

# 脉冲耦合神经网络模型参数估计及其图像分割<sup>\* 1</sup>

胡 芳, 周冬明, 聂仁灿, 赵东风  
(云南大学 通信工程系, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 利用小波分析对图像进行多层分解, 然后用分解的低频系数重构图像作为模型链接权参数  $W$  的估计, 再用一种最佳阈值方法估计阈值  $\theta$ , 最后用最大相关准则确定网络计算的迭代次数  $N$ , 成功实现了图像的自动分割. 实验仿真表明, 该方法在模型参数自动估计的基础上避免了 PCNN 对图像的过平滑作用, 分割图像保留了良好的轮廓和更多的细节.

**关键词:** 脉冲耦合神经网络; 参数估计; 小波分析; 最大相关准则

**中图分类号:** TP 391    **文献标识码:** A    **文章编号:** 0258 - 7971 (2010)06 - 0652 - 05

图像分割是把图像中具有不同涵义的区域区分开来, 提取出感兴趣目标的技术作为图像后续分析的基础. 多年来, 随着数学各分支在理论与应用上的成熟, 研究者们已经提出了包括阈值法<sup>[1]</sup>, 区域生长法<sup>[2]</sup>, 小波分割法<sup>[3]</sup>等多种传统的分割方法. 近几年来, 一些研究人员注意到哺乳动物在图像感知和分析方面具有很强的能力, 通过对其视觉大脑皮层的研究, 提出了生物仿真结构的神经网络, 通过模拟哺乳动物的视觉特性对图像进行处理和分析, 得到了较好的结果, 它就是脉冲耦合神经网络<sup>[4]</sup> (Pulse Coupled Neural Network, PCNN).

脉冲耦合神经网络是一种从猫的大脑视觉皮层同步脉冲发放现象抽象出来的新一代人工神经网络, 目前, 它已经成功地应用于图像分割<sup>[5-11]</sup>、图像融合<sup>[12]</sup>等图像处理领域, 并体现出了较好的性能. 但是使用 PCNN 对不同的图像进行分割, 在图像分割质量评价准则中, 如果选择不当的方法, 往往造成图像错误的分割. 为了减少错误分割, 必须根据多次人工试验人工设置令人满意的参数, 同时, PCNN 神经元间的互捕获特性起着图像平滑的作用, 使图像的细节和边缘信息在图像分割处理中被丢失. 基于存在的问题, 本文利用小波低频重构的系数作为连接权矩阵, 对图像的细节和边缘进行保护; 使用迭代

算法来确定神经元的衰减阈值; 用最大相关准则来确定迭代次数, 并找到最佳分割效果图. 仿真表明, 分割图像取得了较好的效果, 对神经元参数的敏感性大大降低, 提高了该方法的有效性.

## 1 PCNN 模型

PCNN 被称为第 3 代人工神经网络, 它是在生物视觉皮层模型的启发下由若干个神经元互相耦合构成的反馈型网络. 每一个神经元都是由接收部分、调制部分和脉冲产生部分 3 部分组成, 其中接收部分接受输入后, 将其通过 2 条通道传输. 一通道称为  $F$  通道, 另一通道称为  $L$  通道. 其改进模型如图 1 所示, 它的式子如(1)到(5)所描述.

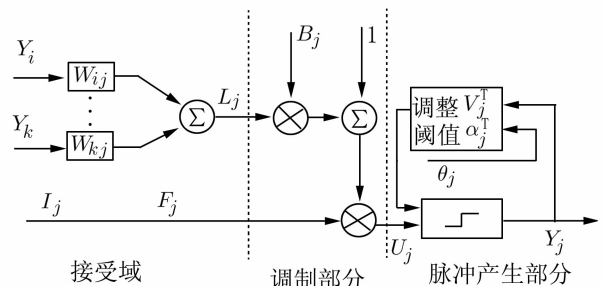


图 1 PCNN 模型

Fig. 1 PCNN model

\* 收稿日期: 2010 - 04 - 21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61065008); 云南省自然科学基金资助项目 (2007F174M); 云南大学青年基金资助项目 (2007Q024C); 云南大学研究生科研课题资助项目 (ynuy200928).

作者简介: 胡 芳 (1986 - ), 女, 湖南人, 硕士生, 主要从事神经网络理论和应用方面的研究.

