



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120315577 A

(43) 申请公布日 2025. 07. 15

(21) 申请号 202510331064.8

G06N 3/048 (2023.01)

(22) 申请日 2025.03.20

G06N 3/08 (2023.01)

(71) 申请人 浙江理工大学

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经济开发区白杨街道

(72) 发明人 刘爱萍 徐昭 罗轩梓 程琳
虞喆洋 孙增

(74) 专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所
(普通合伙) 33296

专利代理师 冯海军

(51) Int. Cl.

G06F 3/01 (2006.01)

A63D 15/00 (2006.01)

A63B 69/00 (2006.01)

G06F 3/041 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种双模式三维力传感器台球击打系统

(57) 摘要

本发明涉及台球训练技术领域,公开了一种双模式三维力传感器台球击打系统,包括以下结构:系统结构、神经网络结构、硬件结构。通过用电容以及压电的方式获取球杆击打的动态力以及施力速度来观察台球杆击打的力变化,使得更容易对于台球的击打方式进行细致化改变,来观察力与速度的变化,最后通过上位机界面进行传达力与速度的显示。在整体关于台球三维力的细致测量系统上展现出独特的优势,一种利用双模式三维力传感器进行击打力度和角度检测的台球训练系统。目的是提供一种双模式三维力台球击打系统,通过结合静态电容介质层和动态压电薄膜,实现对击球动作的多维度检测和反馈。



1. 一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,包括以下结构:

系统结构:具有PDMS上封装和PDMS下封装;设有作为传感器支撑层的PI基底;包含用于检测静态力的静态电容介质层;包含用于检测动态力的动态压电薄膜;以及用于采集电容和压电信号的下电极和上电极;

神经网络结构:激活函数为ELU,损失函数为Huber损失函数,训练方法采用随机梯度下降结合余弦退火策略,训练过程中设置早停策略,早停耐心值为200;

硬件结构:包括台球桌、击球杆、安装在击球杆击球端的三维力传感器以及数据处理单元。

2. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述静态电容介质层和动态压电薄膜的信号通过下电极和上电极传输至数据处理单元,数据处理单元通过训练好的神经网络模型对信号进行处理,以获取击球的力度、角度和旋转参数。

3. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述系统能够对直线击球、旋转击球、反弹击球多种基本杆法进行检测。

4. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述数据处理单元对击球动作进行实时分析并提供反馈信息,并给出击球动作反馈建议。

5. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述PI基底具有柔韧性和机械强度,同时能够支撑传感器并适应击球时的力学变化。

6. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述PDMS上封装和PDMS下封装用于保护内部传感器和电路,并通过自身材质以及结构对冲击力进行缓冲防护。

7. 根据权利要求1所述的一种双模式三维力传感器台球击打系统,其特征在于,所述神经网络结构在训练过程中采用早停耐心值为200的早停策略。

一种双模式三维力传感器台球击打系统

技术领域

[0001] 本发明涉及台球训练技术领域,具体为一种双模式三维力传感器台球击打系统。

背景技术

[0002] 传统的台球训练系统通常依赖于视觉识别或简单的力学传感器来检测击球动作。这些方法虽然在某种程度上能够提供击球的基本信息,但在精度和实时反馈方面存在显著局限性。视觉识别系统容易受到环境光线和背景干扰的影响,导致检测结果不准确;而简单的力学传感器则无法提供多维度的击球数据,如击球的力度、角度和旋转等。此外,现有系统往往缺乏对击球动作的实时反馈能力,用户无法及时调整击球策略,训练效果受到限制。随着台球运动的普及和竞技水平的提高,传统的训练方法已无法满足高水平运动员和爱好者的需求。

[0003] 近年来,随着传感器技术和人工智能算法的快速发展,基于多维度力检测的智能训练系统逐渐成为研究热点。然而,现有的多维度力检测系统大多采用单一传感器模式,如仅使用电容传感器或压电传感器,无法同时捕捉静态力和动态力的变化,导致检测结果不够全面。此外,现有的系统在数据处理和反馈机制上也存在不足,往往依赖于复杂的算法和昂贵的硬件设备,难以在实际训练场景中广泛应用。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种双模式三维力传感器台球击打系统,解决了现有的多维度力检测系统大多采用单一传感器模式,无法同时捕捉静态力和动态力的变化,导致检测结果不够全面的问题。

[0005] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种双模式三维力传感器台球击打系统,包括以下结构:

[0006] 系统结构:具有PDMS上封装和PDMS下封装;设有作为传感器支撑层的PI基底;包含用于检测静态力的静态电容介质层;包含用于检测动态力的动态压电薄膜;以及用于采集电容和压电信号的下电极和上电极。

[0007] 神经网络结构:激活函数采用ELU,损失函数选用Huber损失函数;采用随机梯度下降结合余弦退火策略进行训练;训练过程设置早停策略,早停耐心值为200。

