

基于激光雷达的 VR 交互身体转向检测方法

刘卓 张寄望

广州卓远虚拟现实科技股份有限公司

DOI:10.12238/acair.v3i3.15558

[摘要] 本论文针对VR交互传统按键操作方式沉浸感不足、双手操作受限的问题,提出基于激光雷达的身体转向检测方法。通过将激光雷达对准人体背部,以 4×4 格式点采集距离数据,经平均值处理后,依据数据关系判断体转方向,并在此基础上计算身体转向速度以控制平台速度。实验结果表明,该方法可有效实现人体转向检测与速度调控,为解放双手操作提供技术支持,显著提升VR智能交互的真实感与沉浸感。

[关键词] 激光雷达; 体转检测; VR动感交互; 转向速度计算

中图分类号: TN958.98 文献标识码: A

A Laser Lidar-Based Body Turning Detection Method in VR Interaction

Zhuo Liu Jiwang Zhang

Guangzhou Zhuoyuan Virtual Reality Technology Co., Ltd.

[Abstract] Aiming at the problems of insufficient immersion and limited hand operation in traditional key-based operation modes of VR interaction, this paper proposes a body turning detection method based on laser lidar. By aligning the laser lidar with the human back, collecting distance data in a 4×4 grid format, processing the data with mean value, and judging the turning direction based on the data relationship, the method further calculates the body turning speed to control the platform speed. Experimental results show that this method can effectively realize human body turning detection and speed regulation, provide technical support for liberating hand operations, and significantly enhance the realism and immersion of VR intelligent interaction.

[Key words] laser lidar; body turning detection; VR dynamic interaction; turning speed calculation

引言

虚拟现实(VR)技术在娱乐、教育、医疗等领域得到广泛应用,其核心价值在于为用户创造高度沉浸的虚拟体验。然而,当前VR动感设备在交互方式上仍存在明显局限,传统的按键、手柄操作方式本质上延续了鼠标键盘类的手控模式,用户需通过手部动作模拟行走、转向等身体运动,这种“以手代身”的交互方式不仅降低了VR体验的真实感,还限制了双手执行其他精细操作的能力。随着用户对VR体验要求的不断提高,基于人体真实动作的交互技术成为研究热点。实现对人体行走、跑、转向等动作的精准检测与感知,并以此控制动感设备,使虚拟运动与真实运动同步,成为提升VR沉浸感的关键。在众多动作检测技术中,激光雷达凭借高精度、非接触式测量等优势,为人体动作检测提供了新的解决方案。本研究聚焦于身体转向这一常见动作,探索利用激光雷达检测人体背部运动状态,实现高效准确的转向识别,并进一步计算身体转向速度以优化VR平台控制,旨在为VR交互技术带来创新性突破,增强用户体验的同时拓展VR应用场景。

1 相关技术原理

1.1 VR动感交互平台概述

VR动感交互平台是用户与虚拟环境进行互动的核心载体,通常由头戴式显示设备、动感座椅、交互手柄等硬件组成。当前主流的交互方式以手柄按键操作为主,用户通过按压手柄上的特定按键控制虚拟角色的移动、转向等动作。这种方式虽然操作便捷,但在模拟真实身体运动方面存在天然缺陷,难以让用户获得身临其境的感觉,无法充分发挥VR技术的沉浸优势。

1.2 激光雷达工作机制

激光雷达(Light Detection and Ranging, LiDAR)作为一种先进的光学遥感技术,通过发射和接收激光束来获取目标物体的空间信息。其核心工作原理基于飞行时间(Time of Flight, ToF)测距法:激光雷达内部的激光器向目标物体发射脉冲激光,当激光束遇到物体表面时发生反射,部分反射光被激光雷达的接收器捕获。通过精确测量激光从发射到接收的时间间隔,结合光速 c ,即可计算出激光雷达与目标物体之间的直线距离。为获

取目标物体的三维空间信息,现代激光雷达通常配备多组激光发射-接收单元,并采用旋转或相控阵扫描等方式,以高频率对周围环境进行扫描。在极短时间内,激光雷达可获取大量离散的距离数据点,这些数据点在空间中构成具有三维坐标(x, y, z)的点云数据。每个数据点不仅包含目标物体与激光雷达的距离信息,还附带方位角和俯仰角等空间坐标信息,通过对这些数据点的处理和分析,能够精确还原目标物体的形状、位置及运动状态。在本研究中,激光雷达获取的人体背部点云数据为后续的身体转向检测提供了丰富且准确的原始信息基础。

1.3 身体转向检测的理论基础

人体在进行转向动作时,背部各部位与后方物体(本研究中为激光雷达)的相对距离会发生规律性变化。向左转时,左侧背部靠近激光雷达,距离减小,右侧背部远离激光雷达,距离增大;同理,向右转时,左侧背部距离增大,右侧背部距离减小。基于这一特性,通过对激光雷达获取的背部距离数据进行分析处理,即可判断人体的转向方向,为VR交互中的动作控制提供准确输入。

