

基于脉冲神经网络的边缘检测

蔡荣太¹, 吴庆祥^{1,2}

(1 福建师范大学 物理与光电信息科技学院, 福州 350108;

2 Ulster 大学智能系统研究中心 Magee 校区, 北爱尔兰 BT48 7JL, 英国)

摘 要: 提出了一种利用脉冲神经元的脉冲放电时间对图像像素进行编码和边缘提取的方法. 首先将图像像素转化为神经元的输出脉冲序列. 再用脉冲序列的首个脉冲放电时间编码图像的像素. 并将一个窗口内的首个脉冲同时输入下一层的一个脉冲神经元, 若窗口内对应的像素在一个平坦的区域, 这些脉冲同时到达神经元, 只能激发出稀疏的脉冲序列; 如果窗口内对应的像素在一个边缘区域, 这些脉冲在不同时刻到达神经元, 将激发出稠密的脉冲序列. 最后设定一个阈值, 根据输出脉冲序列的密度区分边缘像素和非边缘像素, 提取图像的边缘. 实验结果表明该方法具有良好的边缘检测效果, 更加符合生物信息处理机制.

关键词: 边缘检测; 脉冲神经网络; 时域编码; I&F 模型; 图像处理

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)10-0178-04

Edge Detection Based on Spiking Neural Networks

CAI Rong-tai¹, WU Qing-xiang^{1,2}

(1 School of Physics, Optics, Electronic Science and Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China;

2 Intelligent Systems Research Centre, University of Ulster at Magee Campus Derry, Northern Ireland BT48 7JL, UK)

Abstract: A bio-inspired edge detection method based on spiking neural networks is proposed. Firstly, the image pixels are transferred into spiking trains. The first firing time of the spiking trains are used to encode the image pixels. Then, the coding in a window are inject into a neuron. If the corresponding pixels of the window are in a flat region, the coding will go to the neuron in a same time and force the neuron to produce a sparse spike trains; If the corresponding pixels of the window are in edge region, the coding will go to the neuron in different time and force the neuron to produce a dense spike trains. The edge pixel is determined by whether the firing density of the corresponding neuron is beyond a threshold. The experimental results show that the method is better than many traditional methods in mathematical sense, and is more biological realistic than the existing methods.

Key words: edge detection; spiking neural networks; temporal coding; integrate and fire neuron; image processing

1 引言

视觉信息处理在科学研究和工程项目中都有重要的应用^[1-4]. 众所周知, 人脑的视觉信息处理能力要远远超过任何的人造信息处理系统. 最新的研究^[5]表明神经元的脉冲时间编码(temporal coding)是其信息处理的关键, 这很可能是其具有人造信息处理系统无法比拟的信息处理能力的关键所在. 因

此, 人们将脉冲神经网络引入到视觉信息处理中, 渴望得到具有更强信息处理能力的人造信息处理系统. 近年来, 利用脉冲神经网络进行视觉信息处理已经成为国内外的一个研究热点^[6-10].

根据神经生物学家的研究成果^[5], 文中设计了一种基于脉冲神经网络的图像边缘检测方法. 和其它边缘检测算法相比, 该方法拥有更加真实的生物信息处理机制.

收稿日期: 2010-09-10; 修回日期: 2009-11-22

基金项目: 福建省自然科学基金(2009J05141); 福建省教育厅科技计划项目(JA09040)

2 脉冲神经元模型

第三代人工神经网络建立在 Hodgkin - Huxley 脉冲神经元模型的基础之上. Hodgkin - Huxley 脉冲神经元模型比较复杂,为计算方便,人们提出了很多简化模型,其中累积放电模型(integrate and fire model, I&F 模型)是最常用的简化模型.

文中采用基于电导的 I&F 模型^[5]构造了一个适用于边缘检测的三层脉冲神经网络. I&F 脉冲神经元模型可以采用神经元膜电压 $u(t)$ 的动态方程来描述,如式(1)所示. I&F 脉冲神经元的模型电路如图 1 所示.

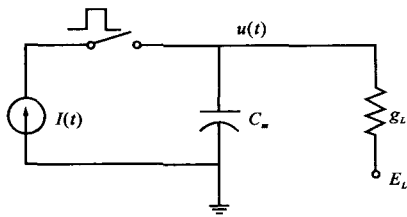


图 1 I&F 脉冲神经元模型的电路图

$$C_m = \frac{du(t)}{dt} = g_L(u(t) - E_L) + I(t) \quad (1)$$

式中 $u(t)$ 为神经元的膜电压, C_m 为神经元的膜电容, g_L 为神经元漏电导, E_L 为神经元的反向电动势.

