

Application and Prospect of High-precision Laser Tracking and Measurement Technology in Industrial Automation

Shengliang Peng Changquan Yan Jiefeng Lu Weihua Jiang Yulong Wang

Shenzhen Zhenglong Weiye Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

In recent years, high-precision laser tracking and measurement technology has been widely used in the field of industrial automation, which has brought unprecedented accuracy and efficiency to many production processes. This paper comprehensively discusses the working principle, key components and data processing methods of the technology, and analyzes its application in tool machine calibration, large component manufacturing and real-time quality control. In addition, we explore in depth the integration potential of laser tracking measurement technology with other industrial automation technologies, such as machine vision and sensor networks. Finally, we explore the current technological challenges, future trends, and explore possible technological advances.

Keywords

laser tracking measurement; industrial automation; high precision; measurement technology; production optimization; technology outlook

高精度激光跟踪测量技术在工业自动化中的应用与展望

彭声亮 晏昌权 卢杰锋 蒋渭华 王玉龙

深圳市正隆伟业科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

近年来, 高精度激光跟踪测量技术在工业自动化领域得到了广泛应用, 为众多生产流程带来了前所未有的准确性和效率。论文全面探讨了该技术的工作原理、关键组件和数据处理方法, 并详细分析了其在工具机校准、大型部件制造和实时质量控制等方面的应用。此外, 我们还深入探讨了激光跟踪测量技术与其他工业自动化技术, 如机器视觉和传感器网络的整合潜力。最后我们探讨了目前的技术挑战、未来发展趋势, 并对可能的技术进步进行了展望。

关键词

激光跟踪测量; 工业自动化; 高精度; 测量技术; 生产优化; 技术展望

1 引言

在工业自动化技术日趋成熟的今天, 高精度激光跟踪测量技术成为引人关注的焦点。这是因为该技术在确保制造精度、缩短生产周期和提高工作效率方面具有巨大的潜力。传统的测量和校准方法往往依赖于复杂的手工操作和低效的工具, 而这种先进的激光技术为我们提供了一种快速、准确且高度自动化的解决方案。激光跟踪测量技术不仅可以单独使用, 还可以与其他自动化工具和系统, 如机器视觉、机器人技术和传感器网络相结合, 为工业生产带来更深层次的自动化和智能化。考虑到这些技术在全球制造业中的关键作用, 论文将结合深圳市正隆伟业科技有限公司在高端精密设备领域的服务经验, 深入探讨高精度激光跟踪测量技术的基础原理、当前应用和未来的发展趋势, 为工业界和学术界提

供一个全面的视角。

2 激光跟踪测量技术的基本原理

2.1 基础组件和工作机制

核心的组件主要包括激光发射器、接收器、跟踪器和处理单元。激光发射器产生一个窄束的激光, 这束激光照射到目标物体上后, 会反射回接收器。跟踪器用于跟踪激光束和目标物体之间的相对位置和角度。而处理单元则将这些数据转化为有意义的测量结果。工作机制中, 系统首先确定目标的初始位置, 随后通过连续的激光脉冲确定其移动轨迹和速度, 确保测量的连续性和准确性^[1]。

2.2 激光与目标的互动

激光与目标的互动是整个测量过程的关键环节。当激光束照射到目标上, 根据目标的材质和表面特性, 部分激光将被吸收, 而部分将被反射。接收器捕获这些反射回的激光, 并通过分析其时间、强度和角度变化来确定目标的位置、方向和速度。对于不同的应用, 可能需要调整激光的波长、强

【作者简介】彭声亮(1985-), 男, 中国江西景德镇人, 硕士, 工程师, 从事激光跟踪与精密制造研究。

度或脉冲频率以达到最佳的测量效果。

2.3 数据采集与分析

数据采集是连续且实时的，确保了对目标的持续跟踪。随后，这些原始数据被送入处理单元进行分析。通过高速的算法和模型，处理单元可以实时地生成目标的三维坐标、运动状态和其他相关参数。这不仅仅是一个单纯的数值处理过程，更考验系统对于各种干扰和误差的处理能力，如环境光、目标的材质变化或系统本身的微小偏差。为了确保最高的测量准确性，系统通常还会采用多种校准和补偿手段。

3 当前的应用领域

3.1 工具机和机器人校准

工具机是制造业的核心，而机器人在现代自动化生产线上的作用也越来越显著。为了确保它们的性能和精度，定期的校准变得尤为关键。高精度激光跟踪测量技术正是为此而生。利用这一技术，工程师可以实时地获取工具机或机器人的位置、速度和姿态数据，从而快速、准确地进行调整和优化。与传统的手动校准方法相比，这种自动化的激光测量不仅大大提高了校准的精度，还显著缩短了校准时间，使生产线的停机时间最小化^[2]。

