



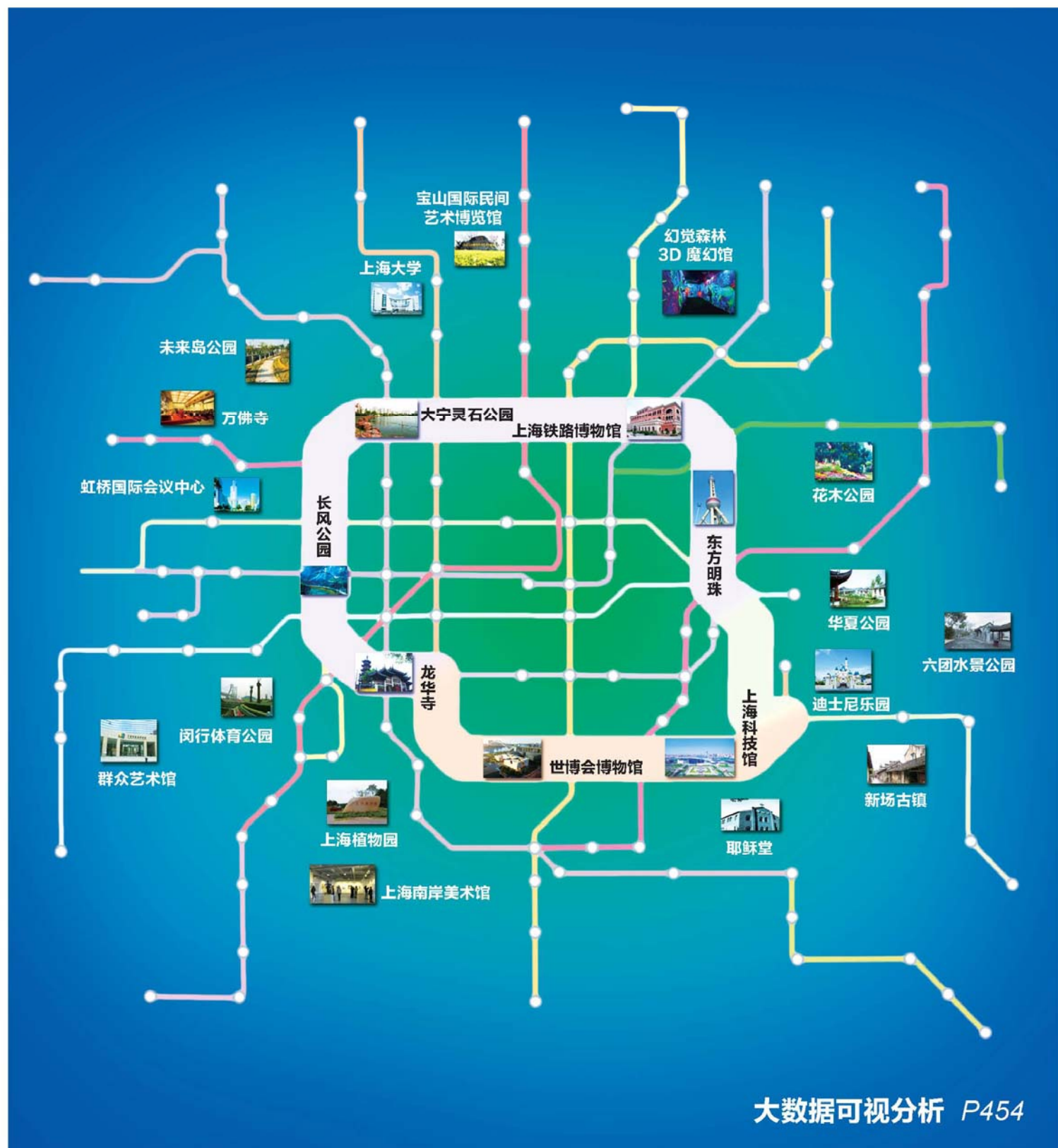
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

2015
04
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第20卷第4期（总第228期）

2015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@radi.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@radi.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

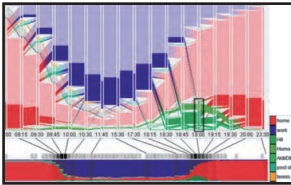
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

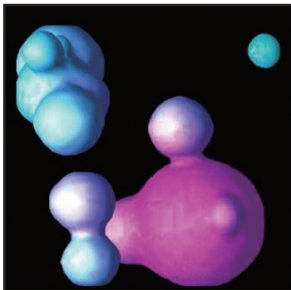
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

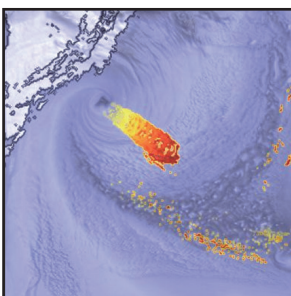
国内定价 50.00元



城市道路交通数据可视分析
综述(第0454页)



可视数据清洗综述
(第0468页)



非对称高斯函数的时变体数
据特征跟踪及可视化
(第0576页)