通讯作者: 周冬明 (1963 - ), 男, 湖南人, 博士, 教授, 主要从事神经网络理论和应用方面的研究.

$$F_j(n) = I_j, \quad (1)$$

$$L_j(n) = V_j^L \sum_k W_{kj} Y_k(n-1), \quad (2)$$

$$U_j(n) = F_j(n) [1 + \beta_j L_j(n)], \quad (3)$$

$$\theta_j(n) = \begin{cases} V_j^T, & Y(n-1) > 0, \\ \theta_j(n-1) - \alpha_j^T, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

$$Y_j(n) = \text{step}(U_j(n) - \theta_j(n)) = \begin{cases} 1, & U_j(n) > \theta_j(n), \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

其中  $I_j$  是外部输入,即点  $(i,j)$  对应像素灰度值; $F_j$  是神经元的输入项; $L_j, U_j, Y_j, \theta_j$  分别是各个神经元的连接输入、内部活动项、脉冲输入、动态阈值.在连接域,周围神经元的脉冲输出作为反馈直接进行加权求和,然后作为神经元的连接输入.在输入域,外部信号直接作为神经元的输入.神经元的脉冲输出脉冲时阈值函数输出预设阈值  $V_j$ ,随后按指数规律衰减.

## 2 模型参数估计

用 PCNN 进行图像分割时,分割的效果取决于 PCNN 中各参数的选择,选取合适的参数,才能得到良好的分割结果.文献[5~8]都利用 PCNN 及其改进模型进行图像分割,但这些模型都面临 PCNN 参数选取难的问题,而本文 PCNN 模型参数选取中,除了  $\beta$  都是自动确定.

**2.1 迭代算法对阈值  $\theta$  的自动选取** 阈值的设定对处理后产生的结果影响非常大:过小的阈值会把不需要的内容一起提取出来;过大的阈值则会去掉一些目标物体,因此最佳阈值的确定十分重要.

求取最佳阈值的具体算法如下:

(1)为  $\theta$  选择一个初始估计值,可以将它取为图像中最大和最小灰度的中间值;

(2)使用  $\theta$  阈值时,灰度大于  $\theta$  的像素组成区域  $G_1$ ,灰度小于  $\theta$  的部分为  $G_2$ ;

(3)计算  $G_1$  和  $G_2$  区域中像素的各自的平均灰度值  $u_1$  和  $u_2$ ;

(4)取新的阈值:

$$\theta_0 = 1/2(u_1 + u_2)$$

(5)如果  $\theta_0$  和  $\theta$  相等或者相差在规定的范围内,或者达到规定的迭代次数,则将  $\theta_0$  作为最终阈值结果,否则重复 2 到 4 步的操作,知道满足要求.

## 2.2 参数 $W$ 的确定

**2.2.1 小波分析** 小波变换与传统 Fourier 变换

相比,是一种在空间域和频率域同时拥有分辨性的多尺度分析方法.小波分解可以定义为:

$$a_{j+1}[p] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h[n-2p]a_j[n] = a_j * \bar{h}[2p], \quad (6)$$

$$d_{j+1}[p] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} g[n-2p]a_j[n] = a_j * \bar{g}[2p], \quad (7)$$

小波分解可以等效于信号通过一个滤波器组,其中一个滤波器为低通滤波器,另一个为高通滤波器,信号通过它们时分别得到低频分量和高频分量.

小波重构定义为:

$$a_j[p] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h[n-2p]a_{j+1}[n] + \sum_{n=-\infty}^{+\infty} g[n-2p]d_{j+1}[n]. \quad (8)$$

**2.2.2  $W$  的确定** PCNN 在分割图像时,神经元的互捕获特性会平滑图像,使图像的细节和一些边缘信息丢失,小波的低频系数反应了图像的轮廓和边缘,对小波低频图像的重构避免了神经元过捕获带来分割图像的过平滑.本文选用 db9 作为小波基对图像进行 3 级分解,小波分解后大部分子图的小波系数都比较小,而较大的小波系数基本上都集中在第 3 级分解的低频部分,所以选择第 3 层的低频图像进行重构,把得到的重构系数作为 PCNN 模型中的链接权值参数.其表达形式如下:

$$W = \text{wrcoef} 2('a', C, S, 'db9', 3).$$

wrcoef 2 的功能是用多层小波分解得到的 C 和 S 的重构第  $N$  层的图像,这里的  $N$  是 3; C 和 S 分别代表数据矩阵和长度矢量.

