

结合颜色不变量和 ORB 特征的图像匹配算法

李胜辉, 史瑞芝, 叶辉

(解放军信息工程大学, 郑州 450001)

摘要: **目的** 针对现有图像匹配算法因忽略图像颜色信息, 使算法对光照变化的鲁棒性较差, 容易造成图像误匹配的情况进行改善。**方法** 颜色信息是区分不同图像的重要特征, 通过提取彩色图像颜色不变量的方法获得图像的颜色信息, 并将颜色不变量与 ORB 特征描述子相结合, 形成一种 C-ORB 算法, C-ORB 算法在保留 ORB 算法优点的基础上, 能够将图像的色彩信息应用到图像匹配过程当中。**结果** 实验结果表明, 结合了颜色不变量的 ORB 算法在保留了 ORB 算法运算速度快的基础上, 能够在不同光照强度、不同光照方向下, 获得更多的图像细节, 匹配更为准确。**结论** 在移动手机、平板电脑等移动终端设备进行印刷品识别与匹配时, 能够在保证识别图像识别速度的基础上进一步减少图像的误匹配。

关键词: ORB; 颜色不变量; 图像匹配; 光照鲁棒性; 移动终端

中图分类号: TS805.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)15-0018-06

Image Matching Algorithm by Combining Color Invariant and ORB Feature

LI Sheng-hui, SHI Rui-zhi, YE Hui

(The PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: This paper aims to solve the problem with the current image matching algorithm which ignores image information, thus leads to bad robustness of illumination variation and easily causes error matching. Color is an important component for distinction between images. In this paper, we presented a new approach based on color invariant and ORB feature, called C-ORB. It applied color information to the image matching while retaining the ORB's efficiency and performance. Experimental results showed that C-ORB retained the ORB's efficiency, could get more image details, and was more accurate and stable with respect to variations in the photometrical imaging conditions. In conclusion, for recognition and matching of pressworks on mobile terminals like mobile phone and tablet PC, this algorithm can further reduce error matching while retaining the original speed of image recognition.

KEY WORDS: ORB; color invariant; image matching; illumination robustness; mobile terminal

随着科技的不断发展和人们生活水平的不断提高, 移动手机、平板电脑等移动电子设备已然成为了人们获取各类信息资源的主要渠道, 同时也在一定程度上成为了人们日常生活中必不可少的一

部分。不可否认的是, 移动电子设备的迅速发展对传统印刷行业也造成了不小的冲击, 因此如何将移动电子设备和传统印刷品进行结合, 借助移动电子设备丰富并扩展传统印刷品的内容信息, 已经成为

收稿日期: 2016-04-12

作者简介: 李胜辉 (1987—), 男, 河南平顶山人, 解放军信息工程大学博士生, 主要研究方向为数字媒体技术、数字印刷流程、图文信息处理。

通讯作者: 史瑞芝 (1962—), 女, 山东蓬莱人, 博士, 解放军信息工程大学教授, 主要研究方向为数字印刷流程、图文信息处理、地图出版及印刷。

传统印刷行业新的研究重点和发展方向^[1]。

若要实现移动电子设备与印刷品的结合,首先需要建立两者之间的相互关系,目前主要采用二维码识别、条形码识别和图像识别与匹配等技术来实现。由于二维码识别和条形码识别技术需要在印刷品上印制相应的特殊标记方能实现识别和匹配,与图像识别和匹配技术相比,这种方式会影响印刷图像的整体效果,不利于印刷内容信息的准确表达和传递。在这种情况下,采用图像识别和匹配的方式不仅能够建立移动电子设备和传统印刷品之间的相互关系,而且对印刷品的整体效果也不形成任何影响。

