



新工科视域下的 工程基础与应用研究

《天水师范学院60周年校庆文库》编委会 | 编

光明日报出版社



新工科视域下的 工程基础与应用研究

《天水师范学院60周年校庆文库》编委会 | 编

光明日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

新工科视域下的工程基础与应用研究 / 《天水师范学院 60 周年校庆文库》编委会编. -- 北京: 光明日报出版社, 2019.9

ISBN 978-7-5194-5506-4

I. ①新… II. ①天… III. ①工程技术—基础科学—研究 IV. ①TB1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 189337 号

新工科视域下的工程基础与应用研究

XINGONGKE SHIYU XIA DE GONGCHENG JICHU YU YINGYONG YANJIU

编 者:《天水师范学院 60 周年校庆文库》编委会

责任编辑:郭政君

责任校对:赵鸣鸣

封面设计:中联学林

责任印制:曹 净

出版发行:光明日报出版社

地 址:北京市西城区永安路 106 号, 100050

电 话:010-67017249 (咨询) 63131930 (邮购)

传 真:010-67078227, 67078255

网 址: <http://book.gmw.cn>

E - mail: guomeijun@gmw.cn

法律顾问:北京德恒律师事务所龚柳方律师

印 刷:三河市华东印刷有限公司

装 订:三河市华东印刷有限公司

本书如有破损、缺页、装订错误,请与本社联系调换,电话:010-67019571

开 本:170mm×240mm

字 数:332 千字

印 张:18.5

版 次:2019 年 9 月第 1 版

印 次:2019 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5194-5506-4

定 价:89.00 元

版权所有 翻印必究

《天水师范学院 60 周年校庆文库》

编委会

主 任：李正元 安 涛

副主任：师平安 汪聚应 王旭林 李 淳

汪咏国 安建平 王文东 崔亚军

马 超

委 员：王三福 王廷璞 王宏波 王贵禄

尤晓妮 牛永江 朱 杰 刘新文

李旭明 李艳红 杨 帆 杨秦生

张跟东 陈于柱 贾利珠 郭昭第

董 忠

编 务：刘 勍 汪玉峰 赵玉祥 施海燕

赵百祥 杨 婷 包文娟 吕婉灵

总 序

春秋代序,岁月倥偬,弦歌不断,薪火相传。不知不觉,天水师范学院就走过了它60年风雨发展的道路,迎来了它的甲子华诞。为了庆贺这一重要历史时刻的到来,学校以“守正·奋进”为主题,筹办了缤纷多样的庆祝活动,其中“学术华章”主题活动,就是希冀通过系列科研活动和学术成就的介绍,建构学校作为一个地方高校的公共学术形象,从一个特殊的渠道,对学校进行深层次也更具力度的宣传。

《天水师范学院60周年校庆文库》(以下简称《文库》)是“学术华章”主题活动的一个重要构成。《文库》共分9卷,分别为《现代性视域下的中国语言文学研究》《“一带一路”视域下的西北史地研究》《“一带一路”视域下的政治经济研究》《“一带一路”视域下的教师教育研究》《“一带一路”视域下的体育艺术研究》《生态文明视域下的生物学研究》《分子科学视域下的化学前沿问题研究》《现代科学思维视域下的数理问题研究》《新工科视域下的工程基础与应用研究》。每卷收录各自学科领域代表性科研骨干的代表性论文若干,集中体现了师院学术的传承和创新。编撰之目的,不仅在于生动展示每一学科60年来学术发展的历史和教学改革的面向,而且也在于具体梳理每一学科与时俱进的学脉传统和特色优势,从而体现传承学术传统,发扬学术精神,展示学科建设和科学研究的成就,砥砺后学奋进的良苦用心。

《文库》所选文章,自然不足以代表学校科研成绩的全部,近千名教职员工,60年孜孜以求,几代师院学人的学术心血,区区九卷书稿300多篇文章,个中内容,岂能一一尽显?但仅就目前所成文稿观视,师院数十

