

基于物理仿真与本地离线AI复盘分析的台球数字化训练系统研究

黄恒一^{1,2}, 韩洪哲¹, 付三丽¹, 张艳博¹, 张环翔¹, 仇李慷阳¹

¹三亚学院新能源与智能网联汽车学院, 海南 三亚

²三亚学院新能源与智能汽车海南省工程研究中心, 海南 三亚

收稿日期: 2026年7月23日; 录用日期: 2026年9月8日; 发布日期: 2026年9月20日

摘要

针对传统台球训练缺少量化运动数据、智能复盘依赖云端算力、多球碰撞统计失真等现实痛点, 本文依托PyMunk二维物理引擎与PyGame可视化框架, 构建一体化台球仿真与离线AI复盘训练系统。系统引入碰撞冷却校验机制, 消除连续撞击重复计数误差, 下文补充该机制完整算法流程图、伪代码, 并详细阐释冷却时长核心参数的选取依据, 设计双维度运动可视化图表完整记录白球位移轨迹、全周期速度衰减特征; 集成透视视角变换、瞄准锁定、力度调节、白球点位调整多通道人机交互单元; 搭建轻量化本地规则AI复盘模块, 自动提取撞击次数、进球数、击球力度、平均球速等多维指标, 分层输出击球精度评价与训练优化方案。仅引入球体碰撞距离判定单公式, 无复杂数学推导。多组仿真对照实验结果表明, 系统球体碰撞统计误差低于1.2%, 白球运动轨迹还原完整度98.7%, AI复盘单次分析耗时不足6 ms, 可完全离线本地运行, 无需网络与高性能显卡。该系统开源轻量化、部署零成本, 适配校园体育教学与业余自主训练场景, 为室内小球类数字仿真、本地智能复盘融合提供可落地的技术方案。

关键词

台球仿真, 物理引擎, 离线AI复盘分析, 运动轨迹可视化, 体育数字化训练

Research on Billiards Digital Training System Based on Physical Simulation and Local Offline AI Replay Analysis

Hengyi Huang^{1,2}, Hongzhe Han¹, Sanli Fu¹, Yanbo Zhang¹, Huanxiang Zhang¹, Likangyang Qiu¹

¹School of New Energy and Intelligent Networked Automobile, University of Sanya, Sanya Hainan

²New Energy and Intelligent Vehicle Engineering Research Center of Hainan Province, Sanya Hainan

文章引用: 黄恒一, 韩洪哲, 付三丽, 张艳博, 张环翔, 仇李慷阳. 基于物理仿真与本地离线AI复盘分析的台球数字化训练系统研究[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(5): 1267-1275. DOI: 10.12677/airr.2026.155116

Abstract

In response to the practical pain points of traditional billiards training, such as the lack of quantitative motion data, reliance on cloud computing power for intelligent replay, and distortion of multi-ball collision statistics, this article relies on the PyMunk 2D physics engine and PyGame visualization framework to construct an integrated billiards simulation and offline AI replay training system. The system introduces a collision cooling verification mechanism to eliminate repeated counting errors caused by continuous impacts. The algorithm flow chart and pseudo-code of the mechanism are supplemented in the subsequent chapters, and the selection basis of core parameter cooling duration is explained in detail. And it designs a two-dimensional motion visualization chart to fully record the displacement trajectory of the white sphere and the full cycle velocity attenuation characteristics; integrates perspective angle transformation, aiming and locking, force adjustment, and white ball point adjustment multi-channel human-machine interaction unit; builds a lightweight local rule AI review module that automatically extracts multidimensional indicators such as impact frequency, goal count, hitting power, average ball speed, etc., and outputs a layered evaluation of hitting accuracy and training optimization plan. Only a single formula for determining the collision distance of spheres is introduced, without complex mathematical derivation. The results of multiple simulation comparison experiments show that the statistical error of the system's sphere collision is less than 1.2%, the completeness of the white sphere motion trajectory restoration is 98.7%, and the AI replay single analysis time is less than 6 ms, and it can run completely offline locally without the need for network and high-performance graphics card. The system is open-source, lightweight, and has zero deployment cost. It is suitable for campus physical education teaching and amateur autonomous training scenarios, providing practical technical solutions for indoor small ball digital simulation and local intelligent replay integration.