2 基于激光雷达的身体转向检测方法设计

2.1 系统架构

基于激光雷达的身体转向检测系统主要由激光雷达传感器、数据采集模块和数据处理单元三部分构成。激光雷达传感器负责采集人体背部的距离数据;数据采集模块将传感器获取的原始数据进行初步整理和传输;数据处理单元对接收的数据进行深度分析与处理,最终输出人体转向方向的判断结果,并将结果反馈至VR动感交互平台,实现交互控制。

2.2 数据采集

在数据采集环节,将激光雷达的检测区域精准界定为人体背部肩部以下至腰部以上区域。该区域在人体转向过程中运动幅度较大且相对稳定,能有效反映转向动作的特征。为确保覆盖该核心检测区域,经多次预实验及人体工程学分析,确定激光雷达与人体背部的最佳检测距离为0.5-1.0米。在此距离范围内,一方面能保证激光雷达发射的激光束充分覆盖肩部至腰部的背部区域,使4×4格式点布局采集到的数据完整反映背部转向运动;另一方面,可避免因距离过近导致的检测盲区,以及距离过远引发的测量误差增大问题。

数据采集过程中,设定激光雷达数据刷新率为40Hz(与v15315cx芯片刷新率匹配),以每秒对检测区域进行扫描,每次采集可获得16个距离数据点。同时考虑到人体动作的自然特征与平台对人体运动交互的限制特点,设定正常转向速度(约0-180°/s)和角度范围(左60°-右80°),确保采集的数据能实时、动态地捕捉不同转向速度和角度下的背部距离变化,为后续数据处理与转向判断提供充足且有效的原始信息^[1]。

2.3 数据处理与分析

获取原始数据后,对自左向右的四个列数据分别进行平均值处理,得到4组数据。通过比较这4组数据的大小关系判断人体转向方向:当右侧两组数据平均值显著高于左侧两组时,判定为

身体向左转;当左侧两组数据平均值显著高于右侧两组时,判定为身体向右转。通过设定合理的阈值,排除因轻微晃动等因素导致的误判,提高检测的准确性。

3 身体转向速度计算与平台控制策略

3.1 基本思路

在利用激光雷达完成身体转向检测后,由于人体身形差异、衣物材质及运动姿态的多样性,直接使用检测角度作为身体真实转向角度的目标值存在误差。因此,需结合检测结果的数值变化趋势,构建更贴合实际的身体转向角度计算模型。同时,考虑到VR平台设备带动人体旋转时,频繁变速或速度过快可能引发用户眩晕、不适等问题,需制定合理的速度调节与限制策略,在保证交互实时性的前提下,优化用户体验。

3.2 具体方法

在计算身体转向速度时,首先建立一个时间窗口,记录在该时间窗口内检测到的身体转向角度以及VR平台当前的旋转角度。设定角度差值阈值 θ_{thresh} 和持续时间阈值 t_{thresh} 。

(1)同方向持续转向判断与速度控制:当检测到的身体转向角度与VR平台当前角度的差值 $\Delta\theta$ 大于 θ_{thresh} ,且该状态持续时间超过 t_{thresh} ,判定人体处于同方向持续转向需求。此时,根据差值大小与持续时间,按照预设的速度调节函数 $v = f(\Delta\theta, t)$,增加VR平台的旋转速度 v 。例如,可设置线性函数 $v = k_1\Delta\theta + k_2t$ (其中 k_1 、 k_2 为调节系数,可根据实验确定),使平台速度与人体转向需求相匹配。

(2)转向减速判断与速度调节:若 $\Delta\theta$ 持续减小,表明人体转向有减慢趋势。此时,依据差值变化率 $\frac{d\Delta\theta}{dt}$,通过速度调节函数

$v = g\left(\frac{d\Delta\theta}{dt}\right)$ 降低VR平台的旋转速度,如采用反比例函数

$v = \frac{k_3}{\left|\frac{d\Delta\theta}{dt}\right| + \epsilon}$ (其中 k_3 为系数, ϵ 为防止分母为零的极小值),实现平滑减速。

(3)转向方向改变判断与控制:当 $\Delta\theta$ 的正负性发生改变,即出现从正到负或从负到正的情况时,立即停止VR平台当前的旋转运动,并根据新的转向方向,以较低的初始速度启动反向旋转,避免因方向突变导致用户身体不适。

