

硕士研究生读书报告



题目运动捕捉技术及其应用

作者姓名李剑

作者学号21651002

指导教师李启雷

学科专业移动互联网与游戏开发

所在学院软件学院

提交日期二○一七年四月

Motioncapturetechniqueanditsapplications

ADissertationSubmittedto

ZhejiangUniversity

inpartialfulfillmentoftherequirementsfor

thedegreeof

MasterofEngineering

MajorSubject:SoftwareEngineering

Advisor:QileiLi

By

JianLi

ZhejiangUniversity，P.R.China

2017

摘要

运动捕捉技术能够测量、跟踪和记录物体在三维空间中的运动轨迹，在许多研究领域得到了广泛的应用。介绍了运动捕捉技术的发展历程，概括总结了目前常用的五种运动捕捉系统的组成及优缺点，对采用运动捕捉技术进行应用研究的相关成果进行了收集、分类和整理，从非物质文化遗产的数字化保护、模拟训练与教学、影视和游戏动画制作、人体姿态研究、人机工程学研究等方面对这些成果作了系统综述。

**关键词**：运动捕捉技术，数字化保护，人体姿态，辅助训练，人机工程学

Abstract

Motion capture technique has been widely used in many application fields for the capable of measuring, tracking and recording the motion trajectory of objects in 3D space. After introducing the development procees of motion capture technique, its ummedup 5types of commonly used motion capture systems and their composition characteristics, advantages and disadvantages. Then it finished colecting, classifying and reorganizing the application research achievements using motion capturetechnique. After that, it presented asystematicre view of the achievements from many aspects, including the intangible cultural heritageprotection, digital simulation training and teaching, movie and game animation, body posturere search, ergonomics research, etc. Finaly, it proposed that the technique should be applied to some new projects based on analyzing and summing up the achievements.

**Keywords：**motion capture technique, digitalprotection, body posture, auxiliary training, ergonomics

1引言

运动捕捉技术产生于20世纪70年代后期[1]，最初是由心理学家Johanson[2]在MLD(movinglightdisply)实验中提出。20世纪80年代，西蒙·弗雷泽大学(SimonFraserUniversity)的教授Calvert等人[3]、麻省理工学院(MIT)的Carol等人[4]以及学者Robertson[5]和Walters[6]对运动捕捉技术进行了深入的研究，推动了该技术的发展。20世纪90年代，以Tardif等人[7~14]为代表的学者进一步推动了运动捕捉技术，使得该技术日趋发展成熟。近年来，运动捕捉技术取得了突飞猛进的发展[15~23]，商业化的运动捕捉设备相继被推向市场，运动捕捉技术已被广泛应用于数字化保护、游戏、动画、人体工程学研究、模拟训练、虚拟现实等研究领域。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。

**2运动捕捉技术概述**

运动捕捉(motioncapture)在国内也称动作捕捉，其定义是：一个通过在时域上跟踪一些关键点的运动来记录生物运动；然后将其转换成可用的数学表达并合成一个单独的3D运动的过程[19，24]。

按照不同的划分方式，运动捕捉主要有以下种类：从捕捉的部位来划分，可分为躯体捕捉、脸部捕捉和手势捕捉三种[19]；从实时性来划分，可分为实时捕捉系统和非实时捕捉系统两种；从应用角度来划分，可分为表情捕捉和身体捕捉两种[25]；从工作原理来对其进行划分是最常用的方式，其类型主要有机械式运动捕捉、声学式运动捕捉、电磁式运动捕捉、光学式运动捕捉和基于视频的运动捕捉五种。