[0008] 硬件结构:包括台球桌、击球杆、安装在击球杆击球端的三维力传感器以及数据处理单元,所述三维力传感器用于实时采集击球数据并传输至数据处理单元。

[0009] 优选的,所述静态电容介质层和动态压电薄膜的信号通过下电极和上电极传输至数据处理单元,数据处理单元利用训练好的神经网络模型对信号进行分析,以获取击球的力度、角度和旋转参数。

[0010] 优选的,所述系统支持对包括直线击球、旋转击球、反弹击球多种基本杆法进行检测。

[0011] 优选的,所述数据处理单元对击球动作进行实时分析并提供反馈信息,并给出击

球动作反馈建议。

[0012] 优选的,所述PI基底具有柔韧性和机械强度,同时能够支撑传感器并适应击球时的力学变化。

[0013] 优选的,所述PDMS上封装和PDMS下封装用于保护内部传感器和电路,并通过自身材质以及结构对冲击力进行缓冲防护。

[0014] 优选的,所述神经网络结构在训练过程中采用早停耐心值为200的早停策略。

[0015] 优选的,所述系统结合静态电容介质层和动态压电薄膜对击球动作进行检测和反馈。

[0016] 本发明提供了一种双模式三维力传感器台球击打系统。具备以下有益效果:

[0017] 1.高精度检测:通过结合静态电容介质层和动态压电薄膜,系统能够同时检测击球时的静态压力和动态冲击力,实现对击球动作的多维度精确检测,确保数据的全面性和准确性。

[0018] 2.实时反馈:系统能够实时分析击球动作,并通过显示屏或语音提示提供即时反馈,帮助用户快速调整击球策略,显著提高训练效率。

[0019] 3.多功能支持:系统支持五种基本杆法的检测和反馈,包括直线击球、旋转击球、反弹击球等,适用于不同水平的台球爱好者,满足多样化的训练需求。

[0020] 4.稳定性与泛化能力:神经网络模型采用ELU激活函数、Huber损失函数和余弦退火策略,结合早停机制(耐心值设置为200),有效防止过拟合,确保模型的稳定性和泛化能力。

[0021] 5.易于安装与维护:系统的硬件结构简单,传感器安装便捷,适用于各种台球训练场景,且维护成本低,便于推广使用。

[0022] 6.提升训练效果:通过精确的击球数据分析和实时反馈,系统能够帮助用户快速掌握击球技巧,显著提升训练效果和竞技水平。

附图说明

[0023] 图1为本发明的双模式三维力传感器台球击打系统模块图;

[0024] 图2为本发明的三维力传感器的结构模型图;

[0025] 图3为本发明的台球击打系统具体的神经网络图;

[0026] 图4为本发明的关于训练结果的损失函数以及拟合优度图;

[0027] 图5为本发明的台球训练系统硬件结构图;

[0028] 图6为本发明的台球五种基本杆法示意图;

[0029] 图7(a)为本发明的不同方位不同力度击打显示力变化的界面图a;

[0030] 图7(b)为本发明的不同方位不同力度击打显示力变化的界面图b;

[0031] 图7(c)为本发明的不同方位不同力度击打显示力变化的界面图c。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明说明书中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他

实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 实施例:

[0034] 请参阅附图1-附图7,本发明实施例提供一种双模式三维力传感器台球击打系统,包括以下结构:

[0035] 结构一、系统结构包括PDMS上封装和PDMS下封装,用于保护内部传感器和电路;PI基底作为传感器的支撑层,具有良好的柔韧性和机械强度;静态电容介质层用于检测静态力,如击球时的压力分布;动态压电薄膜用于检测动态力,如击球时的瞬时冲击力;下电极和上电极则用于采集电容和压电信号,从而实现对击球动作的多维度检测和分析。

[0036] 结构二、神经网络结构:在神经网络结构中,激活函数采用ELU (Exponential Linear Unit)以提高模型的非线性拟合能力,损失函数则选用Huber损失函数,以平衡均方误差和绝对误差。为了优化训练过程,使用随机梯度下降 (SGD) 结合余弦退火策略 (CosineAnnealingLR),从而提高训练效率和模型精度。此外,早停耐心值设置为200,以防止模型过拟合,确保训练的稳定性及泛化能力。

[0037] 结构三、硬件结构:系统包括台球桌、击球杆、三维力传感器和数据处理单元。传感器安装在击球杆的击球端,实时采集击球数据并传输至数据处理单元进行分析和反馈;

[0038] 所述静态电容介质层和动态压电薄膜的信号通过下电极和上电极传输至数据处理单元,数据处理单元利用训练好的神经网络模型对信号进行分析,计算出击球的力度、角度和旋转等参数;所述系统支持五种基本杆法的检测和反馈,包括直线击球、旋转击球、反弹击球等;所述数据处理单元能够实时分析击球动作并提供反馈,帮助用户调整击球动作;所述PI基底具有良好的柔韧性和机械强度,能够有效支撑传感器并适应击球时的力学变化;所述PDMS上封装和PDMS下封装能够有效保护内部传感器和电路,防止外部环境对系统的干扰和损坏;所述神经网络结构的训练过程采用早停策略,早停耐心值设置为200,以防止模型过拟合;所述系统通过结合静态电容介质层和动态压电薄膜,能够实现击球动作的高精度检测和实时反馈;所述系统适用于不同水平的台球爱好者,能够有效提高训练效果且所述系统的硬件结构简单,易于安装和维护,适用于各种台球训练场景。

