



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

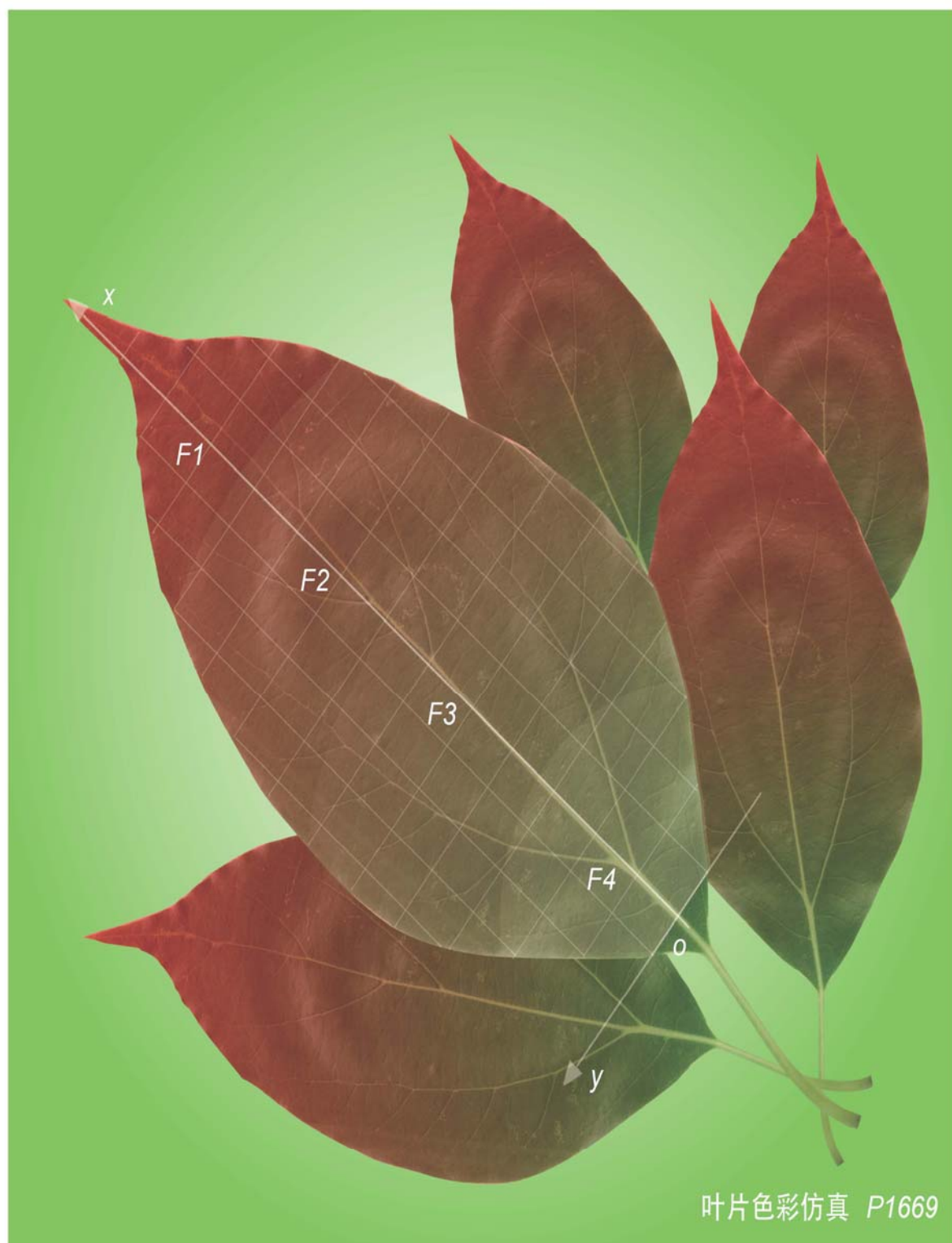
2014

11

VOL.19

ISSN1006-8961

CN11-3758/TB



叶片色彩仿真 P1669



第19卷第11期（总第223期）

2014年11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

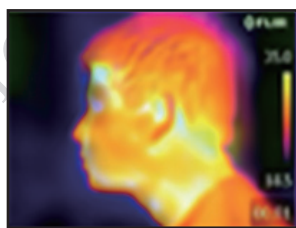
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

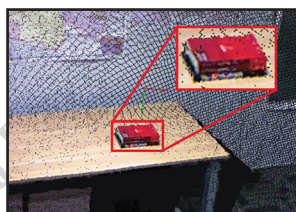
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

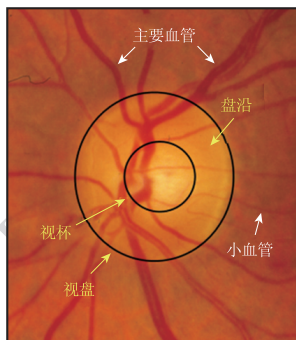
国内定价 50.00元



红外热像视频的细微变化放大(第1577页)



Kinect传感器的彩色和深度相机标定(第1584页)



多相主动轮廓模型的眼底图像杯盘分割(第1604页)

综述

多媒体技术研究: 2013——面向智能视频监控的视觉感知与处理

黄铁军, 郑锦, 李波, 傅慧源, 马华东, 薛向阳, 姜育刚, 于俊清 1539

图像处理和编码

基于高阶奇异值分解和均方差迭代的图像去噪

胡文锐, 谢源, 张文生 1563

小波域中双稀疏的单幅图像超分辨

杨波, 吴纪桃, 谢晓振 1570

红外热像视频的细微变化放大

付传卿, 谷小婧, 顾幸生 1577

图像理解和计算机视觉

Kinect传感器的彩色和深度相机标定

郭连朋, 陈向宁, 刘彬 1584

空间统一调制模型的轮廓检测

肖洁, 蔡超, 郭照立 1591

图像分析和识别

结合相似性拟合与空间约束的图像分割

张峥嵘, 詹天明, 韦志辉 1596

多相主动轮廓模型的眼底图像杯盘分割

郑嫻, 范慧杰, 唐延东, 王琰 1604

精确局部特征描述的表情识别

胡敏, 江河, 王晓华, 陈红波, 李堃, 任福继 1613

Gabor小波和改进LBP的零件表面粗糙度识别

胡海锋, 陈苏婷 1623

可扩展的花卉种类识别

苗金泉, 曹卫群 1630

医学图像处理

基于提升小波变换的医学图像融合

李俊峰, 姜晓丽, 戴文战 1639

遥感图像处理

基于压缩感知的SAR图像鲁棒编码传输

侯兴松, 田文文, 龚晨 1649

第11届全国智能CAD与数字娱乐学术会议专栏

大规模DVE场景对等传输机制研究新进展

王明飞, 贾金原, 张晨曦 1657

自然环境下的植物叶片智能色彩推理仿真

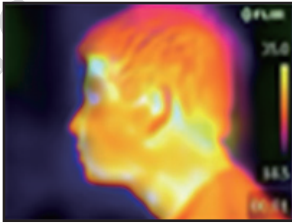
宋建文, 邱锦明 1669

3个控制顶点的类三次Bézier螺线

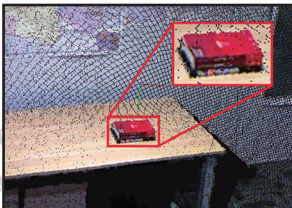
高晖, 寿华好, 缪永伟, 王丽萍 1677

CONTENTS

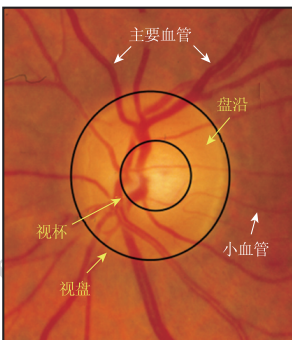
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Magnifying imperceptible variations in infrared thermal videos(P1577)



Calibration of Kinect sensor with depth and color camera (P1584)



Automatic segmentation of optic disc and cup using multiphase active contour model in fundus images(P1604)

Review

Visual perception and processing for intelligent video surveillance:a review

Huang Tiejun, Zheng Jin, Li Bo, Fu Huiyuan, Ma Huadong, Xue Xiangyang, Jiang Yugang, Yu Junqing

1539

Image Processing and Coding

Image denoising based on high order singular value decomposition and mean square error iteration

Hu Wenrui, Xie Yuan, Zhang Wensheng

1563

Single image super-resolution in wavelet domain with double sparse

Yang Bo, Wu Jitao, Xie Xiaozhen

1570

Magnifying imperceptible variations in infrared thermal videos

Fu Chuanqing, Gu Xiaojing, Gu Xingsheng

1577

Image Understanding and Computer Vision

Calibration of Kinect sensor with depth and color camera

Guo Lianpeng, Chen Xiangning, Liu Bin

1584

Contour detection based on spatially unified modulation model

Xiao Jie, Cai Chao, Guo Zhaoli

1591

Image Analysis and Recognition

Image segmentation by integrating similarity fitting and spatial constraint

Zhang Zhengrong, Zhan Tianming, Wei Zhihui

1596

Automatic segmentation of optic disc and cup using multiphase active contour model in fundus images

Zheng Shan, Fan Huijie, Tang Yandong, Wang Yan

1604

Precise local feature description for facial expression recognition

Hu Min, Jiang He, Wang Xiaohua, Chen Hongbo, Li Kun, Ren Fuji

1613

Recognition of work piece surface roughness based on Gabor wavelet and improved LBP

Hu Haifeng, Chen Suting

1623

The scalable flowers category recognition

Miao Jinqun, Cao Weiqun

1630

Medical Image Processing

Medical image fusion based on lifting wavelet transform

Li Junfeng, Jiang Xiaoli, Dai Wenzhan

1639

Remote Sensing Image Processing

Robust coding transmission for SAR image based on compressive sensing

Hou Xingsong, Tian Wenwen, Gong Chen

1649

Column of CIDE' 2014

Survey on transmission mechanism of large scale DVE scene based on P2P overlay network

Wang Mingfei, Jia Jinyuan, Zhang Chenxi

1657

Intelligent color reasoning simulation of plant leaf based on the natural environment

Song Jianwen, Qiu Jinming

1669

The quasi-cubic Bézier spirals with three control points

Gao Hui, Shou Huahao, Miao Yongwei, Wang Liping

1677

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)11-1591-05

论文引用格式: Xiao J, Cai C, Guo Z L. Contour detection based on spatially unified modulation model [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(11): 1591-1595. [肖洁, 蔡超, 郭照立. 空间统一调制模型的轮廓检测[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(11): 1591-1595.] [DOI:10.11834/jig.20141106]

空间统一调制模型的轮廓检测

肖洁^{1,2}, 蔡超³, 郭照立¹

1. 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室, 武汉 430074; 2. 武昌理工学院信息工程学院, 武汉 430223;
3. 华中科技大学自动化学院多谱信息处理技术国家重点实验室, 武汉 430074

摘要: **目的** 在人类大脑初级视皮层上, 神经元不仅受到位于经典感受野中刺激的影响, 同样也受到周边环境相应非经典感受野中刺激的影响。这种上下文的调制是通过视皮层的水平连接来实现的。基于初级视皮层的视觉机制, 本文提出了一个轮廓提取模型。**方法** 首先利用局部能量计算初级视皮层上单个神经元的响应; 然后通过构建一个新颖的空间统一调制算子获得周边刺激对于中央神经元的增强和抑制影响(上下文调制); 最后整合上下文调制影响和中央神经元本身的能量响应, 获得完整输出。**结果** 本文所提模型, 无需在非经典感受野中划分增强域和抑制域, 同时能够有效抑制背景纹理, 突出目标轮廓, 保留交点和角点信息。**结论** 通过对合成图像和自然图像的测试表明了本文算法的准确性和优越性, 能够极大地提高复杂背景中轮廓检测的性能。

关键词: 轮廓提取; 视觉感知机制; Gabor 滤波器; 上下文调制

Contour detection based on spatially unified modulation model

Xiao Jie^{1,2}, Cai Chao³, Guo Zhaoli¹

1. State Key Laboratory of Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
2. School of Information Engineering, Wuchang University of Technology, Wuhan 430223, China;
3. State Key Laboratory for Multispectral Information Processing Technologies, School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: **Objective** The response of the central neuron in the primary visual cortex (V1) is not only affected by the stimulus inside the classical receptive field but also modulated by the surrounding stimulus (NCRF). Contextual modulation is mediated by horizontal connections across the visual cortex. This study proposes a contour detection method based on the visual mechanism in V1. **Method** First, the response of every visual neuron in V1 is computed by local energy. Second, facilitation and suppression (contextual influence) on a neuron through horizontal interactions are obtained by constructing a spatially unified modulating function. Finally, the total output response of one neuron to complex visual stimuli is acquired by combining the influence of local visual context on the neuron and energy response. **Result** Unlike previous studies, the present work unified the facilitation and suppression modulated by surrounding elements in the image without separating the regions of excitatory and inhibitory lateral connections. **Conclusion** The proposed method was tested on synthetic and natural images; encouraging results were obtained. The proposed model is expected to improve contour detection performance when images contain objects of interest on a cluttered background.

Key words: contour detection; visual perception mechanism; Gabor filter; spatially unified modulation

收稿日期: 2014-04-01; 修回日期: 2014-07-06

基金项目: 华为创新研究项目 (IRP-2010-05-01)

第一作者简介: 肖洁 (1979—), 女, 讲师, 2010 年于华中科技大学获控制科学与工程工学博士学位, 主要研究方向为仿生视觉。

E-mail: gwcop3@qq.com

0 引言

边缘检测在图像处理和计算机视觉中具有重要作用。很多学者进行了大量的研究工作。其中存在的问题是这些边缘检测算法无法将有意义的目标边缘和无意义的背景纹理区分开来。然而,人脑视皮层却能够轻松地完成这项工作,将视觉场景中的不同部分归类为不同目标对象。这些研究成果为从仿生角度出发的轮廓检测算法提供了理论基础。

生物研究发现在人脑视皮层神经元经典感受野外,存在更大面积的非经典感受野^[1-2]。神经元不仅受到位于经典感受野中刺激的影响,同样也受到周边环境刺激的影响。这种上下文的调制是通过视皮层的水平连接来实现的。因此,研究提出了很多基于视觉机制的复杂环境中的轮廓检测算法,并且取得了很大进展。

Grigorescu 等人^[3-4]提出了基于非经典感受野抑制作用的轮廓检测模型,该模型能够保留独立的轮廓并且减少图像中的纹理边缘。遗憾的是由于缺乏增强作用,容易在复杂图像中出现轮廓丢失的现象。基于神经元在非经典感受野上侧边子区和端头子区的相关发现,Tang 等人^[5-6]提出了蝶形抑制模型,将非经典感受野划分为增强区域和抑制区域。由于增强作用定义为曲率的函数,该模型能够极大程度增强连续的曲线、减少干扰元素。但是在交点和角点处由于曲率过大,容易出现断裂。最近,一些轮廓提取模型^[7-9]考虑了迭代处理、多尺度信息和方向显著性等因素,也取得了一定的进展。

本文基于初级视皮层的水平连接机制提出一个轮廓检测模型。与前人研究所不同的是,本文模型引入了一个新颖的空间统一调制算子,无需明确划分空间增强域和抑制域,合并了通过水平连接实现的神经元之间上下文调制的影响。本文模型能够有效保留目标轮廓,减少纹理边缘,并尽可能地保存交点和角点信息。

1 轮廓提取模型

本文模型首先利用局部能量计算初级视皮层上单个神经元的响应;然后通过构建一个新颖的空间统一调制算子获得周边刺激对于中央神经元的增强和抑制影响(上下文调制);最后整合周边环境的上

下文调制影响和中央神经元本身的能量响应,获得完整能量响应输出。

1.1 Gabor 能量滤波器

本文中使用 Gabor 能量滤波器模拟视皮层复杂细胞受到刺激后的响应。2 维 Gabor 函数形式为

$$g_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma,\varphi}(x,y) = \exp\left(-\frac{\tilde{x} + \gamma^2 \tilde{y}}{2\sigma^2} \cos\left(2\pi \frac{\tilde{x}}{\lambda} + \varphi\right)\right) \quad (1)$$

式中, $\tilde{x} = x \cos \theta + y \sin \theta$, $\tilde{y} = -x \sin \theta + y \cos \theta$, σ 是确定感受野大小的高斯函数的标准差, λ 为波长, $1/\lambda$ 为余弦函数的空间频率, σ/λ 为空间频率的带宽, φ 为相位参数, γ 为确定感受野椭圆形的长短轴比; θ 为神经元偏好方向。简单细胞对输入灰度图像 $I(x,y)$ 的响应描述为

$$r_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma,\varphi}(x,y) = I(x,y) * g_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma,\varphi}(x,y) \quad (2)$$

相位相差 $\pi/2$ 的 Gabor 奇偶滤波器对于图像响应的模,称为 Gabor 能量,用以模拟复杂细胞的基本特性,即

$$E_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma}(x,y) = \sqrt{r_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma,0}^2(x,y) + r_{\lambda,\sigma,\theta,\gamma,\frac{\pi}{2}}^2(x,y)} \quad (3)$$

计算 N_θ 个不同方向 θ_i 的 Gabor 能量滤波结果为

$$\theta_i = \frac{(i-1)\pi}{N_\theta}, \quad i = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (4)$$

Gabor 滤波器表现出明显的方向选择性。复杂细胞沿着其最优响应方位获得最大的 Gabor 能量响应结果。相应的最优响应能量和最优方位描述为

$$\hat{E}_{\lambda,\sigma,\gamma}(x,y) = \max\{E_{\lambda,\sigma,\theta_i,\gamma}(x,y) \mid i = 1, \dots, N_\theta\} \quad (5)$$

$$\hat{\theta}_{\lambda,\sigma,\gamma}(x,y) = \theta_k$$

$$k = \arg \max\{E_{\lambda,\sigma,\theta_i,\gamma} \mid i = 1, \dots, N_\theta\} \quad (6)$$

1.2 非经典感受野上下文调制

初级视皮层上神经元对于复杂场景中刺激的响应受到周边刺激的调制。这种上下文调制的影响显示出强烈的增强和抑制作用,主要取决于线段元素的相对位置。生物研究发现^[1-2]:在感受野内检测线段时,当中央线段旁边出现共线的线段时,中央神经元表现出明显的增强响应;同时,在两条共线线段中间加上和共线方向垂直的线段时,这种增强响应立即减弱。如图 1(a)所示,在复杂背景中一条光滑的轮廓从由图像左上角到右下角的线段组成,表现出明显的共线增强性质,但是由于右下角与共线方

向垂直线段的插入,破坏了原有的共线性质。同时,当周围环境中刺激与感受野中神经元的最优方位相同时,抑制程度最强,随着方位对比度的增大,抑制作用将逐渐减小,当两方位正交时,抑制作用最弱。如图1(b)所示,具有相似方位的成分例如同质的纹理区域相互抑制,而与背景具有不同方位的成分感知突出。根据以上生物研究发现,定义一个空间统一调制算子来获得周围环境对中央神经元的上下文调制影响,无需考虑中央神经元的最优方位,弱化了空间增强区域和抑制区域的概念。

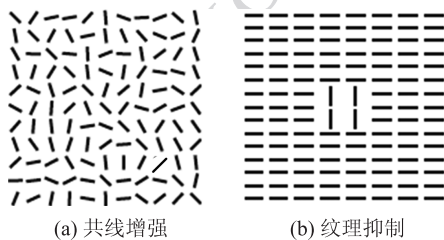


图1 共线增强和纹理抑制示例

Fig. 1 Examples of collinear facilitation and texture suppression

如图2所示,假设 A 和 B 表示经典感受野的中央神经元和非经典感受野中任一周边神经元。中央神经元的最优方位为 α 。周边神经元的最优方位为 β 。 ω 为中央 A 和周边 B 之间连线的角度。 β 和 ω 之间的偏移角度 ϕ_{AB} 可定义为

$$\phi_{AB} = \min(|\beta - \omega|, \pi - |\beta - \omega|) \quad (7)$$

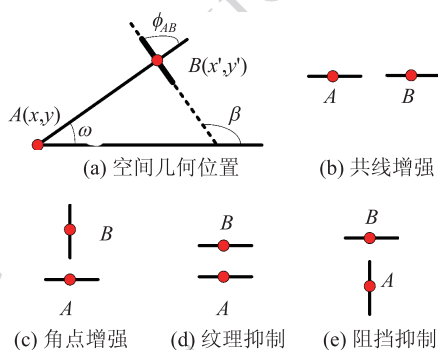


图2 中央神经元和周边神经元空间几何关系示例

Fig. 2 Examples of geometrical relationship

这里能够保证 ϕ_{AB} 处于0到 $\pi/2$ 之间。图2(b)显示中央 A 与周边 B 最优方位一致且周边 B 最优方位指向中央 A 时,周边 B 对中央 A 表现出共线增强的作用;图2(c)显示中央 A 与周边 B 最优方位相互垂直且周边 B 最优方位指向中央 A 时,周边 B 对中央 A 表现出角点增强的作用;图2(d)显示中央

A 与周边 B 最优方位一致且周边 B 最优方位与中央 A 最优方位平行时,周边 B 对中央 A 表现出纹理抑制作用;图2(e)显示中央 A 与周边 B 最优方位相互垂直且周边 B 最优方位偏离中央 A 时,周边 B 对中央 A 表现出阻挡抑制的作用。

定义空间统一调制算子为 ϕ_{AB} 的函数

$$W_\phi = \cos(2\phi_{AB}), \quad 0 \leq \phi_{AB} \leq \frac{\pi}{2} \quad (8)$$

当中央神经元和周边神经元相对距离不变时, ϕ_{AB} 为0时周边神经元对中央神经元的增强作用最大(意味着周边神经元的最优方向指向中央神经元位置,表现出共线增强或者角点增强,如图2(b)(c)所示); ϕ_{AB} 为 $\pi/2$ 时周边神经元对中央神经元的抑制作用最大(意味着中央神经元和周边神经元之间的路径被周边神经元阻断,表现出纹理抑制或者阻断抑制,如图2(d)(e)所示)。

上下文调制影响随着神经元之间距离的增加而减弱。距离加权函数定义为

$$W_d = \exp\left(-\frac{d^2}{\sigma_d^2}\right) \quad (9)$$

式中, d 是中央神经元和周边神经元之间的距离, σ_d 为高斯方差,控制上下文作用随距离增加的衰减程度。

使用 Ω_{NCRF} 表示非经典感受野,其半径为 r_{NCRF} ,对中央神经元的上下文调制作用可表示为

$$E_C = \sum_{(m,n) \in \Omega_{\text{NCRF}}} W_d \cdot W_\phi \cdot \hat{E}_{\lambda,\sigma,\gamma}(m,n) \quad (10)$$

$$\Omega_{\text{NCRF}} = \{(m,n) : 0 < \sqrt{m^2 + n^2} \leq r_{\text{NCRF}}\}$$

中央神经元的完整响应表示为

$$E_T = E_A + \alpha E_C \quad (11)$$

式中, E_A 表示中央神经元的局部能量响应, α 控制上下文调制的影响大小。

2 实验结果与分析

将本文模型与Grigorescu的各向同性模型、各向异性模型^[3],以及增强抑制模型^[5-6]进行比较。实验中使用 $\sigma/\lambda = 0.56$, $\gamma = 0.5$, $\sigma = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ 以及 $N_\theta = 12$ 。参数 σ_d , r_{NCRF} 和 α 分别设置为4,10和 $[0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2]$ 。应用文献[3]中的后处理方法构建二值轮廓图。从以上参数组合中选取各模型最优结果图像进行比较。

图3显示了纹理抑制和角点增强的效果。模型测试合成图像,如图3(a)所示。图3(b)显示的是Gabor能量滤波结果,图3(c)显示的是文献[5]中算法检测结果,图3(d)显示的是本文模型检测结果。文献[5]方法仅仅考虑到蝶形的非经典感受野区域,平行线与正方形的交点处被抑制,出现目标轮廓丢失的现象。本文模型充分考虑到经典感受野外

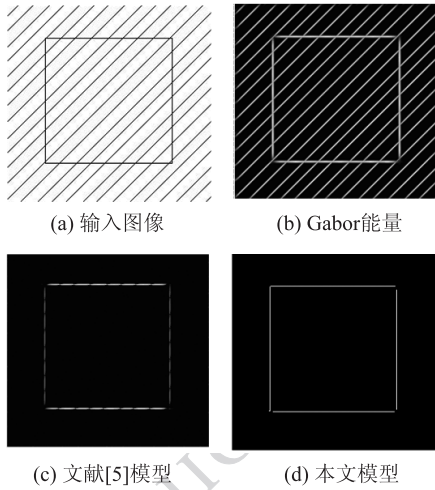


图3 纹理抑制和角点增强
Fig. 3 Texture suppression and corner facilitation

的圆形感受野,设置了合理的邻域调节算子,很好地保留了平行线和正方形的交点,抑制了背景平行线段,提取出来更为完整的正方形。

图4显示了自然场景图像的实验结果。图4第1行显示了大象图片的实验结果,图4第2行显示了山羊图片的实验结果。输入原图如图4(a)所示。图4(b)显示的是人工标定的目标轮廓图(ground truth),图4(c)显示的是文献[3]中各向异性模型算法检测结果,图4(d)显示的是文献[3]中各向同性模型算法检测结果,图4(e)显示的是文献[5-6]中算法检测结果,图4(f)显示的是本文模型结果。各向同性和各向异性模型都能一定程度的抑制背景中的纹理,但是单纯的引入抑制作用,没有考虑连续、光滑线段的增强作用,并没有完全地从背景中突出目标轮廓。文献[6]模型综合考虑了曲率加权函数和距离加权函数等因素,并在轮廓检测中引入了兴奋与抑制的动态迭代过程,逐步抑制了噪声,使光滑的轮廓从背景中突出,输出稳定的结果。但是由于迭代的作用使得所检测的目标轮廓与实际位置产生了较大的偏移。本文模型去除了更多纹理和细小线段,同时尽可能地保留了有意义的角点和目标边缘。

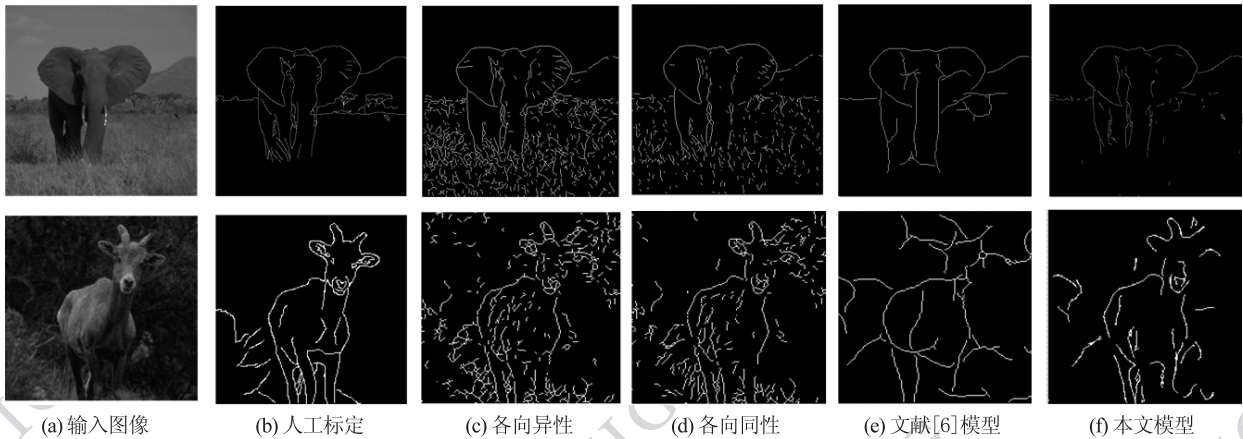


图4 自然场景图像轮廓检测结果
Fig. 4 Detection results of natural image

除了视觉效果,采用 Grigorescu 提出的评测指标 $P^{[3]}$ 来比较不同算法的性能。已知真实目标轮廓图,用 E_{CT} 和 B_{CT} 表示其中目标轮廓和背景的像素点集合。用 E_d 和 B_d 表示检测结果图中(detected result)目标轮廓和背景的像素点集合。正确检测的轮廓像素集合为 $E = E_d \cap E_{CT}$,漏检的轮廓为 $E_{FN} = B_d \cap E_{CT}$,错检的轮廓为 $E_{FP} = E_d \cap B_{CT}$ 。 P 指标定

义为

$$P = \frac{\text{card}(E)}{(\text{card}(E) + \text{card}(E_{FP}) + \text{card}(E_{FN}))} \quad (12)$$

式中, $\text{card}(X)$ 表示 X 集合中的成员的数目。 $P \in [0, 1]$, P 越接近 1 表示检测效果越好,轮廓越完整。错检率 e_{FP} 和漏检率 e_{FN} 定义为

$$e_{FP} = \text{card}(E_{FP}) / \text{card}(E) \quad (13)$$

$$e_{FN} = \text{card}(\mathbf{E}_{FN}) / \text{card}(\mathbf{E}_{GT}) \quad (14)$$