3.2 复杂结构和大型部件的制造与校准

在航空、航天、汽车及大型机械制造领域，复杂结构和大型部件的制造对测量技术提出了严格要求。这些部件的尺寸、形态和相对位置需要在整个制造过程中进行严格控制，以确保最终产品的质量和性能。高精度激光跟踪测量技术在这方面表现出色，为制造商提供了一个准确、高效的测量解决方案^[3]。

使用激光测量，制造商可以实时地监测部件的尺寸和形状，及时发现并纠正任何偏差。此外，这项技术还支持对大型部件的远程测量，这意味着工程师可以在不接触部件的情况下进行测量，从而大大提高了测量的灵活性和效率。在组装和校准阶段，激光跟踪测量技术可以帮助确定部件之间的精确相对位置，确保整体结构的稳定性和性能。

3.3 嵌入式质量控制与实时反馈

在现代制造业中，嵌入式质量控制越来越受到重视。这不仅仅是对最终产品进行检测，而是在生产过程中实时地、持续地对每一个生产步骤进行监控和调整。高精度激光跟踪测量技术在这方面发挥了核心作用，为制造商提供了实时的、精确的生产数据，从而使得质量控制真正地嵌入到生产线中。

通过将激光测量技术与生产设备和控制系统紧密结合，工厂可以实时地监测部件的尺寸、位置和形态。这不仅帮助工厂及时发现并修复生产偏差，还为生产流程提供了有力的数据支持，帮助工厂优化生产参数和流程。例如，在车间内部件的自动化装配过程中，通过实时的激光测量，可以确保每一个零部件都精确地定位并装配，从而保证最终产品的质

量和一致性。

4 激光跟踪测量技术与其他工业自动化技术的相互作用

4.1 与机器视觉的整合

机器视觉是工业自动化中的一项关键技术，它依靠摄像头和高级图像处理算法对生产线上的物品进行检测、识别和定位。当激光跟踪测量与机器视觉技术整合时，两者之间形成了一种强大的互补关系。

机器视觉可以提供对物体表面特性和颜色的详细信息，而激光测量则为物体的几何尺寸和空间位置提供了精确的数据。结合这两类信息，系统可以更准确地对物体进行分类、排序和定位。例如，在零部件装配过程中，机器视觉可以确定部件的类型和方向，而激光测量则确保了部件之间的精确对齐和连接。

4.2 与传感器网络的协同

传感器网络是由多个传感器组成的系统，这些传感器可以实时地收集和传输各种环境和操作数据。激光跟踪测量技术与传感器网络的协同作用，为生产环境提供了一个更为丰富和完整的数据视图，从而增强了自动化决策和优化的能力。

激光测量可以为传感器网络提供高精度的空间位置数据，这种数据在很多场合下是至关重要的。例如，在复杂的自动化仓储系统中，精确的物品定位可以帮助机器人快速找到并搬运目标物品，从而提高整体的操作效率。

4.3 与工业互联网的结合

工业互联网通过将工业设备、系统和流程与先进的数据分析和通信技术相结合，重新定义了现代制造业的生产模式和业务流程。在这个背景下，激光跟踪测量技术与工业互联网的结合为实现智能制造、远程监控和预测性维护等先进应用创造了条件。

激光测量技术为工业互联网提供了高精度、实时的物理世界数据。这些数据可以被上传到云端，与来自其他设备和系统的数据相结合，形成一个全面、统一的生产视图。通过这种方式，企业不仅可以实时地监控生产状态，还可以对生产数据进行深入分析，发现潜在的问题和机会。

工业互联网平台上的先进数据分析和机器学习算法可以为激光测量技术提供智能支持。例如，通过对长时间激光测量数据的分析，系统可能会发现激光测量设备的微小偏差，从而及时进行校准，确保测量的准确性。

5 当前的技术挑战与解决方案

5.1 测量范围和分辨率的限制

测量范围决定了设备可以测量的最大和最小距离，而分辨率则决定了设备能够区分的最小距离变化。

随着制造业对精度要求的不断提高，特别是在微型化和高精度制造领域，现有的激光测量技术在测量范围和分辨

率上的限制成为了一个瓶颈。例如，在半导体制造和生物医药领域，需要对纳米级的部件进行测量，这超出了大多数传统激光测量设备的能力。

为了克服这一挑战，研究人员和工程师正在采用多种方法提高设备的测量范围和分辨率。例如，通过使用超短脉冲激光和先进的光学元件，可以显著提高激光测量的分辨率。

5.2 环境因素的影响

环境因素，如温度、湿度、气压以及振动，对激光跟踪测量技术的性能和精确性都有影响。例如，温度波动可能导致测量设备的物理尺寸变化，进而影响测量结果。湿度和气压变化则可能改变空气的折射率，进一步干扰激光束的传播路径。

