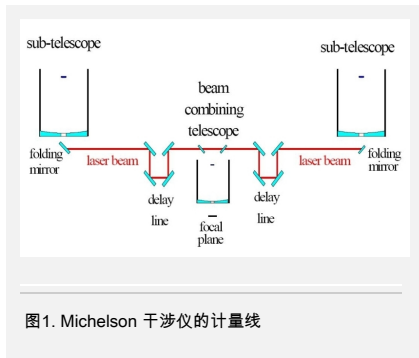


用于卫星遥测的 Michelson 干涉仪测试台演示器 的数字控制



"通过调用库函数节点使用NI LabVIEW与 NI DAQ板卡进行数据交换，可以非常方便地与实验室 NI DAQ硬件进行连接，而无需使用实际使用的硬件，这样就节省大量的时间和金钱。"

– F. Musso, [ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)

挑战:

为欧氏空间遥测的同相位系统实验室演示器建立数字控制系统，用于将遥测臂之间的光学路径差维持在10nm之内，这是确保有效卫星操作的必要条件。这个任务需要按照西欧军备组织（WEAO）研究小组颁布的 Euclid CEPA 9 RTP 9.9 合同来实行。

解决方案:

使用控制算法交互、利用C++语言编写并且嵌入到动态链接库中，使用NI LabVIEW中的调用库函数节点交互来自NI DAQ板卡的数据（来自ADC的测量值和发送到DAC的指令）。

作者:

F. Musso - [ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)
F. Bresciani - [ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)
L. Bonino - [ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)
S. Cesare - [ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)

概述

欧氏空间望远镜是为高分辨率光学检测而优化的干涉仪仪器，利用对成孔径技术对地理静态轨道进行检测。

为了获得需要的同相位、所需的分辨率，就要使用复杂的计量和控制系统，以确保光学配置具有必要的稳定性。集成了一个演示器（称为 MIT，Michelson 干涉仪测试台）用于对欧氏空间望远镜的两个关键系统进行验证，以便达到同相位条件，以及在 Michelson 干涉仪仪器中达到的稳定边缘图案样式。

本文包含了对欧氏空间望远镜的概述、MIT性能的简单描述以及完成的目标。

欧氏空间望远镜

例如欧氏空间望远镜等多孔径望远镜配置为达到大型孔径光学系统提出了一种独特的可行方法。开发多个独立望远镜孔径的动机是为了提供从空间进行高分辨率的观测，避免在大型孔径（大重量）情况下以及使用自适应波前控制导致的局限性。多个望远镜光学镜片可以比单筒大型镜片直径缩小许多，这是在重量以及外形上的重要改进。

带有Fizeau类型组合光学配置的 Michelson 干涉仪被选用实现成孔径技术。望远镜配置包含了八个子望远镜阵列和光束组合望远镜位于阵列的中央，用来采集来自子望远镜的光线，并且可以在聚焦平面上产生干涉图像。光学延迟线可以均衡来自每个子望远镜不同波前进入路径的差别，最后到达覆盖在上面的聚焦平面。干涉边缘图案样式在聚焦平面上形成，并且具有良好的可见度，在干涉仪臂之间的光学路径差（OPD）被保持在比相干长度小的范围之内。随着 OPD 的增加，边缘图案变得越来越黯淡，即其可见度越来越低。这是因为干涉仪并非工作在单一的波长上，而是工作在有限的频带上。

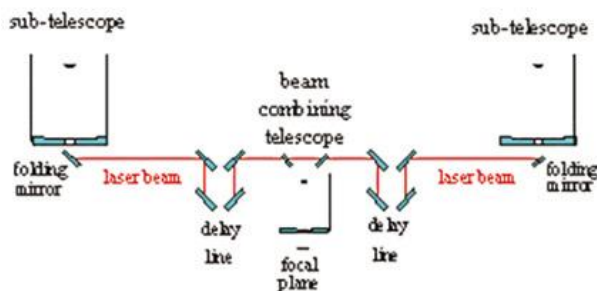


图1. Michelson 干涉仪的计量线

为了让边缘图案具有更好的可见度，光束经过 Michelson 干涉仪八个臂的光学路径长度（OPL）必须进行均衡，其误差需要在工作频带相干长度的范围之内。对于一定的 Michelson 干涉仪任务而言，经过八个臂的光束的 OPL 必须将误差均衡在100 nm之内。如果达到了这个条件，就可以称为干涉仪达到了“同相位”。在达到同相位条件之后，就可以使用望远镜进行观测。在聚焦平面的图像集成时间之内，干涉仪的八个臂之间的 OPD 必须控制在观测波长范围之内（即 $OPD < 10 \text{ nm}$ ），

