

结合脉冲耦合神经网络与模糊算法进行四值图像去噪¹

顾晓东 程承旗* 余道衡

(北京大学电子学系 视觉与听觉信息处理国家重点实验室 北京 100871)

*(北京大学遥感与地理信息系统研究所 北京 100871)

摘 要: 该文研究了如何将模糊算法用于脉冲耦合神经网络 (Pulse Coupled Neural Network, PCNN), 进行四值图像去噪, 提出了基于模糊 PCNN 的图像去噪算法。计算机仿真结果表明, 将模糊算法与 PCNN 相结合, 可有效地去除被噪声污染的四值图像的噪声, 且恢复图像的视觉效果明显地好于用另两种常用的图像去噪方法 (中值滤波和均值滤波) 得到的结果。在医用图像和军事图像处理方面, 四值图像的去噪恢复是非常有价值的, 故本文对于 PCNN 的理论研究和实际应用均有重要的意义。

关键词: 模糊 PCNN, 图像去噪

中图分类号: TN911.73, TN-052 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2003)12-1585-06

Noise-Reducing of Fourlevel Image Using PCNN and Fuzzy Algorithm

Gu Xiao-dong Cheng Cheng-qi* Yu Dao-heng

(Dept. of Electron., Nat. Lab. on Machine Perception and Center of Info. Sci.,

Peking University, Beijing 100871, China)

*(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract This paper describes how to combine PCNN(Pulse Coupled Neural Network) with fuzzy algorithm to reduce the noise of four-level images. Meanwhile, the image noise-reducing algorithm based on the fuzzy PCNN is brought forward. The results of computer simulations show that noisy four-level images can be restored efficiently by using fuzzy PCNN and visual effects of restoration images by using fuzzy PCNN are much better than those by using two usual image noising-reducing methods, the median filter and the mean filter. Noise-reducing of the four-level images plays an important role in the medical image processing and the military image processing. Therefore, this paper contributes to both the theoretical researches on PCNN and the applications of PCNN.

Key words Fuzzy PCNN, Noise reducing of image

1 引言

脉冲耦合神经网络 (Pulse Coupled Neural Network, PCNN) 是在 90 年代发展形成的与传统的人工神经网络有着根本不同的人工神经网络。PCNN 有着生物学的背景, 它是依据猫、猴等动物的大脑视觉皮层上的同步脉冲发放现象提出的^[1,2]。PCNN 可广泛地应用于图像处理、图像识别、决策优化等方面^[3-6]。

2001 年, 在国内, 我们在《电路与系统学报》上首次综述了 PCNN^[7]。同时, 深入研究了 PCNN, 将其有效地用于二值图像去噪^[8]。在文献 [8] 中, 我们将基于 PCNN 的二值图像去噪方法与另两种常用的图像去噪方法 (中值滤波与均值滤波) 进行比较, 结果发现, 用 PCNN

¹ 2002-07-22 收到, 2002-12-06 改回
国家 863 计划基金资助项目 (2002AA783060)

恢复的二值图像的效果明显好于用中值滤波和均值滤波得到的结果。我们在文献 [8] 中提出的 PCNN 图像去噪算法，也可用于多值 (大于二值) 图像的去噪，但对大于二值的多值图像，如四值图像，PCNN 恢复图像的主观视觉效果与中值滤波，均值滤波得到的结果相比，不像处理二值图像时那样，存在着明显的优势。在医用图像和军事图像处理方面，四值图像的去噪恢复是非常有价值的，故有必要对其进行深入的研究。

本文将 PCNN 与模糊算法相结合，提出了模糊 PCNN 图像去噪算法，用于四值图像的去噪恢复。计算机仿真结果表明，引入模糊算法后，PCNN 的去噪能力得到了进一步的增强，用模糊 PCNN 能有效地去除四值图像的噪声，且用模糊 PCNN 恢复的四值图像的效果明显好于中值滤波和均值滤波得到的结果。

本文的第 2 节将介绍如何用模糊 PCNN 进行四值图像去噪。第 3 节给出了基于模糊 PCNN 的四值图像去噪的计算机仿真结果，并分别与中值滤波、均值滤波的计算机仿真结果进行了比较。第 4 节为结论。

2 用模糊 PCNN 进行四值图像去噪

2.1 PCNN 的基本模型

PCNN 是在 Eckhorn 提出的连接模型的基础上得到的 [3,9]。构成 PCNN 的单个神经元由 3 部分组成：接收部分、调制部分和脉冲产生部分，其模型见图 1，该模型是对真实神经元的简化和近似。迭代式 (1)-(5) 对 PCNN 神经元进行了描述。

