

伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中的应用探索

阙津华

厦门晟洲物业管理有限公司 福建厦门

【摘要】本文深入探究伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中的应用。开篇阐述工业机器人在现代工业中的关键地位及对精密操作的迫切需求，引出伺服电机控制算法的重要性。正文从伺服电机控制算法的基础理论、在工业机器人精密操作中的具体应用方式、面临的挑战以及未来发展趋势这四个方面展开论述。研究表明，先进的伺服电机控制算法能够显著提升工业机器人的精密操作水平，增强工业生产的精度、效率与稳定性。持续优化算法、克服现存挑战，对推动工业机器人在精密制造等领域的广泛应用，促进工业自动化向更高水平发展具有重要意义。

【关键词】伺服电机；控制算法；工业机器人；精密操作

【收稿日期】2024 年 12 月 23 日

【出刊日期】2025 年 1 月 11 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250018

Exploration on the application of servo motor control algorithms in the precision operations of industrial robots

Jinhua Que

Sheng Zhou Property, Xiamen, Fujian

【Abstract】 This paper deeply explores the application of servo motor control algorithms in the precision operations of industrial robots. It begins with an elaboration on the crucial position of industrial robots in modern industry and the urgent need for precision operations, thus leading to the significance of servo motor control algorithms. The main body of the paper discusses from four aspects: the basic theory of servo motor control algorithms, the specific application methods in the precision operations of industrial robots, the challenges faced, and the future development trends. The research shows that advanced servo motor control algorithms can significantly improve the precision operation level of industrial robots, enhance the precision, efficiency, and stability of industrial production. Continuously optimizing algorithms and overcoming existing challenges are of great significance for promoting the wide application of industrial robots in precision manufacturing and other fields and facilitating the development of industrial automation to a higher level.

【Keywords】 Servo motor; Control algorithm; Industrial robot; Precision operation

引言

在当今高度工业化的时代，工业机器人已成为推动制造业转型升级的核心力量。其广泛应用于汽车制造、电子加工、航空航天等众多领域，承担着诸如零件装配、焊接、切割等复杂且对精度要求极高的任务。

工业机器人的精密操作水平直接决定了产品的质量与生产效率，而伺服电机作为工业机器人的关

键执行部件，其控制算法的优劣对机器人的精密操作性能起着决定性作用。精准、高效的控制算法能够使伺服电机精确响应指令，驱动工业机器人的关节实现高精度运动，完成各类精密任务。随着工业自动化程度的不断加深，对工业机器人精密操作的要求日益严苛，深入探索伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中的应用，成为提升工业生产竞争力、推动工业技术创新发展的关键课题。

1 伺服电机控制算法的基础理论

伺服电机控制算法依托于一系列复杂且严谨的理论根基，为工业机器人的精密操作筑牢了技术基石。经典控制理论中的 PID 控制算法，作为伺服电机控制领域的中流砥柱，在实际应用中极为广泛。当伺服电机运转时，目标值与实际值之间的偏差信号便成为 PID 算法的核心处理对象。比例环节宛如一位反应敏捷的“先锋”，一旦偏差出现，即刻输出与偏差成正比的控制量，偏差越大，控制量越大，迅速驱使电机朝着减小偏差的方向动作，使得电机能对偏差做出快速响应。积分环节则如同一位耐心的“记录员”，持续累积偏差信号，随着时间推移，逐步调整控制量，有效消除系统的稳态误差，确保电机最终能精准稳定地达到目标值，即便面对长时间运行中可能出现的微小偏差，也能逐步将其修正。微分环节恰似一位具有前瞻性的“预测家”，通过对偏差变化率的分析，提前洞察偏差的发展趋势，当预测到偏差即将增大时，提前对电机实施控制，从而极大地增强系统的动态响应性能，让电机在面对快速变化的工况时也能从容应对。