文献[29~35]利用运动捕捉技术进行了各种民族舞蹈、祭祀仪式的数字化保护。邱望标等人[29]介绍了采用ViconMX光学式运动捕捉系统对中国少数民族舞蹈舞姿进行三维数字化保护的方法和流程；吴志峰[30]对中国木偶戏的运动捕捉技术进行了研究，实现了一套木偶戏数字化的技术方案，并提出利用该技术进行木偶戏的数字化保护；Shen等人[31]对采用运动捕捉技术进行中国民族舞蹈的保护作了深入的实验研究，利用运动捕捉系统获取的数据实现了民族舞蹈的动画再现；蔡群等人[32]提出了基于运动捕捉技术的数字化保护方法，对贵州少数民族舞蹈数字化保护的制作流程进行了介绍，从技术上基本实现了贵州民族舞蹈的数字化保护；吕德生等人[33]将运动捕捉技术用于祭孔仪式的数字化保护，数字化重建了传统祭孔仪式；程起龙等人[34]提出了基于运动捕捉技术的岭南舞蹈数字化保护方法，并对保护方法和步骤进行了介绍；邹虹等人[35]对孔庙祀典进行了研究，采用动作捕捉技术对祀典乐舞舞蹈的舞姿进行数据采集，经过相关技术处理后数字化再现了孔庙祀典乐舞的精髓。

此外，金刚等人[25]对表演动画中的运动捕捉技术进行了介绍；Bevilacqua等人[36]提出了一个融入音乐和舞蹈的多媒体开发项目，利用商业三维运动捕捉系统Vicon8从舞蹈动作中提取动画，根据舞者的动作进行配乐，并对其制作过程、方法和交互环境进行了介绍和阐述邵未等人[37]介绍了利用运动捕捉技术实现编钟乐舞的数字化方法、原理和相关技术；Shinoda等人[38]采用光学运动捕捉系统(MotionAnalysis，MAC3Dsystem)建立了一个人体动作和重心可视化系统，可实现对多个舞者的动作进行对比，同时也可对日本舞踊进行分类。

3基于运动捕捉技术的辅助训练与教学

近年来，运动捕捉技术在训练和教育项目中也得到了广泛的应用。冯利正等人[39]分析了运动捕捉技术在现代体育运动中的作用，提出可将该技术用于捕捉运动数据、运动监控、技术诊断与分析、辅助裁判裁决、运动康复等方面，但未给出具体的应用实例。张俊峰[40]提出运用运动捕捉技术对体育训练中出现的问题进行诊断和分析，教练可根据获取的视频、图像和量化数据，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。陈健等人[41]对采用运动捕捉技术获取运动的关键参数、对技术动作进行量化分析的方法进行了介绍，并以刘翔的跨栏训练、高尔夫球辅助训练系统(GTRS1)和举重运动为例加以说明。Wright[42]对利用运动捕捉技术进行高尔夫教学训练作了详细的调查研究，为教练及该领域研究人员提供了理论参考。

文献[43~47]主要是将运动捕捉技术用于高尔夫运动的研究。Walace等人[43]使用带5个摄像机的捕捉系统对高尔夫球员全身共14段的动作进行追踪，分别捕捉9个球员采用四种不同球杆进行击球的动作，以此寻求运动姿态与高尔夫球杆长度之间的匹配关系；Nesbit[4]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，利用这些数据建立了仿真模型，可用于研究不同球员的挥杆动态；Wheat等人[45]使用带8个摄像机和9个标记点的捕捉系统对10名球员分别进行8次击球的动作进行研究，求得了一些具有参考价值的数据；Myers等人[46]使用带8个摄像机的动作捕捉系统对10名高尔夫球员挥杆时的臀部和躯干运动进行研究，求得了躯干、骨盆的运动与挥杆及球速之间的内在关系，为高尔夫教练进行科学训练提供了理论上的支持；Evansab等人[47]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。

运动捕捉技术在其他训练和教学方面的应用研究主要有Covaci等人[48]利用运动捕捉技术开发了一个虚拟的篮球训练系统，用户可在没有教师的情况下学习投篮训练课程；Yokokohji等人[49]提出了一种新的运动捕捉方法，探讨了利用该方法进行机器人的家务劳动教学，并用实验对方法的可行性进行了验证；张晓丽[50]将运动捕捉技术应用到了消防模拟训练，介绍了利用运动捕捉技术进行消防模拟训练的方法，并给出了基于运动捕捉技术的虚拟消防员在油罐灭火救援仿真训练中的应用案例；Wang等人[51]对计算机动画教学进行了研究，认为运动捕捉技术是计算机动画学科强有力的辅助工具，同时也是关键帧动画的有益补充，对利用动作捕捉技术制作计算机动画的过程和方法进行了介绍，并将这种方法用来实现军体操动画、篮球动画和民间舞蹈动画；Shi等人[52]将脸部捕捉技术运用于听障儿童的康复训练，并以实验验证了该方法的合理性。

