

# 基于移动平台的增强现实研究

王 巍 王志强 赵继军 申艳光

(河北工程大学信息与电气工程学院 邯郸 056038)

**摘 要** 对移动增强现实技术的研究现状和进展进行了较为全面地总结。首先,梳理了移动增强现实技术的研究之路,归纳并分析了国内外的研究机构、研究特点以及相关资源。其次,详细地阐述了该领域所涉及的理论与技术,对当前研究热点领域进行了概括、分类和对比。最后,讨论了该领域研究中存在的重、难点问题,并对未来的发展进行了展望。

**关键词** 增强现实,移动平台,跟踪注册,显示技术,实时交互

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Research of Augmented Reality Based on Mobile Platform

WANG Wei WANG Zhi-qiang ZHAO Ji-jun SHEN Yan-guang

(School of Information & Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract** The current conditions and the progress of mobile augmented reality technology were surveyed. Firstly, the research background was summarized and analyzed including domestic and international organizations, distinguishing features, and related resources. Then, theories and technologies related to this area were expounded in detail. Categorized algorithms were summarized, classified and compared. Finally, some most difficulties and possible research directions in the future were proposed, coupling with the forecasted development.

**Keywords** Augmented reality, Mobile platform, Tracking and registration, Display technique, Real-time interaction

## 1 引言

增强现实(Augmented Reality, AR)是在虚拟现实的基础上发展起来的新技术,也被称之为混合现实。它是一种结合虚拟化技术再来观察世界的方式,通过计算机系统提供的电子信息增加用户对现实世界的感知,将虚拟的信息应用到真实世界,并将计算机生成的虚拟物体、场景或系统提示信息叠加到真实场景中,从而实现对现实的增强。增强现实技术如今广泛应用于教学培训、古迹数字重现、医疗研究与解剖、精密仪器制造与维修、军事与娱乐等领域。

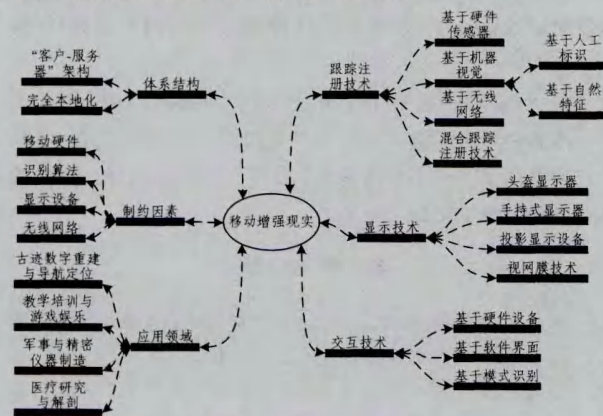


图 1 移动增强的知识网络

## 2 国内外研究现状

1990年,波音公司的Caudell设计了一个辅助布线系统,首次提出了“增强现实”这个名词<sup>[1]</sup>。该系统采用透视式头盔,将计算机实时绘制的布线路径图和文字等提示信息叠加在机械师的视野中,帮助其完成复杂的拆卸过程,减少错误几率。1991年,Mark提出“无所不在的计算(ubiquitous computing)”的概念,将PC的应用与周围的真实世界相融合,甚至设想用户在真实世界中可以观看和操作叠加在其中的虚拟物体<sup>[2]</sup>。

如今AR被广泛应用的定义有两种:第一种是Milgram的定义。1994年,Milgram和Kishino在论文中提出了“现实-虚拟连续统(Reality-Virtuality Continuum)”的概念来解释增强现实世界感官的不同形式<sup>[3]</sup>。他们将这个连续统描述为从真实环境到虚拟环境的跨度,真实环境和虚拟环境分别作为连续统的两端,位于它们中间的被称之为“混合现实(Mixed Reality)”,其中靠近真实环境的是增强现实(Augmented Reality),靠近虚拟环境的则是扩增虚拟(Augmented Virtuality),如图2所示。

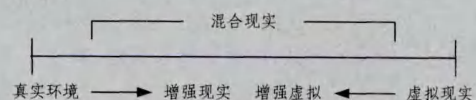


图 2 Milgram 的现实-虚拟连续流模型

本文受国家自然科学基金(61075053),河北省教育厅科学研究计划项目(QN20131152)资助。

王 巍(1983-),男,博士,讲师,主要研究方向为人机交互、传感器网络,E-mail: wangwei8311@1.com;王志强(1986-),男,硕士生,主要研究方向为增强现实、人机交互;赵继军(1970-),男,博士,教授,主要研究方向为传感器网络、通信技术;申艳光(1970-),女,硕士,教授,主要研究方向为数据挖掘。

第二种定义是在 1997 年由 HRL 实验室的 Azuma 所提出的,他认为一个 AR 系统必须具备 3 个特征,即:虚实结合、实时交互、三维配准<sup>[4]</sup>。虚实结合是指将虚拟信息和现实对象整合在一起,实现感官上的统一;实时交互是指系统能实时响应用户的操作,并且两者形成互动;三维注册是指将虚拟信息准确地注册到真实世界之中,注册的位置是三维的。交互和注册的问题将在第 3 节进行详细讨论。

另外还有其它一些定义,如 Julie Carmigniani 和 Borko Furht 认为不必要将增强现实技术局限于某种特定的成像技术或是视觉之中,他们认为“增强现实即通过向真实环境实时地直接或间接地添加虚拟信息以提高真实环境”<sup>[5]</sup>。Lester Madden 总结了前人对增强现实的定义,并结合不断的发展和应,提出增强现实应该包含以下特征:(1)虚实结合;(2)提供实时交互;(3)实时跟踪对象;(4)提供图像或对象的识别;(5)提供实时的环境或数据。这一定义较之前的更为广泛<sup>[6]</sup>。

移动增强现实(Mobile Augmented Reality, MAR)是 AR 技术在移动平台的应用,指用户携带各种计算设备,可以在室内或是户外随意走动而不影响系统功能实现。MAR 系统可以更好地协助用户进行工作,拥有更加广泛的应用空间。传统的 MAR 系统一般由头盔显示器、虚拟图像生成装置和跟踪 GPS 组成,这些装备造价昂贵、携带不便,限制了 MAR 向着大众市场的推广。随着移动智能终端和 3G 技术的急速发展,个人数字助理(PDA)和智能手机等手持设备引起了研究者的注意。这些设备体积小、携带方便、价格适中、普及率高,逐渐成为 MAR 新兴的移动应用平台。Wanger 博士认为, MAR 系统的下一代研究将会把注意力转向小巧的、计算能力较强的手持设备上<sup>[7]</sup>。图 3 展示了 MAR 系统的运行流程。

早在 1968 年,美国麻省理工学院(MIT)的 Ivan Sutherland 教授就开发出了世界上第一台采用了 CRT 的光学透明头戴式显示器(See-Through Head-Mounted Display, STHMD)<sup>[8]</sup>。该设备是世界上第一套增强现实系统,满足了 Azu-

ma 定义中的 3 个特点。第一个移动增强现实系统则是于 1997 年由哥伦比亚大学的 Steve Feiner 等人开发的导航系统: The touring machine<sup>[9]</sup>。该学校的另一个系统是 1999 年开发的 MARS(Mobile Augmented Reality System)系统,这个系统是第一个真正实现了允许用户背负着各种增强现实设备自由行走的系统<sup>[10]</sup>。2000 年 Bruce Thomas 等人发布的 AR-Quake 和 2003 年 Adrian David Cheok 等人发布的真人版“吃豆人(Human Pacman)”则是移动增强现实系统前期的典型游戏应用<sup>[11,12]</sup>。

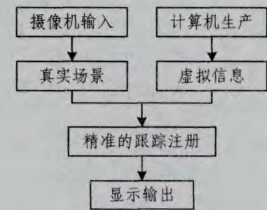


图 3 MAR 系统运行流程

早期的 MAR 系统需要背负笔记本电脑和头盔显示器(Head-Mounted Display, HMD)等设备,价格昂贵,携带不方便,并不易于推广。

随着 PDA、智能手机、平板电脑等手持式移动设备的兴起, MAR 迎来了崭新的发展前景。目前主流的手持移动设备都内置了百万像素以上的摄像头、无线通信网络设备,高端的机器还加装了 GPS 定位系统、各种传感器设备、重力加速计和电子罗盘等设备,这些都为 MAR 的研究与应用提供了新的技术途径。AR-PDA 是首先使用 PDA 作为视频显示器的应用<sup>[13]</sup>, Wanger 则在 2002 年实现了第一个由 PDA 独立完成 MAR 所有任务的应用<sup>[14]</sup>, 而 Mohring 等人在 2004 年开发出了第一个基于智能手机的 MAR 应用<sup>[15]</sup>。