为了抵消这些环境因素的影响，一种方法是为测量设备提供稳定的工作环境。这可能包括使用环境控制设备，如空调和去湿机，以及隔音和防震措施。但这种方法可能增加设备的安装和运行成本，且在某些应用场景中不太可行，比如在大型室外建筑或桥梁的测量中。

因此，另一种策略是利用传感器和先进的数据处理算法来实时监测并校正环境因素的影响。例如，通过集成温度、湿度和气压传感器，测量设备可以实时获取环境数据，并利用这些数据来校正激光测量的结果。

5.3 数据处理和实时分析的挑战

随着激光跟踪测量技术的持续进步，设备产生的数据量也在快速增长。这为数据处理和实时分析带来了显著的挑战，因为需要在短时间内处理巨大的数据量并从中提取有意义的信息。

一方面，存储和传输如此大量的数据需要高带宽和大容量的硬件设备。传统的数据处理架构可能难以应对这种数据爆炸，导致测量延迟和系统响应速度下降。而在某些应用中，如实时控制和质量检测，快速、准确的数据处理是至关重要的。解决这一挑战的一种方法是采用边缘计算技术。通过在数据产生的地方进行初步处理和分析，可以大大减少需要传输和存储的数据量。同时，使用专用的硬件加速器，如FPGA和GPU，可以进一步提高数据处理的速度。

另一方面，随着数据复杂性的增加，传统的数据处理算法可能无法满足精确度和实时性的要求。因此，利用机器学习和深度学习技术对测量数据进行智能分析成为一种趋势。这些先进的算法可以自动识别数据中的模式，预测系统行为并优化测量结果。

6 未来发展展望

6.1 更高精度的激光测量技术研发

随着工业制造对微米甚至纳米级精度的需求增加，对激光测量技术的要求也随之提高。预计在未来几年内，随着光学技术、材料科学和微电子技术的进步，会出现更高精度

的激光测量设备。通过利用超短脉冲激光、新型光学元件和高速电子器件，新的测量系统将能够达到前所未有的精度和速度。此外，结合机器学习和人工智能技术，系统的自我校准和环境因素的自动补偿将更加智能，进一步提高测量准确性。这种技术进步将为微电子、生物医疗、航空航天等高端制造领域带来革命性的变革。

6.2 向更多的工业应用领域拓展

激光跟踪测量技术原先主要在航空航天、大型机械制造和汽车工业中得到应用。但随着技术的完善和成本的降低，其应用领域有望进一步拓展。在未来，该技术可能会被广泛应用于精密农业、食品加工、环境监测和可再生能源等领域。

例如，在精密农业中，激光测量可以用于监测作物的生长状况、土壤湿度和病虫害情况，为农民提供准确的种植建议。在食品加工行业，通过激光测量技术可以实时监测食品的尺寸、形态和颜色，确保其质量和安全。而在可再生能源领域，激光技术可以用于风能、太阳能和水能等设备的精确校准和维护，提高其工作效率和使用寿命。

6.3 全球标准和规范的建立

随着激光跟踪测量技术在全球范围内的广泛应用，制定统一的全球标准和规范变得尤为重要。这不仅可以确保各国和地区的技术兼容和互操作，还有助于提高测量的准确性和可靠性。

目前，虽然各国都有自己的测量和校准标准，但在很多实际应用中，如跨国公司的生产线、全球供应链和研究合作，都需要一个统一的参考标准。因此，国际标准化组织和其他相关机构正在努力制定全球统一的激光测量技术标准和规范。

这些全球标准将考虑到不同地区的实际应用需求、环境条件和技术发展水平，确保其广泛适用和长期稳定。同时，随着技术的进步，这些标准和规范也将不断更新，以满足新的技术和应用需求。

7 结语

随着工业自动化和智能制造的深入发展，高精度激光跟踪测量技术正在成为核心技术之一，其在各个领域的应用和潜力受到广泛关注。尽管该技术目前仍面临一些技术和标准化的挑战，但其未来的发展前景十分广阔。随着研究的深入和技术的进步，它将更好地服务于全球制造业，助力实现更高效、更智能的生产模式。

参考文献

- [1] 刘健,刘巍伟,臧延旭.基于激光测量技术的远距离目标高精度跟踪研究[J].激光杂志,2021,42(11):60-64.
- [2] 付敏,郭隆臻,唐恒飞,等.基于激光跟踪仪的协作机器人精度测量技术研究[J].智能计算机与应用,2021,11(6):104-108+116.
- [3] 李明章,胜永民,鞠新星,等.数字化测量在航空制造中的应用与发展研究[J].教练机,2021(2):13-18+59.