年科研的旧貌新颜、变化特色,也大体有了一个较为清晰的眉目。

首先,《文库》真实凸显了几十年天水师范学院学术发展的历史痕迹,为人们全面了解学校的发展提供了一种直观的印象。师院的发展,根基于一些基础老学科的实力,如中文、历史、数学、物理、生物等,所以翻阅《文库》文稿,可以看到这些学科及其专业辉煌的历史成绩。张鸿勋、雒江生、杨儒成、张德华……,一个一个闪光的名字,他们的努力,成就了天水师范学院科研的初始高峰。但是随着时代的发展和社会需求的变化,新的学科和专业不断增生,新的学术成果也便不断涌现,教育、政法、资环等新学院的创建自是不用特别说明,单是工程学科方面出现的信息工程、光电子工程、机械工程、土木工程等新学科日新月异的发展,就足以说明学校从一个单一的传统师范教育为特色的学校向一个兼及师范教育但逐日向高水平应用型大学过渡的生动历史。

其次,《文库》具体显示了不同历史阶段不同师院学人不同的学术追求。张鸿勋、雒江生一代人对于敦煌俗文学、对于《诗经》《尚书》等大学术对象的文献考订和文化阐释,显见了他们扎实的文献、文字和学术史基本功以及贯通古今、熔冶正反的大视野、大胸襟,而雍际春、郭昭第、呼丽萍、刘雁翔、王弋博等中青年学者,则紧扣地方经济社会发展做文章,彰显地域性学术的应用价值,于他人用力薄弱或不及处,或成就了一家之言,或把论文写在陇原大地,结出了累累果实,发挥了地方高校科学研究服务区域经济社会发展的功能。

再次,《文库》直观说明了不同学科特别是不同学人治学的不同特点。张鸿勋、雒江生等前辈学者,其所做的更多是个人学术,其长处是几十年如一日,埋首苦干,皓首穷经,将治学和修身融贯于一体,在学术的拓展之中同时也提升了自己的做人境界。但其不足之处则在于厕身僻地小校之内,单兵作战,若非有超人之志,持之以恒,广为求索,自是难以取得理想之成果。即以张、雒诸师为例,以其用心用力,原本当有远愈于今日之成绩和声名,但其诸多未竟之研究,因一人之逝或衰,往往成为绝学,思之令人不能不扼腕以叹。所幸他们之遗憾,后为国家科研大势和

学校科研政策所改变,经雍际春、呼丽萍等人之中介,至如今各学科纷纷之新锐,变单兵作战为团队攻坚,借助于梯队建设之良好机制运行,使一人之学成一众之学,前有所行,后有所随,断不因以人之故废以方向之学。

还有,《文库》形象展示了学校几十年科研变化和发展的趋势。从汉语到外语,变单兵作战为团队攻坚,在不断于学校内部挖掘潜力、建立梯队的同时,学校的一些科研骨干如邢永忠、王弋博、令维军、李艳红、陈于柱等,也融入了更大和更高一级的学科团队,从而不仅使个人的研究因之而不断升级,而且也带动学校的科研和国内甚至国际尖端研究初步接轨,让学校的声誉因之得以不断走向更远也更高更强的区域。

当然,前后贯通,整体比较,缺点和不足也是非常明显的,譬如科研实力的不均衡,个别学科长期的缺乏领军人物和突出的成绩;譬如和老一代学人相比,新一代学人人文情怀的式微等。本《文库》的编撰因此还有另外的一重意旨,那就是立此存照,在纵向和横向的多面比较之中,知古鉴今,知不足而后进,让更多的老师因之获得清晰的方向和内在的力量,通过自己积极而坚实的努力,为学校科研奉献更多的成果,在区域经济和周边社会的发展中提供更多的智慧,赢得更多的话语权和尊重。