目前国外的哥伦比亚大学、麻省理工学院、格拉茨技术大学、牛津大学、东京大学等高校以及谷歌公司、索尼公司、西门子公司等商业机构都对 MAR 展开了积极的研究和开发工作。



图 4 国外 MAR 发展过程

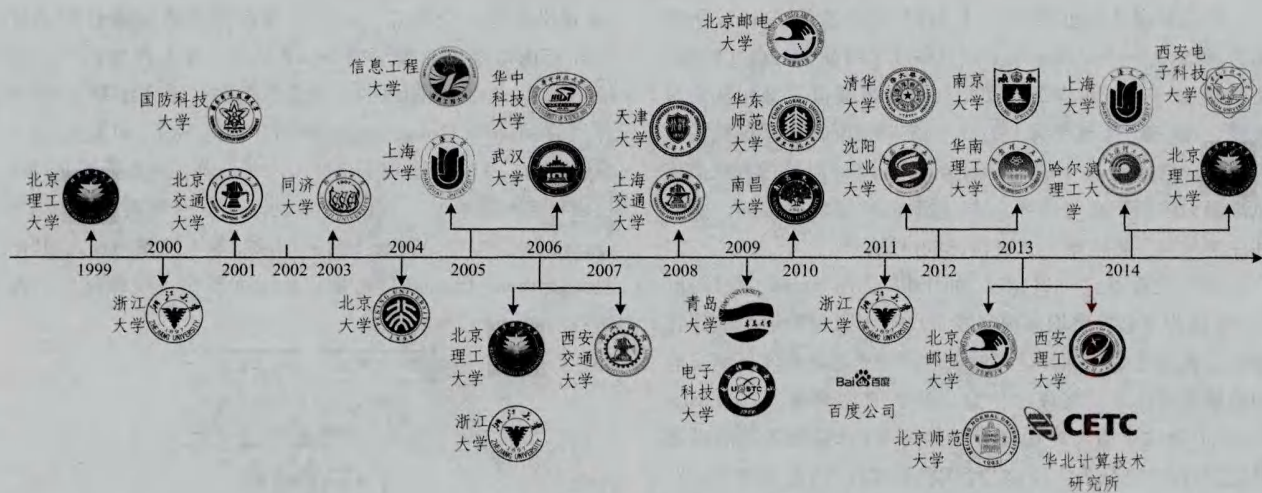


图5 国内 MAR 发展过程

我国在 AR 领域的研究起步比较晚,研究机构主要集中在高校的科研单位,主要有北京理工大学、浙江大学、北京航空航天大学、国防大学、上海大学等。北京理工大学是 MAR 领域的先行者,其自主研发了头盔显示器和数据手套<sup>[16]</sup>,并在三维注册<sup>[17,18]</sup>、光照模型<sup>[19]</sup>、深度检测<sup>[20,21]</sup>等方面进行了研究。王涌天教授带领的团队致力于通过 AR 技术实现对圆明园的虚拟重建<sup>[22]</sup>,其研制开发的基于 PDA 的 AR 系统是我国第一个基于通用手持设备的 MAR 系统。文献<sup>[23]</sup>对 AR 系统在智能手机上的应用进行了探讨。浙江大学<sup>[24]</sup>和北方交通大学<sup>[25]</sup>均在分布式虚拟现实与增强现实关键技术方面做了深入研究。华中科技大学的明德烈等在注册技术上提出了全局仿射变换的方法,能够简单而快速地实现注册中的坐标转换<sup>[26]</sup>。总的来说国内的研究主要集中在系统应用和配准技术上,研究的问题比较单一,涉及的面也比较窄。图4、图5对国内外的 MAR 研究进行了梳理。

表1 MAR 应用系统的特点

研究者	领域	环境	设备	产品化
Feiner 等 <sup>[9]</sup>	导航	室外	头盔显示器 笔记本	否
Bruce Thomas 等 <sup>[11]</sup>	游戏	室内+室外	头盔显示器	是
Joseph Newman 等 <sup>[27]</sup>	导航	室内	PDA	否
Adrian David Cheok, et al <sup>[12]</sup>	游戏	室外	头盔显示器	是
Piekarski 等 <sup>[28]</sup>	军事	室外	头盔显示器	是
Anders Henrysson, et al <sup>[29]</sup>	游戏	室内+室外	智能手机	是
Olwal 等 <sup>[30]</sup>	导航	室内	智能手机	否
Bruns 等 <sup>[31]</sup>	导航	室内	智能手机	否
Sareika 等 <sup>[32]</sup>	工业	室外	摄像头	是
Billinghurst 等 <sup>[33]</sup>	阅读	室内	手持透视式眼镜	是
Adrian Shatte 等 <sup>[34]</sup>	图书馆	室内	智能手机	否
Young-geun Kim 等 <sup>[35]</sup>	广告	室外	智能手机	否
陈靖,王涌天等 <sup>[36]</sup>	导航	室外	PDA	是
隋毅 <sup>[37]</sup>	游戏	室内	智能手机	否
张运超,陈靖等 <sup>[38]</sup>	导览	室外	智能手机	是
李航 <sup>[39]</sup>	医疗	室内	平板电脑	否
王璞 <sup>[40]</sup>	图书馆	室内	智能手机	是

表2 MAR 技术理论的特点

研究者	内容	领域	数据类型
Klein 等 <sup>[41]</sup>	跟踪注册和三维场景重建	跟踪注册	图像
Wagner 等 <sup>[42]</sup>	基于人工标识算法移植	跟踪注册	图像
Mathias Möhring 等 <sup>[43]</sup>	追踪 3D 标记	跟踪注册	图像
Lowe 等 <sup>[44]</sup>	自然特征点提取算法	跟踪注册	图像
Edward Rosten 等 <sup>[45]</sup>	角点探测算法	跟踪注册	图像
Bay 等 <sup>[46]</sup>	借助积分图识别自然标志物	跟踪注册	图像
国外 Wagner 等 <sup>[47]</sup>	通过特征训练及分类来减少特征匹配时间	跟踪注册	图像
Mark 等 <sup>[48]</sup>	基于二维码的虚拟物体可视化	跟踪注册	二维码
Arth 等 <sup>[49]</sup>	定位手机的 6 自由度姿态	跟踪注册	图像
Leutenegger 等 <sup>[50]</sup>	二进制局部特征提取算法	跟踪注册	图像
Adeel Rafiq 等 <sup>[51]</sup>	移动增强现实网络安全云计算动态框架	网络安全	加密数据
M Makar 等 <sup>[52]</sup>	基于特征点的帧间编码法	无线传输	视频
哈涌刚,周雅 <sup>[16]</sup>	用于增强现实的头盔显示器的设计	显示技术	视频
明德烈等 <sup>[26]</sup>	全局仿射变换方法	跟踪注册	图像
国内 熊怡,李利军 <sup>[53]</sup>	色彩可视标志码的设计和跟踪注册算法	跟踪注册	图像
周锋 <sup>[54]</sup>	基于区域分析的指尖检测算法研究	交互技术	坐标
郭训力,俞扬 <sup>[55]</sup>	基于肤色和深度的第一人称人手识别	交互技术	坐标

MAR 目前主要应用于导航和游戏领域。由于移动终端硬件性能的限制,很多 MAR 应用还属于研究机构实验室的试验系统,并未实际用于商用。而游戏领域的 MAR 系统由于市场的需求,多为商业公司开发,且投入市场。早期的 MAR 系统的终端多为头盔显示器,但是由于其携带不便,已经逐渐被智能手机、PDA 等手持式终端所取代。2014 年谷歌公司发布了智能眼镜(Google Glass),展示出智能终端向穿戴式设备发展的新方向。

表1和表2对国内外的相关文献进行了比较。可以看出 MAR 的研究重点在跟踪注册领域,集中显示了通过对图像

的智能识别来确定观察者相对位置的算法的迭代改进。国内由于研究起步较晚,不仅文献数量上偏少,而且在内容上研究领域也比较窄,多集中在对国外已有的经典算法的局部改进方面。