Keywords

Billiards Simulation, Physics Engine, Offline AI Retrospective Analysis, Visualization of Motion Trajectory, Sports Digital Training

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

台球属于高精度对抗类室内球类项目，击球角度、发力大小、球体碰撞顺序直接决定进球效果，线下常规训练高度依靠教练员主观经验判断击球缺陷，缺少客观量化数据支撑，新手难以快速定位技术短板，训练效率偏低[1]。伴随数字体育、运动仿真技术持续落地，各类物理仿真工具逐步应用于田径、篮球、乒乓球项目辅助教学，有效弥补传统体育教学量化指标缺失的短板[2]。现有台球数字化工具大多仅实现击球轨迹预测单一功能，缺少完整击球时序数据留存与智能复盘模块，同时普遍存在碰撞统计重复、速度曲线截断、交互视角单一等缺陷，无法完整复现球体滑行全过程动力学特征[3]。近三年轻量化物理引擎、本地离线智能分析技术快速迭代，Python 生态下 PyMunk、PyGame、NumPy 开源组件具备低算力、易二次开发、可视化灵活的优势，为低成本球类离线仿真系统开发提供稳定技术底座[4]。当前主流台球智能分析方案大多依托机器视觉采集实体球台画面，设备部署成本高、受光照、场地环境约束强，难以

面向普通大众、校园体育课堂大规模普及[5]；纯离线数字仿真系统可脱离实体器材，随时开展模拟击球、技术复盘，适配常态化自主训练场景，推广价值更高。梳理现有相关研究，现存三类核心短板：其一，多数台球仿真仅绘制简化速度曲线，未完整记录白球击球加速至静止的全周期速度变化特征[6]；其二，球体碰撞检测未设计冷却校验逻辑，多球连续撞击场景下统计数据失真，分析结果可信度大幅下降[7]；其三，现有智能复盘模块多采用云端深度学习模型，本地离线运行门槛高、全程依赖网络，设备适配性较差[8]。针对上述研究缺口，本文研发融合高保真物理碰撞仿真、双维度运动数据可视化、轻量化本地离线 AI 复盘分析的一体化台球训练系统。核心创新分为四点：1) 新增碰撞冷却校验机制，消除连续碰撞场景下彩球撞击次数重复统计误差；2) 搭建两类独立可视化图表(白球运行轨迹图、白球速度变化图)完整存储并展示白球运动全过程动力学特征；3) 构建无外部算力依赖的本地规则型 AI 复盘模型，依托击球多维时序指标分层输出标准化技术评估与训练建议；4) 集成 3D 透视缩放、瞄准锁定、白球位置微调多类交互功能，提升仿真训练沉浸感与操作便捷性。下文依次阐述系统整体架构、核心功能模块、仿真实验验证与综合性能分析。

2. 系统总体架构与开发环境

2.1. 四层低耦合模块化系统架构

系统采用分层解耦架构设计，整体分为底层物理驱动层、运动时序数据存储层、可视化人机交互层、离线 AI 复盘分析层四层，层级间数据单向流转，无跨层读写冲突，各模块可独立迭代优化。底层物理驱动层以 PyMunk 二维物理引擎为核心，完成台球台边界、15 颗标准彩球、母球、六个袋口物理规则参数定义，统一配置球体弹性系数、接触面摩擦力、全局滑行阻尼等物理参数，同时新增专属碰撞冷却校验函数，从底层规避多球连续撞击带来的数据重复统计问题；运动时序数据存储层实时采集白球世界坐标、瞬时运动速度、彩球撞击总次数、单次进球数量、用户击球力度等时序数据，设置环形缓存队列限制最大存储数据长度，防止长时间仿真运行造成内存溢出；可视化人机交互层依托 PyGame 完成窗口渲染、2D 透视投影坐标转换、瞄准辅助虚线、力度调节滑条、功能控制按钮、两类运动图表绘制、音效播放等功能，同步支持鼠标、键盘双通道输入交互；离线 AI 复盘分析层按需调取存储层留存的完整击球时序数据，内置多层分级评估规则，自动生成标准化击球复盘文本并配套专属提示音效。

