

基于 CSIFT 的彩色图像配准技术研究

张锐娟 张建奇 杨 翠 张 翔

(西安电子科技大学 技术物理学院, 陕西 西安 710071)

摘要 图像配准在计算机视觉、遥感、医学诊断与治疗、环境监测等领域有广泛的研究应用。目前,多数算法是将彩色图像转化为灰度图后再配准,色彩信息的丢失可能会引起误配准。为此,提出一种基于 CSIFT(Colored scale invariant feature transform)的彩色图像配准方法,求出彩色图像各个位置处的颜色不变量,以颜色不变量作为输入图像,再提取特征点并描述特征点周围的信息,通过最近邻匹配法求出图像间的匹配对,最后利用匹配的特征求取图像间的变换参数及配准后图像。实验结果表明,对彩色图像进行已知参数值变换时,该算法能得到精度高、误差小的计算结果;对变换关系未知的彩色图像,也能准确地求出图像间的映射关系;且多数情况下运行速度较 SIFT(Scale invariant feature transform)快。

关键词 图像处理; 图像配准; 颜色不变性; CSIFT; 彩色图像

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20082811.2097

Study on Color Image Registration Technique Based on CSIFT

Zhang Ruijuan Zhang Jianqi Yang Cui Zhang Xiang

(School of Technical Physics, Xidian University, Xian, Shaanxi 710071, China)

Abstract Image registration technique has been widely studied and used in many fields, such as computer vision, remote sensing, medical diagnosis and treatment, environmental monitoring. Presently, registration happens after the color image is transformed into gray one in most algorithms, which causes color information loss and may lead to wrong registration. For this reason, a color image registration algorithm based on color scale invariant feature transform (CSIFT) is proposed. Firstly, color invariant value is calculated at each location in color images. Secondly feature points are extracted and neighbor information around these points is described using color invariant value as input information. Thirdly the points between two images are matched using the nearest neighbor method. Finally transformation parameters between images and the registered image can be determined using matched features. Experimental results indicate that high accuracy and small errors can be achieved when parameter values are transformed in color images, and mapping relationship can also be acquired correctly in the condition of unknown transformed relationship. This method is fast in operation in most conditions.

Key words image processing; image registration; color invariant; colored scale invariant feature transform (CSIFT); color image

1 引 言

图像配准是对同一场景在不同条件下(如不同的时间、相机参数、视场角、传感器等)得到的两幅或多幅图像进行对准、叠加的过程^[1],在计算机视觉、医学诊断与辅助治疗、环境监测、天气预报、自动导

航、遥感、图像融合、图像拼接、图像镶嵌以及三维影像重建等很多领域有着广泛的研究应用。

目前,图像配准算法主要分为三大类^[2]:基于灰度的方法、基于变换域的方法(如傅里叶变换^[3]、小波变换^[4]、Walsh 变换^[5])和基于特征的方法。而多

收稿日期: 2008-01-08; **收到修改稿日期**: 2008-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(60777042)资助课题。

作者简介: 张锐娟(1983—),女,硕士研究生,主要从事图像配准算法方面的研究。E-mail: ruijuan_zhang1983@163.com

导师简介: 张建奇(1960—),男,教授,博士生导师,主要从事目标与环境光学特性、光电成像系统仿真、光电对抗等方面的研究。E-mail: jqzhang@mail.xidian.edu.cn

数配准算法是将彩色图像转化为灰度图像,仅利用亮度信息进行配准,没有充分利用图像的色彩信息,如果受到干扰可能会造成误匹配。已有一些研究者尝试加入色彩信息来实现彩色图像配准,文献[6]用四元数来表示彩色图像,将彩色图像的 RGB 三分量作为一个整体向量考虑,提出超复数鲁棒相关方法实现彩色图像配准;文献[7]结合彩色图像的特征,引入颜色分量权重系数对序贯相似性检测算法(SSDA)进行改进,实现了彩色图像的快速匹配。