20世纪90年代末开始,AR领域的研究者们开始聚集到一系列的AR相关的国际研讨会和工作会议上,还有不少国际会议将AR加入到了议题之中,有关MAR的研究的相关会议包括:ISAR(International Society for Astrological Research)、ISMAR(International Symposium on Mixed and Augmented Reality)、ISWC(International Symposium on Wearable Computers)、VRAIS(Virtual Reality Annual International Symposium)、ICAT(International Conference on Energy and Automotive Technologies)、IEEE VR(The IEEE Virtual Reality Conference)。

### 3 涉及的理论与技术

增强现实是在虚拟现实技术基础上发展起来的新技术,是一门典型的交叉学科。AR研究的领域相当广泛,涉及到计算机图形、图像处理、移动计算、计算机网络、信息获取、人机交互等各个领域的内容。Azuma的定义包括了AR的3个特点:虚实结合、实时交互和三维配准<sup>[4]</sup>,这些特点体现了AR技术的3个关键技术:显示技术、交互技术和跟踪注册技术。应用于移动平台的AR系统除了这3个技术,还会涉及到网络通信问题,从而会出现不同的系统主体结构 and 无线网络的选择。

#### 3.1 跟踪注册技术

跟踪注册技术是AR的关键技术,从AR技术的诞生到现在,跟踪注册技术一直都是各个机构研究的热点问题。AR

系统要求实现虚拟信息和真实场景的无缝融合,也就是将虚拟信息与真实世界在三维空间中进行配准,这个配准的过程被称为注册(Registration);虚拟信息所处的位置和观察者的位置是相对的,意味着系统必须实时地检测观察者在真实场景中的位置和方向,这个过程称为跟踪(Tracking)。

跟踪注册的精度高低决定了虚拟信息在真实场景中叠加的位置是否准确,同时也决定在用户移动过程中系统能否实时地将虚拟信息准确地叠加到真实场景。跟踪注册的核心问题是实时性、稳定性和鲁棒性。实时性要求系统能够跟随用户位置或动作的变化而及时相应地改变虚拟信息的呈现,无延时;稳定性要求系统能在长时间内保持正常运行状态,一是保证注册位置的精确度,二是防止摄像机抖动对注册的影响;鲁棒性是指系统避免在外部干扰下出错的能力,常见的外部干扰主要有无关物体对目标物的遮挡和目标物体的畸变。

目前主流的跟踪注册技术可分为基于硬件传感器的技术、基于机器视觉的技术、基于无线网络的技术和混合技术,图6列出了各个技术分支,表3则对各个技术的特点进行了对比。

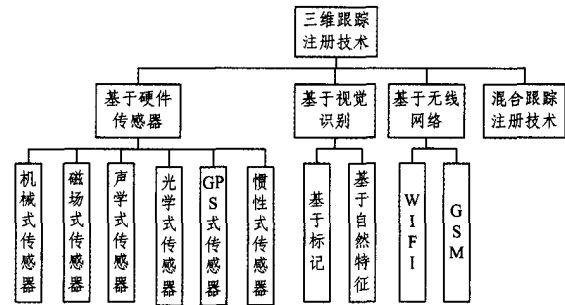


图6 跟踪注册技术的分类

表3 跟踪注册技术的分类比较

方法	原理	优点	缺点
基于硬件传感器	根据信号发射源和感应器获取的数据求出物体的相对空间位置和方向	实时性好、稳定性高	设备昂贵、系统组合难度大
基于机器视觉	根据真实场景图像求出观察者的运动轨迹,确定虚拟信息的位置和方向	不需要昂贵的传感器设备、配准精度高	计算量大、实时性差、稳定性不如传感器
基于无线网络	通过对无线电波的传输时间、幅度、相位和到达角等参数的测量,根据特定的算法来判断被测物体的位置。	不需要增加额外传感器设备	定位准确度不高,一般用于室内MAR系统
混合跟踪注册技术	根据硬件传感器定位用户的运动位姿,同时借助视觉方法对配准结果进行误差补偿	算法鲁棒性强、精度高	系统成本高、安装繁琐、移植困难

##### 3.1.1 基于硬件传感器

随着智能手机等移动智能终端的发展,其内置的各种传感器逐渐丰富,且成为某些智能设备的标准配置,这为利用各种传感器来检测使用者的当前位置和摄像机的姿态提供了极大的方便。基于传感器的跟踪注册一般建立在机械、磁力、声学、光学、惯性等传感器的基础上,表4对这些技术的优缺点进行了梳理。由于各种传感器各有利弊,因此单一使用某种传感器进行跟踪常常难以满足实际应用的要求。为了提高系统跟踪注册性能,可以在一个AR系统中同时采用多种传感器共同进行目标跟踪,这就是多传感器融合技术。Azuma就采用了一种多传感器混合的方法来提高应用的精度<sup>[56]</sup>。他在头盔式显示器上安装了3个比率陀螺仪、两个倾斜传感器、

一个GPS传感器和一个红外摄像机,从而大大降低了跟踪注册的误差。

基于传感器的跟踪注册技术很早之前就在虚拟现实领域被深入研究过,因此在AR领域完全基于传感器的跟踪注册研究很少。Klinker<sup>[57]</sup>对使用多种不同的传感器从而实现高鲁棒性跟踪进行了研究。Newman<sup>[27]</sup>对室内使用超声波传感器进行跟踪的方法进行了研究。Rashid开发了基于射频识别的手机游戏<sup>[58]</sup>,用户可以在真实的位置用真实的物体进行交互。北京理工大学徐彤等设计了六自由度电磁跟踪系统<sup>[59]</sup>。文献[60]对传感器跟踪做了比较好的总结。表4对常用的传感器类型进行了比较总结。

表4 传感器性能比较

传感器	原理	优点	缺点	应用
机械式	通过机械关节的长度和角度来获取目标的位置及运动方向	定位准确、延时低、不易受到外界条件干扰的问题	需要与目标接触、不灵活、惯性大、工作范围小	适合于小型目标的精确跟踪
磁场式	利用磁场相关参数进行位置和方位跟踪,一般由控制器、磁场发射器和接收器组成。还可以利用地球磁场来定位	不受视线遮挡和噪声影响、刷新率高、延时短、设备体积小、价格低	容易受到环境中磁场或金属物体干扰	适用于室内小范围的精确跟踪和室外大范围跟踪
声学式	利用不同声源发出的超声波到达某一特定地点或者同一声源到达不同地点的时间差、相位差或者声压差进行定位	成本低、抗电磁和光线干扰能力强	存在遮挡问题、刷新率低、延时长、易受环境影响	不适用于实时性要求很高的 AR 系统
光学式	使用感光元件接收发光元件产生的光线来测量目标和光线角度信息,判定目标方位	精度高、不受磁场和噪声干扰、工作范围大、刷新率很高、实时性好	容易受到视线和光线的限制、设备昂贵	一般用于军用系统
GPS	全球定位系统(Global Positioning System),基于空间的卫星定位系统,利用全球 24 颗定位人造卫星提供可靠的三维地理位置信息,包括经度、纬度和海拔	应用广泛	定位精度不高、存在延时问题	适用于户外的大范围跟踪
惯性式	使用惯性传感器进行跟踪注册,主要包括陀螺仪和加速度计。	刷新率高、不受遮挡问题或外界环境干扰、设备轻便、易携带	只能跟踪 3 个自由度的信息,存在漂移现象、误差呈累积状态、精度不高、需要和其他跟踪技术结合使用	适用于移动户外 AR 系统

### 3.1.2 基于机器视觉

基于机器视觉的跟踪注册技术是在计算机视觉和图形图像处理技术的基础上发展起来的,它利用机器视觉的方法直接对视频图像进行处理,在理论上可以达到像素级别的精度,并且不需要昂贵的传感器设备。基于传感器的跟踪注册技术类似于开环系统,而基于机器视觉的跟踪技术则类似于闭环系统,能够动态地纠正产生的误差。由于其成本低廉,原理相对简单,易实现,因此越来越受到研究者的重视,成为研究最活跃的跟踪注册技术。这种技术也有显著的缺点,因为在跟踪注册的过程中必须对采集到的图像中某些特征进行检测,对这些特征还需要进行相关度的计算,所以计算量很大,容易导致跟踪注册的延时,并且稳定性也比不上基于传感器的跟踪注册技术。

