

基于多特征融合的科学仪器 工作状态检测方法

商 飞¹, 马骏骁¹, 姚 立², 田 地¹, 邱春玲¹

(1. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061; 2. 吉林大学 测试科学实验中心, 长春 130061)

摘要:针对单一特征量状态检测的非鲁棒性,提出一种应用多特征融合技术的科学仪器工作状态检测方法。建立了条件约束方程组对基于圆内接直角三角形的圆检测算法加以改进。提出串并联混合结构模型,采用各特征量的模糊置信度作为模型输入,依据全局融合中心得出的综合置信度,决策出科学仪器工作状态指示灯的指示状态。EMX-SM7型电子探针的应用实验表明,该方法可以在多变的环境中准确可靠地完成在线检测任务。

关键词: 计算机应用; 多特征融合; 计算机视觉; 仪器状态检测; 科学仪器

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2010)02-0545-04

Multi-feature fusion based method for monitoring working status of instruments

SHANG Fei¹, MA Jun-xiao¹, YAO Li², TIAN Di¹, QIU Chun-ling¹

(1. College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Testing Science and Experiment Center, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: To overcome the non-robustness of status detection using single feature, a multi-fusion based method is proposed to monitor the working status of instruments. Constraint equations are derived to improve the original circle detection algorithm, which based on right triangles inscribed in a circle. The fuzzy confidence of each feature is taken as model input, a Series and Parallel Combined Structure Model (SPCSM) is proposed. The SPCSM decides the state of working indicator of an instrument according to the comprehensive confidence obtained from the global fusion center. Experiments on electron probe (NO. EMX-SM7) show that the proposed algorithm can execute online monitoring task accurately and reliably in a varying environment.

Key words: computer application; multi-feature fusion; computer vision; status detection of instrument; scientific instrument

科学有效地监测仪器的使用状况^[1],为资源的管理和评估提供依据,正逐渐成为社会的共识。马骏骁等^[2]提出一种从监测对象外围的指示部件

采集工作状态信息的方法,其非接触检测方式需要采用遮光装置密封住科学仪器上的状态指示灯,仪器操作人员无法查看对应的状态指示灯,

收稿日期: 2008-04-08.

基金项目: 国家科技基础条件平台建设项目(2004DKA10010, 2005DKA10103).

作者简介: 商飞(1981-),男,博士研究生.研究方向:计算机视觉,视频图像处理. E-mail: shangfei_jlu@126.com

通信作者: 田地(1958-),男,教授,博士生导师.研究方向:分析仪器网络化,远程测控系统. E-mail: tiandi@jlu.edu.cn

获取必要的状态信息。随着计算机视觉检测技术的发展成熟,视觉智能检测^[3]被越来越多地应用到各行各业的生产实践中,文献[4]利用色调匹配提取红色区域,实现对三角形标志的检测,但是实验证明,当颜色区域较小,环境光强较强的情况下,基于颜色特征的匹配是非鲁棒的。

准确可靠地检测状态指示灯必须克服外界环境引入噪声(如照明光线变化、目标体移动、外界颜色干扰等)的影响,并且仪器面板大多具有近似的灰度分布,因此单一使用色调匹配或者模板匹配的方式很难实现准确可靠地检测。又因为仪器面板常常多个状态指示灯并排放置,无法单一使用特征点定位的方法完成对感兴趣状态指示灯的定位检测。针对以上问题,本文在改进基于圆内接直角三角形圆检测算法的同时,将多特征信息融合技术引入计算机视觉状态检测系统,提出应用串并联混合结构进行多特征融合建模,利用特征点定位、模板匹配、色彩空间匹配等多个特征量之间独立、互补的特性,联合使用模糊置信度空间,共同决策仪器状态指示灯的指示状态。

1 多特征状态获取

1.1 特征点定位

所检测的状态指示灯大多具有圆形轮廓,基于圆内接直角三角形圆检测算法^[5]能够利用较少的内存及CPU资源实现圆形指示灯的定位。考虑到实施定点检测时,所需定位的目标对象具有特定参数,因此对原算法进行改进。

