

研究报告

同心圆式感受野空间特性的电子模拟和图像增强处理

罗永昭 战 国 利

(中国科学院上海生理研究所)

同心圆式感受野是视觉系统对输入图像进行预处理的一种结构。本文对感受野参数与视觉图像处理效果的关系,用电子模型进行了模拟和分析,并用此模拟设备对图片进行了二维增强处理。

用扫描的方法构成均一视网膜模型

用并联阵列元件构成视网膜模型结构比较繁杂^[1],用扫描方法简单得多,同样可从功能上模拟感受野的特性^[2]。为了便于模拟感受野对图像的反应(这里只模拟空间特性),构成一个均一的视网膜模型,它的每个神经节细胞都具有相同的同心圆式感受野。设神经节细胞感受野的敏感性分布为 $h(x, y)$,则在感光细胞层光强分布为 $L(x, y)$ 的图像,在神经节细胞层产生的兴奋强度分布为:

$$R(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{\infty} L(x, y) \times h(\xi - x, \eta - y) dx dy \quad (1)$$

(1) 式不但表示神经节细胞层上的任何一个细胞,在感光细胞层都具有相同敏感性分布的感受野,也表示输入图像的每一点均相当于

一个点光源,它们都在神经节细胞层散布成一个反应区域,其反应强度分布函数就是感受野的敏感性分布函数。由于上述两种性质是完全等价的,所以可用以下两种扫描方法来构成均一视网膜模型:一种方法是用单个感受野来扫描图像,即用一个灵敏度分布为 $h(x, y)$ 的接收器扫描原图像,然后将所得的信号同步扫描显示出来;另一种方法是扫描拾取图像各点的信息,然后用一个同步扫描器以 $h(x, y)$ 作为强度权重重新散布到一个有储存叠加功能的接收面上,形成输出图像。如果 $h(x, y)$ 有正值和负值两部分,可以把它作为两个正值函数,用上述扫描方法使它们分别与图像卷积,然后将所得的两个图像信号相减,便可得到输出图像。

电 子 模 型

电子模型是参照上述原理构成的,如图 1 所示。物体或图中 I 在摄像管 V_1 靶面上形成的实像 $L(x, y)$ 就是输入图像, V_1 的靶面相当于感光细胞层,监视器 D 相当于神经节细胞层。监视器各个位置光斑的光强代表各个神经节细胞的兴奋程度。在模拟 on 中心型感受野

时, V_1 电子束在靶面散焦的大小代表感受野给光刺激时兴奋反应区的大小(指假设没有抑制区拮抗作用情况下的大小)。由 V_1 靶上取出兴奋区总合信号 $U_c(x, y)$ 由 A_1 放大经 K_c 调节器 M 送入加法器 C 。 $U_c(x, y)$ 又由 A_1 和 A_2 放大后输入 V_2 阴极,调节电子束的强弱。 V_2 靶面被均匀光照射。因此 V_2 的输出信号中包含与调制信号成正比的