根据采集对象的不同,基于机器视觉的跟踪注册技术可分为两类:基于标识的跟踪注册技术和基于自然特征的跟踪注册技术,表 5 对这两类技术进行了比较。

表5 基于机器视觉的跟踪注册比较

技术分类	优点	缺点
基于人工标识	运算复杂度较低、运算速度较高,实时性和准确性较高	破坏场景完整性,效果受遮挡和光照影响较大
基于自然特征	受遮挡和光照影响小	算法复杂、计算量大、实时性不高

#### 3.1.2.1 基于人工标识

基于标识的跟踪注册技术是 AR 系统中最传统的跟踪注册方法之一,因为它具有较低的运算复杂度,较高的运算速度,非常适合资源有限的设备。该技术需要预先在环境中人工添加标识作为跟踪目标,AR 系统通过摄像机捕捉图像视频,并对捕捉的视频图像进行检测,当检测到图像中的人工标识时,提取标记点坐标并计算摄像机姿态,将虚拟信息注册到标识上,输出虚实融合的场景。图 7 列举了一些常用的人工表示图例,图 8 说明了基于人工标识的 MAR 系统的注册过程。

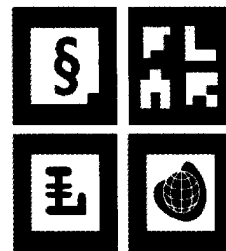


图7 人工标识图例

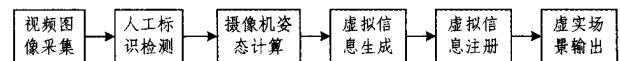


图8 基于人工标识的注册过程

根据标识设计的方式不同,标识识别的方法通常有两种:一种是基于图像匹配的标识识别,一种是基于编码特征的标识识别。前者需要在系统中预置标准标识模板,将检测到的标识信息与标准标识模板进行逐一匹配,选择最佳匹配的模板,获取标识信息。该方法简单易行,适用于标识较少的情况。当标识数量增多时,系统将花费更多的时间进行匹配和计算,影响系统的实时性。后者是按照二进制编码的方式设计标识,提高了可识别标识的数量。该方法通过对标识内部的图形进行解码来识别标识,采用循环冗余码 CRC 等编码校验技术,提高了标识识别的准确性。

表6 基于人工标识的技术比较

标识技术	设计方法	优点	缺点
ARToolKit	基于图像模板匹配的方式设计	具有可读性、应用最广泛	缺乏建立复杂虚拟物体的能力
ARTag	二进制编码方式	标记库容量到达 210 种,提高了标识识别准确性	算法较复杂,硬件资源要求较高、不适用手持设备
Visual Code	类似二维条码的方式	扩大了可识别标识数量	注册位置不够准确
ARTool-KitPlus	BHC 编码技术	可识别标识数量达到 212 种,识别效率较高、适用于手持设备	标识被部分遮挡就会失效

标识的形状通常是有一定规则的平面图形,如正方

形<sup>[61-63]</sup>、三角形<sup>[64]</sup>、圆形<sup>[65]</sup>、条形码<sup>[66]</sup>等,也可以是立体图形,例如立方体<sup>[67]</sup>等。目前比较成熟的 AR 标识技术有 AR-ToolKit<sup>[61]</sup>、ARTag<sup>[62]</sup>、Visual Code<sup>[68]</sup>、ARToolKitPlus<sup>[63]</sup>。北京理工大学的桂振文等人应用近年流行的二维码技术于 MAR 系统当中<sup>[69]</sup>,取得了不错的效果。西安电子科技大学的李聪设计了以 FPGA 为核心的人工标识识别系统<sup>[70]</sup>,完善了 MAR 系统的人工标识识别技术。表 6 对这些技术进行了比较说明。

### 3.1.2.2 基于自然特征

基于标识的视觉注册方法需要预先在环境中添加人工标记,这不仅破坏了真实环境的整体性,而且在各种户外环境下预先添加人工标记本身就是一件不现实的事情。因此基于标识的视觉注册方法并不适用于户外环境,于是研究者开始探索一种脱离标识的视觉注册方法,即基于自然特征的跟踪注册技术。该技术是根据真实场景中的某些自然特征(如点、线、平面或纹理等),提取其基准点,与预存的特征点进行匹配,从而实现跟踪注册。与基于标识的视觉注册技术相比,基于自然特征的方法在光照变化较大和遮挡的情况下具有更高的鲁

棒性,但是相应的图像处理的时间会延长,影响系统实时性。

由于真实场景往往比较复杂,不同的视角、光照条件、相对运动等因素都会对定位产生影响,因此基于自然特征的跟踪注册技术难度比基于标识的要高很多。包括哥伦比亚大学的工程系(CUED)、格拉茨技术大学的计算机图形与视觉研究所(ICG)以及洛桑联邦理工学院的 CVLab 实验室在内的多个研究机构致力于基于视觉传感器的 AR 技术,在基于移动平台的自然特征点跟踪算法的研究上做了大量工作,实现了对目标进行自然特征识别和跟踪注册。早在 1999 年,Neumann 和 You 就在 AR 系统跟踪注册技术中应用了自然特征检测<sup>[71]</sup>。同年 Lowe 提出了 SIFT (Scale-invariant Feature Transform) 算法,并于 2004 年更加深入地进行了完善和发展<sup>[44]</sup>。目前常用的算法还有 Ozuysal 等人提出的 Ferns 算法<sup>[47]</sup>、Bay 等人提出的 SURF (Speeded-up Robust Features) 算法<sup>[46]</sup>、Edward Rosten 和 Tom Drummond 提出的 FAST (Features from Accelerated Segment Test) 算法<sup>[45]</sup>以及 Leutenegger 等人提出的 BRISK (Binary Robust Invariant Scalable keypoints) 算法<sup>[72]</sup>等。在表 7 中对这些算法进行了比较。

表 7 基于自然特征识别的跟踪注册算法比较

算法	提出者	特点	优点	缺点
SIFT	Lowe	基于尺度空间的特征匹配算法	高鲁棒性,高独特性,尺度、旋转、光照、仿射	运算量大,实时性较差,不适用于移动 AR 系统
FAST	Edward 等	基于圆形边缘像素测试方法的非尺度空间算法	运行速度快,精度高,抗噪能力强,仿射、旋转不变性	尺度光照变化适应性较低;特征点匹配率较低
SURF	Herbert Bay	借鉴 SIFT 的思想,使用了积分图像的概念	平移、旋转、缩放不变性,速度快,鲁棒性好,实时性好	计算复杂度,在移动终端应用效果不理想
Ferns	Ozuysal 等	基于分类器的图像点特征匹配算法	准确度高,匹配速度快,实时性高	计算空间复杂度,对内存要求大
SLAM	Davison 等	不需要预先存储特征信息	实时性好;适用范围广	无法处理动态环境中的跟踪;计算复杂度
PTAM	Klein 等	随着摄像头的移动实时增减特征点的个数	高鲁棒性和实时性	只能处理小尺度场景
BRIEF	Michael Calonder 等	基于 Ferns 算法,对图像中少量的像素点进行比较分类	效率高,高识别率;描述符占用内存较少	不具备旋转不变性,对噪声敏感,不具备尺度不变性
BRISK	Leutenegger 等	关键点附近采样模式,最大化描述符的辨别性	高鲁棒性、速度快,旋转和尺度不变性和对噪声的鲁棒性	只考虑灰度图像,缺失了颜色信息,容易产生误匹配的问题
Freak	Alahi 等	模拟人视网膜成像规律对关键点附近进行采样	提高了描述符的计算速度	对鲁棒性做出了一定程度的牺牲

无标记跟踪是自然特征识别的典型特点,文献<sup>[73]</sup>提出了一个基于关键帧的全球定位理论,称构造了一个“最优化”的关键帧参考模型,对真实世界有着近似完全的覆盖率并最大化地减少了信息冗余量,可以离线使用,也支持在线增强跟踪能力。SLAM 算法由于在机器人领域有重要的应用而得到广泛研究。文献<sup>[74]</sup>提出了一种用于手持设备的应用系统,利用现在流行的双核处理器对算法的定位和建图两个过程进行平行处理,达到了良好的效果。真实场景一般也是动态的,对于动态场景的处理也是一大研究热点。文献<sup>[75]</sup>提出一个导航系统,可以在手持设备上实现自然场景中的运动估算,而不用预知场景和运动信息。文献<sup>[76]</sup>提出了基于构造运动点云的快速定位技术。而文献<sup>[77]</sup>则设计了一个实时的单眼 SLAM 系统,可以良好地应用于动态场景。

