

运动捕捉技术及其在体育运动中的应用研究综述^{*}

何天宇¹ 罗奇²

(1.武汉体育学院 研究生院 武汉 430079; 2.武汉体育学院 体育工程与信息技术学院 武汉 430079)

摘要: 运动捕捉技术经过多年的发展,已广泛应用于多个领域。研究如何将运动捕捉技术运用到体育领域中,对科学化体育锻炼、规范化体育教学等方面都有着重要意义。对现有的运动捕捉技术的工作原理与产品进行分类,并在已有文献中收集了动作捕捉技术在国内外体育领域的研究,着重分析了运动捕捉技术在体育教学与指标测试中的应用、研究现状以及各自的优点和局限性。在总结现有研究成果的基础上,将该技术应用于一些新的体育项目,并对未来的发展进行了探讨。

关键词: 运动捕捉技术;体育运动;传感器;虚拟现实;辅助裁判

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Summary of motion capture technology and its application in sports

He Tianyu¹ Luo Qi²

(1.Graduate School, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;

2.College of Sports Engineering and Information Technology, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China)

Abstract: After many years of development, motion capture technology has been widely used in many fields. Studying how to apply motion capture technology to the field of sports is of great significance to scientific physical exercise and standardized physical education. This paper classifies the working principle and products of the existing motion capture technology, and collects the research use of motion capture in the domestic and international sports fields in the existing literature, focusing on the analysis of the application of motion capture technology in physical education and index testing. Research status and discuss their respective strengths and limitations. On the basis of summarizing the existing research, the technology is applied to some new sports projects, and the future development is discussed.

Keywords: motion captures technology; sports; sensor; virtual reality; assistant refereeing

0 引言

国内外对动作捕捉技术方面的研究已经有数十年的历史,该技术的应用领域非常广泛。动作捕捉技术最初是由国外心理学家 Johansson 在 20 世纪 70 年代末时,在其研究 MLD (moving light display) 实验中提出的。在进入 20 世纪 80 年代后期,随着各国知名大学和科研机构进一步推动运动捕捉技术,使该技术在全世界受到了更广泛的关注。近年来,随着体育科技、体育工程的快速发展,人们越来越重视体育与现代化科技相结合的相关应用。运动捕捉技术作为体育与信息技术相结合的实用性工具之一,在体育运动的运动分析、动作优化、辅助裁判方面都有着非常广泛的作用。在运动教学方面,打破了传统的教学模式,改进了教学方法和手段,对提升运动技能有着重要作用。在辅助裁

判方面,通过运动捕捉技术减少了裁判的误判,加强了竞技体育的客观性与正确性。在动作技术创新方面,即为体操、跳水、乒乓球等技能主导类项目增加了创新效率,也为传统体育的保护做出了积极贡献,今后可将应用范围推广到戏剧、杂技等传统体育项目中^[1]。本文重点概括了运动捕捉技术在这些领域中的应用研究情况,并探讨了其发展趋势。

1 运动捕捉技术概述

1.1 运动捕捉技术的组成

通常的动作捕捉系统通常由传感器、信号捕捉设备、数据传输设备和数据处理设备 4 部分组成^[2]。传感器安放在关节或其他可移动部位的装置,它能够向计算机提供在生物体上采集到的运动信息^[3]。其中 MEMS 惯性传感器在市场中运用的最为广泛,可以根据加速度来计算出重要的

运动信息^[4]。其多运用于运动训练、人体识别等方面。信号捕捉的主要功能是识别传感器传输的运动数据,其中信号捕捉设备根据不同的运动捕捉系统中硬件模块也是不相同的。光学式运动捕捉设备中的信号捕捉设备是一台高速摄像机^[5]。数据传输是对信号捕捉设备传递的运动信号进行转化,并准确向上级计算机系统传输的过程^[6]。然后又可分为实时传输和非实时传输,其中(光学式)实时传输为了快速的传输数据信息,一般设置专用的线缆用来达到要求。数据处理设备可分为硬件和软件两部分,其中硬件是计算机硬件设备,软件主要是负责处理各单位传输来的相关数据,并根据传输来的信息转化为坐标数据,根据坐标建立三维模型^[7]。

