

基于双目视觉的人手定位与手势识别系统研究

谭同德, 郭志敏⁺

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 提出了一种新的人手特征点提取方法, 该方法将人手的质心作为匹配点, 根据双目视觉定位数学模型计算目标位置信息, 同时通过图像分割获取人手轮廓, 利用轮廓凸包点特征来识别不同手势。在此基础上, 研究设计了一种光学人手定位与手势识别系统, 该系统在实时定位空间人手三维位置的同时, 能够识别出相应的手势, 可将其作为虚拟手的驱动接口, 实现对虚拟物体的抓取、移动和释放操作。

关键词: 人手定位; 手势识别; 三维虚实注册; 虚拟手抓持; 虚拟实验

中图法分类号: TP391 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000-7024 (2012) 01-0259-06

Research on location and gesture recognition of hand based on binocular stereo-vision

TAN Tong-de, GUO Zhi-min⁺

(College of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A practical method of extraction feature points of hand is proposed, which makes the center of mass of hand as the match point and calculates the location information of the target based on mathematical model of binocular visual positioning; while the convex hull points of hand contour using the technologies of image segmentation, can be used to identify the different gestures. Furthermore, a system, both locating the three-dimensional position space of hand and simultaneously identifying the appropriate gestures, is designed, which can serve as the interface to driver virtual hand completing manipulation of grasping, moving and releasing virtual objects.

Key words: human hand location; hand gesture recognition; 3D registration; virtual hand grasping; virtual experiment

0 引 言

在虚拟现实应用领域, 为了使操作更加逼真和自然, 往往借助于数据衣或数据手套来实现人与虚拟物体的交互。这些交互设备虽然能够获取比较精确的位置信息, 但价格普遍比较昂贵并且使用安装繁琐, 使其应用范围仅限于专门的研究, 很难推广。于此同时, 光学定位凭借其安装方便、价格相对低廉、非接触式测量、测量精度高等优点正越来越受到人们的关注。人手不仅包含大量的符合人类认知习惯的交互信息, 而且由于人手的连续运动, 还存在三维空间位置信息, 因此完全可以将人手位置和手势结合起来, 作为一个不可分割的整体进行研究。其中, Lee、Kim 的经典论文详细介绍了手势识别方法, 其识别精度达到了 93.14%^[1]。本文借助于双目视觉原理^[2], 实现了人手定位

与手势识别系统, 使计算机能够实时的获取到镜头前人手的位置和手势信息。可将该系统作为一个自然、高效、具有沉浸感的虚拟手^[3-4]驱动接口, 应用于模拟训练、虚拟装配、虚拟手术和机器人手臂操控等领域。

1 系统简介^[5-6]

整个系统分为 6 部分: 操作者、图像采集模块、人手定位模块、虚实注册模块、手势识别模块和虚拟操作模块。这 6 部分相互作用, 构成一个闭合回路, 如图 1 所示。真实环境中的操作者发出操作动作后, 数据采集模块通过支架上的左右摄像头分别捕获人手的运动图像。在人手定位模块中, 输入采集到的左右图像对, 将人手质心作为特征点, 根据双目视觉原理, 计算出人手质心相对于左(右)摄像头的三维位置; 虚实注册模块实现摄像机坐标系下人

收稿日期: 2011-01-02; 修订日期: 2011-03-06

基金项目: 河南省国际科技合作基金项目 (104300510058); 河南省自然科学基金项目 (0611051900)

作者简介: 谭同德 (1950-), 男, 河南郑州人, 博士, 教授, CCF 会员, 研究方向为计算机图形学、虚拟现实、CAD; +通讯作者: 郭志敏 (1982-), 男, 河南焦作人, 硕士研究生, 研究方向为虚拟现实。E-mail: guo_zhimin@126.com