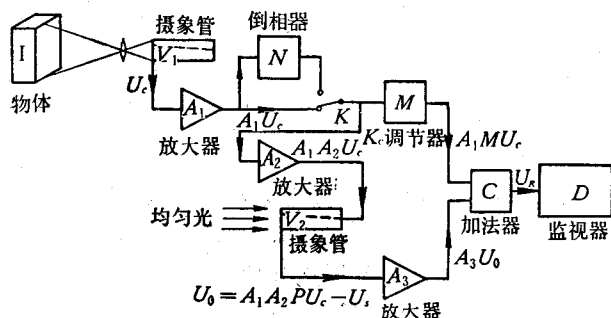


图 1 电子模型原理图

信号 $PA_1A_2U_c$, P 为与 V_2 灵敏度有关的常数。另一方面受 $A_1A_2U_c$ 调制的 V_2 散焦电子束改变了靶上各像等效电容的电荷量, 将 U_c 转变为电荷储存在靶面上, 形成一个比原图像模糊的电荷分布图像。与此同时散焦电子束又把前一帧扫描储存在靶上的电荷拾取下来, 形成信号 $-U_s$ 。 U_s 前面的负号表示与 U_c 的相应成份符号相反。由此可见, 以 V_2 靶上取出的信号经过电子束三次散焦处理。第一次是由 V_1 靶上取出, 第二次是储存在 V_2 靶上, 第三次是由 V_2 靶上取出。由于这三次散焦, 使得 $U_s(x, y)$ 相当于输入平面比兴奋区更大的一个圆形区域的总合信号。实验证明, 用电子开关使摄像管 V_2 一场存储(阳极加调制信号, 输出切断)一场拾取(阳极不加信号, 输出接通)的情况下, V_2 靶面的总输出信号就只有 $-U_s$, 不包含 U_c 的成份, 显不出来是一个模糊的负像。而在存储的同时进行拾取时, V_2 的总输出信号是 $U_0 = A_1A_2PU_c - U_s$ 。图像的轮廓细节被增强。 U_0 经 A_3 放大后由加法器 C 与 K_c 调节器来的信号 A_1MU_c 相加形成模型的最后输出信号 $U_R = A_1(M + A_2A_3P)U_c - A_3U_s$, 在监视器 D 上显不出来, 就是模型的输出图像。显然, 模型兴奋区和抑制区的大小可以分别由 V_1 和 V_2 电子束散焦面积来调节。改变 M 的大小和符号, 可以调节兴奋区的信号强度。

用一很小的光点作为输入信号, 在监视器上便可得到此模型感受野敏感性分布函数 $h(x, y)$ 的图像(图 2a, 图 2b 见图版 I)。模型的线脉冲响应函数为 $h(x) = h(x, y) * \delta(x)$, 当用一线光源作为输入信号时, 可在示波器上观察到模型输出信号强度分布, 如图 2b 曲线所示。此曲线即是 $h(x)$ 。实验结果表明, 把 U_0 作为输出信号, 模型的脉冲响应函数同样具有图 2a 和图 2b 的形状。

同心圆式感受野参数的几种不同情况

在同心圆感受野的数学模型中, 常用下面两种敏感性分布函数^[3-6]:

$$h_1(r) = K_c \exp(-r^2/r_c^2)$$

$$-K_s \exp(-r^2/r_s^2) \quad (2)$$

式中 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $0 < r_c < r_s$, K_c 和 K_s 同为正值(on 型感受野), 或同为负值(off 型感受野), $|K_c| > |K_s|$ 。

$$h_2(r) = m \text{circ}r/a - n \text{circ}r/b \quad (3)$$

式中 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $0 < a < b$, m 和 n 同为正值(on 型感受野) 或同为负值(off 型感受野),

$$|m| > |n|, \text{circ}r/a = \begin{cases} 1 & r \leq a \\ 0 & r > a \end{cases}, \text{以及 } \text{circ}r/b = \begin{cases} 1 & r \leq b \\ 0 & r > b \end{cases}.$$

对(2)式和(3)式进行傅里叶变换, 便得到感受野的空间频率传递函数^[11]:

$$\begin{aligned} G_1(f) &= F[h_1(r)] \\ &= \pi[K_c r_c^2 \exp(-\pi^2 r_c^2 f^2) - K_s r_s^2 \exp(-\pi^2 r_s^2 f^2)] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} G_2(f) &= F[h_2(r)] \\ &= ma J_1(2\pi af)/f - nb J_1(2\pi bf)/f \end{aligned} \quad (5)$$

(4)和(5)式中 $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ 。 J_1 是一阶第一类贝塞尔函数。

由(4)式可知, 当 $K_c r_c^2 = K_s r_s^2$ 时, 在 $f = 0$ 处, $G_1(0) = 0$ 。 这种条件下空间频率传递函数 $G_1(f)$ 如图 3a 曲线所示。感受野对均匀

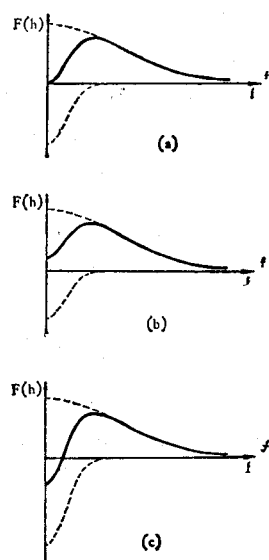


图 3 空间频率传递函数

(a) $K_c r_c^2 = K_s r_s^2$ (b) $K_c r_c^2 > K_s r_s^2$ (c) $K_c r_c^2 < K_s r_s^2$