1.2 运动捕捉技术的分类

一般来说我国的运动捕捉技术按照工作原理分类,可分为以下几类,每类有着各自的特点与优势,同时也有需要解决现状和问题。

1) 机械式运动捕捉

机械式运动捕捉是最早出现的运动捕捉设备,常见的机械式运动捕捉产品有 X-Ist 的 FullBodyTracker 和 Animazoo 的 Gypsy 机械式运动捕捉系统。一般的机械式主要运用于捕捉身体动作的系统、静态捕捉等方面。图 1 所示为机械式运动捕捉设备。

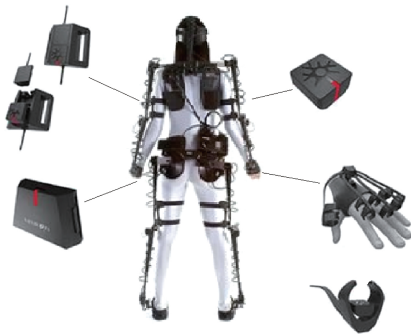


图 1 机械式运动捕捉设备

2) 电磁式运动捕捉

电磁式的工作原理主要是在固定区域内布置电磁场,然后佩戴者佩戴好接收传感器在人体关键部位,接收传感器通过线缆与数据处理部分相连接,然后佩戴者进入电磁场内进行运动。常见的电磁式以 Polhemus Ascension 公司产品为代表。图 2 所示为电磁式运动捕捉设备。

3) 声学式运动捕捉

声学式运动捕捉设备在实际中运用较少,以 Logitech、SAC 系统为代表,由发射器、接收器和处理单元组成。图 3 所示为声学式运动捕捉设备工作原理。

4) 光学式运动捕捉

光学式动作捕捉设备是目前使用较广的动作捕捉系统,其中以 Natural Point 公司的 OptiTrack、MyAnalysis 公

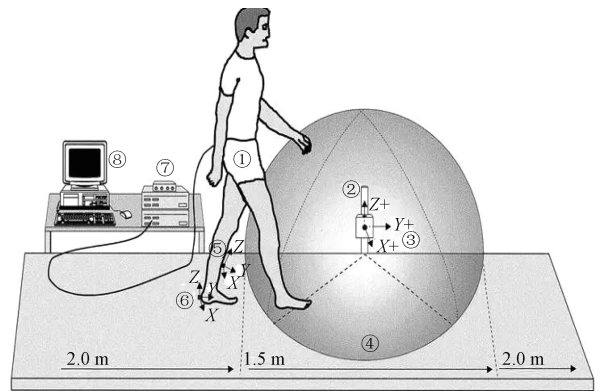


图 2 电磁式动作捕捉

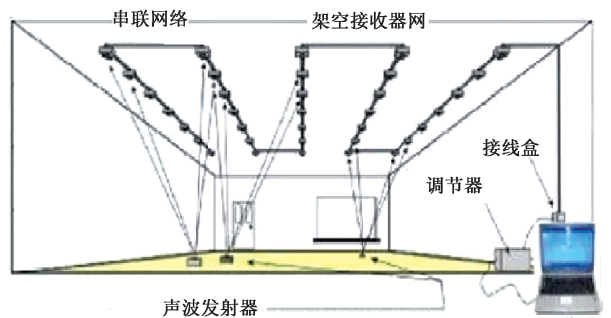


图 3 声学式动作捕捉设备

司的 Raptor-E、Motion Analysis 公司的 Raptor-12、Vicon 等为代表,由摄像机标定、标记点跟踪和三维重建 3 个关键技术组成。一般光学式动作捕捉系统在图像识别、分析技术、表情捕捉等方面比较适用^[8]。图 4 所示为运用光学式运动捕捉设备捕捉运动轨迹。



图 4 光学式动作捕捉设备

5) 惯性式运动捕捉

惯性式运动捕捉设备也是目前市场上较为常见的运动捕捉系统,以荷兰 Xsens 公司的 MVN 惯性动作捕捉系统、美国 Innalabs 公司的 3DSuit 惯性运动捕捉系统 etc 为代表。Xsens 公司运动捕捉设备如图 5 所示。