用 CSIFT (Colored scale invariant feature transform) 方法^[8]提取彩色图像的特征点并对特征点进行描述,由最近邻法得到初始匹配对后再删除误匹配,然后求图像间的变换关系,用变换估计值将待配准图像上的点映射到参考图像,进行插值和

重采样,最终实现彩色图像配准。

2 基于特征的图像配准算法框图

在配准算法中,基于特征的方法因提取图像的显著特征而具有压缩信息量、降低对像素的依赖、算法灵活、执行速度快、精度高等优点,成为近年来研究较多的方法。基于特征的图像配准方法可归结为四步:1)采用人工或自动的方法提取图像的各类特征,如拐角^[9]、边缘线或轮廓线^[10,11]、曲面等;2)按一定空间关系匹配所提取的特征,记录匹配特征的有关信息;3)估算图像间的变换关系;4)用计算得到的变换关系对图像重采样和插值,得出几幅图像在同一坐标系下的配准图像。提出的基于 CSIFT 的彩色图像配准算法对图像进行配准的框图如图 1 所示。

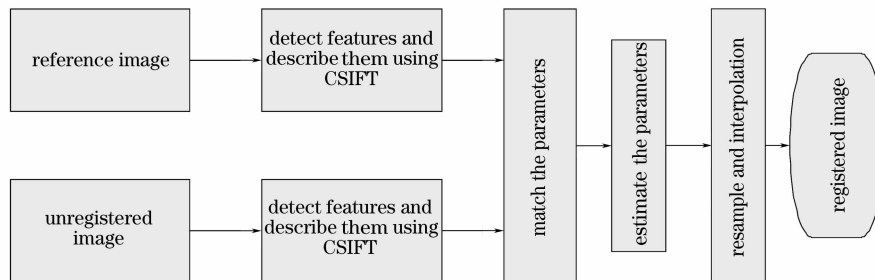


图 1 基于 CSIFT 的图像配准算法流程框图

Fig. 1 Flow chart of image registration algorithm based on CSIFT

3 特征的检测及匹配

SIFT (Scale invariant feature transform) 算法作为一种鲁棒的特征描述方法^[12,13],在提取灰度图像特征时取得了令人满意的效果,但处理彩色图像时,则表现出局限性。为使 SIFT 能更好地用于彩色图像处理,一些研究者做了不同的改进,如文献[14]提出将 RGB 分量的强度归一化后再用 SIFT 方法来处理彩色图像,此算法虽具有部分光照不变和几何不变性,但描述色彩不变特征时仍有局限性;文献[15]中提取和识别路标图像时,先用 Bayes 颜色分类器标注图像的不同区域,在不同区域进行 SIFT 描述,并在同种颜色标注的区域之间匹配,此方法效果虽好,但必须进行色彩训练,使得该算法的应用受到限制。结合色彩特性和几何结构特征,用 CSIFT 算法检测图像的特征点。

3.1 特征检测

3.1.1 颜色不变量

Kubelka-Munk 理论^[16]描述了物体的光谱辐射特性,其模型表达为

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

式中 λ 表示波长, \mathbf{x} 为二维矢量,表示观测位置, $e(\lambda, \mathbf{x})$ 表示光谱强度, $\rho_f(\mathbf{x})$ 表示 \mathbf{x} 处的 Fresnel 反射系数, $R_\infty(\lambda, \mathbf{x})$ 表示材料反射率, $E(\lambda, \mathbf{x})$ 为观测处的反射谱。

多数情况下, $e(\lambda, \mathbf{x})$ 在各波长上保持不变而与位置有关,将 $e(\lambda, \mathbf{x})$ 改写成 $i(\mathbf{x})$ 形式,则(1)式变为

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

对 λ 分别求一阶导数和二阶导数,然后相除得

$$H = \frac{E_\lambda}{E_{\lambda\lambda}} = \frac{\partial E / \partial \lambda}{\partial^2 E / \partial \lambda^2} = \frac{\partial R_\infty(\lambda, \mathbf{x}) / \partial \lambda}{\partial^2 R_\infty(\lambda, \mathbf{x}) / \partial \lambda^2} = f[R_\infty(\lambda, \mathbf{x})], \quad (3)$$

