第18卷 第2期
1992年3月

自 动 化 学 报
ACTA AUTOMATICA SINICA

Vol. 18, No. 2
Mar., 1992

用 DOG 函数进行边缘检测的硬件网络模型[1)]

刘子立　王 翔　张少吾
(中国科学院生物物理所，北京 100080)

摘　要

根据视觉计算理论，如果用一组不同大小的运算子对成象在视网膜上外界场景的二维图象进行光强度变化的检测可以获得原始图象的零交叉表象，即原始要素图。本文在讨论这一方法的基础上，提出了一种基于 DOG 函数的网络模型。模型满足了空间平移不变性，可实时并且平行地对输入信号进行边缘检测。模型中引入了时间维来构成尺度空间的零交叉表象的图谱，使得网络在简单有效的基础上实现。

关键词：边缘检测，DOG 函数，网络模型。

一、前　言

任何视觉过程(生物或非生物系统)都始于外部世界光场(经光学成象作用)形成的二维图象所进行的检测量和运算。视觉的根本任务就是从一幅或多幅的二维图象中恢复外界场景的物理性质。计算视觉的核心是从二维光强度的输入表象，经过表象变换，将对于人和机器重要的信息显含地表达出来。因此，从输入表象中选取什么样的信息作为视觉各级处理的基元成为视觉计算十分重要的问题。

边缘检测的重要性除了富含几何信息的物理体边缘对于脑的认识功能是必须的以外，按照 Marr 计算理论的观点，还在于它是人类视觉加工的第一步[1,2]。

为实现计算理论所确定的任务，可选取的可能的算法是不唯一的，边缘检测也是如此，选取适用的边缘检测运算子正是我们关心的问题。

八十年代后期以来，人们强调的研究策略是由计算理论和硬件工作基础两个层次共同来约束和确定的算法的唯一性，即在计算理论清楚的情况下，对硬件网络的研究显得更为迫切。

所谓由硬件约束算法，有两层意义：第一，是利用生物硬件的工作原理(心理物理学，生物物理学的研究成果)，来帮助选定合适的算法；第二，若一种算法能导致一简单、有效的硬件网络的实现，即可认为是一个好的算法。本文即是在这样的基础上展开的。

本文于 1990 年 7 月 4 日收到.
1) 国家自然科学基金资助项目。本文曾以摘要形式在中国神经网络首届学术大会论文集上发表.

二、适用的边缘检测运算子——DOG 函数

基于以上分析，即根据由计算理论和硬件基础两个层次共同确定算法这一研究路线，笔者认为 DOG 函数是一个适用的边缘检测运算子.

在理论上，由二维图象恢复外界场景的三维物理性质，本质上是不适定的，因此，计算过程必须加入合适的约束，使之成为一个在可能解的空间内求泛函极值的适定问题——正则化. Poggio 等人从正则化的高度证明了边缘检测中滤波和微商的合理性和必要性[3]. 这样的边缘检测运算子同时还能满足信息充分性的要求[4-5]. 这里强调指出的是边缘检测作为一个包括卷积微商的运算，其正则化滤波器的拉普拉斯微商可用两个高斯函数之差——DOG 函数非常好的逼近.

此外，Witkin 和 Stansfield 引入零交叉在尺度空间中的描述——尺度空间中零交叉表象的图谱[6-7]. 可以证明高斯滤波器是唯一具有最佳缩放（scaling）行为的滤波器，并且还是唯一使特征表象完备而又不发生畸变的滤波器[8]. 高斯函数的选用也为引入时间来讨论尺度空间表象提供了方便. 而这是使得多重滤波的算法能在技术上以简单的硬件网络实现的关键.

从生物的角度看，神经生物学和心理物理学的研究给出两点重要认识：1). 人类视觉系统在加工图象的早期可能是采用多重分辨率来滤波的；2). 这种多尺度滤波的关键一步发生在视网膜神经节细胞上.

值得注意的是视神经节细胞独特的解剖学和生物学性质，在生理行为上，视神经节细胞具有中心对称的 ON-OFF 型感受野以及特征的电生理响应方式，特别地，它们可以很好地用 DOG 函数模拟[9-12].

