

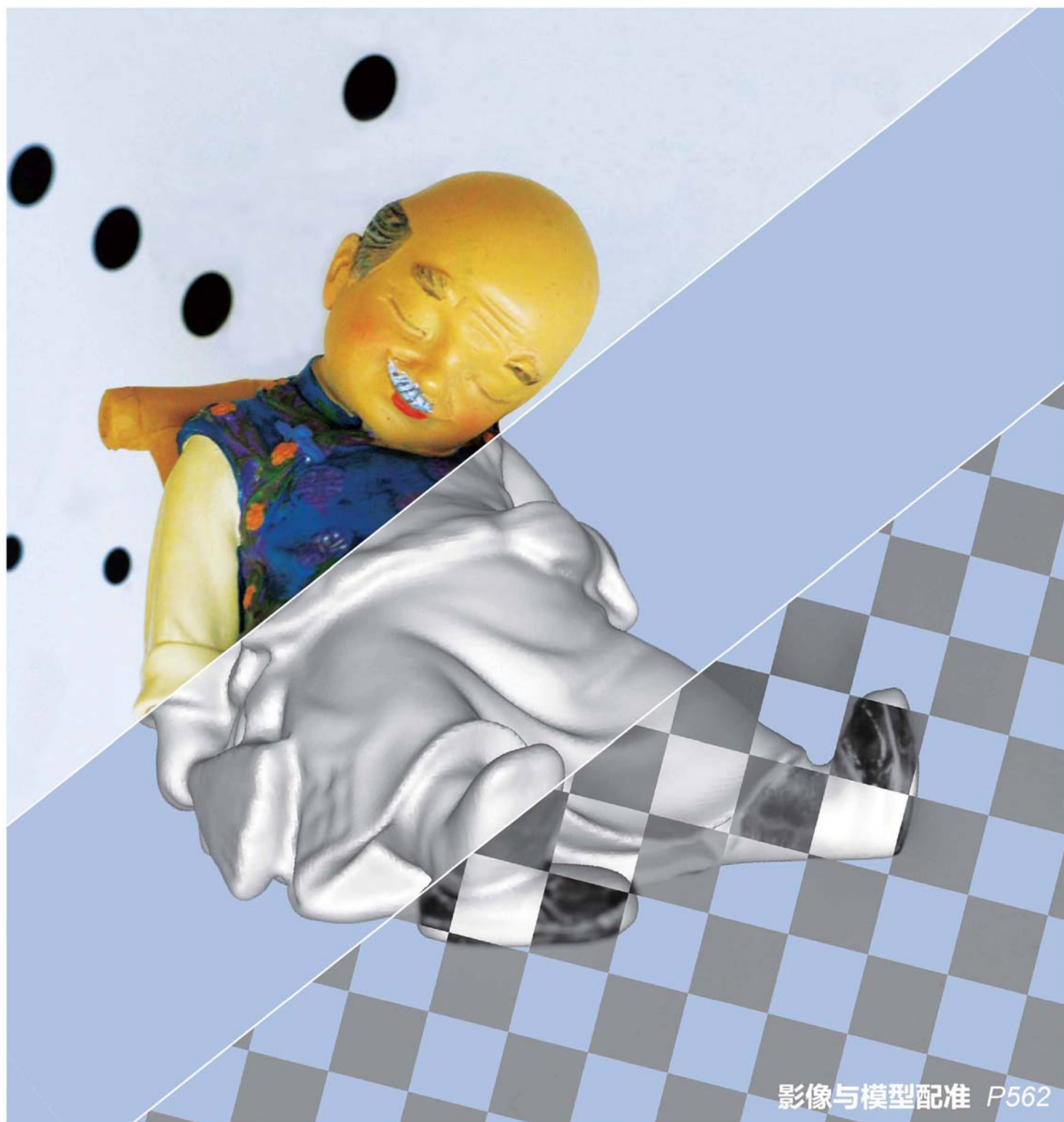


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
04
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



影像与模型配准 P562



第19卷第4期（总第216期）

2014年4月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

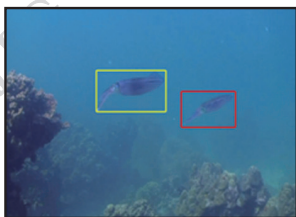
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

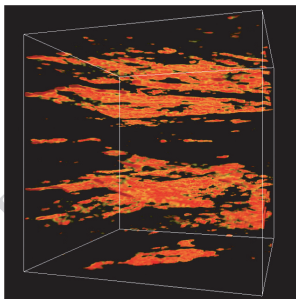
国内定价 50.00元



面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理(第512页)



融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪(第534页)



针对全空子数据体的GPU体绘制(第577页)

图像处理和编码

- 梯度矢量扩散控制实现边缘保持的彩色图像去噪
贾迪, 孟祥福, 张一飞, 董娜, 李思慧 0493
- 联合矩阵F范数的低秩图像去噪
刘新艳, 马杰, 张小美, 胡钊政 0502
- 面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理
周漾, 郑顺义, 黄荣永, 马电 0512
- 改进的局部方向模式纹理表示方法
刘海军, 常东超, 张凌宇 0520
- 图像插值空间大容量可逆数字水印算法
王继军 0527

图像分析和识别

- 融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪
王慧斌, 程勇, 陈哲 0534
- 融合颜色属性和空间信息的显著性物体检测
徐丹, 唐振民, 徐威 0541
- 采用人工鱼群的改进广义Hough变换目标定位
李志, 谢强 0549
- 非规则弯曲形变的不变量表示
李国祥, 夏国恩 0556

图像理解和计算机视觉

- 小物体3维重建中影像与几何模型的配准
郑顺义, 王晓南 0562
- 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性
惠国保, 李东波 0569

