



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

2013

07

VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第18卷第7期（总第207期）

2013年7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。所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。本刊所有图片均为非商业目的使用。

Copyright

2013 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 010-82614429

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

国外发行 中国国际图书贸易总公司

（中国国际书店，邮政信箱：北京399信箱 邮编：100044）

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 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100044, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

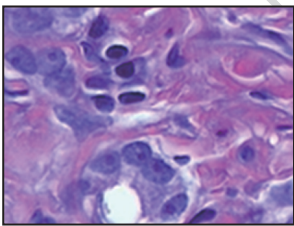
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

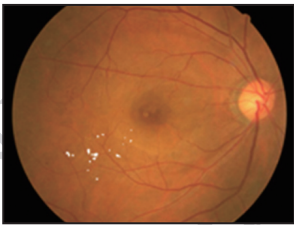
国内定价 50.00元



彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 (第753页)



基于Nyström密度值逼近的减法聚类 (第790页)



RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 (第859页)

图像处理 and 编码

各向异性的均衡化网状扩散模型 熊辉, 赖剑煌	731
特征提取和匹配的图像倾斜校正 钟金荣, 杜奇才, 刘炎, 林嘉宇	738
先进边界区分噪声检测的改进算法 祁冰露, 黄宴委, 陈少斌	746
彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 端金鸣, 潘振宽, 台雪成	753
相似性约束的视频超分辨率重建 张义轮, 干宗良, 朱秀昌	761

图像分析和识别

低质量指纹图像方向场提取 卞维新, 徐德琴, 俞庆英	768
方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别 李均利, 储诚曦	776
参数自适应的KPCA先验形状约束目标分割 沈霁, 李元祥, 周则明	783
基于Nyström密度值逼近的减法聚类 孙志海, 孔万增	790
空间目标检测序列图像中恒星目标抑制 黄宗福, 孙刚, 陈曾平	799

图像理解和计算机视觉

人体动作的超兴趣点特征表述及识别 王扬扬, 李一波, 姬晓飞	805
轮廓编组中的线索合并模型 王娇, 罗四维, 钟晶晶, 邹琪	813
全局图像特征分析与实时层次化消失点检测 孙愿, 卢鸿波, 张志敏	818
彩色图像特征捆绑的自动模型构建 徐洁, 邓红霞, 李海芳	829

计算机图形学

偏离映射的烙画风格绘制 钱文华, 徐丹, 岳昆, 官铮, 普园媛	836
点云模型法矢调整优化算法 孙金虎, 周来水, 安鲁陵	844

医学图像处理

基于惩罚最大似然优化模型的各向异性约束磁共振成像方法 邓梁, 史仪凯, 张均田	852
RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 高玮玮, 沈建新, 王玉亮	859

遥感图像处理

衡量结构保持性能的SAR图像去噪质量评价 唐益明, 杨学志	866
地面LiDAR数据中建筑轮廓和角点提取 童礼华, 程亮, 李满春, 陈焱明, 王亚飞, 张雯	876

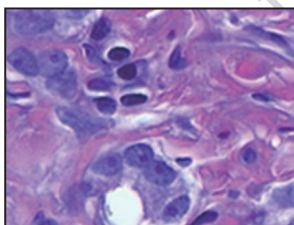
《中国图象图形学报》论文摘要写作要求	884
--------------------	-----

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Non-Local TV models for restoration of color texture images (P753)



Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method (P790)



Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation (P859)

Image Processing and Coding

Equalized net diffusion model based on the anisotropy diffusion Xiong Hui, Lai Jianhuang	731
Robust method of skew correction based on feature points matching Zhong Jinrong, Du Qidai, Liu Ying, Lin Jiayu	738
Modification of advanced boundary discriminative noise detection algorithm Qi Binglu, Huang Yanwei, Chen Shaobin	746
Non-Local TV models for restoration of color texture images Duan Jinming, Pan Zhenkuan, Tai Xuecheng	753
Video super-resolution method based on similarity constraints Zhang Yilun, Gan Zongliang, Zhu Xiuchang	761