H 为颜色不变量的一种表述,同观察位置、表面朝向、光强大小、反射系数均无关。在符合人眼视觉系统和 CIE-1964-XYZ 标准的条件下^[8],彩色图像的 RGB 分量和 $(E, E_\lambda, E_{\lambda\lambda})$ 的关系近似为

$$\begin{bmatrix} E \\ E_\lambda \\ E_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.30 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.60 & 0.17 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (4)$$

所以彩色图像的颜色不变量 H 可由(4)式和(3)式求得。

3.1.2 几何特征不变性^[12,13,17]

对参考图像 $I_1(x, y)$ 和待配准图像 $I_2(x, y)$, 分别求出颜色不变量 $H_1(x, y)$ 、 $H_2(x, y)$ 后, 以 H_1 、 H_2 为输入信息, 用 SIFT 方法进行提取和描述, 提取的 H_1 、 H_2 中的特征信息分别作为 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 的特征信息在彩色图像上进行标识。SIFT 方法步骤为

1) 在尺度空间探测极值 输入图像(用颜色不变量 H 代替灰度值)同高斯核 $G(x, y, \sigma)$ 进行卷积, 对相邻尺度空间做差分建立 DOG(Difference of Gaussian) 金字塔, 在 DOG 空间检测极值。

$$D(x, y, \sigma) = [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] \times I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma), \quad (5)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right], \quad (6)$$

式中 $I(x, y)$ 表示输入图像[相当于 $H_1(x, y)$ 或者 $H_2(x, y)$], k 为相邻尺度空间因子的比例系数。

对 DOG 中每个极值点, 将该点同 26 个邻域值(本尺度的 8 个邻域值、相邻的上层和下层尺度中分别对应的 9 个邻域值,)进行比较, 如果该点均大于或者均小于这 26 个值, 则作为候选的极值点, 因此检测的特征点与尺度无关。

2) 精确定位特征点的位置 在候选的特征点中, 先去除对比度低且对噪声敏感的点, 再用特征点周围差分图像的 2×2 赫斯矩阵(Hessian matrix), 排除边缘干扰点。

$$\mathbf{H}_h = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

式中 $\text{Tr}(\mathbf{H}_h) = D_{xx} + D_{yy}$, $\text{Det}(\mathbf{H}_h) = D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2$, 如果 $\frac{[\text{Tr}(\mathbf{H}_h)]^2}{\text{Det}(\mathbf{H}_h)} \leq \frac{(r+1)^2}{r}$ (取 $r = 10$), 则保留该特征点, 否则丢弃。这样得到的位置坐标即认为是彩色图像中的特征点的位置。

3) 主方向的确定 用方向直方图确定特征点的主方向。坐标为 (x, y) 的特征点, 其模和方向的表达为^[13]

$$m(x, y) = \{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2\}^{1/2}, \quad (8)$$

$$\theta(x, y) = \arctan\left[\frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)}\right]. \quad (9)$$

在特征点为中心的邻域窗口内采样, 用梯度方向直方图统计邻域像素的梯度方向, 将 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的邻域梯度直方图划分成 36 柱, 每柱 10° , 梯度直方图的峰值对应角度代表特征点的主方向, 当次峰值与主峰值之比超过 80% 时, 采用抛物线拟合得最佳主方向。

4) 生成特征向量 在颜色不变量表示的图像上, 首先将图像所在的坐标轴旋转到主方向, 以特征点为中心, 选取周围 16×16 大小的区域, 然后将此区域分成 4×4 的子区域, 在每个子区域内, 计算 8 方向($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$) 的梯度累加和, 得到梯度方向直方图, 则形成 $(4 \times 4) \times 8 = 128$ 维的特征向量。

这样, 以 $H_1(x, y)$ 、 $H_2(x, y)$ 为输入信息, 得到彩色图像 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 的信息: 特征点的坐标、尺度、主方向以及 128 维的特征向量。