基于自然特征的视觉识别由于与真实场景的融合而逐渐成为了研究的主流。

### 3.1.3 基于无线网络

现在主流的移动终端大都配备了多种无线网络通讯接口,MAR 系统可以利用无线网络进行定位。通过对无线电波的传输时间、幅度、相位和到达角等参数的测量,MAR 系

统可以根据特定的算法来判断被测物体的位置。比如 WIFI,其协议提供了 RSSI (Received Signal Strength Indication) 定位功能。基于 RSSI 进行定位的系统最明显的优势是不需要增加额外的传感器设备,只需要使用无线传输中的通讯参数配合下载的用于位置计算的无线地图就可以完成。Peternier 在 2006 年开发了一个基于 WIFI 定位的 MAR 系统<sup>[78]</sup>,用于往 PDA 中添加虚拟文字 3D 信息。近年来基于 RSSI 的位置估计得到发展,精确性越来越高,技术也越来越成熟。

另一种定位方式是利用全球移动通讯系统 (Global System for Mobile Communications, GSM) 手机的三角信号技术进行定位,这种定位技术的精度在不同地区会有很大的差别。随着第三代技术通用移动通信系统 (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) 的发展,这种技术的定位精度也会随之提高。

总的来说基于无线网络的跟踪注册技术定位准确度不高,一般用于室内 MAR 系统。

### 3.1.4 混合跟踪注册技术

目前现有的任何一种跟踪注册技术的单独应用都无法满足 AR 系统的所有要求,各自都有不同的优缺点和适用领域,

比如基于硬件传感器的跟踪注册技术需要昂贵的设备,基于标识识别的跟踪注册技术会影响真实环境的一致性,而基于自然特征识别的跟踪注册技术计算量大、实时性较差,因此混合跟踪注册技术便应运而生。混合跟踪注册技术是指在一个 AR 系统中采用了两种或两种以上的跟踪注册技术,用以实现各个技术的优势互补,提高跟踪注册性能。

混合跟踪注册技术可以根据需要灵活组合各种不同的跟踪注册技术,常用的有声学式和惯性式跟踪注册技术相结合、光学式和惯性式跟踪注册技术相结合、机器视觉和惯性式跟踪注册技术相结合、机器视觉和电磁式跟踪注册技术相结合、机器视觉和 GPS 跟踪注册技术相结合等。Hirota 等人研究了磁场传感器和机器视觉相结合的跟踪注册技术,并进行了应用<sup>[79]</sup>。Azuma 等人提出了一种应用 GPS、惯性传感器和机器视觉的户外 AR 系统<sup>[80]</sup>。北京理工大学的张钰等人在 AR 浏览器中加入 GPS 技术配合视觉识别,实现了场景的高精度定位<sup>[81]</sup>。而文献[82,83]对视觉辅助的惯性导航系统提出了有意义的改进策略,并得到了良好的实验效果。

由于混合跟踪注册技术能够对不同技术进行扬长避短的组合适应用,因此成为了当今 AR 技术的主流和发展趋势。

### 3.2 显示技术

AR 系统虚实融合的最终效果是通过视觉通道实现的,大部分都是通过用户的眼睛传达给用户,因此显示技术是 AR 的一项关键技术。虚拟物体和真实环境是否能准确的融合取决于 3 点:(1)虚拟物体的建模是否逼真;(2)虚拟物体之间的遮挡关系是否正确;(3)真实环境之中的光照影响。

随着计算机软硬件技术的发展,AR 系统的显示设备也不断地变化着,从最初笨重的头盔显示器到如今轻便的智能手机,显示设备一直朝着更加便携式和人性化的方向发展。传统的 MAR 系统由背负式笔记本电脑和头盔显示器组成。1968 年,Ivan Sutherland 教授研制出了世界上第一台光学透视式头盔显示器<sup>[82]</sup>,该设备可以实时地将计算机生成的简单的图形叠加到真实场景中。头盔显示器可以提供最佳的融合效果和良好的沉浸感;笔记本电脑可以提供可靠的处理能力。但是其缺点也是显而易见的:笨重的设备带来了适用者沉重的负担,这也限制了其进一步的推广。

随着 PDA、智能手机的发展,研究者逐渐把目光移向了这些手持式智能设备,MAR 系统的发展也迎来了新的春天。Wanger 博士提出 MAR 系统的下一代研究将会把注意力转向小巧的、计算能力较强的手持式设备上<sup>[7]</sup>。手持设备(Handheld display)显示器克服了头盔显示器的不足,允许用户手持显示设备,消除了佩戴头盔显示器的不舒适感,但同时也减弱了沉浸感。NaviCam 第一个使用视觉穿透式手持设备(See Through HMD Display)进行显示的 AR 系统,它使用一块 LCD 显示屏显示虚实结合的场景<sup>[84]</sup>。2014 年,谷歌公司发布了智能眼镜(Google Glass),展示了向穿戴式设备发展的新方向。

目前显示设备主要有头盔显示器、手持式显示器、投影显示设备和视网膜显示等,表 8 对这些显示器做了比较。

为了达到虚实场景的无缝融合,让用户对虚拟对象具有真实感,虚实物体的光照一致性和遮挡的处理是比较重要的研究问题。光照一致性是指根据真实环境的光照分部和虚拟物体的表面材质计算虚拟物体表面的光照效果以及相应的虚实阴影效果。遮挡问题则是虚实物体的相对位置,错误的位

置会破坏用户的真实感。文献[85]提出了一种基于视频图像剪切库光照融合方式。而文献[86]则研究了全局光照对材质表面效果的影响。早在 1995 年,Matthias 就提出利用视频图像匹配算法来处理 AR 系统的遮挡问题<sup>[87]</sup>。文献[88]针对静态背景中的动态遮挡关系进行了研究。文献[89]把研究重点放在了虚实物体遮挡关系的表现上。文献[90]更是从心理学的角度建立了距离和深度的线性关系。

表 8 显示技术的比较

显示器类型	优点	缺点
头盔显示器	最佳的视觉效果;完全沉浸;不存在视点偏差;解放用户双手	体积较大,佩戴不便;造价较高;移动用户长时间使用会有不适感
手持显示器	便携性好;配有多传感器;应用范围广泛;普及率高	屏幕小;沉浸感不强;占用用户双手
投影现实设备	良好的沉浸感;视野开阔;失真度低、稳定性高	受环境限制,适用于室内
视网膜显示	体积小巧、重量轻;亮度高、显示效果逼真	显示区域小

### 3.3 交互技术

交互操作是用户与 AR 系统进行沟通的渠道,良好的交互可以使系统按照人的需要去运行,方便用户从中获取所需要的信息。由于长期以来人与计算机的交互一直是以机器为中心的,用户需要去适应机器的交互接口,这种方式并不人性化,不适用于 AR 系统。随着虚拟现实技术、人工智能的发展,人机交互出现了全新的方式,运用各种感官设备和传感器识别技术,使用户和虚拟环境之间的交互更加贴近真实世界的交互。目前常用的交互方式主要有基于硬件设备、基于软件界面和基于模式识别的交互技术。

(1)基于硬件设备的交互技术。硬件设备一般是指键盘、鼠标、数据手套等输入设备,通过这些硬件实现用户对 AR 系统的指令输入,AR 系统完成相应的操作,从而实现用户与虚拟场景的交互。这是比较传统的交互方式,一般适用于桌面级的 AR 系统。

(2)基于软件界面的交互技术。软件界面是指人机界面,是用户与 AR 系统之间进行信息交换和指令选择的界面。当今越来越流行的触控屏技术就是典型的软件界面交互。由于当前的 MAR 系统大部分集中在 PDA、智能手机等手持式设备上,因此触摸屏技术逐渐成为主流的交互方式。它具有坚固耐用、反应速度快、节省空间、易于交流等优点,是目前最简单、方便、自然的输入设备。

(3)基于模式识别的交互技术。模式识别是人工智能的一项基本技术,是对图像、声音等各种媒体信息进行信息处理、分类和理解的方法。MAR 系统用到的模式识别技术包括图形图像识别、语音识别和动作识别等技术,使用户和虚拟环境的交互更加智能和便捷。