Image Analysis and Recognition

The orientation field extraction method for low quality fingerprints Bian Weixin, Xu Deqin, Yu Qingying	768
Identification of motion blur direction from motion blurred image by directional derivation and block statistics Li Junli, Chu Chengxi	776
Shape prior constrained KPCA object segmentation with parameter adaption Shen Ji, Li Yuanxiang, Zhou Zeming	783
Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method Sun Zhihai, Kong Wanzeng	790
Stellar targets suppression in image sequences for space targets detection Huang Zongfu, Sun Gang, Chen Zengping	799

Image Understanding and Computer Vision

Human action recognition based on super-interest points features Wang Yangyang, Li Yibo, Ji Xiaofei	805
Cue combination model for contour grouping Wang Jiao, Luo Siwei, Zhong Jingjing, Zou Qi	813
Hierarchical real-time vanishing point detection based on holistic image feature Sun Yuan, Lu Hongbo, Zhang Zhimin	818
Construction of the automatic model for feature binding of color image Xu Jie, Deng Hongxia, Li Haifang	829

Computer Graphics

Rendering pyrography style painting based on deviation mapping Qian Wenhua, Xu Dan, Yue Kun, Guan Zheng, Pu Yuanyuan	836
Optimal algorithm for normal adjustment of point clouds Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling	844

Medical Image Processing

Anisotropically constrained MR imaging based on penalized maximum likelihood optimality model Deng Liang, Shi Yikai, Zhang Juntian	852
Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation Gao Weiwei, Shen Jianxin, Wang Yuliang	859

Remote Sensing Image Processing

Image quality assessment of SAR image despeckling for measuring structure-preserving capability Tang Yiming, Yang Xuezhi	866
Extraction of building contours and corners from terrestrial LiDAR data Tong Lihua, Cheng Liang, Li Manchun, Chen Yanming, Wang Yafei, Zhang Wen	876

中图法分类号: TN911 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)07-0813-05

论文引用格式: 王娇, 罗四维, 钟晶晶, 邹琪. 轮廓编组中的线索合并模型[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 813-817. [DOI: 10.11834/jig.20130720]

轮廓编组中的线索合并模型

王娇¹, 罗四维², 钟晶晶³, 邹琪²

1. 国家开放大学计算机科学系, 北京 100039; 2. 北京交通大学计算机与信息技术学院, 北京 100044; 3. 国家图书馆, 北京 100081

摘要: 从复杂的自然图像中获取目标轮廓是计算机视觉中的经典难题, 而提供符合人类感知特性和自然图像统计规律的线索合并模型是提高轮廓质量的关键问题。利用连续性和相似性线索进行轮廓编组, 提出一种线索合并模型, 拟合格式塔规则中连续性和相似性的统计联合条件概率。该线索合并模型解释了如何用两个相互独立的线索变量得到两个相关线索联合分布的特殊形式, 克服了判别式模型刻意回避的相关线索合并问题, 是更符合自然图像统计特性和人类感知特性的格式塔线索量化模型。将该模型应用于自然图像的轮廓提取中, 实验结果证实了模型的有效性。

关键词: 轮廓编组; 格式塔规则; 线索合并; 神经计算

Cue combination model for contour grouping

Wang Jiao¹, Luo Siwei², Zhong Jingjing³, Zou Qi²

1. Computer Science Department, The Open University of China, Beijing 100039, China;

2. Institute of Computer Science and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

3. National Library of China, Beijing 100081, China

Abstract: Using contour grouping to get perceptual objects from natural images is a traditional difficult problem in computer vision. To provide a cue combination model, which accords with human visual perception and the statistical of the natural images, is the key problem of the definition of grouping cues and the improvement of grouping quality. According to the conditions when a linear cue combination rule works, a cue combination model for contour grouping, which fits the ecological joint distributions of continuity and similarity in Gestalt cues, is proposed. The cue combination model helps to explain how two independent cue channels could give rise to the particular form of the joint distribution of two correlated cues. It also overcomes the cue combination problem between correlated cues which can't be resolved by discriminative model. The proposed model is a quantitative model of Gestalt cues which accords with the statistical of the natural images and human visual perception better.