六十年风云今复始,千万里长征又一步。谨祈《文库》的编撰和发行,能引起更多人对天水师范学院的关注和推助,让天水师范学院的发展能够不断取得新的辉煌。

是为序。

李正元 安涛

2019年8月26日

目 录

CONTENTS

基于脉冲耦合神经网络的图像 NMI 特征提取及检索方法	刘 勃	1
结合灰度熵变换 PCNN 小目标图像检测新方法	刘 勃	14
一种基于超模糊熵 ULPCNN 图像自动分割新方法	刘 勃	24
一种频率域提高 Radon 变换分辨率的方法	刘保童	35
非均匀 DFT 频谱泄漏抑制方法研究	刘保童	47
一种随机振动信号幅度、相位及零基线漂移分离方法	张少刚 李芙蓉 赵小龙	59
Numerical study of the influence of applied voltage on the current balance factor of single layer organic light-emitting diodes	Lu Feiping Liu xiaobin Xing yongzhong	67
Numerical model of tandem organic light-emitting diodes based on transition metal oxide interconnector layer	Lu Feiping Peng Yingquan Xing Yongzhong	81
High efficiency, high energy, CEP – stabilized infrared optical parametric amplifier ... WeiJun Ling Xiaotao Geng Shuyan Guo Zhiyi Wei F. Krausz D. Kim		103
1.91 μm passively continuous-wave mode-locked $\text{Tm}:\text{LiLuF}_4$ laser	WeiJun Ling Tao Xia Zhong Dong LiangFang You YinYan Zuo Ke Li QinLiu FeiPing Lu XiaoLong Zhao	115
Electronic Structures of Anatase $(\text{TiO}_2)_{1-x}(\text{TaON})_x$ Solid Solutions: First – Principles Study	Wenqiang Dang Hungru Chen Naoto Umezawa Junying Zhang	124
基于 NSGA – II 算法的管道清灰机器人变径机构优化 ...	罗海玉 张淑珍	143
一种新型并联太阳能跟踪机构研究	罗海玉	152
磁力电解复合抛光中带电粒子运动的分析	牛永江	160

工件定位基准的定义及其确定新探	牛永江	167
Static and dynamic characteristics modeling for CK61125 CNC lathe bed basing on FEM	Hongping Yang	170
基于分形几何与接触力学理论的结合面法向接触刚度计算模型 ...	杨红平	180
基于回声状态网络的结合面特性参数建模	杨红平	192
Investigation of Tool Wear and Surface Roughness when Turning Titanium Alloy (Ti6Al4V) under Different Cooling and Lubrication Conditions		
.....	Limin Shi	204
基于小波包能量曲率差的古木结构损伤识别		
.....	王 鑫 胡卫兵 孟昭博	213
地面交通激励下西安钟楼木结构的损伤识别	王 鑫 孟昭博	230
西安钟楼的地震响应分析	王 鑫 孟昭博	245
一种基于脉冲耦合神经网络的图像双边滤波算法	刘 勃	255
一种基于改进 PCNN 噪声检测的两级脉冲噪声滤波算法	刘 勃	264
天水古民居的建筑艺术与文化内涵研究	南喜涛	274
后 记		283

基于脉冲耦合神经网络的图像 NMI 特征提取及检索方法

刘 勃*

为简单有效地提取图像重要特征信息从而更好地提高检索图像的精度,提出了一种基于脉冲耦合神经网络(PCNN)图像归一化转动惯量(NMI)特征提取及检索算法。首先利用改进简化 PCNN 模型相似神经元同步时空特性及指数衰减机制将图像分解为具有相关性的二值系列图像,然后提取反映原始图像目标形状、结构分布二值系列图像的一维 NMI 特征矢量信号,并将其应用在图像检索中;同时,考虑到二值系列图像间的相关性及不同图像间 NMI 序列值的差异性,引入了马氏距离结合 Pearson 积矩相关法的综合相似性度量方法。实验结果表明,所提算法对图像特征矢量序列具有良好抗几何畸变不变特性及对图像表述的唯一性,且具有较好的图像检索效果。

1 引言

图像检索是图像处理和计算机视觉中重要的研究领域,而基于内容的图像检索又是目前图像检索的主要方法和研究热点,其核心思想是表征出图像色彩、形状、纹理及轮廓等不同内容的重要特征用来作为图像索引,并由此计算要查询图像和目标图像的相似性^[1]。其中基于图像颜色检索主要利用颜色直方图进行图像间的相似性判断^[2~3]或运用统计方法提取有感知的相关颜色信息特征^[4],但存在易丢失颜色空间分布信息、图像颜色量化中会造成误检现象以及检索时间加长等问题;而基于形状的检索由于要采用边缘提取、边缘细化及形状描述等一系列几何学或拓扑处理方法^[5~9],因此形状特征图像检索中形状特征的提取和分析又显得比较复杂;基于纹理检索由于一般图像的纹理特征不太显著,而在检索中对

* 作者简介:刘勃(1970—),男,甘肃天水人,天水师范学院教授、博士,主要从事图像信号处理及人工神经网络研究。

检索图像或区域纹理的一致性要求较高^[10~11],其适用范围较小。

为此,本文在对脉冲耦合神经网络(Pulse Coupled Neural Networks,PCNN)^[12]改进与简化的基础上,把PCNN和归一化转动惯量(normalized moment of inertia,NMI)相结合,提出了一种基于PCNN图像NMI特征矢量提取与检索算法。该方法首先利用改进PCNN模型对图像进行系列二值处理,再提取其一维NMI不变特征序列信号,并将其应用在图像检索中,同时引入距离结合相关性综合相似性度量,最后通过实验验证了所提算法的有效性。