计算机图形学

- 针对全空子数据体的GPU体绘制
李国和, 段忠祥, 吴卫江, 洪云峰, 刘智渊, 程远 0577

医学图像处理

- 基于无损水印的医学图像篡改检测和高质量恢复
邓小鸿, 陈志刚, 毛伊敏 0583

遥感图像处理

- 特征点和不变矩结合的遥感图像飞机目标识别
曾接贤, 付俊, 符祥 0592
- 结合稀疏识别的自适应Wallis滤波在高分辨率影像控制点匹配中的应用
耿蕾蕾, 孙权森, 纪则轩, 刘佑鑫, 袁凯 0603

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

- 局部特征点的3维模型变换域水印算法
张建明, 周小梅, 王新宇, 詹永照 0613
- 足球视频搜索引擎中的用户偏好挖掘
胡雨成, 于俊清, 黄贤强, 何云峰, 管涛 0622
- 随机亮度差量化的二进制特征描述
庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛 0630
- L_1 优化在网格去噪中的应用
王鹏, 王胜法, 曹俊杰, 李楠楠, 李波, 苏志勋 0637
- 多视点视频双向实时转码技术的设计与实现
孙立峰, 蔡飞飞, 杨士强 0645

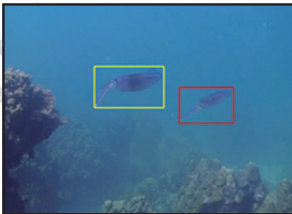
- 第五届数字地球高峰会议征文通知 封三

CONTENTS

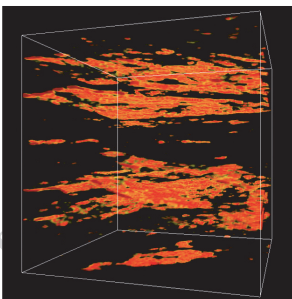
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing(P512)



Visual depth based feature calculation and underwater target tracking(P534)



GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks(P577)

Image Processing and Coding

Edge preserving denoising of color image through controlling the gradient vector Jia Di, Meng Xiangfu, Zhang Yifei, Dong Na, Li Sihui	0493
Image denoising of low-rank matrix recovery via joint Frobenius norm Liu Xinyan, Ma Jie, Zhang Xiaomei, Hu Zhaozheng	0502
Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing Zhou Yang, Zheng Shunyi, Huang Rongyong, Ma Dian	0512
Improved local directional pattern texture descriptor Liu Haijun, Chang Dongchao, Zhang Lingyu	0520
High capacity reversible watermarking for image interpolation space Wang Jijun	0527

Image Analysis and Recognition

Visual depth based feature calculation and underwater target tracking Wang Huibin, Cheng Yong, Chen Zhe	0534
Combining color names with spatial information for salient object detection Xu Dan, Tang Zhenmin, Xu Wei	0541
Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location Li Zhi, Xie Qiang	0549
The global descriptor for bending non-rigid shapes Li Guoxiang, Xia Guoen	0556

Image Understanding and Computer Vision

Images and geometric model registration in 3D reconstruction of small objects Zheng Shunyi, Wang Xiaohan	0562
Robust descriptor structured by pixel clustering Hui Guobao, Li Dongbo	0569

Computer Graphics

GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks Li Guohe, Duan Zhongxiang, Wu Weijiang, Hong Yunfeng, Liu Zhiyuan, Chen Yuan	0577
--	------

Medical Image Processing

Lossless watermarking algorithm for medical image's tamper detection and recovery with high quality Deng Xiaohong, Chen Zhigang, Mao Yimin	0583
---	------

Remote Sensing Image Processing

Aircraft target recognition in remote sensing images based on distribution of the feature points and invariant moments Zeng Jiexian, Fu Jun, Fu Xiang	0592
Adaptive enhancement via sparse recognition for automatic control point extraction in high-resolution images Geng Leilei, Sun Quansen, Ji Zexuan, Liu Jixin, Yuan Kai	0603

Special Issue on HHME 2013

Transform domain watermarking scheme of 3D models based on local feature points Zhang Jianming, Zhou Xiaomei, Wang Xinyu, Zhan Yongzhao	0613
User preference mining for soccer video search engine Hu Yucheng, Yu Junqing, Huang Xianqiang, He Yunfeng, Guan Tao	0622
Novel binary feature from intensity difference quantization Zhuang Dongye, Zhang Dongming, Zhang Yongdong, Li Jintao	0630
The application of l_1 -optimization in mesh denoising Wang Peng, Wang Shengfa, Cao Junjie, Li Nannan, Li Bo, Su Zhixun	0637
The design and implementation of real time MVC transcoding Sun Lifeng, Cai Feifei, Yang Shiqiang	0645

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0569-08

论文引用格式: 惠国保, 李东波. 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 569-576. [DOI: 10.11834/jig.20140411]

像素聚类改进二进制描述子鲁棒性

惠国保, 李东波

南京理工大学机械工程学院, 南京 210094

摘要: **目的** 通过挖掘图像局部区域特征信息, 提出了一种鲁棒性更高的二进制描述子。针对 BRIEF(binary robust independent elementary features) 关于旋转和视角变化鲁棒性差的问题, 通过图像补丁分层处理、增加关键点图像补丁个数来捕获更多的局部特征信息, 对 BRIEF 描述子改进。**方法** 首先, 根据灰度序列对补丁内所有像素点分类, 像素的一个聚类形成了一个亚补丁, 然后在每个亚补丁上进行类似 BRIEF 的随机测试。其次, 由于原图像补丁大小、尺度大小影响补丁的像素点成分, 从而影响像素聚类效果, 所以在原图像关键点周围分割出多个不同大小的图像补丁, 或是将原图像补丁根据尺度金字塔确定几个尺度大小不同的补丁, 然后再对图像补丁进行分层、测试。所构建的描述子不仅包含了补丁像素的灰度比较信息, 而且包含了灰度排序信息和像素群聚信息, 提高了描述子的鲁棒性。**结果** 通过性能对比实验, 发现所提的描述子的性能提高了, 而且好于对比的浮点描述子。**结论** 挖掘图像补丁的特征信息能提高二进制描述子的鲁棒性。