[0039] 一种双模式三维力传感器台球击打系统的使用步骤,包括以下步骤:

[0040] 步骤一、

[0041] 三维力传感器的安装与配置:首先,将三维力传感器安装在击球杆的击球端。传感器的外部由PDMS (聚二甲基硅氧烷) 上封装和PDMS下封装保护,PDMS材料具有优异的柔韧性、耐磨损性和防水性,能够有效保护内部传感器和电路免受外界环境的干扰和损坏。传感器内部的核心结构包括PI (聚酰亚胺) 基底,PI材料具有高机械强度、良好的柔韧性和耐高温特性,能够为传感器提供稳定的支撑,同时适应击球时产生的力学变化,确保传感器在多次击打后仍能保持高性能。

[0042] 传感器的核心功能层由静态电容介质层和动态压电薄膜组成。静态电容介质层用于检测击球时的静态压力分布,能够精确测量击球杆与台球接触时的压力大小及其分布情况,从而帮助用户了解击球的均匀性和力度控制。动态压电薄膜则用于检测击球时的动态冲击力和振动,能够将击球瞬间产生的机械能 (如瞬时冲击力和振动) 转化为电信号,从而捕捉击球动作的动态特性,如击球的速度、加速度以及击球杆的振动频率等。这两种功能层的结合,使得传感器能够同时检测静态和动态的力学变化,实现对击球动作的多维度精确

检测。

[0043] 在安装传感器时,确保其与击球杆的接触面紧密贴合,以避免信号采集时的误差。传感器的下电极和上电极通过高导电性的导线连接到数据处理单元,确保信号传输的稳定性和实时性。导线的连接部分采用屏蔽设计,以防止外界电磁干扰对信号传输的影响。此外,传感器的安装位置经过优化设计,确保其在击球过程中不会影响用户的正常操作,同时能够最大限度地捕捉击球动作的力学特征。通过这种安装方式,系统能够在用户击球时实时采集高质量的静态电容信号和动态压电信号,为后续的数据处理和分析提供可靠的基础。

[0044] 步骤二、

[0045] 数据采集与预处理:当用户进行击球时,安装在击球杆击球端的三维力传感器会实时采集击球动作产生的静态电容信号和动态压电信号。静态电容信号由传感器中的静态电容介质层生成,反映了击球时的压力分布情况。通过检测击球杆与台球接触时的压力变化,静态电容信号能够精确测量击球力的大小及其在击球杆上的分布情况,从而帮助用户了解击球的均匀性和力度控制。动态压电信号则由传感器中的动态压电薄膜生成,反映了击球瞬间的冲击力和振动情况。压电薄膜能够将击球时产生的机械能(如瞬时冲击力和振动)转化为电信号,从而捕捉击球动作的动态特性,如击球的速度、加速度以及击球杆的振动频率等。这两种信号的结合,使得系统能够全面、多维度地检测击球动作,既包括静态的力度分布,也包括动态的瞬时冲击特性。

[0046] 采集到的静态电容信号和动态压电信号通过传感器的下电极和上电极传输至数据处理单元。在信号传输过程中,系统通过优化的电路设计确保信号的稳定性和实时性,避免信号衰减或干扰。数据处理单元在接收到信号后,首先对其进行预处理。预处理步骤包括滤波、放大和数字化。滤波操作主要用于去除信号中的高频噪声和低频干扰,确保信号的纯净性;放大操作则用于增强信号的强度,使其能够被后续的神经网络模型有效处理;数字化操作将模拟信号转换为数字信号,便于计算机进行高效处理和分析。通过这些预处理步骤,系统能够显著提高信号的准确性,为后续的击球动作分析提供可靠的数据基础。预处理后的信号将被输入到神经网络模型中进行进一步分析,从而实现对击球动作的精确检测和实时反馈。

[0047] 步骤三、

[0048] 神经网络模型训练与应用:通预处理后的信号被输入到训练好的神经网络模型中进行进一步分析。神经网络采用ELU(Exponential Linear Unit)作为激活函数,此处建立函数公式如下:

$$[0049] \quad \text{ELU}(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x \geq 0 \\ \alpha (e^x - 1), & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

[0050] 当 x 大于等于0时,函数值等于 x ;当 x 小于0时,函数值为 $\alpha (e^x - 1)$,其中 α 是一个超参数,通常取一个较小的值,如0.2等。该函数能有效缓解梯度消失问题,提高模型的非线性拟合能力。

[0051] ELU能够有效缓解梯度消失问题,提高模型的非线性拟合能力,从而更好地捕捉击球动作中的复杂力学特征。损失函数选用Huber损失函数,Huber损失函数结合了均方误差(MSE)和平均绝对误差(MAE)的优点,能够在处理异常值时保持鲁棒性,同时保证模型对大