大数据可视分析

“大数据可视分析”专栏序

梁荣华	0453
城市道路交通数据可视分析综述	
姜晓睿, 田亚, 蒋莉, 梁荣华	0454
可视数据清洗综述	
王铭军, 潘巧明, 刘真, 陈为	0468
基于结构特征的自适应光线投射算法	
罗月童, 张伟, 石放放, 谭文敏	0483
面向浏览器的医学影像可视化系统	
雷辉, 赵颖, 王铭军, 周芳芳	0491

图像处理 and 编码

背投式多投影系统中各向异性问题的研究

王修晖, 王康健, 陆慧娟	0499
可见光与红外图像区域级反馈融合算法	
谷雨, 苟书鑫, 熊文卓, 刘俊, 薛安克	0506
结合天空识别和暗通道原理的图像去雾	
李加元, 胡庆武, 艾明耀, 严俊	0514

图像分析和识别

基于中层时空特征的人体行为识别

王泰青, 王生进	0520
----------------	------

计算机图形学

TBR架构GPU中三角形高效光栅化

符鹤, 谢永芳	0527
---------------	------

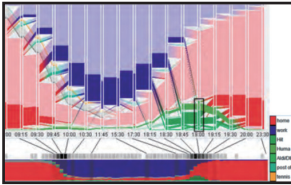
第十届中国计算机图形学大会专栏

V-系统在3D模型数字水印中的应用

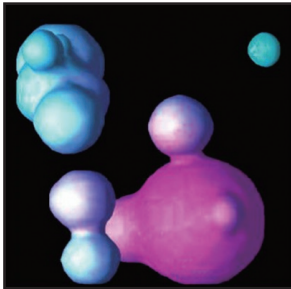
宋瑞霞, 徐燕青, 王小春, 李成华, 王俊, 齐东旭	0533
微距摄影的多聚焦图像拍摄和融合	
赵毅力, 周屹, 徐丹	0544
结合区域配对的室外阴影检测	
艾维丽, 吴志红, 刘艳丽	0551
多尺度粗糙表面的实时绘制方法	
过洁, 潘金贵	0559
体参数化模型离散调和映射生成	
陈龙, 刘玉生, 徐岗	0568
非对称高斯函数的时变体数据特征跟踪及可视化	
白志慧, 周志光, 杨瑞飞, 陶煜波, 林海	0576

CONTENTS

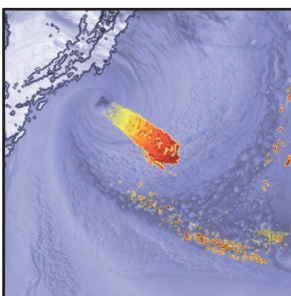
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Visual analytics of urban road transportation data: a survey (P0454)



Survey of visualization data cleaning(P0468)



Time-varying volume visualization and feature tracking based on asymmetric Gaussian function(P0576)

Visual Analytics Towards Big Data

Visual analytics of urban road transportation data: a survey Jiang Xiaorui, Tian Ya, Jiang Li, Liang Ronghua	0454
Survey of visualization data cleaning Wang Mingjun, Pan Qiaoming, Liu Zhen, Chen Wei	0468
Structure feature based adaptive ray casting algorithm Luo Yuetong, Zhang Wei, Shi Fangfang, Tan Wenmin	0483
HTML5-based medical image visualization system Lei Hui, Zhao Ying, Wang Mingjun, Zhou Fangfang	0491

Image Processing and Coding

Research on anisotropy problems under rear-projection multi-projector tiled display wall Wang Xiuhui, Wang Kangjian, Lu Huijuan	0499
Visible and infrared image region-level feedback fusion algorithm Gu Yu, Gou Shuxin, Xiong Wenzhuo, Liu Jun, Xue Anke	0506
Image haze removal based on sky region detection and dark channel prior Li Jiayuan, Hu Qingwu, Ai Mingyao, Yan Jun	0514

Image Analysis and Recognition

Human action recognition using mid-level spatial-temporal features Wang Taiqing, Wang Shengjin	0520
---	------

Computer Graphics

High efficiency triangle raster algorithm in GPU based on TBR architecture Fu He, Xie Yongfang	0527
---	------

Column of Chinagraph'2014

Application of the V-system to digital watermark of 3D models Song Ruixia, Xu Yanqing, Wang Xiaochun, Li Chenghua, Wang Jun, Qi Dongxu	0533
Multi-focus image capture and fusion system for macro photography Zhao Yili, Zhou Yi, Xu Dan	0544
Outdoor shadow detection with paired regions Ai Weili, Wu Zhihong, Liu Yanli	0551
Real-time rendering of multi-scale rough surfaces Guo Jie, Pan Jingui	0559
Generation of volume parameterization model based on discrete harmonic mapping Chen Long, Liu Yusheng, Xu Gang	0568
Time-varying volume visualization and feature tracking based on asymmetric Gaussian function Bai Zhihui, Zhou Zhiguang, Yang Ruifei, Tao Yubo, Lin Hai	0576

