

除和抑制附加噪声,这除了电路本身的设计外,还必须保证在轮廓信号中,相当于图像“背景”区的直流信号,完全处于同一电平。

为了保证这一点,我们在第 $p$ 行三像素的组合电路中,采用了延迟线初端匹配、终端开路的全反射延迟叠加技术和带恒流源的差分减法器,收到了良好的效果(图5)。图中, $R_c$ 为延迟线的特性阻抗, $\Delta t$ 为两相邻像素间的时间差,由视频延迟线完成时间延迟任务。通过分析不难看出,在图像的“背景”区域,差分电路两端的输入信号大小相等、相位相同,这就保证了轮廓信号的“背景”区处于同一电平。

其余两行( $p-1$ 和 $p+1$ )的四个抑制量的组合电路,也采用了延迟线初端匹配,终端开路的全反射延迟叠加技术,不但大大简化了组合电路,而且保证了同行两个抑制信号两两等隔叠加。

实践表明,鲨鱼侧抑制电子模型,采取了上述噪声抑制措施,对降低图像噪声、提高微光电视图像清晰度,具有明显的效果。

## 五、鲨鱼侧抑制电子模型的局限性

鲨鱼电子模型,模拟鲨鱼侧抑制网络的空

间结构和作用原理,根据微光图像及其噪声的空间频谱特点选取电路时间参数,确定行间抑制信号带宽,对抑制噪声干扰、突出图像主要信息,收到了满意的效果。

然而,鲨鱼侧抑制电子模型毕竟带来了一部分附加噪声,尽管有的文章分析了侧抑制加工提高信噪比的可能性<sup>[5]</sup>。因此我们认为“侧抑制原理”可以用于提高微光下“识别”图像的清晰度,而用于提高微光下“检测”图像的距离是困难的。

## 参 考 文 献

- [1] Ratliff F.: Mach Bands, p. 105—117.
- [2] Глезер В. Д.: Информация и зрение, с. 105—113.
- [3] Soule H. V.: Electro-optical Photography at Low Illumination levels.
- [4] 千葉茂樹、藤尾孝、安東平一郎: テレビ誌 20 (4)24, 1966.
- [5] Петров А. А.: Некоторые Методы Обработки. Рецепторных Сигналов в биологических Системах. В. сб. «Методы Сбора и Анализа Информации в Физиологии и Медицине».

[本文于1979年1月20日收到]

# 某些“视觉不变性”的计算机模拟

陆 惠 民

(中国科学院生物物理研究所五室)

## 一、引 言

“视觉不变性”是人类和某些动物识别图象的重要特点,所谓“视觉不变性”,是指当某一个物体或图形的位置、大小发生一定程度的变化以及其方位发生某些旋转以后,人与某些动物对该图形的识别不变,研究视觉系统“视觉不变性”的机理,模拟人与动物对图象的这种识别本领是十分重要的,因为用人造的“机器视觉”来代替人的视觉系统时,也要求机器的“眼睛”(如

摄象机)在被观察的物体相对于摄象机作一定程度的距离变化(即图象的大小发生变化)或者物体相对于摄象机光轴作一定的位移以及物体的方位相对于摄象机作了一定的旋转后,像人眼一样仍旧能够识别。此外,对“视觉不变性”的研究和模拟,可能会有助于搞清楚视觉系统信息加工的机制。

1966年, M. Kabrisky 对视觉不变性进行了初步的研究<sup>[1]</sup>。他总结了当时对人和动物的视觉系统取得的解剖学、组织学和生理学等的

研究成就,把脊椎动物的神经系统,特别是人的视觉系统作为一种信息加工系统来处理。他根据 Dusser de Barenne 和 McCulloch 用番木鳖碱技术研究大脑皮层中的神经通路得到的结果,建立了视觉信息在视皮层区之间的联接模式[图 1],并说明这种联接使输入到大脑皮层的资料与贮存在大脑皮层的资料有可能进行两维交相关运算,以解释人和某些动物的视觉不变性。

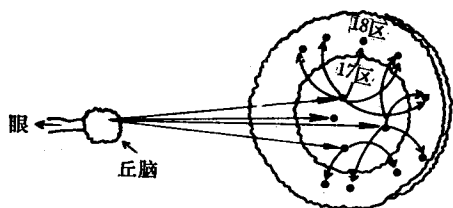


图 1 (引自[1])

为了便于说明,图 1 可简化为一维的连接图(图 2)。由于一般认为丘脑只能对信息起中继的作用,不能对输入的信息进行处理,因此假设视觉信息是在人的大脑皮层中进行的处理的。

