


基于 PC 的控制系统和工业以太网应用于激光干涉仪引力波观测台 (LIGO)

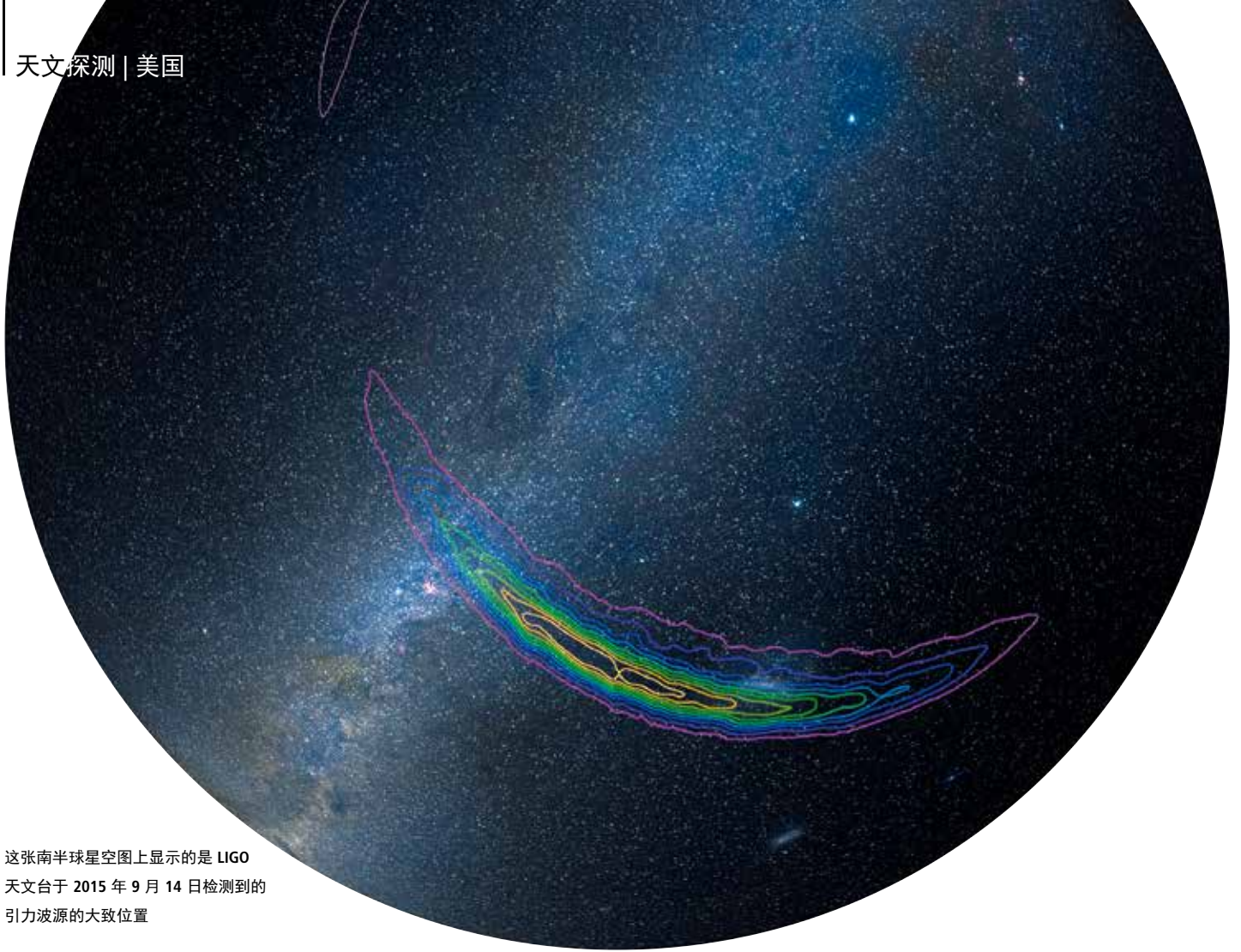
引力波的成功探检测验证了爱因斯坦关于宇宙的世纪预言



LIGO 天文台技术人员在密封安置激光干涉仪的腔室前检查其中一个反射镜，并抽空真空系统

美国科研人员利用激光干涉引力波天文台（LIGO）首次探测到引力波，这一发现印证了物理学大师爱因斯坦 100 年前基于广义相对论的引力波预言。2015 年 9 月 14 日，位于华盛顿州汉福德和路易斯安那州利文斯顿的两台引力波探测器首次探测到引力波信号。2015 年 12 月 26 日，LIGO 第二次探测到引力波信号。