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)04-0544-07

论文引用格式: Zhao Y L, Zhou Y, Xu D. Multi-focus image capture and fusion system for macro photography[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(4): 0544-0550. [赵毅力, 周屹, 徐丹. 微距摄影的多聚焦图像拍摄和融合[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(4): 0544-0550.] [DOI: 10.11834/jig.20150411]

微距摄影的多聚焦图像拍摄和融合

赵毅力^{1,3}, 周屹^{1,2}, 徐丹¹

1. 云南大学信息学院, 昆明 650091; 2. 云南师范大学信息学院, 昆明 650091;

3. 西南林业大学计算机与信息学院, 昆明 650224

摘要: **目的** 对于微距摄影来说, 由于微距镜头的景深有限, 往往很难通过单幅照片获得拍摄对象全幅清晰的图像。因此要想获取全幅清晰的照片, 就需要拍摄多幅具有不同焦点的微距照片, 并对其进行融合。**方法** 传统的微距照片融合方法一般都假定需要融合的图像是已经配准好的, 也并没有考虑微距图像的自动采集。因此提出了一种用于微距摄影的多聚焦图像采集和融合系统, 该系统由 3 个部分组成。第 1 部分是一种微距图像拍摄装置, 该硬件能够以高精度的方式拍摄物体在不同焦距下的微距照片。第 2 部分是一个基于不变特征的图像配准组件, 它可以对在多个焦点下拍摄微距图像进行自动配准和对齐。第 3 部分是一个基于图像金字塔的多聚焦图像融合组件, 这个组件能够对已经对齐的微距照片进行融合, 使得合成的图像具有更大的景深。该组件对基于图像金字塔的融合方法进行了扩展, 提出了一种基于滤波的权重计算策略。通过将权重计算与图像金字塔相结合, 得到了一种基于多分辨率的多聚焦图像融合方法。**结果** 论文使用设计的拍摄装置采集了多组实验数据, 用以验证系统硬件设计和软件设计的正确性, 并使用主观和客观的方法对提出的系统进行评价。从主观评价来看, 系统合成的微距图像不仅具有足够的景深, 而且在高分辨率下也能够清晰地呈现物体微小的细节。从客观评价来看, 通过将系统合成的微距图像与其他方法合成的微距图像进行量化比较, 在标准差、信息熵和平均梯度 3 种评价标准中都是最优的。**结论** 实验结果表明, 该系统是灵活和高效的, 不仅能够对多幅具有不同焦点的微距图像进行自动采集、配准和融合, 并且在图像融合的质量方面也能和其他方法相媲美。

关键词: 微距摄影; 多聚焦图像; 图像对齐; 图像融合

Multi-focus image capture and fusion system for macro photography

Zhao Yili^{1,3}, Zhou Yi^{1,2}, Xu Dan¹

1. College of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. College of Information, Yunnan Normal University, Kunming 650091, China;

3. College of Computer and Information, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China

Abstract: **Objective** Obtaining an image that contains all relevant objects in focus is often made impossible by the limited depth of field of macro lens. Consequently, the obtained image will fail to be in focus for all objects, i. e., if one object in the scene is in focus, another object will be out of focus. Macro images should be captured and fused with different degrees of focus to obtain a clear image for macro photography. **Method** Most multi-focus fusion algorithms assume that source images possess point-wise correspondence, i. e., the colors at and around any given pixel in one image correspond to the colors

收稿日期: 2014-09-11; 修回日期: 2014-10-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61163019)

第一作者简介: 赵毅力 (1978—), 男, 讲师, 云南大学信息与通信工程专业在读博士研究生, 主要研究方向为计算摄影学。

E-mail: panovr@foxmail.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61163019)

at and around that same pixel in another image. However, when a mechanical device is used to capture different in-focus images, small motion inevitably occurs between adjacent images. This study proposes a multi-focus image capture and fusion system for macro photography. The system consists of three parts. The first component is a multi-focus image capture device that can capture a series of macro images with high precision. These images are taken at different focus distances from a photographic subject. The second component is a feature-based method that can automatically align multiple in-focus images. The third component is a multi-focus image fusion method that combines multiple images taken and aligned previously with a fused image with a large depth of field. The proposed fusion method is based on Gaussian and Laplacian pyramids with a novel weight map computation strategy. A multifocus image fusion method based on multiresolution can be obtained by combining weight calculation with canonical image pyramid. **Result** Several data sets are captured and tested with the use of the proposed system to verify the soundness of hardware and software design. Subjective and objective methods are also used to evaluate the proposed system. According to the subjective evaluation, the fused macro image generated by the system not only has sufficient depth of field but can also clearly present small details of the object at high resolution. According to the objective evaluation, the synthesized macro image of the system is optimal in all three types of evaluation criteria, namely, standard deviation, average gradient and information entropy when compared with those obtained with other methods. **Conclusion** An analysis of the experimental results shows that this system is flexible and efficient. The system can acquire, register, and fuse multiple multi-focus macro photos with fused image quality that is comparable with that of other methods.

