

Research on Several Key Technologies for 3D Motion Measurement Based on Stereo Vision

Yun Zhu^{1,2} Wei Zhang² Defeng Lu²

1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing, Jiangsu, 210029, China
2. Jiangsu Kexing Project Management Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210029, China

Abstract

In the rapid development of science and technology today, applied in engineering, industry and many other industries of mobile monitoring devices, there is a high demand for measurement accuracy and measurement methods. In recent years, 3D motion detection technology and equipment have developed rapidly in machinery manufacturing, aerospace, electronic industry, medical rehabilitation, traffic monitoring, motion analysis and virtual reality. A new 3D action detection technology with vision as the core breaks the limitations of the traditional action detection method in action detection and provides a new method and means of action detection.

Keywords

stereo vision; motion measurement; image processing; edge detection

基于立体视觉的三维运动测量若干关键技术研究

朱昀^{1,2} 张伟² 卢德锋²

1. 南京水利科学研究所, 中国·江苏 南京 210029
2. 江苏科兴项目管理有限公司, 中国·江苏 南京 210029

摘要

在科学技术迅速发展的今天, 应用于工程, 工业以及其他许多行业中的移动监测装置, 对于测量精度以及测量方法都有很高的需求。近年来三维运动探测技术和设备在机械制造, 航空航天, 电子工业, 医疗康复, 交通监控, 运动分析和虚拟现实等方面得到迅速发展。而一种全新的以视觉为核心的3D动作检测技术打破了传统动作检测方式在动作检测中的局限性, 提供了一种全新的动作检测方法手段。

关键词

立体视觉; 运动测量; 图像处理; 边缘检测

1 引言

基于立体视觉的三维运动测量是计算机视觉领域的一个重要研究方向, 它可以用于测量目标的位置和运动轨迹, 对于机器人导航、虚拟现实、运动分析等应用具有重要意义。在过去的几十年里, 随着计算机硬件和算法的发展, 基于立体视觉的三维运动测量技术取得了显著的进展。

2 测量系统组成

在测量系统中, 特征标记杆可根据需要任意调节高度或直径大小, 以满足不同测量需求。在特征标记棒中布置五个高反射率反射标记球, 系统将标志球作为影像对象, 利用其在照相机像平面所成影像圆心坐标与标志球各点之间的几何限制关系, 完成对应特征之间的匹配, 并构造出对应标

志球立体投影模型。接着, 采用三角形方法确定标志球球心空间坐标, 并运用设计的运动模型计算出待测运动对象的常规三维刚体运动参数及转动中心。

3 常用边缘检测方法

3.1 基于局部图像函数的边缘检测方法

该算法采用一种创新的方法, 即在一个小窗口内将一个面拟合为一个面, 然后使用该面提取边界或在该面上进行二阶微分以获得相交的零点。由于这种方法不需要任何迭代就能获得所需的曲面形状, 因而具有良好的计算效率和稳定性。然而, 该算法存在着需要更多重复操作的像元邻近区域, 以及无法保证整幅图像凸度均匀、所得光滑表面仅为图像近似等缺陷, 这些问题需要得到解决^[1]。

3.2 基于新算法的边缘检测方法

3.2.1 模糊数学在边缘检测中的应用

图像边缘检测是图像处理中的一个重要步骤, 它可以提取出图像中感兴趣的物体或区域, 并为后续的分析 and 识别

【作者简介】朱昀(1990-), 男, 中国安徽铜陵人, 硕士, 工程师, 从事水利水运方向研究。

提供基础。在20世纪80年代中期，Pal、King等人借鉴了模糊集理论的思想，设计了一种新颖而有效的图像边缘检测方法，该方法利用模糊逻辑对图像中每个像素的灰度值进行判断，根据其周围像素的差异程度，赋予其一个介于0到1之间的隶属度值，表示其属于边缘或非边缘的可能性。然后，根据设定的阈值，将隶属度值高于阈值的像素标记为边缘，低于阈值的像素标记为非边缘，从而实现了图像边缘的检测和分割。这种方法具有很多优点，如能够适应不同类型的图像，能够保留细节和纹理信息，能够抑制噪声和模糊等干扰因素，并且能够在模式识别和医学图像处理等领域发挥重要作用。