错检率 e_{FP} 和漏检率 e_{FN} 越小, 表示检测结果误差越小, 图像轮廓越接近真实目标轮廓。同时, 各算法检测所得轮廓不可能和真实目标轮廓的像素完全重合, 允许存在一定空间位置误差。以检测像素为中心的 5×5 区域内, 若存在相应的真实目标轮廓像素, 则认为该轮廓像素检测正确。

图4的各种模型的检测结果的性能指标如表1所示。由表中参数可知, 本文所提模型检测结果获得了最大 P 指标值, 说明模型能够有效抑制纹理, 更准确地提取目标轮廓, 获得更好的效果。同时由漏检率和错检率指标可见, 本文模型漏检率较唐的模型高, 同时错检率最低, 说明本文模型虽然不能完全提取目标轮廓, 但是所检结果基本属于目标轮廓, 较少包含背景噪声, 纹理抑制效果好。

表1 图4中各种模型检测结果客观评价

Table 1 Performance results of Fig. 4 experiments

图像	模型	P	e_{FN}	e_{FP}
大象	各向异性	0.40	0.45	0.36
	各向同性	0.42	0.49	0.31
	唐的模型 ^[6]	0.56	0.27	0.29
	本文模型	0.60	0.34	0.06
山羊	各向异性	0.32	0.60	0.36
	各向同性	0.34	0.51	0.46
	唐的模型 ^[6]	0.38	0.35	0.38
	本文模型	0.41	0.46	0.32

3 结 论

本文基于初级视皮层的水平连接机制提出了一个轮廓检测模型。和以往的研究不同, 本文所提模型同时关注纹理抑制和角点增强。模型首先利用局部能量计算初级视皮层上单个神经元的响应; 然后通过构建一个新颖的空间统一调制算子获得周边刺激对于中央神经元的增强和抑制影响; 最后整合周边环境的上下文调制影响和中央神经元本身的能量响应, 获得完整能量响应。模型无需明确划分空间增强域和抑制域, 通过合理引入空间统一调制作用, 充分考虑了视皮层神经元之间通过水平连接形成的

上下文调制影响, 有效保留目标轮廓, 减少纹理边缘, 并尽可能地保存交点和角点信息。通过对合成图像和自然图像的测试, 将本文模型与 Grigorescu 的各向同性模型、各向异性模型以及唐的增强抑制模型进行比较, 证明了本文算法的准确性和优越性。一般情况下, 图像中目标轮廓边界内外的纹理不一致。当非经典感受野恰巧覆盖目标边界处时, 来自边界内外的抑制量具有明显差别。此时, 仅保留非经典感受野内抑制量较小一侧的作用将有助于增强目标轮廓。同时, 视皮层的神经元是以一种动态和灵活的方式实现特定的视觉任务, 通常是一种迭代方式。随着迭代过程的进行, 神经元的增强和抑制作用会逐渐趋于稳定。在未来的研究工作中, 将针对如何合理引入先验知识、建立迭代处理机制进行目标轮廓提取进行更深入的研究。

参考文献 (References)

- [1] Das A, Gilbert C D. Topography of contextual modulations mediated by short-range interactions in primary visual cortex[J]. Nature, 1999, 399(6737): 655-661.
- [2] Gilbert C D, Ito M, Kapadia M, et al. Interactions between attention, context and learning in primary visual cortex[J]. Vision research, 2000, 40(10): 1217-1226.
- [3] Grigorescu C, Petkov N, Westenberg M A. Contour detection based on nonclassical receptive field inhibition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(7): 729-739.
- [4] Grigorescu C, Petkov N, Westenberg M A. Contour and boundary detection improved by surround suppression of texture edges[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(8): 609-622.
- [5] Tang Q L, Sang N, Zhang T X. Contour detection based on contextual influences [J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(8): 1282-1290.
- [6] Tang Q L, Sang N, Zhang T X. Extraction of salient contours from cluttered scenes[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(11): 3100-3109.
- [7] Zeng C, Li Y J, Li C Y. Center-surround interaction with adaptive inhibition: a computational model for contour detection[J]. Neuro Image, 2011, 55(1): 49-66.
- [8] Zeng C, Li Y J, Yang K F, et al. Contour detection based on a non-classical receptive field model with butterfly-shaped inhibition subregions[J]. Neurocomputing, 2011, 74,(10): 1527-1534.
- [9] Wei H, Lang B, Zuo Q S. Contour detection model with multi-scale integration based on non-classical receptive field[J]. Neurocomputing, 2013, 103:247-262.