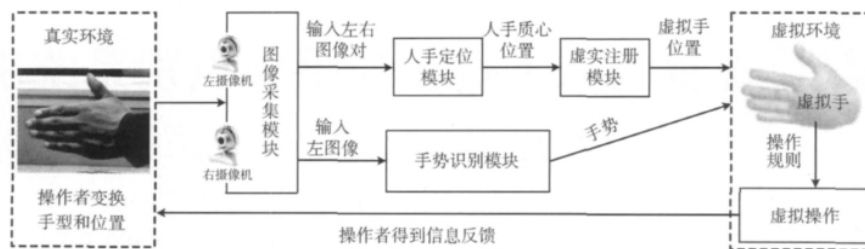


图1 系统框架

手质心点坐标到虚拟环境中质心坐标的映射，可将此虚拟环境中质心点作为虚拟手位置；人手识别模块中，系统首先选择一个摄像头作为手势原始图像输入源，对其进行分析从而识别出相应的手势；在虚拟操作模块中，根据虚拟手的位置和姿态，结合操作规则，完成对虚拟环境中物体的抓取、移动等操作，实验者根据得到的信息反馈实时调整人手的姿态和位置，从而驱动虚拟手完成下一步操作。

2 人手定位模块

在人手定位模块中，系统借助于高速工业摄像机，以人手为目标检测对象，从 CCD 视频序列中检测出目标，然后计算目标相对于右摄像机光心位置的三维坐标。

2.1 目标的实时检测与跟踪

以人手为对象研究人手的定位，首先要检测出左右摄像头中人手的特征点并对特征点进行匹配，然后才能根据双目视觉模型对人手进行定位。考虑到人手是复杂的多链接体，人手在运动过程中形状大小时刻在变，同时系统要求能够实时的定位目标，因此寻求一种能够根据目标大小变化，实时跟踪到目标的高效图像跟踪算法十分必要。为了快速准确的在每帧中发现人手，作者使用了目前流行的目标跟踪算法——基于 CamShift^[7-9] 的运动跟踪算法，并对算法进行了改进，使其能够实现对人手的全自动跟踪。

2.1.1 CamShift 算法

CamShift 算法是一种基于颜色的运动跟踪算法，它将 MeanShift 算法扩展到连续图像序列中。算法的基本思想是对视频图像的所有帧作 MeanShift 运算，并将上一帧的结果（即搜索窗口的中心和大小）作为下一帧 MeanShift 算法的搜索窗口的初始值，如此迭代下去，就可以实现对目标的跟踪。算法具体步骤如下：

- (1) 读取一帧视频图像，转换为 HSV 格式，提取 H 通道的值；
- (2) 初始化搜索窗口的大小和位置；
- (3) 计算这个搜索窗口的颜色直方图，归一化得到概率分布图，并且将它作为查找表，将 H 通道图像上每一个点的像素值用它对应的概率值代替，得到概率投影图；
- (4) 用 MeanShift 算法获取搜索窗口的新位置；

(5) 在下一帧图像中，使用上一步获得的值初始化搜索窗口的位置和大小；

(6) 重复 (3)，(4)，(5) 直到图像序列结束。

2.1.2 改进的 CamShift 算法

CamShift 具有收敛速度快，受噪声影响小的优点，能够实现对目标的实时跟踪。但该算法是一个半自动跟踪算法，算法开始执行前需要根据图像中目标的位置和大小，人工预先确定搜索窗口，才能完成对目标物体的跟踪。而本系统中要求摄像机能够对采集的图像完成自动目标检测，一旦发现目标，就将该目标位置和大小作为搜索窗口的初始化参数，调用 CamShift 算法对目标进行迭代跟踪，从而实现由半自动跟踪到全自动跟踪的转变。

本文的做法是，从人手图像中首先选定一个比较小的矩形区域 (80×60) 作为模板图像预先保存起来；然后计算模板图像的颜色直方图，并将其作为目标图像匹配特征；接着，将系统采集到的每帧图像 (640×480)，按模板图像 (80×60) 分割成若干小块图像，计算每一小块图像的直方图信息；最后，将每一小块图像与模板图像进行比对，查找与模板图像颜色直方图信息最接近的小块，并将此小块位置作为 CamShift 算法的搜索窗口。如此，就可以实现对目标的全自动检测和跟踪，如图 2 所示。

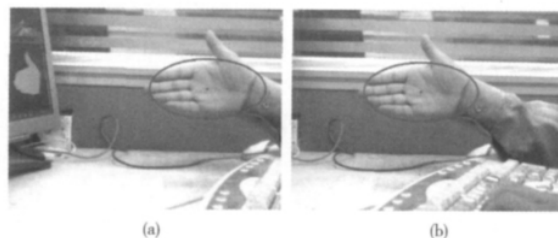


图2 CamShift 算法在左右图像中跟踪到手及质心

2.1.3 人手特征点的提取

为了实现双目定位，需要立体匹配过程^[10-11]，得到目标点在左右摄像头成像平面中的坐标，本系统将人手的质心作为左右图像中的特征点对用于立体匹配，而获取目标质心的算法相对与传统的立体匹配算法（如 SAD、SSD、NCC 等）执行时间明显提高很多，可以达到系统实时性要

