

采用局部差分模型描述的彩色图像配准技术

吴攀超, 王宗义, 林欣堂

(哈尔滨工程大学自动化学院, 150001, 哈尔滨)

摘要: 针对光照方向、强度、色彩或摄像头参数等因素的变化导致待配准彩色图像对间存在复杂的色彩变化,从而严重影响彩色图像配准效果的问题,提出了一种对彩色变化不敏感的彩色图像配准方法.该方法首先根据彩色图像间的 von Kries 彩色变换模型,建立图像的色彩不变量空间,在此空间利用尺度不变量特征转换(SIFT)算法完成特征点的检测;为加快运算速度,采用2阶局部差分模型(LDP)方法对特征点进行描述,并完成彩色图像特征间的初匹配;再进一步利用 RANSAC 算法消除误匹配特征点对,得到最终的匹配特征点对.实验结果表明,该彩色图像配准方法与其他算法相比,可以快速、准确地获得彩色图像间的映射关系,因此更加适合存在色彩变化的彩色图像的配准.

关键词: 彩色图像配准;彩色不变量特征;尺度不变量特征转换算法;局部差分模型

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)10-0030-08

Color Image Registration Algorithm Using Local Derivative Pattern Approach

WU Panchao, WANG Zongyi, LIN Xintang

(Collage of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Complex illumination change, caused by changes of direction, intensity and color of illumination, or camera parameters, exists between color image pair, and seriously impairs the effect of color image registration. A color image registration algorithm which is insensitive to the illumination change is proposed to solve the problem. The algorithm transforms the original RGB color image space to a color image invariant space by using the von Kries color transform model. Then key-points are detected using the scale invariant feature transform (SIFT) algorithm in the color invariant space, and are described using the second-order local derivative pattern (LDP) method to accelerate matching speed and to complete elementary matching. The RANSAC algorithm is employed to discard mismatching feature pairs and to obtain the matching feature sets. Experimental results indicate that the proposed algorithm generates mapping relation more correctly and quickly than other color image registration methods. Hence, the proposed color image registration algorithm is suitable for color images in which there exists color illumination transform.

Keywords: color image registration; color invariant feature; scale invariant feature transform (SIFT); local derivative pattern (LDP)

计算机立体视觉主要是通过多个视觉传感器或
通过不同的时间拍摄多幅图像、对同一场景或目标

的三维信息进行重建的过程,其关键步骤是多幅图
像的配准,即对图像特征点进行匹配,从而构建多幅

收稿日期: 2011-04-19. 作者简介: 吴攀超(1981—),男,博士生;王宗义(联系人),男,教授,博士生导师. 基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(AF200921).

网络出版时间: 2011-07-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20110718.1602.001.html>

图像间的影射关系^[1]. 目前,大多数图像配准算法都是以灰度图像为对象,利用灰度信息来完成图像的配准,主要有 SIFT(scale invariant feature transform)算法^[1-3]、PCA(principle component analysis)-SIFT 算法^[4]、SURF(speed-up robust feature)算法^[5]、MSER(maximally stable extremal regions)算法^[6]以及基于 GLOH(gradient location and orientation histogram)的匹配算法^[7]等. 在文献[7-8]中,通过实验比较了各种图像配准算法的性能,表明 SIFT 算法是除运行速度这个因素外最为优秀的灰度图像配准算法.

然而,基于灰度图像的配准算法忽略了图像的色彩信息,这在某些复杂环境下容易产生错误的匹配. 因此,建立包含几何信息和色彩信息的特征描述算子匹配算法成为当今的研究热点^[9]. 目前,主要的彩色图像配准算法有基于高斯对抗彩色空间的 CSIFT 算法^[9]、基于对抗彩色空间的 SIFT 算法^[10]、基于 Hue 彩色空间的 SIFT 算法(HueSIFT)^[10]、基于彩色矩的图像配准算法^[11]等. 文献[12]评估了各种彩色特征描述算法的性能,并通过实验证实,CSIFT 算法的性能更为理想. 然而,CSIFT 描述算子只对光照强度的变化不敏感,这无法满足更为复杂的光照变化环境(如图像间存在由于光照方向、光照色彩、摄像头参数等的变化所引起的图像色彩变化)下图像的配准要求. 因此,本文提出一种新的基于局部特征点匹配的彩色图像配准算法,以满足存在更为复杂变换的彩色图像的配准要求.