Key words: contour grouping; Gestalt rules; cue combination; neural computing

0 引言

轮廓编组作为知觉组织的一个分支, 处理的对象是图像的边缘, 其任务是从复杂的边缘图中提取

某些边缘组织成连续的轮廓, 每一轮廓都对应于图像中的某一显著结构或感知目标。轮廓编组为目标的定义和获取提供了一种行之有效的方法, 是进一步完成目标识别、图像检索等高级视觉任务的基础。认知心理学中的研究表明, 格式塔规则可以为

收稿日期: 2013-02-05; 修回日期: 2013-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(60902058); 北京市自然科学基金项目(4112047)

第一作者简介: 王娇(1982—), 女, 讲师, 2010年于北京交通大学获计算机应用技术专业工学博士学位, 主要研究方向为机器学习、神经计算。E-mail: wangjiao0828@163.com

知觉组织提供确切的编组线索^[1-2]。在轮廓编组中,这些线索主要包括邻近性、连续性、相似性、闭合性、对称性等,多条线索的联合作用决定了最终的编组结果。目前的轮廓编组算法都是以格式塔的知觉组织规则作为编组线索的。提高编组算法性能的一个有效途径就是更准确地描述和量化编组线索。在这些编组线索中,闭合性和对称性等一些全局的拓扑性质不能由局部的图像特征反映,而只能通过编组算法加以约束。因此对编组线索的量化都集中于邻近性、连续性等反映局部属性的格式塔线索^[3]。Mahamud 等人^[4]用随机游走的点的运动轨迹分布来定义邻近性和连续性,点的运动速度和半衰期决定了可以连接的两条边之间的距离,即邻近性,点的运动方向的变换决定了连续性。Elder 等人^[5]将连续性分为平滑的、有遮挡的和有拐角的 3 种情况分别考虑,并用 3 个不同参数的高斯模型建模。Wang 等人^[6]对邻近性和连续性的量化相对简单,任意两条边之间间隔的长度都用 1 来表示,连续性则由两条边连接处曲率的平方表示。Stahl 等人^[7]在 Wang^[6]的基础上做了更多的参数尝试,比如给连续性添加不同指数。格式塔知觉组织规则的量化与自然图像上的统计信息有关^[8],利用这些统计信息可以更准确地量化格式塔编组线索。Elder 等人^[9]通过分析各条编组线索在人工标注数据上的统计特性,用不同的函数对邻近性、连续性和相似性 3 条线索的先验概率进行了建模,再由贝叶斯公式计算得到每条线索的后验概率。邹琪^[10]在此基础上进一步将自然图像划分为 4 种不同的类型,并根据每种类型图像上不同的统计数据分别给出了不同的先验概率模型。

尽管上述方法对编组线索用不同的方法进行了量化,但在进行线索合并时,却都不可避免地存在着一定的问题。大部分的算法^[4-7]都以线索间相互独立的假设为前提,以便采用线性的线索合并策略,用相加或相乘的方法进行线索合并。然而各条编组线索之间并不是相互独立的,它们之间存在着相互依赖和制约的关系。由于线索间的这种相关性不能通过简单的线性去相关去除,Elder 等人^[9]和邹琪^[10]转而度量了各个线索在轮廓编组中的重要性,依据线索的重要程度确定其在进行线索合并时的权值,用加权后的线索合并规则组合各条编组线索,近似描述边缘对之间的编组关系。虽然这种加权后的线索合并方式相比基于独立性假设的线性合并策略有

一定的优越性,但依然无法准确描述线索间的相关性。因此,提供一种更为准确的编组线索合并规则成为编组线索描述中的一个关键问题。

提出一种贝叶斯框架下的轮廓编组线索合并模型,很好地拟合连续性和相似性两条编组线索在自然图像边缘对集合上的联合条件分布。主要贡献在于:1)将邻近性作为编组的主导线索,以其为条件来考虑连续性和相似性两条线索,简化线索合并的难度;2)提出一种简单的线索合并模型,拟合两编组线索的联合概率分布,同时解释如何用两个相互独立的线索变量得到两个相关线索联合分布的特殊形式,这为更准确更鲁棒地提取目标轮廓提供了特征描述的方法。

1 轮廓编组的贝叶斯模型

对于由多个线索决定的二值观测变量 T 来说,其贝叶斯的感知模型^[11]可表示为

$$P(T|g) = \frac{P(g|T)P(T)}{P(g|T)P(T) + P(g|\bar{T})P(\bar{T})} = \frac{1}{1 + \frac{P(g|\bar{T})P(\bar{T})}{P(g|T)P(T)}} \quad (1)$$