在图像识别和匹配过程中,颜色是区分不同图像的重要特征。与灰度图像相比,彩色图像在不同光照强度、光照方向下的特征变化没有那么明显,具有更强的鲁棒性,可有效克服环境光照变化造成的影响^[2]。现在的图像匹配算法往往是将彩色图像转换为灰度图像之后进行特征提取,摒弃了图像中的色彩信息,这种忽略图像颜色信息的处理方式比较容易造成图像匹配过程中的误匹配。

与台式电脑和笔记本电脑相比,移动电子设备的配置往往相对较低,因此图像匹配算法的复杂度和运算效率也是一个非常重要的指标^[3]。笔者选择一种运算复杂度较低、运算效率较高的 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 算法^[4],并将其与彩色图像中提取到的颜色不变量相结合,形成了一种 C-ORB 算法,使之在保留 ORB 算法高效率的基础上,将彩色图像中的颜色信息也应用到图像的匹配过程中,用以提升图像匹配过程中算法的准确性和鲁棒性。

1 算法原理分析

C-ORB 算法的主要原理是采用 ORB 算法提取图像的几何特征,同时采用提取彩色图像颜色不变量的方式将提取到的颜色信息应用到图像特征点的特征描述子建立过程中,然后根据特征点的特征描述子对特征点进行匹配计算和误差分析,C-ORB 算法的图像匹配过程见图 1。

1.1 颜色不变量

文中的颜色不变量的提取方式是依据 Kubelka-Munk 理论描述的物体的光谱辐射特性模

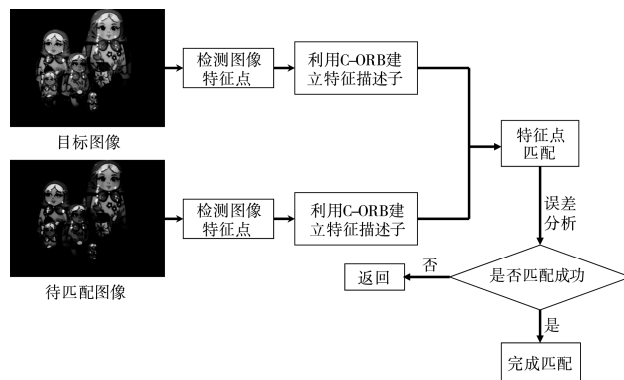


图 1 C-ORB 图像匹配过程

Fig.1 Process of image matching based on C-ORB

型所提出^[5],其模型可用式(1)表达:

$$E(\lambda, \vec{x}) = e(\lambda, \vec{x}) (1 - \rho_f(\vec{x}))^2 R_\infty(\lambda, \vec{x}) + e(\lambda, \vec{x}) \rho_f(\vec{x}) \quad (1)$$

式中: λ 为波长; $\vec{x}$ 为一个二维矢量,表示位置; e 为光谱强度; ρ 为在 x 处的 Fresnel 反射系数; R 为材料反射率; E 为观测位置的反射光谱。

在等能量的均匀光照情况下, e 在各波长上保持不变,只会随着位置的变化而发生改变,因此可以将 e 改写成为 i , 则式(1)相应的变换为:

$$E(\lambda, \vec{x}) = i(\vec{x}) [\rho_f(\vec{x}) + (1 - \rho_f(\vec{x}))^2 R_\infty(\lambda, \vec{x})] \quad (2)$$

对式(2)分别求一阶导数和二阶导数,可得:

$$E_\lambda = i(\vec{x}) (1 - \rho_f(\vec{x}))^2 \frac{\partial R_\infty(\lambda, \vec{x})}{\partial \lambda} \quad (3)$$

和

$$E_{\lambda\lambda} = i(\vec{x}) (1 - \rho_f(\vec{x}))^2 \frac{\partial^2 R_\infty(\lambda, \vec{x})}{\partial \lambda^2} \quad (4)$$

将式(3)除以式(4)可得:

$$H = \left(\frac{E_\lambda}{E_{\lambda\lambda}} \right) = \frac{\partial R_\infty(\lambda, \vec{x}) / \partial \lambda}{\partial^2 R_\infty(\lambda, \vec{x}) / \partial \lambda^2} = f(R_\infty(\lambda, \vec{x})) \quad (5)$$