为加快算法的运行速度,提高算法的实时性,在本文中采用二阶 LDP(local derivative pattern)特征描述作为特征关键点的描述算法. LDP 是一种表述图像某像素点与周围像素点之间多阶差分关系的二进制描述,最初被应用于图像纹理描述^[13]. 近年来,人们对于 LDP 特征和其一阶差分形式 LBP(local binary pattern)^[14]进行了深入的研究. 由于它们计算简单,描述算子包含丰富的图像局部信息,已成功地应用于人脸识别、特征描述等领域. 文献[12-13]采用 LBP 对 SIFT 特征点进行描述,这种 SIFT 与 LBP 特征相结合的图像匹配算法对尺度、旋转、亮暗等图像变换具有很强的鲁棒性,在匹配效果方面同 SIFT 算法相差不大,但在运算速度上却大为提高. 然而, LBP 特征与 LDP 特征相比,难以描述更为复杂的特征信息,因此本文采用 LDP 作为特征点的描述算法.

1 背景知识

1.1 彩色变化模型

由于彩色图像间存在复杂的色彩变换,一般采用非线性的朗伯反射模型^[9],但是该模型难以用于计算,因此本文采用一种线性模型——von Kries 对角线光照彩色变化模型来近似表达不同彩色图像间的色彩变化^[12]. 此线性模型可以近似地表达在未知光源照射下的同一场景或同一目标的 2 幅图像在光照变化条件下的关系,其表达式为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}^c \\ \mathbf{G}^c \\ \mathbf{B}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}^u \\ \mathbf{G}^u \\ \mathbf{B}^u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{O}_1 \\ \mathbf{O}_2 \\ \mathbf{O}_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:矩阵向量 $[\mathbf{R}^c \ \mathbf{G}^c \ \mathbf{B}^c]^T$ 和 $[\mathbf{R}^u \ \mathbf{G}^u \ \mathbf{B}^u]^T$ 分别为同一场景或同一目标在未知光源照射下的 2 幅彩色图像某一点的 RGB 三通道信息; $[\mathbf{O}_1 \ \mathbf{O}_2 \ \mathbf{O}_3]^T$ 为图像间对应通道彩色值的偏移向量. 当对角线矩阵中对角线元素相等且偏移向量为零向量时,图像间仅存在光照强度的变化;当对角线元素和偏移向量元素不相等且不为 0 时,可以表达图像间由于光照角度、光照色彩等变化造成的图像色彩变化.

1.2 LDP 特征

LBP 在 LDP 中是最为简单的描述方法,它利用特征点局部邻域内各个方向的一阶差分作为特征点的描述^[15]. 该方法计算简单,特征描述算子对于尺度、旋转等仿射变换具有很好的鲁棒性,但是由于算法简单,所以难以描述更为详细的特征信息^[16]. 高阶的 LDP 算法更加适合描述含有复杂信息的图像特征. 文献[11]证实,三阶 LDP 是高阶 LDP 中特征描述效果最为优秀的,但是计算复杂,运算时间较长. 因此,本文采用计算相对容易、描述效果最为接近三阶 LDP 的二阶 LDP 作为特征点的描述算法.

二阶 LDP 算法首先计算特征点在 3×3 像素邻域内沿 0° 、 45° 、 90° 和 135° 方向的一阶差分值,公式如下

$$\left. \begin{aligned} I'_0(Z_0) &= I(Z_0) - I(Z_4) \\ I'_{45}(Z_0) &= I(Z_0) - I(Z_3) \\ I'_{90}(Z_0) &= I(Z_0) - I(Z_2) \\ I'_{135}(Z_0) &= I(Z_0) - I(Z_1) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

然后依此类推,计算特征点邻域内所有 8 邻域点 4 个方向的一阶差分值 $I'_\alpha, \alpha=1, 2, \dots, 9; \alpha=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$. 这样,可以得到特征点 Z_0 某 4 个方向的二阶 LDP 特征描述,记作 $\text{LDP}_\alpha^2(Z_0)$,即

$$\text{LDP}_\alpha^2(Z_0) =$$

$$\{f[I'_\alpha(Z_0), I'_\alpha(Z_1)], f[I'_\alpha(Z_0), I'_\alpha(Z_2)], \dots, f[I'_\alpha(Z_0), I'_\alpha(Z_8)]\} \tag{3}$$

阈值函数

$$f[I'_\alpha(Z_0) - I'_\alpha(Z_i)] = \begin{cases} 1, & I'_\alpha(Z_0) - I'_\alpha(Z_i) > 0 \\ 0, & I'_\alpha(Z_0) - I'_\alpha(Z_i) \leq 0 \end{cases} \tag{4}$$