关键词: 关键点; 图像补丁; 局部特征; 二进制描述子; 鲁棒性

Robust descriptor structured by pixel clustering

Hui Guobao, Li Dongbo

School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

Abstract: **Objective** Since using limited spatial information from only one image patch to structure conventional binary descriptor such as BRIEF will result in low discriminative ability and is invariant to rotation or viewpoint changes. We work on this problem through further excavating feature information of the region of interest and by proposing a binary descriptor encoding, which does not only include intensity-comparison information but also information about relative relationship of intensities. **Method** This can be done by taking BRIEF-like tests on image patches gotten in two ways. First, several sub-patches can be obtained by decomposing one original image patch by sorting all pixels on it according to their intensity order, then random tests are used on each sub-patch, and all test results are concatenated to form a distinct binary string of sub-patches; second, multiple original image patches are produced by dividing interest regions into several patches of different sizes around the keypoint, or they can be retrieved from the scale space of image patches, and the discriminative power of the descriptor could be further raised by taking tests on these multiple patches. **Result** Results based on experiments of performance evaluation have shown that the proposed binary descriptor outperforms other binary descriptors or even floating point descriptors under various image transformations. **Conclusion** Excavating feature information in local image region can improve the robustness of binary descriptors.

Key words: keypoint; image patch; local feature; binary descriptor; robust

收稿日期: 2013-07-23; 修回日期: 2013-10-27

第一作者简介: 惠国保(1982—), 男, 南京理工大学机械工程学院博士研究生, 主要研究方向为计算机视觉、模式识别、机器学习。

E-mail: huiguobao@163.com

0 引言

实现图像配准方法很多,其中特征点描述子匹配是一个重要的方法。特征点描述子用来表达图像关键点(或兴趣点)周围局部特征的向量。以某个关键点为中心的局部区域(图像补丁),根据其内部像素点的灰度信息对该区域特征进行描述,得到一个能表达该局部区域特征的描述子。该描述子能代表关键点进行特征匹配识别等图像处理任务。

近几十年,特征点描述子成为计算机视觉领域不可或缺的工具。这些描述子呈现为多维向量,如128维的SIFT(scale-invariant feature transform)^[1]向量或64维的SURF(speeded up robust features)^[2]向量。如果只是几百个特征点,可以用这样的多维向量表征。要是在计算能力和存储空间都有限的嵌入式设备上表征几百万个特征点,是个值得关注的问题。

例如,识别大尺度的外景图像,嵌入式设备要存储图像所有的描述子,这不仅需要大量存储空间,而且速度慢。因为匹配算法一般采用最近邻搜索,即计算两个描述子间的欧几里得距离,这当中开销很大,而且效率低。因此,构建出一个结构紧凑、计算简单的局部特征点描述子是解决这个问题的唯一手段。为了获得这样的描述子,有许多学者对SIFT描述算法进行改进,产生了许多SIFT变体。

PCA-SIFT^[3]从减维角度对SIFT描述子改进,从128维减少到36维。GLOH(gradient location and orientation histogram)^[4]采用极坐标对SIFT描述子改进,提出的描述子比SIFT更具独特性。DAISY^[5]多次用不同大小的高斯核卷积方向梯度直方图每个方向上梯度值,通过改进直方图改进描述子。Zhang等人^[6]改进SIFT描述子使之包含颜色和形状信息。

除了SIFT及其变体,也有许多改进型浮点描述子被提出。SURF^[2]利用Hessian矩阵行列式检测特征点,再对特征点周围局部区域用haar小波响应和得到描述子。MROGH(multi support region of gradient histogram)^[7]将灰度排序用于构建梯度方向直方图的浮点描述子。LIOP(local intensity order pattern)^[8]与MROGH方法类似,只不过它没有用梯度方向直方图,而是用查表法找到每组灰度序列对应的24位索引值累加。刘萍萍等人^[9]通过强度差对比,建立了一种适用于一定范围内尺度变化、平面旋

转和线性照度变换下的快速局部特征描述算法。唐永鹤等人^[10]提出了一种基于拉普拉斯的局部特征描述算法。葛娟等人^[11]提出了一种颜色仿射变换下的局部特征描述子。

上述描述子均用浮点数表达,对计算时间和内存使用都有最低要求,所以学者们试图采用二进制数来解决这个问题。二进制描述子是用一串二进制位来表征特征描述子,较早采用二进制描述子的方法是BRIEF(binary robust independent elementary features)^[12]。

BRIEF(又称U-BRIEF)是基于根据少量成对像素灰度值的比较结果能够对图像补丁有效地分类这一思想^[13-14]提出的。虽然BRIEF描述子简单、速度快,但是对图像旋转和尺度变化很敏感,所以后来有许多BRIEF改进版,如(O,S)-BRIEF分别从旋转和尺度等方面改进。D-BRIEF(discriminate binary robust independent elementary features)^[15]是通过建立数据库模板达到旋转和尺度的不变性。ORB(oriented FAST and rotated BRIEF)^[16]提出具有方向表征的二进制描述子,通过训练补丁里的所有随机采样点对获得更好的描述子。

BRISK(binary robust invariant scalable keypoints)^[17]是用AGAST^[18]检测特征点,通过采样模式获取特征点对,比较像素亮度获得二进制描述子,但所选采样点对高度关联而不具有独特性。FREAK^[19]构建类似视网膜神经的视网膜采样模式,从训练数据库里学习最好的采样点对进行比较。BINBOOST^[20]试图通过弱学习确定描述子每个位的值,改进二进制描述子的鲁棒性。

以上这些二进制描述子构建方式,构建过程都有很大不同,得到的二进制描述子的大小和包含的信息也不同。但是构建二进制描述子的目标是相同的,即提高计算速度和节省存储空间。在性能上,这些二进制描述子的鲁棒性都要逊色于浮点型描述子。

本文目标是提出一个鲁棒性更高的二进制描述子,即改进版的BRIEF描述子。根据MROGH灰度值排序思想的启发,将传统BRIEF测试的补丁进行分层处理,得到多个亚补丁,在每个亚补丁上随机采样像素点对对比测试。并通过区域大小分割或尺度大小调整,增加测试补丁个数,进一步增强描述子的性能。这样的二进制描述子包含了不同灰度段的采样信息,而具有更好的描述性。通过实验可以发现

