

# 基于脉冲发放皮层模型的图像分割方法

王 晨<sup>1,2</sup>, 樊养余<sup>1</sup>, 李 波<sup>1</sup>, 熊 磊<sup>2</sup>

(1.西北工业大学电子信息学院,陕西西安,710072;2.空军工程大学航空航天工程学院,陕西西安,710038)

**摘要** 图像分割算法对光照强度的反应较敏感,同一种算法往往很难对不同光照情况下的图像进行有效分割。基于此,提出一种基于脉冲发放皮层模型的图像分割方法。首先选用不同阶段指数函数对漏电积分器的特性近似逼近。其次,根据亮图像与暗图像之间的区别选择不同的衰减函数,使模型对不同亮度图像具有较好的适应性。实验表明该方法能够对不同光照条件下的图像进行有效地分割,同时较好地保留图像的细节信息,与改进的脉冲耦合神经网络、改进的交叉皮层模型以及二维 OTSU 算法相比,具有较强的鲁棒性。

**关键词** 图像分割;脉冲发放皮层模型;脉冲耦合神经网络;交叉视觉皮层模型;二维 OTSU

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.06.012

**中图分类号** TP391.41 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)06-0053-05

## The Method of Image Segmentation Based on Spiking Cortical Model

WANG Chen<sup>1,2</sup>, FAN Yang-yu<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1</sup>, XIONG Lei<sup>2</sup>

(1.School of Electronics & Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2.School of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** Image segmentation algorithm is sensitive to intensity of illumination. The different intensity images are not usually segregated availably based on one kind of algorithm, and therefore in this paper a method of image segmentation based on Spiking Cortical Model (SCM) is proposed. Firstly, choosing different stages membership function to approximate characteristics of dynamic thresholding attenuation. Secondly, choosing the different criterion function to suit for different intensity image based on the difference of bright image and dark image. The Experiments show that proposed algorithm could obtain the segmentation result availably and more details information of image. And it has the stronger robustness, which is better than the improved pulse-coupled neural networks, the improved Intersecting Cortical Model (ICM) and two-dimension OTSU.

**Key words:** image segmentation; spiking cortical model (SCM); pulse-coupled neural networks (PCNN); intersecting cortical model (ICM); two-dimension OTSU.

图像分割<sup>[1]</sup>是指把一幅图像分成满足一定条件的多个区域。图像在采集、传输、存储等过程中,由于光照条件、成像系统等因素的影响,经常会出现一

些亮度水平参差不齐的图像样本(即暗图像和亮图像)。如何对这一类低对比度图像进行快速、准确地分割,对后续的认识和跟踪结果的有效性具有重要

收稿日期:2014-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61379104)

作者简介:王 晨(1977—),女,陕西高陵人,讲师,博士生,主要从事数字图像处理、信号处理等研究.E-mail: wwangchen77@163.com

**引用格式:**王晨,樊养余,李波,等.基于脉冲发放皮层模型的图像分割方法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(6):53-57. WANG Chen, FAN Yangyu, LI Bo, et al. The method of image segmentation based on spiking cortical model[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(6): 53-57.

意义。

传统的图像分割方法<sup>[2-3]</sup>对非正常光照条件下的图像进行分割时,由于其目标和背景灰度相差不大,不可避免地会造成一定细节信息的丢失,而且同一种算法往往不能同时兼顾低光照与高光照2类图像的分割。

目前,视觉皮质神经网络已经被广泛地应用到图像处理的各个领域。Johnson<sup>[4]</sup>等人将Eckhorn模型和Rybak模型的同步脉冲动力学特性总结修改并用于数字图像处理中所提出的神经网络模型,被称为脉冲耦合神经网络(Pulse coupled neural networks, PCNN)。为了更适合图像处理的应用,结合其它的视觉皮质模型,Kinser提出交叉皮质模型(Intersecting cortical model, ICM)<sup>[5]</sup>。2009年Kun Zhan等人<sup>[6]</sup>提出脉冲发放皮质模型(Spiking cortical model, SCM),它继承了PCNN的耦合连接特性,又具有ICM的结构简单的特点,因此有较好的应用前景。本文采用脉冲发放皮质模型(SCM)对不同光照条件下的图像分割进行研究。