式中, g 为编组线索。在轮廓编组中,边缘对的状态分为两种:属于同一目标轮廓或不属于同一目标轮廓。编组线索则通常由 3 条最基本的反映局部属性的格式塔规则决定:邻近性 r 、连续性 c 和相似性 s 。由此,式(1)可改写为

$$\frac{P(IN|r,c,s)}{P(r,c,s|IN)P(IN) + P(r,c,s|OUT)P(OUT)} = \frac{1}{1 + \frac{P(r,c,s|OUT)P(OUT)}{P(r,c,s|IN)P(IN)}} \quad (2)$$

式中, $P(IN)$ 表示边缘对属于同一轮廓编组的概率, $P(OUT) = 1 - P(IN)$ 。由于几条格式塔线索之间具有相关性,而且这种相关性是通过线性变换无法去除的高阶相关性,式(2)中的联合条件概率不能通过线性的线索合并规则求得。因此在以往的研究^[9-10]中,通常利用贝叶斯公式分别求得各条线索的后验概率,再用加权和得到边缘对属于同一轮廓编组的最终概率,以此来近似描述多条线索共同作用的编组关系。

同时计算 3 条线索的联合条件概率难度很大,

在实际操作中几乎难以实现。心理学中关于知觉组织的研究表明^[1],与相似性和连续性相比,邻近性可能是一种更强的知觉组织线索,并且在时间过程中可能发生的较早。考虑到邻近性在编组线索中所起的主导作用^[12],将邻近性作为条件来考虑其余两条线索的合并,可以将式(2)描述为

$$P(IN|r, c, s) = \frac{1}{1 + \frac{P(r|OUT)P(c, s|r, OUT)P(OUT)}{P(r|IN)P(c, s|r, IN)P(IN)}} \quad (3)$$

式中, $P(IN)$ 、 $P(OUT)$ 根据人工标注结果确定。实际人工标注的边缘对集中,属于同一轮廓编组的边缘对约占 20%。先验概率 $P(r|IN)$ 和 $P(r|OUT)$ 可根据人工标注边缘对集合上的统计信息建模得出,文献[9-10]中已做过充分研究,本文不再详述。由此只需计算连续性和相似性的联合条件概率 $P(c, s|r, IN)$ 和 $P(c, s|r, OUT)$ 即可。虽然连续性和相似性二者之间并不满足独立性,不能通过线性合并规则计算,但可由满足线性合并规则的模型来进行拟合。

2 轮廓编组中的线索合并模型

2.1 轮廓编组中格式塔线索的定义

图像中检测到的边缘用有向边 e_i 表示。每一条有向边用两坐标值 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$ 表示,前一坐标值对应于有向边的起点,后一坐标值对应于有向边的终点。两有向边缘对之间的格式塔线索定义如图 1 所示。

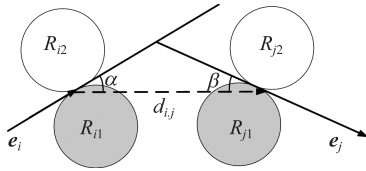


图 1 轮廓编组中的格式塔线索定义图示

Fig. 1 The define of Gestalt cues in contour grouping

图中邻近性由两条边之间的距离表示,连续性由两条边的朝向差异表示,相似性由两条边两侧一定区域内的颜色相似性(颜色直方图的 χ^2 距离)度量, R_1 为沿有向边方向顺时针一侧的区域, R_2 为逆时针一侧的区域。具体定义为

$$r(e_i, e_j) = d(e_i, e_j) = \sqrt{(x_{i2} - x_{j1})^2 + (y_{i2} - y_{j1})^2}$$

$$c(e_i, e_j) = \alpha + \beta$$

$$s(e_i, e_j) = \frac{1}{2} \left(\sum_k \left(\frac{h_k(R_{i1}) - h_k(R_{j1})}{h_k(R_{i1}) + h_k(R_{j1})} \right)^2 + \sum_k \left(\frac{h_k(R_{i2}) - h_k(R_{j2})}{h_k(R_{i2}) + h_k(R_{j2})} \right)^2 \right) \quad (4)$$

式中, (x_{i2}, y_{i2}) 和 (x_{j1}, y_{j1}) 分别对应于有向边 e_i 的终点和 e_j 的起点, α 和 β 对应于图 1 中的两个夹角, 函数 h 表示区域的颜色直方图, k 用于标记直方图的每个分辨率区间。为方便处理,将连续性和相似性归一化至 $[0, 1]$ 区间内。有关格式塔线索度量更详细的内容可参见文献[13]。