本文提出的二进制描述子比 BRIEF 鲁棒性高, 而且比 MROGH 匹配速度快, 占用内存少。

1 构建二进制描述子

构建的二进制描述子可以看做对 BRIEF 方法的改进。BRIEF 方法是直接在原图像补丁 P 上随机地选择两个像素点 (x, y) 进行灰度值比较测试, 测试结果可以表示为

$$T(P; x, y) = \begin{cases} 1 & I(P, x) < I(P, y) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $I(P, x)$ 和 $I(P, y)$ 分别是补丁 P 里的像素点 x 和 y 的灰度值。进行 N 次测试, 就随机选择了 N 个像素点对 $(x_i, y_i) \mid_{i=1}^N$ 。串联所有的测试结果, 就构成了图像补丁 P 的二值描述子

$$Desc = \sum_{1 \leq i \leq N} 2^{i-1} T(P; x_i, y_i) \quad (2)$$

BRIEF 方法选择的像素点对之间关系是对等的, 所得到的二值描述子每个位之间无层次性, 因而 BRIEF 描述子对旋转和视角变化鲁棒性差。为了使采样的像素点对具有层次性, 对图像补丁 P 进行分层处理, 在得到的亚补丁上进行测试。为了进一步增强二值描述子的鲁棒性, 通过改变图像补丁的大小或尺度, 以获得多个不同的补丁, 再进行分层处理、比较测试。

1.1 图像补丁分层处理

根据灰度序列^[7]对图像补丁分层, 一层对应一个亚补丁, 然后在亚补丁上进行像素点灰度值比较测试, 依次串联每个亚补丁的测试结果形成二进制描述子, 如图 1 所示。图 1 中, 灰度范围划分为 5 个均等的灰度段, 实际上灰度范围可均分为 M 等份。

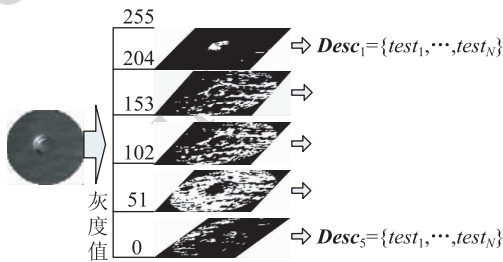


图 1 图像补丁分层处理、比较测试示意图

Fig. 1 Decomposing image patch into sub-patches and taking intensity-comparison test on each sub-patch

图像补丁划分为每个灰度段对应的亚补丁, 每

个亚补丁上白色的点表示原补丁关于相应灰度范围保留下来的像素点。在每个亚补丁上进行 N 次像素点灰度值比较测试, 串联每个亚补丁上所有的测试结果, 就会得到该亚补丁的一个描述子。再将所有亚补丁的描述子按照灰度序列串联起来, 就构成了原图像补丁的描述子。原图像补丁描述子表示为

$$P_Desc = (Desc_1, \dots, Desc_M) \quad (3)$$

该描述子是对原图像补丁独特性的描述, 大小为 $N \times M$ 。有 M 个亚补丁测试结果, 所以描述子呈现层次性。

1.2 图像补丁区域大小变化

以关键点为中心, 根据补丁区域大小变化, 可以分割出不同大小的圆形区域, 如图 2 所示。图 2 中以最小半径 $R_{\min}$ 的圆形区域开始, 等距离扩大圆形区域半径, 得到 5 个不同大小的补丁 P_K 。

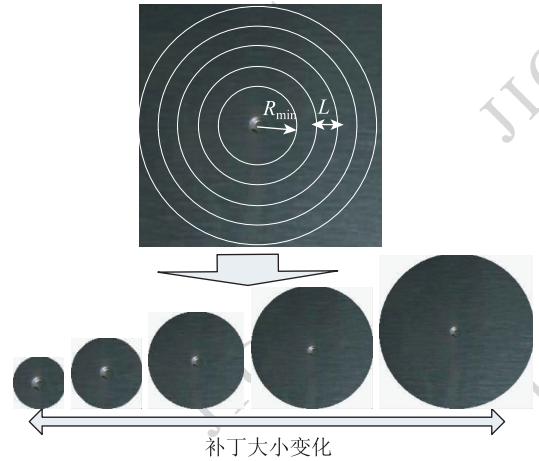


图 2 5 个由内向外等距扩大的圆形区域确定的图像补丁示意图

Fig. 2 Multiple patches gotten from region division

多个原图像补丁区域分割过程中, 有 3 个参数影响最终描述子的性能, 分别是最小补丁的圆形区域的半径 $R_{\min}$ (像素)、扩大圆形区域距离 L (像素) 以及扩大圆形区域个数 K , 这 3 个参数对描述子的独特性影响如图 3 所示, 查准率 (recall) 指两幅图像正确匹配数量占真正对应描述子总数的比例, 查错率 $(1 - \text{precision})$ 指错误匹配数量占所有已匹配数量的比例。可以看到最小圆形区域不能太小, 因为太小区域包含的灰度信息很少, 减弱了描述子的独特性, 但也不能太大, 否则会将转换过程误差扩大, 所以最小圆形区域半径取 15 个像素。对扩大圆形区域的距离也是同样的道理, 取 10 个像素。从图 3