2 PCNN改进简化模型及图像二值序列分解

PCNN也称为第三代人工神经网络,是Eckhorn等人在猫、猴等动物大脑视觉皮层模型启发下提出的由若干个互连神经元构成的反馈型网络,构成PCNN的每一神经元由接收、调制和脉冲产生3部分组成,目前已被广泛地应用于图像平滑、分割、边缘检测及目标检索等图像处理领域^[13~16],显示了其优越性。

传统PCNN模型的关键思想是非线性调制耦合和阈值指数衰变机制,其中非线性调制耦合是其核心,而其阈值虽然指数衰降但又反复变化,显然,这种变化不符合视觉系统对亮度响应的非线性要求,同时这种阈值变化规律致使处理后许多神经元激活周期或激活相位中滞留大量有用信息,并且延长了PCNN的处理时间,而其直接的二值输出序列图像却并不包含全部信息。为克服传统PCNN人工设置参数多、适应性能差以及处理时间长等缺点,本文在传统PCNN模型的基础上进行了简化与改进,简化改进PCNN模型的离散数学方程描述如下:

$$F_{ij}[n] = I_{ij} \tag{1}$$

$$L_{ij}[n] = V_L \sum_{kl} W_{ijkl} Y_{ij}[n-1] \tag{2}$$

$$U_{ij}[n] = F_{ij}[n](1 + \beta L_{ij}[n]) \tag{3}$$

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1, if U_{ij}[n] \geq T_{ij}[n] \\ 0, if U_{ij}[n] < T_{ij}[n] \end{cases} \tag{4}$$

$$T_{ij}[n] = \begin{cases} T_0 e^{-\alpha_r(n-1)}, if Y_{ij}[n-1] = 0 \\ V_T, if Y_{ij}[n-1] = 1 \end{cases} \tag{5}$$

其中 ij 下标为神经元的标号, n 为迭代次数, I_{ij} 、 $F_{ij}[n]$ 、 $L_{ij}[n]$ 、 $U_{ij}[n]$ 、 $T_{ij}[n]$ 分别为神经元的外部刺激(图像像素构成矩阵中第 ij 个像素的灰度值)、第 ij 个神经元第 n 次反馈输入、链接输入、内部活动项和动态阈值, W 为链接权矩阵, β 为链接强度, V_L 、 T_0 为链接幅度常数和阈值幅度常数, T_0 一般自适应选取为待处理图像的最大灰度值 I^{max} ,即 $T_0 = I^{max}$, V_T 为一设定的较大常数, α_r 为相应的衰减

系数, $Y_{ij}[n]$ 是 PCNN 的二值输出。其中式(1)反馈输入 $F_{ij}[n]$ 和式(2)链接输入 $L_{ij}[n]$ 是在原模型基础上做了简化,而式(5)动态阈值 $T_{ij}[n]$ 是对其阈值的改进。

改进简化 PCNN 的工作原理是:在图像处理过程中,首先将一个 2 维改进型 PCNN 网络的 $M \times N$ 个神经元分别与 2 维输入图像的 $M \times N$ 个像素相对应,所有神经元结构相等且各个神经元的参数一致,在第 1 次迭代时,神经元的内部活动项就等于外部刺激 I_{ij} ,其初始阈值为 $I^{\max}$,若 I_{ij} 大于或等于初始阈值,这时神经元输出 $Y_{ij}[1] = 1$,称为激活,此时其动态阈值 T_{ij} 将急剧增大到 V_T 并一直保持不变,而其他未激活神经元($Y_{ij}[1] = 0$)的动态阈值在其后处理中随时间(或迭代次数 n)指数衰减,并且在此之后的各次迭代中,被激活的神经元通过与之相邻神经元的连接作用而激励捕获邻接神经元,若邻接神经元的内部活动项大于其动态阈值,则被捕获激活,否则不能捕获。显然,如果邻接神经元与前一次迭代激活神经元所对应的像素具有相似强度,则邻接神经元容易被捕获激活,反之则不能被捕获激活。