4.运动捕捉技术在影视和游戏动画中的应用

传统的动画制作需要根据剧情设计的要求逐帧绘制动画，工作量巨大且效率较低。在引入计算机动画技术后，动画的制作变得相对简单了，但在制作较长的动画作品时，采用这种方法仍然比较复杂繁琐。运动捕捉技术的引入使得动画制作变得史无前例的简单，因为采用动作捕捉系统的动作、表情可以直接驱动动画和虚拟对象等模型，并产生逼真的动画效果。

冯远淑等人[54]探讨运用动作捕捉技术进行计算机动画制作的方法，利用3DStudioMax文件建立了计算机动画模型，采用处理后的数据文件驱动该模型，实现了计算机动画的生成，并以虚拟演播室系统为例对该方法加以说明。黄波士等人[5]提出了基于运动捕捉技术的动画制作方法和流程，对动画制作过程中的动画合成和消除滑步等技术进行了阐述，认为将运动捕捉技术用于电影动画是今后的发展趋势。曲毅等人[56]探讨了基于光学运动捕捉技术制作动画的原理和方法，对标记点跟踪和三维重建技术等在影视动画制作中的应用进行了介绍，但未以案例对此方法进行说明。殷俊等人[57]针对游戏动画，从动作列表、跟踪点的设置和布局、动作编辑入手，对运动捕捉方法进行了创新改进，提高了捕捉的效率和精度，并大大减少了游戏动画制作中的动作数据量。

5.基于运动捕捉技术的人体运动姿态研究

运动捕捉技术已逐渐成为人体运动姿态研究中的一项关键技术，受到了越来越多的研究人员重视，近年来已有多项研究成果公开报道。

Sigal等人[58]发表了关于人体姿态研究方面的研究报告，创建了用于评价人体关节运动和姿态的HUMANEVAI数据库，推动了人体姿态研究的发展。Hwang等人[59]提出了一个包含14个常态姿态、10个异常姿态和30个命令姿态的名叫“KoreaUniversityGesture(KUG)database”的全身姿态数据库，该数据库对二维和三维人体姿态的研究和应用具有很大帮助。Rosenhahn等人[60]提出了一个新的无标记运动捕捉系统，并将该技术用于体育运动的人机交互研究，以骑自行车和滑雪为例对其进行了验证。Kim等人[61]提出了一种有效的步行模式映射算法，将获取的人体运动姿态数据用于双足人形机器人研究，并以两个双足机器人的计算机仿真案例验证了算法的有效性。Harbert等人[62]采用WimoteMotionPlussystem作为运动捕捉设备，选择了21人进行举升操作实验，获取了他们在操作过程中膝盖、臀部和背部的运动数据，实验表明该设备用于人机分析是可行的。赵正旭等人[63]根据人体关节正常的活动范围，对人体主要关节点的运动姿态进行了研究，实现了人体运动姿态模拟程序，并可利用采集的人体运动数据驱动虚拟人体模型。

6. 结束语

运动捕捉技术经过近四十年的发展，已在许多研究领域得到了应用。本文对运动捕捉技术及其常用的五种系统的组成和特点进行了概括介绍，对国内外采用该技术进行应用研究的相关成果作了收集和分析，主要从表演动画与保护、训练与教学、影视和游戏动画制作、人体运动姿态研究等方面对这些成果进行了较为系统的综述。分析已有的研究成果，可以得出以下推断:

a)从已有的研究情况来看，使用最多的是光学式运动捕捉设备，以Vicon(维康)和MotionAnalysis(魔神)两家公司的产品居多，Polhemus和3DSuit的产品应用则较少。一个无标记点的运动捕捉系统[60]也得到了应用。随着基于视频的运动捕捉技术的发展，相信今后会出现更多先进的不需要标记点的捕捉设备，而且这类设备更适合用于各种应用研究，这将是未来的发展趋势。