引力波即时空弯曲中的涟漪，通常是由诸如黑洞合并或中子星碰撞等重大宇宙事件引起的。早在 1915 年，爱因斯坦广义相对论预言了引力波的存在，但是现在只有超灵敏的激光干涉仪引力波探测器 LIGO 首次成功探测到引力波的存在。首次探测到的引力波的来源真正令人难以置信：来自于距离地球 13 亿光年之外两个分别为 29 倍太阳质量和 36 倍太阳质量的黑洞碰撞合并。LIGO 探测器能够记录在两个黑洞合并前最后 100 毫秒内产生的引力波。



这张南半球星空图上显示的是 LIGO 天文台于 2015 年 9 月 14 日检测到的引力波源的大致位置

工业自动化在探测服务领域的应用

在汉福德和利文斯顿探测器的研究过程中，基于 PC 的控制系统和 EtherCAT 被用作高速通讯系统。来自汉福德区的 Daniel Sigg 和 Richard McCarthy 负责自动化技术的实施工作。LIGO 资深科研人员 Daniel Sigg 解释道：“基于 PC 的控制技术用于干涉仪臂末端处于伺服的激光控制系统。激光干涉仪被安置在 L 形超高真空系统中，该系统体积非常庞大，位于汉福德的系统支柱长度为 2 千米，而位于文斯顿的支柱长度则为 4 千米。因此，该应用中的远程控制，包括用于稳定激光频率的伺服控制，是一个关键要求。我们还应用 EtherCAT 技术实现了高度复杂的数据采集系统。”

基于 PC 的控制系统最主要的任务是监测研究设备，这包括配电系统的时序控制，系统通过 RS232 或 RS485 发送大量研究数据以进行诊断，然后将这些数据传输到更高级别的 EtherCAT 系统中。LIGO 天文台首席电气工程师 Richard McCarthy 解释道：“我们知道这可以用传统 PLC 完成，但为了简化项目中涉及到的那些系统，我们采用了基于 PC 的控制技术。” LIGO 天文台以前使用的自动化和 I/O 系统采用的不是模块化结构，而且灵活性差，不足以适应常规的系统更新和扩展。由于需要频繁地对科学研究设备进行修改和改进，因此控制技术的灵活性成为了关注的重点。

EtherCAT 系统用作所有组件的集成式现场总线系统，包括 I/O、安全技术和步进电机。LIGO 天文台还开发了许多自己的 EtherCAT 设备，以实现高端测量和数据分析。此外，EtherCAT 和 TwinCAT 3 自动化软件中

的多协议通讯确保研究项目中涉及到的大学和组织可以随时访问测量数据。Daniel Sigg 和 Richard McCarthy 通过 TwinCAT ADS 在 LIGO 控制室屏幕上创建直观的可视化界面。TwinCAT 3 自动化软件集成在 Microsoft Visual Studio® 中并可使用各种编程语言，具有很大的灵活性，并提供大量的编程工具。LIGO 天文台的干涉仪研究站基于 PC 的控制系统中主要使用的是结构化文本（ST），而其它研究设备使用的则是用 C++ 或 Python 创建的代码。

在监测功能实现方面，LIGO 使用各种倍福面板型 PC，包括一台多点触控面板 CP2215。它们被安装在干涉仪的真空控制器处，便于实现过程监测和泵控制以及其它功能。“我们更换的最昂贵的设备是真空系统，因此我们必须不断监测安置真空系统、低温泵和离子泵的建筑。” McCarthy 解释道。

由于干涉仪臂长达 4 千米，因此需要使用具有高抗噪性的光纤网络来与远程电子设备来建立物理连接。这可通过带玻璃光纤电缆接口的 EtherCAT 耦合器 EK1501 实现，可以根据站点间的距离选择多模（最长 2000 米）或单模型号（最长 20000 米）。除了光纤连接之外，EtherCAT 桥接端子模块 EL6692 可在 EtherCAT I/O 环形拓扑结构和不同的主站之间建立实时数据交换，这对让干涉仪延伸数公里来说至关重要。

