

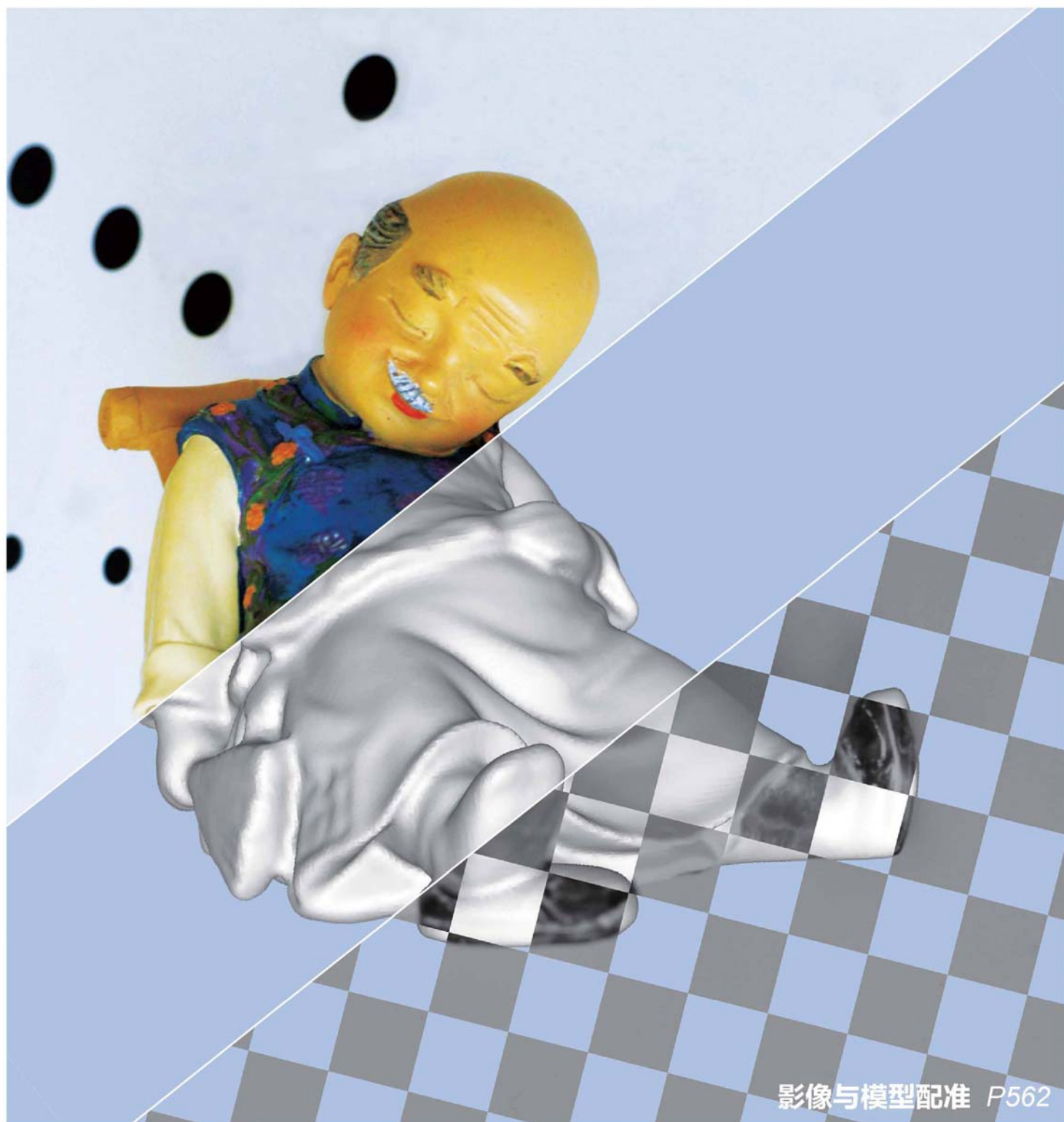


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

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

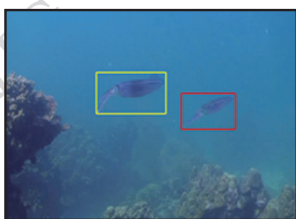
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

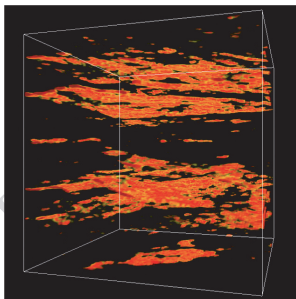
国内定价 50.00元



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

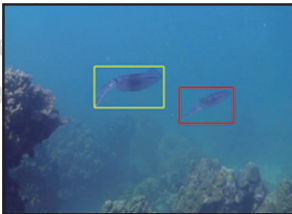
- 第五届数字地球高峰论坛征文通知 封三

CONTENTS

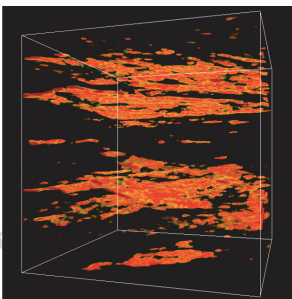
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