以便避免边界“跳 跃”或是边界模式相 位出现较大变化，造 成得到的图形出现对 比度损失。如果这种 情况在观测过程中出现，得到的干涉仪图 像就会完全模糊，为了 重建目标原始图像 所需的必要信息也将 丢失。

干涉仪带有激光计 量 系统，以便测量干涉 仪臂之间的光学路 径 差（绝对差和相对 差），从而使用电动 延迟线控制光学路 径 差。控制系统可以对 激光干涉仪进行测 量，将指令发送到延 迟线上。

激光干涉法是至今为 止用于测量长距离变 化的最佳方法。可以 使用多种干涉方法，但是所有方法都是基 于干涉原理的：由同 一个光源发出的两束 或多束光线通过不同 长度的路径最终交汇（汇聚）在用于测量 光强的探测器上。探 测器上的光强是干涉 光线（波）的相对相 位的函数，他们可以 相互增强，也可以相 互减弱。在对干涉信 号的分析中，可以得 出关于不同光束路 径 差的信息。为了测量 光学干涉仪两个臂之 间的长度差，最终 的方法就是使用 Michelson 类型的激光干涉仪。激光干涉仪包括两种 类型的激光计 量：

- 绝对计 量系统（由位于葡萄牙里斯 本的INETI机构 开发），提供了两个 干涉仪臂之间光学路 径差的实际数值，分 辨率较低。
- 相对计 量系统（由位于意大利都灵 的Alcatel Alenia Space Italia开 发），提供了干涉仪 臂之间光学路 径差的 变化（相对于给定初 始值的变化），分辨 率较高。

两种计 量系统都利用 光学干涉仪原型进行 光学干涉，利用控制 系统对延迟线发出指 令进行电子学层面的 交互。

绝对计 量用来支持达 到 Michelson 干涉仪的同相位条 件，它是由干涉仪多 个臂之间的光学路 径 达到相干距离范围之 内而构成的，因此较 高可见度的边缘模式 在仪器的聚焦平面上 形成。

相对计 量提供了对 OPL变化的测量， 从一个给定的初始值 开始（这个数值是在 达到同相位操作之后 的数值），这个数值 被控制系统利通过电 动延迟线的精调级用 于固定边界图案（OPD 10 nm）。相对计 量是 基于 Michelson 干涉仪计 量的，具有 纳米级别的分辨率。OPD 干扰需要在 对象观测过程中进行 补偿，它来自于热学 负载或是发生在卫星 内部的振动（例如方 向控制系统）等造成 的卫星结构变化，通 过仪器结构，传递至 干涉仪镜面。

同相位系统实验室演 示器

同相位系统是望远镜 设计最为关键的部 分。为了测试并且演 示同相位系统的概 念，即将干涉仪臂之 间的OPL 通过一 个自由度的延迟线进 行均衡，实现了一个 实验室演示器。MIT演示器由一个 简化的实验室尺寸的 光学干涉仪原型组 成，实现了与高分辨 率卫星望远镜相同的 光学配置拓扑。

由于同相位系统概念 是要控制望远镜臂 之间的OPD变化，同 相位系统的实验室演 示器带有一条控制延 迟线（CDL）能够 在（主要）臂上工 作，它跟踪另一条（从 属）臂的 OPL 变化，还带 有一条扰动延迟线（DDL）作用在（从 属）臂上，和预 测的体现在卫星望 远镜上的扰动PSD 相似，引入具有相同 功率谱密度（PSD）的OPL 扰动。实验室演示器 需要达到的性能必须 与卫星望远镜要求的 性能一致。

控制延迟线由两个执 行器组成：一个粗调 台式电动平移器和一 个精调台式压电变换 器。扰动线仅由压电 变换器组成。粗调器 用来从比较大的 OPD（例如1 mm）开始达到同相 位条件。精调器用来 在达到同相位状态之 后，控制并保持两个 干涉仪臂之间的 OPD。