I&F 脉冲神经元模型中没有对“脉冲(spike)”或者说是动作电位(action potential)进行明确的定义,而是用神经元的放电时间来刻画. 放电时间 $t^{(f)}$ 是该模型中最重要的信息,神经元放电的时间定义为神经元膜电压达到门限电压的时刻:

$$t^{(f)}: u(t^{(f)}) = V_{th} \quad (2)$$

神经元放电之后,膜电压复位到新的值——复位电势:

$$\lim_{t \rightarrow t^{(f)}; t > t^{(f)}} u(t) = V_{res} \quad (3)$$

放电之后,即 $t > t^{(f)}$,神经元进入绝对不应期,在绝对不应期间,神经元不再累积电荷,也就不会再放电.过了绝对不应期,神经元开始根据式(1)进行电荷累积,当电荷累积到一定量的时候,触发放电,产生新的脉冲(spike).

式(1)和(2)从数学角度描述了 I&F 脉冲神经元模型.要使用该模型进行信息处理需要解决两个问题:(1)如何将外部激励信号转化为神经脉冲序列;(2)脉冲序列在神经网络内部是如何传递.

有两种方法可以实现激励信号到神经脉冲序列的转化.第一种方法直接将激励信号转化为式(1)

中的电流;第二种方法将激励信号转化为电导,用包含该电导的电流源来取代式(1)中的电流 $I(t)$.文中采用第二种方法,即基于电导的 I&F 模型.将电流 $I(t)$ 用电流源 $g_s w_s p_s (E_s - u(t))$ 代替,可得到基于电导的 I&F 脉冲神经元模型:

$$C_m \frac{du}{dt} = -g_L(u(t) - E_L) + g_s w_s p_s (E_s - u(t)) \quad (4)$$

式中 $g_s w_s p_s (E_s - u(t))$ 是电流源, s 是神经元的输入突触, g_s 和 p_s 表示神经元膜中离子通道的开通程度, p_s 是膜电导, w_s 是突触权重, E_s 是突触的静态电势.

随着时间的推移,电导 p_s 将会不断地减小,该过程可以用常微分方程描述:

$$\frac{dp_s}{dt} = -\frac{1}{\tau_s} p_s(t) \quad (5)$$

式中 $p_s(t)$ 是电导, t 是时间变量, τ 是时间常数.

根据神经生理学的实验结果,激励信号的变化会改变神经元膜离子通道的开放程度.离子通道的开放程度直接影响了载流子 Ca^+ 、 K^+ 和 Na^+ 等的运动.而这些离子的运动是神经元膜电势变化的根本原因.式(5)中加入激励信号,就可以建立这些神经元内部变化和外界激励信号之间的关系,具体如下:

$$\frac{dp_s}{dt} = -\frac{1}{\tau_s} p_s(t) + \alpha S_{sim} \quad (6)$$

式中 S_{sim} 是外界输入激励, α 是输入激励到电导的转化系数.

由以上推导可以看出将外界激励信号转化为脉冲序列的方法:首先,外界激励信号根据式(6)转化为神经元的膜电导;其次,膜电导根据式(4)控制神经元膜电位的变化;最后,根据式(4)当神经元的膜电位积累到门限电压的时候,神经元就激发出一个脉冲.神经元的输出脉冲序列可以描述为:

$$s_{out}(t) = \begin{cases} 1 & t = t^{(f)} \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $s_{out}(t)$ 是神经元的输出脉冲序列, t 为时间变量, $t^{(f)}$ 是神经元的脉冲激发时间.

类似于激励信号到脉冲序列的转换,输入脉冲序列可以根据式(8)、(4)和(2)转化为神经元的输出脉冲序列.其中式(8)如下:

$$\frac{dp_s}{dt} = -\frac{1}{\tau_s} p_s(t) + \beta s(t - t^{(f)}) \quad (8)$$

式中 $s(t - t^{(f)})$ 是神经元的输入脉冲序列, β 是输入脉冲序列到神经元膜电导之间的转换系数.

3 基于脉冲神经网络的边缘检测

图 2 描述了神经生物学家实验中记录到的脉冲神经元对边缘激励的脉冲响应^[5].