公式(3)得到一个关于特征点的一个方向的二阶 LDP 特征,该特征由一组 8 位 0 或 1 的数字组成,对该特征采用 BCD 码进行加权计算,可以得到特征点在邻域内的某一个方向的十进制 $LDP^2_\alpha(Z_0)$ 特征值.以此类推,可以得到特征点在邻域内 4 个方向的一组四维十进制 LDP 特征向量,运算过程如下

$$\begin{cases} LDP^2_0(Z_0) = [11010011] \xrightarrow{\text{BCD 码}} 211 \\ LDP^2_{45}(Z_0) = [10100011] \xrightarrow{\text{BCD 码}} 147 \\ LDP^2_{90}(Z_0) = [00010001] \xrightarrow{\text{BCD 码}} 17 \\ LDP^2_{135}(Z_0) = [01010110] \xrightarrow{\text{BCD 码}} 86 \end{cases} \Rightarrow LDP^2(Z_0) = [211 \ 147 \ 17 \ 86] \tag{5}$$

最终,可以得到以特征点 Z_0 为中心的 3×3 邻域内 8 个邻域点的 4 个方向 $LDP^2_\alpha(Z_i)$ 十进制特征,该特征为一组 4×8 的 32 维数据.

通过以上分析可以发现,二阶 LDP 描述与 LBP 描述相比可以获得特征点周围更加详细的特征信息,因此比 LBP 算法更加适合特征描述.

2 特征点的提取

本文所提出的特征点提取算法分成 2 个部分:彩色不变量特征的提取;利用已得到的彩色不变量特征作为 SIFT 算法的输入,以提取其中的几何不变量信息.经过这 2 步处理后,可以得到包含彩色和几何不变量信息的图像特征点.

在彩色变化模型的基础上,提出一种提取彩色不变量的简单算法.

首先,由于 RGB 彩色空间不是彩色不变量空间,所以彩色图像对按照式(6)由 RGB 空间变换为正交 RGB 彩色空间

$$\begin{bmatrix} R^\circ \\ G^\circ \\ B^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R - u_R)/\delta_R \\ (G - u_G)/\delta_G \\ (B - u_B)/\delta_B \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中: u_R, u_G, u_B 分别为 RGB 彩色空间各彩色通道值的分布均值; $\delta_R, \delta_G, \delta_B$ 分别为 RGB 彩色空间各彩色通道值的分布标准差.当我们把一对彩色不变量特征点变换到正交 RGB 彩色空间并带入到对角

线模型中后可以发现,该特征点对在 3 个彩色通道下仍具有彩色变化不变性.证明如下.

假设对同一物体或场景拍摄的 2 幅图像存在某一彩色不变量特征点对,其 RGB 三通道彩色值在 2 幅图像上分别为 (R_1, G_1, B_1) 和 (R_2, G_2, B_2) ,但是由于光照的影响,该特征点对间存在式(1)的彩色变化关系,因此在 RGB 彩色空间中无法检测到该特征点对间存在的彩色不变性.式(7)以 R1 和 R2 通道值为例,证实通过公式(6)的图像变换后,可以发现该特征点对的三彩色通道值间具有彩色不变性.

$$\left. \begin{aligned} R_1 &\xrightarrow{\text{彩色变换}} R'_1 = (R_1 - u_{R_1})/\delta_{R_1} \\ R_2 &\xrightarrow{\text{彩色变换}} R'_2 = (R_2 - u_{R_2})/\delta_{R_2} \\ R_2 &= aR_1 + O_1 \rightarrow \begin{cases} u_{R_2} = au_{R_1} + O_1 \\ \delta_{R_2} = a\delta_{R_1} \end{cases} \end{aligned} \right\} R'_1 = R'_2 \tag{7}$$

正交 RGB 彩色空间中的每一个彩色通道都具有色彩变化不变特性,因此都可以作为下一步 SIFT 算法的待检测通道.本文需要选择一个信息量最为丰富的彩色通道作为 SIFT 的输入端,这样得到的特征点数量才有可能最多,为此引入图像信息熵来选择待处理彩色通道.

信息熵是一种图像信息量的度量,一幅图像的信息熵值越大,其信息量就越多,可用于提取的 SIFT 描述算子也就越多.因此,本文采用信息熵来选择下一步待处理的彩色通道对.信息熵的计算公式如下

$$E(j)_k = - \sum_{j=\min}^{\max} \rho(j) \ln \rho(j), \quad k = R^\circ, G^\circ, B^\circ \tag{8}$$

式中: k 分别对应 3 个变换后的彩色通道; j 是彩色通道中像素的数值等级; $\rho(j)$ 为数值等级 j 在图像中所出现的概率; $\min$ 和 $\max$ 为所在通道中出现的最小和最大数值等级; $E(j)$ 为彩色通道所对应的信息熵.

通过式(8)的计算,可以得到彩色图像对的 3 对彩色通道的总信息熵,由此可以决定选择哪对彩色通道用于下一步的计算.

表 1 显示 2 幅图像(288×396 像素)中各彩色通道的信息熵与提取到的待匹配特征点数量的对应关系.可见,信息熵值越大的通道对,得到的待匹配的 SIFT 特征点就越多.