如图1所示,记 $A(X_{Ai}, Y_{Ai})$ 为圆内接直角三角形的起始搜索点, $B(X_{Bi}, Y_{Bi})$ 为A点水平方向的边缘像素点, $C(X_{Ci}, Y_{Ci})$ 为A点垂直方向上的边缘像素点。圆轮廓的真实半径值为 r ,设定2

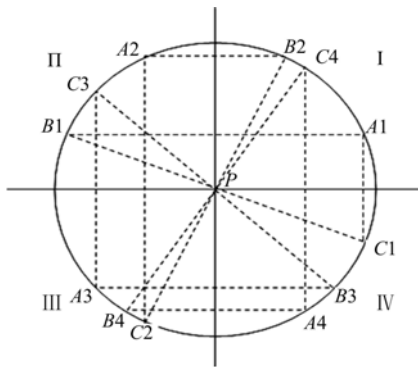


图1 圆检测算法示意图

Fig.1 Schematic diagram of circle detection

个阈值 r_{HT} 、 r_{LT} 满足 $r_{LT} \leq r < r_{HT}$,对候选三角形进行条件约束为

$$|X_{Bi} - X_{Ai}| + |Y_{Ci} - Y_{Ai}| \leq 2r_{LT} \quad (1)$$

$$|X_{Bi} - X_{Ai}| \geq 2r_{HT} \quad (2)$$

$$|Y_{Ci} - Y_{Ai}| \geq 2r_{HT} \quad (3)$$

候选三角形如果满足式(1)(2)(3)中的一项,则定义为无效候选值,从直角三角形集合中剔除此候选三角形。最后,利用剩余的候选三角形求取最终圆的半径值和圆心坐标。

圆检测的一系列方法^[6-7]需在半径值运算后有选择地剔除掉半径不符合要求的候选圆。而基于圆内接直角三角形的圆检测改进算法在计算半径值的复杂平方、开方运算前剔除掉无效的候选值,进一步降低了运算复杂度,减少了占用的内存。

1.2 模板匹配

为避免出现误匹配以及匹配失败的事件,对感兴趣的状态指示灯进行特征点标记,即人为在感兴趣的状态指示灯的下方添加具有特征图案的标记。对特征点进行标记可以增加感兴趣区域的灰度分布,提高基于灰度的模板匹配的命中率。

记图像为 I ,大小为 $W \times H$,模板为 T ,大小为 $w \times h$,则模板匹配相似度的测度为

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} [T(x', y') \cdot I(x + x', y + y')]}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad (4)$$

式中: $x' = 0, 1, \dots, w - 1$; $y' = 0, 1, \dots, h - 1$; $R(x, y)$ 为匹配结果。

1.3 色彩空间匹配

可以采用颜色匹配的方法对状态指示灯的状态进行检测,但是应用到具体检测时存在如下问题:在外界光线的影响下,状态指示灯在图像中呈现的并不全是特定的颜色特征,而是强度比较大的圆形白色亮斑,此时使用 H 特性进行检测将无法实现可靠检测,实验发现,此时相应的亮度直方图可以较好地区别指示灯亮、灭的两种状态,因此本文使用色调、亮度联合检测的办法进行色彩空间匹配,即同时提取同一帧图像的色调和亮度特征,供进一步的状态判断。

2 多特征融合检测

信息融合的核心思想就是一种综合分析的思想,本文采用多特征融合的方法综合决策科学仪

器状态指示灯的指示状态。

与模板匹配、色彩空间匹配相比,圆检测用于对图像中圆形特征进行定位,其检测信息无法与以上两者并联融合,综合串联和并联融合结构的优缺点,本文提出串并联混合结构模型(SPCSM),模型中包含若干个局部融合中心(Local fusion center, LFC)和全局融合中心(Global fusion center, GFC),采用各特征量的模糊置信度作为模型的输入。