b)本文收集的研究成果主要涉及非物质文化的数字化保护、体育训练、教育、人体姿态分析、人机工程学等领域。其中，非物质文化的数字化保护对象包括民族舞蹈舞姿、木偶戏、祭祀仪式等，今后可将应用范围推广到戏剧、杂技、皮影、传统手工技能和重大仪式等项目。借鉴高尔夫球员的技术动作实验和训练方法，可将研究推广应用到体操、乒乓球、篮球、滑雪、手球等众多的体育项目。借鉴研究人体姿态、人体工程学的实验方法，可将应用扩展到汽车、飞机、轨道车辆的驾驶室和其他设备操作空间的人机分析及驾乘人员的姿态研究。利用运动捕捉设备进行各种军用、民用和工业用产品的可用性研究、用户研究、虚拟动态匹配研究也是今后可进一步探讨的方向。

参考文献

[1]STURMANDJ.Abriefhistoryofmotioncaptureforcomputercharacteranimation[C]//ProcofACMAnnualConferenceonComputerGraphics.194:3361.

[2]JOHANSSONG.Visualperceptionofbiologicalmotionandamodelforitsanalysis[J].PerceptionPsychophysics，1973，14(2):20121.

[3]CALVERTTWCHAPMAPATLAA.Aspectsofthekinematicsimulationofhumanmovement[J].IEEEComputerGraphicsandApplications，1982，2(9):4150.

[4]CAROLMGINSBERGMAXWELLD.Graphicalmarionete[C]//ProcofACMSIGGRAPH.NewYork:ACMPres，1983:172179.

[5]ROBERTSONB.Mike，thetalkinghead[J].ComputerGraphicsWorld，198，11(7):15 17.

[6]WALTERSG.ThestoryofwaldoC.graphic[C]//ProcofACMSIGGRAPH.1989:65 79.

[7]TARDIFH.Characteranimationinrealtime[C]//ProcofACMSIGGRAPH.191.

[8]ROBERTSONB.Movingpictures[J].ComputerGraphicsWorld，192，15(10):384.

[9]KLEISERJ.Charactermotionsystems[C]//ProcofACMSIGGRAPH.193:336.

[10]WALTERSG.PerformanceanimationatPDI[C]//ProcofACMSIGGRAPH.193:4053.

[11]SABELJC.Optical3Dmotionmeasurement[C]//ProcofIEEEInstrumentationandMeasurementTechnologyConference.[S.l.]:IEEEPres，196:367370.

[12]BREGLERCMALIKJ.Trackingpeoplewithtwistsandexponentialmaps[C]//ProcofIEEEConferenceonComputerVisionandPaternRecognition.198:815.

[13]YONEMOTOSTSURUTANTANIGUCHIR.Trackingof3Dmultipartobjectsusingmultipleviewpointtimevaryingsequences[C]//ProcofInternationalConferenceonPaternRecognition.198:490494.

[14]CHENGJCMOURAJMF.Captureandrepresentationofhumanwalkinginlivevideosequences[J].IEEETransonMultimedia，19，1(2):14156.

[15]MOESLUNDTBGRANUME.Asurveyofcomputervisionbasedhumanmotioncapture[J].ComputerVisionandImageUnderstanding，201，81(3):231268.

[16]ROSENHAHNBBROXTKERSTINGUGetal.Asystemformarkerlessmotioncapture[J].KünstlicheIntelligenz，2006，20(1):4551.

[17]MOESLUNDTBHILTONKRGERU.Asurveyofadvancesinvisionbasedhumanmotioncaptureandanalysis[J].ComputerVisionandImageUnderstanding，206，104(2):90126.

[18]XINGTianweiYUYaoZHOUYuetal.MarkerlesmotioncaptureofhumanbodyusingPSOwithsingledepthCamera[C]//Procofthe2ndInternationalConferenceon3DImaging，Modeling，Procesing，VisualizationandTransmision.[S.l.]:IEEEPres，2012:192197.

[19]黄波士，陈福民.人体运动捕捉及运动控制的研究[J].计算机工程与应用，205，41(7):6063.

