

# 神经细胞的计算机三维重构

沃敏政 李庆熊

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

将计算机结合绘图仪显示立体图像的方法应用于神经细胞的三维重构。本文介绍了神经细胞整体数据的构成和根据双眼立体视觉原理绘制立体投影面的方法。这就为研究生物细胞的形态结构提供了一个灵活而直观的方法。

关键词: 计算机图示学; 立体观察。

## 一、引 言

在研究神经细胞的形态结构时,须将神经细胞样品固化在树脂中,作分层切片(每层切片厚度约  $10\mu\text{m}$ )。然后在显微镜下观察,用投影方法画在每层切片中每条神经索的走向。一个神经细胞往往要分成十几层切片,得到十几张分层的投影图。要从这十几张神经细胞的切片投影图来想象出原来神经细胞的立体形态是极其困难的,很不直观。而且这样得到的只是某一特定方向上的平行投影图。细胞一经切片就不能重新复原进行其它方向重新投影,这样对研究神经细胞的三维形态结构带来很大困难。

利用双眼立体视觉原理,由计算机来重构神经细胞的三维形态,通过绘图仪绘制出立体投影图,使人们可以直接看到神经细胞立体结构。这个方法的灵活性,直观性对研究神经细胞的形态有很大的意义。

## 二、细胞的三维数据

计算机绘图是一项很细致的工作。由显微读出的分层数据,通过计算机连结成一个完整的细胞原始数据。脑神经细胞是由树叉形的神经索构成。因此整个细胞的数据是链状数据。各点坐标是按照神经索的走向顺序排列。

相邻层之间坐标通过平移和转动变换连结起来。经过切片后细胞被分成多层。切面的法向取为  $z$  轴方向。每层切片在显微镜下观察,通过连接于载物台上的千分表,在调焦追踪神经索时,可仔细读出神经索上各点的  $z'$  轴坐标。第  $N$  层测得  $z'$  值。在整体细胞的坐标系中  $z = \sum_{i=1}^{N-1} d_i + z'$ ,  $d_i$  是  $1 \sim (N-1)$  每层的切片厚度。

要将上,下相邻的二层坐标连接起来,要作如下的变换。在上一层的底面和下一层的顶面任取两个相对应的点  $A, B$ 。在上一层的坐标是  $A(x_A, y_A)$ ;  $B(x_B, y_B)$ 。在下一层的坐

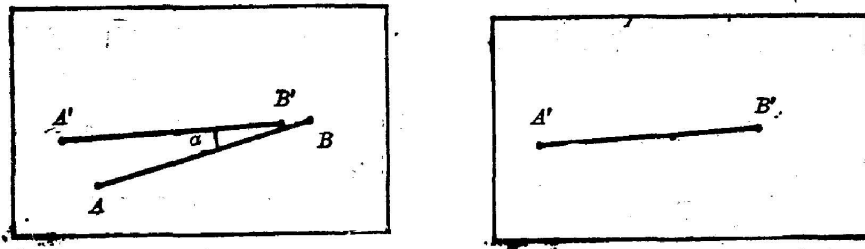


Fig. 1 Relation between coordinates of the two sides of a section

标是  $A(x'_A, y'_A)$ ;  $B(x'_B, y'_B)$ 。如图 1 所示。下一层坐标在上一层坐标系中的表示为

$$x = [(x_A - x'_A) + x'] \cos \alpha - [(y_A - y'_A) + y'] \sin \alpha, \quad (1)$$

$$y = [(x_A - x'_A) + x'] \sin \alpha + [(y_A - y'_A) + y'] \cos \alpha, \quad (2)$$

其中  $\alpha$  是这二层坐标系中二相应点连线之间的夹角。

$$K_1 = (y_B - y_A) / (x_B - x_A), \quad (3)$$

$$K_2 = (y'_B - y'_A) / (x'_B - x'_A), \quad (4)$$

$$\sin \alpha = (K_2 - K_1) / \sqrt{(1 + K_1^2)(1 + K_2^2)}, \quad (5)$$

$$\cos \alpha = (1 + K_1 K_2) / \sqrt{(1 + K_1^2)(1 + K_2^2)}, \quad (6)$$

经过上述变换之后, 所有切片的神经索坐标在计算机中就连接成一个完整的神经细胞原始数据。为了以后绘图仪输出, 每点除了坐标数据外还须注上该点状态参数  $n$ 。在我们的绘图仪的绘图语句中,  $n=2$  表示落笔移动,  $n=3$  表示抬笔移动。凡是神经索的起始端点, 都要注上  $n=3$ , 其余都注上  $n=2$ 。

### 三、计算机绘制三维神经细胞的投影图

人们在用双眼观察空间物体时, 很容易估计出物体的空间距离。人的双眼实体视觉是同一空间物体在人的两只眼睛的视网膜上分别形成两个不同视角的投影像。空间两点与两眼基线的距离不同, 在视网膜上就会产生视角差<sup>[2]</sup>。两个投影像是类似的但并不是几何相似形。要看到立体视觉, 就要让两只眼睛分别接收不同视角的物体投影面。根据这个原理, 有很多方法可以实现立体观察。例如用偏振的方法, 双目实体镜, 滤色片方法都能观察到立体效果, 我们用有色滤光片来实现立体观察。