然而，这种方法也存在一些不足之处，主要表现在以下两个方面：一是它会导致一些基础图像的边界信息丢失或模糊，因为它只考虑了局部区域内的灰度变化，并没有充分利用全局信息和先验知识来辅助判断；二是它会增加计算量和时间，因为它需要对每个像素进行复杂的模糊运算，并且需要人为地选择合适的阈值和参数来控制检测效果。

为了克服这些问题，许多学者和工程师对Pal方法进行改进和优化，主要采用了以下几种策略：一是引入不同的算子或滤波器来增强或平滑图像，以提高边缘检测的精度和鲁棒性；二是结合其他的图像处理技术，如形态学、小波变换、神经网络等，以提高边缘检测的灵敏度和自适应性；三是利用并行计算或硬件实现来加速边缘检测的过程，以提高边缘检测的效率和实用性。

通过这些改进，Pal方法已经得到了很大的发展和完善，一些图像工作者已经成功地应用了改进后的Pal方法来提高图像的抗噪性能，即使在噪声干扰较大或对比度较低的情况下，也能够准确地检测出图像的边缘；一些图像编辑也正在接受Pal方法的训练，以提高自己的边缘检测速度和技巧，从而能够更好地处理和美化图像。

3.2.2 人工智能在边缘检测中的应用

前馈神经网络学习过程中广泛采用BP算法。这种方法可以根据图像特征自适应地确定网络权重及阈值，从而得到较好的结果。在此基础上，提出了一种全新的边界提取技术^[3]。因此需要寻找新的更有效的边界检测方法。然而，BP神经网络收敛速度慢，易陷入局部最小值，算法不够稳定，且模型参数难以调整，这些缺陷使得其难以满足工程上的要求。近年来，遗传算法已成为一种基于自然选择的搜索方法，其计算方便、功能强大等特点使其成为边界探测领域中最受欢迎的最优选择之一。

4 合成图像试验验证

通过将Sobel和Canny的边缘检测算法与传统基于小波变换差分基的边缘检测算法相结合，并采用对数边缘检测算法和自适应门限边界检测算法相结合的方法，成功实现了边缘自动检测。由于它是通过网络的自组织映射实现的，因

而具有很强的容错性和鲁棒性。文章介绍了几种常用的边缘检测与增强算法，包括Sobel、Canny、基于小波尺度的直接乘积和基于对数图像处理方式的差分等方法，并对它们进行了比较分析。

4.1 论文算法在合成非均匀弱照明阶梯图像上的有效性验证

本实验设定相机尺寸为256×256像素，并按照前文所述的CCD相机成像公式，选取相机系数 $\alpha=0.5$ ， $\beta=15$ 。图像左右两部分的反射率分别为0.1和0.15。在图像中添加 $\sigma=3$ 白高斯噪声，得到非均匀的弱照明图像。使用5种边缘检测方法，提取出图像的阶梯边缘。采用Pratt提出的边缘检测算法，计算了标准F系数，量化地评价了边缘检测结果，并比较了这五种边缘检测方法在非均匀低照明图像中的表现。确定F值的方法如下：

$$F = \frac{1}{\max(N_I, N_D)} \sum_{i=1}^{N_D} \frac{1}{1 + \xi d_i^2}$$

式中： d_i ——检出的边缘和离它最近的理想边缘的距离；

ξ ——惩罚常量；

N_I ——理想的边缘像素个数；

N_D ——被检测出的边缘像素个数；

F值应低于或等于1。

当此数值较高时，表明该方法具有显著的效果。在表1中呈现了五种不同的边界探测算法所得到的F数值。根据表1的数据，方案4和方案5的F值明显偏高，这是由于它们都采用了光照互不干扰的设计理念所致。