2 运动捕捉技术在体育运动中的应用

市场上的运动捕捉技术具备了多种硬件和算法功能,能够实现人体运动数据的数字化,因此在体育运动领域具

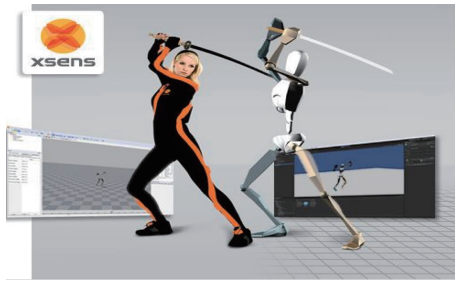


图 5 惯性式动作捕捉设备

有很高的应用价值,在体育教学、辅助裁判、虚拟现实训练等方面都有良好的应用前景^[9]。

2.1 体育教学

近年来,运动捕捉技术在传统体育运动中也得到了广泛的应用,尤其在体育教学领域有着突出的贡献。Pueo 等^[10]将过去 4 年发表的相关论文进行详细记录,系统地综述了运动捕捉系统的最新发展,为运动捕捉技术的研究提供了一定的依据。张俊峰^[11]提出运用运动捕捉技术对体育训练中出现的诊断和分析,有针对性地改进训练,从而提高训练效果,使体育训练进入数字化时代。运动捕捉技术在体育教学中的实际应用的主要文献表^[10-21]如表 1 所示。

表 1 体育教学主要文献一览表

文献	使用的设备	用途或效果
[12]	电磁式运动捕捉系统	高尔夫球员的动作实验与分析
[13]	Motion Analysis System	高尔夫球员的挥杆动作研究
[14]	A motion monitor using hetero-core optical fiber sensors	高尔夫球员挥杆动作研究
[15]	Kinect 运动捕捉	高尔夫球的辅助训练系统
[16]	XBOX360 Kinect	低成本基于高尔夫球的体育训练系统
[17]	Basketball teaching and training system	篮球教学与训练
[18]	一种利用动作捕捉数据的学习辅助系统	日本忍术训练
[19]	光学式动作捕捉设备	滑雪运动的可穿戴系统

Evans 等^[12]采用一套电磁捕捉系统对高尔夫球员的相关动作进行了多项测试实验与分析,求得了一些具有参考价值的实验数据。Nesbit^[13]利用运动捕捉设备收集了具有不同球技水平的 84 名球员的全身挥杆数据并建立了仿真模型,以此寻求运动姿态与高尔夫球杆长度之间的相关

系。Koyama 等^[14]提出了一种在运动服上采用异型芯光纤传感器的运动监视器,该实时监控系統对高尔夫挥杆动作进行了测试。邓小园^[15]设计了一种高尔夫辅助训练系统,该系统将运动捕捉技术充分应用到体育教学当中,能在体育高尔夫教学中纠正学员的姿势并给予指导。

在篮球教学方面,赵明^[16]针对运动捕捉系统成本高、系统复杂等缺点,提出一种低成本的体育教学辅助训练系统,使学校可以进行比较专业的运动员的训练,具有很强的实用性。但这款体育教学辅助训练系统的结果与实际训练有着一定的缺陷,Wang^[17]对篮球教学训练系统进行了优化设计,让模拟结果与运动员的实际训练结果相比较,对系统结果进行了改进,弥补技术缺陷,提高训练效率。

在其他体育教学方面,Daisuke 等提出了一种教 Naginata-jutsu”(日本戟练习)的学习助力系统,该系统与单视角的 YouTube 相比,通过运动捕捉数据的方法多角度对身体部位进行相关阐述^[18]。Spelmezan 等^[19]提出了针对滑雪运动的可穿戴系统,可以识别初学者常犯的错误,该系统通过对比正确动作实现了对学员滑雪运动进行动作矫正的功能。

根据收集的研究文献来看,虽然对运动项目辅助训练系统的研究层出不穷,但在各大高校中实际运用辅助训练系统进行体育教学的案例较为稀少,这可能是由设备昂贵、精度不足、对环境要求过高等问题造成的,所以运动捕捉技术在体育方面的研究应当向低成本、低使用条件等方向进行研究。

2.2 辅助裁判

在协助裁判时,通过动作捕捉实现对体育场的实时监控,能有效地减少误判,实现体育比赛的公平性。目前已被广泛用于网球比赛当中。周宁等^[20]通过文献资料法等方法对目前运动捕捉技术的概述以及该技术在体育训练中的应用进行了整理和分析,提出可以通过运动捕捉技术解决误判问题。为运动捕捉技术在体育运动中的发展提供了积极的作用。岳富军^[21]对鹰眼技术应用于高水平排球比赛中的优势进行分析,从我国排球联赛引入鹰眼技术的必要性和可行性入手,为鹰眼技术在我国排球联赛的引入提供理论依据。运动捕捉技术在辅助裁判判决中的实际应用的主要文献表^[20-27]如表 2 所示。