混合结构的通用模型如图 2 所示,其中 $\{S_t(i) | t=1, \dots, M\}$ 为第 i 次融合中串行结构各特征量模糊置信度的输入端; $\{H_t(i) | t=1, \dots, M\}$ 为 $\{S_t(i) | t=1, \dots, M\}$ 分别经过对应局部融合中心推理输出的结果; $\{P_t(i) | t=1, \dots, N\}$ 为第 i 次融合中并行结构各特征量模糊置信度的输入端;各路信息经过全局融合中心的推理分析,最终决策输出结论 $J_G(i)$ 。

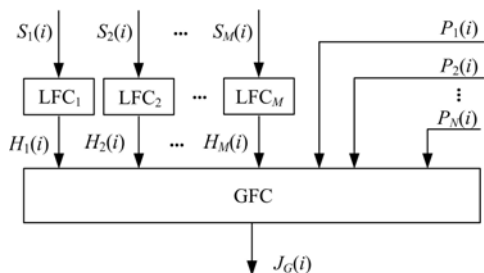


图 2 串并联混合结构模型示意图
Fig. 2 Schematic diagram of SPCSM

将上述通用模型应用到本文所作的检测时,串行及并行输入端的输入通道数分别为 $M=1$, $N=3$, $S_1(i)$ 、 $P_1(i)$ 、 $P_2(i)$ 、 $P_3(i)$ 分别表示在一帧图像中圆检测算法、模板匹配、色调匹配、亮度匹配的模糊置信度, $i=0, \dots, N$ (N 为经过圆检测之后检测出的圆的数量)。

圆检测算法模糊置信度定义为:经过检测落到该圆上的像素点个数与圆周长之比,即

$$S_1(i) = \frac{T_c(i)}{2\pi r(i)} \quad (5)$$

式中: $r(i)$ 为对应圆半径的值。

模板匹配的模糊置信度采用每个圆区域的模板匹配的相似度测度值,即 $P_1(i) = R(x, y)$ 。

色彩空间匹配的模糊置信度定义为

$$P_2(i) = \frac{T_H(i)}{4r^2(i)} \quad (6)$$

$$P_3(i) = \frac{T_1(i)}{4r^2(i)} \quad (7)$$

式中: $T_H(i)$ 、 $T_1(i)$ 分别为在以第 i 个圆的圆心为中心,边长为 $r(i)$ 的正方形内像素色调值、亮度值超过一定阈值 ξ 的像素的个数。

局部融合中心以及全局融合中心决策级输出的特征函数定义为

$$H_1(i) = \begin{cases} \chi_1, & S_1(i) \geq \delta_{HT} \\ \chi_2, & \delta_{LT} \leq S_1(i) < \delta_{HT} \\ \chi_3, & S_1(i) < \delta_{LT} \end{cases} \quad (8)$$

$$J_G(i) = H_1(i) * \sum_{t=1}^3 a_t P_t(i) \quad (9)$$

式中: δ_{HT} 、 δ_{LT} 均表征圆检测模糊置信度的分段区间; $\{\chi_j | (j=1, 2, 3)\}$ 为根据模糊置信度的分段区间局部融合中心的输出结果。需要注意的是,为了不影响模型并行结构的决策权重, χ_j 的值不宜过小,通常保持大于 0.5; $\{a_t | t=1, 2, 3\}$ 为特征函数中各特征项的权重因子, a_t 的分配应该根据各个特征项的可靠程度来确定,同时应满足

$$\sum_{t=1}^3 a_t = 1 \quad (10)$$

本文根据各特征量检测实验的结果确定并改善权重因子,最终根据综合置信度 $J_G(i)$ 的输出结果,得出正确的状态指示灯的当前状态。

3 状态检测实验与讨论

3.1 状态检测实验

本文对吉林大学测试科学实验中心 EMX-SM7 型电子探针(日本岛津公司生产)进行了有效工作状态检测应用实验。参照大型科学仪器之电子探针类仪器工作状态监测标准,与实验技术人员共同确定监测对象,该对象要求能够科学有效地反映仪器加灯丝的状态。

