

文章编号: 1001-0920(2006)01-0114-04

改进的模糊细胞神经网络(IFCNN)的应用与研究

付端¹, 王士同¹, 胡德文²

(1. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 国防科技大学 机电与自动化学院, 长沙 410073)

摘要: 运用模糊细胞神经网络(FCNN)来分割白细胞显微图像,在边缘检全上的效果尚不理想,针对此问题,提出了改进的模糊细胞神经网络(IFCNN),该网络基于生物细胞脉冲原理,具有好的收敛和稳定性.实验结果表明,它能有效地克服已有方法无法克服的边缘检出问题,使得分割图像能更好的接近真实图像.

关键词: 图像处理; 细胞神经网络; 模糊神经网络; 白细胞; 参数模板

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Research on Improved Fuzzy Cellular Neural Network and Its Application

FU Duan¹, WANG Shi-tong¹, HU De-wen²

(1. School of Information, Southern Yangtze University, Wuxi 214122, China; 2. College of Mechatronics and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China. Correspondent: FU Duan, E-mail: fudian008@yahoo.com.cn)

Abstract: When applied to segmentation of microscopic white blood cell images, Fuzzy Cellular Neural Network (FCNN) is not satisfactory on detecting the edge of white blood cells. An Improved Fuzzy Cellular Neural Network (IFCNN), based on the principle of cellular interactive impulse, is presented to overcome this shortage. Experimental results show that IFCNN has much less influence on edge integrity than the existing algorithms.

Key words: Image processing; Cellular neural network; Fuzzy cellular neural network; White blood cells; Parameter templates

1 引言

细胞神经网络(CNN)在实际中有较多的应用^[1].1996年,Yang等人将非线性运算 \min/\max 引入传统CNN结构,并保持了局部连接性.这种新神经网络称为模糊细胞神经网络(FCNN)结构.可见,FCNN是模糊逻辑和神经网络的结合体.它既具有模糊逻辑处理图像不确定性的能力,又具有CNN适合解决不同类型图像处理问题的能力.FCNN的特点是网络中的每个神经元执行相同的处理函数.这是它有效地实现许多以窗口为处理单位的图像处理

算法的基础,并得到了应用^[2].当其用于白细胞识别中,选用文献[3]中所运用的FCNN处理,能一次性排除图像中残余的红细胞、污渍和凝血细胞等的干扰,效果较好.然而这些模板的得出都是建立在大量实验的基础上,并没有较强的规律性,以致该模板在其他医学图像处理中并不一定能取得很好的效果.从最原始的细胞神经网络考虑,可知道中心细胞和周边细胞有前馈还是反馈的脉冲刺激,这一原理同样适用于FCNN中.倘若在FCNN中考虑细胞的状态因素,利用周边细胞的状态对中心细胞状态的影

收稿日期: 2004-11-17; 修回日期: 2005-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(60225015); 教育部重点研究项目(105087); 教育部跨世纪优秀人才基金项目(NCET-04-0496); 江苏省自然科学基金项目(BK2003017); 中国科学院软件研究所计算机科学重点实验室开放基金项目.

作者简介: 付端(1981—),男,湖北孝感人,研究生,从事人工智能、神经网络等研究; 王士同(1964—),男,江苏扬州人,教授,博士生导师,从事人工智能、神经网络等研究.

响,增加一项状态对中心细胞的刺激,这样FCNN中细胞将多一项输入,目的是当用于图像处理时能更好地使边缘像素点二值化,使得分割图边缘能够更好地与原图吻合

本文提出了改进的模糊细胞神经网络(IFCNN),并把它与FCNN进行对比说明,指出了其优越性,同时将IFCNN模型用于医学图像的边缘吻合,并使待分割部分更易于二值化输出,实验结果表明了改进的模糊细胞神经网络(IFCNN)的有效性,另外,本文所提出的新型模糊细胞神经网络同样具有收敛稳定性,限于篇幅,本文不进行详细数学证明,具体证明可参考文献[4,5]

2 改进的模糊细胞神经网络(IFCNN)

这里首先给出经典的单层 $M \times N$ 加性FCNN结构,由 M 行 N 列细胞组成,每个细胞的动力学方程为

$$C \frac{dx_{ij}}{dt} = - \frac{1}{R_x} x_{ij} + \sum_{k,l} c_{kl} A(i,j;k,l) y_{kl} + \sum_{k,l} c_{kl} B(i,j;k,l) u_{kl} + I_{ij} + \sum_{k,l} c_{kl} (A_{f \min}(i,j;k,l) + y_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (A_{f \max}(i,j;k,l) + y_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (B_{f \min}(i,j;k,l) + u_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (B_{f \max}(i,j;k,l) + u_{kl}); \quad (1)$$