**2.3 迭代次数  $N$  的确定** Yen 等提出了最大相关准则<sup>[5]</sup>来取代一般常用的最大熵准则作为选取图像分割阈值的方法,其基本原理是使图像中目标和背景的相关总量最大的阈值为最优分割阈值.设  $Y$  是  $S = \{Y_0, Y_1, Y_2, \dots\}$  上的离散随机变量,  $P_i$  是  $\{Y = Y_i\}$  的概率.根据图像直方图中对应的目标和背景分布,对相关数进行归一化处理,目标  $O$  背景  $B$  的相关数分别为:

$$S_O(t) = -\ln \sum_{i=0}^{t-1} \left[ \frac{P_i}{P(t)} \right]^2, \quad (9)$$

$$S_B(t) = -\ln \sum_{i=t}^{l-1} \left[ \frac{P_j}{1 - P(t)} \right]^2. \quad (10)$$

准则函数  $T_S(t)$  取  $S_O(t), S_B(t)$  之和

$$T_S(t) = S_O(t) + S_B(t), \quad (11)$$

最终分割结果为:

$$t^* = \arg \max T_s(t), t \in G. \quad (12)$$

取最大相关准则数对应的图像为最终分割结果图,这也是网络计算的中止条件.

### 3 基于 PCNN 的图像分割

PCNN 目前已经运用到图像处理的多个领域,而且均取得了不错的效果.尤其在图像分割方面,随着熵和相关数等概念的引入,更是有了长足的发展,但是参数选取和阈值迭代等问题还没有完全得到解决.同时对于阈值  $\theta_j(n)$  的处理,以往的方法多是对其进行迭代递减,使其遍历,大大增加了计算机的运行时间.

基于上述问题,本文提出的小波低频重构不仅能得到连接权值,而且保护图像的细节和边缘;用基于信息熵的迭代算法找到分割阈值,然后用最大相关准则确定最佳分割效果图,避免错误的分割.

本文提出的分割算法如下:

(1)设置 PCNN 的初始值,令每个神经元均熄火,  $Y = 0$ .

(2) $L = \text{Step}(Y \otimes K)$ ;  $\text{Inter} = Y$ ;  $U = F \cdot (1 + \beta L)$ ;  $Y = \text{Step}(U - \theta)$ .

(3)如果  $Y = \text{Inter}$ ,  $Y(i, j) = 1$ ,  $\text{Bin}(i, j) = 1$ ; 否则,到 Step2.

(4)用最大相关准则的 Bin 的最大值确定最佳分割效果图.

(v)  $N = N - 1$ . 如果  $N \neq 0$ ,回到(2);否则,结束.

其中: $L, U, \beta, \theta$  分别为联接矩阵、内部状态矩阵、联接强度、阈值矩阵. Bin, Inter 是用于存放中间结果的临时矩阵.

### 4 计算机仿真结果及分析

用  $256 \times 256$  的 Lena 灰度图像和  $272 \times 265$  的 blood 灰度图像进行计算机仿真,试验参数如表 1 所示.实验仿真结果如图 2~10 所示.

表 1 模型参数

Tab. 1 Model parameter estimation

图像	$\beta$	$\theta$	$W$	$N$
Lena 图	0.31	113/255	小波低频重构系数确定	20
Blood 图	0.2	105/255	小波低频重构系数确定	20



图 2 Lena 原图

Fig. 2 Lena original figure



图 3 低频重构图

Fig. 3 Reconstruction of low-frequency figure



图 4 文献[2]参数 1

Fig. 4 Parameter 1 of literature[2]



图 5 文献[2]参数 2

Fig. 5 Parameter 2 of literature[2]



图 6 文献[5]方法

Fig. 6 Methods of literature[5]



图 7 本文方法

Fig. 7 Methods of this article

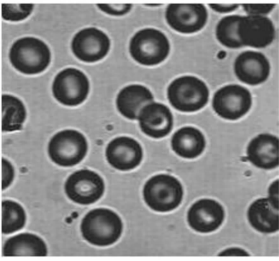


图8 Blood 原图

Fig. 8 Blood original figure

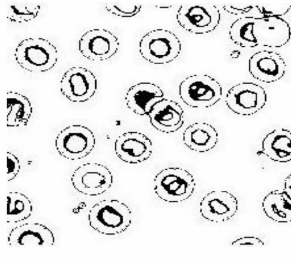


图9 文献[5]方法

Fig. 9 Methods of literatures[5]



图10 本文方法

Fig. 10 Methods of this article

从实验仿真结果,可以看出:文章 PCNN 模型参数选取中,除了  $\beta$  都是自动确定,通过阈值迭代算法确定分割阈值,通过小波低频重构来确定链接权值,在迭代过程中使用最大相关准则确定分割结果.对于 lena 图,由图 4~7 比较可以看出,采用小波低频重构系数来确定链接权值能很好地处理图像的过平滑,对图像的边缘和细节有一定的保护作用,分割出的结果较好,轮廓清晰,细节丰富(体现在头发、右侧部分);和图 4 比较,虽然分割出来的效果相差不大,但是文献[2]中的参数是通过反复试验人工选取的,非常麻烦.对于 blood 图,由图 9 和图 10 比较可知,图 10 不但能较较好地目标提取出来,而且较好地保留了原始图像的细节.