求。求人手质心也就是计算目标跟踪阶段搜索窗口的质心, 其坐标计算公式如下:

零阶矩为

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I_c(x, y) \quad (1)$$

x 和 y 的一阶矩为

$$M_{01} = \sum_x \sum_y y I_c(x, y) \quad (2)$$

$$M_{10} = \sum_x \sum_y x I_c(x, y)$$

则搜索窗口的质心 (x_c, y_c) 为

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (3)$$

式中: $I_c(x, y)$ ——坐标 (x, y) 的像素值; x, y 的变化范围为搜索窗口的大小。

2.2 目标定位的实现

双目立体视觉是从人的双目立体感中获得启示, 研究如何从两幅图像中获取匹配点, 进而得到场景的深度信息以确定摄像头与目标的相对位置。根据双目成像的几何关系, 可以很容易推导出目标的定位公式

$$\begin{cases} X = \frac{b(u_1 - u_0)}{u_2 - u_1} \\ Y = \frac{b(v_1 - v_0)}{u_2 - u_1} \\ Z = \frac{bF}{u_2 - u_1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: u_0, v_0 ——左摄像机光轴与视平面的交点所在的行数和列数, u_1, v_1 ——目标点在左右摄像机成像平面坐标系下的横坐标, v_1 ——目标点在左摄像机成像平面坐标系下的纵坐标, Z ——空间点到两摄像头所在平面的距离, 基线 b ——两摄像头光心之间的距离, F ——摄像头的标定复合焦距, 其中参数 u_0, v_0 、基线 b 以及焦距 F 均可以通过摄像机标定^[12]得到。结合式 (3) 中跟踪到的目标点在左右摄像机平面中的坐标, 可以实时得到目标点在右摄像机下的三维坐标 (注: 本系统假设世界坐标系与右摄像机坐标系完全重合, 计算的三维坐标是相对于右摄像机光心而言)。

3 三维虚实注册模块

实验中将操作者人手质心位置作为输入数据, 驱动虚拟环境中虚拟手做相应的位移变化。由于摄像机焦距和实验环境的限制, 人手的运动应该被限制在一个恰当的立体空间内; 同时虚拟空间中虚拟手的运动也应被限制在一定范围之内; 真实手运动空间和虚拟手运动空间存在一个映射关系。三维虚实注册实现了真实环境中人手质心点坐标到虚拟环境中虚拟手坐标的转换。如图 3 所示, 真实环境中人手在摄像机坐标系 XYZ 下运动, 其运动空间 (红色箭头标注, 单位为毫米) 在 X 轴方向为 $(+200, 200)$ 、Y 轴方向为 $(0, 300)$ 、Z 轴方向为 $(0, 1000)$, 坐标原点为右摄像机光心 O, 点 P (X_c, Y_c, Z_c) 为人手质心点坐标; 为了便于表达, 虚拟环境中构建了一个化学实验台, 虚拟手在坐标系 $X'Y'Z'$ 下运动, 其运动空间 (红色箭头标注, 单位为毫米) 在 X' 轴方向为 $(-500, 500)$ 、在 Y' 轴方向为 $(0, 200)$ 、在 Z' 轴方向为 $(0, 200)$, 将实验台表面中心点作为坐标原点 O' , 虚拟手的初始位置位于 O' 点。摄像机坐标系下的点 P 经过虚实转换后的坐标点为 P' , 可将点 P' (X_v, Y_v, Z_v) 作为虚拟手坐标。其中摄像机坐标系下的点 P 到虚拟坐标系下的点 P' 的转换关系可以用下式表示

$$\begin{bmatrix} X_v \\ Y_v \\ Z_v \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix}$$

式中: M ——坐标比例变换矩阵, S_x, S_y, S_z ——变换矩阵三分量的缩放比例因子, 其值为虚拟手运动空间三分量与真实手运动空间三分量长度之比; 本实验中 $S_x = 500/200$ 、 $S_y = 200/300$ 、 $S_z = 200/1000$; 根据具体应用领域的不同, 虚拟环境中虚拟手运动空间会有所不同, 所以系统在使用前, 需要先进行三维虚实注册, 以确定出 M 矩阵。