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: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0630-07

论文引用格式: 庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛. 随机亮度差量化的二进制特征描述[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 630-636. [DOI: 10.11834/jig.20140418]

随机亮度差量化的二进制特征描述

庄东晔^{1,2}, 张冬明¹, 张勇东¹, 李锦涛¹

1. 中国科学院智能信息处理重点实验室, 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190;

2. 中国科学院大学, 北京 100190

摘要: 传统的基于浮点型向量表示的图像局部特征描述子(如 SIFT、SURF 等)已经成为计算机视觉研究和应用领域的重要工具,然而传统的高维特征向量在基于内容的大规模视觉检索应用中存在着维度灾难的问题,这使得传统浮点型视觉特征在大规模多媒体数据应用中面临严峻挑战。为了解决浮点型特征的计算复杂度高以及存储空间开销大的问题,越来越多的计算机视觉研究团队开始关注和研究基于二进制表达的局部特征并取得了重要进展。**方法** 首先介绍了二进制特征的相关工作,并对这些方法进行了分类研究,在此基础上提出了基于亮度差量化的特征描述算法。有别于传统二进制特征描述算法,本文算法首先对图像局部进行随机像素点对采样,并计算像素点对之间的亮度差,通过对亮度差值作二进制量化得到图像的局部二进制特征。**结果** 本文算法在公共数据集上与目前主流的几种二进制特征提取算法进行了比较评价,实验结果表明,本文二进制特征在特征匹配准确率和召回率上超过目前主流的几种二进制描述子,并且同样具有极高的计算速度和存储效率。**结论** 通过实验结果验证,本文二进制特征在图像条件发生变化时仍然能保持一定的鲁棒性。

关键词: 多媒体技术;局部特征;图像检索;二进制特征

Novel binary feature from intensity difference quantization

Zhuang Dongye^{1,2}, Zhang Dongming¹, Zhang Yongdong¹, Li Jintao¹

1. Key Lab of Intelligent Information Processing of Chinese Academy of Sciences,

Institute of Computing Technology, CAS, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: **Objective** With the explosive growth of multimedia data on the internet, the efficient organization and retrieval of large-scale image and video data has become an urgent problem, which expects more efficient low-level feature with low computation. This brings a huge challenge to the conventional visual feature. It is urgent to make descriptor more compact and faster and meanwhile remain robust to many different kinds of image transformation. To this end, we first introduce several schemes of binary features, and then propose a novel fast descriptor for local image patches. **Method** A string of binary bits is used, which are derived from the intensity difference quantization between pixel pairs that are sampled according to a fixed random sample pattern. Different with the other binary descriptor approaches, our method first extracts the pixel pairs randomly, and then calculates the intensity differences from these point pairs. We quantize these intensity differences into binary vectors to form the local binary descriptor. **Result** Our experiments show that our method is very fast to extract and it shows better more robustness than the other binary feature schemes. **Conclusion** The binary descriptor proposed in

收稿日期:2013-09-02;修回日期:2013-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(61273247,61271428,61303159);国家科技支撑计划项目(2012BAH39B02)

第一作者简介:庄东晔(1983—),男,中国科学院计算技术研究所计算机应用专业博士研究生,研究方向为底层视觉特征、大规模图像检索、机器学习。E-mail: zhuangdongye@ict.ac.cn

this paper is computed very fast and it outperform other binary features on the public datasets we used. It proved that quantization-based method can obtain more robustness than compare-based methods.

Key words: multimedia technology; local feature; image retrieval; binary features

0 引言

随着网络图像和视频数据的爆炸式增长,传统的计算机视觉算法由于高计算复杂度和高存储要求的问题已经不能满足日益增长的大规模数据处理。视觉特征领域的里程碑式的工作如 SIFT^[1],由于其特征向量是高维的浮点数,在实际大规模数据应用中存在维度灾难的问题,并且由于使用欧氏距离来度量特征之间的相似度,这又使得传统视觉特征在进行最近邻检索时存在巨大的计算开销。为了缓解传统视觉特征所面临的性能和存储问题,出现了一系列优化 SIFT 的研究工作如 PCA-SIFT^[2]、SURF^[3] 等等,但是它们都没有从根本上解决高维浮点向量性能瓶颈问题。