[20]罗忠祥，庄越挺，潘云鹤，等.基于视频的运动捕获[J].中国图象图形学报，202，7(8):752758.

[21]李豪杰，林守勋，张勇东.基于视频的人体运动捕捉综述[J].计算机辅助设计与图形学学报，206，18(1):16451651.

[2]吴升，张强，肖伯祥，等.一种新的光学运动捕捉数据处理方法[J].计算机应用研究，209，26(5):19381940，1964.

[23]肖伯祥，张强，魏小鹏.人体运动捕捉数据特征提取与检索研究综述[J].计算机应用研究，2010，27(1):1013.

[24]MENACHEA.Understandingmotioncaptureforcomputeranimationandvideogames[M].SanFrancisco，CA:MorganKaufmanPublishersInc，199.

[25]金刚，李德华，周学泳.表演动画中的运动捕捉技术[J].中国图象图形学报，20，5(3):264267.

[26]李晓丹，肖明，曾莉.人体运动捕捉技术综述以及一种新的动作捕捉方案陈述[J].中国西部科技，201，10(15):3537.

[27]刘国翌.基于视频的人体运动跟踪技术研究[D].北京:中国科学院研究生院，205.

[28]王征.基于视频的三维人体重建和运动捕捉[D].天津:天津大学，2009.

[29]邱望标，李超.基于运动捕捉技术的中国少数民族舞蹈艺术保护方法研究[J].电子科技大学学报:社会科学版，2009，11(4):101104.

[30]吴志峰.基于运动捕捉技术的传统木偶戏数字化研究[J].艺苑，2009(9):5153.

[31]SHENYinghuaWUXiaoyuLChaohuietal.Nationaldancesprotectionbasedonmotioncapturetechnology[C]//ProcofInternationalConferenceonComputerScienceandInformationTechnology.Singapore:IACSITPres，2012:7881.

[32]蔡群，吕俊.基于运动捕捉技术的贵州少数民族舞蹈数字化保护研究[J].贵州大学学报:自然科学版，2009，26(4):9194.

[33]吕德生，郭琛.运动捕捉技术对祭孔仪式的祛魅和返魅[J].哈尔滨工业大学学报:社会科学版，2011，13(5):99103.

[34]程起龙，黄光临.基于动作捕捉技术的岭南舞蹈数字化保护研究[J].现代计算机:下半月版，2012(8):3537.

[35]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.

[36]BEVILACQUAFNAUGLELVALVERDEI.Virtualdanceandmusicenvironmentusingmotioncapture[C]//ProcofIEEEMultimediaTechnologyandApplicationsConference.2001:14.

[37]邵未，张倩，孙守迁.面向编钟乐舞的运动捕捉技术的研究[J].系统仿真学报，203，15(3):350352.

[38]SHINODAYMITOYOZAWATetal.ConsiderationofclasificationofdancemovementsforNihonBuyousingmotioncapturesystem[C]//ProcofSICEAnnualConference.2012:10251028.

[39]冯利正，陈健.运动捕捉技术在体育运动中的应用[J].杭州师范学院学报:医学版，2005(5):419422.

[40]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，205，21(4):6972.

[41]陈健，姚颂平.运动捕捉技术及其在运动技战术诊断中的应用[J].上海体育学院学报，2006，30(4):6669.

[42]WRIGHTL.Motioncaptureingolf[J].InternationalJournalofSportsScienceandCoaching，2008(3):161182.

[43]WALLACEES，HUBBELJE，ROGERSMJ.Drivershaftlengthinfluencesonpostureandswingtempoinskiledgolfers[J].TheEngineeringofSport，2004，1(5):216223.

[44]NESBITS.Athreedimensionalkinematicandkineticstudyofthegolfswing[J].JournalofSportsScienceandMedicine，205，4(4):49519.

[45]WHEATJS，VERNONT.MILNERCE.Themeasurementofuperbodyalignmentduringthegolfdrive[J].JournalofSportsSciences，207，25(7):749755.