Key words: macro photography; multi-focus image; image alignment; image fusion

0 引言

微距摄影在很多领域都有着广泛的应用,例如动物学、植物学和电影制作^[1]。由于微距照片的特殊性,因此非常适合于人的视觉知觉感知计算,例如图像分割、特征提取和对象识别。通常需要使用专业的微距镜头来拍摄微距照片,但是由于微距镜头的景深有限,因此往往很难通过单幅照片获得拍摄对象全幅清晰的图像。例如,如果一个对象的前部分在照片中是清晰的,那么往往这个对象的后部分在照片中就是模糊的。因此对于微距摄影来说,要想获取全幅清晰的照片,就需要拍摄多幅具有不同焦点的照片,并使用多聚焦融合算法将这些图像合成一幅图像。

为了拍摄多幅具有不同焦点的图像,通常可以设定相机和拍摄物体之间的初始距离,然后以手动的方式来调整相机镜头的焦距。这种方式往往比较乏味而且容易出错。为了解决这个问题,设计了一个微距照片拍摄装置,可以以不同的焦距对物体进行自动拍摄,并具有较高的拍摄精度。在拍摄得到多幅多聚焦图像以后,还需要将这些图像合成为一幅全幅清晰的图像。在图像融合领域经常使用多尺度变换来分析图像清晰度的信息,研究人员也提出

了一些基于多分辨率分析的多聚焦图像融合方法,如以拉普拉斯金字塔、梯度金字塔和离散小波为基础的方法^[2-8]。

多尺度变换的基本思想是对每幅源图像进行正向多分辨率分解,然后对分解后的系数进行变换,然后使用反向变换来进行重构,得到最后的融合图像。传统的基于小波的方法常常使用小波系数或图像局部特征的最大绝对值^[9-11]。对于存在奇点的图像来说,小波是非常有效的表示方法,但是基于小波的方法会降低图像的边缘质量和细节信息^[12]。针对这个问题,提出了一种基于拉普拉斯金字塔的多聚焦图像融合方法,并使用了一种新的权重计算策略。

目前用于微距摄影的大部分多聚焦图像融合算法都假定所有源图像是已经对齐的,即在一幅图像中给定像素及其邻域像素对应于另一幅在相同位置的像素及其邻域像素。但是,在使用机械设备时拍摄不同焦点的微距图像时,相邻图像之间的微小运动是不可避免的。在这种情况下,这些图像需要在融合前进行配准。否则,就会在最终的融合图像中出现运动模糊效果。使用基于图像不变特征的配准方法,能够对拍摄到的多幅微距照片进行自动对齐。

1 微距摄影硬件设计

为了解决微距照片的获取问题,设计了一个用

于微距照片的自动拍摄装置,如图 1 所示。该设备由单反相机、微距镜头、滑动平台、螺丝杆、步进电机(作为机械动力),以及一个基于单片机的控制单元组成。单反相机的快门、闪光灯和步进电机连接到控制单元,用以实现摄影系统的自动化。螺杆的螺距为 4 ms,因此每次旋转 360°能够推动平台移动 4 ms。电机的步进角度是 1.8°并使用 8 细分的控制方案。因此,控制单元每发出一个控制脉冲,步进电机旋转 0.225°,并推动平台移动 0.002 5 ms。在实验中,相机的焦距是固定的。首先控制单元产生 40 个脉冲以推动相机移动 0.1 ms。然后控制器发送信号到相机,用以启动相机的快门和闪光灯,并拍摄相应的微距照片。这个过程可以重复多次,直到第 1 幅和最后一幅图像的位移量满足拍摄的需求。最后就可以获取到一系列具有相同拍摄目标,但拍摄焦点不同的微距图像。

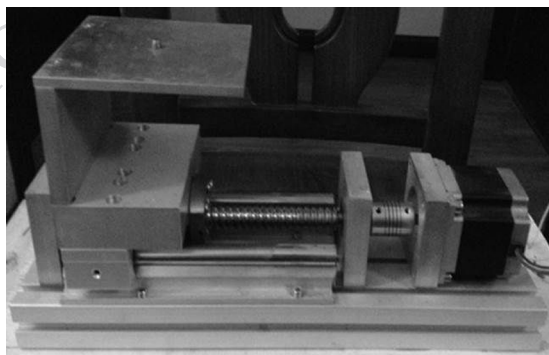


图 1 微距图像拍摄装置

Fig. 1 Macro images shooting device

2 多聚焦微距图像配准

当前的大多数多聚焦图像融合算法都假定源图像和目标图像是一一对应的,然而,当使用机械设备拍摄微距图像的时候,相机在相邻图像之间的微小运动是不可避免的。在这种情况下,在对拍摄到的微距图像进行融合之前必须进行配准或者对齐。为了对具有不同焦点的微距图像进行配准,并计算它们之间的运动模型参数,首先从每一幅输入图像中提取 MOPS(multi-scale oriented patches)特征点^[13]。与 SIFT(scale-invariant feature transform)算法^[14]相比,由 Brown 提出的 MOPS 算法是一个相对轻量级的尺度不变特征检测算法,其具有更快的检测速度。MOPS 算法对 Harris 算法进行了扩展,添加了

