

图像识别算法在油田集输仿真培训中的应用^①

唐国维¹, 姚姜虹¹, 张方舟¹, 严胡勇^{1,2}

¹(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

²(中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714)

摘要: 以石油企业中的油气集输系统为主要研究对象, 针对目前虚拟仿真技术存在的问题和缺陷, 对油气集输系统的虚拟仿真技术进行较深入研究. 在对油气集输工具图像进行分析和实验研究的基础上, 提取集输工具图像的多种特征值, 其中利用 HSV 彩色空间提取图像颜色特征, 采用傅立叶描述子提取图像的形状特征. 并采用最小二乘支持向量机算法对图像进行识别, 实现了员工在虚拟现实场景中真实、安全、高效培训, 经现场实际使用取得了较好的应用效果.

关键词: 虚拟仿真; 多特征值; 支持向量机

Application of Image Recognition Algorithm in the Training System of Gathering Simulation

TANG Guo-Wei¹, YAO Jiang-Hong¹, ZHANG Fang-Zhou¹, YAN Hu-Yong^{1,2}

¹(School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

²(Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China)

Abstract: This paper deeply researches the virtual simulation technology of oil gas gathering transferring system in the view of the present problem and defects existing in the virtual simulation technology. It treats oil gas gathering and transferring system in oil companies as main research object. The system extracts multiple eigenvalues of gathering and transferring tools' images which is on the basis of analysis experiment research in the image of oil gas gathering and transferring tools. This algorithm uses the HSV color space to extract images' color features and takes advantage of fourier descriptor to shape features. It identifies images by least squares SVM algorithm which finally implements real, safe, efficient training of staff, and has achieved good application affect after actual using.

Key words: virtual simulation; multiple eigenvalues; SVM

1 引言

随着石油企业的不断发展壮大, 油田入职员工人数的不断增多, 新员工的培训任务变得越来越繁重. 而目前石油企业中最常见的培训方式是让新员工观看教学视频、查阅相关书籍或是让老员工讲解等. 这些传统的培训方法有以下缺点^[1]: (1)培训任务繁重; 随着企业员工的不断增加, 传统的培训方法根本不能满足大量的新员工培训需求. (2)培训标准不统一; 由于材料不统一、视频以及老员工讲解的情况不同, 培训标准难以统一, 差异明显. (3)培训效果差, 新员工仅通

过视频、书籍等材料进行学习, 缺乏实际操作经验、无法实时观察操作现象以及应对突发情况, 因此, 整体的培训效果很难达到期望. 针对以上问题, 急需利用虚拟现实技术构建一套针对油田的虚拟仿真培训系统来代替传统的实物培训方式, 使培训更加客观, 形象, 同时不会受外界因素的干扰.

特定操作工具以及操作对象的识别是油田虚拟仿真培训系统的主要研究难点, 一直以来, 传统虚拟仿真系统中的判断、识别等操作都是由相应软件自带的识别算法来完成, 但是这些现有的模块和算法针对性

① 基金项目: 中国石油科技创新基金项目(2012D-5006-0609)

收稿时间: 2014-07-15; 收到修改稿时间: 2014-08-28

不强,无法根据现场环境、条件、设施的不同而采取最佳的处理、识别办法,并且还存在着处理速度慢、精确度低等缺陷。

图像融合这种数据处理方式能够有针对性的提取需要的操作对象,并将其进行归类,如此一来,既加快了虚拟仿真的速度,同时使系统更具有针对性,方便员工操作。图像融合技术根据处理阶段的不同,分为三个层次:像素级融合、特征集融合、决策级融合^[2]。像素级融合是最简单、快捷的方法,融合后的图像较直观,精度也较高,但是处理时间长,开销大。决策级融合的主要方法有: D-S 证据理论,模糊集理论,粗糙集理论等^[3],目前使用的频率较高,但是仍存在开销大,速度慢等缺陷。特征级图像融合在处理速度、实时性等发面有很大的改善,该方法能够最大限度消除冗余信息,因此,基于特征值的图像融合技术目前应用较为广泛。