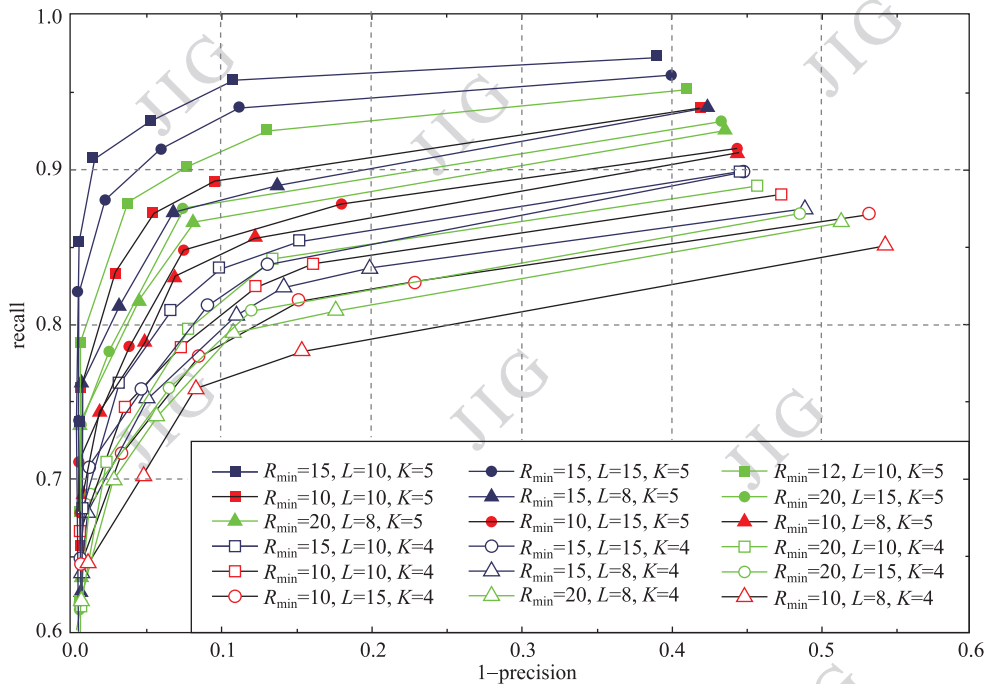


图3 分割区域参数对描述子独特性影响分析

Fig. 3 Analyzing affect of parameters of region division on discriminative power of descriptor

可以看到,扩大圆形区域个数越多,描述子的独特性就越好,关于该参数设定见后续实验。

然后对每个图像补丁采用 1.1 节介绍方法处理,得到 K 个原图像补丁描述子。将所有的原图像补丁描述子依次串联起来就得到了关键点的最终完整的描述子

$$RD = (P_1_Desc, \dots, P_K_Desc) \quad (4)$$

该描述子的长度为 $N \times M \times K$ 。通过这种方法得到的描述子由二级阶梯构成,一阶是多个原图像补丁,另一阶是亚补丁。

1.3 图像补丁尺度大小变化

调整图像尺度也会产生多个图像补丁。根据 Lowe^[1] 提出的尺度金字塔,可以将一个图像补丁衍生出多个尺度不同的补丁,如图 4 所示。图 4 中从最小尺度 S_{min} 的图像补丁开始,尺度等比例扩大,得到 5 个不同大小的补丁 $P_{K'}$ 。

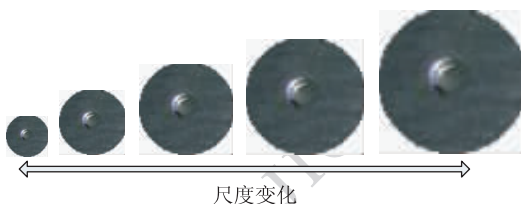


图4 从补丁尺度金字塔里选出 5 个不同尺度补丁示意图

Fig. 4 Multiple patches gotten from scaled image pyramid

挑选出的不同尺度补丁组合对描述子的独特性也是有影响的,尺度过小,不能包含足够补丁特征信息;尺度过大,会减少补丁特征信息量,使得不同补丁在尺度很大的情况下差异度降低。此处影响描述子独特性也是 3 个因素:最小尺度 S_{min} , 尺度等比例扩大因子 δ , 和不同尺度补丁个数 K' 。同 1.2 节,通过测试该 3 个因素对描述子独特性影响后,补丁最小尺度为 1, 尺度扩大比例为 0.03, 较为合理。此处的 K' 与 1.2 节的 K 是相同的,补丁的个数越多,得到的描述子的独特性就越好,该参数设定同 1.2 节。

同样的,对每个图像补丁采用 1.1 节介绍的分层处理方法,得到 K' 个原图像补丁描述子。再将所有的图像补丁描述子依次串联起来就得到了另一个版本的关键点最终描述子

$$SD = (P_1_Desc, \dots, P_{K'}_Desc) \quad (5)$$

该描述子的长度为 $N \times M \times K'$ 。而且同 RD 一样,该描述子也为二阶阶梯结构。

2 实验与评估

2.1 数据和评估标准

评估描述子的图像数据集来自牛津标准数据集

(<http://www.robots.ox.ac.uk/vgg/research/affine/>), 这个数据集包括结构场景图像和纹理场景图像, 而且这些图像带有不同程度的几何和光度转换。这 6 个转换包括: 视角变化、尺度变化、图像旋转、图像模糊、亮度变化和 JPEG 压缩。

由引言部分知道, 两个匹配的描述子或许不是两个真正对应的描述子。如果两个匹配的描述子就是真正的两个对应的描述子, 称这对匹配为正确匹配, 否则为错误匹配。使用的 Mikolajczyk^[4] 的评估标准称为查全率, 是基于两幅图像的正确匹配数量和错误匹配数量提出的, 又称为查准率/查错率。

每组测试图像反映的是 6 种不同的图像转换变

化, 而且一组图像集里, 第 1 幅图像与其后的第 2 幅、第 3 幅、第 4 幅的差别变化逐渐增大。这里将每组的测试图集的第 1 幅图像与第 2 幅、第 3 幅、第 4 幅图像进行匹配, 来反映描述子的在各种图像转换条件下的匹配效果。

2.2 参数选择

所提的描述子有 3 个参数: 原图像补丁个数 K (K')、原图像补丁分层得到的亚补丁数 M 和每个亚补丁随机测试次数 N 。为了评估参数对所提描述子的影响, 对文献[4]图像集里不同参数的 182 对图像进行测试。这些图像涉及的图像转换包括旋转变化和尺度变化。图 5 展示了不同参数设置下的平均查准率和平均查错率。