近年来,一些基于二进制表示的视觉特征提取算法的研究论文陆续发表在一些计算机视觉领域的顶级期刊和会议上(PAMI、IJCV、ICCV 和 CVPR)。一般地,二进制特征向量由一个比特串来表示,它们之间的距离可以用海明距离来度量。一方面,特征向量是二进制的比特串,所以二进制特征比传统浮点型特征向量要节约存储空间;另一方面,用海明距离替代欧氏距离可以极大地提高特征匹配的计算效率。基于以上两个方面的性能优势,二进制特征越来越受到各个计算机视觉研究团队的广泛关注。

然而,相对于传统的浮点型特征,由于极低的比特率以及海明空间的离散性,二进制特征的区分性能和鲁棒性很弱,这导致在实验中当使用二进制特征进行图像匹配时,当图像进行一定程度的变换时往往出现大量的误匹配。为了提高二进制特征的区分性能,对二进制特征的提取算法进行改进,提出一种基于亮度差量化的特征提取算法。

1 相关工作概述

将二进制特征按照其提取算法分成两类:一类是基于海明嵌入的算法,另一类是基于直接描述特征区域的算法。

1) 基于海明嵌入的算法,其基本思想是将浮点型特征向量映射到海明空间进而得到二进制的特征

向量,这种映射可以采用基于哈希的算法,比如 Locality Sensitive Hashing (LSH)^[4]、Spectral Hashing (SH)^[5]、Kernel LSH (KLSH)^[6]、Locality Sensitive Binary Coded (LSBC)^[7]、Semi-Supervised Hash (SSH)^[8] 和 LDAHash^[9] 等等。这些基于哈希的方法,其核心思想是将浮点型的特征向量通过各种哈希函数映射到海明空间从而获得二进制的特征向量,不同的哈希函数构建策略是这些方法的主要区别。不同于以上基于哈希函数映射的方法,Zhou 等人^[10]提出了一种基于标量量化的方法,通过对传统的 128 维 SIFT 特征中的每个浮点型分量进行量化(每个分量量化成一个比特)得到二进制特征向量。以上基于海明嵌入的方法都是在浮点型特征向量基础上进行映射来提取二进制特征的。

除了将传统浮点型特征向量嵌入到海明空间的方法之外,还有一种直接使用二进制比特串描述图像特征区域的方法。这一思想由 Gupta 等人^[11]提出,他们使用像素点之间的亮度比较来描述特征区域。随后 Calonder 等人^[12]使用 FAST^[13] 算法检测图像的特征角点并提出了 BRIEF 二进制特征描述子,该方法在特征区域内随机采样(2 维高斯分布)像素点对进行亮度比较,通过设置一个二值选择函数得到特征比特,该算法具有极快的计算速度和很低的存储空间要求,但是 BRIEF 描述子不具有尺度不变性和旋转不变性。为了解决 BRIEF 存在的问题,Rublee 等人^[16]提出了 ORB 算法,通过引入方向距使 ORB 具有旋转不变性,通过构建图像的金字塔 Pyramid 分层结构来获得一定的尺度不变性。随后,BRISK^[14] 和 FREAK^[15] 等二进制特征出现在一系列国际会议中,这些算法都是对 BRIEF 算法的优化和扩展,其中 FREAK 由于对像素点对进行了筛选,在各种性能比对实验中获得了相对最好的综合性能。基于像素亮度比较的特征提取算法具有计算速度快、算法简单容易实现的优点。

接下来主要回顾 BRIEF 和 ORB 中的二进制特征提取算法。考虑一个图像特征区域块 p ,可以定义一个二进制选择函数

$$\tau(p; x, y) = \begin{cases} 0 & p(x) < p(y) \\ 1 & p(x) \geq p(y) \end{cases} \quad (1)$$

这里 $p(x)$ 表示在像素点 x 的亮度。那么一个 n 维

的二进制特征向量可以定义为

$$f_n = \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(p; x, y) \quad (2)$$

这里可知一对像素点对 (x, y) 确定一个特征比特,那么如果要得到 n 维的二进制特征就需要在图像区域块 p 中寻找 n 对像素点,这里 n 的取值可以是 128 或 256。Calonder 等人^[12]研究了多种像素点对的采样算法,在 BRIEF 算法中首先对图像特征区域进行高斯滤波以消除噪声的影响,然后使用基于 2 维高斯分布的随机点对采样能获得最佳的性能,这意味着越靠近特征区域中心的像素越容易被选中。值得注意的是,在 ORB 和 BRIEF 算法中每次提取特征的像素点对序列都是一样的(基于同一个高斯分布导出的点对坐标序列)。