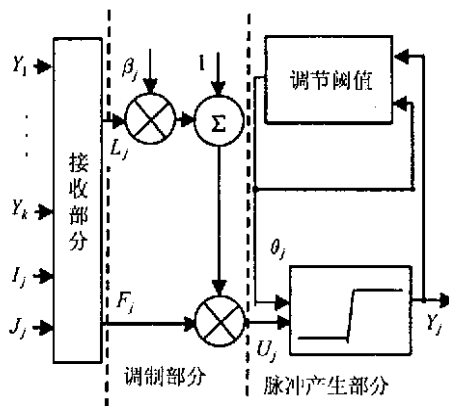


图 1 构成 PCNN 的单个神经元的模型

接受部分接受来自其它神经元和外部的输入。接收部分接受到输入后，将其通过两条通道传输。其中，一条通道称为 F 通道，另一通道称为 L 通道。F 通道的脉冲响应函数随时间的变化比 L 通道慢。式 (1),(2) 中的 M_{kj} 和 W_{kj} 表示突触联接权； α_{kj}^F 和 α_{kj}^L 为时间常数； I_j 和 J_j 表示输入常量。调制部分将来自 L 通道的信号 L_j 加上一个正的偏移量后与来自 F 通道的信号 F_j 进行相乘调制，得到内部状态 U_j ，见图 1 和式 (3)，模型中偏移量归整为 1， β_j 为联结强度。 U_j 输入到脉冲产生部分，如 U_j 大于阈值 θ_j ，该神经元输出一个脉冲 (即点火)，接着神经元的阈值通过反馈迅速得到提高。另一方面，阈值 θ_j 随着时间的增加指数下降。式 (4) 中， V_j^T 与 α_j^T 分别表示阈值的幅度系数与时间常数。式 (5) 中， $\text{Step}(\cdot)$ 为阶跃函数。 Y_j 为

神经元 j 的输出。

$$F_j = \sum_k F_{kj} = \sum_k [M_{kj} \exp(-\alpha_{kj}^F t)] \otimes Y_k(t) + I_j \tag{1}$$

$$L_j = \sum_k L_{kj} = \sum_k [W_{kj} \exp(-\alpha_{kj}^L t)] \otimes Y_k(t) + J_j \tag{2}$$

$$U_j = F_j(1 + \beta_j L_j) \tag{3}$$

$$d\theta_j/dt = -\alpha_j^T \theta_j + V_j^T Y_j(t) \tag{4}$$

$$Y_j = \text{Step}(U_j - \theta_j) \tag{5}$$

将图 1 所示的神经元相互连接, 就构成了 PCNN。当 PCNN 用于图像处理时, 它为一单层二维的局部连接的网络, 神经元的个数等于输入图像中像素点的个数, 神经元与像素点一一对应。每一个神经元与对应的像素点相连, 同时与邻近的神经元相连。一般来说, 当一个神经元的邻近神经元点火时, 会对该神经元的信号 L_j 作出贡献。本文神经元采用同样的连接方式。每个像素点的亮度输入到对应的神经元, 同时每个神经元与其 3×3 邻域中的其他神经元相连。每个神经元的输出只有两种状态, 点火或不点火。

本文进行四值图像去噪时, 首先用 PCNN 去除被污染图像的噪声^[8], 得到初步的结果, 然后用模糊算法对其进行处理, 得到最终的去噪恢复结果。

用 PCNN 去除被污染图像的噪声时, 依据各像素点对应的神经元及临近神经元的点火状况, 调整各像素点的亮度值^[8]。

2.2 在 PCNN 中引入模糊算法

模糊理论是控制论专家 Zadeh 在 60 年代提出的。设计一个模糊系统时, 必须构造模糊集, 选取模糊规则, 确定隶属函数, 确定模糊决策算法。本文中, 对通过 PCNN 调整得到的各像素点的亮度值在其 3×3 邻域内进行模糊运算, 从而得到最终的结果。四值图像的 4 个灰度值为 (0, 85, 170, 255)。 $\mu_1(i), \mu_2(i), \mu_3(i), \mu_4(i)$ 为像素点 i 的 4 个隶属函数, 见式 (6)。其大小由像素点 i 及其邻域内的其它像素点的经 PCNN 调整后的亮度值共同决定。各像素点均采用同样的隶属函数。与隶属函数 $\mu_1(i), \mu_2(i), \mu_3(i), \mu_4(i)$ 相对应的输出函数分别为 $f(\mu_1(i)), f(\mu_2(i)), f(\mu_3(i)), f(\mu_4(i))$ 。各像素点均采用同样隶属函数与输出函数。由式 (6) 可知, 上述隶属函数反映了各像素点经 PCNN 调整后的亮度值距离 4 个灰度值的远近, 故采用极小决策, 即哪一个隶属函数的值最小, 则选定该隶属函数, 将其对应的输出函数的 (见式 (7)) 输出作为最终的结果。例如, 若某像素点通过式 (6) 计算, 在 $\mu_1(i), \mu_2(i), \mu_3(i), \mu_4(i)$ 这 4 个隶属函数中, $\mu_2(i)$ 的值最小, 则以 $\mu_2(i)$ 对应的输出函数 $f(\mu_2(i))$ 的输出为最终的结果。