目前,生成二值序列图像的方法较多,有按灰度等间隔二值量化法^[17]及位平面二值处理^[18-19]等方法,但前者没有考虑序列图像中邻域像素及不同图像间的相关性,位平面法对图像分解后只是简单保留了高位平面信息,造成图像目标信息损失。而 PCNN 二值序列图像分解充分考虑视觉处理系统的特点,在每次迭代处理中,利用某一神经元激活空时特性来触发其邻域相似神经元的集体激活,生成神经元集群对应图像中具有相似性质的某一小目标区域,然后由所有不同相似小目标区域组成该次迭代的一幅二值分割图像,并且在不同迭代时刻将产生代表和反映原图像特征的不同二值图像,由此便形成一个二值序列图像,图 1 所示为改进 PCNN 处理二值序列图像中的部分二值图像。

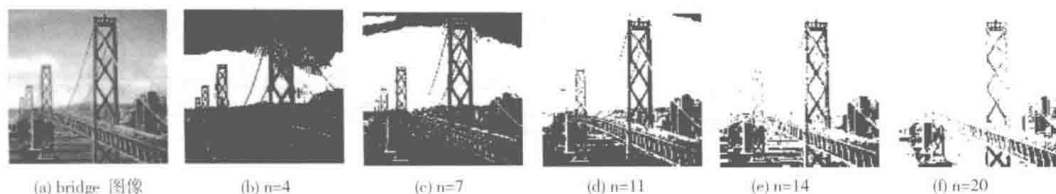


图 1 改进 PCNN 处理二值序列图像中迭代次数 对应的部分二值图像

3 图像的特征描述

3.1 图像 NMI 特征

在物理学中将一个平面离散质点系的质心(在受均匀重力场作用时质心与重

心重合)表示为

$$x_c = \frac{\sum x_r m_r}{\sum m_r}, \quad y_c = \frac{\sum y_r m_r}{\sum m_r} \quad (6)$$

其中 m_r 为坐标 (x_r, y_r) 处质点的质量, $\sum m_r$ 为质点系的质量, (x_c, y_c) 为质点系的质心, 它反应了质点系形状、大小及紧密程度等固有的一些特性。文献 [20] 将这一概念引入到数字图像处理领域, 设 2 维图像大小为 $M \times N$ 个像素可看作是 XOY 平面上的 $M \times N$ 个质点, 像素灰度值 I_{ij} 与相应质点的质量相对应, 则对图像可做如下定义:

图像总质量: 2 维灰度图像所有的灰度值之和, 记为 m , 表示为

$$m = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_{ij} \quad (7)$$

图像重心: 视为图像平面图像总质量集中的点, 记为 (i_c, j_c) , 可表示为

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N i I_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_{ij}}, \quad j_c = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N j I_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_{ij}} \quad (8)$$

图像的转动惯量: 图像绕其中任一给定点 (i_0, j_0) 的转动惯量记为 $J_{i_0 j_0}$, 表示为

$$J_{i_0 j_0} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(i - i_0)^2 + (j - j_0)^2] I_{ij} \quad (9)$$

图像转动惯量与图像中不同目标的形状大小、灰度分布和转轴点的位置有关, 但对灰度(或彩色)图像而言, 由于其灰度分布比较复杂, 不管转轴点选在图像重心或其他任何位置, 其转动惯量都是几何(旋转、平移及缩放)畸变的, 而二值图像只有 0 和 1 两种取值, 其转动惯量具有良好的抗几何畸变特性。为此根据对图像总质量、图像重心及转动惯量的描述可定义二值图像绕重心的归一化转动惯量, 简称归一化转动惯量 NMI, 这里用 λ 表示

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\sqrt{J_{i_c j_c}}}{m} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(i - i_c)^2 + (j - j_c)^2] Y_{ij}}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Y_{ij}} \\ &= \frac{\sqrt{\sum_{i,j \in \Omega} [(i - i_c)^2 + (j - j_c)^2]}}{\sum_{i,j \in \Omega} Y_{ij}} \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)中, Y_{ij} 为二值图像, Ω 为二值图像中 $Y_{ij} = 1$ 的区域, 可以看出 NMI 特征值

λ 为二值图像质量绕其重心的转动惯量与其质量之比。对不同的二值图像,可提取不同的 NMI 特征,并且 NMI 相对于传统的图像不变性特征(如图像矩特征、同心圆特征、拓扑特征等)具有提取方便、计算量小的特点。

3.2 二值序列图像 NMI 特征提取

视觉心理学家指出,人眼对一幅图像的观察认识是一个逐步剥离背景、集中于目标和部分重要细节的过程。受到这一过程的启发,本文利用符合人类视觉处理系统的 PCNN 模型,对待处理图像二值化后产生一系列彼此相关的二值图像,然后提取该二值序列图像的 NMI 不变性特征矢量序列。

利用改进 PCNN 模型在确定迭代次数 n_0 的情况下对任意图像 I_{ij} 运用式(1)~(5)进行逐层二值化处理,从而形成一个二值序列图像 $Y = \{Y[n], n = 1, 2, \dots, n_0\}$ (图 1 为二值序列图像的部分图像),再利用式(10)分别计算序列图像中每幅图像的 NMI 值,最后得到该图像的一个 NMI 特征矢量 $\Lambda = \{\lambda_n, n = 1, 2, \dots, n_0\}$ 。

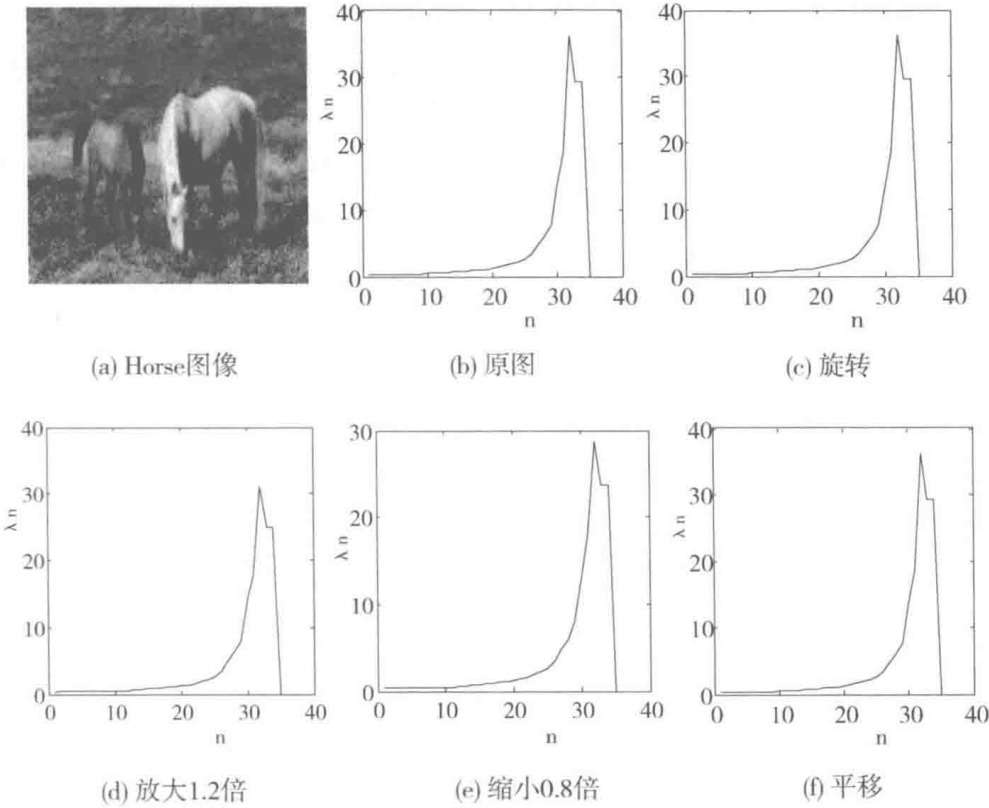


图 2 本文算法中对图像进行旋转、缩放及平移提取的 NMI 特征矢量序列

图 2 所示为提取一幅图像的 NMI 特征矢量,它和单幅图像的 NMI 特征一样

具有旋转不变、尺度不变和平移不变性,对图像几何形变具有很强的鲁棒性。另外,二值图像序列中图像之间虽有一定的差异性,但又有很大的相关性,由此提取的各 NMI 特征值能客观反映原图像像素的空间分布、目标形状、结构大小等信息,同时其特征序列能够唯一代表一幅灰度图像特征。而且二值序列图像的 NMI 特征矢量计算复杂度较低且维数较少,可以满足图像检索中存储容量和检索速度的要求。