输入方程为

$$u_{ij} = E_{ij}, \quad 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N; \quad (2)$$

输出方程为

$$y_{ij} = f(x_{ij}) = 0.5(|x_{ij} + 1| - |x_{ij} - 1|); \quad (3)$$

约束条件为

$$\begin{cases} |x_{ij}(0)| \leq 1, & |u_{ij}| \leq 1, \\ 1 \leq i \leq M, & 1 \leq j \leq N; \end{cases}$$

对称条件为

$$\begin{cases} A(i,j;k,l) = A(k,l;i,j), \\ A_{f \min}(i,j;k,l) = A_{f \min}(k,l;i,j), \\ A_{f \max}(i,j;k,l) = A_{f \max}(k,l;i,j), \\ 1 \leq i \leq M, & 1 \leq j \leq N. \end{cases} \quad (4)$$

其中:符号“ \wedge ”和“ \vee ”表示模糊的“与”(min)和“或”(max)运算,加性是指模糊权与输入或输出信号之间的加法连接,变量 x, y, u 都是电压信号,网络连接拓扑结构通常由矩形 r 邻域所决定,即

$$N_r(i,j) = \{C_{kl} | \max(|k-i|, |l-j|) \leq r, 1 \leq k \leq M; 1 \leq l \leq N\}.$$

可将 C_{ij} 与 C_{Mj} 连接, C_{i1} 与 C_{N1} 连接,这样FCNN便形成了封闭流形,其细胞是空间不变的,因此FCNN的控制参数组为模板: $\{A, B, A_{f \min}, A_{f \max}, B_{f \min}, B_{f \max}, C, R_x, I_{ij} = I\}$.控制前6个参数是FCNN模拟逻辑编程的主要途径,而 C 和 R_x 则用来决定动态响应时间常数

考虑到周边细胞的状态对中心细胞的影响,本文在IFCNN中用一个被称为模糊状态的输入来反映,并且在原有的FCNN模型上增加了模糊状态模块,从而得到了下面的新模型——IFCNN.其状态方程为

$$C \frac{dx_{ij}}{dt} = - \frac{1}{R_x} x_{ij} + \sum_{k,l} c_{kl} A(i,j;k,l) y_{kl} + \sum_{k,l} c_{kl} B(i,j;k,l) u_{kl} + I_{ij} + \sum_{k,l} c_{kl} (A_{f \min}(i,j;k,l) + y_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (A_{f \max}(i,j;k,l) + y_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (B_{f \min}(i,j;k,l) + u_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (B_{f \max}(i,j;k,l) + u_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (F_{f \min}(i,j;k,l) + x_{kl}) + \sum_{k,l} c_{kl} (F_{f \max}(i,j;k,l) + x_{kl}). \quad (5)$$

在此模型中,它的输入方程,输出方程,约束条件与FCNN模型相同,但新模型的对称条件比FCNN多了 $F_{f \max}(i,j;k,l) = F_{f \max}(k,l;i,j), F_{f \min}(i,j;k,l) = F_{f \min}(k,l;i,j)$ 的约束

式(5)中 u_{kl} 表示领域细胞 $c(k,l)$ 的输入, y_{kl} 表示领域细胞 $c(k,l)$ 的输出, x_{kl} 表示细胞当前所处状态, $A(i,j;k,l)$ 表示 $c(k,l)$ 的输出 y_{kl} 与 $c(i,j)$ 之间的联接权; $B(i,j;k,l)$ 表示 $c(k,l)$ 的输入 u_{kl} 与 $c(i,j)$ 之间的联接权.在对细胞神经网络(CNN)引入非线性运算min/max后, $A_{f \max}(i,j;k,l)$ 和 $A_{f \min}(i,j;k,l)$ 表示 $c(k,l)$ 的输出 y_{kl} 与 $c(i,j)$ 之间模糊反馈联接权; $B_{f \max}(i,j;k,l)$ 和 $B_{f \min}(i,j;k,l)$ 表示 $c(k,l)$ 的输入 u_{kl} 与 $c(i,j)$ 之间的前馈联接权.本文中,用 $F_{f \max}(i,j;k,l)$ 和 $F_{f \min}(i,j;k,l)$ 表示 $c(k,l)$ 的状态与 $c(i,j)$ 的模糊状态联接权,并称由元素 $A(i,j;k,l)$ 组成的矩阵 A ,元素 $B(i,j;k,l)$ 组成的矩阵 B

以及由 $A_{f \max}(i, j; k, l), A_{f \min}(i, j; k, l), B_{f \max}(i, j; k, l), B_{f \min}(i, j; k, l), F_{f \max}(i, j; k, l)$ 和 $F_{f \min}(i, j; k, l)$ 各自组成的矩阵为模板, 它们都是由 $(2r+1)^2$ 个元素组成, 而每个神经元与相邻神经元的联接都是由这些模板中的元素所决定