在网球比赛中,逢涛^[22]开发了一种基于动作捕捉的网球教学评估软件,将球场的三维空间分割,便于计算,协助裁判员确定球的位置。常超^[23]设计了一个基于 LabVIEW 平台的网球鹰眼系统。该系统能准确跟踪网球运动轨迹和网球落地位置,并确定结果,对网球裁判有一定的帮助。但传统的鹰眼系统的判断结果有着一定的误差。程瑞瑞^[24]针对鹰眼系统的误差问题提出了基于粒子量子群优化的算法,针对鹰眼,相机系统校准,二维测量的目标以及实际轨迹,多角度图像等问题进行了分析,解决了鹰眼系统中的误差问题。

表2 辅助裁判主要文献一览表

文献	使用的设备	用途或效果
[22]	The Vicon 8 system	网球击球教学评测软件
[23]	高速摄像头, Grid Properties.vi 工具	基于 LabVIEW 平台的网球鹰眼系统
[24]	Grid Properties.vi 工具	基于粒子量子群优化的算法
[25]	理论研究	将动作捕捉技术适用于武术比赛评判
[26]	光学式动作捕捉设备	基于运动捕捉武术套路进行数字裁判的可行性进行研究
[27]	Kinect 运动捕捉	体育武术教学仿真系统

在武术比赛方面张胜利等^[25]对武术套路比赛中运用难度动作“数字裁判”可行性进行分析,主要通过数理统计等方法客观分析了现有武术套路竞赛规则中难度动作评判方式的缺点,推动了数字裁判在武术套路比赛的发展。张超等^[26]提出将运动捕捉技术评价系统作为武术常规技术动作的评分标准。通过对三维空间运动轨迹的精确量化,判断是否完成了规定的运动难度,成功地提高了武术套路比赛的公平性和合理性。冯佳^[27]制作了一款体育武术教学仿真系统,通过 Kinect 设备对武术动作进行数据采集,设计了运动数据库,通过数据库让测试者与标准武术动作进行对比分析,使武术判决更加直观。

虽然运动捕捉技术已经在保持比赛公平性方面取得一定的成果,但是目前该技术在体育运动中的应用还是受到了客观条件的制约,运动捕捉技术仍需不断发展,从而为竞技体育的发展发挥更大的作用。

2.3 技术动作创新与传统项目保护

在许多体育运动中,通过运动捕捉对运动数据进行收集分析,可进行动作创新,如舞蹈、武术等。同时也可以解决传统体育项目记录困难的问题,如京剧等。技术动作创新与传统项目保护中的实际应用的主要文献表^[28-37]如表3所示。

吴晓雨等^[28]对民族舞蹈数据的获取方法进行了研究,并以此方法采集了摆手舞的三维数据。该方法简化了数据收集的过程,对研究和推广数字化舞蹈等方面起到了引导作用。韩丽等^[29]针对人体运动姿态可自由编辑的特性,提出了基于特征平面间相似性匹配的方法。成功地建立人体运动姿态模型库,该数据库对其他研究者进行舞蹈动作创新具有很大帮助。邹虹等^[30]实现了舞姿模拟编排的数字化,通过动作捕捉技术,从三维空间提取了祭祀仪式音乐和舞蹈的数据记录,成功再现了孔庙祭祀仪式舞蹈的精华。

在其他方面,闫静婷^[31]认为,传统运动员新动作的创编有着较大的风险的同时还伴随着一定的主观性。针对这一观点,于涛^[32]根据二十四式太极拳的整套动作内容,设计了可自定义节点的太极拳动作捕捉骨骼模型。减少了动