式(5)所得到的 H 为颜色不变量的描述, Geusebroek 将 $(E, E_\lambda, E_{\lambda\lambda})$ 命名为高斯颜色模型^[6], 从式(5)可以看出,颜色不变量与反射系数、光照强度、观察位置、表面朝向均无关。

RGB 颜色空间与 CIE-1964-XYZ 之间的线性关系可表述如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.62 & 0.11 & 0.19 \\ 0.3 & 0.56 & 0.05 \\ -0.01 & 0.03 & 1.11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6)$$

Geusebroek 所定义的高斯颜色模型与

CIE-1964-XYZ 所定义的颜色空间之间的线性映射关系如下:

$$\begin{pmatrix} E \\ E_{\lambda} \\ E_{\lambda\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.48 & 1.2 & 0.28 \\ 0.48 & 0 & -0.4 \\ 1.18 & -1.3 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (7)$$

通过高斯颜色模型与 XYZ 颜色空间的关系,以及 XYZ 与 RGB 颜色空间之间的线性关系,可以得到高斯颜色模型与 RGB 颜色空间之间的线性映射关系。在符合人眼视觉系统和 CIE-1964-XYZ 的标准条件下,RGB 颜色空间和 $(E, E_{\lambda}, E_{\lambda\lambda})$ 之间的线性映射关系可近似表述为式(8),则彩色图像的颜色不变量 H 可由式(5)和式(8)组合求解得到。

$$\begin{pmatrix} E \\ E_{\lambda} \\ E_{\lambda\lambda} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.3 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.6 & 0.17 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (8)$$

1.2 特征点的检测与描述

在对图像进行特征匹配之前,需要先检测图像中的特征点,然后利用相关描述子对特征点进行特征描述^[7]。针对图像的特征信息,ORB 算法是采用 FAST 角点检测算法来对特征点进行检测,Fast 角点检测算法虽然速度较快,但是检测结果没有方向信息,不具备旋转不变性。为解决这个问题,ORB 算法采用了一种相对简单有效的方法——灰度质心法,为检测到的特征点增加方向信息,使 ORB 具有旋转不变性^[8]。ORB 的特征点检测步骤主要有以下 3 个步骤。

1) 采用 FAST 算法检测得到图像的关键点,得到每个关键点的位置。

2) 根据 FAST 的检测结果,利用 Harris 角点检测,从中选取前 N 个最好的点作为特征点。

3) 对于每个特征点,利用灰度质心法进行计算,得出方向信息。

假设待匹配图像为 $I_1(x, y)$, 原始参考图像为 $I_2(x, y)$, 得到待匹配图像和参考图像的特征点之后,就需要建立相应的描述子对这些特征点进行特征描述,后续才能进行图像特征的匹配。这里可以利用 1.1 节中求取颜色不变量的方式,分别得到待匹配图像 $I_1(x, y)$ 的颜色不变量 $H_1(x, y)$, 原始参考图像 $I_2(x, y)$ 的颜色不变量 $H_2(x, y)$ 。笔者将 $H_1(x, y)$ 和 $H_2(x, y)$ 分别代替待匹配图像 $I_1(x, y)$ 和参考图像 $I_2(x, y)$ 作为输入信息^[9], 然