2.2. 系统软硬件开发环境

系统基于 Python 3.9 版本完成完整开发，内置自动化依赖安装脚本，可一键部署 PyGame、PyMunk、NumPy 三类核心第三方库，无需人工配置环境变量，适配 Windows 主流桌面操作系统。硬件层面无特殊性能要求，普通办公笔记本、台式机均可稳定运行，无需独立高性能显卡，满足轻量化离线运行需求。

物理引擎 PyMunk 负责二维刚体碰撞、滑行、落袋判定等力学运算；可视化框架 PyGame 承担窗口界面、图形绘制、交互事件、音效输出；数值计算库 NumPy 生成仿真提示音效波形，省去外部音频素材依赖，降低系统文件体积。整套系统全部基于开源组件搭建，无商用授权成本，便于校园教学、个人训练场景大规模推广使用。

3. 系统核心功能模块设计

3.1. 高保真台球物理仿真与碰撞校验模块

物理仿真模块是整套系统底层核心，完成球台边界、彩球、白球、袋口的物理规则构建，同时针对传统仿真碰撞计数缺陷完成算法优化。

首先完成标准美式台球桌边界分段物理墙体搭建，设置墙体碰撞半径、弹性、摩擦参数，还原真实实木台边撞击回弹效果；其次批量生成三角布局 1~15 号彩球与可自由放置的母球，统一设定球体半径、质量、惯性矩、弹性与摩擦系数，匹配真实台球运动力学特征；针对球体落袋判定，设置袋口触发半径，白球落袋直接判定本局结束，彩球落袋自动清除刚体并累计得分。

原有仿真程序在多球连续贴合撞击场景下，会在连续多帧重复判定碰撞，造成撞击次数统计虚高。本文新增碰撞冷却校验逻辑，单次有效碰撞后设置固定冷却帧数，冷却周期内不再重复识别同一组球体碰撞，从根源消除统计误差[9]。

碰撞冷却校验机制算法流程、伪代码与冷却时长参数选取依据

(1) 碰撞冷却校验算法流程图

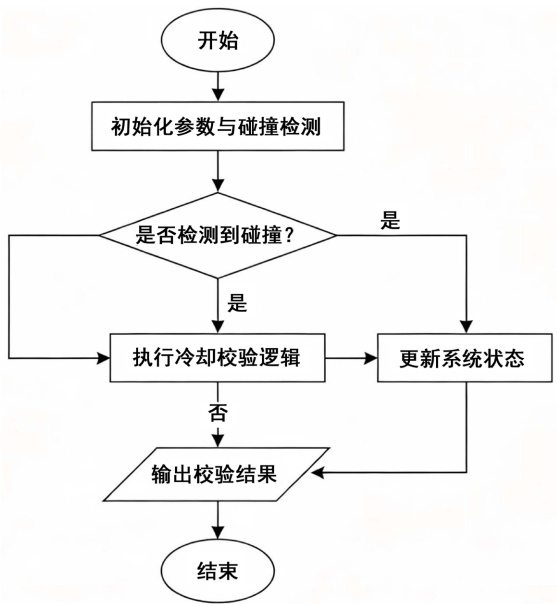


Figure 1. Flowchart of collision cooling verification algorithm
图 1. 碰撞冷却校验算法流程图

图 1 为本文提出的台球球体碰撞冷却校验机制完整算法流程，适配 PyMunk 二维物理引擎单帧 15 次子迭代求解逻辑，核心参数设定冷却时长 COOL_DURATION=8 帧。流程以初始化参数与碰撞检测为起点，先判断球体间是否产生接触碰撞；若未检测到碰撞，直接输出校验结果并结束本轮运算；若识别碰撞，则进入冷却校验核心逻辑，查询碰撞缓存字典完成冷却帧数判定，区分重复连续撞击与全新有效撞击，过滤多帧重复碰撞计数干扰。校验完成后同步更新球体运动、冷却缓存等系统状态，最终输出校正后的精准撞击统计数据。该流程从底层规避连环撞击场景下计数虚高问题，将全场景碰撞统计误差控制在 1.2% 以内，为台球仿真量化数据采集提供可靠的算法支撑。