3.2 特征匹配

用欧氏距离度量图像间的初始匹配。设彩色图像 I_1 、 I_2 中分别有 N_1 、 N_2 个特征点, 在 N_1 个特征中任取一点 K_m 的特征描述向量, 计算其与 I_2 中的 N_2 个特征向量 $(K_1, K_2, \dots, K_{N_2})$ 的欧氏距离值 $(d_1, d_2, \dots, d_{N_2})$, 若 $\{d_1, d_2, \dots, d_{N_2}\}$ 中的极小值 d_i 与次极小值 d_j 的比值小于某一阈值(一般取 $0.6 \sim 0.8$), 则认为特征点 K_m 与特征点 K_i 匹配, 遍历 I_1 中的特征点, 找出可能的匹配对。

匹配对中通常存在误匹配, 为最大程度找出准确的匹配对, 常用 RANSAC 法、最小均方法、Hough 聚类法、几何约束关系(如极线几何约束)等消除误匹配^[12,13,17]。

4 估算变换参数

设参考图像中提取的特征点坐标分别为 $(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{1p}, y_{1p})$ (其中 $p \geq 3$), 待配准图像中对应的特征点坐标分别为 $(x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{2p}, y_{2p})$, 假设图像间的空间变换模型为全局仿射变换:

$$\begin{bmatrix} x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2p} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & t_x \\ a_{10} & a_{11} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1p} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

本文采用最小二乘法估算模型参数值 $(a_{00}, a_{01}, t_x, a_{10}, a_{11}, t_y)$ 。

5 重采样

确定模型参数后,对待配准图像进行重采样,以得到同一坐标系下的配准结果。常用的插值方法有最近邻法、双线性法、双三次卷积法等。其中,双线性插值法折衷精度和计算量是最常用的插值方法,也是文中采用的插值方法。

6 实验结果及分析

为验证文中算法的有效性,采用真彩色图像,将文中算法与基于 SIFT 的算法进行比较。实验中,仿真平台硬件环境为 CPU AMD3000+,1.81 GHz,512 MB 内存的计算机;软件开发工具为 Windows XP 操作系统,Matlab 7.1。

6.1 两种算法的计算结果比较

对图 2 所示的彩色图像人为进行尺度、旋转和平移变换,分别用 CSIFT、SIFT 方法提取特征,最终的计算值与实际值比较如表 1 所示。

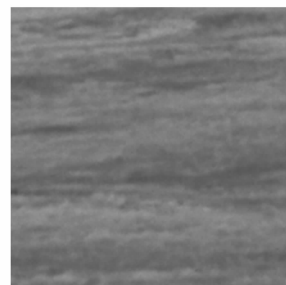


图 2 参考图

Fig. 2 Reference image

表 1 计算值与实际值比较

Table 1 Comparison of calculated value and real one

	Transformation 1 scale, rotate, (x,y)	Transformation 2 scale, rotate, (x,y)	Transformation 3 scale, rotate, (x,y)
Real value	1.2, 5, (15, 15)	1.34, 10, (25,26)	2.3, 15, (30,36)
Estimation using CISFT	1.1001, 5.0071, (14.9953, 15.1209)	1.3422, 10.2701, (24.9256, 24.5542)	2.3090, 15.4122, (30.5761, 36.0840)
Error using CISFT	0.0002, 0.0071, (0.0047, 0.1209)	0.0022, 0.2701, (0.0744, 1.4458)	0.0090, 0.4122, (0.5761, 0.0841)
Estimation after transforming color into gray	1.1995, 4.9690, (14.9991, 15.0178)	1.3405, 9.3860 (24.9203, 25.6844)	2.3199, 14.9738, (28.2653, 34.4346)
Error about this method	0.0005, 0.0310, (0.0009, 0.0178)	0.0005, 0.0614, (0.0797, 0.3156)	0.0199, 0.0262, (1.7347, 1.5654)