先由计算机将细胞的原始数据按照选定的观察方位作旋转变换, 并产生两组不同视角的立体投影图<sup>[3]</sup>。然后输出到绘图仪。用两种不同颜色的笔(例如红、绿两色)分别绘出投影图。用红笔绘左眼视角的投影图, 绿笔绘右眼视角的投影图。观察时左眼带绿色滤光片, 投影图中的绿线就隐而不见, 只看到红笔绘的左视图。右眼带红色滤光片, 只接收到绿笔绘的右视图。两个方向的视图分别被两只眼睛接收。在人的大脑里综合成一幅“真实”的立体图像。

图 2 是投影关系图。细胞的中心位于坐标原点  $O$ , 沿着  $z$  轴方向距离  $D_s$  的平面  $S$  为观察平面。  $EL$ 、 $ER$  分别为左右二视点。二视点连线和  $x$  轴平行称为基线。二视点相距  $L$ 。  $L/D_s$  是观察视角。要保持立体图像和实际细胞的几何相似。视角的大小应和实际观

察时的视角相同。投影屏  $W$  在物体中心后面相距  $DR$ 。

原始数据按神经索走向的顺序送入计算机。选定所需要观察的方向对原始数据作旋转

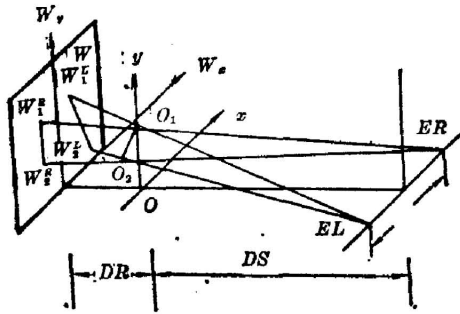


Fig. 2 Projective stereogram

变换。旋转后的坐标轴的方向余弦为  $\vec{OX}(l_1, m_1, n_1)$ ;  $\vec{OY}(l_2, m_2, n_2)$ ;  $\vec{OZ}(l_3, m_3, n_3)$ 。则旋转后的坐标为:

$$\left. \begin{aligned} x &= l_1 X + l_2 Y + l_3 Z, \\ y &= m_1 X + m_2 Y + m_3 Z, \\ z &= n_1 X + n_2 Y + n_3 Z \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

分别以  $ER, EL$  为投影中心, 按照图 2 的关系图将旋转后的细胞投影到  $W$  屏上。

左视图的投影关系为:

$$\left\{ \begin{aligned} W_x^L &= (DR + DS)(x - L/2) / (DS - z) + L/2, \\ W_y^L &= (DR + DS)y / (DS - z), \end{aligned} \right. \quad (8)$$

右视图的投影坐标为:

$$\left\{ \begin{aligned} W_x^R &= (DR + DS)(x + L/2) / (DS - z) - L/2, \\ W_y^R &= (DR + DS)y / (DS - z), \end{aligned} \right. \quad (9)$$

式中  $L$  是二视点的距离。从(8)、(9)中可以看出

$$W_y^L - W_y^R = 0, \quad (10)$$

空间一点在二视图中的  $y$  方向投影是一样的。

$$W_x^L - W_x^R = L \cdot (DR + z) / (DS - z), \quad (11)$$

$W_x^L - W_x^R$  称为实体差。空间一点和二视点基线距离越近实体差越大。但距离太近实体差太大, 也难以在人脑里合成立体视觉, 就只看到双像。当  $z = -DR$  时,  $W_x^L - W_x^R = 0$ 。在投影屏上重合成一个点。把投影屏设计在这个位置上, 在观察实体细胞形态时不致有悬空感觉。

图 3 绘制的是猫的大脑运动神经细胞立体形态图。细胞数据是由中科院脑研究所提供的。计算是在 DEC 公司的 PDP 机器上完成。投影图是通过 SR-6602 多笔绘图仪绘制的。(图 3 参见本期第 60~61 页间的彩色插页 4)。

### 参 考 文 献

- [1] 潘伯楷, 佟国治等编著;《计算机自动绘图系统》, (中国铁道出版社, 1982), 287。  
[2] A. E. 杜德罗夫斯基著, 王之江等译,《光紫仪器理论》, (Vol. 2), (科学出版社, 北京, 1965), 582~588。

## Three-dimensional restructure of neural cells on a computer

WO MINCHEN AND LI QINXIUN

*(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)*

(Received 27 June 1985)

### Abstract

The ability of displaying stereograms on a computerized plotter has been applied to the 3-D reconstruction of cranial neural cells. We present in this paper the integrated digital constitutions of neural cells and the way of plotting stereo projective maps according to the stereopsis principle. The method provides a flexible and straight forward way for the study of the structures and morphology of organic cells.

**Key Words:** Computer graphic; Stereopsis.