后采用 ORB 算法进行特征检测和描述,形成新的描述子,即 C-ORB 描述子。

1.3 特征点匹配

经过 1.2 节计算之后,可以分别得到待匹配图像和参考图像的描述子数据集,分别用 D_1 和 D_2 来表示,每个特征点用 256 个特征向量来表示。图像特征点的匹配过程就是对 D_2 中的每一个特征点,根据欧式距离从 D_1 中找出最邻近的点,欧式距离的计算公式如式(9)^[10]。当 2 个特征点的欧式距离 Δd 低于给定的阈值时,可视为这 2 个特征点为同一个特征点,再采用 PROSAC(Progressive Sample Consensus)通过重复迭代的方式消除误匹配点^[11],就可以得到较为准确的特征匹配结果。当匹配到的特征点数目多于 N 个时,可视为待匹配图像和参考图像为同一幅图像,即图像匹配成功,所以匹配到的特征点对越多,图像的匹配结果也就更加精确。

$$\Delta d = \sqrt{(x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_{256} - x'_{256})^2} \quad (9)$$

2 实验验证

为了验证文中算法的准确性和对光照的鲁棒性,选择了 Amsterdam Library of Object Images (ALOI) 图库中的多幅真彩色图片,用以模拟自然界中的光照变化^[12]。实验中所用到的图片均为 RGB 颜色模式下的图片,见图 2。图 2a 为目标参考图像,其余分别为待匹配图像。实验所用到的硬件环境为 Pentium Dual-Core CPU T4200, 2.00 GHz, 内存为 2 G 的计算机,系统环境为 Windows 7 Professional, 软件开发工具为 Microsoft Visual Studio 2010 和 OpenCV 2.4.10。

笔者分别利用文中提出的算法和 ORB 算法对图像进行实验计算,其中文中算法对彩色图像进行特征提取的运算结果见图 3,采用 ORB 算法对图像进行特征提取的运算结果见图 4。从图 3 和图 4 可以看出,文中算法能够获得更多的特征点数目,一般来讲,随着特征点数目的增加,算法的鲁棒性也会更好,更容易实现图像的匹配。虽然特征点的多少与欧式距离的阈值设置有关,但在相同的阈值下,C-ORB 能够得到更多的特征点,匹配到的特征点也就更多。这就意味着文中提出的将颜色不变