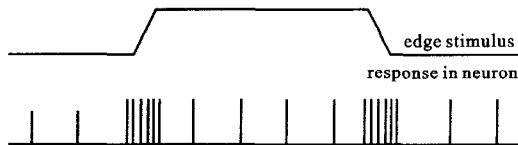


图 2 脉冲神经元的边缘响应

如图 2 所示,在边缘激励情况下,神经元产生稠密的脉冲输出;在平坦输入情况下,神经元只能产生稀疏的脉冲输出.因此神经元输出脉冲的密度可以作为区分边缘像素和非边缘像素的依据.

图 3 为文中设计的用于边缘检测的脉冲神经网络.为了便于观察,图中仅画出了垂直方向边缘检测的神经元连接.水平方向边缘检测的神经元连接和垂直方向神经元的连接类似.

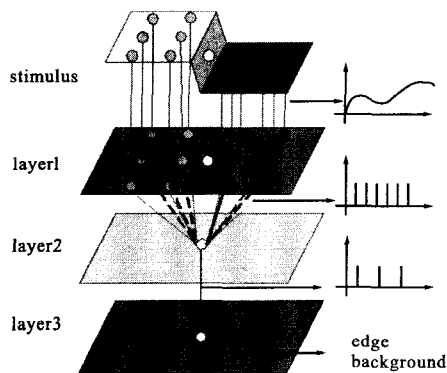


图 3 用于边缘检测的脉冲神经网络

如图 3 所示,脉冲神经网络将图像的每个像素作为一个激励信号.

脉冲神经网络第一层的每个神经元和输入图像的每个像素相连,并根据其灰度值将其转化为脉冲序列.

脉冲神经网络第二层的每个神经元接受第一层对应位置上神经元邻域内的 12 个特定神经元的脉冲输出,如图 3 所示.如果第一层的 12 个神经元接受的输入像素有一部分属于图像边缘的一侧,另外一部分像素属于图像边缘的另外一侧.那么第一层 12 个神经元输出的脉冲序列到达第二层同一个神经元的时间不一致,将会产生比较稠密的脉冲输出.反之,如果对应的像素属于图像的某个平坦区域,那么第一层 12 个神经元输出的脉冲序列将在同一时刻到达第二层的同一个神经元,只能产生比较稀疏的脉冲输出.对应于平坦区域的脉冲神经网络第一

层的 12 个输出脉冲序列,如果到达第二层的同一个神经元的时间不完全相同.相位稍微之后的脉冲到达的时刻会落入相位稍微超前的脉冲引起的神经元绝对不应期之内,不能引起神经元的电荷累积和脉冲放电,因此这种情况也只能产生稀疏的脉冲输出.

脉冲神经网络第三个层的每个神经元和第二层的每个神经元相连接,接收其产生的脉冲输出,并根据接收的脉冲序列的密度判断对应的像素是属于图像的边缘部分还是非边缘部分.因此,需要设定一个密度阈值来区分边缘像素和非边缘像素,如式(9)所示:

$$s_{\text{sim}}(i, j) = \begin{cases} 1, & D_{\text{out}}(i, j) > D_{\text{th}} \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (9)$$

式中 $s_{\text{sim}}(i, j)$ 为图像的第 (i, j) 个像素,1 表示对应的像素是边缘像素,0 表示对应的像素是非边缘像素, D_{out} 表示脉冲神经网络第三层神经元的输出脉冲密度, D_{th} 是设定的密度阈值.

根据神经生物学家研究成果,神经脉冲序列的首次放电时间记录了信息的主要部分.第二层神经元接收第一层神经元的脉冲输出,仅让其接收第一层神经元输出的第一个脉冲,这样既保留了主要信息又可以减少不必要的冗余计算.这种方法是用首个脉冲的时间记录信息的,是脉冲神经网络中一种重要的时间编码方案.实验结果表明这种基于首个脉冲时间的时间编码方案具有有效的边缘检测能力.

4 实验与分析

文中的仿真实验平台为 PC 和 Matlab7.0 软件.式(1)所示常微分方程采用 Euler 方法数值求解. I&F 脉冲神经元模型的主要参数设置如下:神经元的膜电容 C_m 为 1000nF/mm^2 , 漏电导 g_L 为 $1\mu\text{S/mm}^2$, 反向电动势 E_L 为 -70mV , 绝对不应期为 6ms , 门限电压为 -54mV , 复位电势为 -70mV . 神经网络各层的参数和记录的生物神经元的参数基本一致.