近年来,随着虚拟现实技术的不断发展和广泛应用,越来越多的人尝试着将新的算法和技术应用于该领域中。龚全胜^[4]采用遗传算法建立了一套虚拟仿真平台的制造设备布局,将布局优化数学模型与算法求解模块与虚拟布局设计系统相结合,达到高精度的仿真要求。但是该设计并没有实现多通道的人机交互,无法做到不同平台的协同工作。刘贤梅、赵丹^[5]等人通过使用特征建模方法,并针对油田安全操作仿真系统的特点,建立了专门的基本动作库,将任务进行分层、分段划分,从而大大提高了运行速度,减小了计算量,但是由于提取的动作数量有限,个别特殊的动作仍然无法识别,因此存在一定的局限性。

由此可见,虚拟仿真技术具有易学习,效率高,真实度强,交互性好等特点,能够大大节约员工培训时间和资源,给许多工业、采油企业的实时仿真提供了新的研究方向,但是目前针对操作物体识别的研究方法并不统一,而且多数算法由于存在局限性而无法广泛应用,本文将图像检测与识别技术与虚拟仿真培训的结合,利用 HSV 彩色空间提取图像颜色特征值、傅立叶描述子提取图像形状特征值,采用多特征融合与最小二乘支持向量机算法相结合的办法,实现油气集输系统虚拟仿真过程中的目标提取与识别操作,该方法不仅能够加快操作速度,提高错误判断的准确率,并且具有广泛性,能够针对同一类操作对象进行统一识别和判断,实验效果较好。

2 三维物体图像识别原理

三维物体图像的识别是一个复杂的过程,由于计算机的识别能力有限,因此在采集到三维物体图像之后必须对三维物体的图像进行预处理,减少冗余信息,增强有需要的图像信息,根据识别标准适当改善图像质量,保证后续操作的可靠性和识别准确度。其中预处理包括去除噪声、平滑处理等操作。

图像预处理之后,需要对图像的每个特征向量进行运算处理,也就是所谓的提取图像特征。从图像中提取出需要识别的三维物体对象,去除多余的背景信息。图像特征分量是提取可靠目标物体的关键,但是特征分量的选取是有条件的,被选取的特征必须能够描述三维物体的重要识别信号,如果选择的特征过多,会导致运算速度变慢,而选取的特征分量过少,又无法保证识别的准确率,因此,选取有代表性的向量来完成对图像的整体描述很重要。

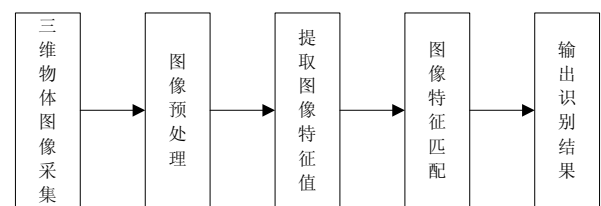


图1 三维物体识别原理

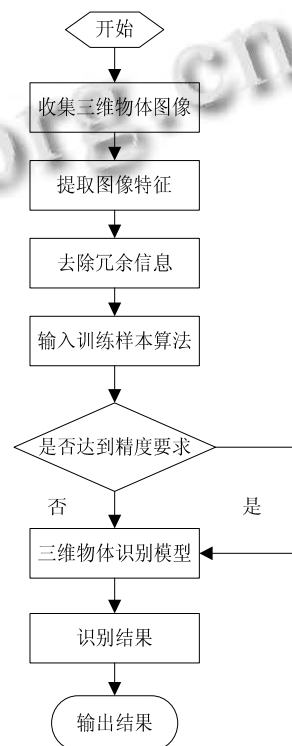


图2 图像识别的操作流程

特征匹配是识别的最后步骤,通过建立准确有效的算法建立起三维物体识别模型,完成特征匹配,输出识别结果.具体如图 1 所示.

由图 1 可知,决定三维物体识别效率的关键是图像特征提取和目标识别算法的选取,而考虑到模拟出的三维模型不存在噪声等干扰信息,因此可以省略图像预处理的步骤.同时为了解决多特征值的信息冗余对识别结果的影响^[6,7],采用提取三维物体的颜色、形状特征的多特征融合方式消除信息冗余.此外,本文采用支持向量机算法针对油田虚拟仿真培训中出现的小样本三维图像进行识别,并用最小二乘法对支持向量机参数进行优化.基于多特征和最小二乘支持向量机相结合的图像识别的操作流程如图 2 所示.