由表 1 数据可知,同转化成灰度后的计算结果相比,文中算法也能获得精度较高、误差小的估算值。而对图 3 所示的天空图(颜色信息少)旋转 18° 或者放大 1.2 倍时,文中算法可得正确结果,若放大 1.5 并进行平移时,一部分色彩信息移出图像范围,视野范围内的图像进行匹配时得到的匹配点过少,文中算法得到的结果有误。分析可知,1)配准此类颜色量少的图像时,在大的变换条件下,色彩信息超

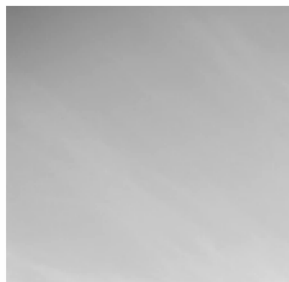


图 3 蓝天图

Fig. 3 Blue sky

出范围,留在范围内的信息量过少,算法得到的特征点减少,导致匹配点过少无法进行后续计算;2)若将图像置于更大的视场范围内,使得完整的色彩信息量得以保存,则可以避免文中算法的失效;3)估算值与图像的内容及图像自身的特征有很大关系。

6.2 变换参数未知的图像

图 4(a)、图 4(b)为变换参数未知的两幅遥感图像,在图 4(a)、图 4(b)中分别用 *、o 表示 CSIFT 方法提取出的两幅图中对应的匹配点,图 4(c)、图 4(d)对应表示图 4(a)、图 4(b)转化成灰度后用 SIFT 方法提取出的匹配点,同样标示出对应匹配点。用 CSIFT 和 SIFT 两种方法最终得到的参数值分别为 $(0.9354, -0.3441, -19.0046, 0.3437, 0.9350, -161.5077)$ 和 $(0.9400, -0.3420, -20.2948, 0.3421, 0.9398, -162.0247)$,图 4(e)、图 4(f)分别表示 CSIFT 算法和灰度算法配准后的图像。