多数数据的拟合精度,其算法如下所示:

$$[0052] \quad :L_{\delta}(y, f(x)) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y - f(x))^2, & \text{if } |y - f(x)| \leq \delta \\ \delta |y - f(x)| - \frac{1}{2} \delta^2, & \text{if } |y - f(x)| > \delta \end{cases}$$

[0053] 这里 y 是真实值, $f(x)$ 是模型预测值, δ 是一个超参数。

[0054] 优化器使用随机梯度下降 (SGD) 结合余弦退火策略 (CosineAnnealingLR), SGD能够高效地更新模型参数,而余弦退火策略则通过动态调整学习率,避免模型陷入局部最优,从而提高训练效率和模型精度,此处使用算法如下:

$$[0055] \quad \eta_t = \eta_{\min} + \frac{1}{2}(\eta_{\max} - \eta_{\min}) \left(1 + \cos\left(\frac{T_{\text{cur}}}{T_{\max}} \pi\right) \right)$$

[0056] η_t 是当前迭代 t 的学习率, η_{\min} 是最小学习率, η_{\max} 是最大学习率, T_{cur} 是当前的训练步数, T_{\max} 是总的训练步数;

[0057] 余弦退火策略通过动态调整学习率,随着训练步数的增加,学习率从 η_{\max} 逐渐下降到 η_{\min} ,避免模型陷入局部最优,从而提高训练效率和模型。

[0058] 神经网络模型对输入的信号进行分析,计算出击球的多个关键参数,包括击球力度、击球角度、击球旋转等。击球力度反映了用户击球时的力量大小,击球角度则描述了击球杆与台球接触时的角度,而击球旋转则捕捉了台球在击打后的旋转状态。这些参数能够全面反映用户的击球动作,为后续的反馈提供数据支持。通过神经网络的高精度分析,系统能够实时生成详细的击球数据,帮助用户了解击球动作的优劣,并提供针对性的改进建议,从而显著提升训练效果和竞技水平。

[0059] 步骤四、

[0060] 实时反馈与用户调整:数据处理单元将分析结果通过显示屏或语音提示实时反馈给用户。显示屏可以直观地展示击球的力度、角度、旋转等关键参数,同时提供图形化的击球轨迹和力学分析,帮助用户全面了解击球动作的细节。语音提示则通过简洁的语言指导用户调整击球动作,例如提示用户增加击球力度、调整击球角度或减少旋转等。用户可以根据这些反馈信息实时调整击球策略,从而提高击球的准确性和效果,逐步优化击球技巧。

[0061] 系统还支持五种基本杆法的检测和反馈,包括直线击球、旋转击球、反弹击球等。通过分析击球参数,系统能够自动识别用户使用的杆法,并根据不同的杆法提供针对性的反馈。例如,对于旋转击球,系统会提示用户调整击球点以控制旋转效果;对于反弹击球,系统会建议用户优化击球角度以实现预期的反弹轨迹。这种智能化的反馈机制不仅帮助用户掌握不同杆法的技巧,还能够根据用户的击球习惯提供个性化的训练建议,从而显著提升训练效率和竞技水平。

[0062] 步骤五、

[0063] 系统优化与维护:系统通过不断优化神经网络模型和传感器配置,能够适应不同用户的击球习惯和训练需求。神经网络模型的优化包括调整网络结构、改进激活函数和损失函数,以及引入更高效的优化算法,从而提升模型的预测精度和泛化能力。同时,传感器的配置也经过多次迭代,确保其能够精确捕捉击球动作的静态压力和动态冲击力,适应不

同用户的击球风格和力度变化。此外,系统的硬件结构设计简洁,传感器安装便捷,无需复杂的调试过程,且维护成本低,适用于家庭、俱乐部和专业训练场馆等多种台球训练场景。

[0064] 为了确保系统的长期稳定运行,定期对传感器进行检查和校准是必要的。校准过程包括对传感器的静态电容介质层和动态压电薄膜进行性能测试,确保其信号采集的准确性和一致性。数据处理单元的软件部分支持在线更新,用户可以通过网络下载最新的软件版本,以引入新的功能和优化算法。例如,更新可能包括更高效的神经网络模型、新的杆法识别功能或更直观的用户界面设计。这种灵活的升级机制使系统能够始终保持技术领先,满足用户不断变化的训练需求,同时延长系统的使用寿命。

