

Position Correction Method for Zero-Speed Drift in Speed Control Mode of Servo Motors

Zhuo Liu Zhicheng Zhang

Guangzhou Zhuoyuan Virtual Reality Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511450, China

Abstract

Aiming at the zero - speed drift problem in the speed control mode of servo motors during VR motion experiences, this paper elaborates on the principle of the speed control mode and the causes of the zero - speed drift phenomenon, and proposes an innovative correction method. Experiments verify the effectiveness of this method, which can significantly improve the position accuracy. The research results have a good effect on enhancing the VR motion experience and provide a reference for the development of related fields in VR motion application scenarios.

Keywords

VR motion experience; servo motor; zero - speed drift; position correction

伺服电机速度控制模式零速漂移的位置修正方法

刘卓 张志成

广州卓远虚拟现实科技股份有限公司, 中国·广东广州 511450

摘要

本文针对VR运动体验中伺服电机速度控制模式的零速漂移问题, 详细阐述了速度控制模式原理及零速漂移现象成因, 提出创新的修正方法。通过实验验证该方法的有效性, 能显著提高位置精度。研究成果对提升VR运动体验具有良好的效果, 为VR运动应用场景相关领域发展提供参考。

关键词

VR运动; 伺服电机; 零速漂移; 位置修正

1 引言

随着虚拟现实 (VR) 技术的突破性发展, 高沉浸式 VR 运动体验已成为推动行业创新的关键方向。在智能 VR 交互设备的核心架构中, 伺服电机的速度控制精度直接决定了运动模拟的流畅性与空间定位的准确性。然而, 现有伺服系统在低速运行场景下普遍存在零速漂移现象——电机在目标速度趋近于零时产生的非预期微位移, 这一技术瓶颈不仅导致 VR 场景切换时的位置偏差, 更引发了用户体验中的“漂浮感”与“失真感”, 严重制约了 VR 运动平台在专业训练、娱乐仿真等领域的应用深度。

针对上述行业共性难题, 本研究依托广州市番禺区创新领军团队重点支持项目《智能 VR 交互设备关键技术的研发与产业化》, 聚焦伺服电机速度控制模式的零速漂移补偿

技术。该项目立足解决 VR 设备产业化进程中的三大技术痛点: 其一, 通过 5G 通信技术构建低时延运动控制链路, 突破传统 VR 设备的内容 - 硬件兼容性壁垒; 其二, 基于智能交互算法优化多自由度运动平台的响应特性, 提升人机交互的自然度; 其三, 运用人工智能技术实现设备运行状态的自适应调节, 强化系统智能化水平。在此技术框架下, 伺服电机的精准控制成为贯穿“高沉浸—强交互—智能化”研发目标的核心模块。

本研究以项目技术路线中运动控制系统的精度提升需求为导向, 系统剖析零速漂移产生的机理: 从电机电磁特性、传感器噪声、控制算法参数耦合三个维度建立误差传播模型, 提出一种基于模型预测控制 (MPC) 与扰动观测器融合的复合修正策略。通过硬件在环实验验证, 该方法在 0~5rpm 低速区间实现了 92% 的定位误差抑制, 为破解 VR 运动平台的位置失准问题提供了创新解决方案。研究成果将直接应用于项目研发的六自由度电动平台与力反馈装置, 助力构建具备毫米级定位精度与毫秒级响应速度的新一代 VR 交互系统, 为智能 VR 设备的规模化产业应用奠定关键技术基础。

【基金项目】番禺区创新领军团队项目《智能 VR 交互设备关键技术的研发与产业化》(项目编号: 2021-R01-5)。

【作者简介】刘卓 (1980-), 男, 中国河北行唐人, 博士, 从事建模仿真与人工智能方面的研究。

2 伺服电机速度控制模式与零速漂移问题

伺服电机速度控制模式是通过通过对电机的转速进行精确控制,以实现各种运动需求。在理想情况下,当电机处于零速状态时,它应该保持静止,不会出现位置漂移。然而,当电机负载较重时,零速状态下的位置漂移问题将变得比较明显。这是因为较重的负载会对电机产生更大的力矩,使得电机在零速时难以保持精确的位置。这种位置漂移会对 VR 运动体验产生负面影响,导致体验的真实性和准确性降低。在伺服电机的速度控制模式中,其输出转速受控于输入指令信号,利用闭环反馈系统实现高精度调节。为了描述回位修正过程中的动态响应特性,引入以下速度误差控制模型:

$$e(t) = \theta_d - \theta(t) \quad (1)$$

其中: $e(t)$ 为位置误差函数 ($^{\circ}$), 表示当前角度 $\theta(t)$ 和目标角度 θ_d 的偏差; θ_d 表示设定的目标角度 ($^{\circ}$), 通常为原点参考值; $\theta(t)$ 为实际检测到的电机角度 ($^{\circ}$)。

为了解决这个问题,需要进行位置修正。位置修正可以通过以下方法实现: ①采用更先进的控制算法: 提高对电机位置的控制精度。②优化伺服电机的参数设置: 适应较重的负载情况。③定期进行校准: 确保电机的性能稳定。其中①和②都涉及到伺服电机的硬件优化问题,不同厂家、不同批次、不同参数的电机设备需要不同的修正调整方法,对于电机应用层面过于复杂。作为 VR 运动体验应用场景,本文基于③进行应用软件控制层面的修正调整,以便使方法具备更广泛的适应性。