4 手势识别模块

本系统中手势对象为自然手, 即要求人手在不做任何

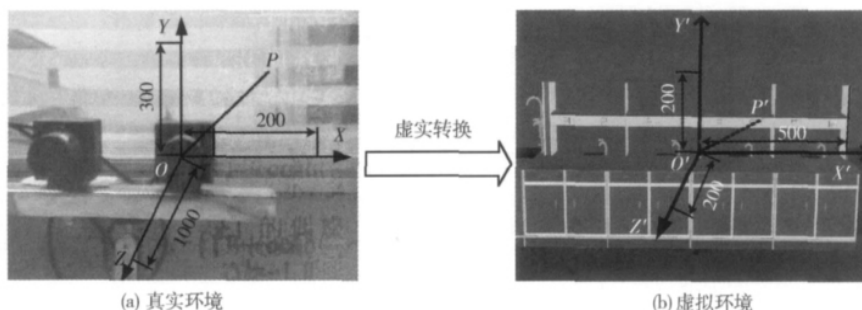


图 3 摄像机坐标系到虚拟坐标系的转换

标记情况下达到识别若干种手势的目的。该模块主要对图像采集模块采集到的图像数据进行处理,提取图像中手型轮廓特征,通过与手势库中预定义的手型数据进行对比,从而识别出不同的手势。

4.1 人手轮廓特征的提取

本文在对人手轮廓的提取中采用的是基于颜色的识别技术,实验中人手不需要佩戴任何标记物,对背景也没有特殊要求。首先通过彩色空间转换,将 RGB 颜色空间转变到 HSV^[13] 颜色空间;然后建立肤色分割模型,抽取肤色信息,提取轮廓;最后根据人手质心位置和轮廓面积确定手型轮廓。

摄像机采集到的初始图像采用 RGB 颜色空间,里面不仅包含红、绿、蓝 3 种颜色信息,还包含有亮度信息,如果在此颜色空间下抽取肤色的话,结果比较容易受外界光照变化的影响。而 HSV 颜色空间中(H 表示色度, S 表示饱和度, V 表示亮度),H 分量和 S 分量由物体本身的材料和反射特性决定,不易受外界环境影响,因此通过彩色空间转换,在 HSV 空间中根据 H 和 S 分量来提取肤色信息更加可靠。建立肤色分割模型, H 分量范围大约在 0~30 之间, S 分量范围在 75~200, 提取到的肤色图像如图 4(b) 所示。但在转化过程中,虽然对 H、S 分量设置了范围,由于摄像机所摄取的图像中存在着很多类似肤色的信息,导致结果图像中还存在着许多不连续的小区域以及小的噪声点,对此可以利用图像处理中的滤波技术,经过实验分析对比各种滤波效果以及耗时,作者采用数学形态学中的开闭运算来去除无用的背景点噪声,最后得到比较满意的二值图像,如图 4(c) 所示。

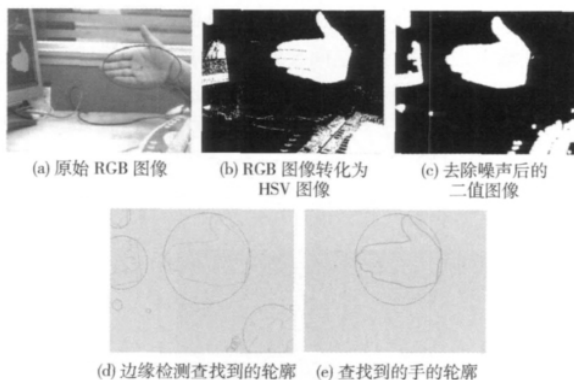


图 4 人手轮廓的提取过程(注:蓝色封闭曲线是由轮廓点绘制出来的,红色的圆代表查找到的轮廓)

去噪后的二值图像仍然存在许多与肤色模型相近的小区域,可以利用人手质心位置和轮廓面积这两个约束条件查找并提取出人手轮廓。使用 Canny 之类的边缘检测算法,根据二值像素间的突变差异检测出边界的像素点,并由这些像素点表示出不同的轮廓,如图 4(d) 所示。为了在检