现代控制理论中的状态空间法，为伺服电机控制带来了更为强大的处理能力。在工业机器人复杂的运行环境中，系统往往涉及多个输入与输出变量，状态空间法将系统动态特性以一组一阶微分方程的形式精准描述。通过对系统状态变量的细致观测，深入把握系统内部的运行状态，并据此进行反馈控制^[1]。这种方法充分考虑到系统内部各部分之间的相互作用，能够全面、准确地对伺服电机实施控制，尤其在多关节协同运动等复杂场景下，展现出卓越的适应性，极大提升了控制的精准度。智能控制算法中的模糊控制与神经网络控制也在伺服电机控制领域崭露头角。模糊控制借助模糊逻辑，将人类在实际操作中的经验与知识转化为具体的控制规则。面对系统中的不确定性和非线性问题，这些规则能够灵活地进行推理和决策，有效弥补传统控制算法的不足。神经网络控制则通过模拟生物神经网络的结构与功能，赋予系统自学习和自适应能力^[2]。在不同的工作条件下，系统能够自动从大量运行数据中学习规律，调整控制策略，显著提升伺服电机的控制精度与鲁棒性，使其在复杂多变的工业环境中依然能稳定高效地运行。

2 伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中的应用方式

在工业机器人的精密操作中，伺服电机控制算法发挥着核心作用，以多种方式确保机器人实现高精度运动。在轨迹跟踪方面，控制算法依据预设的运动轨迹，将其分解为一系列离散的位置点，通过不断调整伺服电机的转速和转向，使工业机器人的末端执行器精确跟踪这些位置点，完成复杂的运动任务。例如在电子芯片的精密装配过程中，工业机器人需要按照精确的轨迹将芯片放置在电路板的指定位置，伺服电机控制算法能够实时计算电机的运行参数，保证机器人的运动精度达到微米级甚至更高。在力控制方面，对于一些需要精确控制作用力的操作，如精密打磨、装配等任务，控制算法通过监测伺服电机的电流或扭矩，间接获取机器人末端执行器与工作对象之间的作用力信息，并根据预设的力值，调整电机的输出，使机器人施加的力保持在精确范围内^[3]。

在多轴协同控制方面，工业机器人通常由多个关节组成，每个关节由一个伺服电机驱动。控制算法负责协调多个伺服电机的运动，确保各关节之间的运动同步且精确配合，实现工业机器人复杂的空间运动。例如在汽车零部件的焊接过程中，机器人需要多个关节协同运动，以保证焊接喷枪始终与焊接部位保持合适的角度和距离，伺服电机控制算法能够对各轴的运动进行精确规划和实时调节，使多轴协同运动达到最佳效果，从而保证焊接质量的稳定性和一致性。通过这些应用方式，伺服电机控制算法将工业机器人的理论设计转化为实际的精密操作，极大地拓展了工业机器人在精密制造领域的应用范围。

3 伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中面临的挑战

尽管伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中已展现出显著成效，然而在实际工业场景的运用里，诸多棘手挑战依旧横亘在前。系统的非线性特性堪称一大顽固难题。伺服电机运转时，电机自身的摩擦状况并非恒定不变，其启动瞬间，因需克服静摩擦力，摩擦力数值较大；而在匀速运行阶段，转变为动摩擦力，数值相对减小，这一变化在齿隙的影响下更为复杂^[4]。负载的动态变化同样显著，在工

业机器人执行不同任务时，负载重量、惯性等特性频繁改变。这些因素相互交织，致使伺服电机呈现极为复杂的非线性特性。传统的线性控制算法基于固定的比例关系进行调控，面对如此复杂的非线性变化，难以灵活且精准地调整控制参数，进而无法达成理想的控制效果，致使控制精度大幅下滑。

外界干扰的影响也极为关键。工业生产环境中，电磁干扰无处不在^[5]。在大型工厂车间，众多大功率电气设备同时运转，产生强烈的电磁场，极易干扰伺服电机的控制信号传输线路，使信号发生畸变，导致电机接收的指令出现偏差，最终影响机器人的运动轨迹精度。机械振动亦是常见干扰源，生产设备的运转、厂房结构的共振等，都会引发机械振动。这些振动传递至伺服电机，会使电机的实际运行状态偏离预设理想值，在精密操作任务中，哪怕极微小的偏差都可能造成严重后果，如电子芯片装配时的位置偏移，导致产品报废。

