

# 应用菌紫质膜模拟动物“边”感受野并检测图像边界轮廓

王光毓 杨俭华 张志广 林书煌

(首都师范大学生物信息科学研究所 北京 100037)

王敖金 胡坤生

(中国科学院生物物理研究所 北京 100101)

菌紫质膜是一种颇有前途的分子电子器件材料。Tsutomu<sup>[1]</sup>以菌紫质膜为材料,完成了具有动物视觉功能特点的含 256 像素的图像传感器。此外,菌紫质膜还被用来模拟视觉感受野的运算功能<sup>[2~4]</sup>。

简单细胞“边”感受野由两个互为颞颥的 ON 响应区和 OFF 响应区组成。它对图像中的对比度信息具有敏感性。菌紫质膜因其优良的分辨率(5000 线/min),灵敏度(1~805/cm<sup>2</sup>)以及光电特性而足以被用来制作人工“边”感受野,并模拟简单细胞“边”感受野的这一特性。以此为基础,本文构建了一个图像轮廓检测的原理系统,成功地检测了简单图像轮廓。

## 1 材料、原理及方法

### 1.1 菌紫质人工沉淀膜及人工“边”感受野的制作

取 0.1ml 按传统方法<sup>[5]</sup>制得的菌紫质紫膜悬浮液(1mg/ml)均匀涂于亲水处理过 ITO 导电玻璃的导电层上,得到大小一样的沉淀膜 2 块,并排组装成人工“边”感受野。其中左边一块接正极为 ON-区,右边一块接负极为 OFF-区。两块同时置于含 0.1mol/L 的 KCl 的琼脂中。LB 膜面向光照区。由图 1A 可见,人工“边”感受野由左右对称的 ON 区和 OFF 区组成。其结构与动物简单细胞“边”感受野类似。用一小光点扫描整个感受野测得地形图。所用光源为卤钨灯,光照强度为 30mW/cm<sup>2</sup>。

### 1.2 图像轮廓检测系统的原理和框图

1.2.1 原理和算法:图像轮廓检测的任务是检测空间亮度分布的突变信息。现将人工“边”感受野对一幅含  $m \times n$  个像素的图像逐行扫描,单位步长为一个像素。由于人工“边”感受野中具有两个互为颞颥的对光响应区域,因此当人工“边”感受野在图像的亮度均匀区域时,其输出为零。而当人工“边”感受野在图像的亮度不均匀区时,其输出或正或负。一旦人工“边”感受野的输出,出现由正到负(或由负到正)时,即检测到了亮度分布的突变信息-边界。从人工“边”感受野输出的,含有轮廓信息的信号通过 A/D 输入计算机系统。因在计算机的处理程序中包含一个局部神经网络(见图 2A)。这些信号可以“行”为单位进行图像重建。

a. “边”感受野的输出  $RF(i, j)$  首先触发局部神经网络中的神经细胞 A, 使其状态  $A(i, j)$  或兴奋( $+1'$ )、或抑制( $-1'$ )、或仍保持静息态( $0'$ ), 即:

$$A(i, j) = \begin{cases} +1 & RF(i, j) > P \\ -1 & RF(i, j) < -P \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

其中  $P$  为阈值。

北京市自然科学基金,北京市教委及首都师大重点课题资助。

本文于 1996 年 7 月 10 日收到。

b. 神经细胞 A 的输出一路经 B 延迟“边”感受野扫描一个步长的时间后到 C; 另一路则直接到 C, 两路信号  $A(i, j)$  和  $A(i, j-1)$  在 C 发生竞争, 当  $A(i, j)$  不为零时,  $A(i, j)$  为优势信号; 而当  $A(i, j)$  为零时, 则  $A(i, j-1)$  为优势信号。C 的输出  $C(i, j)$  与优势信号值相等。

c. C 的输出  $C(i, j)$  按行输入一个  $m \times n$  的矩阵。这样当“边”感受

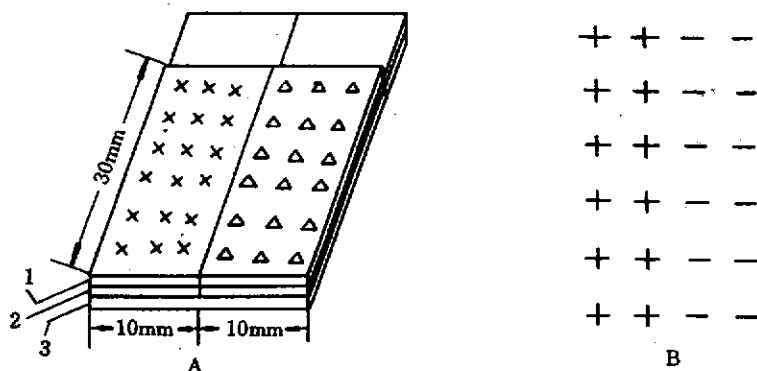


图1 用菌紫质人工沉淀膜所组装的人工“边”感受野的示意图(A)和地形图(B)  
X: ON-区, OFF-区; 1. LB 膜; 2. ITO 导电层; 3. 玻璃层; “+”代表兴奋区, “-”代表抑制区。

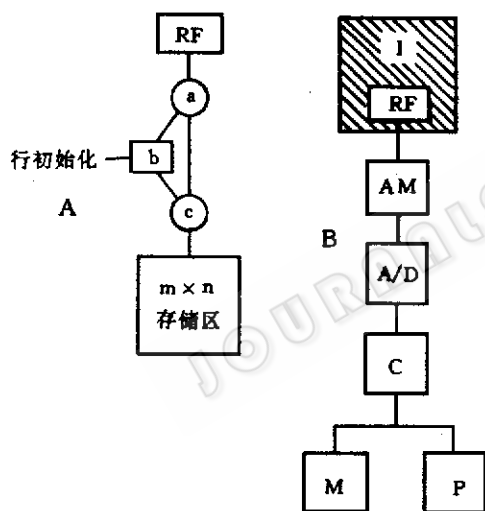


图2 图像轮廓检测系统的原理框图

A. 算法框图; B. 图像轮廓检测系统框图。其中, I: 像, RF: 感受野, AM: 放大器, C: 计算机, M: 监视器, P: 打印机。

## 2.2 图像边界轮廓检测

作为原理性实验, 所测图像的边界方向仅为两类, 且互垂。图3为所检测的一个实例。原图“中”(3A)经人工“边”感受野扫描读入并经放大、转换及处理后得二值图(图3B)和边界轮廓图(图3C)。结果表明, 以菌紫质人工“边”感受野为基础的图像边界轮廓检测系统的方案, 在原理上是可行的。其视觉运算机制是一般的图像系统中所不具备的。

当前的图像存储和处理系统大多是依靠以硅材料为基础的微电子技术完成的。但微电子技术的进一步发展, 由于在空间和时间两方面的限制, 而变得步履艰难。光敏蛋白菌紫质因其分子水平上的超

野对图像扫描完毕后, 即在此矩阵上形成一幅二值图。

d. 将二值图变为轮廓图输出。e. 每行起始时先对 B 进行清零。

1.2.2 系统框图: 系统原理框图见图2B。原始图像由人工感受野扫描读入, 感受野的输出信号经 Philips PM 3375 电流放大器放大并作电流/电压转换后, 通过 A/D 进入 586 计算机系统。结果按二值(+/-)图和边框图输出。

## 2 结果和讨论

### 2.1 人工“边”感受野地形图

用小光点逐点刺激人工“边”感受野, 所得结果类似于动物简单细胞“边”感受野。对 ON 区来说, 在光刺激开启时有正的微分响应, 而在光刺激关闭时有负的微分响应, 记为“+”。对 OFF 区来说, 则完全相反, 记为“-”。由此得人工“边”感受野的地形图(图1B)。从地形图和各区微分响应可见该人工感受野具有足够的分辨率和灵敏度, 并有互为额

颖的结构特征, 这就确保了人工感受野对图像中的对比度信息的提取。

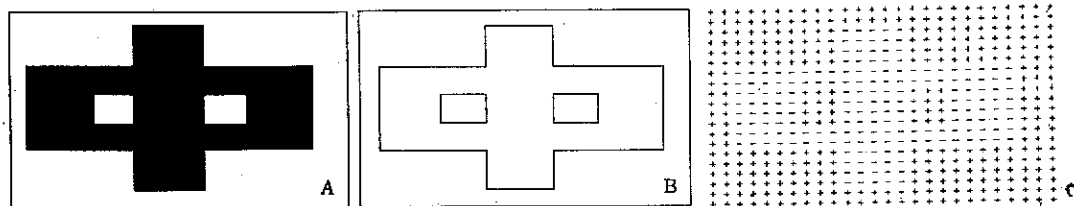


图3 图像边界轮廓检测的一个实例

A. 原图, B. 二值图, C. 边界轮廓图

快、超大容量、超高密度、超小体积等优越性而倍受青睐。从视觉计算功能的模拟角度看, 菌紫质膜的光电响应具有分子水平的分辨能力和良好的灵敏度, 因此它更可能在比现有的光电转换器件更小的尺度上, 以二维的形式近真地模拟动物视觉计算功能。因此, 这方面研究的发展将对人工智能技术、人工视觉和图像技术的发展产生推动作用。

## 参 考 文 献

- [1] Miyasaka T, Koyama K. *Appl Opt*, 1993, 32: 6371~6379.
- [2] Tkci H, Lewis A, Chen Z *et al*. *Appl Opt*, 1991, 30: 500~509.
- [3] 杨俭华, 王光毓, 张志广等. *生物物理学报*, 1995, 11(3): 382~388.
- [4] 王光毓, 杨俭华, 张志广等. *生物物理学报*, 1996, 12(1): 97~102.
- [5] Oesterheld D, Stoeckenius W. *Methods Enzymol*, 1971, 31A: 667~670.

## The Simulation of the Animal Edge Receptive Field and the Contour Detection in the Image Using Bacteriorhodopsin Films

Wang Guangyu    Yang Jianhua    Zhang Zhiguang    Lin Shuhuang

(*Institute of Biological Information Sciences, Capital Normal University, Beijing 100037*)

Wang Aojin    Hu Kunsheng

(*Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing 100101*)

**Abstract** The bacteriorhodopsin-deposited films were applied to mimic the edge receptive field of the animal simple cell. On the basis of the artificial receptive field combined with artificial neuronal net, the image system for contour detection was constructed and successively detected the contour of image. The technology based on the biomolecular will promote the development of artificial vision, image technology and molecular electronic device.

**Key words** Bacteriorhodopsin, deposited film, visual simulation, receptive field, image processing