光强不发生反应。当 $K_c r_c^2 > K_s r_s^2$ 时, $G_1(f)$ 曲线见图 3b, 低空间频率虽被抑制, 但在 $f = 0$ 处, $G_1(0) > 0$ 。当 $K_c r_c^2 < K_s r_s^2$ 时, 低空间频率和零空间频率被倒相 (传递函数为负值), $G_1(f)$ 如图 3c 所示。上述 $G_1(0) > 0$ 和 $G_1(0) = 0$ 的条件, 已在一维参数情况下所论述^[7]。

对于式(3)的数学模型, 同样有 $ma^2 = nb^2$ 时 $G_2(0) = 0$, 及 $ma^2 > nb^2$ 时 $G_2(0) > 0$, $ma^2 < na^2$ 时 $G_2(0) < 0$ 这三种情况。

模 拟 结 果

图 4a 是用普通电视摄像机在监视器上显示的正方体图形, 图 4b 为满足 $G(0) = 0$ 的条件时模型输出图像, 不论亮度绝对值大小如何, 正方体均匀光强区域被完全抑制, 输出信号都是零, 光强有变化的轮廓部分相对得到很大增强(图 4a、b、c、d、e 见图版 I)。

图 4c 是满足 $G(0) > 0$ 的条件时模型的输出图像, 正方体各均匀光强部分的差别未被全部抑制, 轮廓也得到显著增强。

图 4d 是满足 $G(0) < 0$ 时的输出图像, 这时正方体的均匀光强部分和光强变化较小的区域变为负像(抑制反应), 但轮廓仍然是被增强的正像(兴奋反应)。

在视网膜的同心圆式感受野相互拮抗的两个区域的作用下, 空间频率的低频和低频部分都受到抑制, 中间某一频段得到相对增强。如果把反应最强的频率记作 $f_{\max}$, 那么当减小 r_c 或 r_s 时, $f_{\max}$ 移向高频, 增大 r_c 或 r_s , $f_{\max}$ 移向低频, r_c 与 r_s 愈接近, 通频段愈窄。又由于高空间频率也受到抑制, 所以角的尖端和边的最外沿也被抑制, 这在 r_c 较大, $f_{\max}$ 移向低频时更加显著。图 4e 是增大 V_1 和 V_2 电子束散焦面积使 r_c 和 r_s 较大时模型显示的正方体图像, 清晰度降低, 只能分辨大概形状。这相当于生物视网膜周边区比较大的感受野的特性。

图像增强处理实验

此设备用于图像处理时, 具有参数连续可

调的优点。当 V_1 电子束聚焦而 V_2 电子束散焦时 (相当于中心区只有一个感光细胞的感受野), 具有二维空间高通滤波器的效果, 可用来增强图像细节反差。改变 V_2 电子束的粗细就可调节空间低频抑制范围, 改变 M 就可调节低频抑制程度, 可以根据需要任意调节, 选择 $G(0) > 0$, $G(0) = 0$, $G(0) < 0$ 这三类情况。图 5a (见封三) 是 X 光照片未经处理在监视器上显示的图像。图 5b (见封三) 是处理后的图像, 轮廓细节被增强。图 5c (见封三) 是增大 V_2 电子束散焦面积的处理效果, 由于 $f_{\max}$ 移向低频, 增强了较粗的轮廓。当图 2 开关 K 接到 N 时, 还可以观察处理后的负像。

讨 论

前面的模拟中, 感受野中心区对光刺激是兴奋反应, 模型具有 on 中心感受野对给光刺激的空间反应特性或 off 中心感受野对撤光刺激的空间反应特性。当图 1 开关 K 接到倒相器 N 时, 感受野中心区对光刺激是抑制反应, 模型具有 on 中心感受野对撤光刺激的空间反应特性或 off 中心感受野对给光刺激的空间反应特性。