3 三维物体特征值提取

3.1 颜色特征提取

对于一张彩色图像来说,颜色是其最基本、最直观、最明显的特征,根据颜色用户能够简单清楚地记住图像的特征.同样在计算机领域中颜色也是重要的机器视觉信息之一,并在图像检测与识别领域得到广泛的应用.颜色特征具有很好的稳定性和鲁棒性,该特征不会因图像的几何变换(如缩放、旋转等)而发生变化,因此,颜色可以作为任何类型彩色图像的特征值,帮助计算机进行图像识别.

通过颜色特征进行图像识别的办法有很多种,主要包括 RGB、HSV、YIQ 等^[8].RGB 彩色空间由红、黄、蓝三种基本颜色构成,是表示颜色特征最简便的方法.HSV 彩色空间具有更好的面向视觉感知效果,它根据人类对色彩的感觉,将颜色分为色调、饱和度、亮度三个特征.YIQ 彩色空间采取 NTSC 制,存储了图像的亮度信息、色度信息,同时 YIQ 颜色模型可以通过线性变化转为 RGB 颜色模型.考虑到视觉的感知效果等问题,本文决定采用 HSV 彩色空间对三维图像的颜色特征进行描述,H 代表色彩信息,及颜色在光谱中的位置数据;S 代表颜色纯度比例,当 S=0 时,图像仅有灰度;V 代表颜色明亮度,该分量不受外界光线强弱变化的影响.并通过如下变换公式得到需要的 HSV 模型:

$$s = \begin{cases} 0 & , \text{如果 } V = 0 \\ 1 - \frac{\text{Min}(r, g, b)}{\text{Max}(r, g, b)} & , \text{如果 } V \neq 0 \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} \text{unfined} & , s = 0 \\ \text{Mod} \left\{ \frac{g-b}{\text{Max}(r, g, b) - \text{Min}(r, g, b)} * 60, 360 \right\} & , r = \text{Max}(r, g, b) \\ \text{Mod} \left\{ 2 + \frac{b-r}{\text{Max}(r, g, b) - \text{Min}(r, g, b)} * 60, 360 \right\} & , g = \text{Max}(r, g, b) \\ \text{Mod} \left\{ 4 + \frac{r-g}{\text{Max}(r, g, b) - \text{Min}(r, g, b)} * 60, 360 \right\} & , b = \text{Max}(r, g, b) \end{cases}$$

经过 RGB 空间到 HSV 颜色空间的转换之后,得到三维图像的每个像素分量的颜色信息值,尽管视觉看到的三维物体在灯光反射下不同部分的颜色会出现差异,但是 HSV 颜色空间对亮度的不敏感性较好的避免了这一误差.

3.2 形状特征提取

形状是描述一个物体的最直观、最基本的特征之一.将形状作为三维图像的描述特征之一,能够很好地提高识别的准确率.为了提高形状识别的准确率,避免信息损失,本文采用能够进行可逆无损变换的傅里叶形状描述子来提取三维物体的形状轮廓特征^[9].傅里叶形状描述子通过对图像的轮廓边界进行离散傅里叶变换(DFT),从而得到形状描述特征.此外,采用傅里叶描述子方法能够保证缩放、平移和扭曲不变性,在使用较少的低阶系数的前提下,提取出高质量的物体形状轮廓,实现完全没有信息损失的无损变换.具体算法实现如下:

将封闭曲线 D 按逆时针方向匀速运动,得到复函数 $f(t)$, t 表示时间.则 $f(t)$ 的傅里叶表达式为:
$$f(t) = \sum F_n e^{int}, F_n \text{ 就是曲线 D 的傅里叶描述子.将表达式: } t = 2\pi s / L \text{ (L 表示曲线长度), 则}$$
$$F_n = \frac{1}{L} \int_0^L f(s) e^{-i(2\pi/L)ns} ds.$$
由函数式可以看出,曲线 C 的形状、初始点位移变量的变化都影响描述子的 F_n 的值,而在图像边界处于离散的情况下, $f(t)$ 将变为不连续的函数,那么得到的将是描述子集合:
$$S_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} a(u) e^{-int} du,$$
其中, $a(u)$ 为周期函数.