在本文方法中,像素点对的采样策略使用与 ORB 和 BRIEF 同样的算法,结合随机像素点对采样算法提出基于亮度差量化的特征提取算法。

2 二进制特征提取算法

以上回顾了 ORB 和 BRIEF 中的二进制特征提取算法,下面将介绍本文基于亮度差量化的特征提取算法。当使用随机像素采样算法对图像特征区域进行采样后,可以获得一组像素点对序列,接下来将本文的提取算法分成亮度差计算、主方向确定和亮度差量化 3 个部分。

2.1 亮度差计算

按照 Calonder 等人^[12]提出的基于高斯分布的采样模式来采样所需要的点对,如图 1 所示,黑色方框是通过 FAST 检测子检测到的特征区域,每个黑

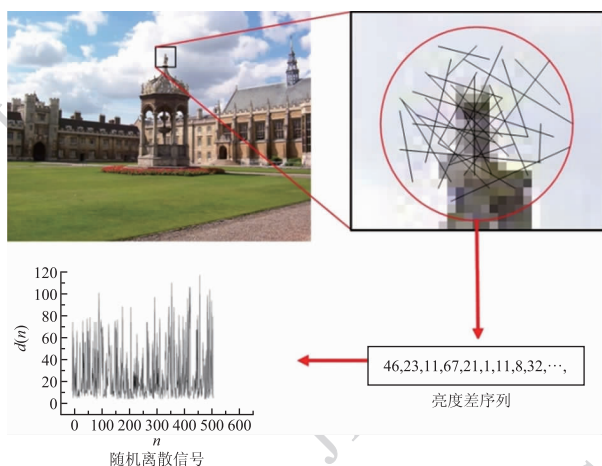


图 1 随机亮度差采样示意图

Fig. 1 The toy example of random sample of intensity difference

色线段表示一个像素点对,那么可以得到一个 n 维的亮度差向量

$$\Delta(x, y) = p(x) - p(y) \quad (3)$$

通过计算得到了一组亮度差序列,实际上得到了一组该特征区域的一个随机离散信号表达,这个随机离散信号序列就可以直接作为该区域的一个描述特征。为了获得特征向量的旋转不变性,将提出一种高效的基于最大模式的主方向确定算法。

2.2 基于最大模式的主方向确定算法

首先定义特征向量的最大模式:在一个向量中,如果按照顺指针方向距头元素(包括头元素)最近且其值是各分量中的最大值,那么以该分量作为头元素的向量称为该向量的最大模式,向量的最大模式是旋转不变的,也就是说,由向量的最大模式确定的向量排列是具有旋转不变性的。实际上,可以通过构建亮度差向量的循环队列来求得向量的最大模式,如图 2 所示。通过亮度差计算和主方向的确定,已经得到了一个具有旋转不变性的亮度差序列,该序列可以直接作为特征区域的描述。下一节将介绍亮度差量化的方法对该序列进行量化,并形成 n 维的二进制特征。

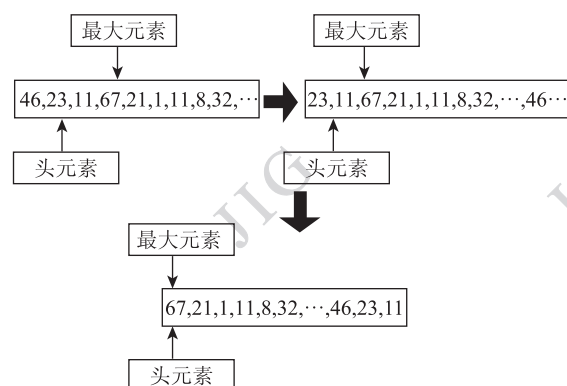


图 2 循环列表的最大模式示意图

Fig. 2 The toy example of max pattern

2.3 亮度差量化

基于以上的分析,亮度差序列可以近似地认为是一组随机离散信号 $\Delta(x)$,那么要得到这组信号的二进制编码,需要对 $\Delta(x)$ 进行量化。考虑到编码效率,设定量化的目标是将所有的 $\Delta(x)$ 值 $(-255 \leq \Delta(x) \leq 255)$ 量化到固定的编码区域内。首先考察 $\Delta(x)$ 的分布,如图 3 所示,显然亮度差的分布是很不均匀的,那么为了使 $\Delta(x)$ 均匀地量化(编码效率最高),下面对量化过程作形式化定义:

给定一个输入信号 $\Delta(x)$,将它的各个分量分

配到 N 个不重叠的间隔区域 $\{R_k\}_{k=0}^{N-1}$, 需要 $N-1$ 个边界值 $\{b_k\}_{k=0}^{N-1}$, 且 $-255 < b_k < 255$, 那么对于所有量化到区域 R_k 的 $\Delta(x)$ 都具有相同的量化编码 k 。设 p_k 是信号分量 $\Delta(x)$ 落在量化区域 R_k 的概率, 那么设 $f(x)$ 为概率密度, 可以得到

$$p_k = P[\Delta(x) \in R_k] = \int_{b_k}^{b_{k+1}} f(x) dx \quad (4)$$

式中, $P[x]$ 表示信号量化到区域 x 的概率。

显然, 量化目标就是使式(4)的概率在每个区域内都相等 ($p_1 = p_2 = \dots = p_k$)。但是 $f(x)$ 是未知的, 那么只能从亮度差的经验分布去接近 $f(x)$ 。为了得到 $f(x)$ 的近似估计, 对 Flickr 上抓取的图像数据集进行了亮度差统计, 如图3所示, 可以近似地把亮度差分布看做拉普拉斯分布, 那么为了将信号 $\Delta(x)$ 均匀量化, 结合亮度差的经验分布, 此时的量化目标可以近似为使得图3的区域面积大致相等 (量化到各个区域的概率应该相等)。定义3个量化区域

$$\begin{cases} R_0 = [-30, 30] \\ R_1 = [-255, -31] \\ R_2 = [31, 255] \end{cases} \quad (5)$$

基于式(5), 可以定义量化选择函数

$$S_k(x) = \begin{cases} 01 & x \in R_1 \\ 00 & x \in R_0 \\ 10 & x \in R_2 \end{cases} \quad (6)$$

至此, 从特征区域只能提前的亮度差向量量化成了二进制特征, 每个亮度差分量被量化成2个二进制比特, 特征之间使用海明距离来度量相似度。与此前的二进制特征不同的是, 本文算法使用两位比特表示一个像素点对的亮度比较值。

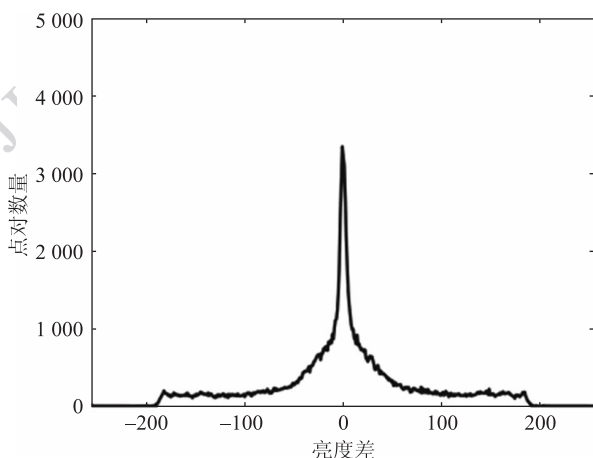


图3 亮度差的分布统计图

Fig. 3 The distribution of intensity Differences

3 实验与评价

为了验证和评价本文算法, 将算法应用于 Mikolajczyk 等人^[17]提出的数据集。该数据集包含8组 (每组6幅图像) 共48幅图像, 包括5种不同的图像变换 (视角改变、尺度变换、图像模糊、JPEG 重编码和亮度改变)。该数据集已经广泛地被用于测试图像特征算法的性能指标。在实验中本文算法将与其他几种典型的二进制特征 (ORB、BRISK、FREAK) 进行对比评价。采用与 Mikolajczyk 等人^[17]工作中一样的评价标准, 即召回率 r 和 $1 - \text{准确率}$ ($1 - p$)

$$\begin{cases} r = \frac{m_c}{n_c} \\ 1 - p = \frac{m_f}{n} \end{cases} \quad (7)$$

式中, m_c 是实验中正确的匹配数, n_c 是所有正确的匹配数, m_f 是实验中错误的匹配数, n 是所有的匹配数。一般地, 局部特征的性能很大程度上依赖于特征检测子和描述子的组合方式。为了公平起见, 实验使用 ORB 算法中提出的特征检测子算法, 使用 FAST 检测角点, 并使用 Harris^[18] 过滤边缘相应高的特征点。实验中, 所有描述子算法都使用 128 维的特征维度, 每幅图像最多检测 500 个特征点, 实验设置为通过第1类图像 (原始图像) 中的特征点配准第3类图像中的特征点, 并分别统计其准确率和召回率。

本文算法因为使用了2位比特量化编码一个亮度差, 所以在实验中, 本文算法仅仅在特征区域中采样64对像素点就能提取128位二进制特征。因为使用海明距离作为阈值来进行特征匹配, 在匹配过程中, 使用线性匹配方式且阈值设为最大海明距离的60%。实验统计结果如图4所示, 本文算法获得了最佳的性能, 在明显提高准确率的同时并未损失召回。