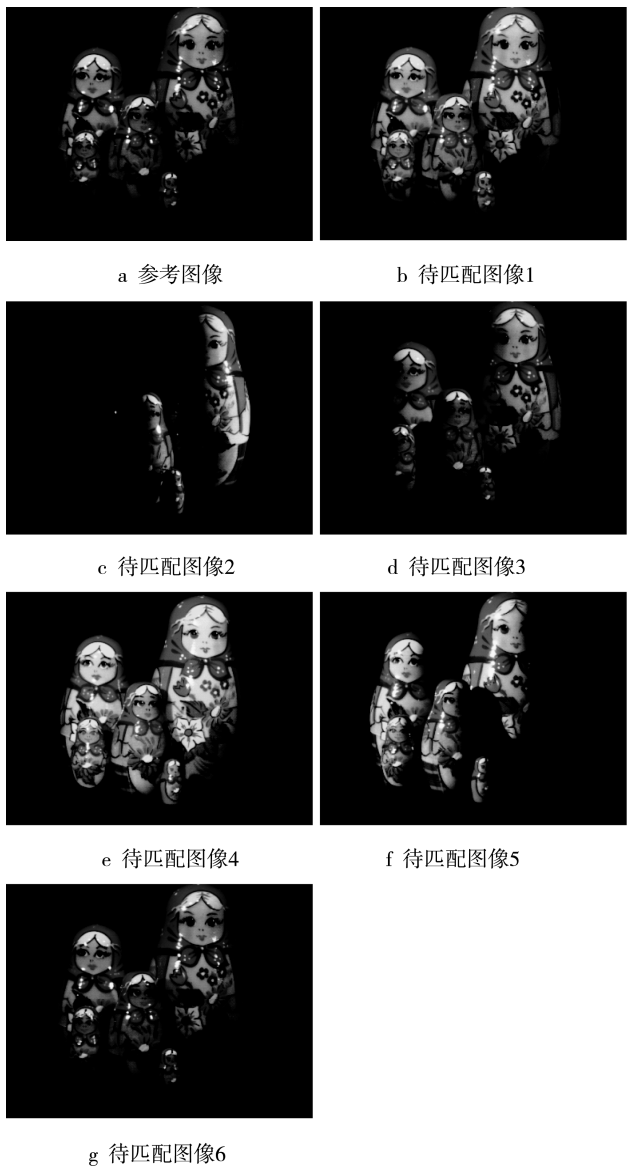


图 2 ALOI 库中样本
Fig.2 Sample image from ALOI

量与 ORB 特征相结合的算法，与 ORB 算法相比，能够获得更多的图像细节，鲁棒性更强，匹配过程也将会更加精确。从图 3 可以看出，C-ORB 能够检测到更多的特征点数目。

除了对文中算法和 ORB 算法的特征点提取数目进行对比之外，笔者还将文中算法与 ORB 算法、SIFT 算法、CSIFT 算法的运算时间和正确匹配对数进行了对比^[13]。CSIFT 是将颜色不变量与 SIFT 算法进行了结合，但由于 SIFT 算法的运算复杂度较高，运算量较大^[14]，使得 2 个算法均不适合应用在硬件配置较低的移动电子设备当中。图 5 的实验结果也进一步地验证了这一点。