[46]MYERSJ，LEPHARTS，TSAIYS.Theroleofuppertorsoandpelvisrotationindrivingperformanceduringthegolfswing[J].JournalofSportsSciences，2008，26(2):181188.

[47]EVANSABK，HORANABSA，NEALRJ，etal.Repeatabilityofthredimensionalthoraxandpelviskinematicsinthegolfswingmeasuredusingafieldbasedmotioncapturesystem[J].SportsBiomechanics，2012，11(12):262272.

[48]COVACIA，POSTELNICUCC，PANFIRAN，etal.Avirtualrealitysimulatorforbasketbalfrethrowskilsdevelopment[C]//ProcofDoCEIS.2012:10512.

[49]YOKOKOHJIY，KITAOKAY，YOSHIKAWAT.Motioncapturefromdemonstrator’sviewpointanditsapplicationtorobotteaching[J].JournalofRoboticSystems，2005，22(2):8797.

[50]张晓丽.三维运动捕捉技术在消防模拟训练中的应用[J].武警学院学报，2011，27(8):8890.

[51]WANGXiaoting，YANGChenglei，WANGLu.Applyingmotioncaptureincomputeranimationeducation[J].InternationalJournalofEngineeringandManufacturing，201(4):452.

[52]SHILijuan，ANZhiyong，ZHAOJian，etal.Astudyoffacemotioncaptureanditsdataprocesingtechniqueapliedtothespechtrainingofhearingimpairedchildren[C]//Procofthe5thInternationalConferenceonIntelligentNetworksandIntelligentSystems.[S.l.]:IEEEPres，2012:306309.

[53]CAMERONG，BUSTANOBYA，COPEA，etal.MotioncaptureandCGcharacteranimation[C]//Procofthe24thAnualConferenceonComputerGraphicsandInteractiveTechniques.NewYork:ACMPres，1997:4245.

[54]冯远淑，陈福民.基于动作捕捉的计算机动画探讨与实现[J].同济大学学报:自然科学版，204，32(7):956960.

[55]黄波士，陈福民.运动捕捉及其在动画制作中的应用[J].计算机工程，2005，31(13):168170.

[56]曲毅，李存华.运动捕捉技术在影视动画制作中的应用研究[J].信息技术，206(1):124126.

[57]殷俊，张凯，崔晋，等.游戏动画中的动作捕捉[J].江苏大学学报:自然科学版，206，27(5):454457.

[58]SIGALL，BLACKMJ.Humaneva:synchronizedvideoandmotioncapturedatasetforevaluationofarticulatedhumanmotion[R].[S.l.]:BrownUniversity，206.

[59]HWANGBW，KIMS，LEESW.Afullbodygesturedatabaseforhumangestureanalysis[J].InternationalJournalofPatternRecognitionandArtificialInteligence，207，21(6):10691084.

[60]ROSENHAHNB，SCHMALTZC，BROXT，etal.Markerlessmotioncaptureofmanmachineinteraction[C]//ProcofIEEEConferenceonComputerVisionandPaternRecognition.[S.l.]:IEEEPres，2008:18.

[61]KIMJY，KIMYS.Walkingpatternmappingfromimperfectmotioncapturedataontobipedhumanoidrobots[J].InternationalJournalHumanoidRobotics，2010，7(1):127156.

[62]HARBERTSD，ZUERNDORFERJ，JAISWALT，etal.MotioncapturesystemusingWimoteMotionSensors[C]//ProcofIEEEAnualInternationalConferenceonEngineringinMedicineandBiologySociety.[S.l.]:IEEEPres，2012:493496.

[63]赵正旭，戴欢，赵文彬，等.基于惯性动作捕捉的人体运动姿态研究[J].计算机工程，2012，38(12):14.

[64]XINXiangyang，VOGELC，MAH.Motioncaptureasauserresearchtolin“dynamicergonomics”[C]//ProcofInternationalAssociationofSocietiesofDesignResearch.207:18.

[65]R?HRLEO，WADDELLJN，FOSTERKD，etal.UsingamotioncapturesystemtorecorddynamicarticulationforaplicationinCAD/CAMsoftware[J].JournalofProsthodontics，209，18(8):703710.