比较式(5)和式(1), 可以发现在定义的新型模型中多了模糊状态模块 $(F_{f \min}(i, j; k, l) + c_{kl} N_r(i, j) x_{kl}) + (F_{f \max}(i, j; k, l) + x_{kl})$, 此模块的引

用加强了网络中细胞之间的前馈和反馈作用, 能充分利用整幅图像中白细胞区域和非白细胞区域的信息量, 使得分割出的区域更接近真实的白细胞区域, 并促使边缘部分加速收敛, 使分割出的白细胞边缘更加的清晰准确 为了满足系统的对称性, 与状态量 x_{ij} 有关的参数模板都应该是对称矩阵, 这与 FCNN 是一致的 笔者在实验中发现用原来的 FCNN 处理图像后所得的分割图像, 虽能较好的去除杂质, 但不能很好与原始图像吻合, 特别在边缘部分 与 FCNN 相比, 用 IFCNN 进行处理, 不仅能保持 FCNN 的优点, 而且能很好地消除杂质 模块的引入使待分割图像更好地逼近真实图像, 在保全边缘完整性上有其自己的优势 IFCNN 应用于图像处理时, 它的规模与待处理图像的规模相同, 如果待处理的图像包含 $M \times N$ 个像素点, 则 IFCNN 就包含 $M \times N$ 个细胞神经元, 这里像素点与细胞一一对应处理时, 每一个神经元的状态按照式(5)迭代改变, 直至整个网络收敛 这种方法就是将整个图像函数转化为一个动态系统, 而动态方程则指导神经元的状态向 IFCNN 所定义的最小的最低能量方向变化 由于模块的引入, 用 IFCNN 进行处理时能使待分割图像更好地逼近真实图像, 在保全边缘完整性上有

其自己的优势

另外, 细胞神经网络应具有收敛性和全局稳定性 由文献[4, 5], 可知 FCNN 是全局稳定的, 所以用类似的方法可证明新的改进的 FCNN 仍保持收敛性和全局稳定性, 限于篇幅, 此处略

3 实验结果

本文所提出的 IFCNN 能够做到在同一处理过程中兼顾色调信息和结构知识 由于 IFCNN 考虑了细胞状态的因素, 可免去确定经验参数的不便, 在模板选取上有更大的空间 这是考虑采用 IFCNN 的原因之一 另一个重要原因就是 IFCNN 在实时图像处理方面具有独特的优势, 具有实时性, 对提高系统处理速度会有很大帮助 在实验中, 用 FCNN 进行白细胞检出时, 选用文献[3]中的参数模板, 并在其基础上, 进行反复实验 对于此具体问题, 本文采用如下的参数模板:

$$A = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A_{f \min} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 2/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix},$$

$$A_{f \max} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 0 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix},$$

$$B_{f \min} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}, B_{f \max} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$F_{f \min} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 2/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 5/9 \end{bmatrix},$$

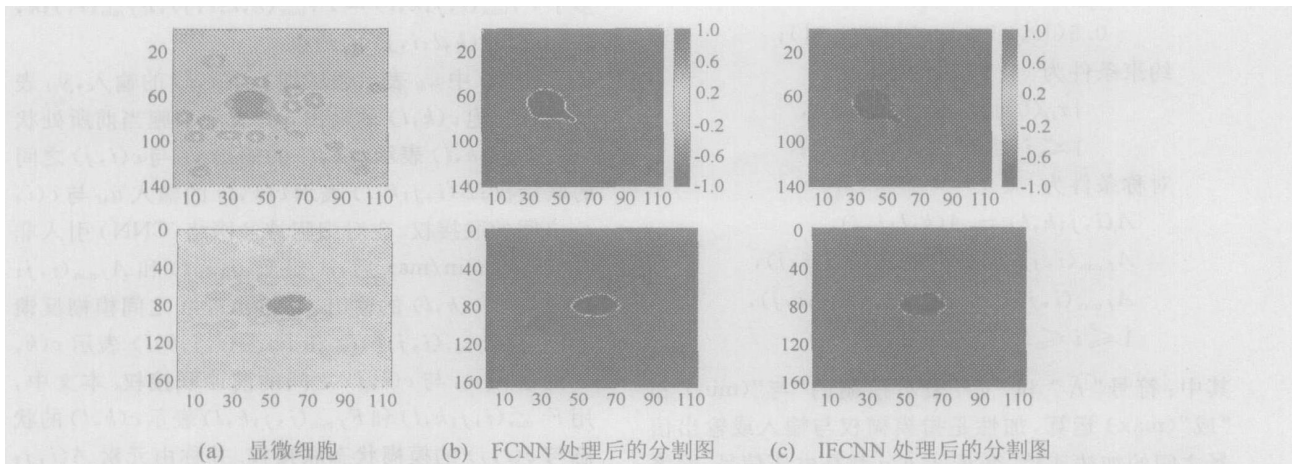


图 1 实验结果比较

$$F_{f \max} = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 2/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 3/9 \end{bmatrix},$$