同相位控制系统仅仅 使用了相对计 量测 量，在闭环状态下驱 动精调器的控制延迟 线。粗调器的延迟线 直接由操作员在开环 下进行驱动，操作员 观察在绝对计 量监 视器上，达到同相位条 件所需要的位移。粗 调器的执行器使用 RS232 与便携 式计算机进行连接。软件接口在NI LabVIEW 中 实现，用于设置所有 必要的参数，对执行 器进行编程，并设置 位移指令。执行器的 绝对位置一直标识在 图表中。控制粗调器 执行器直至达到同相 位状态。在下图中， 显示了达到同相位状 态的实验干涉图。

同相位控制系统硬件 式基于便携式计算机 的（带有2 GB RAM的 Pentium 4 2.66 GHz），它通过 IEEE 1394 接口连接到便携式 NI DAQPad- 6052E端口上。即便这个类型的数据 采集板卡并非实时设 备，还是可以通过数 字控制闭环，以1 ms 的控制步长进 行控制（可见这并非 硬实时性能）。干扰 延迟线执行器使用相 同的DAQPad- 6052E 进行驱 动。干扰发生算法与 控制算法一起，并行 运行在相同的便携式 计算机上。

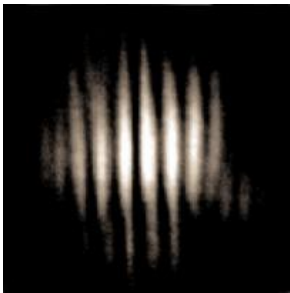


图2.达到同相位状 态的实验干涉图

使用了两个ADC 通道和两个DAC 通道。这两个 ADC 通道采集来 自相对计 量电子的两个 信号，它们用于重 建OPD 变化。一 个DAC用于驱动精 调器控制延迟线的压 电驱动器，另一个 DAC 驱动扰动延 迟线的压电驱动器。

控制算法设计根据相 同的模型观测器进行 执行，它基于离散时 间状态方程，直接用 C 语言算法实现。控制算法程序被编译 为动态连接库（DLL），通过调 用库函数节点使用 NI LabVIEW 与 NI DAQ 板卡 进行数据交换（来自 ADC 的测量和发 送至DAC 的指 令）。这种解决方案 可以测试控制算法（使用C 语言编 写，十分接近最终实 际使用的版本），从 而可以非常方便地与 实验室NI DAQ 硬件进行连 接，而无需使用实际 使用的硬件，这样就 节省大量的时间和金 钱。同样，扰动发生 算法实现为离散状态 空间方程，并且使用 C++ 进行编 写，编译为DLL 文 件。图5 显示了控 制系统的方块图。

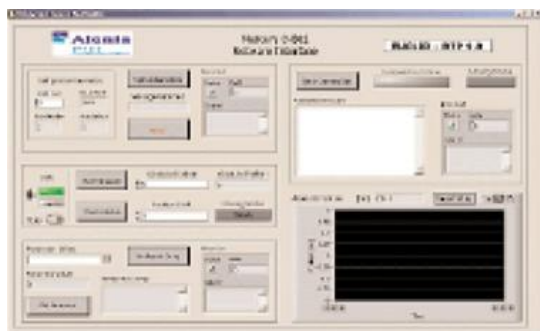


图3.粗调器延迟线 软件界面



图4.NI DAQPad- 6052E 数据采集设备

由于我们的系统并非实时系统，我们设计了一个十分简单的软件界面，其中不含有图形和图形图标，避免载入控制算法的执行。软件界面包含了一系列按钮，可以用来启动或停止相对计量、扰动发生算法、控制系统算法，一组发光二极管用来指示控制系统的状态。所有重要的控制变量（测量、指令、状态变量等等）都存储在计算机的内存中，并在控制对话结束的时候以二进制格式存储在硬盘上。

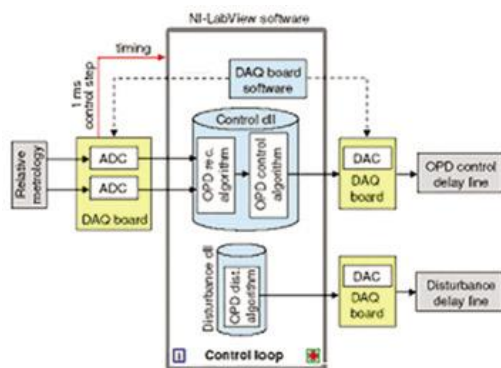


图5.控制系统方块图

测试结果十分理想，残余OPD为 $\sigma = 9.5 \text{ nm}$ ，满足了要求。图6给出了没有控制系统下的OPD扰动（左图）以及控制系统作用下的OPD残余量（右图）。