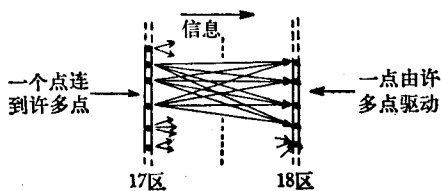


图 2 (引自[1])

由图 2 可以看到,大脑皮层 17 区的一个功能点联到皮层 18 区的许多功能点,而 18 区的一个功能点可以由 17 区的许多功能点驱动,这种联接方式可能与图象放大因子变化时人与某些动物的“视觉不变性”有关。

关于位移的“视觉不变性”,他认为可能与眼睛的搜索运动以及眼球的颤动有关,眼睛的这些机械运动,使图象与大脑中贮存的资料能很好地对准与匹配。

旋转不变性的问题比较复杂,对于复杂的图象例如人脸照片,当旋转一个不大的角度时还可以识别,但当旋转  $180^\circ$  时,你将不能识别一张熟悉的人像照片,除非脸上有特殊的特征。

在阅读文章时,如果将书报旋转  $90^\circ$  或  $180^\circ$ ,你虽然仍旧能够阅读,但是阅读速度大大下降。而对于有些物体如小刀,餐具,手工工具等则不管它们的位置怎样旋转,人们都能很容易地识别它们。他认为,当这些简单物体的方位发生旋转后,人们识别它们的能力不变,可能仅仅是由于人们已经记住了它们在很多方向上的形态。所以他认为除非一个物体在通常情况下是以许多不同的角度放着的,否则当物体旋转了一个可观的角度后,人们将不能以正常的敏捷速度识别它。对于像人脸照片这样的复杂图形,由于人们平时没有倒着看的经历与习惯,所以当倒着看时就认不出来了,他认为当物体的方位任意旋转时,在大脑皮层中进行的基本运算并不是一成不变的。当图象旋转的角度比较小时,他解释由于交相关运算的误差还比较小,所以还是可以识别。

在 70 年代中期, F. W. Campbell 等从人的心理物理实验<sup>[2]</sup>,以及后来从一些动物(如猫、猴子)的电生理实验中发现,在人和猫、猴等视觉通道中似乎存在着多个空间频率通道,这些对频率有选择性的频道可能是用来对物体的大小信息进行编码的<sup>[3]</sup>。关于波形的富里埃分解与合成的理论似乎也适用于视觉系统,因为在检测了人对各种不同的波形条纹的反差阈值后发现,只要应用富里埃理论就能预算出相当宽的空间频率范围内的频率检测阈值, L. Maffei 等还发现,当人以一个眼注视某一频率的正弦波而另一眼注视频率为其三倍,幅度与相位合适的谐波时,人的感觉却是看到了一个方波<sup>[4]</sup>,就像光学中的富氏合成似的。在视觉系统中引入富里埃理论也有助于解释某些“视觉不变性”。从许多实验的启发中 Campbell 等认为一个图象的生物编码有两大重要特征。第一,抽提了关于边、棒或条纹的朝向信息;第二,抽提了图象所具有的空间频率特征。

1973 年 M. Kabrisky 等提出了一个人视觉系统的模型<sup>[5]</sup>,模型假定人脑对形状进行识别的功能是依靠视皮层的 17 区、18 区和 19 区对输入资料进行两维富里埃转换的结果,对模型

的模拟结果说明它适用于图象识别问题,例如它为高分辨率的雷达目标鉴别任务提供了一种方法。他们的富氏变化实验模型提供了对于简单图形旋转  $\pm 30^\circ$  的不变性。

Robert. B. McGhee 从自动识别飞机种类的需要出发,研究了从光学图象自动鉴别复杂的三维目标的问题,他总结了工程中使用的一些技术如富里埃不变量、矩不变量等用来处理有旋转和位移变化的目标<sup>[6]</sup>。

我们对一些多边形以通用电子计算机进行了识别和分类,这些多边形的位置在一幅画面中是任意的,同一图形可以有大小变化,也可以容许某些旋转(如  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  等),通过抽提一定的特征,使计算机对这些图形具有一定的“视觉不变性”。

## 二、计算机模拟方法

上面已经介绍过,视觉系统对图象特征的编码似主要抽提两大特征即(1)边、棒、条纹的朝向信息和(2)图象所具有的空间频率特征。关于线段朝向信息的提取,在线形图象处理技术中“方向链码”技术是比较常用的,我们将它用于多边形的几何特征的抽提,即由多边形的轮廓的“方向链码”中再抽提出多边形的内角等特征。关于图象的空间频率特征,由于空间频谱的高低大致反映了图形的精细程度,对于多边形来讲,也在一定程度上反映了多边形边数的多少,所以我们抽提了多边形的边数特征。多边形的边数也可以方便地从“方向链码”得到。对于画面中有许多多边形的一幅图象,在计算机处理时,首先要将各个多边形区分开,或