多变量耦合问题更是增添了控制难度。工业机器人由多个关节协同运作，各关节间存在紧密的耦合关系^[6]。当一个关节因控制指令产生运动变化时，其产生的力和力矩会通过机械结构传递至其他关节，影响其他关节的运动状态。这要求控制算法在设计时，必须全面考量多个变量之间复杂的相互作用，对每个关节的控制参数进行精细调校，大幅增加了算法设计的复杂性与调试的工作量。随着工业生产向高精度、高速度方向不断迈进，对控制算法的实时性和计算效率要求愈发严苛。在处理复杂精密操作任务时，传统控制算法需进行大量复杂的数学运算，如对多轴运动轨迹的实时规划、力控制中的复杂计算等，这极易导致计算量爆棚，无法在规定的极短时间内完成计算并输出控制指令，使得机器人响应迟缓，严重影响操作精度，难以满足日益增长的工业生产需求。

4 伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中的未来发展趋势

展望未来，伺服电机控制算法在工业机器人精密操作领域将迎来一系列令人瞩目的发展趋势。人工智能技术的蓬勃发展为其带来了全新的变革契机。深度学习算法将凭借其强大的数据分析能力，深入挖掘机器人在运行过程中产生的海量数据^[7]。从电机的电流波动细节，到机器人关节运动的轨迹

变化，深度学习算法能够精准提炼关键特征，从而构建出更为贴合实际、高度精确的伺服电机和工业机器人模型。这将使得控制过程更加精准，极大提升工业机器人在精密操作中的定位精度和运动稳定性，满足诸如微电子产品制造、精密仪器装配等对精度要求极高的行业需求。

强化学习同样将在这一领域发挥重要作用。通过让机器人在复杂多样的工作环境中不断进行探索与尝试，依据环境反馈自动优化控制策略，机器人能够迅速适应不同的工况。无论是在高温、高压等恶劣环境下作业，还是面对任务需求的频繁变化，强化学习驱动的工业机器人都能灵活调整动作，确保精密操作的顺利完成，显著增强工业生产的柔性和适应性。多学科交叉融合也将为控制算法创新注入源源不断的活力^[8]。材料科学领域对新型智能材料的研发，有望催生更为灵敏、可靠的传感器，能够精准捕捉工业生产中的细微变化，为控制算法提供更为丰富、准确的反馈信息。机械工程在结构设计和制造工艺上的突破，将打造出更高效、耐用的执行器，与控制算法紧密配合，实现更强劲、精准的动力输出和运动控制。而量子计算技术的逐步成熟，将为复杂控制算法的高效运算提供有力支撑，大幅缩短计算时间，提升算法的实时性，使机器人在高速运转的同时依然能够保持卓越的操作精度，推动工业自动化迈向新的高度，为工业生产的智能化升级奠定坚实基础。

5 结语

伺服电机控制算法在工业机器人精密操作中具有不可替代的重要地位。从基础理论到实际应用，其对提升工业机器人的操作精度、效率和稳定性发挥着关键作用。尽管目前面临诸多挑战，但随着科技的不断进步，新的算法和技术不断涌现，未来伺服电机控制算法将朝着智能化、自适应以及多学科融合的方向持续发展。这将有力推动工业机器人在精密制造等领域的广泛应用，助力工业自动化迈向更高水平，为制造业的高质量发展注入强大动力，在工业生产的转型升级中发挥愈发重要的作用。

参考文献

- [1] 王强, 李华. 基于深度学习的伺服电机控制算法优化研究[J]. 自动化学报, 2021, 47(5): 1125-1136.

[2] 陈刚, 赵宇. 工业机器人多轴协同控制算法的改进与应用[J]. 机器人技术与应用, 2022, (3): 35-40.

[3] 刘畅, 周明. 模糊控制算法在工业机器人伺服系统中的应用分析[J]. 制造业自动化, 2020, 42(7): 56-60.

[4] 孙悦, 吴迪. 工业机器人伺服电机控制算法抗干扰性能研究[J]. 电子技术应用, 2023, 49(8): 105-109.

[5] 张峰, 郑丽. 状态空间法在工业机器人伺服控制中的实践与优化[J]. 控制工程, 2021, 28(4): 655-662.

[6] 林晓, 马强. 面向工业机器人精密操作的伺服电机控制算法实时性提升策略[J]. 仪器仪表学报, 2024, 45(2):

251-260.

[7] 赵阳, 钱进. 多学科融合视角下工业机器人伺服控制算法创新路径探索[J]. 科技导报, 2022, 40(14): 102-108.

[8] 李明, 王芳. 强化学习在工业机器人伺服电机自适应控制中的应用前景[J]. 机器人产业, 2023, (6): 38-45.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS