

# 智能手机的移动增强现实技术研究

孙 源 陈 靖

(北京理工大学光电学院 北京 100081)

**摘 要** 随着增强现实技术的快速发展以及智能手机技术的革新,移动增强现实(M-AR)技术得以脱离体积庞大的 PC 机设备的限制,使其向户外和无线化发展成为可能,并由此推动了增强现实技术在智能手机上的应用。针对智能手机的移动增强现实技术在应用发展中所要解决的问题,进行了分析和探讨,较为系统地阐述了该领域最新的发展状况,并展望了该技术未来的发展前景。

**关键词** 增强现实,智能手机,目标识别

中图分类号 TP391 文献标识码 A

## Mobile Augmented Reality Technology Applied on Mobile Phone Platform

SUN Yuan CHEN Jing

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract** The mobile phone provides a perfect interface platform which can make augmented reality system extricate itself from the heavily personal computer and bring augmented reality(AR) to the outdoor and wireless application fields. In this paper, the newly research progress was introduced in detail. Meanwhile the key technical problems, technical challenging and the future research work were also analyzed.

**Keywords** Augmented reality, Mobile phone, Recognition

增强现实技术(Augmented Reality technique,简称 AR 技术)是在虚拟现实技术基础上发展起来的一种新兴技术。它借助计算机视觉技术、传感器技术和可视化技术、交互技术等将计算机生成的虚拟图像或其它信息有机地叠加到用户所看到的真实世界的场景中,包括视觉、听觉、嗅觉、触觉信息等,从而达到超越现实的感官体验。该技术在医疗研究、精密仪器制造与维修、军事和娱乐等领域都有着广泛和深远的应用前景。

早期的 AR 系统采用台式计算机或大型工作站作为系统的运行平台,这大大限制了用户的运动范围,无法应用于户外环境。1991 年,Mark 提出“无处不在的计算(ubiquitous computing)”这一概念<sup>[1]</sup>,其将 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。目前,随着移动计算设备和网络技术的快速发展,以及智能手机技术的革新,在手机上更完美地实现 M-AR 成为了当前的研究热点。

### 1 手机移动增强现实技术及其应用的最新发展状况

在国内外,手机移动增强现实(M-AR)技术方面的研究是当前的热点。诸如浙江大学、华中科技大学、北京理工大学、Graz University of Technology、University of Oxford、Harvard university、University of Cambridge、东京大学等高校机构以及美国高通公司、日本索尼公司、德国西门子公司等

公司企业已开展这方面的研究。

2009 年,奥地利的 Graz University of Technology 提出一种快速有效的方法,即从一副手机内置摄像头获取的图片来定位手机使用者的 6 自由度姿态<sup>[2]</sup>。本系统可分为两部分:离线数据获取和在线定位。在离线部分,使用 PVS(Potentially Visible Sets)快速有效地管理全局地理信息,为在手机端进行的在线定位部分提供数据,从而确定手机内置摄像机的姿态,如图 1 所示。

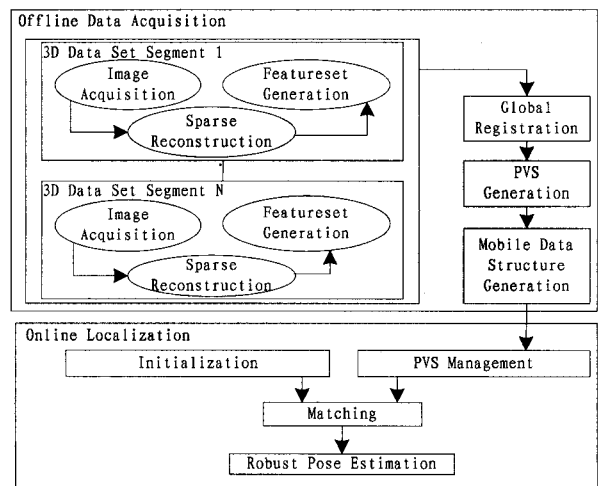


图 1 系统图

本文受国家自然科学基金青年基金(60903070)资助。

孙 源(1988-),女,硕士生,主要研究方向为虚拟现实与增强现实、计算机视觉,E-mail:sunyuanyuan@bit.edu.cn;陈 靖(1974-),女,博士,副研究员,主要研究方向为虚拟现实与增强现实、计算机视觉。

同年,牛津大学提出了在手机上独立运行 PTAM(Parallel Tracking and Mapping)系统,完成对未知环境实时跟踪定位并三位重建的思想<sup>[3]</sup>。此系统是对 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)系统的改进,它完全脱离了 PC 机和大型的工作站,可以在 iPhone 手机上独立对未知环境进行实时地增强。

2010 年,U-VR Lab 和 Vincent Lepeti CVLab 联合提出了适合在跟踪识别过程中处理模糊图像<sup>[4]</sup>的方法。此方法在存储图像数据库阶段,需要对图像进行学习训练;对输入进来的图像,依次进行仿射变换、径向模糊、高斯模糊和存储;完成学习训练后,再将手机用于跟踪定位此目标,如图 2 所示。

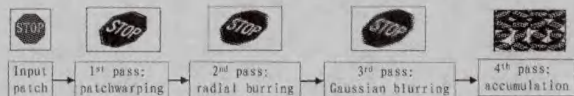


图 2 学习训练过程

2011 年,浙江大学提出一种准确、稳定、有效的增强现实注册算法<sup>[5]</sup>。该方法采用跟踪与匹配并行的注册策略,即基于双核 CPU 双通道的注册策略,一个线程利用 KLT 算法进行跟踪注册,另一个线程使用 Surf 特征匹配算法进行宽基线注册校正,较好地解决了基于自然特征跟踪注册方法的误差累积缺陷,提高了注册的稳定性以及准确度。

目前,不仅各大高校已经开展手机 M-AR 技术的研究工作,并取得了很好的成果,而且世界著名的公司企业也在这方面进行了开发研究,并已将其投入商用。

Layar 是全球第一款增强现实感的手机浏览器,用户只需要将手机的摄像头对准建筑物等,就能在手机的屏幕下方看到与这栋建筑物相关的数据信息,如图 3 所示。当用户开启应用程序时,自动启动摄像头,手机内置 GPS 探测到用户目前所在的位置,罗盘判断摄像头所面对的方向。之后,每个内容提供商(CP)自动匹配当前位置的内容,并各形成一个图层。用户可在屏幕侧面通过点击来切换自己感兴趣的图层。这样,Layar 将现实世界跟虚拟的数字内容完美地结合到了一起。



图 3 Layar 手机 AR 浏览器

2009 年出现的 iPhone 版的 Metro AR 软件,是一款用于导航地铁路线的软件,如图 4 所示。当用户使用此款软件时,首先通过内置的 GPS 定位确定用户的位置信息。然后,通过跟踪识别算法寻找在数据库中与用户位置相匹配的地铁线路。最后,经过渲染等技术在用户的手机屏幕上显示出相应的信息,比如用户此时所在的位置、周边地铁线路情况和地铁出口的位置等。

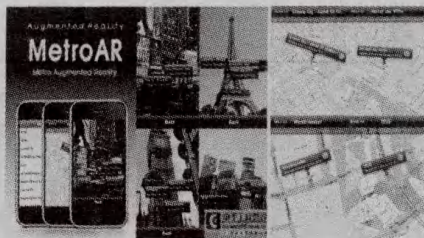


图 4 iPhone 版的 Metro AR 软件系统

2010 年 7 月,在 iPhone 手机上出现了一款简单的 AR 颠球游戏 ARSoccer,如图 5 所示。当用户开启此款软件进入游戏状态时,在手机屏幕上会自动渲染生成一个虚拟的足球。之后,用户仅需将手机保持腰间高度,把摄像头对准脚步就可以颠球了。为了产生更真实的效果,此软件在运行时需要有较高的实时性,因此对跟踪定位算法的运行速度有较高的要求。



图 5 颠球游戏 ARSoccer 软件系 图 6 帮助消费者购物的 AR 软件系统

2011 年 2 月,著名的软件开发公司 Total Immersion 推出一款帮助消费者购物的手机 AR 软件,如图 6 所示。该软件利用了带有前置摄像头的 iPhone 4 或 iPod Touch。当用户将摄像头对准自己面部获取图像后,先对面部进行识别;之后,用户在手机上挑选眼镜,并在屏幕上显示出佩带虚拟眼镜的视频。

## 2 手机 M-AR 的核心问题

在现阶段,将增强现实技术应用在移动手机平台上,还面临着诸多问题和挑战。与 PC 相比,手机芯片在处理速度、存储容量以及运算能力等方面存在弱点。因此,将 M-AR 技术应用在手机上,需要综合考虑各种因素。

### 2.1 主体结构框架

对于手机上增强现实主体框架的研究,经历了由最初智能手机依赖于 PC 机进行处理的“客户端-服务器”方式,到后来的手机完全脱离 PC 机进行独立处理的过程。基于“客户端-服务器”的方式,能有效克服移动设备软件或硬件资源限制问题;而完全基于智能手机的方式可以不受网络通信和地域的限制,独立完成增强现实的任务。

在早期,使用的是“瘦客户端-服务器”<sup>[6-11]</sup>方式。其主要原因在于 PC 机、工作站拥有强大的计算能力及图形显示能力,而智能手机在处理能力和存储空间上都较为有限,无法与 PC 机相比拟。其特点是手机只作为图像获取和显示设备,所有的视觉处理算法都由远程服务器完成,二者通过无线网络进行数据通信。早在 2003 年,AR-Phone<sup>[12]</sup>项目就开始使用此类结构的系统来构建一个基于智能手机的 AR 平台,如图 7 所示。系统通过蓝牙将手机所拍摄的图片上传至一个 PC 机服务器,由该服务器对图片进行姿态估计算法的处理并将

虚拟信息进行叠加,然后由相同方式传给手机客户端进行效果显示。该系统只对单一图片的效果进行增强,处理时间较长,对一张图片由上传至最后显示需要2~16s的时间。

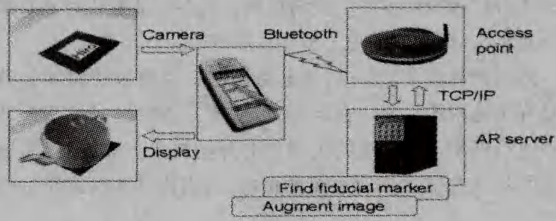


图7 AR-Phone系统结构图

其后,随着手机芯片处理能力的增强,一些系统开始采用客户端与服务器分担处理任务的形式,作为客户端的智能手机分担的任务各不相同。在文献[13]的系统中,服务器完成图像的匹配后,将渲染和显示这一部分的处理转移到了手机中。文献[10]的系统是由手机用户拍摄图像后上传至服务器,服务器进行目标的粗略识别后将识别结果传至客户端,由客户端来完成精确识别和渲染显示的任务。

2009年,牛津大学提出了在手机上对未知环境进行实时跟踪定位并三维重建的思想<sup>[3]</sup>。它完全脱离了PC机和大型的工作站,可以在iPhone手机上独立运行PTAM(Parallel Tracking and Mapping)系统,此系统将跟踪识别目标算法和渲染显示图像技术全部在手机端运行。尽管在手机芯片的处理能力方面存在不足,但是,它依然可以独立地对未知环境进行实时地增强,这在手机M-AR领域是一次重要的革新。

采用“客户端-服务器”的方式。由于手机将数据上传至服务器,在服务器端需要进行大规模的数据处理,而作为服务器的PC机、工作站拥有强大的计算能力及图形显示能力,因此可以克服移动设备软件或硬件资源的限制问题。但是这种方式受到网络的传输限制,使得算法处理速度减慢。完全基于智能手机的AR系统,已经摆脱了PC机和大型工作站的限制,可以独立实现增强现实的效果。这种方式无需通过网络上传数据信息,减少了因网络传输而产生的滞缓问题。但同时也产生了一个弊端,即在手机端不能进行云计算,无法共享数据库资源。

## 2.2 基于手机M-AR平台运行的姿态估计算法

为了将M-AR技术应用到手机上,即将虚拟的信息叠加到手机用户的真实场景中,首先需要估计摄像机的姿态。

基于人工标志物的姿态估计方法的使用由来已久,它具有很高的鲁棒性以及较低的处理能力要求,可为广大研究者提供便捷。2003年,Wagner等人将姿态估计开发包AR-ToolKit移植至Window CE平台,首次实现了能够完全独立运行于移动设备的AR应用系统<sup>[14]</sup>,如图8所示。之后,又对其进行了改进<sup>[15]</sup>。



图8 在PDA上运行AR系统

基于人工标志物的跟踪需要将标志物安置在环境当中,这会对场景产生影响。此外,光照变化和遮挡会对标志物跟踪产生影响,无法将其应用于人工不可控的户外场景。采用基于自然特征点的跟踪方法,可以较好地解决此问题。现阶段基于自然特征点的跟踪方法主要有SIFT算法、SURF算法和FAST角点探测算法等。

2004年,Lowe提出了著名的SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)算法<sup>[16]</sup>,其使用DoG来搜索特征点。通过该方法提取的特征具有尺度、平移和旋转不变性,并且具有一定的灰度变化不变性和仿射及三维射影变换不变性。

2005年,Edward Rosten和Tom Drummond提出了FAST((Features from Accelerated Segment Test)角点探测算法<sup>[17]</sup>,该算法检测的角点定义在像素点的周围邻域内,有足够多的像素点与该点处于不同的灰度区域。考虑图像中任意一个像素点和以它为中心的一个区域,通常选择圆形区域,图9给出了以点C为中心、半径为3的离散化圆形区域的模板情况,再通过角点响应函数来判断候选点是否为提取出的角点。该算法运行速度快,在智能手机上使用可以大大减少运算时间,满足用户的需求。

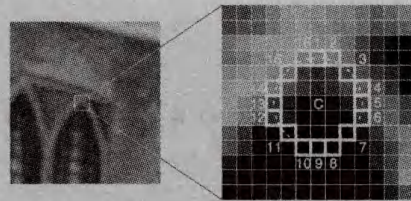


图9 角点探测模板示意图

2006年,Bay等人提出的SURF(Speeded Up Robust Features)算法,使用了积分图像的概念<sup>[18]</sup>。借助积分图像,使图像与高斯二阶微分模板的滤波转化为对积分图像的加减运算,并且,这种运算与滤波模板的尺寸无关。此算法在运算速度上比SIFT快3倍左右,综合性能优于SIFT算法。

2007年,Nokia研究中心的Chen等人对SURF特征提取算法在智能手机中的应用进行了深入的探讨和分析<sup>[19]</sup>,从而在手机上更加有效地使用SURF特征提取算法,并大大降低了其所需的存储空间。

2008年,Wagner等人<sup>[20]</sup>对特征提取算法SIFT<sup>[17]</sup>和分类算法Ferns<sup>[21]</sup>做了修改,提出了在手机上运行的实时的自然特征跟踪系统。之后,他们继续研究这些算法,以提高在智能手机上的运算速度。Wagner等人用FAST角点提取来代替SIFT算法中的DoG(Difference-of-Gaussians)算法,在用SIFT描述向量时,采用 $3 \times 3 \times 4$ 的36维数矢量。在Ferns分类算法中,改变了树簇的大小。这些算法共同降低了在手机上对摄像机姿态估计的时间,提高了其运算速度,满足了用户的需求。

无论是经过标志物识别环境中的特征或是通过跟踪算法来跟踪图像中的特征,其目的都是建立起一系列图像特征与三维场景特征的对应关系。在获得一组这样的对应关系后,就可以计算摄像机在真实场景中的位置和方向。

基于共面4点的姿态估计算法是根据位于自然场景中同一平面上的4个点在图像上投影的位置来计算摄像机的位置。此算法虽然需要的特征点数量相对较少,但是需要所有的特征点都位于同一平面内。当输入的点不在同一平面时,

则至少需要 6 个空间点和它们在摄像机图像上的对应点才能计算摄像机在世界坐标系中的位置。若输入的已知点的数量大于 6 个,则可以通过最小二乘法求得最小二乘解作为摄像机的位置。

在摄像机线性模型下,空间中一点在世界坐标系的位置为  $P(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T$ , 这个点与它在图像上的投影  $p(u, v, 1)^T$  的对应关系为:

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K [R \ t] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $K$  为已知的摄像机内参数矩阵,  $[R \ t]$  矩阵是需要被计算的摄像机位置矩阵。

定义归一化的图像坐标为:

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{bmatrix} = K^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)可以得到:

$$z_c \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{bmatrix} = [R \ t] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

将相应点的坐标带入式(3),求解方程组即可求出  $R, t$ , 从而确定摄像机的姿态。

### 2.3 多目标识别

利用特征匹配实现目标识别,最简单的做法是把每幅图片用一个特征集合来表示,输入需要识别的图片,将该图片的特征集合与数据库中每张图片的特征集合进行比较,特征匹配数目最多的几张图片作为查询结果返回。当库中的图片数量较多时,消耗在特征匹配上的时间会急剧增加,无法满足在手机上的应用要求,因此需要研究更高效的检索算法。

现阶段用于目标识别主流的高效算法主要有:  $kd$ -树算法、Spill-树算法、词汇树算法、随机树算法等。

$kd$ -树算法<sup>[22]</sup>是一种由二叉搜索树推广而来的用于多维检索的树的结构形式( $k$ 即为空间的维数)。由于对数据建立了树形结构,因此能有效减少检索的数据量,提高检索速度,其时间复杂度为对数时间复杂度。在此基础上,改进后的BBF(Best-Bin-First)算法,可以运用到高维数据集上。

Spill-树算法<sup>[23]</sup>采用冗余分割方式,在  $s$  维度上有 2 个分割超面,如图 10 所示。分割超面 LR 左边为左子空间,分割超面 LL 右边是右子空间,两个子空间有一部分是重叠的,即重叠范围内的数据同时属于两个子空间。当查询点接近分界面 L 时,邻域实际上已经包含在它所处的节点的一侧,不需要回溯搜索另一个节点,从而提高搜索的效率。

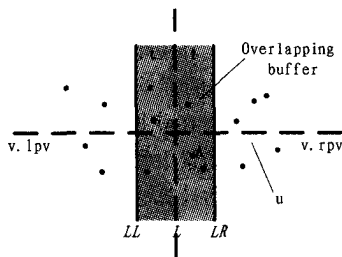


图 10 Spill-树空间划分示意图

词汇树算法<sup>[24]</sup>把从训练集中提取到的特征进行 K-Means 聚类,生成的每个簇集定义为一个词汇,每个词汇再关联一个倒排文件;然后将提取到的特征量化到这些词汇当中,再采用分层聚类的方法生成词汇树。其在特征量化时不必遍历所有词汇,极大地缩短了量化所需时间。

随机树算法<sup>[25]</sup>把一些本来需要在实时检测阶段的运算转换在训练阶段完成。在运行时,使用训练好的分类器对特征点进行匹配。该方法的关键是对分类器进行离线训练,这样就可以大量减少实时系统的负担,从而提高实时系统的性能。

目前,在智能手机上实现 AR 技术多使用 GPS、摄像头和指南针等设备。如在前面提到的 Metro AR 软件和百度手机地图 Android 版软件,其通过手机上内置的硬件设备,粗略地估计出用户的位置;之后,运用自然特征的跟踪方法确定其姿态。

在大范围环境(如校园、社区乃至整个城市)进行增强现实技术的应用,系统只需识别出场景中的目标,在真实场景中叠加相应的虚拟信息即可,并不需要随时随地地跟踪手机的位置。

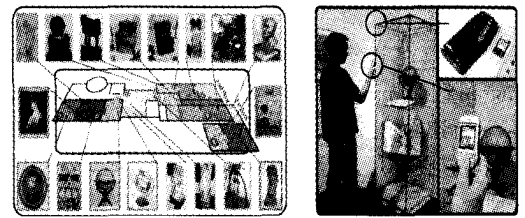


图 11 使用蓝牙 RFID 进行空间定位的博物馆导览系统



图 12 校园建筑识别系统

目前手机平台上的增强现实应用大多采用硬件进行定位,然而,这种定位方法精确度很低,不能准确地估计出用户的空间位置。此时,利用上一节提到的自然特征跟踪点的方法对用户所关注的目标再次进行精确识别尤为重要。2007 年,德国包豪斯大学开发了博物馆导览系统<sup>[26]</sup>,如图 11 所示。其内置可有效覆盖一定范围的蓝牙发射器,利用蓝牙技术粗略定位参观者在博物馆中的位置信息,然后采用自然特征跟踪的方法识别用户感兴趣的物品,并将与该展品有关的视频和网络信息反馈给用户。斯坦福大学和 Nokia 研究中心,在 2008 年共同研究利用手机平台对 SURF 算法进行改进,以识别校园内的建筑物,并对其进行信息注解<sup>[27]</sup>,如图 12 所示。

### 2.4 交互式 AR 系统

早期的手机 M-AR 技术中,手机用户只能够通过屏幕查看在真实场景上叠加虚拟信息的效果,不能与周围的环境进行交互,更不能与多个用户进行交流互动。2004 年, Mohring 等人提出的基于彩色三维标志物的跟踪方法即是如此<sup>[28]</sup>。

近年来, M-AR 技术的快速发展, 为手机用户的交互提供了便捷桥梁。在 ARSoccer 的手机游戏中, 玩家仅需将手机保持腰间高度, 把摄像头对准脚步, 就可以对虚拟的足球当做真实的一样进行颠球了。而且, 这款游戏软件还可以自动地给玩家的球技打分。

“iButterfly”是一个应用在 iPhone 手机上的 AR 捉蝴蝶应用, 如图 13 所示。当打开此软件时, 会在手机屏幕上显示出将虚拟的蝴蝶叠加在用户所在的真实场景中。用户移动手机, 运用内置的运动传感器和 GPS 功能, 捕捉虚拟蝴蝶。用户可以在不同地域捕获到不同品种的虚拟蝴蝶, 并且这些蝴蝶包含了丰富的商业信息及内容, 用户可以从中获得优惠奖励。

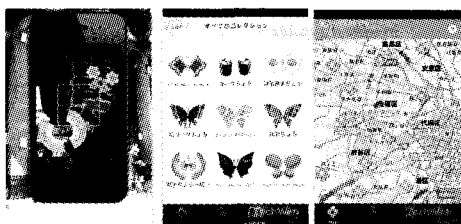


图 13 “iButterfly”手机 AR 捉蝴蝶应用

## 2.5 数据通信与传输

在手机 M-AR 技术的应用过程中, 数据通信与传输十分重要。基于“客户端-服务器”方式的系统中, 客户端和服务器的数据传输需通过 GPRS、GSM、Wi-Fi 或 3G 网络完成。不同的网络传输方式应用于不同的环境, 需要综合考虑网络的畅通性、带宽、传输速度以及适合的传输距离等多种因素。“3G”(3rd-generation)是第三代移动通信技术的简称, 是指支持高速数据传输的蜂窝移动通讯技术。它能够同时传送声音(通话)及数据信息(电子邮件、即时通信等), 其突出特征是提供高速数据业务。在带宽和传输速度方面, GPRS 和 GSM 都无法与其比拟。Wi-Fi 与蓝牙技术适合短距离传输, 其无线电波覆盖范围广, 但通信质量不尽如人意。

**结束语** 随着增强现实技术以及智能手机技术的快速发展, 手机 M-AR 技术应运而生。它不仅可以将丰富多彩的虚拟信息叠加至用户所在的真实世界中, 而且用户可以与虚拟物进行简单的交互, 甚至通过网络的数据通信与传输, 与多个用户之间进行各种感官的经验交互, 大大地提升了虚拟世界与真实世界的密切关系。目前, 手机 M-AR 已广泛地应用在路线导航、手机娱乐游戏、教育、旅游景点导览、工业设计维修、服装饰品搭配等领域。然而, 在手机上运用此技术也面临着一些挑战:

1) 基于“客户端-服务器”方式的系统, 虽然可以使用 PC 机或大型工作站分担部分计算负载, 但由于无线网络数据传输的延时、较窄的带宽等因素, 使该技术无法达到实时处理的效果。完全基于手机的方式, 需将跟踪识别目标算法和渲染显示图像技术全部在手机端运行, 大大增加了手机的运算量和耗电量。因此, 需要研究手机电池以克服其电量不足的问题。

2) 在硬件发展上, 智能手机存在一些缺点, 如有限的屏幕尺寸和存储空间、缺少浮点运算单元(FPU)等, 使得 PC 上运行的算法无法被有效移植, 大大影响了在手机上对真实场景增强的效果。

3) 基于 PC 机的增强现实技术的算法移植至手机上, 是一种被动的形式, 迫切需要对原有的算法进行优化, 降低其对运算能力的要求, 减少运算时的存储空间, 提高运算速度, 从而使其更好地应用在手机上。

4) 针对智能手机研制出来的算法, 尤其是多用户之间可以进行交互的模式, 其复杂性较高, 所占的内存较大。可以考虑将其打包压缩后, 移植到手机上, 以滞留出足够的空间满足运算的要求。

5) 智能手机用户在户外使用时太阳光的明暗变化十分显著, 手机摄像头拍摄到的景物光线也会随之变化, 这会对基于自然特征点的跟踪算法产生极大干扰, 影响目标识别的准确率。

6) 将全局域的地理信息存储在智能手机上, 并实时地准确判断出智能手机用户的位置, 其搜索复杂性可想而知。这就迫切需要可以方便管理地理信息的系统来减少在搜索时所消耗的时间和运算量, 提高其运算速度, 使其更好地满足实时性。

这些问题值得研究人员继续深入地分析和探讨, 从而提出新颖的方法来更好地解决之。总之, 随着 M-AR 技术的不断发展和完善, 以及智能手机技术的革新, 手机 M-AR 技术将会成为一个重要的研究方向, 也将会给广大用户带来更加精彩的体验。

## 参考文献

- [1] Weiser M. The computer for the 21st century [J]. Scientific American, USA, September 1991, 265: 94-104
- [2] Arth C, Wagner D, Klopschitz M, et al. Wide Area Location on Mobile Phone [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. USA, 2009
- [3] Klein G, Murray D. Parallel Tracking and Mapping on a Camera Phone [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. USA, 2009
- [4] Lee W, Park Y, Woo W, et al. Point-and-Shoot for Ubiquitous Tagging on Mobile Phones [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Korea, 2010
- [5] 李扬, 孙超, 张明敏, 等. 跟踪与匹配并行的增强现实注册方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 680-685
- [6] Fritz G S C, Paletta L, Luley P, et al. Mobile Vision for Tourist Information Systems in Urban Environments [C] // Proceedings International Conference on Mobile Learning, MLEARN 2004. Rome, Italy, July 2004: 5-6
- [7] Kähäri M, Mara D J M. Sensor Based Augmented Reality System for Mobile Imaging [C] // ISMAR 06. Santa Barbara, 2006
- [8] Hakkarainen M W C, Billinghurst M. Augmented assembly using mobile phone [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008. Cambridge, 2008
- [9] Henrysson A, Ollila M. Augmented reality on smartphones [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2003
- [10] Hile H, Borriello G. Information Overlay for Camera Phones in Indoor Environments [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007(4718): 68-84
- [11] Takacs G, Chandrasekhar V, Gelfand N, et al. Outdoors Augmented Reality on Mobile Phone using Loxel-Based Visual Fea-

