

一种改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型

潘 改

江苏师范大学电气工程及自动化学院, 江苏 徐州
Email: pan11-2008@163.com

收稿日期: 2021年7月1日; 录用日期: 2021年7月26日; 发布日期: 2021年8月2日

摘 要

在传统脉冲耦合神经网络模型(PCNN)中, 当神经元的内部活动项大于动态阈值时输出脉冲, 根据输出脉冲分割出图像目标。分割弱边界的图像目标时, 由于动态阈值的衰减时间常数固定不变, 动态阈值的衰减速度过快或过慢于理论需要的衰减速度时, 影响神经元的内部活动项与动态阈值的比较, 发送错误的脉冲信号, 产生误分割现象。为了解决这一问题, 本文利用人眼对图像亮度的敏感性, 使动态阈值的衰减速度与入眼对亮度的敏感度相一致, 提出将人眼亮度权重系数作为动态阈值的衰减时间常数的系数, 得到新的动态阈值。通过对含有弱边界、目标不规则、目标像素点的灰度值与背景像素点的灰度值存在重叠区域的图像进行仿真对比实验, 实验结果说明本文提出的算法优于传统脉冲耦合神经网络模型。

关键词

脉冲耦合神经网络模型, 衰减时间常数, 人眼亮度权重系数

An Improved Pulse Coupled Neural Network Model with Decay Time Constant

Gai Pan

School of Electrical Engineering and Automation, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu
Email: pan11-2008@163.com

Received: Jul. 1st, 2021; accepted: Jul. 26th, 2021; published: Aug. 2nd, 2021

Abstract

In the classical pulse coupled neural network (PCNN) model, when the internal activity of the

neuron is larger than the dynamic threshold, the output pulse is used to segment the image target. When segmenting the image target with weak boundary, the decay time constant of the dynamic threshold is fixed, and the decay speed of the dynamic threshold is too faster or too slower than the theoretical decay speed, which affects the comparison between the internal activity term of the neuron and the dynamic threshold, and sends the wrong pulse signal, resulting in the phenomenon of false segmentation. In order to solve this problem, this paper makes use of the sensitivity of human eyes to image brightness to make the decay rate of the dynamic threshold consistent with the sensitivity of human eyes to brightness, and proposes to take the weight coefficient of human eyes brightness as the decay time constant of the dynamic threshold, and obtains the new dynamic threshold. By comparing the images with weak boundary, irregular target and overlapping area between target pixel and background pixel, the experimental results show that the proposed algorithm is better than the classical pulse coupled neural network model.

Keywords

Pulse Coupled Neural Network, Decay Time Constant, Weight Coefficient of Human Eye Brightness

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

如何快速准确的分割出图像目标, 是图像分割的主要研究内容。图像分割方法很多, 主要包括交互式分割方法和自动分割方法, 由于自动分割方法不需要人的参与, 能够快速分割出图像目标, 得到广泛的实际应用, 在高速分割图像目标的基础上, 如何提高图像的分割准确率成为专家学者们主要的研究。

与其他自动分割方法相比, 脉冲耦合神经网络(pulse coupled neural network, PCNN)模型具有对灰度相似的像素点进行分组的优点, 由于神经元不仅受到自身神经元的强制性激发, 而且受到来自周围神经元的诱导性激发, 能够减少局部像素点灰度值的差异, 弥补局部区域的微小间断[1] [2] [3] [4]。由于脉冲耦合神经网络模型参数多, 参数的选择影响图像的分割准确率, 制约脉冲耦合神经网络模型在实际生活中的应用。在脉冲耦合神经网络模型中如何选择最优参数成为学者们的主要研究内容。

为了解决 PCNN 模型中参数设置问题, Wei 等人根据图像的灰度平均值计算动态阈值的衰减时间常数, 适用于偏暗或偏亮的图像分割[5]; Gao 等人改进 PCNN 模型, 提出神经元阈值代替动态阈值, 高效率控制脉冲输出, 构造内部活动项的连接系数调节神经元行为[6]; 周东国等人简化了 PCNN 模型的接受域, 利用动态阈值与区域均值之间的关系给出各参数的设定准则[7]; Wu 等人提出归一化均方误差方法决定调制域的连接系数和通过计算交叉熵的最小值确定算法的迭代次数[8]; He 等人提出布谷鸟搜索算法代替现有的智能化方法, 解决简化 PCNN 模型的多参数优化问题, 为了提高搜索的精度和速度, Kent 混沌映射应用于布谷鸟搜索算法的局部搜索过程, KD 树算法加快寻找最优参数的速度[9]; Zhou 和 Chi 优化脉冲耦合神经网络模型, 将图像灰度信息和梯度信息作为输入域, 在脉冲域内根据最大似然估计方法推导出连接系数, 建立参数与图像统计之间的内在联系, 将边缘约束方法集成到脉冲发生器中, 用于改变相邻神经元的行为[10]。