为实现线索的线性合并,通常假设线索为满足类条件独立(CCI)的高斯变量^[14]。文献[15]进一步指出,在类条件独立的前提下,只要每类的类条件分布的比值满足某一衰减的指数函数,即

$$\frac{P(g_i|T)}{P(g_i)} \propto e^{-\lambda g_i} \quad (5)$$

则线性的合并规则仍然成立,式中 λ 为一常数。两个方差相同的高斯分布,或任意两个指数分布都可以满足上述条件。

若式(5)成立,则线索 g_i 的后验概率可表示为

$$P(T|g_i) = \frac{1}{1 + \frac{P(g_i|T)P(T)}{P(g_i)P(T)}} = \frac{1}{1 + Ae^{-\lambda g_i}} \quad (6)$$

式中, A 为某一常数。在类条件独立的假设前提下,多条线索的联合后验概率可用式(6)的乘积计算。

2.2 模型描述

通过建立线索合并模型,产生边缘对 $\{e_i, e_j\}$ 的连续性值 c 和相似性值 s 满足 CCI 条件,可以通过线性合并规则进行线索合并。具体步骤如下:

1) 对于属于同一轮廓编组的边缘对,其原始的连续性函数 g_c 和相似性的函数 g_s 互相独立,且其分布服从于某一指数分布,期望为

$$\langle g_c \rangle_{IN} = \frac{1}{q_{IN}}, \langle g_s \rangle_{IN} = \frac{1}{a_{IN} \cdot q_{IN}} \quad (7)$$

式中, a 为某一常数, q 为指数函数的参数。其概率分布可表示为

$$P_{IN}(g_c) = q_{IN} \cdot e^{-q_{IN} \cdot g_c}$$

$$P_{IN}(g_s) = a_{IN} q_{IN} \cdot e^{-a_{IN} q_{IN} \cdot g_s} \quad (8)$$

2) 对于不属于同一轮廓编组的边缘对,有同样的情况,即

$$\langle g_c \rangle_{OUT} = \frac{1}{q_{OUT}}, \langle g_s \rangle_{OUT} = \frac{1}{a_{OUT} \cdot q_{OUT}} \quad (9)$$

其概率分布可表示为

$$\begin{aligned} P_{\text{OUT}}(g_c) &= q_{\text{OUT}} \cdot e^{-q_{\text{OUT}} \cdot g_c} \\ P_{\text{OUT}}(g_s) &= a_{\text{OUT}} q_{\text{OUT}} \cdot e^{-a_{\text{OUT}} q_{\text{OUT}} \cdot g_s} \end{aligned} \quad (10)$$

3) 噪声影响因子 N , 用于描述图像离散化对边缘朝向的影响、图像中光照等的变化对相似性的影响, 以及其他因素对两线索的影响。 N 服从期望为 $\langle N \rangle = 1/p$ 的指数分布, 即 $P(N) = p \cdot e^{-pN}$ 。 N 对 g_c, g_s 的作用为

$$G_i = N \cdot g_i \quad (11)$$

4) 非线性的饱和函数作用于经过噪声影响因子缩放后的 g_c, g_s , 得到取值范围为 $(0, 1)$ 的线索值 c 和 s , 其概率分布满足式(6)所给出的形式。