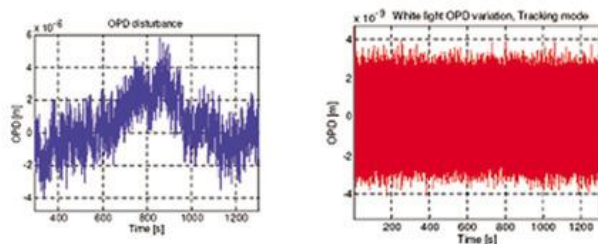


图6.控制系统测试结果

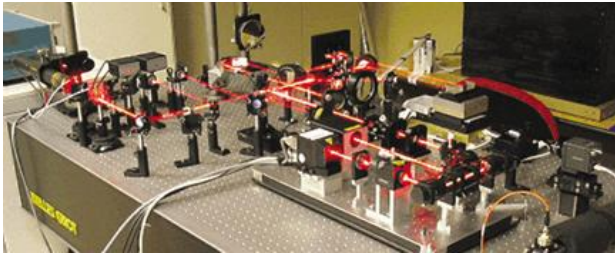


图7. Michelson 干涉仪测试台

为了提高同相位控制系统的性能，未来需 要对控制系统硬件进 行升级。在下一个开 发中，希望使用 NI 实时硬件和 LabVIEW 实 时模块软件将控制步 长减少为0.1 ms，并对控制软件 和控制算法进行一定 的调整。

如果您有任何问题, 请[留言给NI工程师](#)，我们会尽快给您回 电！

作者信息:
F. Musso
[ALCATEL ALENIA SPAZIO](#)