最后,利用文献[1]所提出的 SIFT 特征点提取算法对所选取的具有彩色不变量的彩色通道进行特

征点的提取,经过这样处理而得到的特征点将具有彩色和几何不变量特性.

表 1 各通道待匹配特征点数与信息熵值的比较

图像通道	特征点数	信息熵
图像 1	R°	864
	G°	795
	B°	774
图像 2	R°	842
	G°	683
	B°	784

3 特征点的二阶 LDP 描述和匹配

设 $P(r,c,\beta,\theta)$ 为彩色 SIFT 检测方法得到的某一关键点,其中 (r,c) 为 P 在原始图像上的位置坐标, β,θ 分别为 P 的尺度和方向. 根据 β 的大小,在 P 所在的高斯金字塔相应层上,以 P 为中心取一个 7×7 像素的图像区域. 为了获得旋转不变性,按照 θ 的大小将该图像区域旋转到参考方向,最后取以特征点 P 为中心的 5×5 像素的图像区域作为待描述区域.

特征点周围区域内二阶 LDP 特征描述的步骤如下.

步骤 1 在特征点周围 5×5 像素的邻域内,分别以每个像素点为中心,求取以它为中心的 3×3 像素邻域内的 LDP 特征,记为 $LDP^2(Z_i), i=1,2,\cdots,24$,由此可以得到关于关键点 5×5 像素邻域内周围点的 96 维特征描述向量(特征点除外).

步骤 2 直观地看,像素点距离中心 P 越远,它对描述关键点 P 所贡献的信息量就越小,因此需对 $LDP^2(Z_i)$ 进行高斯加权,加权系数

$$w_i = \exp\{[(r_j - r_i)^2 + (c_j - c_i)^2]/2\delta^2\}/2\pi\delta^2$$

(9)

式中: (r_j,c_j) 和 (r_i,c_i) 为像素点 P_j 和中心点 P 在待描述图像区域中的坐标; δ 为选定的常数.

选取参数 δ 不同的高斯加权模板时,加权的效果是有差别的,当 δ 很大时,高斯加权实际上就变成了邻域平均加权. 文献[15]通过实验证明:当 δ 取值为 1.4 时,可以取得很好的加权效果.

步骤 3 把计算得到的所有加权 LDP 特征值组成一个新的 96 维向量,记为 T ,则

$$T = \{w_1[LDP_0^2(Z_1),LDP_{45}^2(Z_1),LDP_{90}^2(Z_1),$$

$$LDP_{135}^2(Z_1)],\cdots,w_{24}[LDP_0^2(Z_{24}),LDP_{45}^2(Z_{24}),$$
$$LDP_{90}^2(Z_{24}),LDP_{135}^2(Z_{24})]\}$$

(10)

步骤 4 为了进一步消除光照变化的影响,将 T 进行归一化,即 $T/\|T\|=T$.

综上,最后得到的 96 维向量 T 即为关键点 P 周围区域的描述. 从 T 的计算过程可以看出,在待描述图像区域获取的过程中,利用关键点的尺度获得了尺度不变性,利用把待描述图像区域旋转到参考方向获得了旋转不变性,利用彩色不变量可以得到光照变化的鲁棒性,再加上旋转不变 LDP 特征自身具有一定程度的尺度、旋转和亮暗不变性,由此确保了 LDP 特征描述方法的鲁棒性.

当特征点的描述向量生成后,本文采用的匹配策略与 SIFT 算法的相同,即以欧氏距离最近和次最近比值法作为特征点之间的相似性判定度量,得到特征匹配点集. 最后,采用 RANSAC 基础矩阵鲁棒性估计算法^[17-18]消除错误的匹配点对.

4 实验结果与分析

实验中选择的测试图像大部分来自阿姆斯特丹图像数据库(Amsterdam Library of Object Images, ALOI). 该图像数据库包含了各种光照强度和角度、采集视角等变化条件下的物体图像,非常适合本文算法的验证.

实验采用的评价准则如下.

(1)得到的可靠匹配点数量. 匹配点数量越多,匹配的准确性就越高,图像的识别效果就越好,因此以图像对间的可靠的匹配点数量作为评价准则.

(2)匹配时间. 用匹配的时间代价来比较特征匹配的速度.

(3)基础矩阵的估计精度. 为验证各种算法所得到的基础矩阵的精度,本文采用所有匹配点到对应极线距离的均方根作为评价指标函数,即

$$r_{\text{RMS}} = \left[\frac{1}{n} \sum_i (d^2(m_i, F^T \widetilde{m}'_i) + d^2(\widetilde{m}'_i, Fm_i)) \right]^{1/2}$$

(11)

本文所有实验都运行在赛扬 2.8 GHz CPU 和 512 MB 内存的 PC 环境,用 MATLAB 7.0 编译语言实现. 实验中用到的 SIFT 算法采用文献[1]中所提供的参数,其中匹配点对间的最近欧式距离和次最近欧式距离的比值(即门限阈值)设为 0.7.