者说找出各个连通区,然后找出连通区的轮廓以及轮廓的“方向链码”,由轮廓的“方向链码”再抽提出需要的特征,以便对这些多边形进行识别和分类,现分述如下:

### 1. 用“跟踪法”找出一幅画面中的连通区、连通区轮廓及轮廓的“方向链码”

如果一幅画面中有许多多边形,那么为了对这些多边形分别进行分析以及抽提其特征,首先必须将各多边形分开,每个多边形就是一个连通区。判断一些象素是否连通或是否相邻有两种定义,一种叫4点邻域,一种叫8点邻域<sup>[7]</sup>,如图3所示,图中在某一象素A的周围,有四个象素(由a表示)与A有共同的边界,还有四个象素(由b表示)与A有共同的角顶点。在定义4点邻域的情况下,图中只有标上“a”的四个象素看作与A相连通,而在定义8点邻域的情况下,则图中标上“a”与“b”的8个象素都看作与A相连通。对于任意两个相邻的象素A[M,N]和A[I,J],若它们是8点邻域的,则有:

$$\text{Max}(|M - I|, |N - J|) \leq 1;$$

若它们是4点邻域的,则有:

$$|M - I| + |N - J| \leq 1;$$

我们现在定义所处理的多边形都是8点邻域的。

我们知道,一个多边形的信息主要集中在轮廓上,为了压缩信息,我们需要将多边形的轮廓找出来,我们找轮廓的方法是“跟踪法”,它是这样进行的,图4表示一个矩形阵列Q,其中有两个四边形,它们是两个连通区,它们分别由灰度值为3和4的象素组成(我们处理的多边形,假设灰度值都 $>2$ ,而背景都为0)。首先计

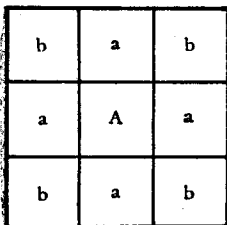
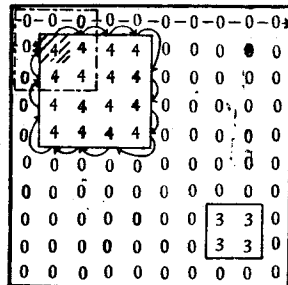
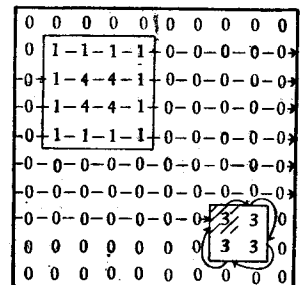


图3 4点邻域与8点邻域



(1)



(2)

图4 跟踪法求轮廓

计算机自上而下，自左而右在阵列Q中寻找第一个轮廓点(虚线表示寻找路径)，它必须满足：

$$Q[I, J] > 2 \wedge (Q[I-1, J] = 0 \vee Q[I+1, J] = 0) \vee (Q[I, J-1] = 0 \vee Q[I, J+1] = 0)$$

式中  $I, J$  都为整型量，分别代表行与列的号码， $\wedge$  为逻辑乘， $\vee$  为逻辑加。

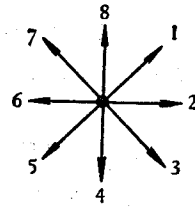
显然，大正方形的左上角象素(画斜线的)即满足此条件，找到这个轮廓点后，让计算机从该象素的右上方象素  $Q[I-1, J+1]$  开始，顺时针检查这个象素的八个邻域(用断续线框出的)，直到找到第二个轮廓点为止，对新轮廓点的要求是它本身的灰度值须大于2，并且它的前一个象素必须是0，显然  $Q[I-1, J+1]$  不满足这个条件，然后检查  $Q[I, J+1]$  这个象素，它满足轮廓点的条件即：

$$Q[I-1, J+1] = 0 \wedge Q[I, J+1] > 2$$

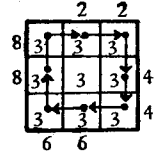
至此以  $Q[I, J]$  为中心的寻找轮廓点活动即停止，而开始以第二个轮廓点为中心重复上述的寻找活动。即只要找到一个新的轮廓点，则中心点的位置就立即转到这个轮廓点的位置，这就是所谓“跟踪”的意思。找出轮廓的顺序如图4中螺旋线所示，从起点开始直到把整个图形的轮廓象素都找出后又回到起点。凡是已找过八点邻域的轮廓点即赋予1，以免下次找轮廓时再重复找它们，当第一个正方形的轮廓找完后，就如图4(2)所示，然后再找出第二个连通区的第一个轮廓点，再找出它的轮廓，此过程直到找出全部连通区轮廓为止。