同心圆式感受野参数满足 $G(0) < 0$ 的情况可以由模型得到实验结果, 但在生物视网膜中是否存在还有待研究。对于 on 中心型感受野的神经节细胞, 当在视网膜上对整个感受野给均匀光刺激时, 如果完全没有反应, 相当于 $G(0) = 0$ 的情况; 如果稍有兴奋反应, 相当于 $G(0) > 0$ 的情况; 如果是抑制反应, 就相当于 $G(0) < 0$ 的情况。

参 考 文 献

- [1] 安田稔等:《电子通信学会论文志》, 54-C, No. 6, 514, 1971。
- [2] 李朝义等:《生物化学与生物物理学报》, 1979 年, 第 11 卷, 第 3 期, 第 277 页。
- [3] Rodick, R. W.: *Vision Res.*, 5, 583, 1965.
- [4] Enroth-Cugell, et al.: *J. Physiol.*, 187, 517, 1966.
- [5] Békésy, G.: *J. Opt. Soc. Amer.*, 50, 1060, 1960.
- [6] 郑竺英等:《生物化学与生物物理学报》, 1965 年, 第 5 卷, 第 1 期, 第 1 页。
- [7] 汪云九:《生物化学与生物物理学报》, 1979 年, 第 11 卷, 第 1 期, 第 1 页。
- [8] 孙复川等:《科学通报》, 1978 年, 第 23 卷, 第 10 期,

第 633 页。

[9] Kaji, S. et al.: *Vision Res.*, 14, 113, 1974.

[10] Groh, F. & Haendle, J.: *Electro. Medica*, No. 3, 71, 1968.

[11] 顾德门:《傅里叶光学导论》(詹达之等译), 1976, 科

学出版社, 北京。

[12] C. B. 古列维奇:《电视摄像管中的物理过程》(李洛童译), 1964, 科学出版社, 北京。

[本文于 1980 年 9 月 23 日收到]

用荧光探针菲啉溴红对不同来源 DNA 变性作用的初步研究

曹 恩 华

(中国科学院生物物理研究所)

1964 年 Le Pecq 等发现菲啉溴红 (Ethidium Bromide, 以下简称 Eth Br) 与 DNA 结合后, 其荧光强度显著升高。迄今对它与核酸的反应特性及其物理化学性质已作了较深入的研究^[1,2]。这些研究, 具有重要意义, 例如, 可用它作为荧光探针分离和测定微量核酸; 又由于它专一地插入双链核酸的碱基对之间, 对研究核酸的构象变化也有一定的帮助。

本文报道我们用荧光法测定 DNA-Eth Br 络合物的熔化曲线的条件和特点, 以及用荧光探针对不同碱基组成的 DNA 所做的初步研究。

材 料 和 方 法

1. 试剂

菲啉溴红, 本组合成^[3]。

DNA: 小牛胸腺 DNA, 鲤鱼精巢 DNA, 鸡红血球 DNA, 猪脾 DNA, 均为本组制备。大鼠肝脏 DNA、黄鱼精子 DNA 得自上海生物化学研究所。各种细菌 DNA 系中国科学院微生物研究所赠送。DNA 的样品必须保持天然构象; 蛋白含量需在 1% 以下。

DNA 的碱基组成数据(化学分析), 根据已发表的其它人的报告。

其余试剂分析纯; 均系北京化工厂产品。

2. 溶液配制

Eth Br 贮备液: 用 1.0 毫克 Eth Br/毫升

缓冲液配制; 4℃ 暗处保存。

DNA 贮备液: 用 1.0 毫克 DNA/毫升缓冲液配制。

柠檬酸缓冲液 (SSC) 0.15 M NaCl + 0.015 M 柠檬酸钠, pH7.0 ± 0.20, 测定时用重蒸馏水稀释 10 倍。

所有溶液均以重蒸馏水配制。

3. 仪器

WFD-9 型荧光分光光度计, 自带恒温附件。用恒温水槽循环加热 (当样品的熔化温度较高时, 改用乙二醇加热)。激发波长 520 毫微米, 荧光发射波长 600 毫微米。