图 1 所示为目标分别在无明显光照变化和存在简单光照变化情况下的彩色图像对配准结果. 图 1a 为一对在无明显光照变化条件下获得的宽基线立体

彩色图像,摄像头视角变化导致的图像间物体几何畸变成为图像配准的主要难点. 实验结果显示,在此条件下,SIFT 算法和 CSIFT 算法的配准效果相差不多,匹配正确率(正确匹配点对/全部匹配点对)分别为 30/34 和 33/37;本文算法得到的匹配正确率为 93/96,配准效果好于以上 2 种算法. 图 1b 为一对在简单的光照强度变化条件下获得的彩色图像. 该彩色图像对之间仅存在简单的光照强度变化,而无明显的几何畸变,因此光照变化成为图像配准的主要难点. 实验结果显示:在该条件下,SIFT 算法和 CSIFT 算法得到的匹配正确率分别为 181/187 和 253/259,而本文算法得到的匹配正确率为 731/734. 可见,当图像间存在微弱或简单光照变化的条件下,本文算法与 SIFT 和 CSIFT 算法相比可以获得更好的配准效果.

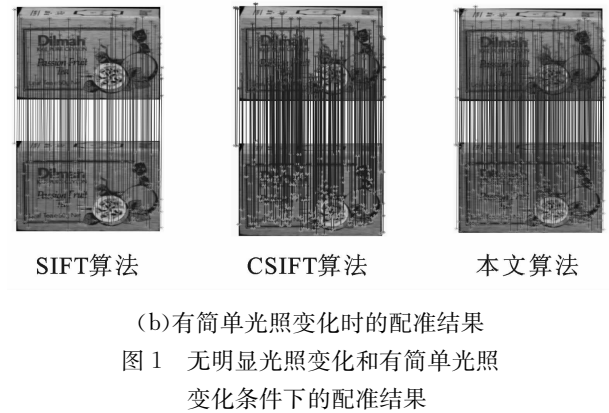


图 2 为 ALOI 数据库中 2 组目标在光照角度和光照色彩皆不同的条件下彩色图像对的配准结果. 实验结果显示:采用 SIFT 算法得到的匹配点对较少,2 组目标图像得到的匹配正确率分别为 13/16 和 59/67,匹配点对全部分布在图像中光照变化不明显的区域里,而在光照变化明显且弱纹理的区域基本没有得到匹配点对;采用 CSIFT 算法得到的匹配点对数量一般,2 组目标图像得到的匹配正确率

分别为 40/45 和 165/180,匹配点对主要分布在图像中光照变化不明显的区域,在光照变化明显的区域中有少量匹配点对;本文算法得到的匹配正确率分别为 54/60 和 227/238,且匹配点对分布在整个图像上,可见在这种情况下本文算法的性能优于其他算法.

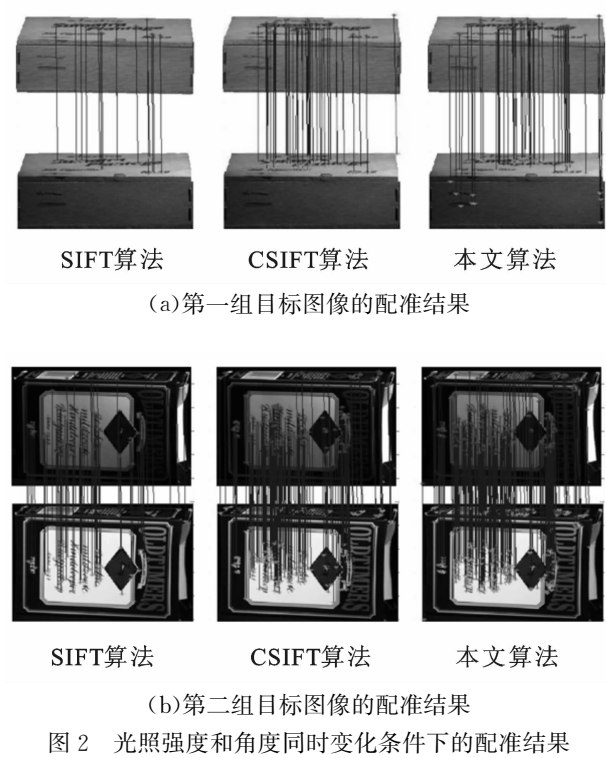
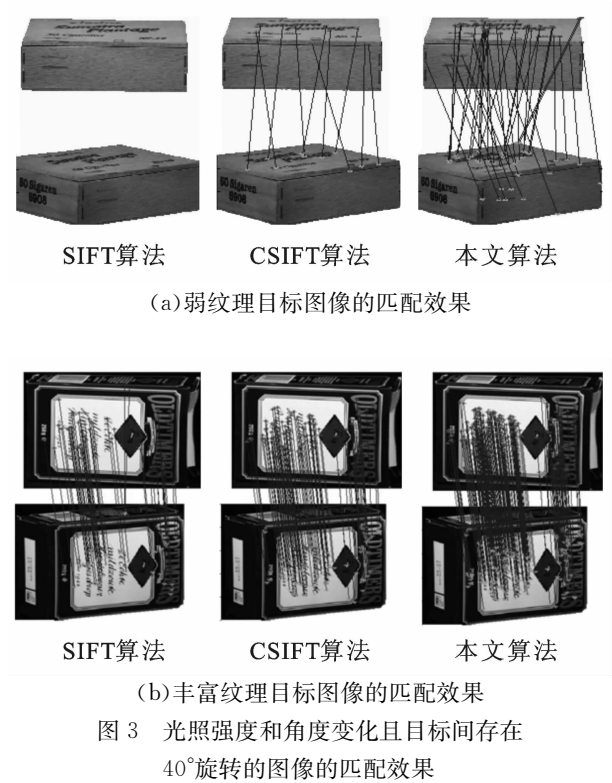