## 2. 抽取图形特征

为了对输入的一幅画面[如图8所示]中的各种图形进行识别和分类，必须找出各种图形的特征，抽提的特征应该满足：(1)依靠它们能有效地对各类图形进行区分；(2)这些特征应该对图形的某些位移、大小和旋转变化不敏感，这些特征还应该越简单越好。如上所述，我们抽提了多边形的边数、内角，对于四边形还看其邻边是否相等这样几个特征，它们都可以从各图形轮廓的“方向链码”得到。在轮廓跟踪的过程中，为了找出轮廓的几何特征，每跟踪到一个新



(1) 方向编码



(2) 对轮廓特征的编码方法

图 5

的轮廓点，就同时把新轮廓点与原轮廓点之间的方向关系用方向码子记下来[见图5(1)]，这样对轮廓跟踪一遍，就可以得到一串方向码子，通常称为“方向链码”。这种方法是对线状图形抽取几何特征并加以数字化的常用方法。现在我们将它用于抽取图形的轮廓特征。例如对于图5(2)这样一个边长为3的正方形，其轮廓线的方向链码为2, 2, 4, 4, 6, 6, 8, 8。为了由“方向链码”得到我们需要的特征，首先将它简化为“方向拐码”，所谓“拐码”是借用了数学中“拐点”的含义，即它是“方向链码”中的变化部分，像图5(2)这样的正方形，其“方向拐码”是2, 4, 6, 8。“方向拐码”是与正方形的大小无关的。由“方向拐码”再加工一下就可得到多边形的内角(或其补角)，只要将“方向拐码”顺次相减就行了，仍以图5(2)为例，其“方向拐码”为2, 4, 6, 8。其内角分别为： $(4-2)$ ， $(6-4)$ ， $(8-6)$ ，和最后一个内角为  $2+8-8$  (即“方向拐码”的首减尾，如不够减则加8后再减)，即2, 2, 2, 2。显然它表示这个四边形的四个内角(或其补角)都是直角，这个特征不管正方形的大小变化还是旋转都保持不变。多边形各边的边长(这里的边长是指每一边占多少个字)也可由“方向链码”得到，以图5(2)为例，只要将链码中不变部分的个数都加1就得到了“边长链码”3, 3, 3, 3。由它也就得到了多边形的边数，即“边长链码”的链数，图5(2)的“边长链码”是4个数，所以得到边数为4。由“边长链码”还可得到四边形邻边是否相等这个特征，我们将邻边相等用1来表示，邻边不等用0表示，以便由计算机利用。抽提轮廓特征的过程可归纳为图6。多边形的计算机分类顺序如

图7所示。

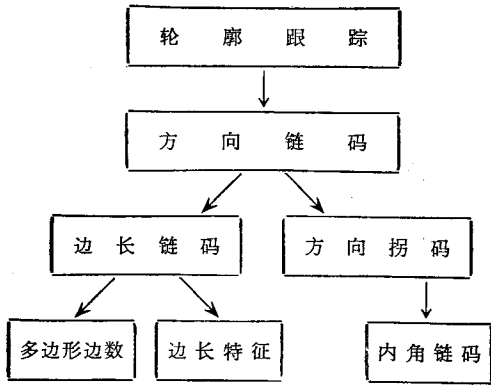


图6 特征的提取过程

### 3. 计算机在各多边形原位置输出相似图形的方法

首先在“跟踪法”求连通区轮廓时,顺次将每一个连通区第一个找到的轮廓点的位置记在一个阵列例如  $B_2$  中,在这个位置上分别记下各连通区的序号,通过对多边形抽提特征与比较得到了一批批相似形相应的连通区的序号,为了将这些序号变为对应的多边形输出,可以将输出的一批相似形的序号依次在矩阵  $B_2$  中寻找,当找到相应的序号后,即与输入原图比较,并由各连通区的第一个轮廓点“传播”到整个连通区,依次这样做,就可以得到一批相似图