## 1 不同光照条件图像特点

由于图像亮度的差异使目标和背景灰度差发生变化,使用常用分割算法时,往往会出现一些漏分、错分甚至无效的情况。另外,不同光照条件下图像间的分界点并不明确,而且在同一类图像中也可能出现不同亮度水平的图像,因此,本文主要针对从视觉角度出发明显不同的亮度图像,并用正常、弱、强3个等级对它们进行大致分类。

正常光照条件下,图像分割较为容易。常用的方法有熵的方法<sup>[7-8]</sup>,OTSU算法<sup>[9]</sup>,及其各种改进算法<sup>[10-12]</sup>,还有一些基于特殊理论的算法。而在晚上和光照较弱时获取的图像平均灰度值很低。为了得到较为可靠的分割结果,通常在分割前先对图像进行增强,然后再分割。当光照比较强烈时,整幅图像偏亮,这时图像对比度很低,平均灰度值较高,对这一类图像进行分割时,基本步骤与弱光照图像一样,先拉伸对比度,然后再分割。图1为同一幅图像在3种典型光照条件下的成像结果及灰度。



图1 不同光照强度下的图像

Fig.1 Images of different illumination intensity

## 2 脉冲发放皮质模型 SCM

SCM模型<sup>[6]</sup>是对PCNN模型的改进,虽然与SCM有类似的同步脉冲发放特性,但是PCNN计算复杂度更高,运行耗时大于SCM。ICM只是PCNN没有连接输入(即将连接强度设为0)时的特殊情况。因此,ICM只有反馈输入。SCM同时具有PCNN和ICM的优点,既比PCNN简单,又比ICM更接近人眼视觉特性,更加适合于图像处理的应用。图2表明SCM神经元与ICM一样由突触、非线性调制、脉冲产生3部分组成。不同的是它的内部活动项把反馈输入和连接输入合并在一起,神经元通过反馈突触接收输入信号。每个与邻域相关的神经元,通过连接突触用神经元的输出信号调制邻域的活动。

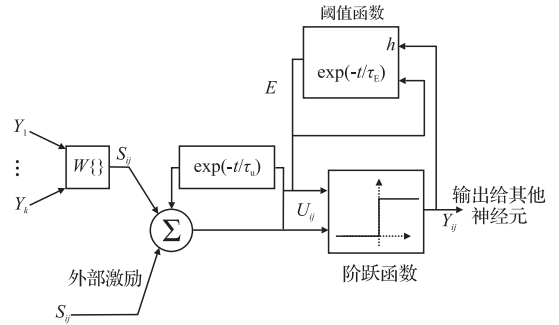


图2 SCM神经元结构图

Fig.2 Structure of SCM neuron

由于SCM是在Eckhorn模型<sup>[13]</sup>的基础上提出来的,因此它也将神经元的活动近似为漏电积分器机制,若漏电积分器的放大系数和衰减时间常数分别为 $V_x$ 和 $\tau_x$ ,则漏电积分器的单位脉冲响应可以描述为:

$$I_x(t) = V_x \exp(-t/\tau_x), \quad t \geq 0 \quad (1)$$

对于特定的 $V_x$ 和 $\tau_x$ , $I_x(t)$ 随时间 $t$ 呈指数规律衰减。

基于漏电积分器机制,得到SCM数学模型为:

$$U_{ij}[n] = E_{ij}[n-1] \exp(-t/\tau_U) + S_{ij} \sum_{kl} W_{ijkl} Y[n-1] + S_{ij} \quad (2)$$

$$E_{ij}[n] = E_{ij}[n-1] \exp(-t/\tau_E) + h Y_{ij}[n-1] \quad (3)$$

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1, & U_{ij}[n] > E_{ij}[n] \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $S_{ij}$ 为外部激励; $W_{ijkl}$ 为在连接输入时的突触权重; $\tau_U$ 为内部活动的时间衰减常数; $n$ 为迭代次数; $U_{ij}[n]$ 为其内部活动项,由模型可知SCM的内