三、网 络 模 型

本文提出的网络模型基于以下指导思想：首先是要求网络在某一节点上注入信号后，网络节点上对应于此注入的电压分布呈现为高斯函数的形状；其次是网络具有空间平移不变的特性并满足迭代原理；另外还考虑引入时间维来构成尺度空间零交叉表象的图谱，使输出的结果携带原始信息，可供以后各级的信息加工.

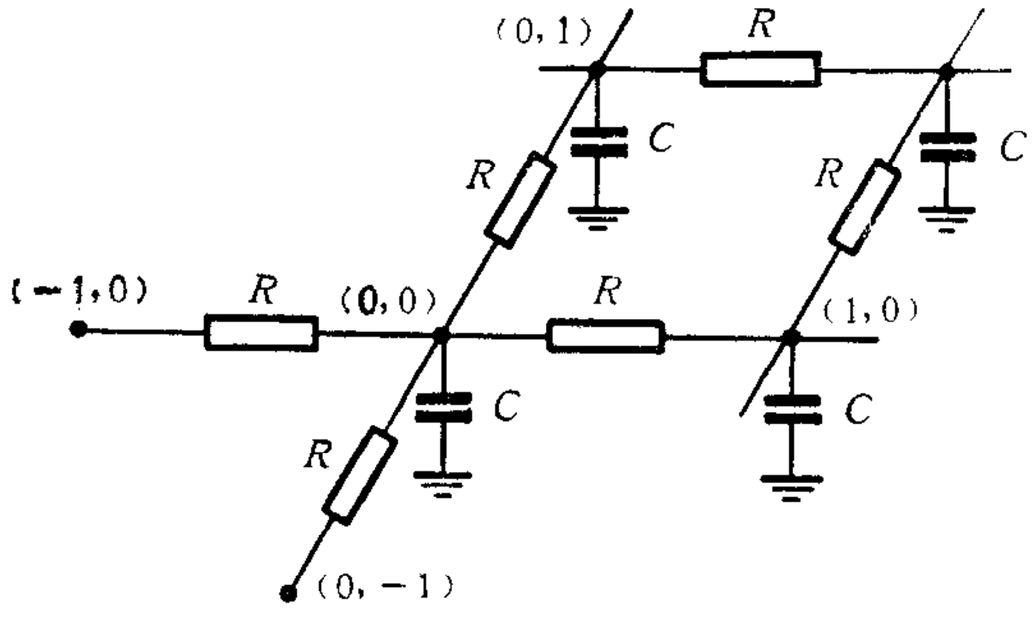

图 1 执行高斯函数运算功能的阻容网络

对于图 1 所示的 RC 网络，根据基尔霍夫定律，网络原点(0,0)的电压 U_{00} 满足方程

$$\frac{(U_{-1,0}-U_{00})-(U_{00}-U_{1,0})}{R}+\frac{(U_{0,-1}-U_{00})-(U_{00}-U_{0,1})}{R}=C\frac{\partial U_{00}}{\partial t}. \tag{1}$$

在微分方程近似下，有

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}=RC\frac{\partial u}{\partial t}, \tag{2}$$

即

$$\nabla^2 u=\frac{\partial u}{\partial \tau};\ \tau=\frac{t}{RC}, \tag{3}$$

此方程的点扩散函数解为

$$u(x,y,\tau)=\frac{1}{4\pi\tau}e^{-\frac{x^2+y^2}{4\tau}}, \tag{4}$$

式(4)为一典型的高斯函数，它的等效标准方差为

$$\sigma=\sqrt{2t/RC}. \tag{5}$$

由此式可知高斯函数的方差是由 RC 与时间 t 的值所确定的，当 RC 的值选定，随着时间变化 σ 值由小到大改变，因此可以得到一组不同尺度的二维图象的高斯滤波结果.

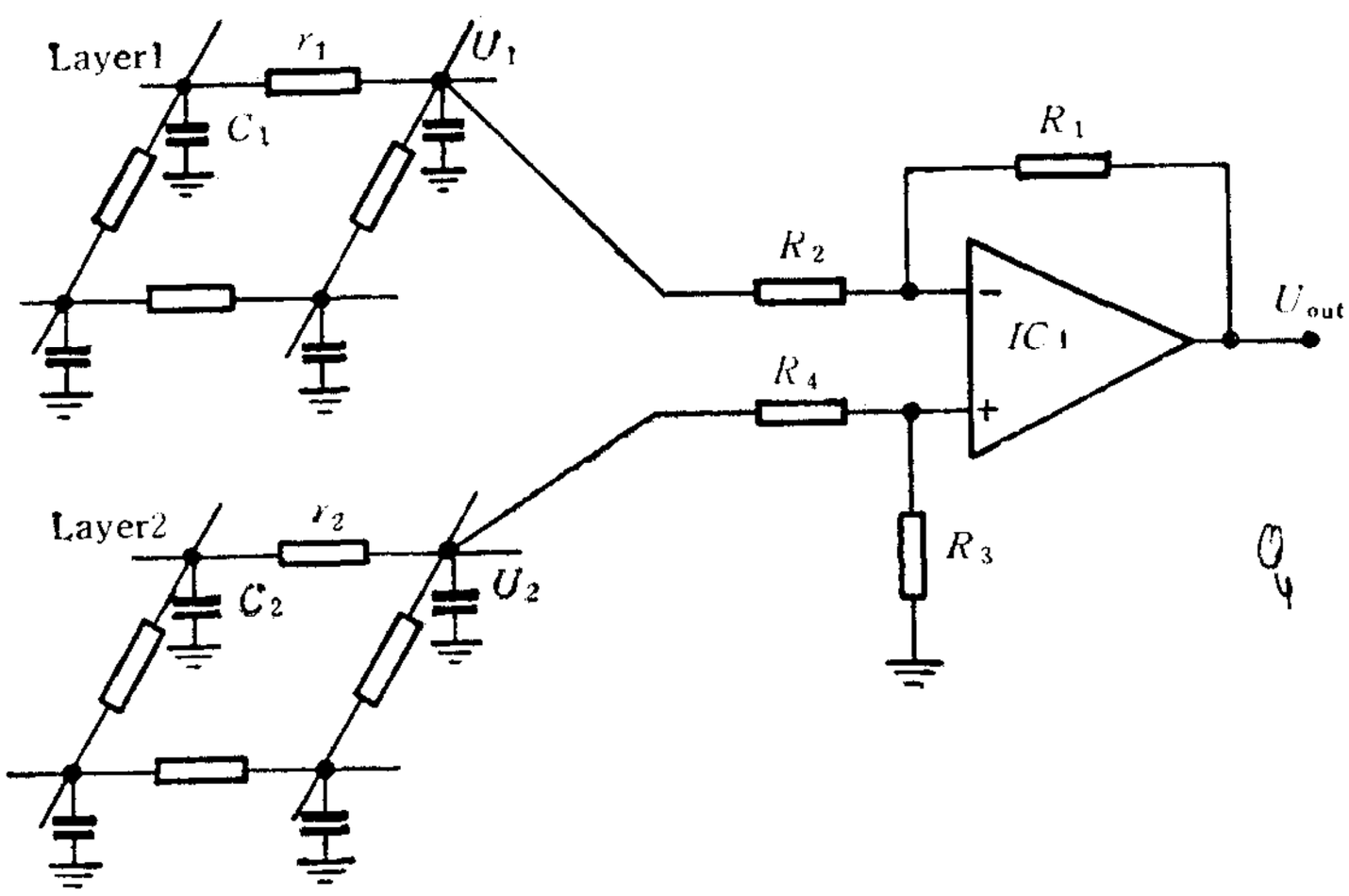

图 2　执行 DOG 函数运算功能的硬件网络

以图 2 的网络为基础，构造如图 2 所示的网络. 图中 $IC1$ 是理想放大器. 四只电阻与 $IC1$ 构成理想减法器，减法器的两个输入分别为两层网络的对应相同位置之节点输出，如果设该网络的输出为 U_{out}，则

$$U_{out}=\frac{R_3}{R_4}U_2-\frac{R_1}{R_2}U_1=k_2U_2-k_1U_1. \tag{6}$$

式(6)中 U_1，U_2 的初值是光场中同一点的光强值，适当选择两层网络的阻容值 (R, c) 使得

$$\frac{k_2}{k_1}=\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}=\frac{R_1C_1}{R_2C_2}=\gamma. \tag{7}$$