[0065] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

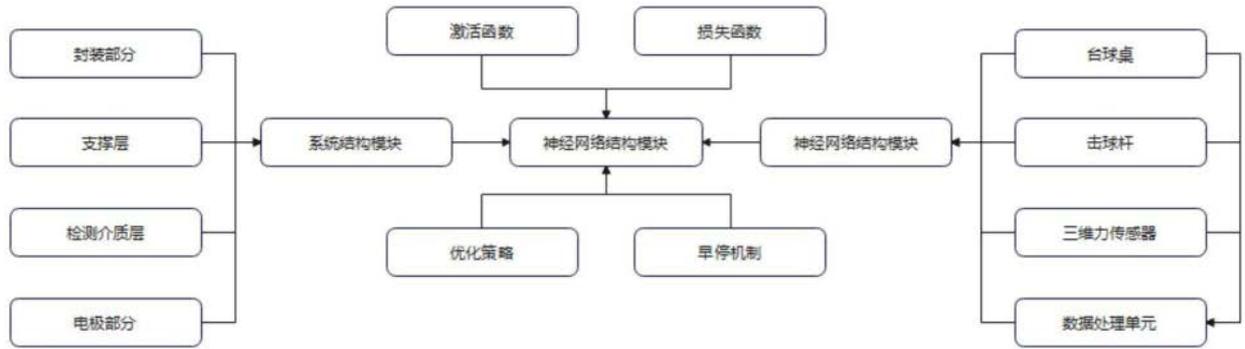


图1

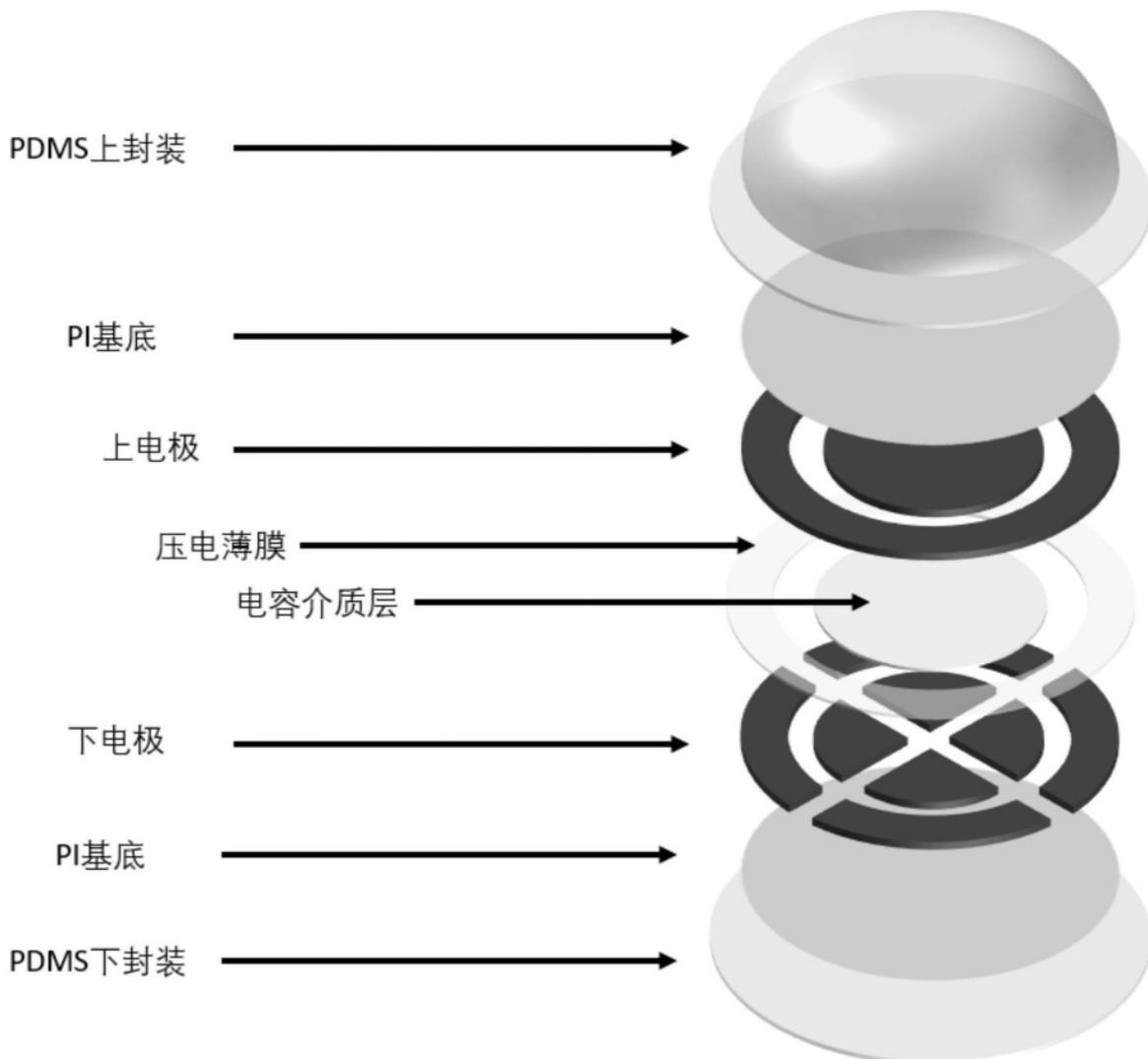


图2

神经网络结构