图 3 所示为 ALOI 数据库中 2 组目标在不同的光照角度、光照强度且采集时目标间存在旋转的情况下,各种算法的图像配准结果. 在这种情况下,图像间不仅存在色彩的变化,同时也存在由于物体旋转导致的仿射或者透视畸变. 图 3a 是一对既存在光照变化又存在旋转的弱纹理图像,图像中的目标存在 40°旋转变换,实验结果显示,SIFT 算法对旋转和光照变化鲁棒性较弱,因此采用 SIFT 算法未得到匹配点对. 图 3b 与图 3a 相比图像具有更丰富的纹理信息,因此采用 SIFT 算法得到的匹配正确率为 39/52. CSIFT 算法对此既存在光照变化又具有旋转的弱纹理图像对的检测效果仍然较差,但对富纹理图像的检测效果较好,2 组图像得到的匹配正确率分别为 6/10 和 75/97. 由于二阶 LDP 描述算子具有良好的旋转不变性,因此本文算法的检测效果较好,得到的匹配正确率分别为 29/37 和 191/200,且得到的匹配点对分布在不同的区域,对光照变化明显、弱纹理区域的检测效果也不错. 可见,在这种情况下本文算法的性能也优于其他算法.

为了更好地验证算法的可靠性,本文在 ALOI 数据库中再任意选择 3 组尺寸为 288×384 像素的测试图像进行进一步的配准实验,这些测试图像均包含视角、光照角度和光照强度的变化以及物体的旋转^[19]. 测试目标如图 4 所示,图 5~图 7 为各算法在不同情况下得到的图像配准效果曲线. 从实验结果可知,本文所采用的匹配算法具有更好的光照、物体旋转和视角变化的不变性,非常适合复杂条件下彩色图像的配准.



在图 3a 的 2 幅测试图中任意选取 50 对匹配特征点对,采用式(11)来比较各算法所估计的基础矩阵精度,结果见表 2. 由表 2 可以发现,本文算法所估计的基础矩阵精度远高于其他算法的估计.