从图 5 可以看出，SIFT 和 CSIFT 由于算法复杂度较高，运算耗费的时间相对较长，而文中的

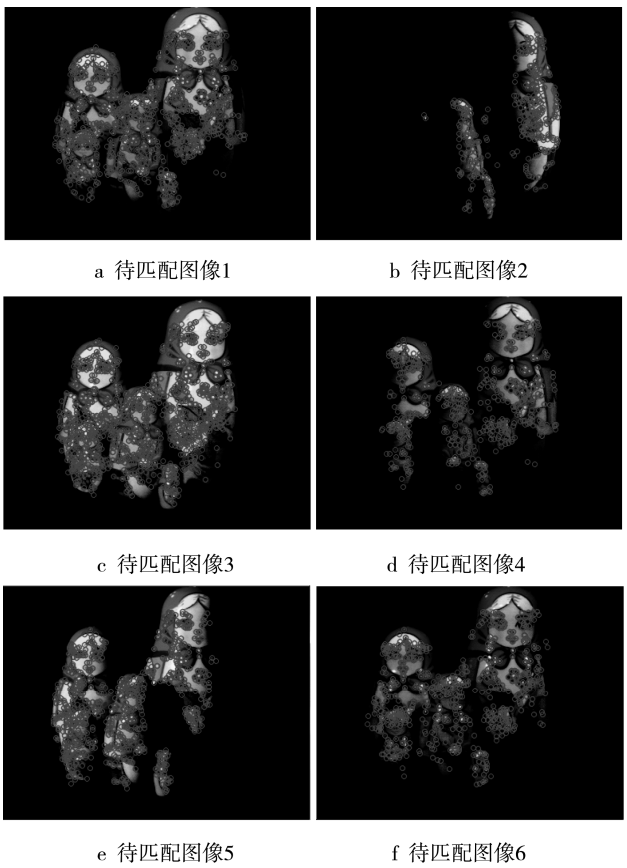


图 3 C-ORB 特征点检测
Fig.3 Detected features based on C-ORB

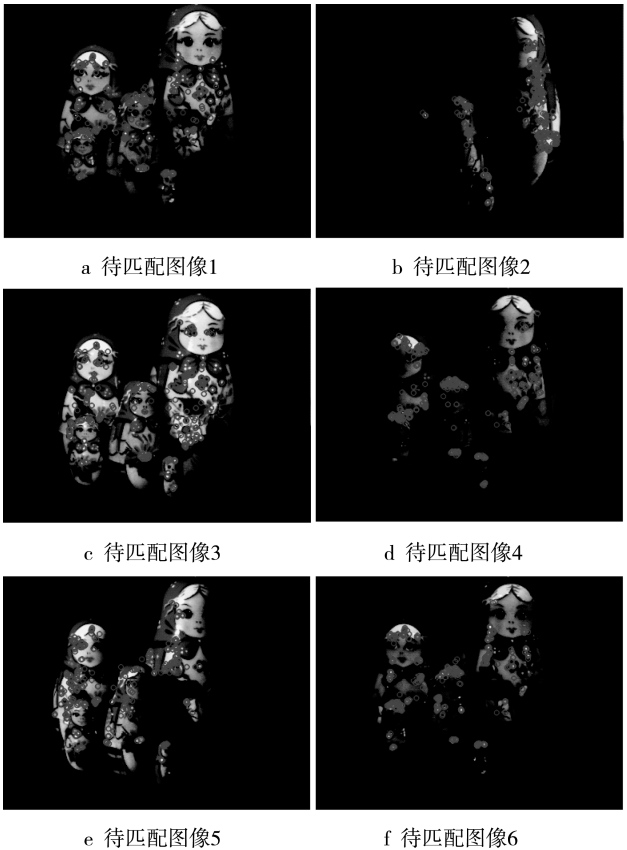


图 4 ORB 特征点检测
Fig.4 Detected features based on ORB

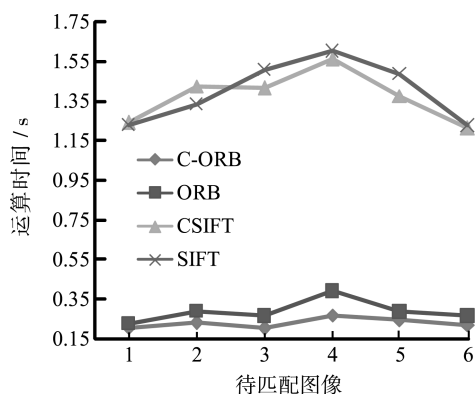


图5 运算时间对比

Fig.5 Contrast of calculating time

C-ORB算法的运算效率与ORB算法的计算时间相比较短,较为适宜应用到硬件配置较低的移动电子设备当中^[15]。此外,笔者还将文中算法与其他3项算法的正确匹配对数进行了对比,见图6,用以对比算法在图像匹配过程中的准确性和鲁棒性。从实验结果看出,虽然与SIFT和CSIFT相比,文中算法在正确匹配对数上仍然存在一定的差距,但与ORB算法相比,结合颜色不变量的C-ORB算法,由于将彩色图像的颜色信息考虑在内,能够匹配更多的图像细节^[16],所以其正确匹配对数有所提升,并且还保留了ORB算法较高运算效率的优点。

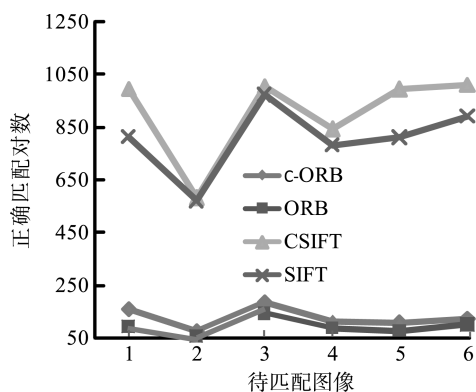


图6 正确匹配对数对比

Fig.6 Contrast of correct matching pairs

3 结语

ORB算法因具有良好的稳定性,较高的运算速度等优点,非常适合在硬件配置较低的移动设备上使用,但包括ORB在内的许多图像匹配算法都没有将图像的颜色信息考虑在内,而是将彩色图像转换为灰度图像后进行计算,而颜色信息是图像的重要组成部分,在对彩色图像的检测、识别、跟踪过程中有着非常重要的意义。