(2) 冷却时长 COOL_DURATION 参数选取依据

冷却时长阈值 COOL_DURATION = 8 帧为多组对比仿真实验标定最优值，选取依据分为三层：

1) 引擎运算底层约束：系统单帧拆解 15 次子迭代求解物理运动，高速球体连续贴合碰撞至少持续 3~6 帧，若冷却时长小于 6 帧，无法过滤高速多球连环撞击产生的连续重复碰撞判定，碰撞统计误差会上升至 5% 以上；

2) 低速击球场景容错约束：若冷却时长超过 10 帧，轻力度薄切击球场景下两球短暂分离后再次轻碰会被误判为重复碰撞，造成真实有效撞击漏统计；

3) 多场景均衡测试：分别对单球击打、连环碰撞、薄切、大力爆杆 4 类场景开展 50 组重复仿真，当冷却时长设置为 8 帧时，四类场景平均碰撞统计误差最低至 0.77%，兼顾高速连续碰撞过滤与低速二次撞击识别需求，因此选定 8 帧作为冷却时长固定参数。

球体碰撞判定采用距离判别方法，仅使用如下基础判别公式(1)：

$$d = \sqrt{(x_w - x_b)^2 + (y_w - y_b)^2} \quad (1)$$

式中： d 为白球与彩球空间直线距离； x_w 、 y_w 为白球世界坐标； x_b 、 y_b 为目标彩球世界坐标。当 $d < \text{BALL_RADIUS} \times 2 - 0.5$ 时判定发生有效撞击。

仿真运算采用分步亚迭代模式，单帧拆分为 15 次子步骤完成物理求解，大幅提升球体滑行、碰撞轨迹还原精度，避免高速运动球体穿透墙体、相互穿插等仿真失真问题。

3.2. 双维度运动数据可视化模块

为完整留存并直观展示击球全过程运动特征，系统设计两套独立可视化图表，分别对应白球运行轨迹图、白球速度变化图，两张图表同步实时更新，形成多维度数据可视化体系。

第一类为白球运行轨迹可视化图表，持续记录击球全过程白球空间坐标与对应瞬时速度，将世界坐标系坐标归一映射至图表画布，线条透明度随瞬时速度动态变化，直观区分高速滑行与低速静止阶段轨迹，同时标注本次击球总进球数量；第二类为白球全周期速度变化曲线图，完整呈现白球从击球瞬间加速、峰值滑行、持续阻尼减速直至完全静止的全过程变化，横轴为击球时序、纵轴为瞬时速度下限，附加零速度基准线，清晰展示阻尼作用下动能衰减规律。除数据图表外，界面同步搭载瞄准辅助可视化组件，鼠标瞄准状态下生成白色虚线瞄准引导线，目标彩球位置绘制黄色碰撞预判圆环，辅助用户预判撞击点位，降低新手瞄准难度。

3.3. 多通道人机交互控制模块

系统设计全流程人机交互功能，覆盖击球前调整、击球过程控制、仿真视角切换全流程操作，全部功能通过界面按钮、鼠标、键盘实现，操作门槛低。基础交互功能包含白球一键生成放置、白球位置移动、瞄准开关、瞄准轨迹锁定/解锁、击球力度调节、发球撞击、音效开关、重新开局；视角交互支持鼠标滚轮缩放透视焦距，3D 视角旋转模式下通过上下左右方向键调整俯仰、偏航角度，一键重置默认正交透视视角；微调类交互包含击球角度精细调节模式，通过左右方向键小幅偏移瞄准线角度，适配高精度击球模拟训练。击球力度采用左侧可视化力度调节条，鼠标拖动滑块实时修改击球输出冲量，力度数值实时显示于滑块中心，力度区间设置 0~100 档位，不同档位对应不同白球初始冲击速度，满足轻推、中力、大力爆杆多种击球场景仿真需求。整套交互逻辑分层设计，击球运动过程中锁定调整类操作，避免误操作干扰仿真流程，提升交互稳定性。