旋转和尺度不变性。对具有不同焦点的微距图像之间的特征点进行匹配时,需要在特征空间中进行最近邻搜索。为了提高特征匹配的速度,使用基于 k-d 树的最近邻搜索算法,以降低搜索的时间复杂度。

算法 1 基于 k-d 树的快速特征匹配算法

- 1) 对每一幅图像进行前景和背景分割;
- 2) 对每一幅图像的前景区域检测 MOPS 特征点;
- 3) 为每一幅图像的特征点构建 k-d 树;
- 4) 对每一幅图像的每一个特征点进行遍历,搜索与其匹配的最近邻和次近邻特征点以及它们之间的欧氏距离。如果最近邻的欧氏距离和次近邻的欧氏距离小于 0.6 时,就认为最近邻是最佳匹配点;
- 5) 根据特征点之间的对应关系使用 RANSAC(Random Sample Consensus)算法^[15]来估计相邻两幅输入图像之间的运动模型,并剔除外点;
- 6) 最后使用基于概率统计的策略对每一个潜在的匹配对^[14]进行校验。

3 多聚焦微距图像融合

经过上述的配准过程就可以获得一系列对齐的多聚焦微距图像,这些图像将作为多聚焦图像融合算法的输入。多焦点融合需要通过保持图像序列中“最佳”的部分来计算融合后的图像。在对图像进行融合的过程中,使用一种新的权重图作为融合的质量选择策略。一般可以把多聚焦图像序列视为一个图像堆栈,最后的融合图像可以通过使用加权混合策略来获得。本文使用的多聚焦微距图像融合方法基于 Burt 和 Adelson 提出的图像金字塔方法^[16],这是一种用于描述图像多分辨率非常有效和典型的方法。本质上图像金字塔的核心思想是通过一些数学算子将源图像分解成不同空间分辨率的表示,其中最常用的两种图像金字塔表示是高斯金字塔和拉普拉斯金字塔,而拉普拉斯金字塔可以通过对高斯金字塔进行迭代低通滤波器和降采样得到。拉普拉斯金字塔的一个重要属性为它是源图像的完整表示,即可以通过重构来恢复原始图像。

对图像金字塔的方法进行了扩展,提出了一

种基于权重图的图像融合策略。首先将每幅图像转换为灰度图,并计算高斯金字塔和拉普拉斯金字塔。在构建高斯金字塔的时候,第1层 G_0 等于初始图像。若第 l 层为 G_l ,则第 $l+1$ 层 G_{l+1} 为

$$G_{l+1} = \text{REDUCE}(G_l) \quad (1)$$

REDUCE 算子定义为

$$\text{REDUCE}(G_l) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) G_l(2i+m, 2j+n) \quad (2)$$

式中, $w(m,n)$ 是一个 5×5 的可分离高斯窗口函数。

下一步根据高斯金字塔构建拉普拉斯金字塔。若 G_{l+1} 是高斯金字塔的第 $l+1$ 层,则 G'_{l+1} 是使用 EXPAND 算子对 G_{l+1} 进行扩展的结果,并且 G'_{l+1} 的维数和 G_l 相同,即

$$G'_{l+1} = \text{EXPAND}(G_{l+1}) \quad (3)$$

EXPAND 算子定义为

$$\text{EXPAND}(G_{l+1}) = 4 \times \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) G_{l+1}\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) \quad (4)$$

因此可以把拉普拉斯金字塔定义为

$$\begin{cases} L_l = G_l - G'_l & 0 \leq l < N \\ L_N = G_N & l = N \end{cases} \quad (5)$$

拉普拉斯金字塔的构建构成如图2所示。

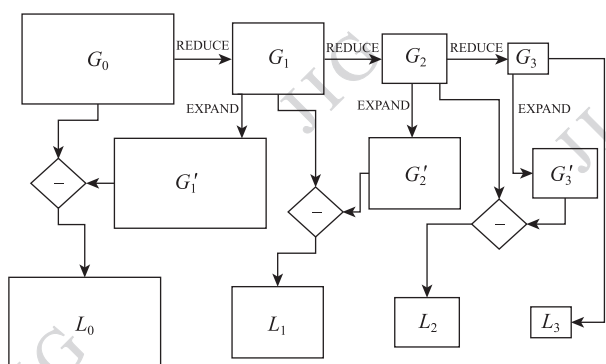


图2 拉普拉斯金字塔

Fig.2 Laplacian pyramid

然后对每幅图像进行拉普拉斯滤波,并计算该滤波器响应的绝对值,将这个绝对值作为图像融合的权重系数。为了获得一致的融合效果,需要对权重系数进行归一化处理,即

$$\hat{W}_{ij,k}^l = \left[\sum_{k'=1}^N W_{ij,k'}^l \right]^{-1} W_{ij,k}^l \quad (6)$$

