

Body rotation detection control method for VR headset controller perception

Jiawang Zhang

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

Abstract

To enable the virtual characters in the VR space to accurately and promptly respond to the body rotation movements of the dynamic platform users, it is proposed to analyze and calculate the data of VR headsets and handles, obtain the movement information of the users in real time and detect and recognize the body rotation movements, improve the detection accuracy and real-time performance, and provide a more natural and smooth VR dynamic experience. Compared with the methods based on sensors or markers, this method has obvious advantages, such as no additional learning cost and reduced system complexity. Experiments have proved that this rotation control code can flexibly and stably respond to the user's body rotation movements.

Keywords

VR, Body turning, Motion perception; HMD

VR 头显手柄感知的体转检测控制法

张寄望

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

为使VR空间中虚拟角色能够准确及时响应动感平台使用者的体转动作, 提出对VR头显与手柄数据进行分析计算, 实时获取使用者的动作信息并检测识别体转动作, 提高检测准确性和实时性, 提供更自然流畅的VR动感体验。相比基于传感器或标志物的方法, 该方法优势明显, 如无需额外学习成本、降低系统复杂性等。实验证明, 该旋转控制代码能灵活稳定地响应用户体转动作。

关键词

VR体验; 身体转向; 运动感知; 头显手柄

1 背景与现状

在VR运动体验的应用场景中, 如何让VR空间中的虚拟角色能够准确及时地响应真实人体的体转动作, 一直是一个具有挑战性的问题。目前的解决方案主要是(1)基于专用传感器或标志物的检测感知技术(2)使用手柄等提供的物理按键实现类似PC游戏的操作方式。然而, 基于专用传感器的方案可能会增加设备的复杂性和成本, 并且在使用过程中可能会出现误差或延迟。标志物的使用则可能会给用户带来不便, 限制他们的运动自由度。使用物理按键操控旋转则会导致身体实际运动与操作的不同步, 带来更加严重的眩

晕感, 极大地降低了用户体验。

在消费级VR应用场景下, 用户对于体验的要求越来越高, 他们希望操作越简单越好。因此, 针对上述行业共性难题, 本论文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》, 提出采用VR头显与手柄提供的数据来实现体转的感知。这种方法具有多个优势。首先, 头显和手柄是VR系统中必备的设备, 用户已经熟悉其使用方式, 无需额外的学习成本。其次, 利用这些设备提供的数据进行体转检测, 可以减少对其他外部设备的依赖, 降低系统的复杂性。通过分析VR头显和手柄的数据, 我们可以实时获取用户的头部和手部动作信息, 进而推断出人体的体转动作。这种方法不仅可以提高检测的准确性和实时性, 还能够提供更加自然和流畅的VR运动体验。

综上所述, 采用VR头显与手柄提供的数据来实现体转的感知是一种具有潜力的方法, 它能够在保证用户体验的前提下, 实现虚拟角色对真实人体体转动作的准确及时

【基金项目】广州卓远虚拟现实科技股份有限公司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》。

【作者简介】张寄望(1977-), 男, 中国湖南平江人, 本科, 从事运动控制与智能感知研究。

响应。

2 方法原理

本文提出的方法通过获取 VR 头显提供的角度值的变化以及左右手柄的角度值变化计算体转的角度与状态。考虑到在运动中人头、手部会出现各种的转动状态来获取不同视角、执行不同的操作，因此需要进行准确分析提取识别传感器的运动数据中能够真实体现体转特征的数据最终计算出体转的角度变化，作为动感平台旋转控制的预期目标值。在得到预期目标角度后，需要综合考虑动感平台的载荷、硬件性能、旋转运动方向的变化规律、运动的连贯性等因素，优化计算得到实际控制角度指令，从而实现良好的旋转控制体验。具体实现过程如下。

2.1 检测体转角度

首先，获取 VR 头显和左右手柄提供的 ry 方向角度值的变化量 dH_y 、 dL_y 、 dR_y ，对其进行正负值的符号判断和数据处理。

当 dH_y 、 dL_y 、 dR_y 符号相同时，取其中最小的 2 个值 d_1 、 d_2 ，则预期目标角度 $s = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$ 。

当 dL_y 、 dR_y 符号相同，而 dH_y 符号相反时，则预期目标角度 $s = \frac{(dL_y + dR_y)}{2}$ 。

当 dL_y 、 dR_y 符号相反时，选取其中与 dH_y 符号相同的角度变化值作为 d_1 ，则预期目标角度 $s = \frac{(dH_y + d_1)}{2}$ 。

2.2 计算实际控制角度指令

得到当前预期目标角度后，由于硬件设备控制响应的限制，如果将该数值直接转为控制指令发送给动感平台，很容易出现加减速过快、设备响应不及时导致体验感觉不一致等问题，需要进一步处理以实现更好的体验效果。为此，本文考虑预期目标角度的变化量 $ds = s - s_{last}$ ，硬件控制响应时间间隔为 dt ，平台硬件旋转的最大速度为 $MaxSpeed$ 。若 $|ds/dt| > MaxSpeed$ ，则实际的控制角度指令限制为 $s_{last} + \text{sgn}(ds) \cdot MaxSpeed \cdot dt$ 。