3.3 利用 SVM 训练算法识别三维物体

支持向量机(support vector machine,简称 SVM)是机器学习中较为优秀的算法,该算法能够很好的针对小样本情况进行训练^[10,11].SVM 算法的实现需要设计最优分类超平面以及构造和利用核函数.理想的最优分类超平面能够准确的将两类样本分离,同时保证样本之间距离最大化,如图 3 所示.

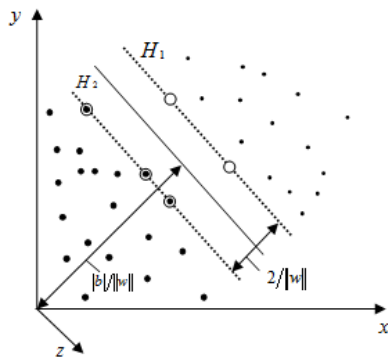


图 3 最优分类超平面划分

定义线性样本集:

$$(x_i, y_i), i=1,2,3,\dots,l, x \in R^n, y \in (-1,1)$$

其中, y 表示类别编号, R^n 表示小样本的特征空间集合. 设 $wx+b=0$ 为能够将样本集两类样本完全分开的超平面, w 表示超平面法向量, b 表示超平面偏移向量. 由图 2 可知, $|b|/||w||$ 表示原点距离超平面的最短距离, 定义超平面间隔为 (s_+, s_-) , 则 $\max(s_+, s_-)$ 即为所求的最有超平面. 在标准的支持向量机算法基础上, 对目标进行优化, 得到能够对样本进行准确分类的分类超平面,

$$\text{优化目标为: } \varphi(w, \xi) = \frac{1}{2}(w^T w) + \gamma \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^l \xi_i^2 \right)$$

约束公式为:

$$y_i [(wx_i) + b] = 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0, i=1,2,3,\dots,l$$

将约束公式变为等式约束, 并引入松弛变量 $\xi_i \geq 0, \gamma$ 表示惩罚因子.

为了解决线性支持向量机算法中非线性的情况, 引入径向基核函数将非线性数据映射到某一个特征空间^[12,13], 函数式如下:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2), \gamma > 0$$

同时为了加快三维图像的分类速度, 引入Lagrange 函数利用对偶问题优化超平面, 相应Lagrange 函数为:

$$L(\omega, e, \beta, b) = \varphi_{LS}(\omega, e) - \sum_{i=1}^l \beta_i (y_i (\omega^T (\varphi(x_i) + b) - 1 + e_i))$$

其中 β_i 为Lagrange算子, 分别对 ω, e, β, b 求导最终得到等式:

$$\begin{bmatrix} 0 & y^T \\ y & H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中, 正定矩H中的元素可表示为:

$$h_{ij} = y_i y_j \varphi(x_i)^T \varphi(x_j) + \delta_{ij} \frac{1}{\gamma} = y_i y_j K(x_i, x_j) + \delta_{ij} \frac{1}{\gamma}$$

由上式可知, 引入径向基核函数之后, 使最小二乘支持向量机算法仅有 γ 和 β 两个运算参数, 从而大大降低了样本分类运算复杂度. 利用基于最小二乘的支持向量机算法用等式代替不等式运算, 进一步提高了识别速度和效率, 并且减少了所需的存储空间, 因此, 本文采用的最小二乘支持向量机算法实现模拟三维图像的识别有效合理.

4 物体识别在仿真研究中的应用

油田员工虚拟仿真培训中需要用到的三维物体模型由 3D MAX 三维建模软件建立, 在油田虚拟仿真操作系统中涉及到的具体操作对象如图 4 所示.