表1 不同边缘检测方法获得的F值

评价系数	方法1	方法2	方法3	方法4	方法5
F	0.7070	0.8281	0.8672	0.9616	0.9843

同时也探讨了影响定位精度的因素。以下为运算法则：

$$Ed = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_g(i) - P_d(i))^2}$$

式中，N——图像中边缘像素的个数；

$P_g(i)$ ——最近真实像素位置；

$P_d(i)$ ——被检测的对应的边缘像素位置。

根据表2所示，对于台阶影像所得到的边界点和实际边界点，采用了五种不同的方法，并计算出它们之间的方差。

表2 不同边缘检测方法获得的Ed值

标准差	方法1	方法2	方法3	方法4	方法5
E	0.3319	0.2535	0.2309	0.1669	0.1265

4.2 利用含有多个不同几何目标的合成图像验证论文算法

本实验假设相机尺寸为256×256像素，设置相机系数 $\alpha=0.2$ ， $\beta=30$ 。照明强度函数 $I(x,y)$ 遵循公式 $I(x,y)=2200x[\cos(\pi/2)] \cdot [(1-(x+y)/510)+400]$ 变化。图像左半部分的反射率 r_0 为0.1，图像右半部分的反射率 r_b 为0.15。这

些几何目标的反射率 r_0 从 $[0.12, 0.25]$ 中随机选择, 尺寸和位置也在规定的范围内随机给出。接着, 在图像中加入 $\sigma=3$ 的白高斯噪声, 形成非均匀的弱照明图像, 如图 1a) 所示。

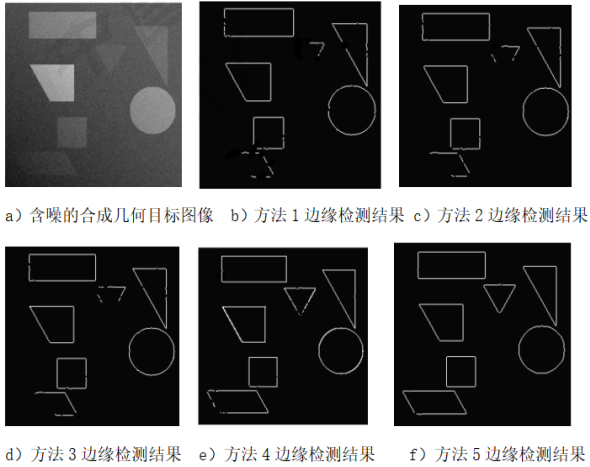


图 1 非均匀弱照明下的几何目标边缘检测结果

4.3 利用 Lena 图像验证论文方法

本实验假设相机尺寸为 256×256 像素, 设置相机系数

$\alpha=0.2, \beta=30$ 。照明强度函数 (x, y) 按照公式 $g(x, y)=0.2 [0.5+4.5x\cos(\pi/2) \cdot (x+y)/510]g(x, y)$ 变化。图像左半部分的反射率 r_0 为 0.1, 图像右半部分的反射率 r_b 为 0.15。然后, 在图像中加入 $\sigma=3$ 的白高斯噪声, 生成非均匀的弱照明图像。

5 结论

综上所述, 基于立体视觉的三维运动测量的关键技术研究是一个复杂而重要的课题。通过不断的技术创新和改进, 可以提高测量的准确性和实时性, 为各种应用领域提供准确和可靠的三维运动信息。基于立体视觉的三维运动测量技术将不断发展和完善, 为计算机视觉和机器人技术的应用提供更广阔的空间。

参考文献

- [1] 钟建英,刘煜,陈培军,等.基于图像处理的操动机构运动特性检测[J].大连交通大学学报,2022,43(5):76-81.
- [2] 陈轩,宋根龙,田彤,等.基于图像边缘特征检测的单目立体视觉算法[J].计算机技术与发展,2021,31(10):76-80.
- [3] 李山,李晔.基于立体视觉和波浪理论的波面测量方法初探[J].应用数学和力学,2022,43(12):1359-1369.