$$\left. \begin{aligned} \mu_1(i) &= \sum_{k \in N(i)} |d_{ik}|/9, & \mu_2(i) &= \sum_{k \in N(i)} |d_{ik} - 85|/9 \\ \mu_3(i) &= \sum_{k \in N(i)} |d_{ik} - 170|/9, & \mu_4(i) &= \sum_{k \in N(i)} |d_{ik} - 255|/9 \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

式 (6) 中, $N(i)$ 表示像素点 i 的 3×3 邻域 (本文中包含像素点 i 自身); d_{ik} 表示第 i 个像素

点邻域内像素点 k 的亮度值, 其中, d_{ii} 表示像素点 i 自身的亮度值。

$$f(\mu_1(i)) = \begin{cases} 0, & d_i \leq 85 \\ 85, & d_i > 85 \end{cases}, \quad f(\mu_2(i)) = \begin{cases} 0, & d_i \leq 0 \\ 85, & 0 < d_i < 170 \\ 170, & d_i \geq 170 \end{cases} \\ f(\mu_3(i)) = \begin{cases} 85, & d_i \leq 85 \\ 170, & 85 < d_i < 255 \\ 255, & d_i \geq 255 \end{cases}, \quad f(\mu_4(i)) = \begin{cases} 170, & d_i \leq 170 \\ 255, & d_i > 170 \end{cases} \quad (7)$$

式 (7) 中, d_i 表示像素点 i 的亮度值。

上述的模糊算法中, 隶属函数的确定考虑到四值图像所固有的四值特性, 从而在模糊处理中用到了四值图像的四值特性。将模糊算法与 PCNN 相结合, 提高了 PCNN 去除四值图像噪声的能力。

3 四值图像去噪的计算机仿真结果

计算机仿真结果表明, 引入模糊算法后, PCNN 的去噪能力得到了进一步的增强, 用模糊 PCNN 可有效地去除被噪声污染的四值图像的噪声, 恢复被污染的四值图像, 且四值恢复图像的视觉效果明显地好于用另两种常用的图像去噪方法 (中值滤波与均值滤波)^[10] 得到的结果。

图 2 是被白高斯噪声污染的飞机图像, 其信噪比 SNR=3dB。图 3 为图 2 的 5 点中值滤波四值恢复图像; 图 4 是图 2 的 3×3 均值滤波四值恢复图像; 图 5 为图 2 的未加模糊算法时的 PCNN 四值恢复图像; 图 6 是图 2 的模糊 PCNN 四值恢复图像。通过对比, 可发现图 6 比图 3、图 4 与图 5 更清晰, 其主观视觉效果明显好于图 3、图 4 与图 5。比较图 6 与图 5, 可发现在 PCNN 中加入模糊算法后, 四值恢复图像的视觉效果比未加模糊算法时得到了明显的提高。



图 2 被污染的四值图像,
SNR=3dB



图 3 图 2 的中值滤波
四值恢复图像



图 4 图 2 的均值滤波
四值恢复图像



图 5 图 2 未用模糊算法时的
PCNN 四值恢复图像



图 6 图 2 的模糊 PCNN
四值恢复图像

图 7 是被白高斯噪声污染的某患者进行肺癌射频消融治疗时肺部的局部 CT 图像, $SNR=3\text{ dB}$ 。图 8 为图 7 的 5 点中值滤波四值恢复图像; 图 9 为图 7 的 3×3 均值滤波四值恢复图像; 图 10 为图 7 的未加模糊算法时的 PCNN 四值恢复图像; 图 11 为图 7 的模糊 PCNN 四值恢复图像。通过对比, 可发现图 11 比图 8、图 9 与图 10 更清晰, 其主观视觉效果明显好于图 8、图 9 与图 10。比较图 11 与图 10, 可发现在 PCNN 中加入模糊算法后, 四值恢复图像的视觉效果比未加模糊算法时得到了明显的提高。