在脉冲耦合神经网络模型中参数众多, 文献[6] [7] [8] [9] [10]重新定义了内部活动项的连接系数和迭代次数, 忽略了动态阈值的衰减时间常数对脉冲信号的影响, 处理偏暗或偏亮的图像时, 通过固定的衰

减时间常数计算神经元的动态阈值衰减速度过快或过慢, 比较内部活动项与动态阈值容易输出错误脉冲信息, 影响图像准确分割, 虽然文献[5]考虑了图像的整体亮度信息, 改进了动态阈值的衰减时间常数, 但忽略了像素自身的亮度情况, 当图像目标存在弱边界、背景和目标的像素点的灰度值存在部分重叠区域的特点时, 难以准确分割出目标, 出现误分割现象。

2. 脉冲耦合神经网络

Eckhorn 等人通过对猫的视觉皮层神经元脉冲串同步震荡现象进行研究, 提出神经元模型[1]; 在此基础上, Johnson 和 Padgett 将神经元构建成非线性动态神经网络, 提出脉冲耦合神经网络模型[2], 该模型主要包括接受域、调制域和脉冲产生部分, 其数学公式描述如下:

$$f_{ij}[n] = I_{ij} \quad (1)$$

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

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

$$Y_{ij}[n] = \begin{cases} 1 & U_{ij}[n] > \theta_{ij}[n-1] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$\theta_{ij}[n] = e^{-\alpha_\theta} \theta_{ij}[n-1] + V_\theta Y_{ij}[n] \quad (5)$$

式中: n : 迭代次数; f_{ij} : 图像像素点的灰度值作为反馈输入; L_{ij} : 连接输入项, 邻域神经元的外部激励; V_L : 耦合连接域的放大系数; W_{ijkl} : 耦合连接域中神经元 N_{ij} 与邻域神经元 N_{kl} 的连接权值; U_{ij} : 内部活动项, 邻域神经元的外部激励和自身神经元的内部激励; β : 内部活动项的连接系数; θ_{ij} : 动态阈值; α_θ : 衰减时间常数; V_θ : 放大系数; Y_{ij} : 输出脉冲, 输出为 1 时, 神经元处于激发状态, 对周围神经元具有激发作用, 输出为 0 时, 神经元处于抑制状态, 对周围神经元没有激发作用, 分割出图像的目标和背景。

由于脉冲耦合神经网络模型参数多, 参数的选择影响图像的分割准确率, 制约脉冲耦合神经网络模型在实际生活中的应用, 特别是动态阈值的衰减时间常数影响输出脉冲的结果, 选择的衰减时间常数不合适, 得出错误的输出脉冲, 容易误分割, 达不到理想的分割效果。

3. 改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型

3.1. 人眼亮度权重系数

在文献[11] [12]中, 人眼对图像亮度敏感度的曲线如图 1 所示, 横坐标表示背景亮度值, 范围在 0 到 255 之间, 纵坐标表示人眼对不同亮度的感知阈值, 当亮度值小于 75 时, 随着亮度值的增加而感知阈值减少, 当亮度值大于 125 时, 随着亮度值的增加而感知阈值增加, 当亮度值介于 75 和 125 之间时, 感知阈值为 10, 保持不变。

在图 1 中, 感知阈值越大, 人眼对亮度变化越不敏感, 感知阈值越小, 人眼对亮度的变化越敏感。人眼视觉敏感度相对较高的亮度范围是 75 至 125, 对应的敏感度设置为 1.0, 其余的亮度范围进行相应的缩放, 得到人眼亮度权重系数[11] [12]:

$$KL_{ij} = \begin{cases} 2.0 - 0.0133 \times f_{ij} & f_{ij} < 75 \\ 0.0108 \times f_{ij} - 0.3462 & f_{ij} > 125 \\ 1.0 & \text{other} \end{cases} \quad (6)$$