4. 熔点温度 [$T_m(F)$] 的测定:

除特别说明外, 所有测定样品均用 0.1 × SSC 溶液稀释, 最终浓度 DNA 20 微克/毫升, Eth Br 10 微克/毫升。总体积为 3.0 毫升, 样品置于光径为 1.0 厘米的石英杯中。用连续加热法, 加热过程中自动记录 600 毫微米处的荧光强度; 温度上升速度为 0.5—2℃/分。荧光强度骤降为原来的 50% 处的温度定为熔点温度 [$T_m(F)$]。

结 果 与 讨 论

1. DNA-Eth Br 络合物的荧光强与温度的关系

小牛胸腺 DNA 溶液加入 Eth Br 后, 以 520 毫微米的单色光照射。随温度升高, 在 600

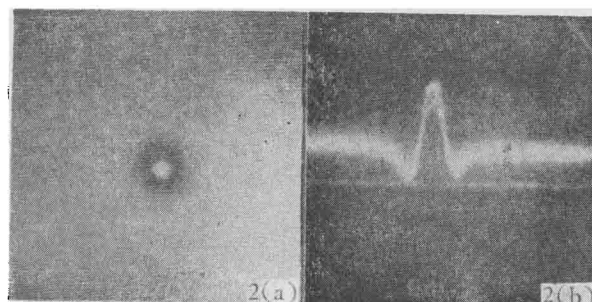


图 2a 模型的点脉冲响应函数 $h(x, y)$
2b 模型的线脉冲响应函数 $h(x)$

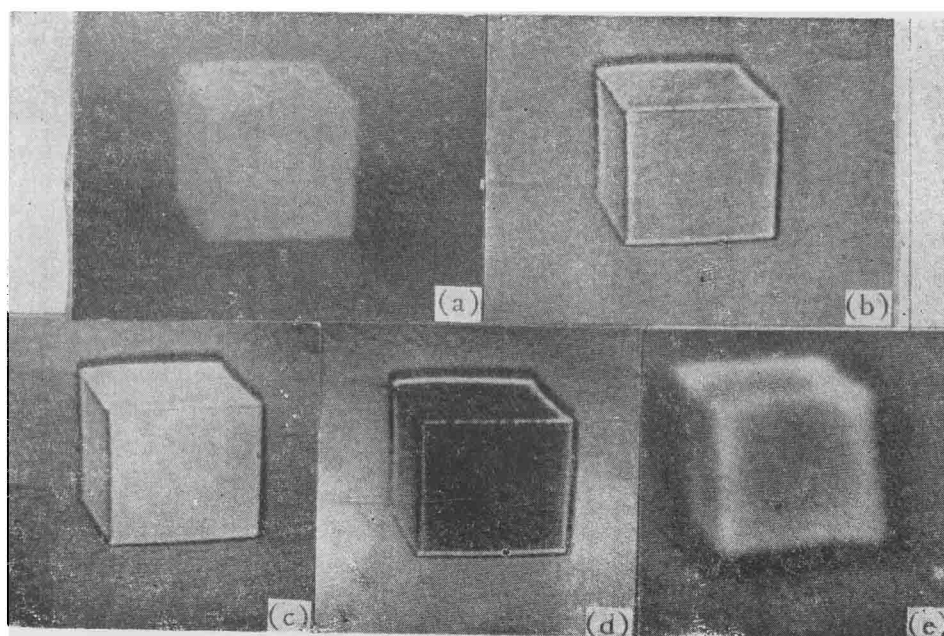


图 4a 未经处理的正方体图像; 4b $G(0) = 0$ 时输出图像
4c $G(0) > 0$ 时输出图像; 4d $G(0) > 0$ 时输出图像;
4e 增大 V_1 和 V_2 电子束散焦面积时的输出图像