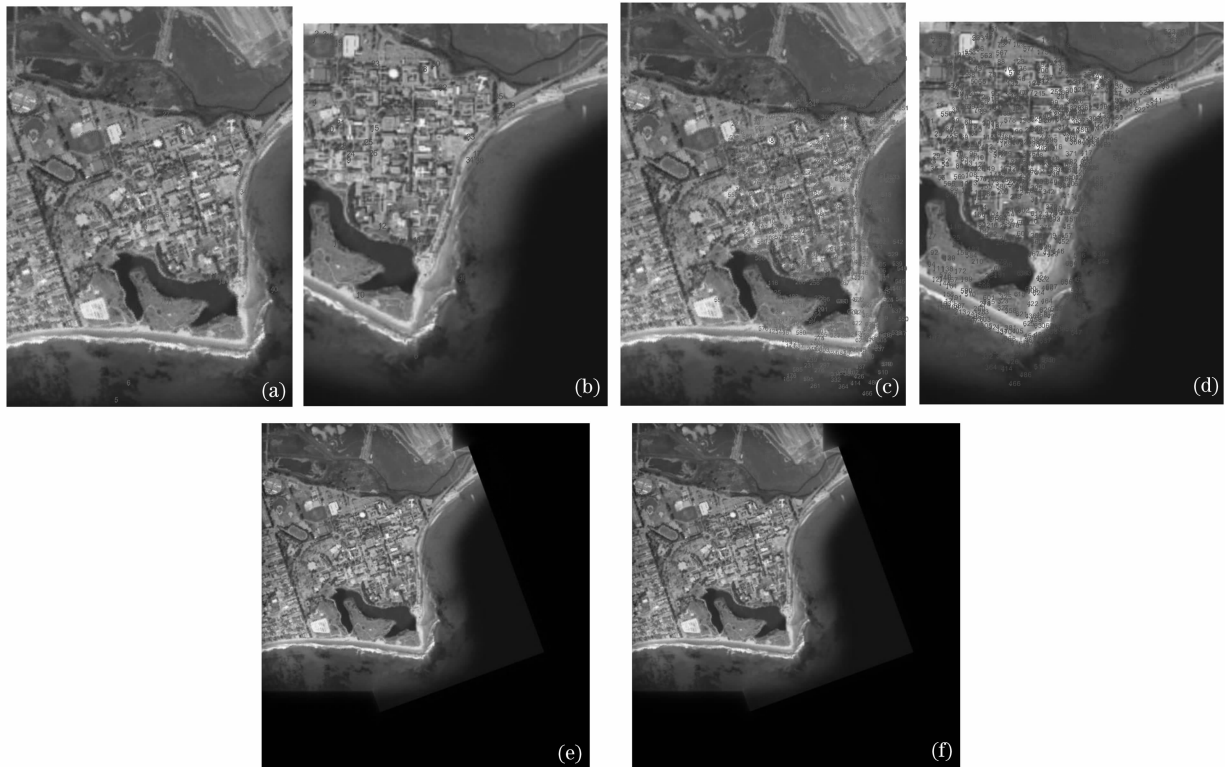


图 4 变换参数未知的图像配准结果。(a)参考图,(b)待配准图,(c) a 图的灰度图,(d) b 图的灰度图,(e) 文中算法配准结果图,(f) 用灰度算法配准结果图

Fig. 4 Registration results with unknown transformation parameters. (a) Reference image, (b) unregistered image, (c) gray image of Fig. 4(a), (d) gray image of Fig. 4(b), (e) registered image using CSIFT, (f) registered image using conventional SIFT

6.3 运行时间比较

仿真时发现,算法执行时间主要耗费在特征提取和描述上,主要运行时间比较如表 2 所示。

表 2 主要运行时间比较

Table 2 Comparison of main operation time

Experimental image	Time consumed using CSIFT /s	Time consumed using SIFT /s
Fig. 2	79.70	87.51
Fig. 3	12.99	62.19
Fig. 4(a)	86.84	121.44
Fig. 4(b)	139.50	209.87

综合实验结果,CSIFT 和 SIFT 均是特征提取及描述的方法,由于在配准时主要考虑了空间的位置关系,且配准最终的目的是求图像间的空间几何关系。因此,两种算法在已知和未知变换关系两种情况下求取位置参数时认为都是可行的;但在正确配准的条件下,同 SIFT 特征检测相比,文中算法获得数量相对少而位置准确的特征点,节省了特征描述和匹配的时间,且能满足精度的要求。

6.4 特征点检测

如图 5(a)所示山体 1,分别用 CSIFT 和 SIFT 检测特征点,并用方框中心表示出检测到的特征所在的位置,方框的大小表示检测点所在的尺度,图 5(b)、图 5(c)分别为两种方法检测的特征点示意图。

图 6 为山体 2 的特征检测示意图,用箭头方向表示主方向,箭头长度表示所在的尺度。

从两组图像的特征检测结果来看,用 SIFT 检测的特征点比 CSIFT 检测的多很多;在图 6(c)中,在没有特征的位置处,用 SIFT 方法却提取了错误的特征点,在后续配准中可能会引起误配准,SIFT 方法虽然能提取比其它方法数量少的特征点,但是特征点的分布没有很好地反映出彩色图像色彩信息的变化情况。而 CSIFT 方法则能较好地检测出彩色图像特征的变化,更好地反映图像色彩变化的趋势和色彩信息量的多少,在变化剧烈的地方分布的特征点多,而在变化平缓以至于人眼无法分辨出差别的地方,检测的特征点相对少,节省了特征检测和描述的时间,同时又取得较好的检测效果,对目标识