### 3.4 体系结构

早期 AR 系统是以桌面 PC 机或是工作站为运行平台,所以不存在明显的体系结构的差别。随着 MAR 技术的发展,由于移动平台的运算能力和存储空间都较为有限,因此出现了由客户端-服务器(C/S)模式向完全依赖移动终端的本地化模式的发展。

早期的 MAR 系统往往采取的是“瘦客户端-服务器”的结构,因为 PC 机或工作站拥有强大的计算能力和图形处理能力,因此以智能手机、PDA 等为代表的移动设备仅仅是作为真实场景图像的获取和增强场景的显示的工具。智能设备

通过摄像头或传感器获得相应的数据信息,然后将这些信息通过网络传输给远程服务器,在服务器端对各种数据进行处理,完成定位、姿态估算、数据匹配和虚拟场景渲染等处理,最后把生成的虚实融合的场景信息回传给智能设备,显示给用户,如图9所示。

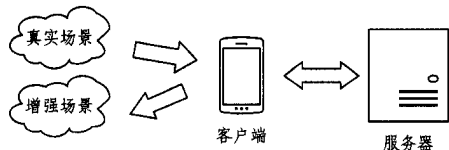


图9 “瘦客户端-服务器”的结构示意图

这样做的优点是可以克服移动设备软件或硬件资源不足导致的限制问题,缺点是过分依赖网络,而且大量数据的传输导致实时性会受到影响,有数据延迟的现象。西门子公司研究院在2003年开发的AR-Phone项目就是典型的C/S架构的系统<sup>[91]</sup>。该系统通过蓝牙将手机拍摄的图片传输给PC机服务器,由服务器对图片进行一系列算法处理,最后把虚拟信息进行叠加并传输回给手机显示。该系统只对单一图片进行增强,受限于手机网络通信和手机视频处理速度,响应时间需要2~16s,延时过长,实用价值不高。

随着智能手机的应用普及,手机芯片的处理能力不断增强,手机存储空间不断增加,并且越来越多的开发者开始针对移动平台改进传统的跟踪注册算法,移动端开始分担一些服务器端的任务,进行一些力所能及的处理任务。如文献<sup>[92]</sup>的系统中,服务器完成图像的匹配后,由手机完成渲染和显示这部分的处理。文献<sup>[93]</sup>是由移动端完成精确目标识别和渲染,服务器端只需进行目标的粗略识别。由于在服务器端拥有强大的运算能力和存储空间,移动端将适量的信息传输给服务器端处理,对网络通讯的要求有所下降,使实时性得到提高,因此目前大多的MAR系统都采用这种体系结构。

完全在移动端运行意味着事务逻辑和数据存储要全部在本地实现,不与服务器进行通讯。包豪斯大学设计的Phone Guide系统就是在手机端进行识别的系统<sup>[94]</sup>。该系统用于博物馆展品导览,通过定位设备如蓝牙进行定位,可以对博物馆内的展品进行识别。由于受手机端信息存储量的限制,该系统能够识别的物品数量有限,还处于实验室阶段。2009年,牛津大学提出了在手机上对未知环境进行实时跟踪并三位重建的思想<sup>[41]</sup>。该系统独立运行于iPhone手机,目标的跟踪识别和虚拟信息的渲染都在手机端完成,完全摆脱了服务器,这是MAR领域的一次重要革新。

## 4 面临的问题(Confronting problems)

### 4.1 智能设备硬件的制约

虽然目前运行于移动终端的MAR系统已经取得了长足的发展,尤其是智能手机的迅速普及为MAR技术提供了前所未有的发展平台,但是移动终端的性能还是无法和PC机相抗衡。图形图像处理、存储空间、屏幕尺寸、浮点运算单元等都是制约MAR技术发展的因素。另外还有一个关键难题是电池的限制。移动终端尤其是智能手机现在已经能够配备性能强劲的处理芯片,在移动端运行跟踪注册算法和图像渲染技术会大大增加耗电量,而当前的电池技术还不足以应对这样的挑战,所以电池技术的瓶颈也是限制MAR技术发展的重要原因之一。

### 4.2 移动平台算法的限制

目前主流的各种算法均是基于PC机的AR技术,简单的算法移植并不适用于MAR技术的要求。移动终端因为自身硬件的限制,需要算法拥有较低运算能力的要求,较少存储空间的占用和较高的运算速度。当前大部分MAR系统会根据移动端性能和系统特点优化各种经典算法来保证系统的流畅运行,这只能部分解决移动端的问题,还是会存在一些缺陷。完全针对移动端的算法还处在不断研制的阶段,缺乏成熟的解决办法。

### 4.3 显示方式的单一

传统的头盔显示器拥有良好的沉浸感,但是存在体积笨重佩戴不便的缺点;现在流行的移动终端具有良好的便携性,但是过小的屏幕又影响了显示的效果。显示设备沉浸感和便携性的取舍一直是研究者面临的问题,2014年谷歌公司发布的谷歌眼镜(Project Glass)在沉浸感和便携性方面取得了重大的突破,体现出了可穿戴式设备在MAR领域的广阔前景。但是由于谷歌眼镜的固有的体积制约,其自身的处理能力有限,作为显示设备需要有可靠的网络和强劲的服务器支持。

### 4.4 无线网络的局限

由于移动设备自身的局限性,完全采用本地化体系结构的MAR系统并不多见且功能有限,由服务器端来分担计算负载仍是将来大部分MAR系统的选择,这就对可靠的无线网络提出了要求。当前主要的无线网络可分为无线局域网(WLAN)、无线广域网(WWAN)、无线社区区域网络(WMAN)和无线个人区域网络(WPAN),常用的网络有GSM、WiFi、3G网路、蓝牙等。虽然近年来无线网络得到了长足的发展,在带宽、速率、稳定性等方面取得了很大的提高,但是距离MAR系统要求的实时性、低延时还有一定的距离。当前最新发展的4G网络拥有更高的速率和稳定的带宽,为MAR技术的发展提供了全新的支持。

**结束语** 本文在充分调研和深入分析的基础上,对MAR系统的研究进展进行了综述,梳理了国内外的研究机构、研究特点以及相关资源,并重点介绍了所涉及的理论与技术,为此领域研究获得更大突破奠定必要的基础。在此基础上,提出了制约MAR系统发展的硬件因素、算法因素、技术因素和网络因素,是未来MAR系统发展需要克服的重要内容。MAR技术由于其独特的魅力,越来越成为各个机构研究的热点前沿领域,也是AR技术的主要研究方向。随着互联网技术的飞速发展,MAR技术必会在未来的生活中扮演重要的角色。

## 参考文献

- [1] Caudell T. AR at boeing[EB/OL]. 2002-07-10[2014-11-02]. <http://www.idemployee.id.tue.nl/g.w.m.rauterberg/presentations/hci-history/sld096.htm>
- [2] Weiser M. The computer for the 21st century[J]. Scientific American, 1991, 265(3): 94-104
- [3] Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 1994, 77(12): 1321-1329
- [4] Azuma R T. A survey of augmented reality[J]. Presence, 1997, 6(4): 355-385
- [5] Furht B. Handbook of augmented reality[M]. New York, USA: Springer, 2011: 3-46