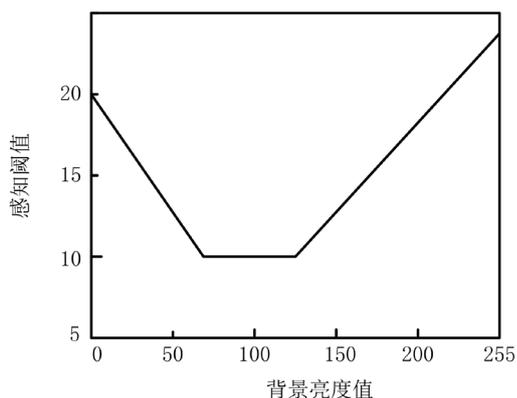


Figure 1. Background luminance sensitivity threshold
图 1. 背景亮度敏感阈值曲线

3.2. 改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型

对于偏亮或偏暗的图像，分割弱边界的图像目标时，采用传统的脉冲耦合神经网络模型，给定动态阈值的衰减时间常数，动态阈值的衰减速度过快或过慢，比较神经元的内部活动项与动态阈值时，发送错误的脉冲信号，产生误分割现象。

为了解决这一问题，考虑人眼对图像像素亮度的敏感度，本文将人眼亮度权重系数作为传统脉冲耦合神经网络模型中的衰减时间常数的系数，得到新的动态阈值，即：

$$\theta_{ij}[n] = e^{-\alpha_{\theta} * KL_{ij}} \theta_{ij}[n-1] + V_{\theta} Y_{ij}[n] \quad (7)$$

根据公式(7)所示，图像中像素点的亮度不同，像素点的动态阈值的指数衰减时间常数不同，衰减速度也不同，当内部活动项与动态阈值比较大小时，得到的输出脉冲也不同。当人眼对亮度的敏感度取代确定的衰减时间常数时，对不同亮度神经元的动态阈值可以进行较快或较慢的迭代衰减，得到的输出脉冲符合对弱边界图像目标的分割。

4. 仿真实验

为了说明本文提出改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型算法的有效性，与传统脉冲耦合神经网络模型算法进行仿真对比实验，选取的图像含有弱边界、目标不规则、背景和目标的灰度值有重叠区域的特点，采用 Matlab2018 编程实现。脉冲耦合神经网络模型中涉及到的相关参数设置为： $V_L = 0.2$ ；

$$\beta = 0.1; \alpha_{\theta} = 1.0; V_{\theta} = 20; W_{ijkl} = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0.5 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}。$$

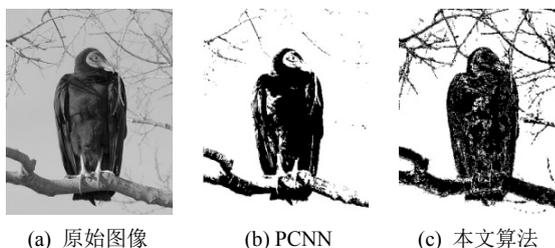


Figure 2. Segmentation of ravens images
图 2. 乌鸦图像的分割

在仿真对比实验中，图 2(a)是乌鸦图像，要分割的目标是乌鸦和周围树枝区域，要分割的树枝区域存在呈不规则几何形状和弱边界的特点，要分割乌鸦的头部和脚区域像素点的灰度值偏离乌鸦身体像素点的灰度值，接近周围背景区域像素点的灰度值，增加准确分割图像目标的难度。图 2(b)是采用传统的脉冲耦合神经网络模型对原始灰度图像进行的分割效果，鸟的头部和脚区域被误分割为背景，细长条边界模糊的树枝大部分区域被误分割为背景区域。图 2(c)是采用本文提出的改进算法对原始灰度图像进行分割的效果图，可以看出弱边界的树枝区域较好的分割出来，而乌鸦的头部和脚部及站立的树枝区域也很好的分割出来，虽然还是存在个别像素点被分割为背景区域。