部活动项由外部激励,连接输入和反馈输入3部分组成; $E_{ij}[n]$ 是阈值项,它也与漏电积分器相关,脉冲通过反馈去调制阈值; $\tau_E$ 为阈值的时间衰减常数; $h$ 为阈值放大系数; $Y_{ij}[n]$ 为输出脉冲。

SCM 动态阈值衰减特性使得神经元激发兴奋点火后,要等到该阈值衰减到接近该神经元亮度值时才再次兴奋点火,这与人眼感知亮度变化的滞后和指数衰减的视觉现象一致。因此,利用 SCM 进行图像处理时符合人眼的感知机制。

### 3 本文方法

#### 3.1 SCM 的衰减改进

对于不同光照强度图像,SCM 对亮度分量的处理保持指数规律衰减特性,见图3。例如对于2个相等的阈值间隔 $\Delta E_1$ 和 $\Delta E_2$ ,由于 $\Delta E_1$ 处于较亮区域,因此处理时间 $\Delta t_1$ 比较小,即处理比较粗糙。 $\Delta E_2$ 处于较暗的区域,处理时间 $\Delta t_2$ 较多,处理比较细致。这也符合 Weber-Fechner 定律中所述:人眼视觉系统对高亮度的处理没有低亮度灵敏。

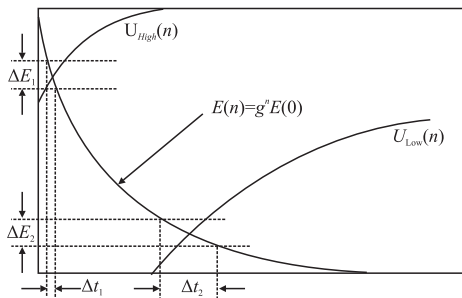


图3 不同强度外部激励的处理过程

Fig.3 Processing procedure for different intensity stimulus

SCM 的基本构成是漏电积分器,由式(2~3)可知,其对亮度分量的处理保持指数规律衰减特性。在图像处理中,其参数值往往需要通过大量同类图像的实验来近似确定。鉴于此,本文使用下述常用指数函数近似逼近漏电积分器的衰减过程:

$$f(x; [a, c]) = \frac{1}{1 + e^{a(x+c)}} \quad (5)$$

式中参数 $a$ 和 $c$ 用来确定函数形状。若漏电积分器的按式(5)进行衰减时,通过设定合适的 $a$ 和 $c$ ,使函数在图像较亮区域呈现出较大的衰减速度,即处理过程更加粗糙,几乎近似于线性水平,大大节省处理时间。而对于较暗区域,仍可保持指数规律。为了保证阈值最终能够小于神经元状态而产生脉冲发放,一般需要阈值衰减过程中的指数函数值应小于内部活动项衰减过程的指数函数值。

#### 3.2 判别函数的改进

由式(4)可知,在算法迭代的过程中,当内部活

动项 $U_{ij}[n]$ 超过动态阈值 $E_{ij}[n]$ 时就会输出脉冲。S型函数是典型的神经元非线性传输函数,使输出更可靠。因此,将式(4)中的判别条件作如下的改动:

$$U_{ij}[n] - E_{ij}[n] > 0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{1 + \exp(-\gamma(U_{ij}[n] - E_{ij}[n]))} > 0.5 \quad (7)$$

因此,脉冲输出也可以计算为:

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1, & 1/(1 + \exp(-\gamma(U_{ij}[n] - E_{ij}[n]))) > 0.5 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\gamma$ 为S型函数,本文取用典型的tanh函数作为S型函数,衰减按照tanh函数的变化规律进行。