- [6] Madden L. Professional augmented reality browsers for smart-phones; programming for junaio, layar and wikitude[M]. USA: John Wiley & Sons Inc, 2011
- [7] Wagner D. Handheld augmented reality[D]. Graz, Austria; Graz University of Technology, 2007
- [8] Sutherland I E. A head-mounted three dimensional display[C]// Proceedings of the 1968 Fall Joint Computer Conference (Part 1), 1968. NY, USA; ACM, 1968; 757-764
- [9] Feiner S, MacIntyre B, Hollerer T, et al. A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment[C]// Proceedings of The First International Symposium on Wearable Computers, 1997. Cambridge, MA, USA; IEEE, 1997; 74-81
- [10] Hollerer T, Feiner S, Terauchi T, et al. Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system[J]. Computers & Graphics, 1999, 23(6): 779-785
- [11] Thomas B, Close B, Donoghue J, et al. ARQuake: An outdoor/indoor augmented reality first person application[C]// Proceedings of The Fourth International Symposium on Wearable Computers, 2000. Atlanta, GA, USA; IEEE, 2000; 139-146
- [12] Cheok A D, Fong S W, Goh K H, et al. Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003; 209-223
- [13] Geiger C, Kleinnjohann B, Reimann C, et al. Mobile AR4ALL [C]// Proceedings of the 2001 IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2001. New York, USA: IEEE, 2001; 181-182
- [14] Wagner D, Schmalstieg D. First steps towards handheld augmented reality[C]// Proceedings of The Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2005. White Plains, NY, USA; IEEE, 2005; 127-135
- [15] Mohring M, Lessig C, Bimber O. Video see-through AR on consumer cell-phones[C]// Proceedings of the 3rd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004. Washington, DC, USA; IEEE, 2004; 252-253
- [16] 哈涌刚, 周雅, 王涌天, 等. 用于增强现实的头盔显示器的设计[J]. 光学技术, 2000, 26(4): 350-353
- [17] 周雅, 闫达远, 王涌天, 等. 一种增强现实系统的三维注册方法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(5): 430-433
- [18] 陈靖. 视频增强现实系统及其核心技术的研发[D]. 北京: 北京理工大学, 2002
- [19] 周雅, 晏磊, 赵虎, 等. 增强现实系统光照模型建立研究[J]. 中国图象图形学报(A辑), 2004, 9(8): 968-971
- [20] 倪剑, 闫达远, 周雅, 等. 增强现实系统中的深度检测技术研究[J]. 计算机应用, 2006, 26(1): 132-134, 137
- [21] 徐维鹏, 王涌天, 刘越, 等. 增强现实中的虚实遮挡处理综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(11): 1635-1642
- [22] 林惊, 杨珂, 王涌天, 等. 移动增强现实系统的关键技术研究[J]. 中国图象图形学报(A辑), 2009, 14(3): 560-564
- [23] 孙源, 陈靖. 智能手机的移动增强现实技术研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(Z6): 493-498
- [24] 杨孟洲, 潘志庚, 石教英. 分布式虚拟现实系统体系结构[J]. 计算机应用研究, 2000, 17(7): 1-3, 22
- [25] 阮秋琦. 基于LAN的计算机视觉与虚拟现实集成模型研究[J]. 计算机学报, 2001, 24(3): 247-253
- [26] 明德烈, 柳健, 田金文. 仿射变换在增强现实中的应用[C]//第一届全国虚拟现实与可视化学术会议(CCVRV'01), 2001. 北京: 中国系统仿真学会, 2001; 286-289
- [27] Newman J, Ingram D, Hopper A. Augmented reality in a wide area sentient environment[C]// Proceedings of the 2001 IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2001. New York, USA; IEEE, 2001; 77-86
- [28] Piekarski W, Thomas B H. Augmented reality working planes: A foundation for action and construction at a distance[C]// Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004. Arlington, VA, USA: IEEE, 2004; 162-171
- [29] Henrysson A, Billinghurst M, Ollila M. Face to face collaborative AR on mobile phones[C]// Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2005. Vienna, Austria; IEEE, 2005; 80-89
- [30] Olwal A. Lightsense: Enabling spatially aware handheld interaction devices[C]// Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006. Santa Barbara, CA, USA; IEEE, 2006; 119-122
- [31] Bruns E, Brombach B, Zeidler T, et al. Enabling Mobile Phones To Support Large-Scale Museum Guidance [J]. MultiMedia, IEEE, 2007, 14(2): 16-25
- [32] Sareika M, Schmalstieg D. Urban sketcher: Mixed reality on site for urban planning and architecture[C]// Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007; 1-4
- [33] Lee S H, Choi J, Park J I. Interactive e-learning system using pattern recognition and augmented reality[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(2): 883-890
- [34] Shatte A, Holdsworth J, Lee I. Mobile augmented reality based context-aware library management system[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2174-2185
- [35] Kim Y, Kim W. Implementation of Augmented Reality System for Smartphone Advertisements [J]. International Journal of Multimedia & Ubiquitous Engineering, 2014, 9(2): 385-392
- [36] 陈靖, 王涌天, 林惊. 增强现实技术在 PDA 上的应用[J]. 光学技术, 2007, 33(1): 52-55
- [37] 隋毅. 基于手持设备的增强现实技术研究与应用[D]. 青岛: 青岛大学, 2009
- [38] 张运超, 陈靖, 王涌天, 等. 基于移动增强现实的智慧城市导览[J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(2): 302-310
- [39] 李舫. 基于平板电脑的增强现实系统[J]. 上海电力学院学报, 2014, 30(2): 165-168, 175
- [40] 王璞. 移动增强现实技术在图书馆中的应用研究[J]. 图书与情报, 2014(1): 96-100
- [41] Klein G, Murray D. Parallel Tracking and Mapping on a camera phone: Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2009[C]// Washington, USA: IEEE, 2009; 83-86
- [42] Wagner D, Schmalstieg D. ARToolKit on the PocketPC platform [C]// Proceedings of the 2003 IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003. Washington, USA: IEEE, 2003; 14-15
- [43] Reif R, Günthner W A, Schwerdtfeger B, et al. Evaluation of an augmented reality supported picking system under practical conditions[J]. Computer Graphics Forum, 2010, 29(1): 2-12
- [44] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110

- [45] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection[C]//Proceedings of the 9th European conference on Computer Vision, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2006:430-443
- [46] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. Surf: Speeded up robust features[C]//Proceedings of the 9th European conference on Computer Vision, 2006. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2006:404-417
- [47] Ozuysal M, Fua P, Lepetit V. Fast Keypoint Recognition in Ten Lines of Code[C]//Proceedings of the 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007. Minneapolis, MN, USA; IEEE, 2007:1-8
- [48] Livingston M A, Ai Z. The effect of registration error on tracking distant augmented objects[C]//Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008. Cambridge, UK; IEEE, 2008:77-86
- [49] Arth C, Wagner D, Klopschitz M, et al. Wide area localization on mobile phones[C]//Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2009. Orlando, FL, USA; IEEE, 2009:73-82
- [50] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R Y. BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints[C]//Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Vision, 2011. Barcelona, ESP; IEEE, 2011:2548-2555
- [51] Rafiq A, Ahsan B. Secure and Dynamic Model for Book Searching on Cloud Computing as Mobile Augmented Reality[J]. International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS), 2014, 6(1):72-76
- [52] Makar M, Chandrasekhar V, Tsai S S, et al. Interframe Coding of Feature Descriptors for Mobile Augmented Reality[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(8):3352-3367
- [53] 熊怡, 李利军. 基于计算机视觉的虚实场景合成方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(11):2838-2840
- [54] 周锋. 基于区域分析的指尖检测算法的研究及在增强现实中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2014(4):119-120
- [55] 郭训力, 俞扬. 一种基于肤色和深度的第一人称人手识别方法[J]. 计算机工程与应用, 2014(12):133-136
- [56] Azuma R, Neely H, Daily M, et al. Performance analysis of an outdoor augmented reality tracking system that relies upon a few mobile beacons[C]//Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2006. Santa Barbara, CA, USA; IEEE, 2006:101-104
- [57] Klinker G, Reicher T, Brugge B. Distributed user tracking concepts for augmented reality applications[C]//Proceedings of the 2000 IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2000. Munich, Germany; IEEE, 2000:37-44
- [58] Rashid O, Bamford W, Coulton P, et al. PAC-LAN: mixed-reality gaming with RFID-enabled mobile phones[J]. Computers in Entertainment (CIE), 2006, 4(4):1-17
- [59] 徐彤, 王涌天, 阎达远. 用于虚拟现实的六自由度电磁跟踪系统[J]. 北京理工大学学报, 2000, 20(5):544-549
- [60] Rolland J P, Davis L, Baillot Y. A survey of tracking technology for virtual environments[J]. Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, 2001, 1:67-112
- [61] Kato H. ARToolKit: library for Vision-Based augmented reality[J]. IEICE, PRMU, 2002, 101(652):79-86
- [62] Artag F M. An improved marker system based on artoolkit[R]. Canada: National Research Council Canada, 2004
- [63] Wagner D, Schmalstieg D. Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices[C]//Proceedings of 12th Computer vision winter workshop, 2007. St. Lambrecht, Austria: Graz University of Technology, 2007:139-146
- [64] 安乐祥. 增强现实中虚拟物体注册方法的研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2012
- [65] Hoff W A, Nguyen K, Lyon T. Computer-vision-based registration techniques for augmented reality[C]//Proceedings of Intelligent Robots and Computer Vision XV, 1996. San Francisco, California, USA; SPIE, 1996:538-548
- [66] 翟亮亮, 王涌天, 杨健, 等. 基于 ARcode 的移动增强现实系统研究[J]. 计算机工程, 2012, 38(10):247-249
- [67] 刘经纬. 增强现实中基于三维标志物的跟踪技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011
- [68] Rohs M. Visual code widgets for marker-based interaction[C]//Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (Columbus), 2005. Ohio, USA; IEEE, 2005:506-513
- [69] 桂振文, 王涌天, 刘越, 等. 二维码在移动增强现实中的应用研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(1):34-39
- [70] 李聪. 基于 FPGA 的增强现实人工标识识别[J]. 电子科技, 2014, 27(5):119-122
- [71] Neumann U, You S. Natural feature tracking for augmented reality[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 1999(1):53-64
- [72] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R Y. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints[C]//Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Vision, 2011. Barcelona; IEEE, 2011:2548-2555
- [73] Dong Z, Zhang G, Jia J, et al. Efficient keyframe-based real-time camera tracking[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2014, 30(2):97-110
- [74] Klein G, Murray D. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces[C]//Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. Nara, Japan; IEEE Computer Society, 2007:225-234
- [75] Nister D, Naroditsky O, Bergen J. Visual odometry: Computer Vision and Pattern Recognition[C]//Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on, 2004 (CVPR 2004). IEEE, 2004:652-659
- [76] Irschara A, Zach C, Frahm J M, et al. From structure-from-motion point clouds to fast location recognition[C]//IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR, 2009:2599-2606
- [77] Tan W, Liu H, Dong Z, et al. Robust monocular SLAM in dynamic environments[C]//013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2013. Adelaide, SA; IEEE, 2013:209-218
- [78] Peternier A, Vexo F, Thalmann D. Wearable mixed reality system in less than 1 pound[C]//Proceedings of the 12th Eurographics conference on Virtual Environments, 2006. Lisbon, Portugal; OAI, 2006:35-44
- [79] State A, Hirota G, Chen D T, et al. Superior augmented reality registration by integrating landmark tracking and magnetic tracking[C]//Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1996. New York, USA; ACM, 1996:429-438