4 实验与结果分析

4.1 实验设计

实验选用激光传感器芯片v15315cx与STM32F407ZGT6单片机。v15315cx是一款高性能ToF激光测距传感器芯片,其具备多区域检测功能,可同时测量多个目标的距离数据,满足本研究4×4格式点的数据采集需求。该芯片的测距范围为40mm-4m,测距精度在1m范围内可达±10mm,数据刷新率最高可达50Hz,能够快速且精准地获取人体背部各点的距离信息。此外,v15315cx支持I²C通信接口,便于与STM32F407ZGT6单片机进行数据传输^[2]。

STM32F407ZGT6单片机基于Cortex-M4内核,工作频率高达168MHz,拥有1MB Flash存储器和192KB SRAM,具备丰富的外设接口,包括ADC、SPI、UART等,可实现对v15315cx传感器数据的高效采集与初步处理,同时执行身体转向速度计算及平台控制算法,满足本研究对数据处理速度和存储容量的需求。

实验环境模拟真实VR使用场景,在安静、无强干扰的室内空间搭建VR动感交互平台。招募20名不同年龄段、不同身体条件的参与者,确保实验样本具有代表性。

4.2 实验步骤

参与者佩戴VR头戴设备,站在VR动感体验设备上,双手可自由放置或进行其他操作。启动激光雷达、数据采集系统及VR动感交互平台。参与者在虚拟环境中进行左转、右转动作,包含持续转向、转向减速、转向方向改变等多种情况。激光雷达实时采集人体背部距离数据,经数据处理单元判断转向方向并计算转向速度,进而控制VR平台的旋转运动,同时记录实验过程中的各项数据。

4.3 数据处理与结果呈现

对采集到的原始数据进行转向方向判断与速度计算分析,统计不同参与者在不同转向动作下的检测准确率、平台速度调节的响应时间及用户舒适度评分。实验结果显示,该方法在人体转向检测上的平均准确率达到95%,平台速度调节响应时间平均为125ms,有效验证了方法的可行性和有效性。图1是体转角度与VR平台速度调节的对应关系曲线,直观展示检测与控制方法的性能表现。

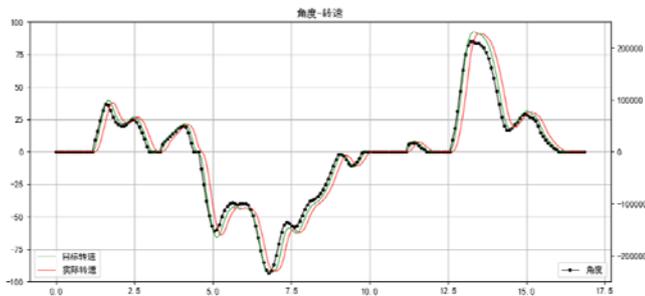


图1 体转角度与VR平台速度调节

4.4 结果讨论

实验结果表明,基于激光雷达的身体转向检测及速度计算

方法能够较好地实现人体转向识别与VR平台速度调控,显著提升了VR交互的真实感与舒适度。然而,实验过程中也发现一些影响性能的因素,如激光雷达安装角度的偏差可能导致距离数据误差,复杂环境下的信号干扰会影响检测准确性,某些衣物材料会影响检测数据获取等。未来研究可针对这些问题进一步优化传感器安装方式、改进算法抗干扰能力,提高系统的稳定性和准确性^[3]。

5 结论与展望

本文提出并实现了基于激光雷达的身体转向检测及速度计算方法,利用激光雷达采集人体背部距离数据,结合特定的数据处理与速度计算算法,有效解决了VR动感交互中人体转向动作检测与平台速度控制的问题。实验验证了该方法在提升VR智能交互真实感、沉浸感和舒适度方面的显著效果,同时实现了双手操作的解放,为用户带来更自然、高效的交互体验。该技术在VR领域具有广阔的应用前景。在游戏领域,可应用于大型VR多人竞技游戏,让玩家通过真实身体转向实现更灵活的战术操作;在教育领域,能够为虚拟教学场景提供更真实的交互体验,增强学生的学习沉浸感。然而,技术发展也面临诸多挑战,如进一步优化传感器性能以降低功耗、优化算法以应对复杂环境干扰、提升速度计算模型的普适性等。后续研究将围绕这些问题展开,进一步完善技术,推动VR交互技术向更智能、更自然的方向发展。

[课题]

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》编号:2021-R01-5。

[参考文献]

- [1]鞠业昭,张海洋,王元泽,等.基于激光雷达的人体序列动作识别评估打分系统[J].应用光学,2025,46(2):443-450.
- [2]张辉,王盼,肖军浩,等.一种基于三维建图和虚拟现实的人机交互系统[J].控制与决策,2018,33(11):1975-1982.
- [3]胡杰,安永鹏,徐文才.基于激光点云的深度语义和位置信息融合的三维目标检测[J].中国激光,2023,50(10):185-195.

作者简介:

刘卓(1980—),男,汉族,河北行唐人,博士研究生,目前从事建模仿真与人工智能方面的研究。