如3.1节所述,如果亮区和暗区分别有2个灰度差值相同的像素,它们对应的SCM输出一般不相同。因此,本文采用不同的处理方法使SCM对于不同亮度条件的图像具有很好的适应性。

本文根据图像的平均灰度值将图像分为弱光照和强光照2大类,正常光照图像归为哪一类均可。然后根据图像分类的不同选择不同的 $\gamma$ 函数:

$$\gamma = \begin{cases} \gamma, & \mu < \text{median} \\ -\gamma, & \mu \geq \text{median} \end{cases} \quad (9)$$

式中: $\mu$ 为测试图像的均值;median为灰度图像的中值,取median=125。若为弱光照图像,则 $\gamma$ 函数不变,判别函数按照 $U_{ij}[n] - E_{ij}[n]$ 的差值变化使输出脉冲的判别函数按指数规律衰减。若为强光照图像,则 $\gamma$ 函数取反,判别函数按指数规律递增。算法对于强弱光照采用相反的处理方法,使判别函数按指数规律从不同方向进行变化,计算机可以根据不同的图像均值自动选择脉冲输出判别函数。

### 4 仿真实验与分析

利用Matlab环境,本文对提出算法进行仿真实验。实验分成2组,一组是对图1文本类图像进行,以证明本文算法的有效性和准确性;另一组是对经典Lena图像进行,以证明算法对复杂图像的适用性。为证明本文算法的鲁棒性,在每组实验中,分别与改进PCNN算法<sup>[10]</sup>、改进ICM算法<sup>[11]</sup>和基于二维直方图的OTSU算法<sup>[12]</sup>进行对比,实验结果见图4~6。

#### 4.1 不同光照文本图像的分割实验

在正常光照条件下,从4种算法的分割结果来看,图4(e)中的错分最少。弱光照条件下,原始图像几乎看不清文本信息,图5(e)中本文方法将文本信息中的“朱”和“乌”清楚的分割出来,并且与图5(b)相比,背景的错分较少。强光照条件下,ICM算

法失效,OTSU 和 PCNN 虽然分割出来,但与图 6 看,本文方法明显优于其它 3 种算法。(e)中结果相比,错分的较多。综上,从分割结果上



图 4 正常光照图像分割结果

Fig.4 Image segmentation results of normal illumination



图 5 弱光照图像分割结果

Fig.5 Image segmentation results of faint illumination



图 6 强光照图像分割结果

Fig.6 Image segmentation results of strong illumination

为了进一步地评价实验的结果,本文选用交叉熵(CE)、区域一致性(U)和区域对比度(C)来对上述实验进行定量分析。如表 1 所示,本文方法相比 PCNN、ICM 和 OTSU 算法具有更好的分割效果。

表 1 不同光照条件下的分割结果

Tab.1 Segmentation results of different illumination

	正常光照图像				弱光照图像				强光照图像			
	PCNN	ICM	OTSU	本文	PCNN	ICM	OTSU	本文	PCNN	ICM	OTSU	本文
CE	17.265	24.103	22.629	24.796	20.781	17.305	17.253	22.071	17.720	—	17.362	19.195
U	0.822	0.985	0.988	0.991	0.971	0.951	0.955	0.985	0.958	—	0.960	0.978
C	0.398	0.451	0.442	0.460	0.366	0.294	0.294	0.399	0.334	—	0.306	0.371

#### 4.2 Lena 图像的分割实验

实验结果见图 7~9。图中可见 PCNN 只在正常光照条件下与本文方法效果相当;在非正常光照条件下,效果均明显劣于本文方法。ICM 在正常光照条件下分割效果不及其它 3 种算法;弱光照条件下的分割结果中几乎丢失了人脸的大部分信息;强

光照条件下,ICM 算法几乎失效,分割质量严重下降。OTSU 算法可以对 3 种不同光照条件下的图像进行有效分割,但是图 7(c)中的嘴唇,图 8(c)中的鼻子以及图 9(c)的五官,从细节上看都不及本文方法的效果好。综上,本文方法较好地保留了图像的细节信息,得到了更好的分割结果。