## 5)耗电量

监测程序运行十分钟的耗电量为电池总电量的0.144%,其中检测手机电池容量为1930mAh,可见程序的耗电量非常低。

**结束语** 随着传感器的发展和普及,基于传感器的应用层出不穷,基于多传感器的移动物体轨迹识别是众多应用中很重要同时也是很有发展前景的一种方法。本文基于加速度传感器和姿态传感器提出了一种移动物体行动轨迹的实时捕捉方法,其在保证准确性的同时降低了对设备的要求,同时具有较好的实时性。但是该方法仍有很大的改进空间,如显示界面有待美化;功能比较单一,基础捕捉的轨迹可以开发一些有趣的应用;对于算法的识别准确性可以进一步的提高;由于移动终端内存有限,可以通过移动终端和PC通信,把处理的权限转移到功能更加强大的PC机上。

## 参考文献

- [1] Wang J S, Chuang F C. An Accelerometer-Based Digital Pen with a Trajectory Recognition Algorithm for Handwritten Digit and Gesture Recognition [J]. IEEE Transactions On Industrial Electronics, 2012, 59(8): 2998-3007
- [2] Wang L, Cheng J. Object Tracking and Trajectory Recognition Using Improved CAMSHIFT and Hidden Markov Model [J]. Automatic Control and Artificial Intelligence International Conference. IEEE, 2012; 1451-1454
- [3] Xu R, Zhou S L, Li W. MEMS Accelerometer Based Nonspecific User Hand Gesture Recognition [J]. IEEE Sensors Journal, 2012, 12(5): 1166-1173
- [4] Alk A, Chen F, Valaee S. A Novel Accelerometer-Based Gesture Recognition System [J]. IEEE Transactions On Signal Processing, 2011, 59(12): 6197-6205
- [5] Yun L, Zhang J X, Xing J G. Video object tracking based on position prediction guide CAMSHIFT[C]//ICACTE; Proceedings of the 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering. New York: ACM Press, 2010; 159-164
- [6] Yang J Y, Li Y F, Wang K Y. A New Descriptor for 3D Trajectory Recognition via Modified CDTW [R]. Hong Kong and Macau, 2010
- [7] 百度百科. 加速传感器[EB/OL]. (2013-05-07)[2013-06-25]. <http://baike.baidu.com/view/3506030.htm>
- [8] 百度百科. 姿态传感器[EB/OL]. (2012-04-23)[2013-06-25]. <http://baike.baidu.com/view/3843821.htm>
- [9] eoe 移动开发者社区. 姿态传感器[EB/OL]. (2011-07-19)[2013-06-25]. <http://www.eoeandroid.com/thread-90317-1-1.html>
- [10] 赵圣占, 谷阳阳. 基于加权移动平均的遥测数据量化误差修正方法[J]. 仪器仪表用户, 2011, 18(4): 94-96
- [11] 孟凡荣, 庄朋, 闫秋艳. 基于加权移动平均的数据流预测模型[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(10): 3680-3682, 3686
- [12] 张延龙, 王俊勇. 多传感器数据融合技术概述[J]. 舰船电子工程, 2012, 33(2): 41-44
- [13] 程展传. 基于 Android 平台的传感器技术应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011; 50-53
- [14] 吴亚峰, 于复兴. Android 应用开发完全自学手册——核心技术、传感器、2D/3D、多媒体与典型案例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012; 251-252
- [80] Azuma R T, Hoff B R, Neely III H E, et al. Making augmented reality work outdoors requires hybrid tracking[C]//Proceedings of the First International Workshop on Augmented Reality, 1998. New York, USA; IEEE, 1998; 219-224
- [81] 张钰, 陈靖, 王涌天, 等. 增强现实浏览器的密集热点定位与显示[J]. 计算机应用, 2014, 34(5): 1435-1438, 1462
- [82] Hesch J A, Kottas D G, Bowman S L, et al. Consistency Analysis and Improvement of Vision-aided Inertial Navigation[J]. Robotics IEEE Transactions on, 2014, 30(1): 158-176
- [83] Hesch J A, Kottas D G, Bowman S L, et al. Camera-IMU-based localization; Observability analysis and consistency improvement [J]. International Journal of Robotics Research, 2014, 33(1): 182-201
- [84] Rekimoto J, Nagao K. The world through the computer; Computer augmented interaction with real world environments[C]//Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology, 1995. New York, USA: ACM, 1995; 29-36
- [85] Lalonde J F, Efron A A, Narasimhan S G. Webcam clip art; Appearance and illuminant transfer from time-lapse sequences[J]. ACM Transactions on Graphics(TOG), 2009, 28(5): 131
- [86] Krivánek J, Ferwerda J A, Bala K. Effects of global illumination approximations on material appearance[C]//ACM Transactions on Graphics(TOG), 2010. NY, USA; ACM, 2010, 29(4): 112
- [87] Wloka M M, Anderson B G. Resolving occlusion in augmented reality[C]//Proceedings of the 1995 symposium on Interactive 3D graphics, 1995. NY, USA; ACM, 1995; 5-12
- [88] Fischer J, Regenbrecht H, Baratoff G. Detecting dynamic occlusion in front of static backgrounds for AR scenes[C]//Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003. NY, USA; ACM, 2003; 153-161
- [89] Livingston M A, Swan II J E, Gabbard J L, et al. Resolving multiple occluded layers in augmented reality[C]//Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. DC, USA; IEEE Computer Society, 2003; 56
- [90] Fortin P A, Hebert P. Handling occlusions in real-time augmented reality; dealing with movable real and virtual objects[C]//The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision, 2006. IEEE, 2006; 54-54
- [91] Assad M, Carmichael D J, Cutting D, et al. AR phone; Accessible augmented reality in the intelligent environment[C]//Proceedings of OZCHI2003, 2003. Brisbane, Australia; University of Queensland, 2003; 232-237
- [92] Hakkarainen M, Woodward C, Billinghurst M. Augmented assembly using a mobile phone[C]//Proceedings of the 7th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008. New York, USA; IEEE, 2008; 167-168
- [93] Hile H, Borriello G. Information overlay for camera phones in indoor environments[C]//Proceedings of the Location and Context-Awareness, Third International Symposium, 2007. Heidelberg, Berlin, Germany; Springer, 2007; 68-84
- [94] Bruns E, Brombach B, Zeidler T, et al. Enabling mobile phones to support large-scale museum guidance[J]. IEEE Multimedia, 2007, 14(2): 16-25

(上接第 519 页)