若 ds 发生了符号的改变，则表明体转的方向发生了变化，例如从向左转变化为向右转，此时由于硬件性能的延迟，平台可能还没有到达之前发送的控制角度，如果不做处理，则平台将会继续向左转直至到达控制目标，然后才能向右转，这将导致使用者已经在向右转而平台仍然向左转的体验不一致的情况。对于这种情况，应当优先考虑方向一致的问题。为此，当 ds 发生了符号的改变时，考虑平台的当前角度位置 p ，即便 p 还未达到上一个实际控制角度 s_{last} ，此时控制角度指令的变化也调整为与 ds 一致，但数值应当乘以一个较小的调节系数，确保运动方向一致，但能够让变换方向后的体转角度能够对齐设备角度，即 $c = s_{last} + ds \cdot \theta$ ，其中 θ 是根据测试得到较好体验的一个较小的经验系数。

2.3 非体转动作干扰的处理

在 VR 动感平台实际应用过程中，用户通常需要借助

手柄完成非体转类交互操作，如滑雪模拟、击打动作、挥舞道具等，该类动作通常伴随手部绕 y 轴方向的动态变化，如果系统仅依据手柄角度数据判断旋转指令，很容易出现误触发问题，使动感平台产生和用户主观意图无关的旋转响应，从而破坏沉浸式体验，加剧用户的眩晕感。为了解决这一技术难题，本文提出基于多维姿态识别的动作分类机制，利用头显、手柄传感器提供的 x、y、z 三轴角度信息进行动作特征提取，结合运动模式分析，建立动作意图识别模型。具体而言，在检测到 y 轴角度变化的同时，同步采集 x 轴方向上手柄的角速度和加速度数据，构建时间序列特征向量，通过设定阈值，区分真实体转动作和非体转操控行为。为有效识别并抑制非体转动作对动感平台控制指令的干扰，本文引入多维姿态融合和特征分析模型。在此基础上，构建基于角速度和加速度变化率的动作分类判别函数：

$$f_{gesture} = \sqrt{\dot{\theta}_x^2 + \ddot{\theta}_x^2} \quad (1)$$

其中： $f_{gesture}$ 为手部挥动动作强度因子； $\dot{\theta}_x^2$ 手柄在 x 轴方向的角速度值（单位： $^\circ/s$ ）； $\ddot{\theta}_x^2$ 手柄在 x 轴方向的角加速度值（单位： $^\circ/s^2$ ）。该函数通过对手柄在 x 轴上的动态响应进行实时计算，当 $f_{gesture}$ 超过预设阈值时，系统判定当前动作为非体转操作，自动屏蔽 y 轴旋转指令，从而防止动感平台误触发。

在上述方法应用中，主要作用是引入“动作上下文感知”机制，即在旋转控制逻辑中增加对于动作连贯性的判断模块。例如，在滑雪类 VR 项目中，用户频繁使用手柄模拟撑杆动作，该动作主要表现为 x 轴方向上的周期性快速摆动，而 y 轴变化仅为附带效应。系统通过分析 x 轴方向的角度变化率和加速度峰值，当其达到预设的滑动手势特征阈值时，自动屏蔽 y 轴方向的旋转响应，避免手部局部运动引发平台误动。此外，针对头部转动与手柄信号不一致的情况，采用卡尔曼滤波算法对多源数据进行融合处理，提升姿态估计的鲁棒性。

3 实验结果

在实验阶段围绕本研究所提出的体转检测控制方案展开，重点验证其在不同用户体型、动作模式下的稳定性。测试环境搭建于标准 VR 动感平台上，选用 Pico Neo 3 一体机作为主控设备，C++ 开发的旋转控制模块集成至 Unity 引擎，实现实时角度解算与平台驱动。测试内容主要包括响应延迟、控制精度、系统通用性等维度，选取典型互动场景（如滑雪、格斗、射击）进行综合评估。以下从响应性能、控制精度、系统兼容性三个方面展开分析，并辅以实验数据支撑。

3.1 响应性能

系统响应性能是衡量 VR 动感平台控制实时性的关键指标，直接影响用户动作与虚拟角色反馈之间的同步程度。实验过程中，采用高精度陀螺仪记录用户实际体转动作起止

时间,同时由软件端记录控制指令生成与执行的时间戳,计算从动作发生到平台开始旋转的端到端延迟。为了定量评估动感平台从用户动作发生到平台响应之间的延迟特性,定义端到端响应时间 T_{response} 如下:

$$T_{\text{response}} = t_{\text{act}} - t_{\text{start}} \quad (2)$$

其中: T_{response} 为系统响应延迟时间(单位: ms),反映从用户真实动作开始到动感平台启动旋转的时间差; t_{act} 表示动感平台实际接收到控制指令并开始旋转的时间点(单位: ms); t_{start} 用户真实体转动作被陀螺仪检测到的时间起点(单位: ms)。