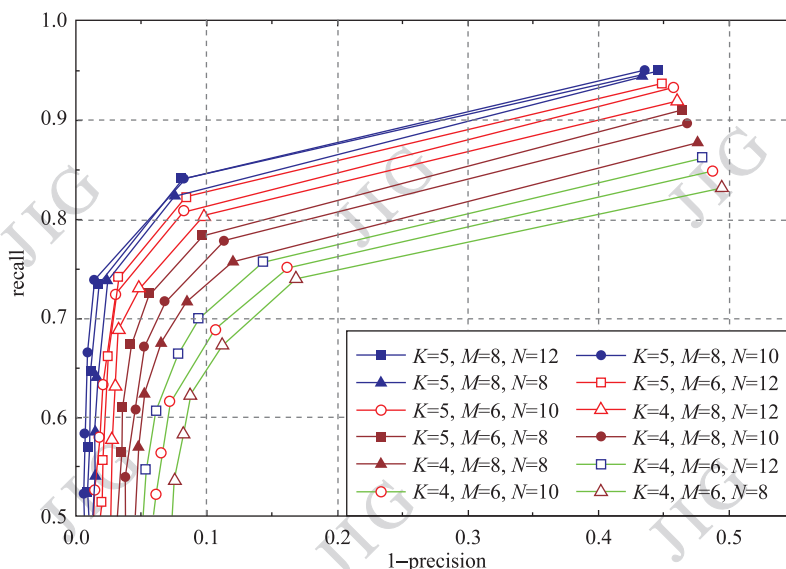


图 5 所提描述子性能优化的参数评估

Fig. 5 The proposed descriptor parameter selection

从图 5 可以看到, 所提描述子的性能随原图像补丁个数 K 、亚补丁个数 M 和亚补丁测试次数 N 的增加而提高。无论是原图像补丁, 还是亚补丁, 数量越多, 描述子捕获图像信息就越多。从图 5 中可以看到, 当 $\{K=5, M=8, N=10\}$ 和 $\{K=5, M=8, N=12\}$ 时描述子达到最好性能, 但后者描述子长度比前者多 80 个位。因此选择图像补丁个数为 5、补丁层数为 8、测试次数为 10 来进行后续的性能评估实验。

2.3 性能评估

牛津测试图像集被广泛地用于评估描述子性能, 这些测试图像包括视角变化、旋转和尺度变化、亮度变化、图像模糊和 JPEG 压缩等各种转

换, 可以完整地测评一个描述子的性能。评估程序同文献[4]。评估代码也可从他们网站上下载。

为了更好地展示描述子的性能, 采用对比实验。将所提的两种描述子 (RD、SD) 与公认性能较好的浮点描述子 SIFT、传统二进制描述子 BRIEF^[12] 作为对比实验。作为对比的描述子的参数都依据鲁棒性最大进行配置, 描述子的参数是各自作者实验得出的。值得注意的是, 本文所提描述子构建方法采用了 BRIEF 的像素灰度比较测试, 所以需要根据文献[12]提出的两步处理。首先对图像补丁平滑处理, 因为越困难的匹配, 平滑越显得重要, 平滑后能获得较好的匹配效果, 而且

设置平滑高斯核方差为 2;其次,像素点选择服从正态分布,即 $(x, y) \sim N\left(0, \frac{S^2}{25}\right)$, 其中 S 为补丁的大小。

为了公平评估每个描述子的性能,关键点检测采用同样方式。实验采用相同的关键点检测方法,即 Harris 角点检测法,检测出的关键点对仿射都不变。将 4 个描述子分别对该关键点进行测试,于是每一对测试图像有 4 组实验。实验结果如图 6、图 7 所示。

从实验结果中可以看到,所提的区域分割补丁的描述子(RD)和补丁尺度变化的描述子(SD)匹配效果较为接近,一般 RD 要好于 SD,而且二者均好于 SIFT 和 BRIEF 描述子。原因是本文对图像补丁

进行了分解处理,所以描述子具有旋转和仿射不变性。为了进一步提高描述子性能,在关键点周围确定多个大小不同的图像补丁,然后再对每个图像补丁进行分解、测试,串联所有图像补丁的测试结果得到了最终完整的二进制描述子。这样得到的描述子不仅具有更强的尺度不变性,而且也增强了各种转换下的鲁棒性。

从图 6、图 7 中还可以看到,尽管检测对描述子性能影响很大,但不同描述子之间,性能相对性或多或少一致。而且,所提描述子的性能要好于其他描述子,这可能要归功于好的描述子设计。不仅多个原图像补丁能增加描述子的独特性,而且每个图像补丁进行分层,也能增加描述子的独特性。最后,好的参数选择也增加描述子的性能。