则在不同的 γ 下分别得到不同尺度空间的结果，在 γ 值已定的情况下改变尺度坐标只需改变两个高斯函数中一个的方差即可.

四、讨 论

本文在强调边缘检测作为视觉个级加工基础的基本重要性的基础上，试图从计算原理和硬件基础两个层次上共同确定适用的边缘检测运算子——DOG 函数，并提出了相应的硬件网络模型，在模型中引入时间维来讨论零交叉的尺度空间表象，从而使网络简单直观. 遗憾的是，由于条件上的限制，尚不能模拟制作这一硬件网络，但笔者按照文中式(4)—(7)所规定的运算进行了计算机模拟，效果是令人满意的. 式(4)—(7)是从模型中导出的 DOG 函数的一个理想实现，它和实际的 RC 网络的运算结果是有差别的，但它们在行为上的一致性也是显见的，因此这样的模拟运算仍然是多数实验室的常规. 尽管它在一定程度上妨碍了对网络行为的深入分析.

参 考 文 献

[1] Marr, D., Vision (W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982).

[2] 马尔，D.著，姚国正，汪云九，刘磊译，视觉计算理论，科学出版社，1988年.

[3] Poggio, T., Voorhees, H., and Yuille, A., A Regularized Solution to Edge Detection, *A. I. Memo* **833**(1985), MIT AI Lab.

[4] Logan, B. F., Inforeation in the Zero-crossings of Bandpass Signals, *Bell Syst. Tech. J.* **56**(1977), 487—510.

[5] Marr, D., Vision (W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982).

[6] Witkin, A., Scale-space Filtering, pressented at the International Joint Conferences on Artificial Intellegence (Karlsruhe, 1983, Federal Republic of Germany).

[7] Stansfield, J. L., Conclusions from the Commodity Expert Project, *A. I. Memo* **601**, MIT AI Lab.

[8] Yuille, A. L. & Poggio, T., Fringerprints Theorem for Zero Crossings, *J. O. S. A. a.*, **2**(1985), 683—692.

[9] Kuffler, S. W., Discharge Patterns and Functional Organization of Mammalian Retina, *J. Neurophysiol.* **16** (1953), 37—68.

[10] Enroth-Cugell, C. G & Roberson, J. G., The Contrast Sensitivity of Retinal Ganglion Cells of the Cat, *J. Physiol.* (*Lond*) **187**(1966), 517—552.

[11] Rodieck, R. W., & Stone, J., Analysis of Receptiv Field of Cat Retinal Ganglion Cells, *J. Neurophysiol.* **28**(1965), 833—849.

[12] Marr, D. and Hildreth, E. C., The Detection of Intensity Changes by Computer and Biological Vision System, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **22**(1985), 1—27.

AN ELECTRONIC NETWORK FOR EDGE DETECTION USING DOG OPERATOR FUNCTION

LIU ZILI　WANG XIANG　ZHANG SHAOWU

(Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing, 100080)

ABSTRACT

In computational vision, edge detection is an important step in visual information processing to represent the image. Along with rationalizing DOG (difference of Gaussians) function as a suitable edge detection operator in terms of localization in spacial/frequency domains, the regularization theory and the informational completeness, we proposed an electronic network model of edge detection. By adjusting network parameters, the system could detect zero-crossings of an image filtered through the $\nabla^2 G_\lambda$, the regularizational or psychophysical operators as DOG functions. The output of the network was a zero-crossing spectrum with time as the scale space dimension. The prospect of hardware network design is also discussed.

Key words: Edge detection; DOG function; network model.