别、探测或彩色图像特征的描述更有效。

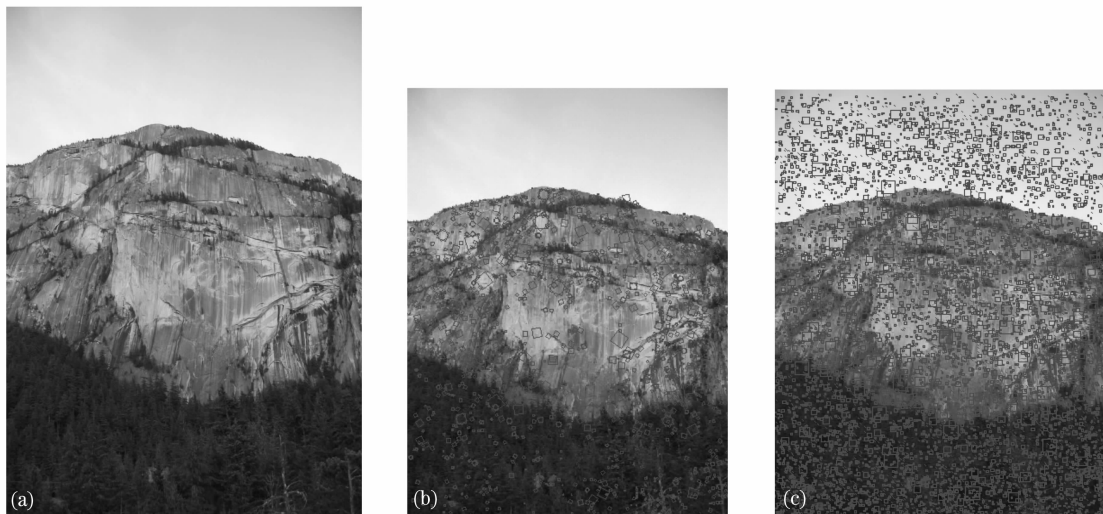


图 5 山体 1 特征检测标图。(a)原图,(b) CSIFT 检测的特征标记图,(c) SIFT 检测的特征标记图

Fig. 5 Sketch map of feature detection of mountain one. (a) Original image, (b) marked features using CSIFT, (c) marked features using SIFT

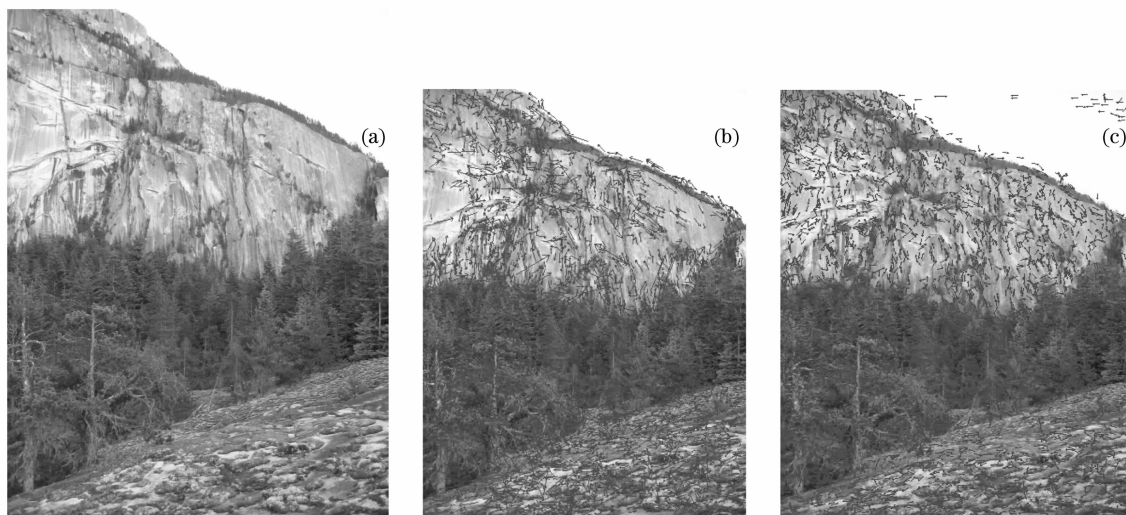


图 6 山体 2 特征检测标示图。(a)原图,(b) CSIFT 检测的特征标记图,(c) SIFT 检测的特征标记图

Fig. 6 Sketch map of feature detection of mountain two. (a) Original image, (b) marked features using CSIFT, (c) marked features using SIFT