$$c = \frac{G_c}{G_c + K}, \quad s = \frac{G_s}{G_s + K} \quad (12)$$

在该模型框架下, 由于两线索符合线性合并的规则, 因此连续性和相似性的联合分布可由式(13)计算得到。

$$\begin{aligned} F_{c,s}(c,s) &= \int_0^\infty \int_0^{\frac{cK}{(1-c)N}} \int_0^{\frac{sK}{(1-s)N}} P(N) P(g_c) P(g_s) dg_s dg_c dN = \\ &= apq^2 \int_0^\infty e^{-pN} \cdot \int_0^{\frac{cK}{(1-c)N}} e^{-qg_c} dg_c \int_0^{\frac{sK}{(1-s)N}} e^{-aqg_s} dg_s dN = \\ &= p \int_0^\infty e^{-pN} \cdot (1 - e^{-\frac{cqK}{(1-c)N}}) (1 - e^{-\frac{saqK}{(1-s)N}}) dN = \\ &= \frac{1}{p} - \frac{2\text{BesselK}\left(1, 2\sqrt{\frac{cpqK}{1-c}}\right)}{\sqrt{\frac{(1-c)p}{cqK}}} - \frac{2\text{BesselK}\left(1, 2\sqrt{\frac{sapqK}{1-s}}\right)}{\sqrt{\frac{(1-s)p}{saqK}}} + \\ &= \frac{2\text{BesselK}\left(1, 2\sqrt{\frac{pqK(c+as-(a+1)cs)}{(1-c)(1-s)}}\right)}{\sqrt{\frac{(1-c)(1-s)p}{(c+as-(a+1)cs)qK}}} \end{aligned} \quad (13)$$

式中, $\text{BesselK}()$ 返回修正的 Bessel 函数值。连续性和相似性的联合条件概率, 可由其联合条件分布分别对 c 和 s 求偏导数得到, 即

$$P(c,s) = \frac{\partial^2 F_{c,s}(c,s)}{\partial c \partial s} \quad (14)$$

2.3 参数估计

用上述模型拟合边缘对集上连续性和相似性的联合条件分布, 对模型中的参数估计利用极大似然估计的方法, 最大化式(15), 即

$$L = \prod P(c,s | a,q,p,K) \quad (15)$$

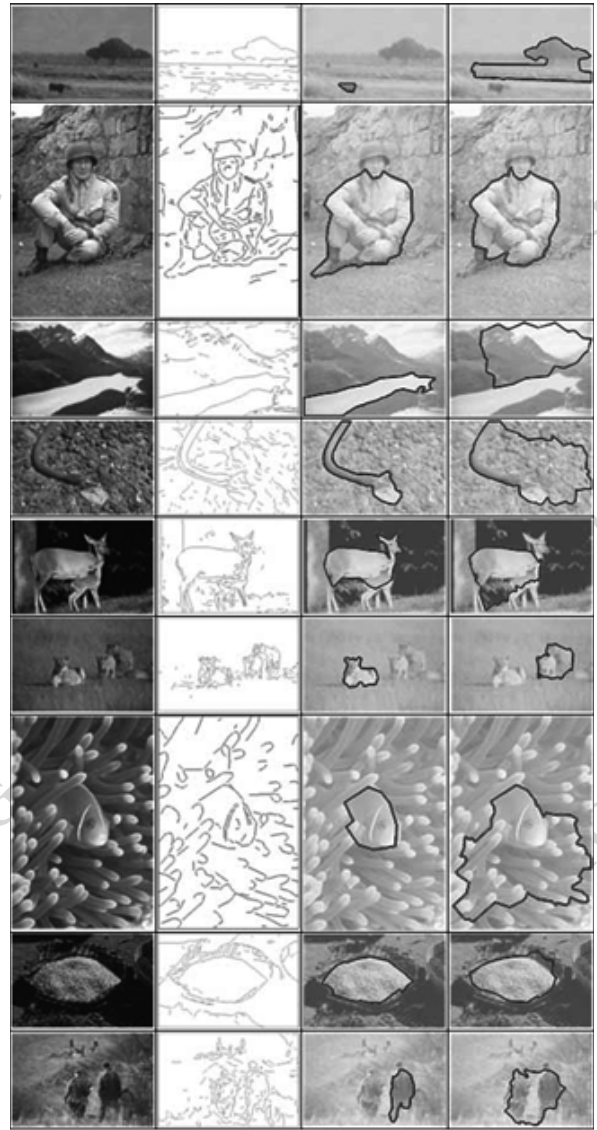
式中的联合概率密度函数 P 由式(14)计算得到, 需

要确定的参数共计 4 个。在 a 值确定的情况下, 不论 p, q, K 的值如何变化, 只要 $p \times q \times K$ 的值为一常数, 函数 P 就不会变化。因此, 固定 $p = K = 1$, 只需考虑 a 和 q 值的变化即可。对式(15)取对数, 最佳的参数值 a 和 q 可通过最小化式(15)得到, 即