4 相似性度量

图像入库时,提取其 NMI 特征矢量放入图像特征信息库;检索时,提取查询图像的 NMI 特征矢量与图像特征信息库中的进行相似性比较,根据比较结果输出检索结果。在本文检索算法中,由于运用 PCNN 相似神经元同步时空特性产生某一图像二值序列,其中各图像之间有很强的相关性,使提取的 NMI 特征矢量间也存在较强联系,如果简单地用欧氏距离来求相似度,可能会造成相似图像 NMI 特征距离相差很大。而文献[17]采用 Pearson 积矩相关法以及文献[19,21]采用马氏距离(Mahalanobis distance)来度量图像间的相似性,虽然取得了一定的检索效果,但不同图像内容结构的复杂性和灰度的随机性,造成提取的 NMI 特征矢量总体不一定都成正态分布或接近正态单峰分布,而且检索的两矢量之间不一定成线性关系,这样 Pearson 积矩相关检索会引起较大的误检和漏检,另外,虽然马氏距离对检索数据的分布没有严格要求,也可排除检索矢量间的相互干扰,但会夸大变化微小数据量的作用,同样会影响图像的检索效果,为此,本文从考虑上述因素,在 PCNN 处理提取 NMI 特征检索的基础上,引入了马氏距离结合 Pearson 积矩相关法的综合相似性度量。

在 R^n 空间中,设两幅图像 I^A 和 I^B 提取的 NMI 特征向量分别为 $\Lambda^A = \{\lambda_n^A, n = 1, 2, \dots, n_0\}$ 和 $\Lambda^B = \{\lambda_n^B, n = 1, 2, \dots, n_0\}$, 则综合相似性度量为

$$C(I^A, I^B) = \frac{D_M(\Lambda^A, \Lambda^B)}{|Corr(\Lambda^A, \Lambda^B)|} \tag{11}$$

当 $C(I^A, I^B)$ 越小,表示两幅图像的相似性越强。其中 $D_M(\Lambda^A, \Lambda^B)$ 为马氏距离, $Corr(\Lambda^A, \Lambda^B)$ 为 Pearson 积矩相关,分别表示为

$$D_M(\Lambda^A, \Lambda^B) = \sqrt{\sum_{u=1}^{n_0} \sum_{v=1}^{n_0} w_{uv} (\lambda_u^A - \lambda_u^B)(\lambda_v^A - \lambda_v^B)} \tag{12}$$

用向量表示形式是

$$D_M(\Lambda^A, \Lambda^B) = \sqrt{(\Lambda^A - \Lambda^B)^T S^{-1} (\Lambda^A - \Lambda^B)} \tag{13}$$

$$Corr(\Lambda^A, \Lambda^B) = \frac{\sum_{u=v=1}^{n_0} (\lambda_u^A - \overline{\Lambda^A})(\lambda_v^B - \overline{\Lambda^B})}{\sqrt{\sum_{u=1}^{n_0} (\lambda_u^A - \overline{\Lambda^A})^2} \sqrt{\sum_{v=1}^{n_0} (\lambda_v^B - \overline{\Lambda^B})^2}} \tag{14}$$

其中权值 $w_{uv} > 0$, S 为向量 Λ^A 的协方差矩阵, 其大小为 $n_0 \times n_0$, $\overline{\Lambda^A}$ 和 $\overline{\Lambda^B}$ 分别为特征向量 Λ^A 和 Λ^B 的均值。

5 实验结果与分析

本文在实验环境 Intel Core 2.0G、2.0G 内存、windowsXP, Matlab7.01 下进行。首先进行改进 PCNN 二值序列图像 NMI 特征矢量提取及抗几何畸变性实验, 然后再将 NMI 不变矢量特征应用在图像检索中。实验中采用国际上通用的 Corel 图像库, 其中包括交通工具、动物、建筑物、自然景物、花卉及不同纹理等类型的图像 3000 多幅, 从中选取 6 大类且每类包含 6 小类共 36 种分组集合。实验中不同图像在同一 PCNN 模型下进行, 参数设定是 $\beta = 0.1, V_L = 0.05, \alpha_T = 0.072, V_T = 400, n_0 = 35$, 内部连接矩阵 $W = [0.707 \ 1 \ 0.707; 1 \ 1 \ 1; 0.707 \ 1 \ 0.707]$ 。

(1) 任选多幅图像在旋转、缩放及平移的情况下运用 PCNN 模型提取 NMI 特征矢量进行抗几何畸变性实验, 文中仅选列图 1(a) bridge 和图 2(a) horse 两幅图像的实验结果。图 2(b) ~ (f) 分别为原图像生成的二值序列图像 NMI 特征矢量序列、旋转 45°、放大 1.2 倍、缩小 0.8 倍及平移后提取的 NMI 特征矢量序列, 表 1 分别为两图像在采用传统 PCNN 和改进 PCNN 时提取 NMI 的综合相似性度量及处理时间的数据结果。