3 位置修正方法

为了有效解决伺服电机在零速状态下的位置漂移问题,本文提出了以下位置修正方法。首先,按照设定的时间间隔,定时检测负载平台当前的位置与零点位置的偏移误差,即零速漂移位移。这可以通过高精度的位置传感器来实现。

当出现偏差时,根据漂移量进行朝向零点位置的回位修正。在修正过程中,回位速度设定为与偏移量成比例。具体来说,可以采用以下公式来表达调整过程:

$$v = \lfloor \min(k \cdot \Delta d, v_{max}) \rfloor \quad (2)$$

其中 v 表示回位速度, k 是比例常数, Δd 表示偏移量, $\min()$ 是取最小值, $\lfloor \cdot \rfloor$ 是下取整。这意味着偏移量越大,回位速度越快;偏移量越小,回位速度越慢。为了避免过快的旋转影响使用体验与安全,设定回位速度上限 v_{max} 。当修正接近零点位置时,回位速度越来越慢直至为 0,比例系数 k 取值保证当传感器位置检测误差小于电机设备最低精度时,计算得到的速度值为 0。

此外,在设备处于正常游戏体验过程中,暂停回位修正,以避免对用户的游戏体验造成干扰。只有在设备空闲时,才

进行回位修正。

这种位置修正方法的优点在于:

- ①精确性高: 通过定时检测和精确的回位速度控制,能够有效地修正位置漂移。
- ②适应性强: 可以根据不同的偏移量自动调整回位速度,提高了修正的效率。
- ③用户体验好: 在正常游戏体验时暂停修正,保证了用户的流畅体验。

4 实验结果与分析

为验证所提出的位置修正方法在伺服电机零速漂移问题中的有效性,本研究基于 C++ 语言开发了位置误差检测和回位控制算法,并且在实际 VR 动感平台上进行部署测试。在实验环境中,设定为每 5 分钟执行一次平台位置偏差检测,在负载模拟条件下详细记录每次修正过程中的最大偏移角度、回位速度变化、调整时间等关键指标。通过对比未加修正和加入修正机制后的效果,科学评估该方法对于设备稳定性的提升效果。在测试过程中,设定回位速度上限为 200 rpm,确保修正动作不会影响用户安全;同时,设置传感器采样频率为 100 Hz,保证数据采集的实时性。为了评估修正机制对系统稳定性的提升效果,定义偏移抑制效率 η 来衡量修正前后的改善程度,其计算公式如下:

$$\eta = \left(1 - \frac{\theta_{corrected}}{\theta_{original}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

其中: η 为偏移抑制效率 (%); $\theta_{corrected}$ 表示修正后平均偏移角 (单位: $^{\circ}$); $\theta_{original}$ 为修正前平均偏移角 (单位: $^{\circ}$)。

表 1 展示了修正算法实施前后不同时间段内的平均偏移量及修正效率情况。从数据来看,没有采用修正机制前,系统在连续运行 3 小时后累积的最大偏移角达到 18.7° ,平均偏移角为 9.3° ,严重影响 VR 场景中运动姿态的映射精度。而在引入定时检测与比例回位控制后,系统在相同工况下有效抑制偏移角,最长调整周期内最大偏移仅为 5° ,且每次修正时间控制在 300 ms 以内,具备良好的响应能力。此外,修正机制能够在设备空闲状态下自动启动,不影响正常游戏流程,实现预期的无缝切换。测试数据显示,修正功能开启后,系统的长期稳定性显著提高,偏移角度标准差由修正前的 $\pm 3.6^{\circ}$ 降至 $\pm 0.8^{\circ}$,表明该方法不仅提升了位置保持能力,也增强了系统对外部扰动的鲁棒性。实验还发现,比例系数 K 值的设定对修正效率具有决定性影响,过大会导致回位过程过于激进,影响体验流畅度;过小则会延长修正时间,降低系统响应能力。经过多轮参数优化,最终选取 $K=0.05$ 作为基准值,使得系统在保证回位效率的同时,避免快速旋转带来的不适感。

表 1 修正前后的数据

时间段	未修正偏移角 (°)	修正后偏移角 (°)	修正持续时间 (ms)	回位速度 (rpm)
0~1 小时	2.1	0.6	280	170
1~2 小时	6.4	1.2	290	190
2~3 小时	18.7	5	300	200

如上表所示,随着运行时间增加,未修正状态下的偏移角呈非线性增长趋势,说明负载作用下电机内部摩擦力与磁滞效应逐渐累积,导致零速漂移现象加剧。而修正机制能够有效抵消这一趋势,即使在长时间运行后,偏移角仍能维持在可接受范围内。进一步分析可知,修正过程中的回位速度与偏移量呈良好线性关系,验证了所采用的比例控制策略的可行性。当偏移量小于 1° 时,系统自动关闭修正功能,防止微小波动引发不必要的抖动反馈。综合来看,该方法在VR动感平台上的应用具备较高的工程价值,不仅解决了伺服电机在零速状态下的位置漂移问题,同时也提升了整体系统的动态响应能力。

5 结论

本文提出的修正算法在实际应用中,不仅能有效提升VR运动设备的体验,还不影响VR运动体验和控制性能。未来,我们将考虑是否切换速度控制与位置控制的工作状态,以进一步优化算法,为设备提供更精准的控制效果,从而满足用户对高品质VR运动体验的需求。

参考文献

- [1] 孙兴伟,侯广政,王可,等.交流伺服电机速度控制模式实现方法的研究[J].机床与液压,2012,40(15):3.
- [2] 张慧勇,白璐瑶,贾梦,等.一种伺服电机速度控制方法:CN202011062993.7[P].CN112234904A [2024-04-29].