## 5 结 论

在 PCNN 模型中,神经元的捕获会带来分割图像的过平滑,利用小波分析对图像进行多层分解,而后用分解的低频系数重构图作为连接权值参数,对图像的边缘和细节有一定的保护作用;用 2.1 中的迭代阈值算法来确定分割阈值,在迭代的过程中用相关准则来确定最后的分割图.该方法得到的分割图体现了更多的细节,具有较好的理论意义和实用性.

## 参考文献:

- [1] 阴国富. 基于阈值法的图像分割技术[J]. 现代电子技术, 2007, 23(262): 107-109.
- [2] 舒添慧, 胥布工, 胡战虎. 基于区域生长法的医学图像分[J]. 微计算机信息, 2008, 24(6-3): 284-286.
- [3] 田勇, 敦建征, 马义德, 等. 小波变换与 PCNN 在图像处理中的比较与结合[J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(4): 53-55.
- [4] ECKHORN R, REIBOECK H J, ARNDT M, et al. Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulation of results form cat visual cortex [J]. Neural Computation, 1990, 2(3): 293-307.
- [5] 谭颖芳, 聂仁灿, 周冬明, 等. 基于 PCNN 和最大相关准则的图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(8a III): 370-374.
- [6] 马义德, 戴若兰, 李廉. 一种基于脉冲耦合神经网络和图像熵的自动图像分割方法[J]. 通信学报, 2002, 23(1): 46-51.
- [7] KUNTIMAD G, RANGANATH H S. Perfect image segmentation using pulse coupled neural networks[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 1999, 10(3): 591-598.
- [8] 朱冰, 祝小平, 余瑞星. 基于最大熵和 PCNN 的图像分割新方法[J]. 红外技术, 2008, 30(5): 259-262.
- [9] 吴微, 王甲琛. 基于最大相关法的图像阈值分割[J]. 西安工程科技学院学报, 2005, 19(1): 86-88.
- [10] YEN J C, CHANG F J, CHANG S. A new criterion for automatic multilevel thresholding[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1995, 4(3): 233-260.
- [11] 孙路, 毕笃彦. 基于信息熵的图像分割阈值迭代改进算法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(10): 225-228.
- [12] Sabalan Daneshvar, Hassan Ghassemian. MRI and PET image fusion by combining IHS and retina - inspired models[J]. Information Fusion, 2010, 11(2): 114-123.

## Pulse coupled neural network model parameter estimation and image segmentation

HU Fang, ZHOU Dong-ming, NIE Ren-can, ZHAO Dong-feng

(Department of Communication Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** In this paper, the wavelet analysis was applied to multi-layer decomposition of image. Then, it was linked to the right as a model parameter estimates of  $W$  with decomposition of the low-frequency coefficients of the reconstructed image. It was estimated an optimal threshold value of the threshold  $\theta$ . The final maximum correlation criterion was used to determine network iteration times  $N$ . A successful automatic image segmentation was obtained. Experimental results showed that the method automatically estimated model parameters based on PCNN image to avoid over-smoothing effect, segmentation images retained a good profile and more details.

**Key words:** pulse coupled neural network; parameter estimation; wavelet analysis; maximum correlation criterion

\* \* \* \* \*

(上接第 651 页)

## Design and implementation of query over encrypted data

ZHANG Xuan<sup>1</sup>, PENG Peng<sup>2</sup>, HUANG Qin-long<sup>3</sup>

(1. School of Software, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. School of Software, Fudan University, Shanghai 201620, China;

3. School of Computer Science and Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** In this paper, we first study some methods for queries over encrypted data, and then we present and implement a database encryption and query solution which is based on symmetric encryption and Hash technology. Our experiments demonstrate that our solution can guarantee the security of the database and at the same time provide efficient query. In addition, we have implemented data insertion, updating and deletion based on our query technology.

**Key words:** database encryption; query over encrypted data; symmetric encryption algorithm; Hash algorithm