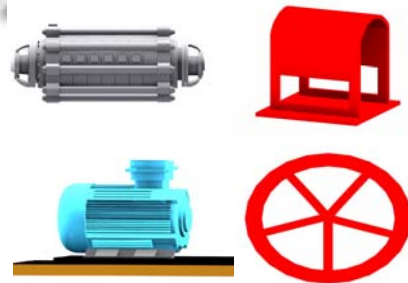


图 4 虚拟仿真系统中操作识别对象

最小二乘支持向量机算法的程序设计采用 VC++6.0 进行编译和调试, 并将算法封装于 Virtools5.0 特有的 Building Block 模块中, 实现了三维模型交互设计, 并利用 Virtools5.0 软件中的 Send Message、Check For Message Building Block 和 Get Message Data Building Block 等 BB 模块完成自动识别员工操作物体的工作并将识别及操作结果的返回, 经过实验验证表明, 该方法能够较快的检测出油气集输操作中的各种操作类型工具, 与传统的仅利用 Building Block 逐一识别法相比, 速度较快, 并且能够将检测识别的物体进行归类统一, 大大减少了识别工作量, 提高了工作效率. 具体的算法应用情况如图 5 所示.





图5 图像识别算法对进口阀门进行识别和操作

此外,油气集输虚拟仿真培训中加入图像识别算法同时实现了对员工培训情况的考核判断。在模拟培训开始前,计算机已经将正确的三维物体识别存储于样本集中,培训开始后,将员工选择的三维模型与样本集进行比对识别,判断操作是否正确,并将最终结果返回,根据员工操作的准确性给出分数,判别情况如图6所示。

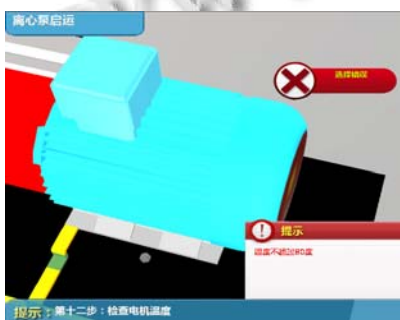


图6 考核阶段判别操作是否正确

5 结语

本文针对大庆油田杜蒙油气集输系统中的三维物体进行建模,同时采用多特征融合和最小二乘支持向量机算法对模拟三维模型进行图像识别操作,帮助完成油田员工的模拟仿真培训。在虚拟仿真训练中加入多特征融合和最小二乘支持向量机算法,在改善原有算法缺陷的基础上,更快速的判断操作的准确性,同时提高了操作触发速度,在节省资源的同时,提高

了员工的培训效果。为实现虚拟仿真技术提供了一种新的解决方法。

参考文献

- 1 刘贤梅,郝爱民.油田安全作业虚拟仿真训练系统研究.系统仿真学报,2006,18(11):3082-3087.
- 2 刘帅师,田彦涛,万川.基于 Gabor 多方向特征融合与分块直方图的人脸表情识别方法.自动化学报,2011,37(12):1455-1463.
- 3 邢卓异.基于图像的目标识别与跟踪方法研究[学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- 4 龚全胜.基于遗传算法的制造系统虚拟设备布局设计[学位论文].武汉:华中科技大学,2004.
- 5 刘贤梅,赵丹,贾利强.虚拟仿真培训系统中物体交互技术研究.哈尔滨商业大学学报,2009,25(5):578-589.
- 6 贾伟,张清,席庆彪.基于 SURF 的 UVA 快速目标识别算法.计算机工程与应用,2013,49(23):132-136.
- 7 陈丽,陈静.基于支持向量机和 K-近邻分类器的多特征融合方法.计算机应用,2009,29(3):833-835.
- 8 柳群英.基于形状特征的图像检索技术.情报杂志,2004,23(4):87-88.
- 9 王惠文,吴载斌,孟洁.偏最小二乘回归的线性与非线性方法.北京:国防工业出版社,2006.
- 10 Nowak E, Jurie F, Triggs B. Sampling strategies for bag-of-features image classification. European Conference on Computer Vision. Graz. Springer. 2006. 490-503.
- 11 丁世飞,齐丙娟,谭红艳.支持向量机理论与算法研究综述.电子科技大学学报,2011,40(1):2-10.
- 12 孙宁,冀贞海,邹采荣,等.基于 2 维偏最小二乘法的图像局部特征提取及其在面部表情识别中的应用.中国图像图形学报,2007,12(5):847-852.
- 13 唐宏.图像相似性模型算法与应用研究[学位论文].上海:上海交通大学,2006.