I/O 系统经常被要求远程修改增益设置和继电器，同时与为 LIGO 天文台定制的其他高精度测量电子元件连接。TwinSAFE 端子模块可在 LIGO 天文台现场实现各种人员和设备保护措施，它们直接与倍福

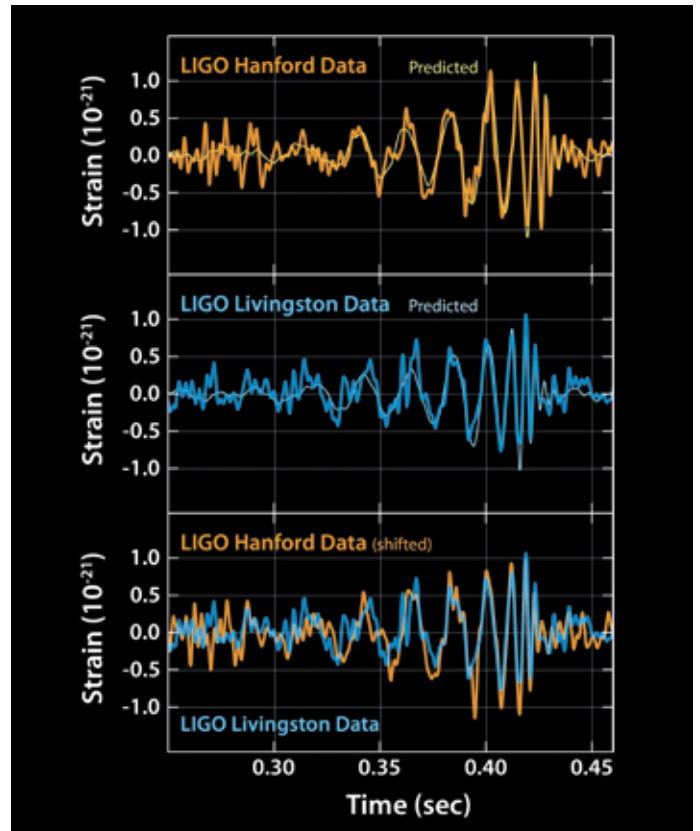
的 CX5020 嵌入式控制器连接。所有大功率激光束必须包含在保护区中，以确保人员安全。如果有人或物体以某种方式进入保护区，TwinSAFE 和急停功能确保所有干涉仪臂同时关闭。TwinSAFE 还让 LIGO 天文台工作人员能够安全地打开激光工作台，而不必关闭任何激光器。

高精度的低频 (0.01 Hz) 倾角仪用来测量干涉仪的倾角。倾角仪的灵敏度非常高，它可以检测天文台大风天里摇晃的程度。安装在干涉仪中的其它设备可以对倾斜角度超出可接受范围的光学设备进行补偿。倾角仪本身由一台 19 英寸机架安装式工业 PC C5210 控制。它还负责分析配备小型激光反射镜的倾角仪的图像，以便检测微小的振动，同时用一台相机记录任何变化。相机与 EtherCAT I/O 系统同步。与步进电机连接的 EtherCAT 端子盒可以在校准测量工作台时进行高精度调整。

研究设备设计持续推波逐浪

通过集中采用标准化和灵活的系统，按时在预算内完成了这一宏大的 LIGO 天文台项目。当然，这并不是说在这个过程中没有进行过任何修正。由于 LIGO 天文台的科研人员 and 工程师们对他们的研究方法进行了微调，并建造了实验室基础设施，也需要相应调整基于 PC 的控制和 EtherCAT 设备。“通过高性能的 PC 控制系统，我们可以使用 TwinCAT 软件来保持 10 毫秒的更新速率来更新超过 1000 台设备和 10000 个输入输出点。” Sigg 总结说道。

LIGO 天文台未来计划将现有地点的多个传统系统更新为先进的基于 PC 和 EtherCAT 的控制系统。翻新改造的具体目标包括气象站、灰尘监测、液压泵控制等。



这些图表上显示的是由位于路易斯安那州利文斯顿和华盛顿汉福德的两台 LIGO 天文台探测到的引力波信号



由 LIGO 开发的真空控制系统大量运用基于 PC 的控制系统和 EtherCAT 通讯技术

更多信息:

www.ligo.caltech.edu

www.beckhoffautomation.com