表 2 各算法的基础矩阵精度比较

算法	SIFT	CSIFT	SIFT+LBP	本文
r_{RMS}	0.346 1	0.176 5	0.201 1	0.094 7

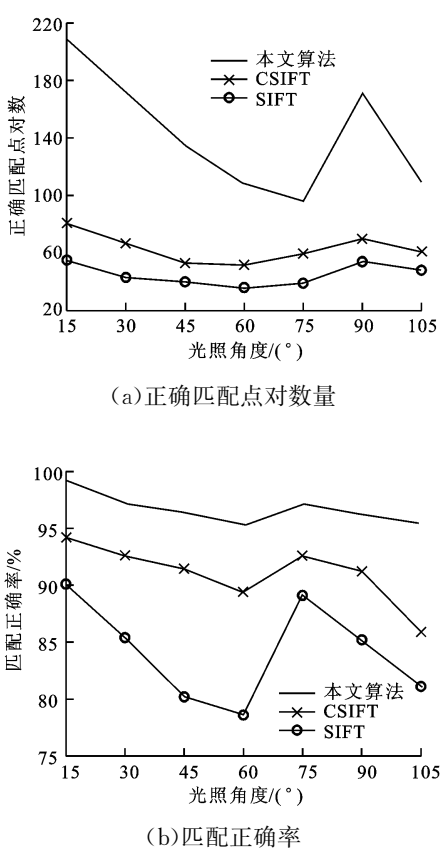


图 5 光照角度变化条件下图 4 目标 1 图像的配准结果

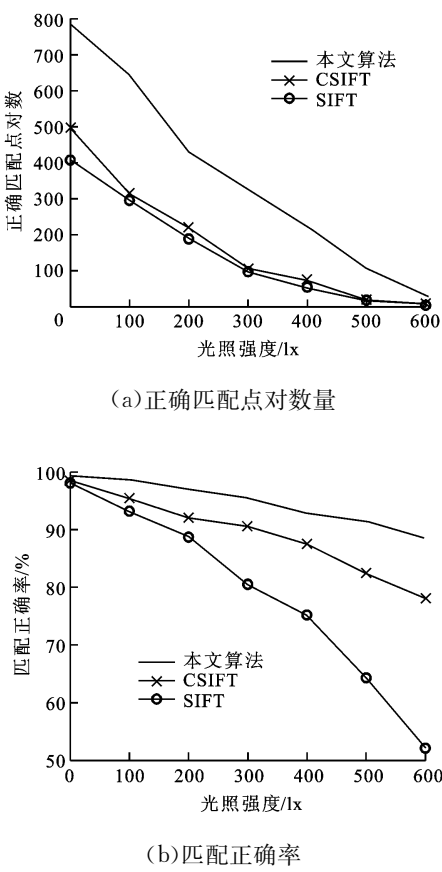
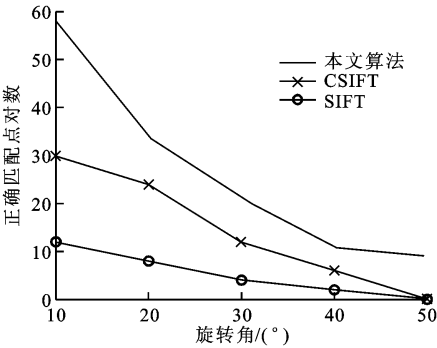
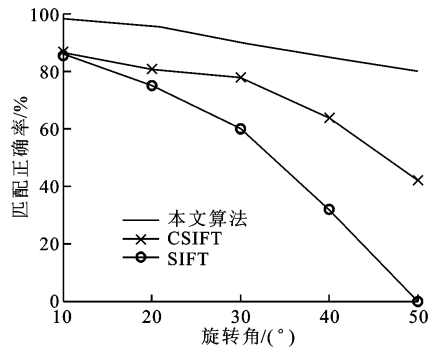


图 6 光照强度变化条件下图 4 目标 2 图像的配准结果



(a)正确匹配点对数量



(b)匹配正确率

图7 目标旋转角度变化条件下图4目标3图像的配准结果

从 ALOI 图像数据库中选取 50 对包括各种不同变换类型的图像,比较 SIFT 算法、CSIFT 算法、文献[15]所提到的 SIFT+LBP 算法和本文算法的运行时间,实验结果见表 3。在计算某一关键点的描述向量时,由于 SIFT 算法需要计算关键点周围 16×16 像素图像区域内每个像素的梯度幅值和方向,因此需要进行 256 次开平方和 256 次反正切运算,在进行梯度幅值加权时需要进行 256 次指数运算,而本文算法求取关键点周围 5×5 像素图像区域的二阶 LDP 特征,只需进行简单的算术运算,加权时只要进行 96 次矩阵运算,因此,本文算法计算特征点描述向量的速度要快于 SIFT 算法和 CSIFT 算法。由于本文算法无论在算法的复杂性还是得到的匹配点对数量上都高于 SIFT+LBP 算法,所以相对而言,运算时间略长。如表3所示,本文算法在运

表3 各算法运行时间比较

图像尺寸/像素	算法	平均运行时间/s
480×640	SIFT	17.147
	CSIFT	19.879
	SIFT+LBP	9.987
	本文算法	11.764

算过程中所消耗的时间略长于 SIFT+LBP 算法,但短于其他算法。

5 结 论

彩色图像中大量的彩色信息可以被用于提高复杂环境下图像匹配的识别效果,因此基于彩色图像的配准算法已经成为图像识别、检索、摄像机运动分析、三位重建等计算机视觉领域的一种重要手段。本文在彩色变化模型的基础上,提出了一种基于正交 RGB 彩色模型和信息熵的彩色 SIFT 特征提取算法,该算法与传统的 SIFT 算法和其他彩色图像匹配算法相比,可以获得更多的可靠匹配特征点对;为了减少匹配运算时间,通过二阶 LDP 特征描述来加快算法的匹配速度。通过理论分析和对数据库图像的实验对比,证明本文提出的图像匹配算法对尺度、旋转、光照色彩变化等图像变换具有很强的鲁棒性,运算速度比 SIFT 算法和 CSIFT 算法显著提高,更加适合彩色图像间的配准。

参考文献:

[1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.

