥了 LabVIEW 及 Fuzzy Logic ToolKit 的强大功能和易用型，开发时间短、效率高，在有关模糊控制及 LabVIEW 软件设计的实验教学和包装机械位置纠偏控制的仿真及实际应用中取得了良好效果。

研究人员基于NI CompactRIO平台开发并控制无人水下探测车

作者: Edin Omerdic 单位: Limerick大学 移动与海洋机器人研究中心

挑战

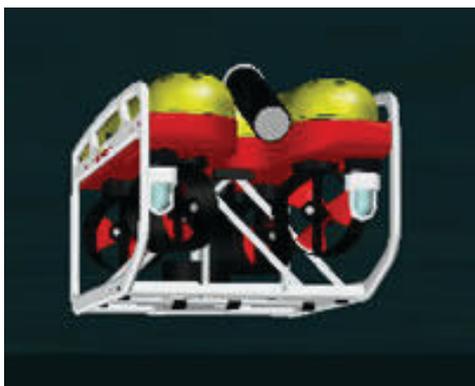
对现有设备的集成,配合高级控制算法,操控无人驾驶的水下探测车。

解决方案

使用NI CompactRIO,紧凑型视觉系统(CVS)和LabVIEW等软硬件工具,对无人驾驶水下探测车进行快速控制原型和硬件在环仿真,为系统集成、测试和高级控制算法的实现提供普适性的解决方案。

在Limerick大学移动与海洋机器人研究中心(Mobile & Marine Robotics Research Centre),研究人员为水下探测创建了通用的解决方案,他们采用了最新的测量设备,包括高分辨率、多波瓣的声纳,光学惯性导航系统,多普勒速度记录仪,NI CompactRIO和NI CVS等。

在此基础上,他们又进一步进行了系统的整合,结合真实和仿真环境为研究人员开发、实现和测试高级控制算法提供了普适性的框架——即虚拟水下实验室。虚拟水下实验室可以进行环境模拟、任务执行器控制和混合控制分配。



Limerick大学的研究人员使用NI的软硬件设计和控制的虚拟水下实验室

基于 NI LabVIEW 和 Compact FieldPoint 的水底爬行者

国家海洋技术研究所建造用于采集海床材料的水下行进装置

作者: Baskar Ceri, Apna Technologies & Solutions 有限公司
Vishwananth B O, 国家海洋技术学院
Binu Balakrishnan, 国家海洋技术学院
Valliappan M, Apna Technologies & Solutions 有限公司
Senthil Raj Desappan, Apna Technologies & Solutions 有限公司

挑战

为一台能够在深达600米的海床运行的水下行进装置搭建数据采集和控制系统。

解决方案

使用NI LabVIEW, PXI Real-Time and Compact FieldPoint Real-Time Modules 开发系统。

产品

Compact FieldPoint	数据采集
LabVIEW	LabVIEW Real-Time
PXI/CompactPCI	

- 用 PXI-6031 多功能 DAQ 硬件设备连接到控制台信号
- 用 PXI-6508 数字输入输出硬件连接到控制手柄正常。

“在专用测量系统方面，虚拟仪器的发展空间更为广阔。无所不在的计算机应用为虚拟仪器的推广提供了良好的基础。”

国家海洋技术学院开发了一组可在水下600米深海床执行采集任务的行进装置，该装置同时配备有剪切、采集以及运输物体的设备。装置从船上投放，我们通过装置上的水下计算机控制所有的操作，计算机获取来自水下传感器的数据、通过远程数据连接接收来自船舱控制室电脑的指令并且自动和手动地控制行进装置上的设备输出。我们通过使用一个多种模式下的光纤连接来建立控制船和海床计算机的通讯。为了能够从行进装置上获取各种各样的信号，例如速度、方向和温度，我们用的是置于船舱控制室的用户界面屏幕。控制室单元从用户终端采集正确的控制输入数据，然后将这些数据传递解码到水下装置的系统上。为了操作更具灵活性，我们将水下装置与船舱控制室之间的通讯联络设计成 TCP/IP 协议方式的通讯（默认的通讯协议），如果 TCP/IP 协议无法进行通讯联络，系统自动转入串行通讯。当 TCP/IP 通讯联络恢复时，系统又会切回。系统的灵活性还在于如果船舱控制室和 underwater 行进装置在一定时间内没有任何通讯联络，这个模块会将装置维持在用户特定的安全位置直至通讯恢复正常。

在行进装置上的紧凑型嵌入式系统是基于 Compact FieldPoint 的实时系统，包括下列：

- cFP-2020RT 嵌入式控制器
- cFP-AI-110 类比输入模块
- cFP-FTD-122 RTD 输入模块
- cFP-AO-210 类比输入模块
- cFP-DO-403 数字输出模块

水下行进装置包括下列：

- 两条水力驱动履带使得装置可以运动
- 用于松开海床上物体的剪刀
- 机械手臂使得剪刀向三个不同转向运动
- 泥浆泵和管道使得挖到的沙子运送到控制船·推进器维持装置的稳定运动，不收海流影响
- 水力电源单元
- 两台摄像机和它们的灯光设备，用来观察周边情况和剪刀运动
- 感应头用来容纳数据采集硬件从而来自行进装置及周边的各种信号并控制装置的运动
- 230 伏特交流电，3KVA 电缆线驱动泥浆泵、推进器控制和其他电路设备

系统描述

我们运用下列技术开发了水下行进装置的数据采集和控制系统：

- 两台工业计算机运行基于 LabVIEW 的应用程序，为控制船上的用户提供用户界面
- PXI Real-Time 系统包括一台 PXI-1002 机箱和一台 PXI-8176RT 嵌入式控制器