表3 技术创新与保护主要文献一览表

文献	使用的设备	用途或效果
[28]	Vicon 动作捕捉	摆手舞的三维数据
[29]	光学式动作捕捉系统	基于特征平面间相似性匹配的方法
[30]	光学式动捕	孔庙祀典乐舞的数字化
[31]	理论研究	形体训练改善身体素质可行性分析
[32]	Opti Track 全身运动捕捉	二十四式太极拳的动作捕捉骨骼模型
[33]	Kinect 体感摄影机	民俗舞蹈数字化技术规范制定与研究
[34]	理论研究	数字化保护方法
[35]	光学式动作捕捉系统	自动生成拉班舞谱系统
[36]	OptiTrack 光学运动捕捉系统	基于运动捕捉的动态艺术数字化平台
[37]	OptiTrack 光学式运动捕捉系统	基于动作捕捉的拉班舞谱的自动生成平台

作创编的主观性和风险性。

同时,动作捕捉技术也对传统体育项目的保护做出了积极作用。

在传统体育的保护方面,孙传明^[33]将动作捕捉技术应用到民俗舞蹈数字化保护中,推动了民俗舞蹈数字化在实际当中的应用。蒙曦^[34]提出了基于运动捕捉技术的数字化保护方法,并验证了该方法的合理性,为舞蹈的数字化保护提供了技术上的支持。

Wang 等^[35]利用动作捕捉数据设计了拉班舞谱的自动生成。通过将人体运动进行保存,实现了对拉班舞谱的数字化管理。梁清华^[36]通过运动捕捉数据以及拉班动作谱等三种记录方式及相关管理和展示技术,构建了一个基于运动捕捉的动态艺术数字化平台。郭浩^[37]设计了一种基于动作捕捉的民族舞蹈拉班舞谱的自动生成平台。该平台成功简化了拉班舞谱的绘制过程,这对拉班舞谱的保护也起到一定作用。

根据收集的相关文献来看,在技术创新和保护传统项目方面有着很大的不足。目前大多仅对舞蹈运动进行研究,对多个不同运动项目的研究较少;在舞蹈研究中,多为理论研究,理论与实际相结合的研究较少。今后研究方向应向不同运动项目的技术创新与保护以及其实际应用项目为主。

2.4 检测身体指标

通过动作捕捉技术可以了解运动员的身体指标,这有助于运动员的训练和比赛。同时,通过实时监测物理指标,也可以达到康复训练的目的或掌握运动时运动员的安全性。运动捕捉技术在检测身体指标方面的实际应用的主要

文献表^[43-50]如表 4 所示。

表 4 身体指标主要文献一览表

文献	使用的设备	用途或效果
[38]	惯性导航式动作捕捉系统	人机工效量化测量评估的思路方法
[39]	MEMS 传感器	测量心电数据的背心
[40]	Raptor-4	对屈体分腿跳成俯撑难度动作进行定量分析
[41]	Vicon 三维运动捕捉及步态分析系统	基于 AHP-模糊综合评估模型评估系统
[42]	MEMS 惯性传感器	基于微型惯性传感器腿部康复动作捕捉系统
[43-44]	FSR 力传感器	手部功能康复训练系统
[45]	A1321 霍尔传感器	基于霍尔传感器的手臂康复检测系统

在训练效果方面,郝云飞等^[38]提出了一种人机工效量化测量评估的思路方法,并介绍了基于该思路进行生理测量试验系统。该系统可有效对人员进行生理监测,采集的数据可用于人机工效评估。这种方式同样可运用于运动中,通过对运动员的生理状态进行测量,来探讨运动员身体指标与运动能力之间的具体联系。薛俊伟^[39]开发了一款心电检测背心,可随时测量用户心电数据及身体温度,使用者能通过运动数据来了解自己的身体状况。田雅文^[40]对屈体分腿跳成俯撑难度动作进行定量分析,通过三维动作捕捉数据对比 3 名高校大学生运动员的运动指标,提出了针对性的训练方法。张阿珍^[41]提出了基于 AHP 模糊综合评价模型的运动能力评价方法,并开发了相应的评价系统。该系统能够对用户的身体运动进行检测和分析,这减少运动者受伤的几率。

在康复训练方面,李经纬^[42]利用微惯性传感器制作了腿部康复运动捕捉系统。患者在康复训练中能实时监控自己的运动状态,判断训练姿势是否合理并给予建议。陆雅婷等^[43]对康复训练动作“腕背伸”进行数据采集,提出了一种定量评估方法,解决了传统量表评估和手工测量的误差问题,对传统评估方式进行了有效补充。李鹏杰^[44]研制出一款手部功能康复训练系统。该系统通过贴片式压力传感器实时采集手部力学信息,使手部功能康复训练更加直观和智能化。但这种通过压力传感器来获取数据的手臂康复仪的测量精度还有待提高,马霄^[45]运用动作捕捉设计实现了一种新的手臂康复仪,他通过从人体结构情况建立了人体上肢结构运动模型,这减少了传感器与被测位置发生相对滑动的可能,成功使测量精度得到提高,并对传统手臂康复仪提出了创新改进。