式中, N 为需要融合的图像数量,下标 ij 代表图像像素的位置坐标。

然而,直接应用式(6)进行加权融合并不能得到令人满意的结果。只要权重系数变化较快,就会在最后的融合图像中出现接缝。解决这个问题的灵感来自 Burt 和 Adelson 的多分辨率分析方法。在 Burt 和 Adelson 的论文中,将其用于在有 alpha 掩码图像的指导下对两幅图像进行无缝融合。通过对其方法进行修改,将其用于合成指导的 alpha 掩码图像替换为权重系数,然后分别对金字塔进行逐级处理。令图像 I 的拉普拉斯金字塔第 l 层为 $L\{I\}^l$, $G\{W\}_l^l$ 为图像 I 的权重图的高斯金字塔的第 l 层,那么融合图像 R 的计算公式为

$$L\{R\}_{ij}^l = \sum_{k=1}^N G\{\hat{W}\}_{ij,k}^l L\{I\}_{ij,k}^l \quad (7)$$

例如,融合图像的拉普拉斯金字塔的每一层被视为作为原始拉普拉斯分解与权重图高斯金字塔分解的加权平均。最后,对金字塔 $L\{R\}^l$ 进行重构就可以获得融合后的图像。对于彩色图像,需要将每个颜色通道分别进行处理和融合。

假设需要对 A, B, C 3 幅图像进行多分辨率融合,系统首先构建每一幅图像的拉普拉斯金字塔和权重系数的高斯金字塔。然后对每一幅图像的拉普拉斯金字塔和权重系数的高斯金字塔进行加权平均,并将结果进行相加以得到融合图像的金字塔结构图像 $L\{R\}$ 。最后使用 EXPAND 算子对融合图像的金字塔进行重构,得到最后的目标图像 R^* 。整个系统的框架如图3和图4所示。

4 实验分析与评价

使用微距图像拍摄装置采集了多个数据集对系统进行测试,每个数据集的分辨率是 2144×1424 像素。并将文中提出的多聚焦图像融合方法与其他方法进行了比较,例如平均值法和基于小波的方法^[17-18]。在实验中使用标准差、信息熵和平均梯度来对多聚焦图像融合的结果进行客观评价。

第1组测试数据集包括一只螳螂的61幅微距图像,其中的3幅图像如图5(a)~(c)所示。图像中用椭圆表示每幅图像不同的聚焦区域。使用论文提出的融合方法所产生的融合图像如图5(d)所示。为了便于比较,采用平均融合、小波融合和金字塔融合的结果如图6(a)~(c)所示。