行进装置控制和数据采集

我们在水下行进装置控制系统研发过程中选用 NI Compact FieldPoint 系统是因为它的坚固性和紧凑性。我们实施了一组 Compact FieldPoint 系统，包括有运行 LabVIEW 实时程序高端 512 兆记忆体的嵌入式控制器 cFP-2020，温度输入设备 cFP-RTD-122，模拟输入设备 cFP-AI-110，控制驱动以及通过提供 PID 输出控制方

向的设备 cFP-AO-210，数字输入设备 cFP-DO-403 和速度输入设备 cFP-CTR-502。我们运用 Compact FieldPoint 实时控制器和 Compact FieldPoint I/O 模块控制所有行进装置的构件。我们从船舱控制室将行进装置连同 cFP 模块投放到深达 600 米的海床。

PXI 系统包括 PXI-1002 机箱和 PXI-8176 嵌入式控制器，运行的是 LabVIEW 实时应用程序，以及从用户控制面板获取数字输入的 PXI-6508，用于控制面板模拟输入的 PXI-6031E。

行进装置控制模块：

这部分是运行行进装置实时 Compact FieldPoint 控制器的主控制器程序。我们在 LabVIEW 实时 (Real-Time) 中编写这个模块。这个模块持续从各个传感器的感应头上采集数据并与船舱控制室内的 PXI 实时控制器进行双向通讯。PXI 和 Compact FieldPoint 实时控制器之间的通讯是通过 TCP/IP 协议来进行的。当 TCP/IP 无法运行的时候，通讯将切换到串行模式。

我们特别设计这样的模块程序，当它从一个 PXI 实时控制器接收任何指令，模块在激活相应的 Compact FieldPoint 模块输出前会检查用户设定的严格互锁条件。当船只和 underwater 行进装置没有通讯联络的时候，我们在 Compact FieldPoint 存储器中维护互相独立的数据日志、事件日志和错误日志文档。一旦 PXI 和 Compact FieldPoint 之间的通讯联络恢复，我们把所存储的数据上载到 PXI。如果船舱控制室和 underwater 行进装置在一定时间内没有任何通讯联络，这个模块会将装置引向安全位置。这个模块的运行要求运用 PID 算法来控制 underwater 行进装置的方向、速度和自动操作模式下两条履带的滑动。

通讯模块：

这个模块是所有模块之间通讯联络的核心 - 括主从电脑之间、PXI 控制器和 Compact FieldPoint 控制器之间以及主电脑和 PXI 控制器之间。大多数通讯联络是基于 TCP/IP 协议的。在 PXI 控制器和 Compact FieldPoint 控制器之间还有额外的内建通讯。TCP/IP 通讯是默认的通讯协议，但如果这种通讯方式出现了错误，模块将自动切换到串行 (RS232) 模式，而这样做不会失去与控制船的联系。模块将不停地核对 TCP/IP 通讯是否重新建立。凭借高速数据传送，一旦 TCP/IP 开始工作，通讯方式又将切换回 TCP/IP，因为它在数据传输方面有着高的速度。这个模块负责自动地在 TCP/IP 和串行模式的通讯方式间进行切换。

数据记录模块：

数据记录模块运行在主电脑中、PXI 控制器里和 Compact FieldPoint 控制器里。主电脑中存储有每一天的操作数据。PXI 控

制器中有所有的数据作为备份。Compact FieldPoint 中存储的是当 Compact FieldPoint 控制器和 PXI 控制器之间没有通讯联络时的所有数据。当它们之间的通讯重新建立时，被存储在 Compact FieldPoint 控制器中的文档即被转移到 PXI 控制器中。我们维护相互独立的数据、误差记录，同时存档事件的日志文件。数据记录中有所有来自行进装置传感器的数据。误差记录中有操作过程中的所有错误。事件日志则是记录了所有的事件，比如在用户在船舱控制室或者主从界面的控制动作，相应的水下行进装置的动作，包括动作事件发生所对应的时间。系统按照用户设定的记录速率进行数据记录。通过查看模块，用户可以随时调阅之前所存储的数据。

结论

我们用 NI 虚拟仪器技术的概念构建水下行进装置的数据采集和控制系统，使用了包括 LabVIEW、PXI 实时 (Real-Time) 以及 Compact FieldPoint Real-Time 的技术，通过最高效的应用程序完成数据采集和控制系统的构建。该系统不仅负责获取来自水下 600 米深的海底处行进装置的信号，而且还负责控制行进装置本身。最终，我们缩短了开发的时间，并且还具备了应付未来技术不断改进升级的能力。

ni.com/china · 免费咨询电话: 800 820 3622 · china.info@ni.com



NI 驻中国分公司:

NI 上海: 上海浦东张江集电港二期张东路 1387 号 45 幢 (201203)
电话: (021) 5050 9800 传真: (021) 6555 6244
E-mail: china.info@ni.com

NI 香港: 香港沙田小沥源安心街 19 号汇贸中心 2 楼 5 室
电话: (852) 2645 3186 传真: (852) 2686 8505
E-mail: general@nihk.com.hk

NI 代理: 北京中科泛华测控技术有限公司 (100083)
电话: (010) 8260 0055 传真: (010) 6262 8056
E-mail: mail@pansino.com.cn

CompactRIO 分销商及增值服务商: 上海聚星仪器有限公司
上海浦东张江集电港二期张东路 1387 号 10 幢 02 号 3 楼 (201203)
电话: 021-68795660 传真: 021-68795670
邮箱: info@vi-china.com.cn 网址: www.vi-china.com.cn