测到的所有轮廓中找到手型轮廓,作者根据轮廓的面积和位置来确定手型的轮廓。在双目摄像机公共的视野范围内,经过试验尝试,能够找到各种手型轮廓面积的最大最小值区间(大概在 16376~100000)。在人手特征点提取阶段已经得到人手质心的像素坐标,此时可以通过逐一查找满足面积区间内的所有轮廓,判断手质心像素坐标是否在所查找轮廓内,如果在,说明此轮廓就是要查找的手的轮廓,否则,继续查找下一个轮廓。由此,最终能够找到人手轮廓,如图 4(e) 所示。

4.2 手势识别

通过分析日常生活中人手操作物体时的手型动作,作者归纳了 12 中常用的交互手型,如图 5(a) 所示。对这 12 种手型分析,可以获得每种手型的轮廓特征数据,将其存入手势库中,作为识别手势的依据。

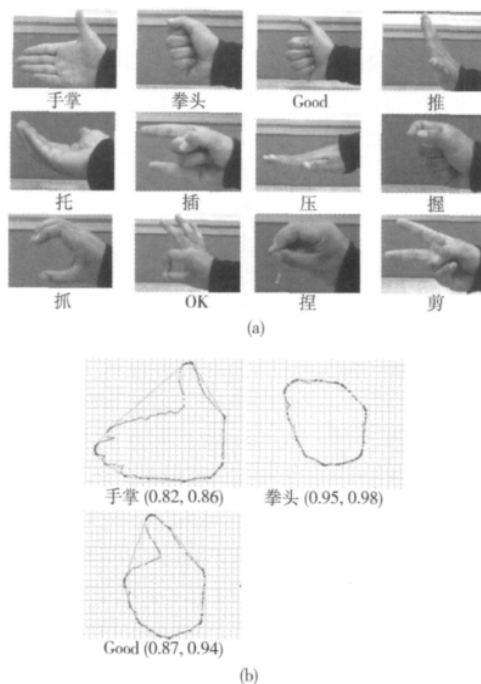


图 5 12 种交互手势和手势轮廓的凸缺陷

为了表述方便,作者从 12 种手型中选择最常用的手掌、拳头、Good 这 3 种手型,来说明手势库的建立过程以及对这 3 种手势的识别原理。3 种手势含义如下:手掌代表抓取虚拟物体前的姿势;拳头代表抓取到虚拟物体并可以移动物体;Good 代表已完成抓取操作。理解手型轮廓的有用方法是计算轮廓的凸包^[14],然后计算其凸缺陷,手势特性很好的被这种缺陷表现出来,如图 5(b) 所示,红线围成的区域为手型轮廓,红线上面蓝色的小点构成轮廓的凸包点,所有凸包点连接起来围成的蓝线区域为凸包点轮廓。具体识别方法为计算手型轮廓面积(红线围成的区域)与凸包点所组成的轮廓面积(蓝线围成的区域)的比值,

通过不同手型比值的不同从而识别出手势, 即

手势轮廓比值 = 识别出的手势轮廓面积 / 凸包点轮廓面积

通过分析大量的实验数据, 可以得出每种手势轮廓比值区间数据 (图5(b) 括号中标注), 此数据可以存入手势库, 作为识别手势的依据。通过定性分析, 因为手掌图中蓝线与红线之间的间隙比较大, 凸缺陷面积大, 故而手势轮廓比值比较小; 而拳头图中凸缺陷面积与轮廓面积很接近, 故而手势轮廓的比值比较大; 而 Good 图中手势轮廓的比值介于前两者之间。

5 仿真实验

5.1 虚拟手建模

首先建立3个人手3D模型, 分别对应于人手识别模块中的3种手势。系统运行时, 根据输出的虚拟手位置和手势信息, 驱动虚拟环境中虚拟手做相应的位置和形态调整。

5.2 操纵规则^[15]

为了实现虚拟手正确的抓取物体, 并使抓取姿态真实自然, 有必要建立某种抓取规则, 当虚拟手和虚拟物体之间满足了抓取规则, 则认为虚拟手抓取了物体; 此时物体会跟随虚拟手的移动而到达指定位置; 松开手指, 虚拟手和虚拟物体之间不再满足抓取规则, 从而解除依附关系, 并释放物体。

规则1: 开始抓取前, 需要识别出手掌手势, 并计算虚拟手与虚拟物质心的距离。若距离小于一个事先设定的阈值, 则认为是抓取操纵, 激活目标;