激活函数: ELU
损失函数: Huber
优化器: 随机梯度下降(SGD)
+余弦退火策略 (CosineAnnealingLR)
早停耐心值: 200

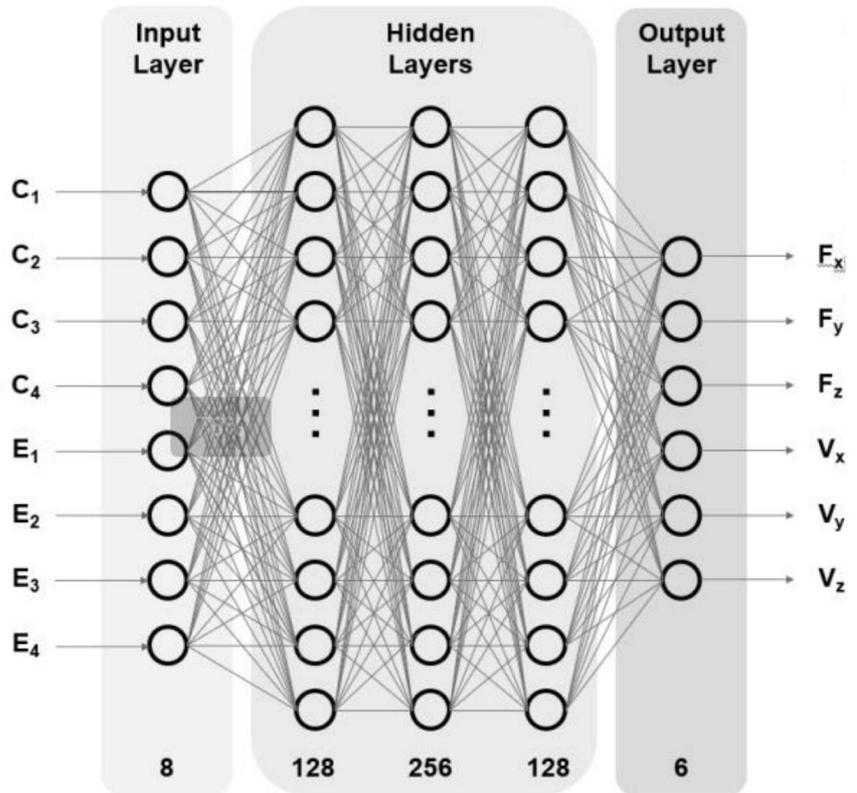


图3

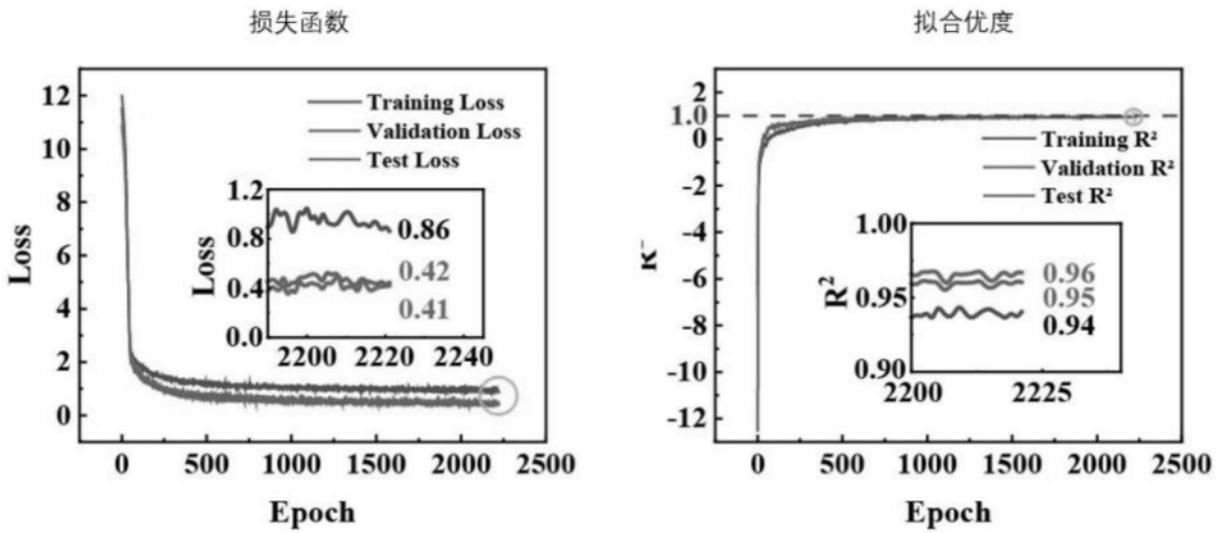