从收集的研究文献来看,运动捕捉技术已经广泛应用于康复训练方面,对手、脚等精细部位都有着专门的研究。

但在用于通过检测指标达到提升训练效果方面,只有少部分专门研究如何提高训练效果,绝大部分的研究都为研究用于大部分人的指标检测,而不是用于运动员。今后的研究可像田雅文一样,通过收集运动指标来提升运动功能。

3 结 论

从已有的研究情况来看,在体育教学方面主要的研究对象多是是球类运动,而武术、舞蹈类等技能主导类项目教学研究相对较少,同时模拟训练系统研究较多,而可穿戴训练设备的研究相对较少。今后可对已有研究进行对比借鉴,将研究推广应用到体操、武术、滑雪等众多的体育项目中。在辅助裁判方面,目前使用最多的还是网球鹰眼技术以及动作捕捉技术在足球中的应用。可以看出运动捕捉技术还是在体育赛事的应用中受到了很大的约束。借鉴网球鹰眼技术得应用,今后可将研究推广到篮球、排球、武术等众多的体育项目中。在技术动作创新与传统项目保护方面,技术动作创新的主要面向对象仍是舞蹈,在武术中也有一定的使用。通过对收集的数据库平台的动作数据进行研究和分析,可将研究推广应用到跳水、武术等相似的体育项目中。而传统项目保护方面,数字化保护对象包括民族舞蹈舞姿、祭祀仪式等,今后可将应用范围推广到戏剧、杂技、皮影、和重大仪式等项目当中。在通过身体指标达到训练和康复目的方面,通过检测身体运动指标对运动能力的提升有着极为有效地作用,但在我国因为机器结构复杂,仪器昂贵,拥有偏差值等问题,导致没有大范围推广开来。仍然需要更加精细的研究。在通过身体指标达到训练、康复目的方面,通过检测身体运动指标对运动能力的提升有着极为有效地作用,也对运动康复效果有着很大的提升。目前在医院、运动队都有着一定的使用规模,但因为仪器操作结构复杂,价格昂贵等问题,仍然需要更加精细的研究。

目前,使用最多的是光学式运动捕捉设备,但其他方式的捕捉设备也有部分使用。而随着运动捕捉技术的发展,相信今后会出现更多先进的捕捉设备,而且运动捕捉设备将更适合用于各种应用研究,这将是未来的发展趋势。

参考文献

- [1] 向泽锐,支锦亦,徐伯初,等.运动捕捉技术及其应用研究综述[J].计算机应用研究,2013,30(8):2241-2245.
- [2] 尹钊.动作捕捉在影视作品中的应用[J].影视制作,2010,16(11):44-48.
- [3] 李庚睿.基于运动捕捉对人体上肢运动规律的研究[D].西安:西安工程大学,2015.
- [4] 朱桁序,姜文刚,林永才.用于机器人示教的人体手臂运动捕捉方法研究[J].电子测量技术,2016,39(7):136-140.
- [5] 付全,赵慧勤,吴壮志.运动捕捉技术在体育运动仿真