规则2: 在目标激活的前提下, 手势由手掌变为拳头时, 锁定目标, 此时目标会依附于虚拟手并随着人手的移动而改变位置。

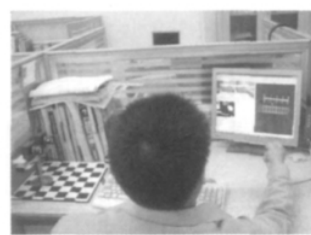
规则3: 在目标被激活或锁定的前提下, 手势由拳头变为OK时, 认为移动操纵结束, 释放目标物体。

5.3 实例

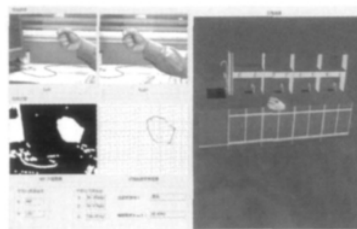
在虚拟化学实验平台^[16]中, 应用本文设计的系统接口, 实现人手抓取虚拟量筒的平移操作, 过程如下: 首先图像采集模块捕获到摄像头前方操作者人手的手掌图像, 接着将图像数据分别送入人手定位模块和手势识别模块中进行并行处理。定位模块中输出的手掌质心位置再经过虚实注册模块转换为虚拟环境中虚拟手的三维坐标位置; 人手识别模块输出当前手势信息为手掌。虚拟操作模块根据虚拟手位置信息和手势信息判断当前操作是否满足操作规则, 如果满足, 就激活虚拟场景中量筒, 使其依附在虚拟手上。此时操作者将手型变换为拳头, 锁定量筒, 操作者保持拳头手势并在摄像头前方运动, 就可以驱动虚拟环境中的虚拟手做移动量筒的操作, 如图6所示。

6 结束语

本文根据双目视觉原理, 设计并实现了实时手势识别



(a) 拳头手势



(b) 虚拟手做移动量筒操作

图6 驱动虚拟环境中的虚拟手做移动量筒操作

与定位系统, 将人手的空间定位与手势的识别结合起来, 提出了一种新颖的人机交互方式, 可将其作为虚拟手的驱动接口应用于虚拟化学实验平台中。该系统在实时性、操作稳定性、鲁棒性等方面均达到了满意的效果。人手的识别和定位是一项非常复杂的工程, 本文只是在这方面做了一个初步的探索, 还有许多待解决的问题, 如: 实验环境对光照比较敏感、识别和定位精度不高、无法识别双手操作、没有三维重建手的数据模型等。但我们相信, 随着计算机视觉领域的不断发展, 未来计算机对手势的理解一定能够上升到一个新的高度。

参考文献:

- [1] Hu HH, Jia P, Lu T, et al. Head gesture recognition for handsfree control of an intelligent wheelchair [J]. Industrial Robot, 2007, 34 (1): 60-68.
- [2] ZHAO Qingjie, QIAN Fang, CAI Lidong. Computer vision [M]. Mechanical Industry Press, China, 2005 (in Chinese). [赵清杰, 钱方, 蔡利栋. 计算机视觉 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.]
- [3] WANG Weitao, LI Shiqi, XIONG Youjun. Research and implementation of the object-oriented virtual-hand technology [J]. Computer Engineering & Science, 2006, 28 (2): 45-47 (in Chinese). [王文涛, 李世其, 熊友军. 面向对象的虚拟手技术研究及实现 [J]. 计算机工程与科学, 2006, 28 (2): 45-47.]
- [4] LIU Yang, JIA Yunde. Hand tracking and gesture recognition method based on wearable vision [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2005, 25 (12): 1083-1086 (in Chinese). [柳阳, 贾云德. 基于穿戴视觉的人手跟踪与手势识别方法 [J]. 北京理工大学学报, 2005, 25 (12): 1083-1086.]