- ture Organization[C]//ACM International Conference on Multimedia Information Retrieval, Oct. 2008
- [12] Assad M, Carmichael D J, Cutting D, et al. AR phone: Accessible Augmented Reality in the Intelligent Environment[C]// Proceedings of OZCHI, 2003; 232-237
- [13] Billingham M, Hakkarainen M, Woodward C. Augmented assembly using a mobile phone[C]//IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2008). Cambridge, UK, Sep 2008; 167-168
- [14] Wagner D, Schmal Stieg D. ARToolKit on the pocket PC platform[C] // IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop. Tokyo, Japan; IEEE, 2003
- [15] Wagner D, Langlotz T, Schmalstieg D. Robust and unobtrusive marker tracking on mobile phones [C] // IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008
- [16] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of computer Vision, 2004, 60(2)
- [17] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection[C]//European Conference on Computer Vision, 2006, 3951:430-443
- [18] Bay H, Tuytelaars T, Gool L V. SURF: Speeded up robust features[C]//ECCV, 2006
- [19] Chen W C, Xiong Y G, Gao J, et al. Efficient Extraction of Robust Image Features on Mobile Devices[C]//IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007
- [20] Wagner D, Reitmayr G, Mulloni A, et al. Pose tracking from natural features on mobile phones[C]//IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2008
- [21] Özuysal M, Fua P, Lepetit V. Fast Keypoint Recognition in Ten Lines of Code[C]//Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2007
- [22] Moore A. Introduction to kd-trees [M]. Computer Laboratory University of Cambridge, 1991
- [23] Liu T, Moore A, Gray A, et al. An Investigation of Practical Approximate Nearest Neighbor Algorithm[C]//NIPS, 2004
- [24] Nister D, Stewenius H. Scalable Recognition with a Vocabulary Tree [C] // Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference, 2006
- [25] Amit Y, Geman D. Shape quantization and recognition with randomized trees[J]. Neural Computation, 1997, 9(7):1545-1588
- [26] 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
- [27] Henrysson A, Ollila M. UMAR: Ubiquitous Mobile Augmented Reality[C]//Proceedings of the 3rd international conference on Mobile and ubiquitous multimedia. ACM; College Park, Maryland, 2004
- [28] Möhring M, Lessig C, Bimber O. Video See-Through AR on Consumer Cell-phones [C] // 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Arlington, V, 2004

(上接第 477 页)

术的评判标准进行了说明。最后分析了铅笔画绘制技术的发展和应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] Vermeulen A H, Tanner P P. PencilSketch--A Pencil-Based Paint System[C]//Proceedings of Graphics Interface'89, Toronto. Canadian Computer-Human Communications Society, 1989; 138-143
- [2] Cabral B, Leedom L C. Imaging vector fields using line integral convolution[C]//Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. Anaheim, CA, August 1993; 263-270
- [3] Sousa M C, Buchanan J W. Observational model of blenders and erasers in computer-generated pencil rendering [C] // Proceedings of the 1999 conference on Graphics interface '99. Kingston, Ontario, Canada, September 1999; 157-166
- [4] Sousa M C, Buchanan J W. Computer-generated graphite pencil renderings of 3D polygonal models[C]//EUROGRAPHICS'99 Conference Proceedings. London, England, 1999; 195-207
- [5] Mao X, Nagasaka Y, Imamiya A. Automatic Generation of Pencil Drawing from 2D Images Using Line Integral Convolution [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics (CAD/GRAPHICS'01). 2001; 240-248
- [6] Li Nan, Zhong Huang. A feature-based pencil drawing method [C]//Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia. Melbourne, Australia, February 2003; 135-143
- [7] Yamamoto S, Mao Xiao-yang, Imamiya A. Enhanced LIC Pencil Filter[C]//Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, July 2004; 251-256
- [8] Felzenszwalb P F, Huttenlocher D P. Efficient Graph-Based Image Segmentation[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 59(2):167-181
- [9] Markovic D, Stavarakis E, Gelautz M. Parameterized Sketches from Stereo Images[C]//Proceedings of Image and video Communications and Processing (SPIE). San Jose, California, USA, 2005; 783-792
- [10] 孙硕, 黄东卫. 一种有效的基于区域的铅笔画方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(14): 34-37
- [11] 李龙生, 周经野, 陈益强, 等. 一种改进的铅笔画的生成方法[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(8): 1423-1429
- [12] Chen Zhen-yu, Zhou Jing-ye, Gao Xing-yu, et al. A Novel Method for Pencil Drawing Generation in Non-Photo-Realistic Rendering [C]//Proceedings of the 9th Pacific Rim Conference on Multimedia; Advances in Multimedia Information Processing. Tainan, Lecture Notes in Computer Science, Volume 5353/2008, December 2008; 931-934
- [13] 谢党恩, 赵杨, 徐丹. 一种铅笔滤镜生成算法及其在 GPU 上的实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(1): 26-31
- [14] 孙丹丹, 康棣. 一种铅笔画仿真新方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(11): 164-166
- [15] 桑桑, 郝鹏翼, 丁友东, 等. 基于纹理和轮廓的铅笔素描画生成方法[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2010, 16(3): 312-317
- [16] 程佳, 康棣. 铅笔画的自适应 LIC 绘制方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(16): 198-203