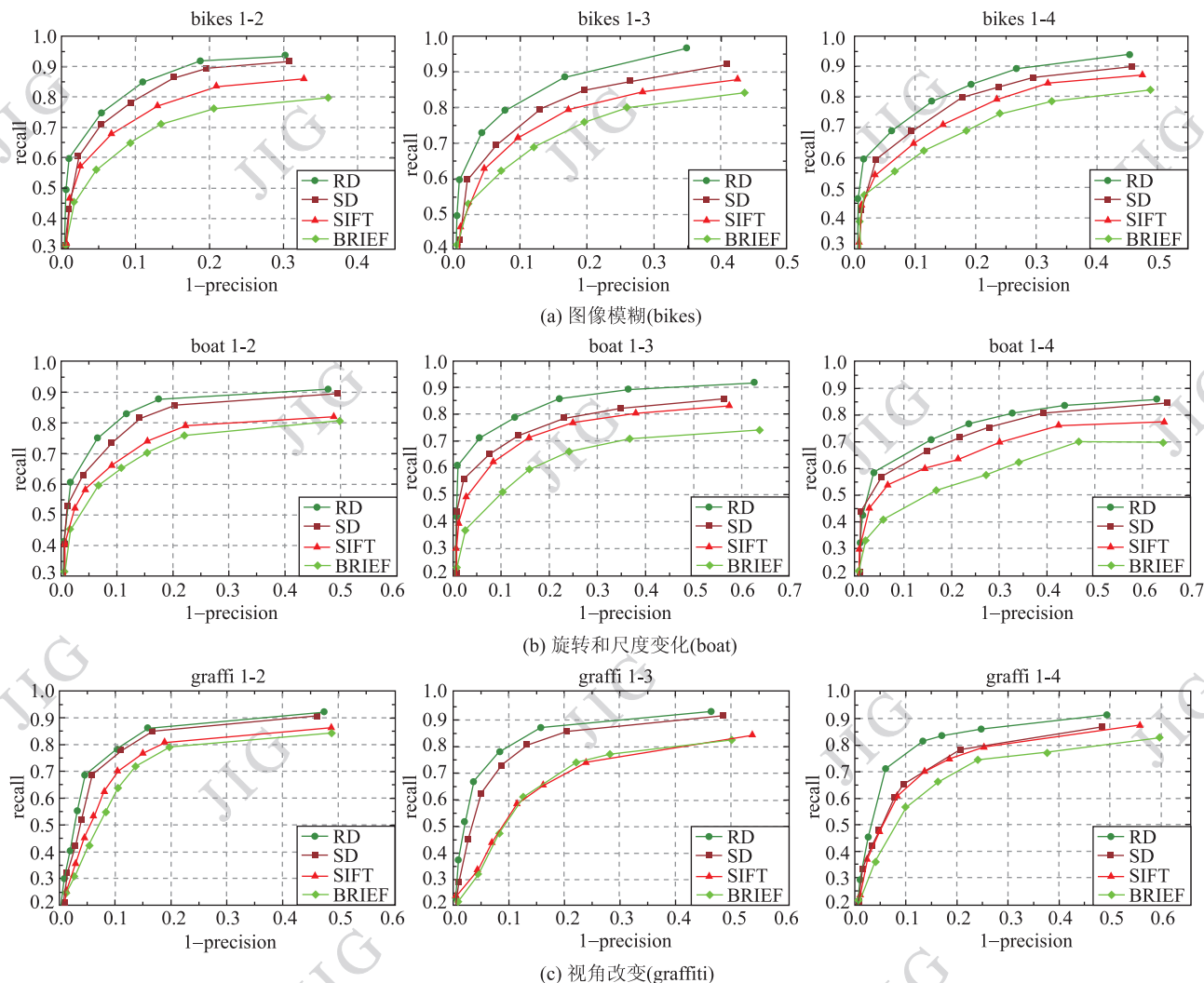


图 6 各种图像转换下的实验结果 1

Fig. 6 Experimental results 1 under various image transformations

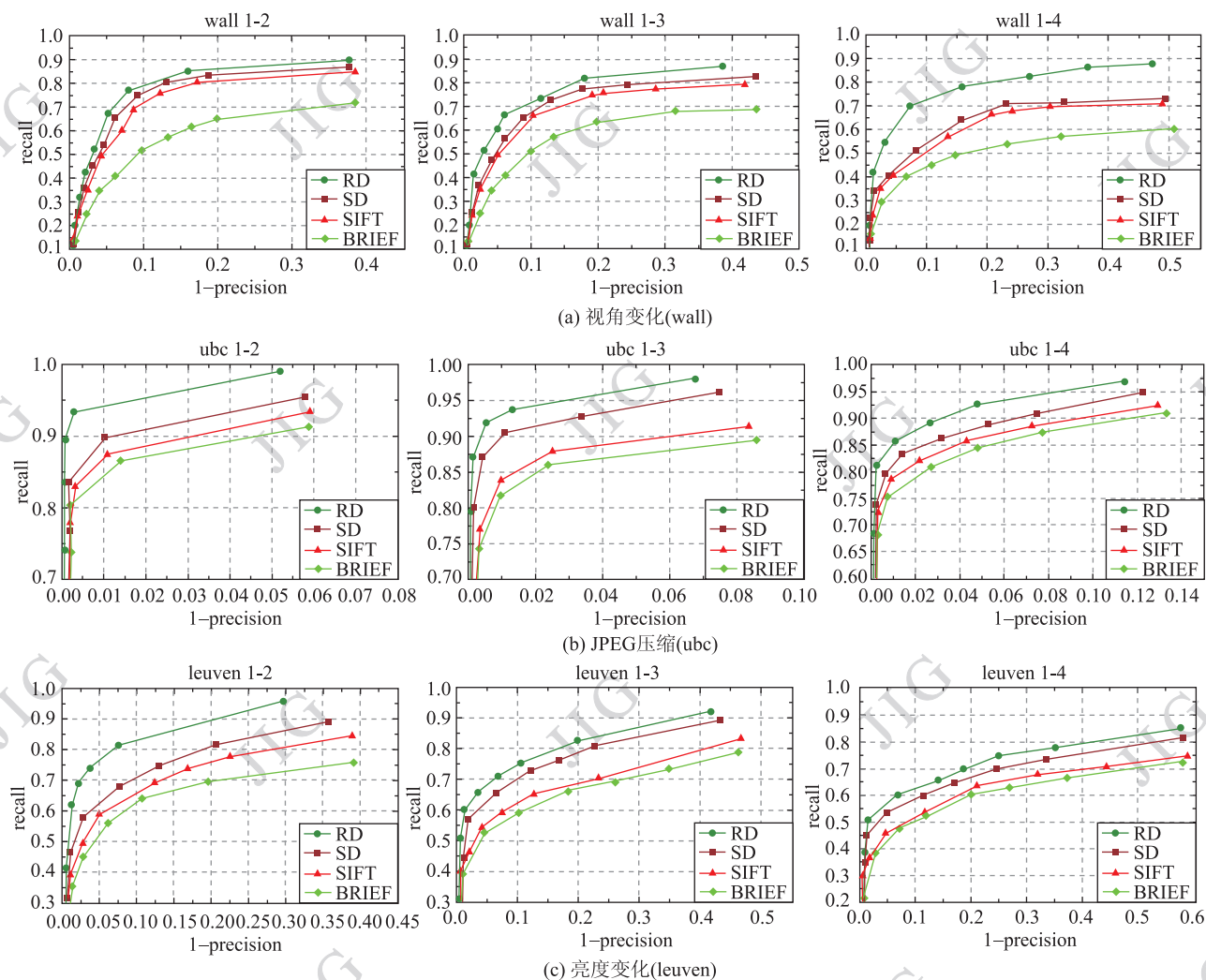


图7 各种图像转换下的实验结果2

Fig. 7 Experimental results 2 under various image transformations

3 结论

传统的二进制描述子只在一个图像补丁上随机抽取像素点作灰度值比较测试,使得捕获的局部特征信息有限。本文从补丁分层处理和增加关键点补丁个数两个方面捕获更多的特征信息。