图 3 为采集的电子探针仪器工作图像,图像大小为 640 像素 \times 480 像素,RGB 格式。图中添



图 3 摄像装置采集的图像

Fig. 3 One frame from video capture device

加标记的状态指示灯即为感兴趣的状态指示灯。算法使用 VC++ 编程实现,测试主机 CPU 为 1.73 GHz, RAM 为 256 Mbit。在上述算法环境中,本文做了如下 4 组实验。

实验 A:算法只采用色彩空间匹配中的色调匹配,而没有结合应用亮度匹配算法。

实验 B:算法只采用特征匹配,且没有为感兴趣状态指示灯添加特征标记。

实验 C:算法只采用特征匹配,为感兴趣状态指示灯添加特征标记。

实验 D:算法采用基于多特征融合的所有特征检测。

在每组实验中,每次感兴趣状态指示灯发生变化,按照实验流程,都将伴随着摄像装置的微移动、光线强弱变化、非感兴趣状态指示灯状态变化、人影的影响等环境变化之一,实验数据如表 1 所示。

表 1 4 组实验数据列表

Table 1 Data list of four examples

实验号	实验次数	检测失败次数*	检测成功率/%
A	25	4	84
B	25	8	68
C	25	2	92
D	25	0	100

* 表示检测失败事件包括漏检测以及无检测。

3.2 实验讨论

实验 A 在 25 次检测中有 4 次失败。一方面,在一帧图像中状态指示灯较小,当外界环境的光强过大时,色调特性被掩盖,出现漏检测现象;另一方面,周围存在相似颜色的区域,造成误检测。结果说明,单纯利用色调特性检测指示灯的方法是非鲁棒的。

实验 B 在 25 次检测中失败次数多达 8 次,实验 C 失败次数有 2 次。说明基于灰度的模板匹配算法在本实验环境中是非鲁棒的;另一方面,可以看出对感兴趣状态指示灯进行特征点标记是很有必要的。

从以上分析可以得出式(9)的各特征项权重因子的分配,应该按照特征项检测成功率从大到小顺次分配权重因子的值。

实验 D 每次都能够在准确地检测到信号变化,平均检测时间 $t < 1.2$ s,满足实时、可靠检测的要求。

4 结束语

本文采用条件约束方程组对圆检测算法进行改进,有效降低了运算复杂度。提出串并联混合结构模型(SPCSM),联合使用模糊置信度,实现了对科学仪器工作状态稳定可靠的检测。对状态指示灯的状态检测并不局限于科学仪器工作状态检测领域,本文所提出的多特征融合检测的思路可以扩展到其他应用领域。

参考文献:

- [1] 田地,邱春玲,杨智君,等.大型科学仪器工作状态监测系统简介[J].实验技术与管理,2005,22(12):1-2.
Tian Di, Qiu Chun-ling, Yang Zhi-jun, et al. Introduction of working state monitoring system for scientific instrument[J]. Experimental Technology and Management, 2005, 22 (12) :1-2.
- [2] 马骏骁,李伟,杨智君,等.科学仪器工作状态监测装置的设计与实现[J].分析化学,2007,35(3):466-468.
Ma Jun-xiao, Li Wei, Yang Zhi-jun, et al. Design and implementation of monitoring device for scientific instrument's working state[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2007, 35(3):466-468.
- [3] Robert T C, Lipton A J, Kanade T. Introduction to the special section on video surveillance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8):745-746.
- [4] 朱双东,张懿,陆晓峰.三角形交通标志的智能检测方法[J].中国图象图形学报,2006,11(8):1127-1131.
Zhu Shuang-dong, Zhang Yi, Lu Xiao-feng. Intelligent approach for triangle traffic sign detection[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(8):1127-1131.
- [5] 商飞,王丰贵,田地,等.一种基于圆内接直角三角形的圆检测方法[J].光学学报,2008,28(4):739-743.
Shang Fei, Wang Feng-gui, Tian Di, et al. A method for circle detection based on right triangles inscribed in a circle[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28 (4):739-743.
- [6] Xu L, Oja E, Kultanan P. A new curve detection method: randomized hough transform (RHT)[J]. Pattern Recognition Letters, 1990, 11: 331-338.
- [7] Chiu S H, Liaw J J. An effective voting method for circle detection[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26:121-133.