文中采用 Lenna 图像作为脉冲神经网络边缘检测的测试图像,如图 4(a)所示.脉冲神经网络的第一层将 Lenna 图像的每个像素按照其灰度值转化为一个个脉冲序列,每个脉冲序列的首个脉冲被记录下来,并用图像的方式显示出来,如图 4(b)所示.按照图 3 所示的连接关系,将第一层神经元输出脉冲序列的首个脉冲输入第二层的神经元,并使第二层的神经元根据输入脉冲的不同产生不同形式的脉冲

序列输出,这些不同的脉冲序列的密度输出构成了初始的图像边缘,如图4(c)所示.最后,第二层神经元输出的脉冲序列输入神经网络的第三层,第三层的神经元根据输入脉冲序列的密度和设定的阈值将对应的图像像素分为边缘像素和非边缘像素,实现图像的边缘检测,如图4(d)所示.



图4 脉冲神经网络的边缘检测

文中方法和 Canny 边缘检测算法^[11]、Sobel 边缘检测算法以及文献[7]检测算法的实验结果如图5所示.需要注意的这些结果都是在原始边缘图像的基础上进行阈值化、非最大值抑制和细化处理之后得到的.

与 Sobel 边缘检测算子以及文献[7]方法相比,文中方法能够检测到比较微弱的细节边缘,如图5(b)、(c)、(d)的右下角所示.从数学角度来看,Canny 边缘检测算法是最优的阶梯型边缘检测算法,其性能要优于 Sobel 边缘检测算子和文献[7]方法.但是文中提出的方法不但优于 Sobel 边缘检测算子和文献[7]方法,而且包含了更加真实的生物信息处理机制.文中方法是一种新的智能边缘检测算法,随着研究的深入,其边缘检测性能可能超过 Canny 边缘检测算法.

5 结束语

文中提出了一种基于生物信息处理机制的脉冲神经网络边缘检测算法.采用脉冲神经元的首个脉冲时间的时间编码方案编码图像信息,根据神经元的脉

冲序列密度判断边缘像素和非边缘像素,实现图像的边缘检测.文中使用的首个脉冲时间的时间编码方式可以应用于其它的图像处理领域,比如运动目标检测、识别和跟踪等.后续的研究中,将在现有神经网络结构上增加自适应学习算法,使得脉冲神经网络具有更强的图像处理能力和更广泛的应用范围.

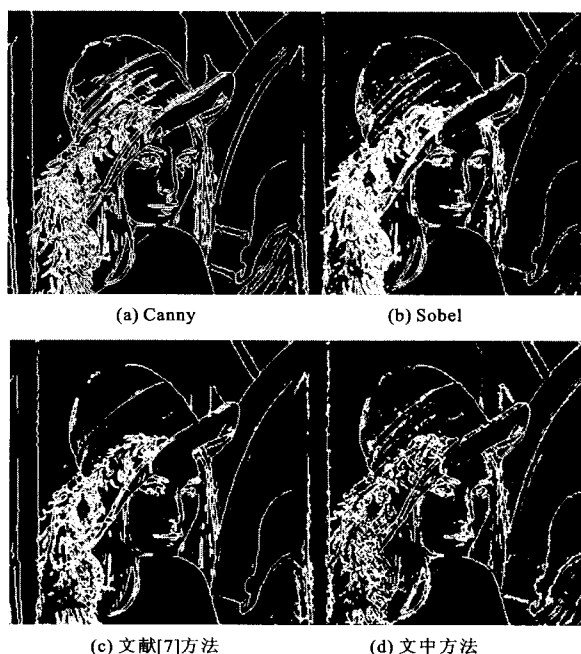


图5 不同方法的边缘检测结果

参考文献:

- [1] Weiming Hu, Tieniu Tan, Liang Wang, et al. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2004, 34(3): 334 - 352.
- [2] Bellotto N, Huosheng Hu. Multisensor - based human detection and tracking for mobile service robots[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 2009, 39(1): 167 - 181.
- [3] Ning Song, Jie P, Zhi Y L. Mean shift blob tracking with kernel histogram filtering and hypothesis testing[J]. Pattern Recognition Letters, 2005(26): 605 - 614.
- [4] Bing Wei, Xiang Luo. A simulation research on 3D visual serving robot tracking and grasping a moving object[C]// 15th Int. Con. on Mechatronics and Machine Vision in Practice. Auckland, New Zealand, 2008(12): 362 - 367.
- [5] Dayan P, Abbott L. Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems[M]. Massachusetts, MIT Press, 2001: 254.