文中采用从彩色图像中提取颜色不变量的方式得到图像的色彩信息,然后将颜色不变量加入到ORB描述子的建立过程中。该方法保留了ORB算法运算速度快的优点,同时由于将颜色不变量加入到运算过程中,可以识别到图像的色彩信息,使算法的鲁棒性更强,图像匹配过程也能变得更为准确。文中的研究仅仅是在RGB颜色模式下进行颜色信息的提取,如何在其他颜色模式下提取到彩色图像的色彩信息,并将其应用到移动终端设备图像的匹配过程中去,还需要进一步的实验分析和研究。

参考文献:

- [1] 丁峰, 蒋竹鸣. 移动设备中的人机交互设计研究[J]. 包装工程, 2014, 35(16): 46—49.
DING Feng, JIANG Zhu-ming. Human Computer Interaction Design in Mobile Devices [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(16): 46—49.
- [2] BROWN M, LOWE D G. Invariant Features from Interest Point Groups[C]// British Machine Vision Conference, 2002: 656—665.
- [3] 王灿进, 孙涛, 陈娟. 基于FREAK特征的快速景象匹配[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2): 204—212.
WANG Can-jin, SUN Tao, CHEN Juan. Rapid Scene Matching Based on FREAK Descriptor[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(2): 204—212.
- [4] 李小红, 谢成明. 基于ORB特征的快速目标检测算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(5): 455—460.
LI Xiao-hong, XIE Cheng-ming. Rapid Moving Object Detection Algorithm Based on ORB Features[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(5): 455—460.
- [5] ZMURA M D, LENNIE P. Mechanisms of Color Constancy. The Journal of Optical Society of America, 1986, 3(10): 1662—1672.
- [6] GEUSEBROEK J M, van den BOOMGAARD R, SMEULDERS A W M. Color Invariance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(12): 1338—1350.
- [7] 李劲菊, 朱青, 王耀南. 一种复杂背景下运动目标检测与跟踪算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2242—2247.
LI Jing-ju, ZHU Qing, WANG Yao-nan. Moving Target Detection and Tracking Algorithm Based on Complex Background[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(10): 2242—2247.
- [8] 李胜辉, 张保龙, 史瑞芝. 基于实时图像获取的两种匹配算法的比较[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 120—123.
LI Sheng-hui, ZHANG Bao-long, SHI Rui-zhi. Com-

- parison of Two Image Matching Algorithms Based on Real-time Image Acquisition[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 120—123.
- [9] 张锐娟, 张建奇, 杨翠, 等. 基于 CSIFT 的彩色图像配准技术研究[J]. 光学学报, 2008, 28(11): 2097—2103.
ZHANG Rui-juan, ZHANG Jian-qi, YANG Cui, et al. Study on Color Image Registration Technique Based on CSIFT[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2008, 28(11): 2097—2103.
- [10] Van de SANDE K E A, SNOEK C G M. Evaluation of Color Descriptors for Object and Scene Recognition[C]// Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2006, 153(1): 837—850.
- [11] LEE Y, HORNG SJ, SELTZER J. Parallel Computation of the Euclidean Distance Transform on Three-dimensional Image Array[J]. Parallel and Distributed Systems, 2003, 14(3): 203—212.
- [12] GEUSEBROEK J M, BURGHOUTS G J, SMEULDERS A W M. The Amsterdam Library of Object Images[J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 61(1): 103—112.
- [13] LOWE D. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91—110.
- [14] AKASH P, KASAT R, JAIN D, et al. Performance Analysis of Various Feature Detector and Descriptor for Real-Time Video Based Face Tracking[J]. International Journal of Computer Applications, 2014, 93(1): 37—41.
- [15] WAGNER D, MULLONI A, LANGLOTZ T, et al. Real-time Panoramic Mapping and Tracking on Mobile Phones. In Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference, Waltham, 2010: 211—218.
- [16] 张树臣. 融合颜色和形状特征的图像检索技术[D]. 吉林: 吉林大学, 2012: 10—19.
ZHANG Shu-chen. Image Retrieval Technology Integration of Color And Shape Feature[D]. Jilin: Jilin University, 2012: 10—19.