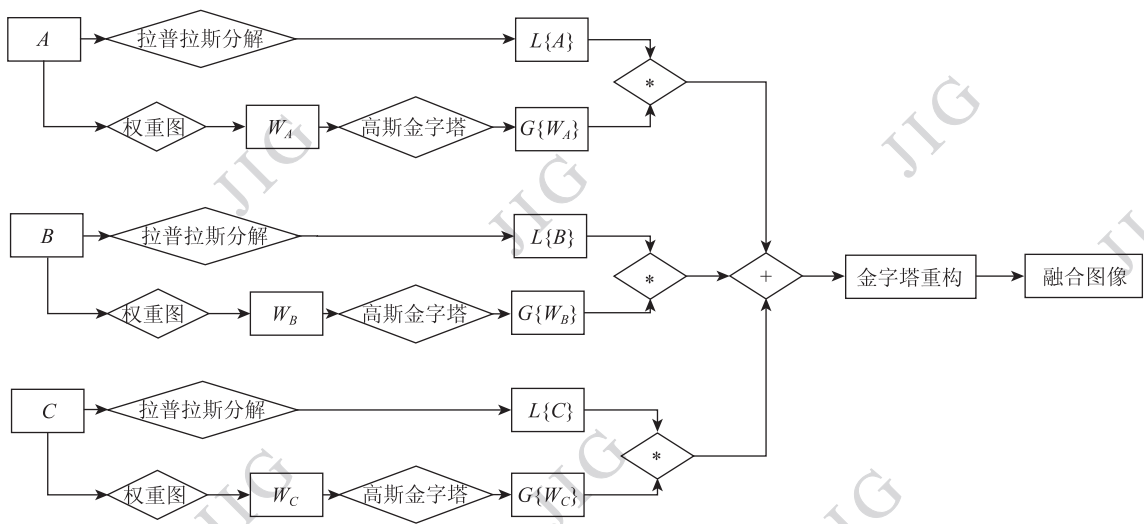


图3 图像融合框架

Fig. 3 Image fusion framework

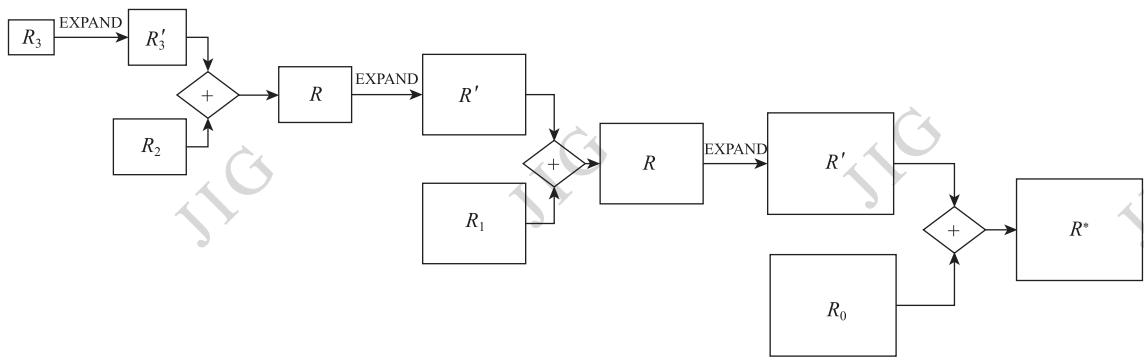


图4 金字塔重构

Fig. 4 Pyramid reconstruction

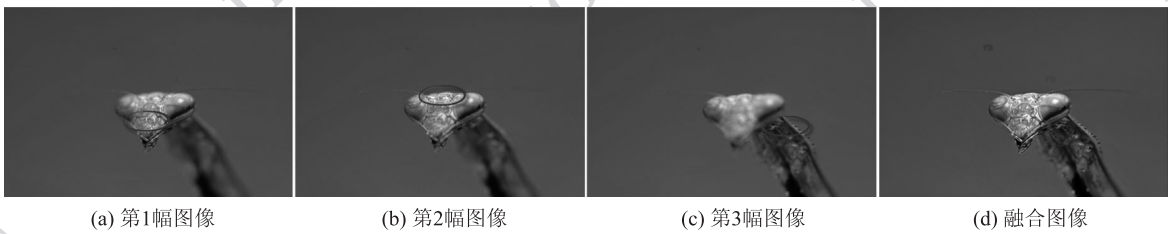


图5 螳螂的微距图像

Fig. 5 Mantis macro images

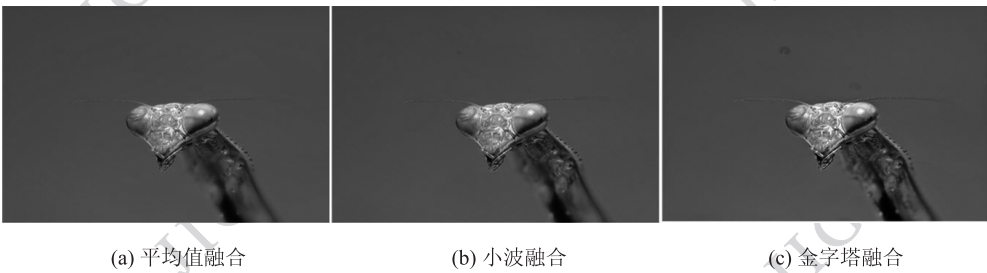


图6 微距图像融合结果

Fig. 6 Macro images fusion results

表1列出了各种多聚焦融合方法对第1组测试数据集的定量比较。这些融合方法使用标准偏差、信息熵和平均梯度方法对平均融合、小波融合和金字塔融合方法进行评定。从表1来看,基于小波的融合方法的标准差计算中具有最大值,而基于金字塔方法在其他两列最优。

第2组测试数据集的包括一只蜜蜂的81幅微距图像。图7显示了其中的6幅图像。在数据集 中的每个图像具有不同的焦点区域。使用平均值、

小波和金字塔方法生成的融合结果如图8(a)一(c)所示。

表1 对第1个数据集的定量评价

Table 1 Quantitative evaluation on first data set			
融合图像	标准差	信息熵	平均梯度
图6(a)	55.401 2	4.890 4	0.000 276 7
图6(b)	55.648 0	4.910 4	0.000 371 4
图6(c)	55.337 4	5.046 5	0.000 560 7

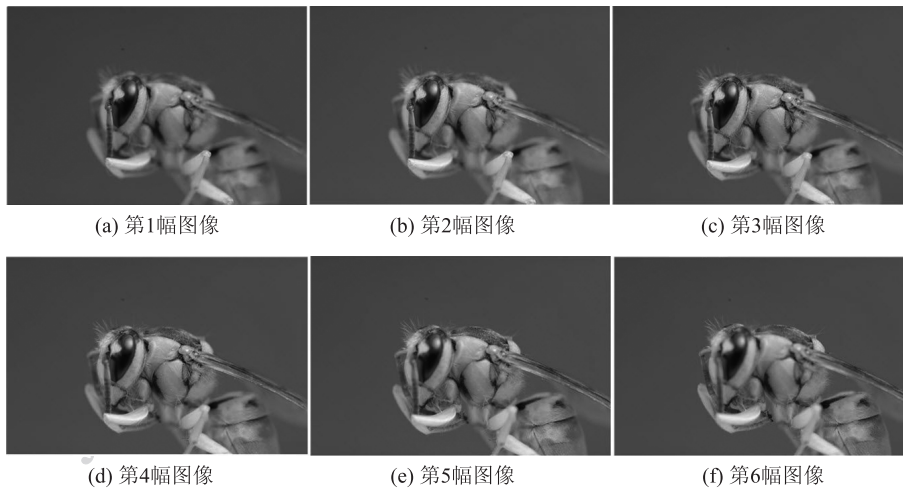


图7 蜜蜂的微距图像

Fig.7 Bee macro images



图8 微距图像融合结果

Fig.8 Macro images fusion results

表2列出了对第2组测试数据集进行不同多聚焦图像融合结果的定量比较。从表2可以看出本文提出的融合方法在所有3个评判标准中都是最优的,这表明它可以产生最佳的融合效果。