图4

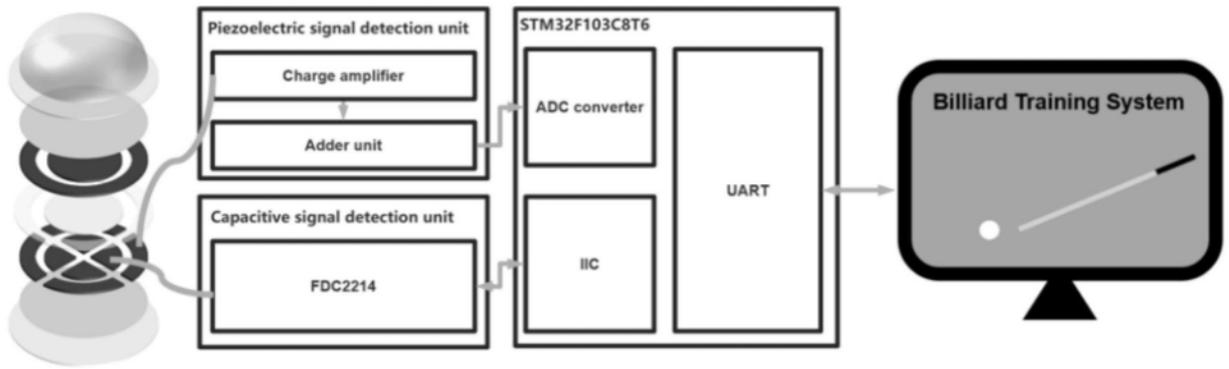


图5

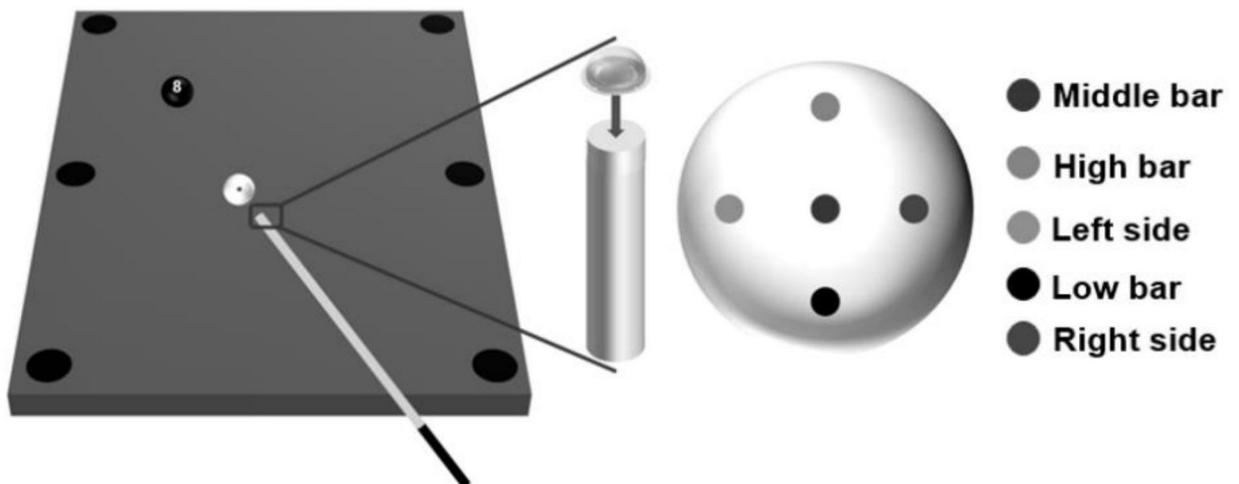
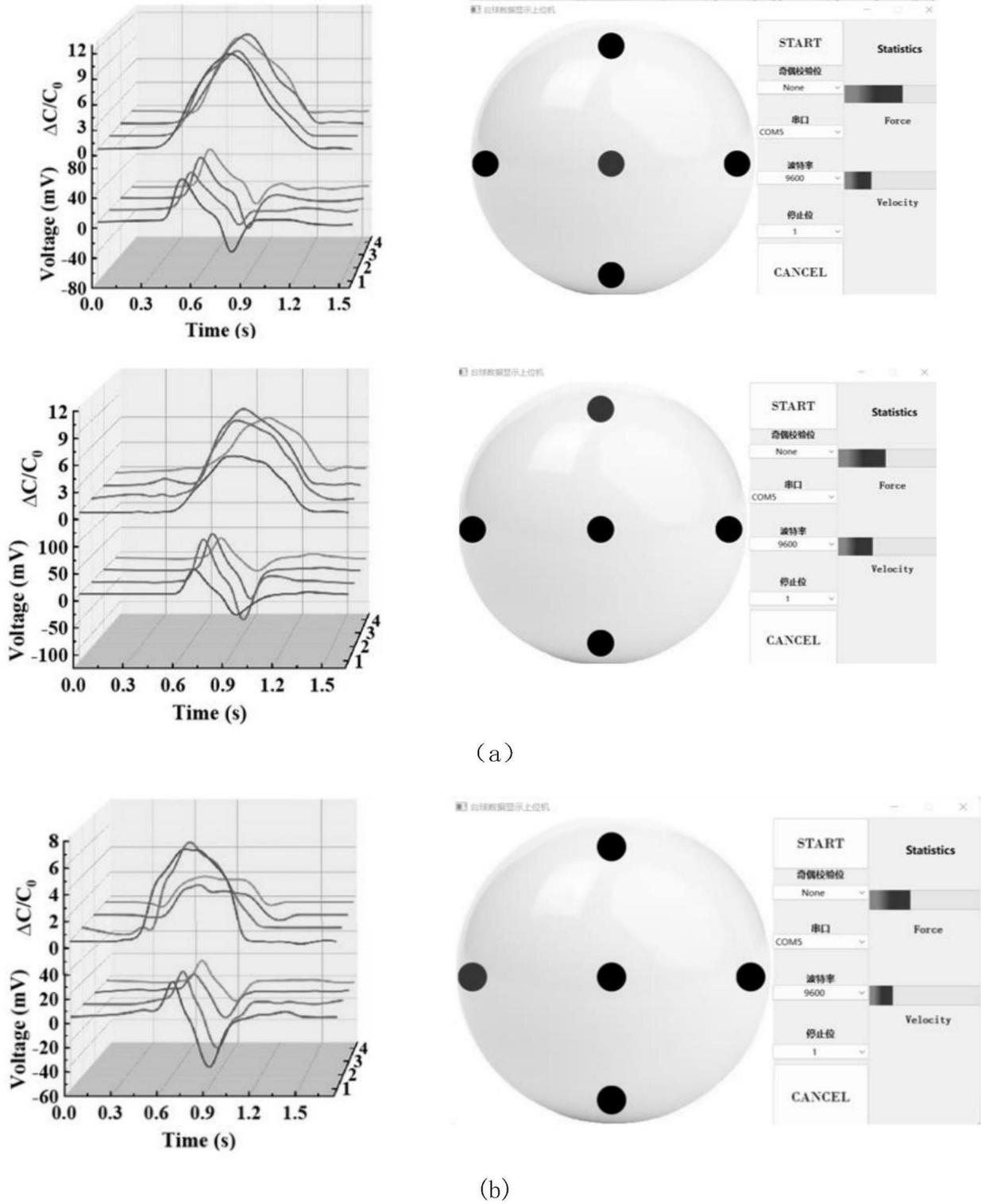
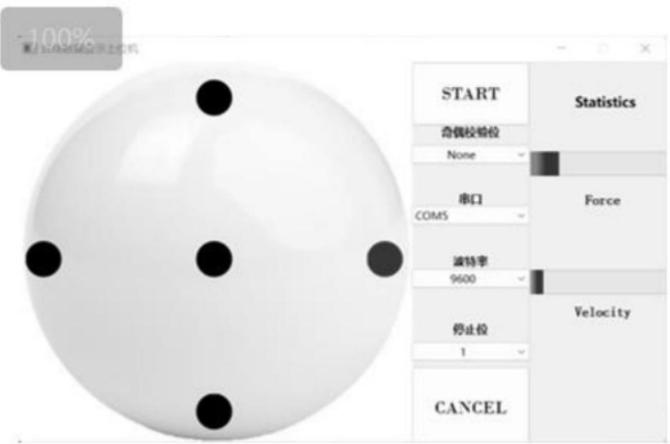