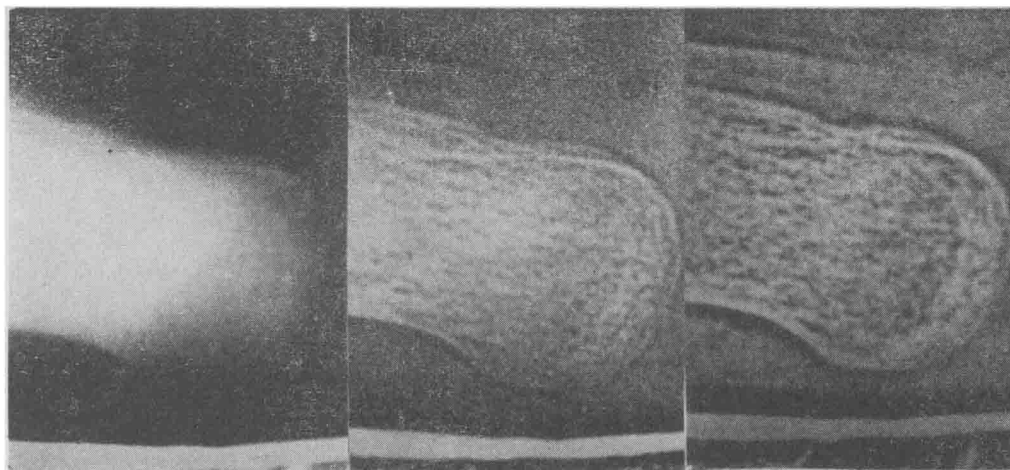


图5 (a)

(b)

(c)

专 访

邹承鲁教授访澳归来

1981年4月25日—5月26日,中国生物化学会副理事长,中国科学院生物物理所研究员、副所长邹承鲁教授,应澳大利亚 Monash 大学生物化学教授、下届国际生物化学大会主席, Linnana 教授邀请去澳大利亚作为时三周的讲学与访问。最近回国,我们专程进行访问。

邹承鲁教授对我们说:澳大利亚近年来科学发展迅猛,特别是在线粒体的自然发生,生化遗传和流感病毒生化以及最近在骨盘松弛素(Relaxin)基因工程方面的成就已达到国际水平。实验室设备与欧美先进国家相比并不逊色。

澳大利亚的基础研究与应用研究紧密结合,澳科学技术研究组织 Csiro 所属的蛋白质研究室除了进行基础研究外,很多研究课题与羊毛有关。植物工业研究室除应用研究外,还着重于酶和光合作用等基础研究。此外,澳大利亚政府对分子生物学的研究十分重

视,正在筹建分子生物研究所。

邹教授还说:澳科学家们对我国科学发展十分关心,他们希望我国派遣留学生去澳工作与学习,能有尽量多的生物化学家参加明年在澳举行的第十二届国际生物化学会大会,并早日参加亚太地区国际生物化学会。

邹教授这次出访,参观了澳大利亚科学院,与澳科学院院长,执行秘书和外事秘书克里斯琴森教授进行了友好的交谈,还参观了 Monash 大学、Melbourne 大学、澳国立大学、Sydney 大学、Adelaide 大学及澳科技研究组织所属各有关单位。在 Adelaide 还参加了澳生物化学会年会的部分活动,同时作了七次学术报告,获得了与会者的赞扬与好评,为加强两国生物化学学术和工作交流,发展两国学者的友好往来作出了积极的贡献。

《本刊报道》

新书推荐

《基因操作原理》

Principles of gene manipulation 系《微生物学研究》(*studied in microbiology*)的第二卷, R. W. old 和 S. B. Primrose 著,英国布莱克韦尔科学出版社1980年出版,138页。本书是一本通俗易懂的基础读物。对初从事分子遗传学和遗传工程研究的科学工作者是必不可少的,也可借高等学校遗传课的教学参考。

内容有:1.序论;2.DNA分子的切割与连接;3.质粒作为无性繁殖的载体;4.噬菌体和科斯(Cosm-

id)质粒;5.无性繁殖的方案;6.重组选择和特性;7.DNA分子无性繁殖的表达;8.哺乳动物细胞中DNA无性繁殖;9.植物细胞中DNA无性繁殖的可能载体;10.重组DNA研究的应用;书后并附基因操作使用的酶、术语、索引等。

本书第一、二章已译出刊在中国科学院图书馆编辑出版的《遗传工程》(第2期),以后各章将陆续在此杂志上刊出。

(张树庸)