(下转第 185 页)

实现,具体实现 SHA1 计算的关键代码如下:

```
private void ShowFileSHA1CryptoInfor(byte[] bytes, int
offset, int length)
{
    System.Security.Cryptography.SHA1 sha1 =
        new SHA1CryptoServiceProvider();
    byte[] sha1Result = sha1.ComputeHash(bytes, off-
set, length);
    String sha1Ret = "";
    for (int i = 0; i < sha1Result.Length; i++)
        sha1Ret += sha1Result[i].ToString("X").
            PadLeft(2, '0');
    this.tbFileInfor.Text += "SHA1: " + sha1Ret +
        "\r\n";
}
```

4 结束语

文中在基于 Microsoft Visual Studio 2005 集成开发环境下,用 C# 实现了基于信息摘要函数的文件完整性检测工具。在对多个文件的完整性测试过程中,计算出的 CRC32、MD5、SHA1 数字文摘值分别和 CRC Verification Utility 软件 3.05 版本、WinMD5 软件 2.05 版本、File Checksum Integrity Verifier 软件 2.0.5 版本计算的相应数字文摘值相同。今后将增加对 1G 以上超大文件的完整性检测支持,减少数字文摘计算耗时,并增加计算过程的进度条,避免计算比较大的文件时处于假死状态等。

参考文献:

[1] 张学旺,唐贤伦. MD5 算法及其在文件系统完整性保

护中的应用[J]. 计算机应用, 2007,23(1):430-432.

[2] 郑光明,胡博. 基于 MD5 的文件完整性检测软件设计[J]. 湖南理工学院学报:自然科学版,2007,20(1):35-38.

[3] 彭文波. MD5 算法原理及应用[J]. 信息网络安全, 2005,5(3):43-46.

[4] 蔺守河,戴紫彬. 基于 Nios 处理器用户指令的 SHA-1 算法的实现[J]. 微电子学与计算机,2006,23(4):104-106.

[5] 王爱英. 计算机组成与结构[M]. 北京:清华大学出版社,2001.

[6] 常晓明,潘卫华,王建东. CRC 校验及其软件实现[J]. 电子技术应用,1995,6(1):14-15.

[7] 李杰,张学旺. MD5 报文摘要算法与文件系统完整性保护[J]. 湘潭大学自然科学学报,2003,25(3):96-99.

[8] 李春科,李伟华. MD5 加密算法及其在 RADIUS 协议中的应用[J]. 微电子学与计算机,2004,21(2):21-24.

[9] 李杰,张学旺. 数字签名算法 SHA1 的 C++ 实现[J]. 华南金融电脑,2007,4(1):102-104.

作者简介:

孙凌宇 女,(1976-),硕士,副教授.研究方向为算法分析与设计等.

冷明 男,(1975-),博士,副教授.研究方向为算法分析与设计等.

周宇 男,(1974-),硕士,实验室.研究方向为网络安全等.

夏洁武 女,(1969-),硕士,教授.研究方向为算法分析与设计等.

(上接第 181 页)

[6] Wu Q X, McGinnity T M, Maguire L P, et al. Visual stimuli using hierarchical spiking neural networks[J]. International Journal of Neurocomputing, 2008,71(10/12): 2055-2068.

[7] Wu Q X, McGinnity T M, Maguire L P, et al. Edge detection based on spiking neural network model [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2007:26-34.

[8] Quian Quiroga R, Reddy L, Kreiman G, et al. Invariant visual representation by single neurons in the human brain [J]. Nature, 2005(435):1102-1107.

[9] Maria Jose Escobar, Guillaume S Masson, Thierry Vieville, et al. Action recognition using a Bio-inspired feedforward spiking network[J]. International Journal of

Computer Vision, 2009(82):284-301.

[10] Anil Bharath, Maria Petrou. Next generation artificial vision systems—reverse engineering the human visual system [M]. London, Artech House, 2008.

[11] John Canny. A computational approach to edge detection [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1986,8(6):679-69.

作者简介:

蔡荣太 男,(1979-),博士,讲师.研究方向为图像处理与计算机视觉、智能信息处理.

吴庆祥 男,(1958-),博士,教授.研究方向为智能信息处理、图像处理与机器学习.