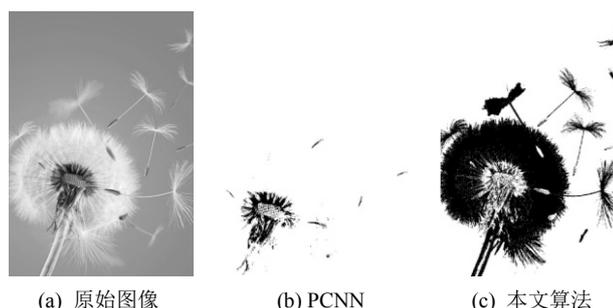


Figure 3. Segmentation of dandelion images
图 3. 蒲公英图像的分割

在仿真对比实验中，图 3(a)是蒲公英图像，要分割的目标是蒲公英，存在目标呈不规则几何形状、弱边界、背景和目标的灰度范围存在重叠的特点。图 3(b)是采用传统的 PCNN 模型进行的分割效果图，可以看出只有小部分的蒲公英区域被分割出来，当蒲公英像素点的灰度值接近周围背景像素点的灰度值时，被误分割为背景像素点，存在误分割现象。图 3(c)是采用本文提出改进的脉冲耦合神经网络模型进行的分割效果，可以看出蒲公英区域被很好的分割出来，主要原因是传统的 PCNN 模型的衰减时间常数采用的是固定值，神经元的动态阈值衰减过快或过慢，输出错误脉冲信号，不适用于分割弱边界区域，而本文考虑人眼亮度敏感度这一因素，将人眼亮度权重系数作为衰减时间常数的系数，更符合人眼对图像的分割。

通过对含有目标呈不规则几何形状、弱边界、背景和目标的灰度范围存在重叠现象的图像进行仿真对比实验，实验结果说明本文提出的改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型的分割效果好于传统的脉冲耦合神经网络模型。

5. 结论

分割含有弱边界、目标不规则、背景和目标的灰度值有重叠区域的图像时，传统脉冲耦合神经网络模型难以准确分割出图像目标，主要原因是动态阈值的衰减时间常数固定，动态阈值随着迭代次数的增加衰减过快或过慢，内部活动项与动态阈值相比较输出错误脉冲，产生误分割现象。为了解决这一问题，本文利用人眼对图像亮度的敏感性，提出将人眼亮度权重系数作为动态阈值的衰减时间常数的系数，得到新的动态阈值，在迭代过程中，神经元动态阈值的衰减速度与人眼的对亮度的敏感度有关，采用改进衰减时间常数的脉冲耦合神经网络模型的分割效果更好。

参考文献

- [1] Eckhom, R., Reiboeck, H.J., Arndt, M., et al. (1990) Feature linking via Synchronization among Distributed Assemblies: Simulation of Results from Cat Cortex. *Neural Computation*, 2, 293-307.

-
- <https://doi.org/10.1162/neco.1990.2.3.293>
- [2] Johnson, J.L. and Padgett, M.L. (1999) PCNN Models and Applications. *IEEE Transactions on Neural Networks*, **10**, 480-498. <https://doi.org/10.1109/72.761706>
- [3] Wang, Z.B., Ma, Y.D., Cheng, F.Y., *et al.* (2010) Review of Pulse Coupled Neural Networks. *Image and Vision Computing*, **28**, 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2009.06.007>
- [4] Monica Subashini, M. and Sahoo, S.K. (2014) Pulse Coupled Neural Networks and Its Applications. *Expert Systems with Applications*, **41**, 3965-3974. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.027>
- [5] Wei, S., Hong, Q. and Hou, M.S. (2011) Automatic Image Segmentation Based on PCNN with Adaptive Threshold Time Constant. *Neurocomputing*, **74**, 1485-1491. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.01.005>
- [6] Gao, C., Zhou, D.G. and Guo, Y.C. (2013) Automatic Iterative Algorithm for Image Segmentation Using a Modified Pulse Coupled Neural Network. *Neurocomputing*, **119**, 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.03.025>
- [7] Zhou, D.G., Gao, C. and Guo, Y.C. (2014) Adaptive Simplified PCNN Parameter Setting for Image Segmentation. *Acta Automatica Sinica*, **40**, 1191-1197.
- [8] Wu, C.D., Liu, Z.G. and Jiang, H. (2018) Catenary Image Segmentation Using the Simplified PCNN with Adaptive Parameters. *Optik*, **157**, 914-923. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.11.171>
- [9] He, F.L., Guo, Y.C. and Gao, C. (2019) A Parameter Estimation Method of the Simple PCNN Model for Infrared Human Segmentation. *Optics and Laser Technology*, **110**, 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.05.042>
- [10] Zhou, D.G. and Chi, M. (2019) Pulse Coupled Neural Network and Its Optimization for Segmentation of Electrical Faults with Infrared Thermography. *Applied Soft Computing Journal*, **77**, 252-260. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.10.056>
- [11] 费马燕, 彭宗举, 李持航, 等. 融合视觉感知特性的 HEVC 率失真优化[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(7): 857-864.
- [12] 俞力克, 代锋, 张勇东, 等. 基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 54-61.