[2] 张金萍,刘杰,李允公,等.一种基于 PCA 的工件图像匹配方法的研究[J].东北大学学报:自然科学版,2008,29(11):1621-1627.

ZHANG Jinping, LIU Jie, LI Yungong, et al. A PCA-based method for image matching of workpiece [J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2008, 29(11): 1621-1627.

[3] 刘萍萍,赵宏伟,耿庆田,等.仿射不变的快速局部特征描述子算法[J].吉林大学学报:工学版,2010,40(4):1059-1064.

LIU Pingping, ZHAO Hongwei, GENG qingtian, et al. Affine invariant fast local feature description algorithm [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2010, 40(4): 1059-1064.

[4] KE Yan, SUKTNANKAR R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C] // Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference, Piscataway, NJ USA: IEEE Computer Society, 2004: 506-513.

[5] BAY H, GRABNER H, BIHCHOF H. SURF: speeded robust features [C] // Proceedings of the European Conference on Computer Vision, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2006: 404-417.

- [6] MATAS J, CHUM O, URBAN M, et al. Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions [J]. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(10): 761-767.
- [7] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A comparison of affine region detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2005, 65(1): 43-72.
- [8] MOREELS P, PERONA P. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D objects [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2006, 73(3): 263-284.
- [9] ABDEL-HAKIM A E, FARAG A A. CSIFT: a SIFT descriptor with color invariant characteristics [C]// *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2006: 1978-1983.
- [10] LI Canlin, MA Lizhuang. A new frame work for feature descriptor based on SIFT [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(5): 544-557.
- [11] VAN DE WEIJER J, GEVERS T, SMEULDERS A W M. Robust photometric invariant features from the color tensor [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(1): 118-127.
- [12] VAN DE SANDE K E A, GEVERS T, SNOEK C G M. Evaluation of color descriptors for object and scene recognition [C]// *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2008: 1-8.
- [13] OJALA T, PIETIKAINEN M, ÈENPA T M. Multi resolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(7): 971-987.
- [14] ZHANG Baochang, GAO Yongsheng, ZHAO Sanqiang. Local derivative pattern versus local binary pattern: face recognition with high-order local pattern descriptor [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2010, 19(2): 533-544.
- [15] 郑永斌,黄新生,丰松江. SIFT 和旋转不变 LBP 相结合的图像匹配算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(2): 286-292.
ZHENG Yongbin, HUANG Xinsheng, FENG Songjiang. An image matching algorithm based on combination of SIFT and the rotation invariant LBP [J]. *Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics*, 2010, 22(2): 286-292.
- [16] HEIKKIL M, PIETIKAINEN M, SCHMID C. Description of interest regions with local binary patterns [J]. *Pattern Recognition*, 2009, 42(1): 425-436.
- [17] XIAO J, SHAH M. Two-frame wide baseline matching [C]// *The Ninth IEEE International Conference on Computer Vision*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2003: 603-609.
- [18] 蔡涛,段善旭,李德华. 视觉基础矩阵估计方法的性能比较与分析[J]. *计算机科学*, 2009, 36(1): 243-248.
CAI Tao, DUAN Shanxu, LI Dehua. Performance comparison and analysis of fundamental matrix estimating methods for computer vision applications [J]. *Computer Science*, 2009, 36(1): 243-248.
- [19] 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.

[本刊相关文献链接]

- 用于图像分割的局部区域能量最小化算法. *西安交通大学学报*, 2011, 45(8): 7-12.
- 线结构光多传感器三维测量系统误差校正方法. *西安交通大学学报*, 2011, 45(6): 75-80.
- 一种胸部 X 射线摄影图像中结节检测的多尺度匹配滤波器. *西安交通大学学报*, 2011, 45(4): 30-35.
- 改进的人工鱼群算法和 Powell 法结合的医学图像配准. *西安交通大学学报*, 2011, 45(4): 46-52.
- 一种新的浮选泡沫图像识别方法. *西安交通大学学报*, 2011, 45(4): 104-108.
- 彩色图像分割中基于图上半监督学习算法研究. *西安交通大学学报*, 2011, 45(2): 11-14.
- 一种准线性光束平差方法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(12): 1-4.
- 大变形测量数字图像的种子点匹配方法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(11): 51-55.
- 一种应用于光照变化场景的视频编码方法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(10): 62-66.
- 基于视觉原理的分类算法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(10): 116-119.
- 利用特征子空间评价与多分类器融合的高光谱图像分类. *西安交通大学学报*, 2010, 44(8): 20-24.
- 应用细粒度分块重构的多信道图像信息分存算法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(6): 78-82.
- 一种多尺度 X 射线胸片图像增强算法. *西安交通大学学报*, 2010, 44(6): 83-87.

(编辑 葛赵青 武红江)