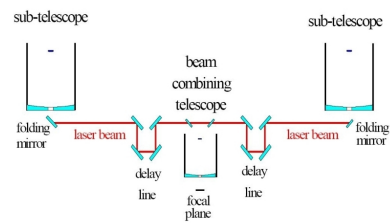


图1. Michelson 干涉仪的计量线

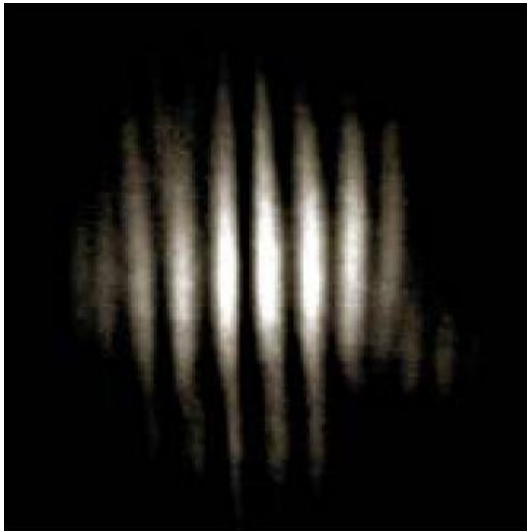


图2.达到同相位状 态的实验干涉图



图4.NI DAQPad- 6052E数据采集 设备

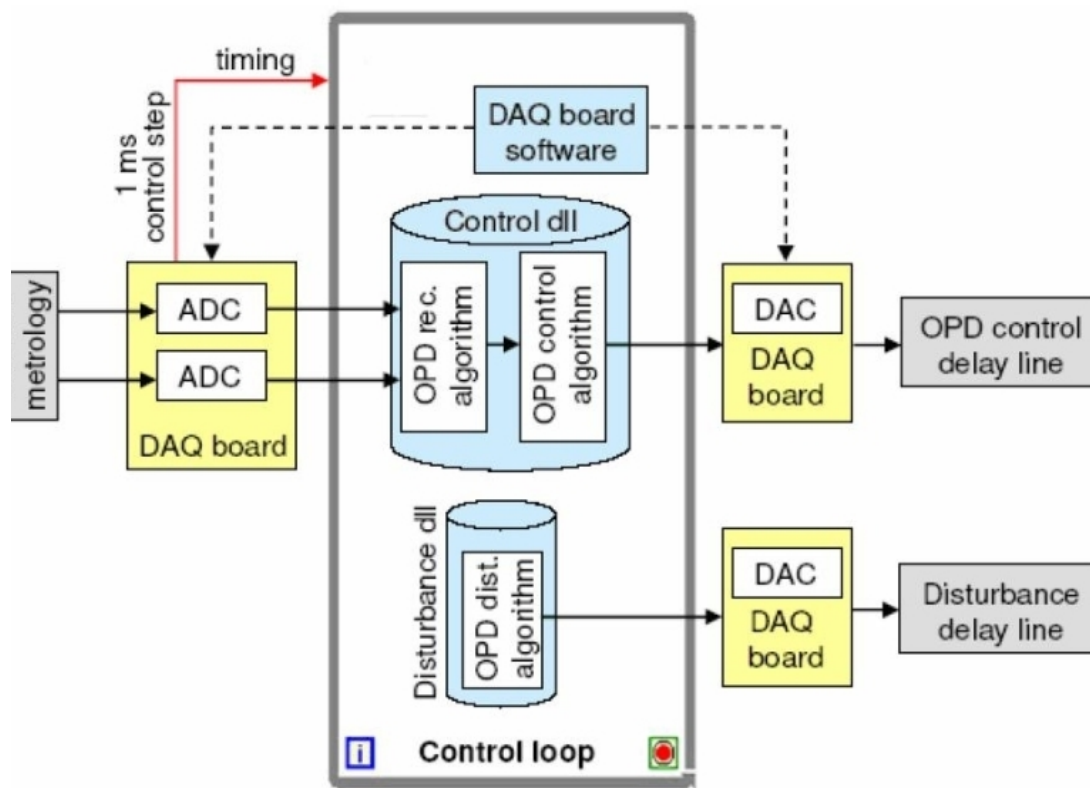


图5.控制系统方块 图

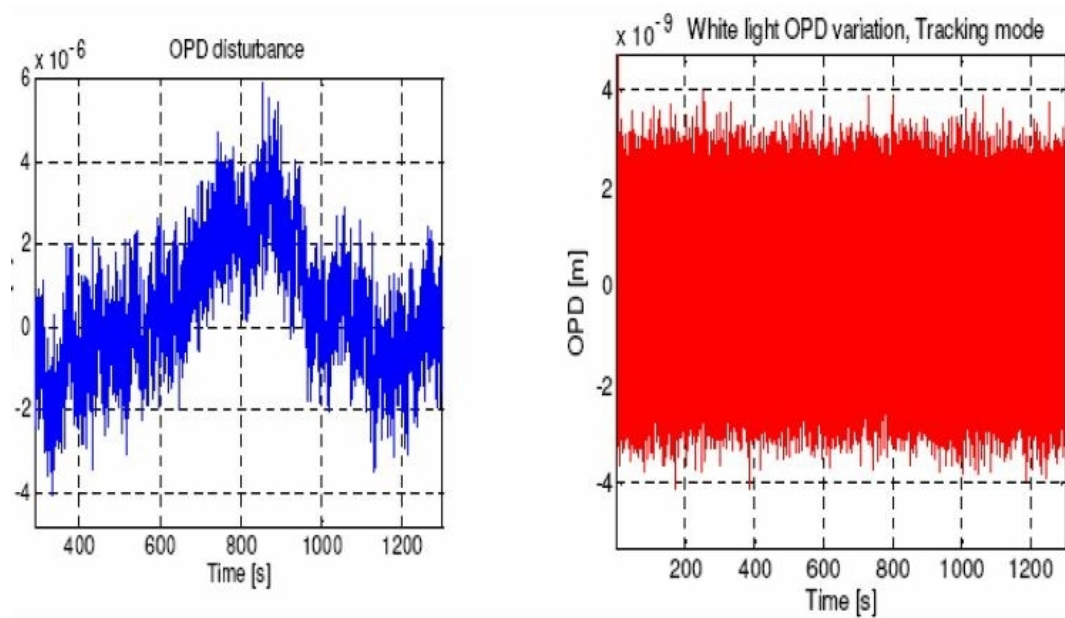


图6.控制系统测试 结果

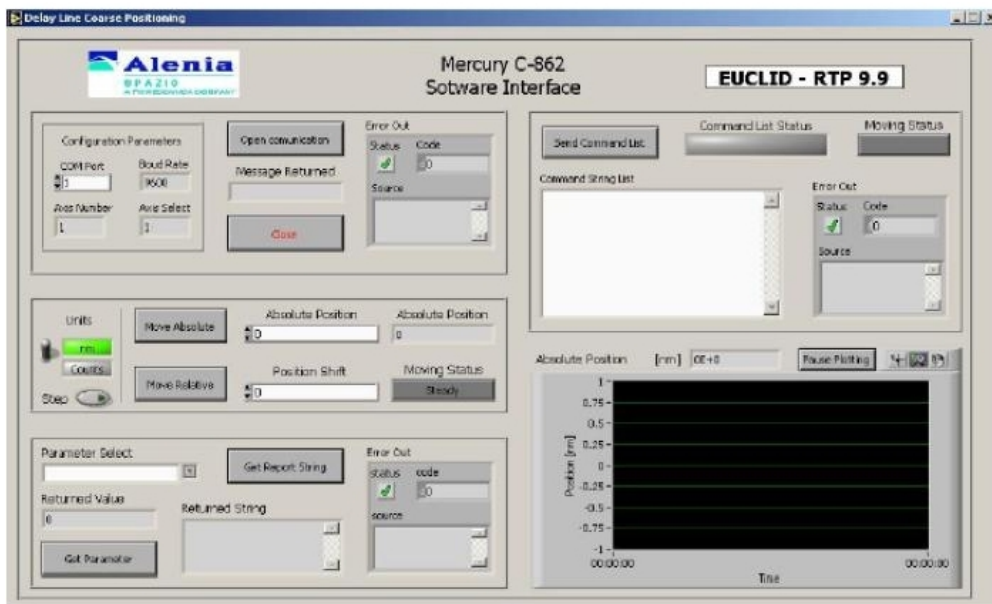


图3.粗调器延迟线 软件界面

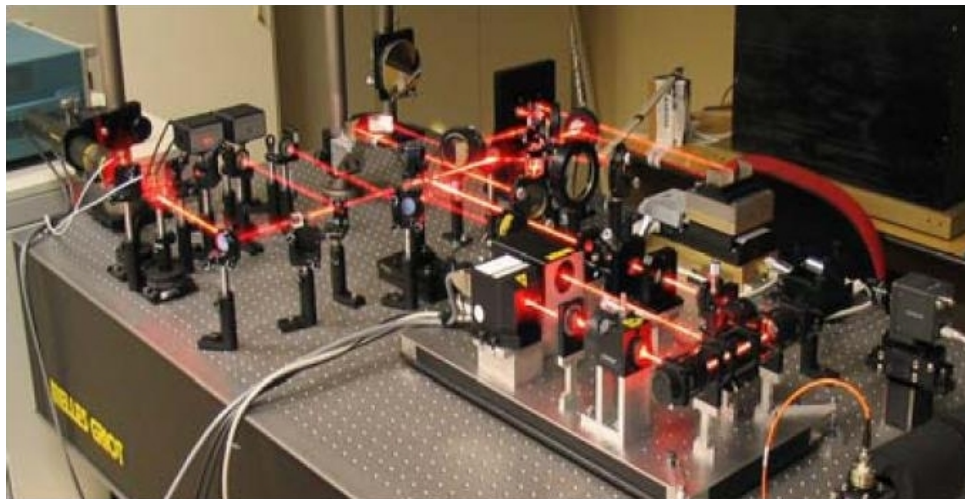


图7. Michelson 干涉仪测试台

下一步

更多相关资源

- 中文网页 : [LabVIEW中文 主页](#)
- 在线视频 : [新一代数据采集产品-M系列介绍](#)
- 下载\索取 : [LabVIEW 8.6 集锦光盘 \(针对数据采集应用\)](#)

法律条款

本教程由 National Instruments 公司 (简称 "NI") 开发。 尽管 National Instruments 可为该程序提供技术 支持, 但是该指南的内容并非完全通过测 试和验证, NI不以任何方式保证其质 量, 也不保证相关产 品或驱动程序的新版 本出现时继续为其提 供技术支持。 本教程 仅以其“现状”向用户 提供, 教程没有任 何担保。 教程使用受 ni.com网站上 《使用条款》的约 束。 (<http://ni.com/legal/termsofuse/unitedstates/us/>)