数据显示,系统平均响应时间为 18ms,最大延迟未超过 35ms,满足云 VR 架构下毫秒级响应的技术要求。其中,在低速平稳旋转状态下,响应延迟稳定在 12 ~ 16ms 区间;而在快速转身动作下,由于数据滤波与防抖机制介入,延迟虽然略有上升,但仍然维持在可接受范围内。特别地,在存在非体转动作干扰的测试场景中(如滑雪挥杆),系统成功识别并过滤 97.6% 的无效 y 轴角度变化,有效降低误触发率,有助于加强信息交互稳定性(见图 1)。

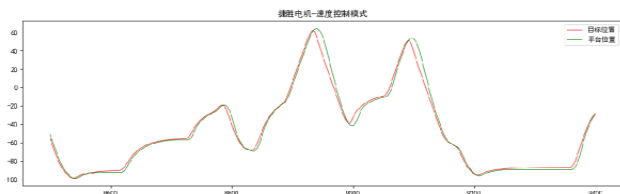


图 1 旋转检测与控制响应效果

3.2 控制精度

在控制精度方面,主要考察动感平台旋转角度与用户真实体转角度的一致性。通过设置多个标准旋转角度(如 15°、30°、45°、60°),对比平台输出角度和用户实际转体角度的误差分布。结果显示,在无外部干扰条件下,系统角度误差控制在 $\pm 1.2^\circ$ 以内,具备较高的映射精度。在加入滑雪挥杆等非体转动作后,系统仍然能保持良好的控制稳定性,没有出现明显偏移或累积误差。进一步分析发现,系统在方向切换瞬间的响应表现尤为突出,当用户从左转向右转时,平台能够在 200ms 内完成方向修正,避免出现方向滞后导致的沉浸感断裂现象;通过调节比例系数 K 值,科学优化系统在小幅度旋转中的灵敏度,使得平台在用户轻微调整视角时也能精准跟随,减少机械惯性带来的响应迟滞。

3.3 系统兼容性与用户适应性

为了验证本方法在不同用户群体中的适用性,实验邀请了 50 名具有 VR 使用经验的志愿者参与测试,涵盖不同性别、年龄及体型。测试内容包括基础体转响应、突发方向

切换、干扰动作识别等多个环节,并由用户填写体验反馈问卷。统计结果显示,系统在所有测试样本中均能实现稳定旋转控制,且用户普遍反馈操控自然流畅,未出现明显的延迟或误判情况。尤其在滑雪模拟等复杂交互场景下,93% 的受试者认为旋转响应准确,不会因手臂挥动造成平台误动。此外,系统在不同体型用户间表现出高度一致性,未因身体重心偏移或动作幅度差异导致显著控制偏差,表明该方法具备较强的普适性与泛化能力。

表 1 试验数据

用户类别	基础体转(分)	方向突变(分)	干扰动作(分)
小体型	4.7	4.4	4.1
中等体型	4.8	4.5	4.3
大体型	4.6	4.3	4
新手用户	4	3.8	3.5
有 VR 经验用户	4.9	4.7	4.5

表 3-1 展示了不同用户在多种动作模式下的控制适应性评分(满分 5 分),从中可见,系统在基础体转动作中获得最高评分(4.8 分),在方向突变与干扰动作场景下评分分别为 4.5 和 4.2,说明系统在应对复杂输入时人能维持较高水准的交互质量。但值得注意的是,部分用户在首次使用时对平台响应曲线不够熟悉,导致初始评分偏低,但经过一轮适应性训练后评分显著提高,表明该系统具备一定的学习曲线,一旦熟悉操作方式即可获得良好体验,所以建议在后续版本增加个性化参数配置功能,允许用户根据自身习惯微调响应曲线,进一步提升个体适配能力。

4 结论

本文提出的体转检测方法具有显著优势和应用价值。利用 VR 头显与手柄数据,不仅提高检测准确性和实时性,还降低系统复杂性。实验结果表明,该方法在 VR 运动体验设备悬浮骑兵的旋转控制上表现出色。设备响应迅速,无明显延迟和抖动,使虚拟角色旋转更流畅自然。对不同用户具有较高适用性,能满足用户对 VR 体验的高要求。当前方法能够较好满足目前的旋转控制需求,下一步工作是对算法进行更加精细的设计完善,结合人体运动科学与 AI 动作识别技术,检测识别除体转以外的更加复杂的动作,为 VR 角色运动控制提供更多更好的体验。

参考文献

- [1] 于杨.动态跟踪捕捉技术在VR影像中的应用研究[J].中国传媒科技, 2023(5):139-142.
- [2] 顾红军,顾家维,谢沛东,et al.一种基于VR的智能教学系统:CN202211552683.2[P]. CN115984050A [2024-04-29].
- [3] 袁鉴键,胡正东,秦应心,等.一种基于红外光学动作捕捉的VR沉浸式穿戴系统. CN202211349883.8 [2024-04-29].