$$R_x = 1, I = 0, u = X, y = Y.$$

为了使实验结果的比较具有公正性,均采取了 50 步的迭代过程。下面是对两种不同白细胞(单核、中性干状)的血液涂片进行白细胞检出的结果。在第 1 组图片中给出色标,对应其二值化输出。

从图 1 中可以发现经 IFCNN 处理后的分割图虽然其边缘并没有百分之百的二值化,但对比经 FCNN 处理后的分割图,其边缘更接近真实边缘,而所得白细胞更加完整。为了更好的量化所得实验结果,在本文中,笔者定义了边缘检全率

$$\text{Binary rate} = \left(\frac{E1}{E2} \right) \times 100\%.$$

式中 $E1$ 表示已二值化边缘像素点数, $E2$ 表示本应二值化边缘像素点数。对应于 6 类白细胞图像的量化值如表 1 所示,此表很清楚地显示了 IFCNN 的优势。

表 1 边缘检全率比较 (%)

边缘 检全率	单核	淋巴	嗜碱	嗜酸	中性 干状	中性 分叶
FCNN	2.0	2.3	1.9	2.4	5.0	5.8
IFCNN	98.4	97.6	98.4	97.9	81.8	88.5

4 结 语

血液显微图像分割的复杂性使得其分割成为一个有难度但又不失挑战意义的课题。尽管中外学者已经提出了许多的分割技术,但在很多情况下,为了降低图像分割误差给后续识别处理带来的影响,单个白细胞依然通过手工方式检出。本文就 FCNN 在细胞显微图像分割中的不足,提出了一种新模型 IFCNN,该模型在对血液显微图像白细胞自动识别

中的白细胞检出有很好的适应性,其检准率、边缘检全性高,实时性能强。实验结果证明了其优良性能,为后续处理奠定了良好的基础。并且由于模糊状态模板的引入,使得参数模板调节有更大的灵活性^[6],并有可能得出适用于医学图像处理的参数模板,这是笔者下一步研究的工作。

参考文献(References)

- [1] Chua L O, Yang L. Cellular Neural Networks: Applications [J]. *IEEE Trans on Circuits System*, 1988, 32(10): 1273-1290.
- [2] Yang T, Yang L B. Fuzzy Cellular Neural Network: Theory [A]. *Proc Int'l Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications* [C]. New York: IEEE, 1996: 225-230.
- [3] 王敏, 王士同. 基于MAT 理论和新型模糊细胞神经网络的医学细胞识别研究[D]. 镇江: 华东船舶工业学院, 2002: 22-33.
(Wang M, Wang S T. *Study on Medical Cell Recognition Based on MAT and new fuzzy cellular Neural Network* [D]. Zhenjiang: East China Shipbuilding Institute, 2002: 22-33.)
- [4] Tao Y, Yang L B. The Global Stability of Fuzzy Cellular Neural Network [J]. *IEEE Trans on Circuits System*, 1996, (43): 880-883.
- [5] 陈安平, 袁顺莲. 模糊细胞神经网络的全局稳定性[J]. *柳州师范高等专科学校学报*, 2001, 22(5): 6-9.
(Cheng A P, Yuan S L. The Global Stability of Fuzzy Cellular Neural Network [J]. *J of Binzhou Normal Educational College*, 2001, 22(5): 6-9.)
- [6] Lin C T, Chang C L, Cheng W C. A Recurrent Fuzzy Cellular Neural Network System with Automatic Structure and Template Learning [J]. *IEEE Trans on Circuits System*, 2004, 51(2): 1057-1122.

(上接第 113 页)

[6] 董春曦, 饶鲜, 杨绍全, 等. 支持向量机参数选择方法研究[J]. *系统工程与电子技术*, 2004, 26(8): 1117-1120.
(Dong C X, Rao X, Yang S Q, et al. Method for Selecting the Parameters of Support Vector Machines [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2004, 26(8): 1117-1120.)

[7] 张彤, 王宏伟, 王子才. 变尺度混沌优化方法及其应用[J]. *控制与决策*, 1999, 14(3): 285-287.
(Zhang T, Wang H W, Wang Z C. Mutative Scale Chaos Optimization Algorithm and Its Application [J]. *Control and Decision*, 1999, 14(3): 285-287.)