$$L' = - \sum_i \log P(c^i, s^i | a, q, p = 1, K = 1) \quad (16)$$

3 轮廓提取中的实验验证

将线索合并模型应用于自然图像的轮廓提取, 并与同类算法^[7]的结果进行对比, 图 2 列出了实验



(a) 输入图像 (b) 边缘检测结果 (c) 本文算法结果 (d) 文献[7]结果

图 2 自然图像的轮廓提取结果

Fig. 2 The contour grouping results on natural images

结果。本文与文献[7]均对邻近性、连续性、相似性等格式塔线索进行量化和合并,不同的是文献[7]采用的线索描述相对简单,线索合并是将邻近性、连续性和相似性归一化后直接相加。为了排除其他因素的影响,两种算法采用相同的目标函数和优化策略,仅在特征描述阶段用提出的线索合并模型替代了文献[7]的线索描述方法。可以看到,本文算法的编组结果基本都对应于图像中的显著目标,在绝大多数情况下,本文算法获得了优于或近似于其他编组算法的编组结果。这说明提出的线索合并模型更符合自然图像统计特性和人类感知特性,因此能够为轮廓提取提供更有用的输入特征。

4 结 论

提出了一种轮廓编组中的线索合并模型。在自然图像的边缘图中,线索合并模型拟合了类条件相关连续性和相似性的联合概率密度,摒除了以往模型中对于线索间不相关的假设。相比以往的模型,本文模型更充分地反映了由自然图像的格式塔知觉组织规则的统计特性,也更符合人类的视觉感知特性。这种更为精确的格式塔规则量化模型为轮廓编组提供了更为有效的数学描述工具。在对自然图像的轮廓提取中,该模型的准确性通过与其他算法的对比得到了验证。

参考文献 (References)

- [1] Chen F, Han S H, Zhu Y, et al. Vision perceptual organization and its neural mechanisms[J]. *Psychological Science*, 2003, 26(2):312-314. [陈锋, 韩世辉, 朱滢, 等. 视知觉组织及其神经机制[J]. *心理科学*, 2003, 26(2):312-314.]
- [2] Johan W, James H E, Michael K, et al. A century of gestalt psychology in visual perception: perceptual grouping and figure-ground organization[J]. *Psychological Bulletin*, 2012, 138(6): 1172-1217.
- [3] Giuseppe P, Nicolai P. Edge and line oriented contour detection: state of the art[J]. *Image and Vision Computing*, 2011, 29(2): 79-103.
- [4] Mahamud S, Williams L R, Thornber K K, et al. Segmentation of multiple salient closed contours from real images[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(4):433-444.
- [5] Elder J H, Zucker S W. Computing contour closure[C]//*Proceedings of European Conference on Computer Vision*. London, UK:Springer,1996:399-412.
- [6] Wang S, Kubota T, Siskind J M, et al. Salient boundary detection using ratio contour[C]//*Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems*. Canada: MIT Press, 2003: 1571-1578.
- [7] Stahl J S, Wang S. Edge grouping combining boundary and region information[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(10):2590-2606.
- [8] Brunswik E, Kamiya J. Ecological cuevalidity of 'proximity' and other gestalt factors[J]. *American Journal of Psychology*, 1953, 66(1):20-32.
- [9] Elder J H, Goldberg R M. Ecological statistics of gestalt laws for the perceptual organization of contours[J]. *Journal of Vision*, 2002, 2(4):324-353.
- [10] Zhou Q. Research on computational model of contour grouping and attention[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University, 2006. [邹琪. 轮廓编组的计算模型和注意模型研究[D]. 北京:北京交通大学, 2006.]
- [11] Bishop C M. *Neural Networks for Pattern Recognition*[M]. Oxford:Oxford University Press, 1998.
- [12] Kubovy M, Holcombe A Q. On the lawfulness of grouping by proximity[J]. *Cognitive Psychology*, 1998, 35(1):71-98.
- [13] Zhong J J, Luo S W, Zhou Q, et al. A novel measurement and statistics of similarity cue for edges in contour grouping[C]//*Proceedings of International Conference on Signal Acquisition and Processing*. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE Computer Society, 2009:149-152.
- [14] Yuille A, Bülthoff H H. *Bayesian Decision Theory and Psychophysics. Perception as Bayesian Inference*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996:123-161.
- [15] Zhou C H, Mel B W. Cue combination and color edge detection in natural scenes[J]. *Journal of Vision*, 2008, 8(4):1-25.