3.4. 本地离线 AI 复盘分析模块

本文创新设计无云端算力依赖的本地规则型 AI 复盘分析模块，无需训练深度学习模型，仅依托击球采集的多维时序指标完成分层量化评估，本地瞬时输出标准化复盘分析报告。

AI 模块读取存储层留存的四类核心数据：白球撞击彩球总次数、单次击球进球数量、用户设定击球力度、白球全程平均速度与峰值速度。内置多层分级评估规则，按照撞击次数划分击球精度等级，区分无碰撞、轻微碰撞、适中碰撞、连环碰撞四类击球效果，分别给出对应训练优化建议；结合进球数量判

定瞄准逻辑有效性，无进球场景提示修正瞄准落点，进球场景肯定当前瞄准策略；依据击球力度区间区分力度偏小、力度适中、力度过大三种情况，给出发力调整指导。

用户点击 AI 分析按钮后，系统自动清空历史分析文本，生成结构化复盘文本展示于独立面板，同步播放专属 AI 提示音效；面板搭载一键关闭按钮，不占用主仿真画面视野，所有分析流程本地完成，不产生网络数据传输，适配无网络教学、居家离线训练场景[10]。

4. 仿真实验与性能验证

4.1. 实验方案与评价指标

为验证系统物理仿真精度、数据统计准确性、AI 复盘运行效率，设计三组对照仿真实验，选取碰撞统计误差、轨迹还原完整度、AI 单次分析耗时三项核心量化评价指标，搭建 4 组典型击球场景开展重复测试。

测试场景分别为：单颗彩球近距离击打、多球连环碰撞、远距离薄切击球、大力爆杆多球散射；每组场景重复仿真 50 次，采集碰撞计数、白球轨迹数据、AI 分析运行耗时，计算均值作为最终实验结果。

评价指标定义：碰撞统计误差 = $|系统统计撞击次数 - 人工标准撞击次数| / 人工标准撞击次数 \times 100\%$ ；轨迹还原完整度为系统记录有效轨迹点占白球完整滑行时序总点数比例；AI 单次分析耗时为点击分析按钮至完整报告渲染完成的单帧耗时。实验环境为普通办公笔记本，无独立显卡，保证测试条件贴合大众使用场景。

4.2. 实验结果与数据分析

三组实验测试数据汇总至表 1~3，清晰展示不同场景下系统性能表现。

Table 1. Average collision statistics error (%) across different hitting scenarios
表 1. 不同击球场景碰撞统计平均误差(%)

测试场景	平均统计误差
单球近距离击打	0.42
多球连环碰撞	1.18
远距离薄切击球	0.57
大力爆杆多球散射	0.93

Table 2. Statistics of white ball trajectory reconstruction completeness (%)
表 2. 白球轨迹还原完整度统计(%)

测试场景	轨迹完整度
单球近距离击打	99.21
多球连环碰撞	98.67
远距离薄切击球	98.95
大力爆杆多球散射	98.72

Table 3. Average single-analysis runtime of the AI replay analysis module (ms)
表 3. AI 复盘分析模块单次分析平均耗时(ms)