表2 对第2个数据集的定量评价

Table 2 Quantitative evaluation on second data set			
融合图像	标准差	信息熵	平均梯度
图8(a)	47.688 3	5.388 4	0.000 648 1
图8(b)	47.952 0	5.469 1	0.000 817 6
图8(c)	49.281 8	5.603 2	0.001 000 0

5 结 论

本文提出了一种用于多聚焦微距摄影的图像采集和融合系统,该系统主要由硬件和软件两个部分组成。硬件部分可以自动采集高精度的多聚焦微距图像序列,软件部分可以对拍摄到的微距图像序列自动配准并进行融合。提出的多聚焦图像融合方法基于高斯和拉普拉斯金字塔,并提出了一种新的权重计算策略。为了使图像质量的评价更有效和更全面,对大

量数据进行了实验,并从主观和客观两个方面对实验结果进行了综合性评价。后续的研究希望能够利用多核处理器和图形处理器进一步提高算法的效率。

参考文献 (References)

- [1] Antonio M. Digital macro photography of cactus and succulent plants[J]. Cactus and Succulent Journal, 2013, 85(3): 101-106.
- [2] Burt P, Kolczynski R. Enhanced image capture through fusion [C]//Proceedings of the 4th International Conference on Computer Vision. Berlin: Springer, 1993: 173-182.
- [3] Wang H, Jin Z, Li J. Research and development of multi-resolution image fusion [J]. Control Theory and Applications, 2004, 21(4): 145-149.
- [4] Jin H, Yang X, Jiao L, et al. Image enhancement via fusion based on Laplacian pyramid directional filter banks [C]//Proceedings of International Conference on Image Analysis and Recognition. Berlin: Springer, 2005: 239-246.
- [5] Haghighat M, Aghagolzadeh A, Seyedarabi H. Multi-focus image fusion for visual sensor networks in DCT domain[J]. Computers and Electrical Engineering, 2011, 37(2): 789-797.
- [6] Haghighat M, Aghagolzadeh A, Seyedarabi H. Real-time fusion of multi-focus images for visual sensor networks[J]. Iranian Machine Vision and Image Processing, 2010, 21: 1-6.
- [7] Pu T, Ni G. Contrast-based image fusion using the discrete wavelet transform [J]. Optical Engineering, 2000, 39(6): 2075-2082.
- [8] Wen Y, Li Y, Luo Y. The image fusion method based on wavelet transform in auto-analysis of pashm[J]. Journal of Sichuan University, 2000, 37(6): 36-40.
- [9] Wang H H, Peng J X, Wu W. Remote sensing image fusion using wavelet packet transform[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(9): 922-937. [王海晖, 彭嘉雄, 吴巍. 基于小波包变换的遥感图像融合[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(9): 932-937.] [DOI:10.11834/jig.200209297]
- [10] Wang H, Jing Z, Li J. Image fusion using non-separable wavelet frame[J]. Chinese Optics Letters, 2003, 1(9): 523-526.
- [11] Long G, Xiao L, Chen X Q. Overview of the applications of Curvelet transform in image processing[J]. Journal of Computer Research and Development, 2005, 2(8): 1331-1337. [隆刚, 肖磊, 陈学俭. Curvelet 变换在图像处理中的应用综述[J]. 计算机研究与发展, 2005, 2(8): 1331-1337.]
- [12] Hassan M, Shah S. Block level multi-focus image fusion using wavelet transform [C]//Proceedings of International Conference on Signal Acquisition and Processing. Berlin: Springer, 2009: 213-216.
- [13] Brown M, Szeliski R, Winder S. Multi-image matching using multi-scale oriented patches [C]//Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, USA: IEEE Computer Society, 2005: 510-517.
- [14] David G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [15] Fischler M, Bolles R. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communication of the ACM, 1981, 24(2): 381-395.
- [16] Burt P, Adelson H. A multiresolution spline with application to image mosaics [J]. ACM Transactions on Graphics, 1983, 2(4): 217-236.
- [17] Wilson T, Rogers S, Meyers L. Perceptual based hyper spectral image fusion using multiresolution analysis[J]. Optical Engineering, 1995, 34(11): 3154-3164.
- [18] Wekenm D, Nachtgael M, Kerre E. Using similarity measures and homogeneity for the comparison of images[J]. Image and Visual Computing, 2004, 22(3): 695-702.