- [5] WANG Wei, LUO Fei, JIANG Liangzhong, et al. The target positioning system of a manipulator based on binocular stereo vision [J]. Microcomputer Information, 2007, 23 (72): 210-211 (in Chinese). [汪伟, 罗飞, 蒋梁中, 等. 基于双目立体视觉的机械手精确定位系统 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (72): 210-211.]
- [6] WANG Qianqian. The design of object tracking robot based on the Binocular vision [J]. Microcomputer Information, 2009, 25 (8-1): 74-76 (in Chinese). [汪倩倩. 基于双目视觉的跟踪机器人系统的设计 [J]. 微计算机信息, 2009, 25 (8-1): 74-76.]
- [7] CHU Hongxia, YE Shuijiang, GUO Qingchang. Object tracking algorithm based on Camshift algorithm combining with difference in frame [C]. Jinan, China: Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007: 51-54.
- [8] ZHANG Hongzhi, ZHANG Jinhuan, YUE Hui, et al. Object tracking algorithm based on CamShift [J]. Computer Engineering and Design, 2006, 27 (11): 2012-2013 (in Chinese). [张宏志, 张金换, 岳卉, 等. 基于 CamShift 的目标跟踪算法 [J]. 计算机工程与设计, 2006, 27 (11): 2012-2013.]
- [9] CHENG Wenshan, TAN Guoxin. The research of hand gesture recognition based on skin color and CamShift algorithm [D]. Huazhong Normal University, 2009: 6-32 (in Chinese). [程文山, 谈国新. 基于肤色分割和 Camshift 的手势识别研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2009: 6-32.]
- [10] Criminisi A, Blake A, Rother C, et al. Efficient dense stereo with occlusions for new view synthesis by four-state dynamic programming [J]. International Journal of Computer Vision, 2007, 71 (1): 89-110.
- [11] YUAN Sicong, LIU Jinsong. Research on image matching method in binocular stereo vision [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44 (8): 75-77 (in Chinese). [原思聪, 刘金颂. 双目立体视觉中的图像匹配方法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (8): 75-77.]
- [12] CAI Peicheng. Research on camera calibration of 3D information extraction [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007 (in Chinese). [胡培成. 三维信息提取中的摄像机标定技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.]
- [13] ZHANG Guoquan, LI Zhanming. Research on color image segmentation in HSV space [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46 (26): 179-181 (in Chinese). [张国权, 李战. HSV 空间中彩色图像分割研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (26): 179-181.]
- [14] Gray Bradski, Adrian Kaehler. Learning OpenCV [M]. USA: O' Reilly Media Inc, 2008: 279-290.
- [15] XU De-you. Hand gesture-based interaction in virtual reality training system [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18 (2): 386-388 (in Chinese). [徐德友. 虚拟现实训练系统中基于手势的人机交互 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (2): 386-388.]
- [16] ZHANG Yanli, TAN Tongde, ZHAO Xincan, et al. Construction and design of virtual chemistry experiment platform based on OSG [J]. Computer Engineering and Design, 2010, 31 (12): 2909-2912 (in Chinese). [张艳丽, 谭同德, 赵新灿, 等. 基于 OSG 的虚拟化学实验平台的构建设计 [J]. 计算机工程与设计, 2010, 31 (12): 2909-2912.]

(上接第 258 页)

- [11] Babu R V, Perez P, Bouthemy P. Robust tracking with motion estimation and local kernel-based color modeling [J]. Image and Vision Computing, 2007, 25 (8): 1205-1216.
- [12] Collins R T, Liu Y, Leordeanu M. Online selection of discriminative tracking features [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27 (10): 1631-1643.
- [13] Li P H. A clustering based color model and fast algorithm for object tracking [C]. HongKong, China: Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition, 2006: 671-674.
- [14] YIN H P, CHAI Y, KUANG J J, Yang X Y. A moving target tracking algorithm based on adaptive multiple cues fusion [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2010, 21 (6): 917-923 (in Chinese). [尹宏鹏, 柴毅, 匡金骏, 等. 一种基于多特征自适应融合的运动目标跟踪算法 [J]. 光电子·激光, 2010, 21 (6): 917-923.]
- [15] WANG Q, JIANG S H, ZHANG J Q, et al. An approach to improve the performance of mean-shift tracking algorithm [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2007, 46 (1): 85-90 (in Chinese). [汪沁, 江淑红, 张建秋, 等. 提高 Mean-shift 跟踪算法性能的方法 [J]. 复旦学报 (自然科学版), 2007, 46 (1): 85-90.]
- [16] NING J F, WU C K. A mean shift method for imaging target tracking based on texture feature [J]. PR & AI, 2007, 20 (5): 612-618 (in Chinese). [宁纪锋, 吴成柯. 一种基于纹理模型的 Mean Shift 目标跟踪算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2007, 20 (5): 612-618.]