根据几个灰度值范围将所有像素点按灰度值序列进行分类,在补丁上属于该类的像素点都保留下来,不属于该类的像素点全部移除,这样就得到一个对应该灰度值范围的像素点群聚,即一个亚补丁。这就相当于将原图像补丁分解为若干层,每一层对应一个亚补丁,每个亚补丁对应一个像素聚类,也就是对应一段灰度值的范围。在每个亚补丁上,同BRIEF一样进行随机测试,就会产生一串二进制位。

顺序连接所有亚补丁对应的位串,就得到了原图像补丁的二进制描述子。为了进一步增强二进制描述子的独特性,可以在关键点周围确定多个不同原图像补丁。有两种方法获得一个关键点多个不同的补丁,一种是以关键点为中心,通过不同大小的区域分割出补丁;另一种是在一个补丁的尺度金字塔里抽取若干个不同尺度的补丁。然后对获得每个补丁都进行分层处理、随机测试,然后再依次串联所有补丁的位串,最后就得到关键点的完整二进制描述子。

本文详细阐述了多补丁划分方法、图像补丁分层方法、参数确定、二进制描述子的构建等,通过对比实验客观地对所提描述子的性能进行评估。通过实验发现,在所有对比的描述子中,所提的描述子在各种图像转换条件下性能是最好的。而且所提的描述子具有计算简单、匹配速度快,占用内存少等优点。

参考文献 (References)

- [1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110. [DOI: 10.1023/B: VISI. 0000029664. 99615. 94]
- [2] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. SURF: speeded up robust features[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 110(3): 346-359. [DOI: 10.1016/j.cviu.2007.09.014]
- [3] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington DC, USA: IEEE, 2004: 506-513. [DOI: 10.1109/CVPR.2004.1315206]
- [4] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1615-1630. [DOI: 10.1109/TPAMI.2005.188]
- [5] Tola E, Lepetit V, Fua P. DAISY: an efficient dense descriptor applied to wide baseline stereo[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(5): 815-830. [DOI: 10.1109/TPAMI.2009.77]
- [6] Zhang J, Youssef B, Thomas S. A new biologically inspired color image descriptor[C]//*Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. Florence, Italy: IEEE, 2012: 312-324. [DOI: 10.1007/978-3-642-33715-4_23]
- [7] Fan B, Wu F C, Hu Z Y. Aggregating gradient distributions into intensity orders: a novel local image descriptor[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Providence, RI: IEEE, 2011: 2377-2384. [DOI: 10.1109/CVPR.2011.5995385]
- [8] Wang Z H, Fan B, Wu F C. Local intensity order pattern for feature description[C]//*Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 603-610. [DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126294]
- [9] Liu P P, Zhao H W, Zang X B, et al. A fast local feature description algorithm[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2010, 36(1): 40-45. [刘萍萍, 赵宏伟, 臧雪柏, 等. 一种快速局部特征描述算法[J]. *自动化学报*, 2010, 36(1): 40-45.] [DOI: 10.3724/SP.J.1004.2010.00040]
- [10] Tang Y H, Lu H Z, Hu M F. Local feature description algorithm based on laplacian[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(12): 2999-3006. [唐永鹤, 卢焕章, 胡谋法. 基于 Laplacian 的局部特征描述算法[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(12): 2999-3006.] [DOI: 10.3788/OPE.20111912.2999]
- [11] Ge J, Cao W G, Zhou W, et al. A local feature descriptor under color affine transformation[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2013, 25(1): 26-33. [葛娟, 曹伟国, 周伟, 等. 一种颜色仿射变换下的局部特征描述子[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2013, 25(1): 26-33.]
- [12] Calonder M, Lepetit V, Ozuysal M, et al. BRIEF: computing a local binary descriptor very fast[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34(7): 1281-1298. [DOI: 10.1109/TPAMI.2011.222]
- [13] Lepetit V, Fua P. Keypoint recognition using randomized trees[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(9): 1465-1479. [DOI: 10.1109/TPAMI.2006.188]
- [14] Ozuysal M, Calonder M, Lepetit V, et al. Fast keypoint recognition using random ferns[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(3): 448-461. [DOI: 10.1109/TPAMI.2009.23]
- [15] Trzcinski T, Lepetit V. Efficient discriminative projections for compact binary descriptors[C]//*Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. Florence, Italy: IEEE, 2012: 228-242. [DOI: 10.1007/978-3-642-33718-5_17]
- [16] Rublee E, Rabaud V, Konolidge K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//*Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2564-2571. [DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126544]
- [17] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R Y. BRISK: binary robust invariant scalable keypoints[C]//*Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2548-2555. [DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126542]
- [18] Mair E, Hager G D, Burschka D, et al. Adaptive and generic corner detection based on the accelerated segment test[C]//*Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. Heraklion, Crete, Greece: IEEE, 2010: 183-196. [DOI: 10.1007/978-3-642-15552-9_14]
- [19] Alahi A, Ortiz R, Vanderghenst P. FREAK: fast retina keypoint[C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Rhode Island, Providence, USA: IEEE, 2012: 2069-2076. [DOI: 10.1109/CVPR.2012.6247715]
- [20] Trzcinski T, Christoudias M, Fua P, et al. boosting binary keypoint descriptors[C]//*Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Portland, Oregon, USA: IEEE, 2013: 2874-2881. [DOI: 10.1109/CVPR.2013.370]