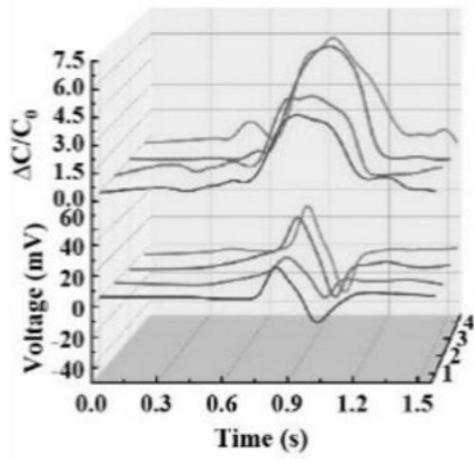
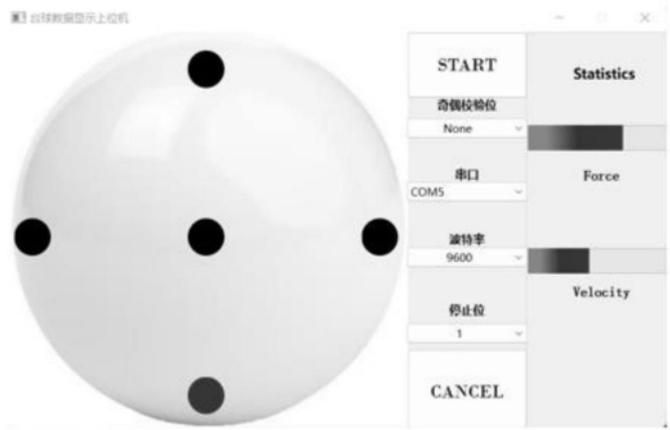
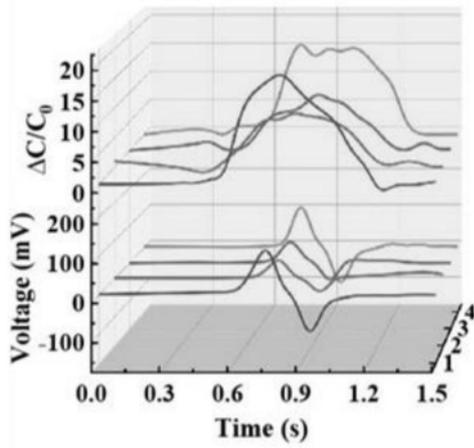


图6



(a)

(b)



(c)

图7