实验中,检测特征时,高斯金字塔选为 4 阶,在每一阶选取 5 层的尺度图像,特征检测的多少与所选的阶数、层数有关。

实际中,应根据研究领域、场合的不同以及所研究图像的特点,折衷考虑选取哪种方法检测图像的各类特征。

7 结 论

提出一种基于 CSIFT 提取特征的彩色图像配准方法,充分利用图像的色彩信息,弥补了传统的基于灰度图像处理算法的不足,通过实验表明该方法

的可行性和有效性,为彩色图像配准提供一种新的解决途径,为彩色图像的研究提供一种可借鉴的方法。但在选取哪种特征提取的方法时,缺少一种度量标准,可在度量标准的选取上做进一步探究。

参 考 文 献

- 1 B. Zitova, J. Flusser. Image registration methods: A survey[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, (21): 977~1000
- 2 Brown L G. A survey of image registration techniques[J]. *ACM Computing Surveys*, 1992, 24(4): 325~376
- 3 B. Srinivasa Reddy, B. N. Chatterji. A FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration[C]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 8(5):

- 1266~1271
- 4 Jacqueline Le Moigne, William J. Campbell, Robert F. Crompt. An automated parallel image registration technique based on the correlation of wavelet features [C]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, **40**(8): 1849~1864
- 5 George Lazaridis, Maria Petrou. Image registration using the walsh transform[C]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, **15**(8): 2343~2357
- 6 Hao Mingfei, Zhang Jianqiu, Hu Bo. A picture matching algorithm of robust hypercomplex correlation[J]. *J. Fudan University (Natural Science)*, 2007, **46**(1): 91~95
郝明非, 张建秋, 胡波. 一种超复数鲁棒相关图像配准算法[J]. *复旦学报(自然科学版)*, 2007, **46**(1): 91~95
- 7 Gao Fuqiang, Zhang Fan. A fast color image matching algorithm [J]. *Computer Applications*, 2005, **25**(11): 2604~2611
高富强, 张帆. 一种快速彩色图像匹配算法[J]. *计算机应用*, 2005, **25**(11): 2604~2611
- 8 Alaa E. Abdel-Hakim, Aly A. Farag. CSIFT: A SIFT descriptor with color invariant characteristics [C]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2006, **2**: 1978~1983
- 9 Wang Xiangjun, Wang Yan, Li Zhi. Fast target recognition and tracking method based on characteristic corner[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 360~364
王向军, 王研, 李智. 基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 360~364
- 10 Cao Wanpeng, Che Rensheng, Ye Dong. Illumination-independent wavelet scale multiplication edge detection method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(10): 1751~1757
曹万鹏, 车仁生, 叶东. 一种照明无关的小波多尺度相乘边缘检测方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(10): 1751~1757
- 11 Liu Guixi, Shao Mingli, Liu Xianhong *et al.*. Video moving object auto-extraction in real scene [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(8): 1150~1155
刘贵喜, 邵明礼, 刘先红 等. 真实场景下视频运动目标自动提取方法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(8): 1150~1155
- 12 David G. Lowe. Object recognition from local scale-invariant features [C]. *International Conference on Computer Vision*, Corfu, Greece, Sept, 1999. 1150~1157
- 13 David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *The International Journal of Computer Vision*, 2004, **60**(2): 91~110
- 14 M. Brown, D. G. Lowe. Invariant features from interest point groups[C]. *British Machine Vision Conference*, 2002. 656~665
- 15 Aly A. Farag, Alaa E. Abdel-Hakim. Detection, categorization and recognition of road signs for autonomous navigation [C]. *Proceedings of Advanced Concepts in Intelligent Vision Systems*, Brussels, Belgium, 2004, **31**(3): 125~130
- 16 J. M. Geusebroek, R. van den Boomgaard, A. W. M. Smeulders *et al.*. Color invariance[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, **23**(12): 1338~1350
- 17 M. Brown, David. G. Lowe. Unsupervised 3D object recognition and reconstruction in unordered datasets [C]. *International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling Ottawa*, Canada, 2005. 1~8