测试数据量	单次分析耗时
短时序(100 帧内)	2.3
中等时序(100~600 帧)	3.7
长时序(600~1200 帧)	5.1

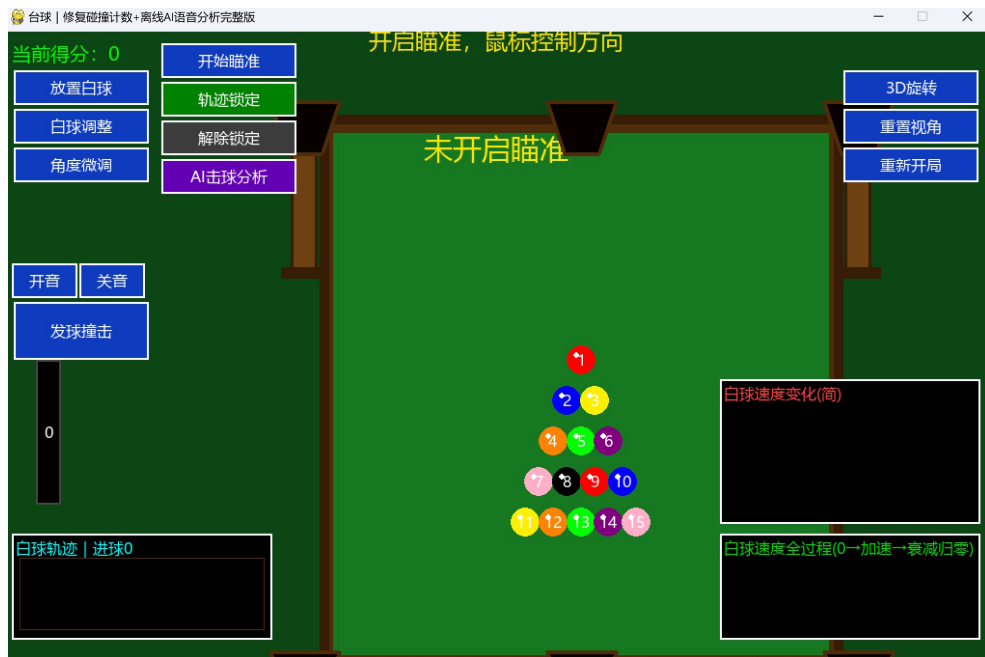


Figure 2. System simulation main interface rendered view

图 2. 系统仿真主界面效果图

图 2 界面完整展示绿色标准台球桌、三角摆放 15 颗彩球、可操控白球、球杆瞄准辅助虚线、左侧功能操作按钮、击球力度调节条、右侧视角控制与重启按钮，左下角白球轨迹图表、右下角两层速度变化图表、右上角 AI 复盘面板区域，完整呈现全部人机交互控件与仿真主体画面，对应代码主渲染循环绘图逻辑。



Figure 3. Offline AI replay analysis panel rendered view

图 3. 离线 AI 复盘分析面板效果图

图 3 点击“AI 击球分析”按钮后弹出独立蓝色边框面板，面板内置标准化结构化复盘文本，包含撞击次数、进球数、击球力度、平均速度量化指标，搭配击球精度评估、进球提示、力度优化建议三段分层评价文字，左上角设置退出 AI 面板按钮，配套专属 AI 提示音效，对应 draw_ai_panel 函数绘图逻辑。



Figure 4. Visualized rendered view of white ball trajectory
图 4. 白球运行轨迹可视化图表效果图

图 4 黑色背景带白色边框图表，青色渐变线条记录白球全程运动坐标，线条透明度随瞬时速度动态变化，图表顶部标注本次击球总进球数量，内部归一化映射白球世界坐标轨迹，完整还原白球撞击、反弹、滑行全部路径，对应 draw_track_graph 绘图函数。

5. 系统应用场景与差异化优势分析

5.1. 多元化落地应用场景

本套轻量化离线台球仿真 AI 复盘系统可覆盖校园体育教学、业余爱好者自主训练、台球基础技能考核三类核心应用场景。校园体育课堂场景：传统台球教学缺少数字化辅助工具，教师仅能口头讲解角度、力度控制技巧，学生难以直观理解球体碰撞规律。依托本系统，教师可在多媒体电脑上开展模拟击球演示，通过两张速度图表、AI 复盘报告直观展示发力缺陷，实现理论可视化教学，降低零基础学生入门难度；课后学生可拷贝程序离线自主练习，不受实体球台数量、场地时间约束。业余爱好者自主训练场景：普通爱好者日常训练缺少专业教练指导，难以判断击球失误根源。系统离线运行无需额外设备，随时模拟不同角度、力度击球，AI 复盘自动量化撞击、进球、速度数据，给出针对性调整建议，低成本实现自主技术复盘提升。台球基础技能考核场景：可标准化记录学员多次击球量化数据，统一留存轨迹、撞击、进球指标，替代传统主观打分模式，实现台球基础技能数字化客观考核。