表 1 采用两种 PCNN 模型提取原图像及几何畸变图像 NMI 特征矢量序列综合相似性度量和处理时间的对比数据

方法	图像	旋转		放大		缩小		平移	未畸变的原图	平均处理时间(s)
		20°	45°	1.2 倍	1.4 倍	0.6 倍	0.8 倍			
传统	bridge	0.04377	0.11320	0.07750	0.06920	0.06240	0.07250	0.00190	0.00000	19.1
PCNN	horse	0.00366	0.01391	0.00662	0.04783	0.00890	0.00370	0.00040	0.00000	
改进	bridge	0.03150	0.08050	0.05060	0.04610	0.04840	0.05830	0.00140	0.00000	3.80
PCNN	horse	0.00271	0.00983	0.00520	0.00200	0.00660	0.00190	0.00020	0.00000	

由图 1 可见, 利用改进 PCNN 对原始图像处理可获得图像间既有差别又具相关性的二值系列图像, 且该序列能代表和体现原图像的特征信息; 由图 2 可知当图像发生旋转、缩放及平移等几何畸变时提取的二值序列图像具有相似的 NMI 特

征矢量形状,虽然对不同的畸变,NMI 特征矢量值大小有所不同,但其特征矢量的曲线形状及走势是不变的;另外,从表 1 实验结果可以得出当分别采用传统与改进 PCNN 处理来提取图像的 NMI 特征,在一定误差范围内其综合相似性度量 C 值和特征提取时间后者均小于前者,主要是改进 PCNN 由于去除了传统模型中相近神经元间一些繁冗复杂的耦合以及改进了反复衰变的动态阈值,使得二值序列图像中许多重要特征信息能较多较快稳定的凸现出来,同时实验结果充分说明了由此提取的 NMI 特征矢量具有良好的抗几何畸变不变性。

(2)为验证本文所提算法的有效性并检验图像检索结果的一般性,从图像库中任意取出 10 类,每类图像中选取 10 幅图像作为示例图像,共组成 100 次查询,取这 100 次检索结果精确度 (precision) 和检索率 (recall)^[22] 的平均值作为算法相似检索评价准则来检验其平均检索结果,并与文献[17]和[18]的检索算法进行了比较,图 3 给出了本文算法同其它两种算法的 P-R 对比曲线。对不同图像检索算法而言,在相同检索条件下检索的精确度越高表明算法的检索效果越好。

为进一步检验所提算法的性能,我们采用平均归一化调整后的检索秩 (Average Normalized Modified Retrieval Rank, ANMRR)^[17] 和图像检索的计算时间来进行评测。设查询图像 q_i 的相似图像个数为 $ng(q_i)$, $i = 1, 2, \dots, Q$, GTM 是在所有查询图像中最大相似图像个数,即 $GTM = \max \{ng(q_i)\}$, $K = \min \{4ng(q_i), 2GTM\}$ 为检索结果的截断值,设与查询图像相似的图像在检索结果序列中所处位置为:

$$rank(l) = \begin{cases} l, & l \leq K \\ l + 1, & l > K \end{cases} \tag{15}$$

则 ANMRR 的定义如下:

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \frac{\sum_{l=1}^{ng(q_i)} \frac{rank(l)}{ng(q_i)} - 0.5 - 0.5ng(q_i)}{K + 0.5 - 0.5ng(q_i)} \tag{16}$$

ANMRR 值越低,查准性能越好,说明更多正确的结果排在前面。表 2 给出了三种不同算法 ANMRR 和单次图像平均检索时间的评测结果。

由实验图表可以看出本文算法在检索计算时间远小于文献[17]而与文献[18]算法相当的情况下,利用符合人类视觉处理 PCNN 的相似时空捕获特性来二值化图像,所得二值序列图像充分保留了原图像尽可能多目标信息,而由此提取的 NMI 矢量序列可充分表达和反映不同图像的特征,取得了较好检索效果;而文献[17]中只把原图像按灰度等间隔进行二值量化,没有考虑序列图像中邻域像素的空间相似性以及不同图像间的相关性,二值后序列图像中只是一些离散像素点,没有形成有效目标区域,导致不能较好提取 NMI 特征值并用于检索。文献