- 中的应用[J].山西大同大学学报(自然科学版),2013,29(5):81-84.
- [6] 鲁亚磊,王瑞,邢奕鹏,等.人体运动数据的实时采集及可靠传输系统设计[J].电子测量技术,2018,41(6):109-114.
- [7] 张天良,王晓华.运动捕捉技术在体育运动中的应用[J].电子测试,2015(24):103-104.
- [8] 谭菁华,晏怡果.光学式三维运动捕捉在运动系统相关研究中的应用[J].海南医学,2018,29(14):2029-2032.
- [9] 刘卓.基于体感的人体运动捕捉技术在军事体育中的应用研究[J].军事体育学报,2013,32(4):47-49.
- [10] PUEO B, JIMENEZOLMEDO J M. Application of motion capture technology for sport performance analysis[J]. Retos Nuevas Tendencias En Educación Física Deporte Y Recreación, 2017(32): 241-247.
- [11] 张俊峰.运动捕捉技术在运动训练中的应用[J].吉林体育学院学报,2005,21(4):69-72.
- [12] EVANS K, HORAN S A, NEAL R J, et al. Repeatability of three-dimensional thorax and pelvis kinematics in the golf swing measured using a field-based motion capture system[J]. Sports Biomechanics, 2012, 11(2):262.
- [13] NESBIT S M. A three dimensional kinematic and kinetic study of the golf swing[J]. Journal of Sports Science & Medicine, 2005, 4(4):499-519.
- [14] KOYAMA Y, NISHIYAMA M, WATANABE K. A Motion monitor using hetero-core optical fiber sensors sewed in sportswear to trace trunk motion[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2013, 62(4):828-836.
- [15] 邓小园.基于 Kinect 运动捕捉的高尔夫挥杆分析与辅助训练系统的研制[D].北京:北京邮电大学,2013.
- [16] 赵明.基于运动捕捉技术的体育教学训练系统构建[J].电子测试,2015(2):68-69,56.
- [17] WANG X D. An optimization method of basketball teaching and training system design based on motion capture technology [J]. Revista De La Facultad De Ingenieria, 2017, 32(12): 498-504.
- [18] NOMURA Y. Motion lecture annotation system to learn Naginata performances [C]. IS&T/SPIE Electronic Imaging, 2014.
- [19] SPELMEZAN D, SCHANOWSKI A, BORCHERS J. Wearable automatic feedback devices for physical activities[C]. International Conference on Body Area Networks, ICST, 2009.
- [20] 周宁,张翔,白银川.3D 运动技术分析研究现状与述评[J].当代体育科技,2014,4(16):27-28,30.
- [21] 岳富军.鹰眼技术在我国排球联赛中应用的必要性及可行性分析[D].北京:北京体育大学,2016.
- [22] 逢涛.网球击球教学评测软件的设计与实现[D].北京:北京工业大学,2013.
- [23] 常超.基于 LabVIEW 平台的网球鹰眼系统[J].现代电子技术,2016,39(3):112-114,119.
- [24] 程瑞端.基于 Lab VIEW 平台的网球鹰眼系统的设计[J].当代体育科技,2017,7(2):228-229.
- [25] 张胜利,郭志禹.基于运动捕捉的武术套路难度动作“数字裁判”的可行性研究[J].首都体育学院学报,2011,23(1):79-82.
- [26] 张超,石爱桥.探析运动捕捉技术在武术套路中的应用[J].中华武术(研究),2014,3(6):57-62.
- [27] 冯佳.体育武术教学仿真系统研究[J].自动化与仪器仪表,2017(11):235-236.
- [28] 吴晓雨,张宜春,沈荣华,等.基于动作捕捉技术的民族舞蹈三维数字化方法研究[J].计算机与现代化,2013(1):112-114,118.
- [29] 韩丽,王露晨,张美超,等.基于特征向量匹配的舞蹈实时姿态分析方法[J].计算机应用研究,2016,33(12):3892-3896.
- [30] 邹虹,李莹,欧剑,等.基于动作捕捉技术的孔庙祀典数字化[J].计算机系统应用,2012,21(7):151-154,82.
- [31] 闫静婷.大学生武术运动员进行形体训练可行性与必要性分析[D].武汉:华中师范大学,2015.
- [32] 于涛.基于动作捕捉的太极拳数字化保护研究[D].广州:中山大学,2013.
- [33] 孙传明.民俗舞蹈类非物质文化遗产数字化技术研究[D].武汉:华中师范大学,2013.
- [34] 蒙曦.民族舞蹈在运动捕捉技术下的保护与创新研究[J].贵州民族研究,2017,38(6):158-161.
- [35] WANG J, MIAO Z, GUO H, et al. Using automatic generation of Labanotation to protect folk dance [J]. Journal of Electronic Imaging, 2017, 26(1):011028.
- [36] 梁清华.动态艺术数字化中的运动捕捉关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [37] 郭浩.基于人体运动捕捉数据自动生成拉班舞谱的研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [38] 郝云飞,杨继国,曹永刚,等.生理监测设备在座舱人机工效测量中的应用[J].飞机设计,2017,37(4):57-61.
- [39] 薛俊伟.面向移动健康的穿戴式检测模块研发[D].广州:华南理工大学,2016.
- [40] 田雅文.对竞技健美操 C595 难度动作的技术诊断及训练方法研究[D].石家庄:河北师范大学,2017.
- [41] 张阿真.老年人肢体运动检测分析及其能力评估方法的研究[D].天津:河北工业大学,2015.
- [42] 李经玮.基于微型惯性传感器腿部康复动作捕捉系统研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2014.
- [43] 陆婷婷,陆小锋,王聪,等.基于手功能评估系统的“腕