下面对实验结果进一步分析, 由于传统的二进制特征是通过像素之间亮度比较获得的, 而通过统计实验 (如图3) 表明, 存在大量的像素点对, 它们之间的差值接近于0, 并且以零点为中心, 亮度差的分布几乎左右对称。这意味着, 大量接近于0的像素点对所产生的特征比特位, 容易受到图像变换和噪声的影响, 而传统的基于亮度比较的方法理论上是将亮度差以零点为中心进行了划分, 显然亮度差值靠近零点的大量像素点对由于容易受到图像变化的影响, 特征比特(0或1)以较大概率发生反转, 进而

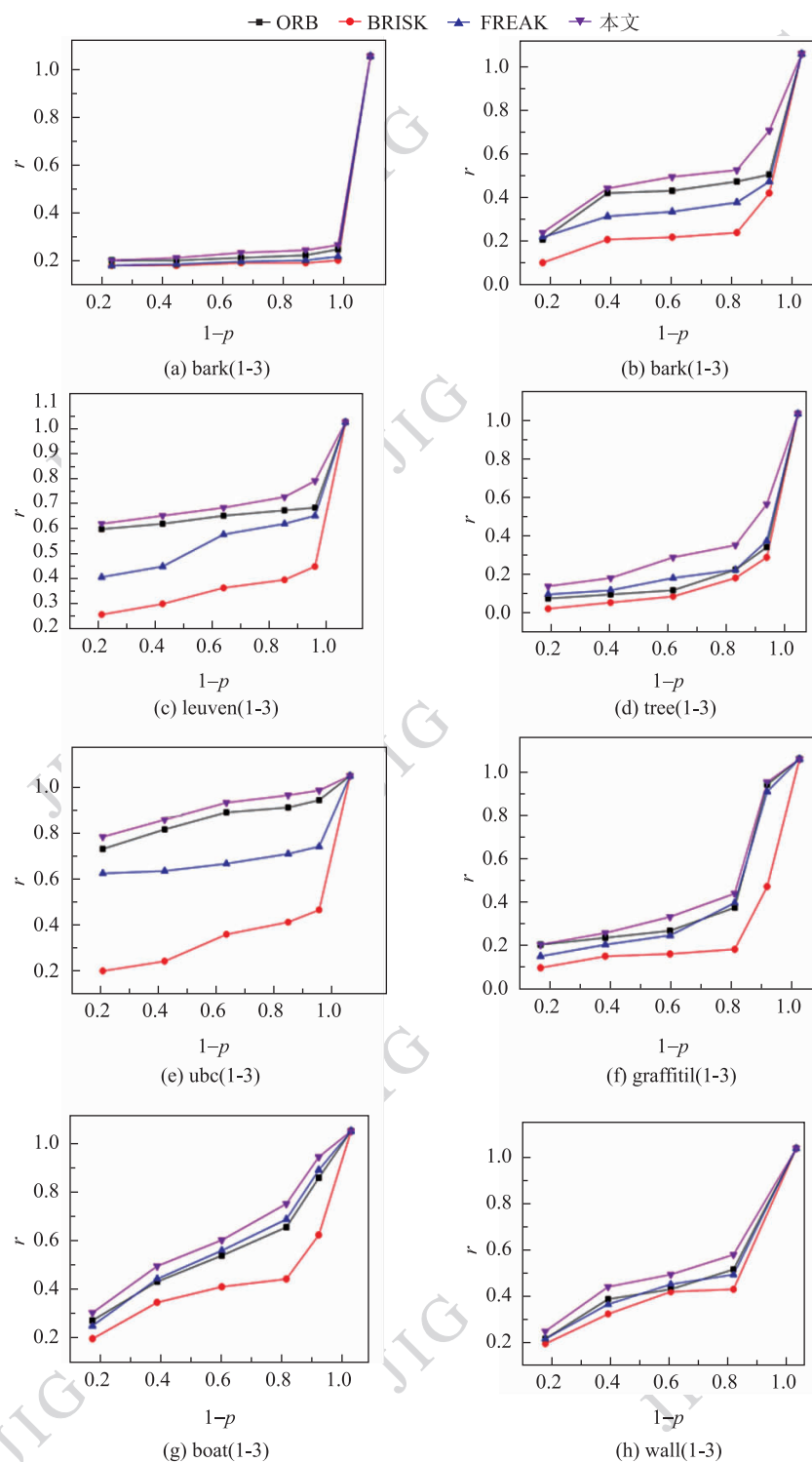


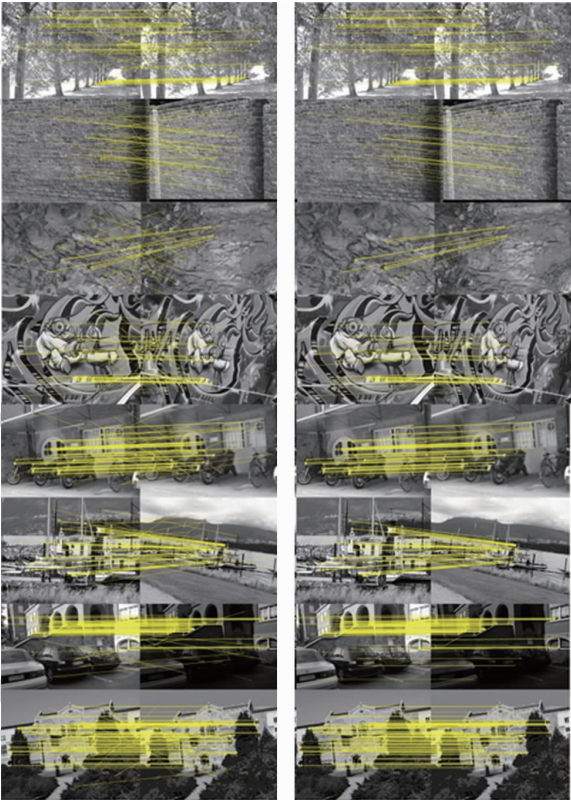
图4 召回率和1-准确率

Fig.4 Recall and 1 - Precision

会降低整个特征向量在图像变化过程中的稳定性。

本文算法本质上是将整个亮度差的分布空间作了更优的划分,那些容易受到影响进而发生符号(0或1)偏转的像素点对被划分到同一个区域内并独立编码,保持其相对稳定性,这在很大程度上消除了

这部分容易被噪声干扰的采样点对特征鲁棒性的影响,实验结果也验证了我们的分析。同时也注意到本文算法对仿射变化和尺度变化并未有大的提升,这是因为提升仿射变换和尺度变换的性能更多地依赖于特征检测子的性能。如图5所示,本文算法明



(a) ORB算法 (b) 本文算法