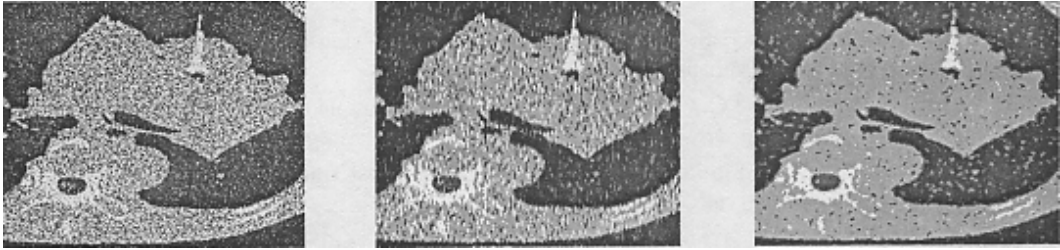


图 7 被污染的肺部局部 CT 图像
 $SNR=3\text{ dB}$

图 8 图 7 的中值滤波
四值恢复图像

图 9 图 7 的均值滤波
四值恢复图像

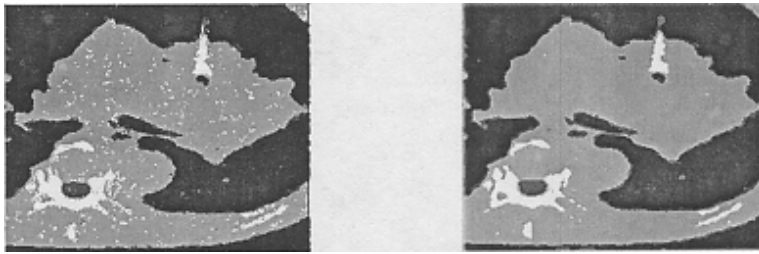


图 10 图 7 未用模糊算法时的
PCNN 四值恢复图像

图 11 图 7 的模糊 PCNN
四值恢复图像

4 结论

在文献 [8] 中, 我们提出了基于 PCNN 的图像去噪算法, 并将其与另两种常用的图像去噪方法 (中值滤波和均值滤波) 进行比较, 结果发现, 用 PCNN 恢复的二值图像的效果明显好于用中值滤波和均值滤波得到的结果。该算法也可用于多值 (大于二值) 图像的恢复。但对大于二值的多值图像, 如四值图像, PCNN 恢复图像的主观视觉效果与中值滤波, 均值滤波得到的结果相比, 不像处理二值图像时那样存在着明显的优势。

本文中, 我们将模糊算法与 PCNN 相结合, 提出了基于模糊 PCNN 的四值图像去噪方法。计算机仿真结果表明, 引入模糊算法后, PCNN 的去噪能力得到了进一步的增强, 用模糊 PCNN 能有效地去除被噪声污染的四值图像的噪声, 且恢复图像的效果明显优于用中值滤波和均值滤波得到的结果。由此可见, 基于模糊 PCNN 的图像去噪方法是一种有效的四值图像去噪方法。这在医用图像和军事图像处理方面, 是非常有价值的。如何更深入地将模糊 PCNN 用于 256 级灰度图像的去噪, 这一方面还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Eckhorn R, Reitboeck H J, Arndt M, *et al.*. Feature linking via synchronization among distributed assemblies, Simulation of results from cat cortex. *Neural Computation*, 1990, 2(3): 293-307.
- [2] Eckhorn R, Frien A, Bauer R, *et al.*. High frequency oscillations in primary visual cortex of awake monkey. *NeuroReport*, 1993, 4(3): 243-246.
- [3] Johnson J L, Padgett M L. PCNN models and applications. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999, NN-10(3): 480-498.
- [4] Kuntimad G, Ranganath H S. Perfect image segmentation using pulse coupled neural networks. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999, NN-10(3): 591-598.
- [5] Ranganath H S, Kuntimad G. Object detection using pulse coupled neural networks. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999, NN-10(3): 615-620.
- [6] Jcaufield H, Kinser J M. Finding shortest path in the shortest time using PCNN's. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999, NN-10(3): 604-606.
- [7] 顾晓东, 余道衡. PCNN 的原理及其应用. *电路与系统学报*, 2001, 6(3): 45-50.
- [8] 顾晓东, 郭仕德, 余道衡. 一种基于 PCNN 的图像去噪新方法. *电子与信息学报*, 2002, 24(10): 1304-1309.
- [9] John J L, Ritter D. Observation of periodic waves in a pulse-coupled neural network. *Opt. Lett.*, 1993, 18(15): 1253-1255.
- [10] 张远鹏, 董海, 周文灵. *计算机图像处理技术基础*. 北京: 北京大学出版社, 1996 年 9 月第一版: 89-93.

顾晓东: 男, 1970 年生, 博士生, 从事信号与信息处理、通信、人工神经网络等领域的研究.

程承旗: 男, 1961 年生, 研究方向为遥感图像处理.

余道衡: 男, 1939 年生, 教授, 博士生导师, 中国电子学会会士, IEEE 高级会员, 从事电路与系统、信号与信息处理、现代通信等领域的教学与科研工作.