- 背伸”动作定量评估[J].电子测量技术,2017,40(10): 127-133.
- [44] 李鹏杰.基于虚拟现实的手指康复训练系统研究[D]. 洛阳:河南科技大学,2017.
- [45] 马霄.基于霍尔传感器的手臂康复检测系统[D].长春: 吉林大学,2017.

作者简介

何天宇, 硕士研究生, 主要研究方向为体育电子信息工程。

罗奇, 博士、副教授、硕士研究生导师, 主要研究方向为体育电子信息工程。

E-mail: 402135168@qq.com

是德科技推出支持 PCI Express 5.0 技术的综合解决方案

提供卓越的速度和裕量, 满足第 5 代标准的需求

2019 年 2 月 13 日, 中国北京——是德科技(NYSE: KEYS)推出全新的发射机(Tx)和接收机(Rx)综合测试解决方案, 提供满足外围设备互连或 PCI Express® 5.0 技术(PCIe® Gen5)标准要求的卓越速度和裕量。是德科技是一家领先的技术公司, 致力于帮助企业、服务提供商和政府客户加速创新, 创造一个安全互联的世界。

据报道称, 2019 年将有多款 5G 无线设备推出, 计算机/服务器行业正积极采用 400 G 以太网等先进技术来升级和提高网速。为了支持 400 G 网络带宽, 计算机服务器需要应用 PCI Express 5.0 技术, 因为这一技术是目前唯一具有足够吞吐量, 能够支持 400 G 接口的关键输入/输出(I/O)互连。

开发商在设计采用这一版本 PCIe 标准的集成电路和系统时, 遇到了重大的工程挑战。是德科技的 PCIe 5.0 发射机和接收机综合解决方案为工程师提供了强大的工具, 让他们能够实现优异的速度和裕量, 不仅满足当前标准的要求, 还可以通过后升级适应未来需求, 从而有效地保护他们的投资。

是德科技副总裁兼网络和数据中心事业部总经理 Joachim Peerlings 博士表示:“数据中心需要升级到接下来的 400 G 速度, 以便使运营商能够在维持服务品质的同时提供新业务, 满足不断增长的数据和存储需求, 并最大限度地降低成本。物理层发射机和接收机测试工具能够胜任对工作在

32 GT/s 传输速率的系统进行全面验证, 使设计人员能够优化其发射机、接收机和链路设计, 在达到更高数据传输速率的同时, 实现卓越的性能和可靠性。”

Keysight PCIe 5.0 接收机测试解决方案使用户能够设计和验证更先进的电路系统, 这些电路系统能够传输速率高达 32 GT/s 且显著衰减的信号。PCIe 5.0 采用了先进的均衡技术来帮助接收机恢复所发送信号的质量, 以便用户可以从 PCIe 发射机信号中准确无误地还原数字信息。在这些高数据传输速率下, 链路的高频损耗特征会导致信号发生严重衰减, 并使比特误码率(BER)升高到无法接受的程度, PCIe 5.0 接收机必须能够应对这一挑战。为此, 是德科技精心开发了 M8040A 高性能 64 Gbaud BERT。它能够执行物理层表征和一致性测试, 从而测定物理层上的接收机性能裕量。

此外, 数字信号传输速度和吞吐量的提升也给信号完整性方面带来严峻挑战, 例如出现连接器串扰和接收机抖动灵敏度等问题, 因此业界对精确示波器和接收机测试解决方案的需求不断增长。是德科技的 Infiniium UXR 系列 10 bit 高清示波器具有出色的带宽和源自于磷化铟半导体技术的本底噪声性能, 可最大限度提高裕量, 并能后升级至 110 GHz 带宽, 轻松应对 PCIe 5.0 标准的挑战。更多信息, 请访问 www.keysight.com。