图 5 本文算法同 ORB 算法的对比实验

Fig. 5 The comparison between ORB and our algorithm

显消除了噪声采样点的影响,对比仅仅使用传统的 ORB 特征的算法消除了大量的误匹配,即在不降低

召回率的情况下,提高了特征匹配的准确率。

本文算法提取 128 维二进制特征仅需在特征区域中采样 64 个像素点对,是其他二进制特征采样数 1/2,但是由于在亮度差量化时运算复杂度要高于直接像素亮度比较(因为需要计算亮度差值),所以本文算法的整体计算性能与已有二进制特征提取算法大体相当,具体统计数据如表 1 所示。

表 1 一次查询的平均时间开销对比
Table 1 The average runtime per query

	ORB	BRISK	FREAK	SURF	本文算法
特征提取	0.011	0.028	0.016	0.32	0.10
特征匹配	25	32	22	65	23

目前传统的基于浮点型局部特征中,SURF^[2]因为较低的比特率(64 位浮点型),在计算效率和性能上达到比较好的平衡,为了验证本文算法的有效性,下面在数据集^[17]上进行性能对比实验。如图 6 所示,本文提出的二进制描述子在各种图像变换中都保持相对较高的识别率。尤其在 Graff^[17]等较大仿射变换下仍然能维持较高的识别率,而同时 SURF 描述子的性能随着变换强度的增加,识别率下降较快。