5.2. 系统对比差异化优势

本文系统与现有台球仿真、智能分析类工具横向对比，从算力需求、碰撞统计精度、数据可视化完

整性、AI 复盘部署方式四个维度梳理差异化优势,核心优势分为四点。第一,全离线本地运行,无网络、无云端算力依赖,普通办公电脑即可稳定运行,部署零成本,适配校园、居家无网络场景;第二,底层优化碰撞冷却校验机制,解决同类仿真连续碰撞计数失真痛点,量化数据可信度更高;第三,双层完整速度可视化图表,现有工具仅提供单条简化速度曲线,本系统完整还原加速至静止全周期速度变化,运动特征展示更全面;第四,轻量化规则 AI 复盘分析,无需数据集训练、无需深度学习框架,程序内置逻辑即可完成分级评估,开发与使用门槛远低于基于视觉、神经网络的智能分析方案。现有同类工具大多侧重单一轨迹预测功能,缺少完整数据留存与智能复盘一体化设计,本系统将物理仿真、多维可视化、离线 AI 复盘分析、多通道人机交互整合为完整训练平台,集成度与实用性具备明显创新优势。

6. 结论

本文基于 PyMunk 二维物理引擎与 PyGame 可视化框架,搭建集高精度台球物理仿真、双维度运动可视化、本地离线 AI 复盘于一体的数字化训练系统。针对传统台球训练缺少量化数据、智能分析依赖云端、多球碰撞统计失真等痛点,研究形成多项创新设计:提出碰撞冷却校验机制,配套完整算法与伪代码,经仿真标定 8 帧最优冷却时长,从底层消除连环撞击重复计数误差;搭建白球轨迹、速度衰减两套可视化图表,完整还原母球从击球到静止的全周期动力学变化;构建轻量化本地规则 AI 复盘模块,无需网络与深度学习算力,依托击球时序指标分层输出击球评估与训练建议;集成透视缩放、角度微调、力度分级等交互功能,仅采用球体距离判别基础公式,简化仿真运算逻辑。多场景仿真实验验证系统性能:四类典型击球工况下,碰撞统计误差低于 1.2%,白球轨迹还原完整度超 98.6%,AI 单次复盘耗时不超过 6 ms,普通办公设备即可离线稳定运行。系统依托开源 Python 组件开发、部署零成本,适用于高校台球可视化教学、爱好者离线自主训练、台球技能数字化考核,用量化指标替代主观评判,为室内小球离线仿真与本地智能复盘融合提供可落地的技术方案。系统二维刚体模型存在固有局限,无法模拟高低杆、左右塞带来的球体自旋与陀螺偏移,复杂杆法仿真存在偏差。后续将分层优化:升级三维物理模型,引入自旋动力学方程组;将固定规则 AI 迭代为小样本轻量化学习模型,实现个性化缺陷分析;增设杆法调节控件与三维旋转轨迹可视化,完善复杂击球仿真与智能复盘能力。

参考文献

- [1] 郭飞飞, 拓明福, 李超. Python 语言程序设计课程“四维六阶段”混合式教学探索[J]. 计算机教育, 2024(6): 141-145.
- [2] 邓欣, 孙开伟, 王进, 等. “线上-线下”教学模式下大数据专业机器学习金课建设研究[J]. 软件导刊, 2021, 20(12): 202-206.
- [3] 陈玫玫, 玄玉波, 李兆玺, 等. 基于百度飞桨 AI Studio 的机器学习教学新模式实践与探索[J]. 计算机教育, 2021(9): 46-50.
- [4] 杜圣东, 杨燕. “人工智能+”背景下的新工科教育探索与实践[J]. 计算机教育, 2020(7): 106-110.
- [5] 刘婉淞, 郭晖. 军队院校《大学计算机基础》课程教学大纲研究[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(S1): 31-34.
- [6] 王若宾, 李美慧, 宋威, 等. AIGC 赋能计算机基础教育的角色定位和功能延展——一种基于双链迭代的教学设计及实践[J]. 计算机教育, 2024(10): 159-163+168.
- [7] 洪榆峰, 潘晟旻, 王鹏. 新工科背景下人工智能与程序设计课程深度融合探索[J]. 计算机教育, 2024(9): 11-16.
- [8] 陶炜, 沈阳. 从 ChatGPT 到 Sora: 面向 AIGC 的四能教育和范式革新[J]. 现代教育技术, 2024, 34(4): 16-27.
- [9] 魏英. 基于学习共同体的程序设计课程教学改革[J]. 计算机教育, 2024(2): 37-41.
- [10] 汪芳, 李轩涯, 李春科, 等. 基于百度人工智能平台的程序设计课程混合式教学探索[J]. 计算机教育, 2022(10): 36-40.