图 7 Lena 图像正常光照图像分割结果

Fig.7 Image segmentation results of normal illumination for Lena



图 8 Lena 图像弱光照图像分割结果

Fig.8 Image segmentation results of faint illumination for Lena



图 9 Lena 图像强光照图像分割结果

Fig.8 Image segmentation results of strong illumination for Lena

## 5 结论

本文针对不同光照条件下图像分割问题,提出一种基于 SCM 的图像分割方法。从实验结果中可知,相对于 PCNN 算法、ICM 算法和二维的 OTSU 算法而言,本文方法能更有效和准确地进行图像分割。即使对于在非正常光照条件下的低对比度图像,也能表现出很好的处理性能,这使得其在红外图像以及 SAR 图像中的应用成为可能。但是,本文方法对于具有复杂背景的图像进行分割后,其结果中残留的杂质较多,分割效果不够理想,还有待于进一步研究。

## 参考文献(References):

- [1] Gonzalez Rafael C.数字图像处理[M]. 阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2005.460-465.  
Gonzalez Rafael C.Digital image processing[M]. RUAN Qi-qi,RUAN Yuzhi, translated. Beijing: Publishing house of electronics industry, 2005:460-465.(in Chinese)
- [2] Kittler J, Illingworth J. Minimum error thresholding[J]. Pattern recognition,1986,19(1):41-47.
- [3] Wong A K C, Sahoo P K. A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle[J].IEEE transactions on systems,man, and cybernetics,1989,19(4):866-871.
- [4] Johnson J L, Ritter D.Observation of periodic waves in a pulse-coupled neural network[J]. Optics letters,1993,18(10):1253-1255.
- [5] Kinser J M.A simplified pulse-coupled neural network[C]// SPIE.Orlando:SPIE press,1996:563-569.
- [6] Zhan K. New spiking cortical model for invariant texture retrieval and image processing[J]. IEEE transactions on neural networks,2009,20(12):1980-1986.
- [7] Li C H, Lee C K. Minimum cross entropy thresholding[J].

Pattern recognition,1993,26(4):617-625.

- [8] 唐英干,邸秋艳,赵立兴,等. 基于最小二维 Tsallis 交叉熵的图像阈值分割方法[J]. 物理学报,2009,58(1):17-23.  
TANG Yinggan, DI Qiuyan, ZHAO Lixin, et al. Image thresholding segmentation based on two-dimensional minimum tsallis-cross entropy[J]. Acta physica sinica,2009,58(1):17-23.(in Chinese)
- [9] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE transactions on systems, man and cybernetics, 1979,9(1):62-66.
- [10] 邓成锦,聂仁灿. PCNN 和最大相关准则相结合的图像分割方法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(14):177-179.  
DENG Chengjin, NIE Rencan. Image segmentation algorithm combined PCNN with maximal correlative criterion[J]. Computer engineering and applications, 2011,47(14):177-179.(in Chinese)
- [11] 徐建军,高山. 一种新的图像分割算法[J]. 西安电子科技大学学报,2011,38(1):8-15.  
XU Jianjun, GAO Shan. Novel image segmentation algorithm. Journal of xidian university, 2011,38(1):8-15.(in Chinese)
- [12] 吴一全,樊军. 改进的二维 OTSU 法阈值分割快速迭代算法[J]. 电子测量与仪器学报,2011,25(3):218-225.  
WU Yiquan, FAN Jun. Fast iterative algorithm for image segmentation based on an improved two-dimensional Otsu thresholding[J]. Journal of electronic measurement and instrument, 2011,25(3):218-225.(in Chinese)
- [13] 马义德,李廉. 脉冲耦合神经网络和数字图像处理[M]. 北京:科学出版社,2008:5-10.  
MA Yide, LI Lian. The coupled neural networks and digital image processing[M]. Beijing: Publishing house of science, 2008:5-10.(in Chinese)

(编辑:徐敏)