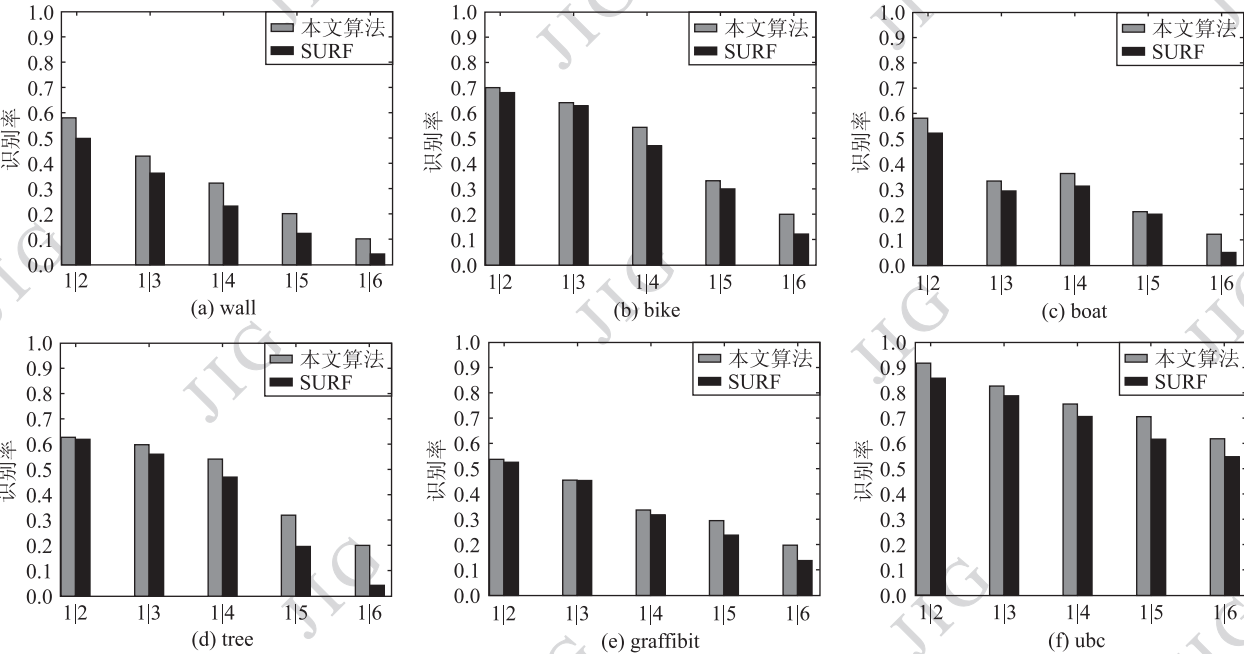


图 6 针对各种图像变换程度的局部特征点的识别率比较

Fig. 6 Recognition rate comparison of versus image pairs of all sequences

4 结 论

首先对二进制特征的算法进行了简单综述,并将二进制图像局部特征归类成了两种技术路线(基于海明嵌入的方法和直接描述的方法);然后对二进制特征存在的问题进行了分析,目前二进制特征在区分能力和鲁棒性上与传统特征还存在较大差距。为了缓解二进制特征区分度和鲁棒性差的问题,提出基于亮度差量化的二进制特征提取算法。实验结果表明,本文算法能有效消除传统二进制特征因为区分度差所产生的大量误匹配,通过对实验结果进行统计,本文算法在准确率和召回率上均超过了目前几种主流的二进制特征算法,并且在计算效率上与传统的二进制特征大体相当。

参考文献 (References)

- [1] Lowe G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60: 91-110.
- [2] Bay H, Tuytelaars T, Van G. SURF: speeded up robust features [C]. // *Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision Graz*. Berlin: Springer, 2006, 3951: 404-417.
- [3] Ke Y, Sukthankar R. PCA-SIFT: a more distinctive representation for local image descriptors [C]. // *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington DC: IEEE, 2004, 2: 506-513.
- [4] Indyk P, Motwani R. Approximate nearest neighbors: towards removing the curse of dimensionality [C]. // *The 30th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*. Dallas, USA: ACM, 1998: 604-613.
- [5] Weiss Y, Torralba A B, Fergus R. Spectral hashing [J]. *Neural Information Processing Systems*, 2008: 1753-1760.
- [6] Kulis B, Grauman K. Kernelized locality-sensitive hashing for scalable image search [C]. // *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision*. Kyoto, Japan: IEEE, 2009: 2130-2137.
- [7] Raginsky M, Lazebnik, S. Locality-sensitive binary codes from shift-invariant kernels [J]. *The Neural Information Processing Systems*, 2009, 23: 1509-1517.
- [8] Wang J, Kumar S, Chang S F. Semi-supervised hashing for large-scale search [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34: 2393-2406.
- [9] Strecha C, Bronstein A, Bronstein M, Fua P. LDAHash: improved matching with smaller descriptors [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34: 66-78.
- [10] Zhou W, Lu Y, Li H, et al. Scalar quantization for large scale image search [C]. // *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimedia*. Nara, Japan: ACM, 2012: 169-178.
- [11] Gupta R, Mittal A, Forsyth D, et al. SMD: a locally stable monotonic change invariant feature descriptor [C]. // *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision*. Berlin: Springer, 2008, 5303: 265-277.
- [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: 1281-1298.
- [13] Rosten E, Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking [C]. // *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision*. Beijing, China: IEEE, 2005, 2: 1508-1515.
- [14] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R. BRISK: binary robust invariant scalable keypoints [C]. // *Proceedings of the 13rd IEEE International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2548-2555.
- [15] Alahi A, Ortiz R, Vanderghenst P. FREAK: fast retina keypoint [C]. // *Proceedings of the 25th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Rhode Island, Providence, USA: IEEE, 2012: 16-21.
- [16] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [C]. // *Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Computer Vision*. Barcelona, Spain: IEEE, 2011: 2564-2571.
- [17] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, (27): 1615-1630.
- [18] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]. // *Proceedings of Alvey Vision Conference*. Manchester, Britain: BMVA, 1988: 147-151.