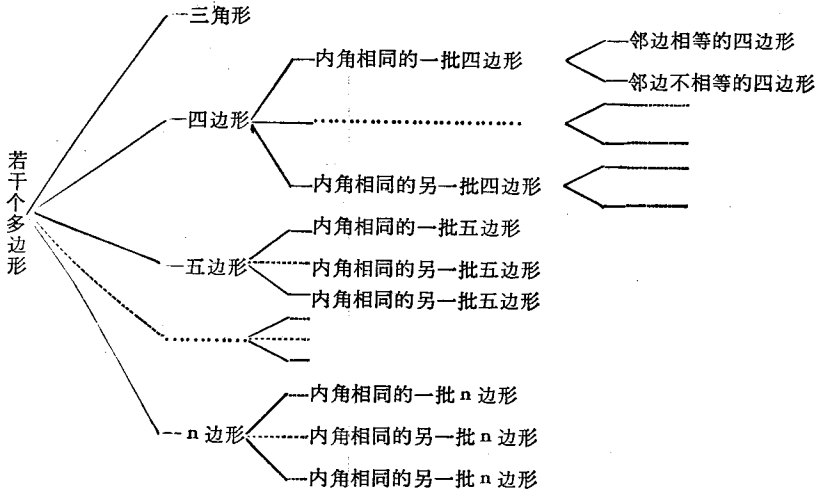


图7 计算机对多边形的分类顺序

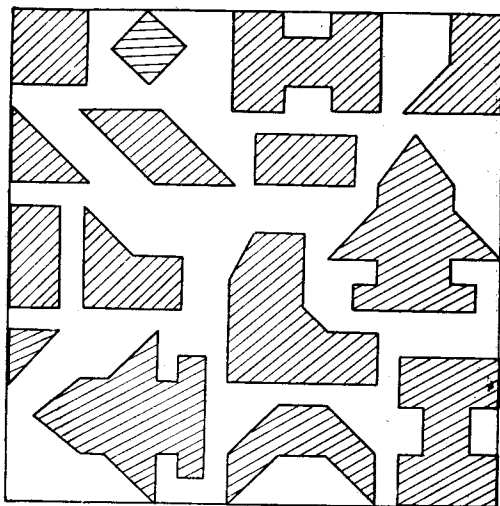


图8 计算机输入的待分类图形

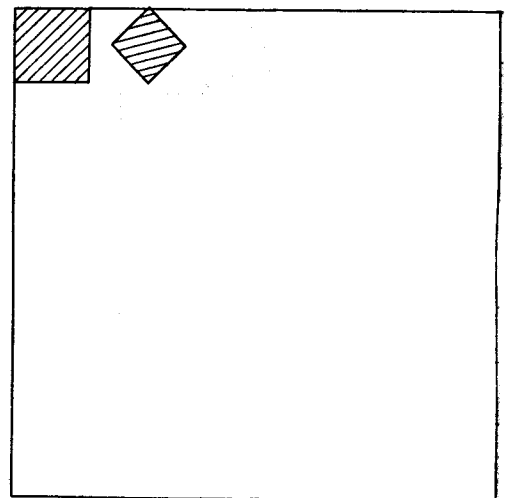


图9 输出的第一批相似形

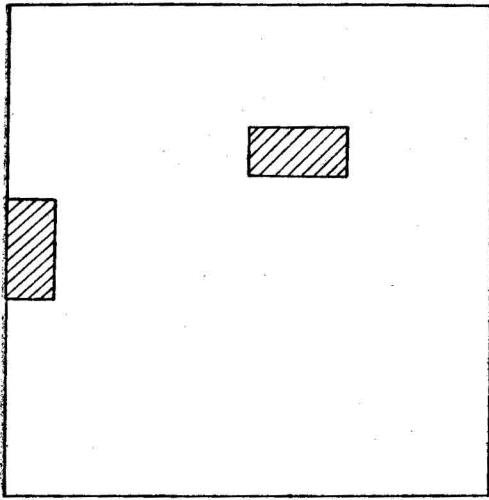


图 10 输出的第二批相似形

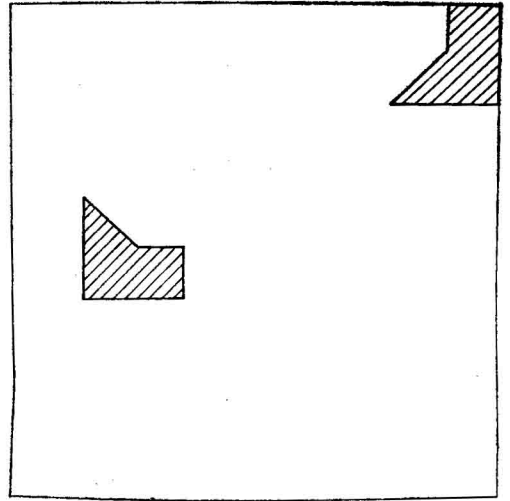


图 13 输出的第五批相似形

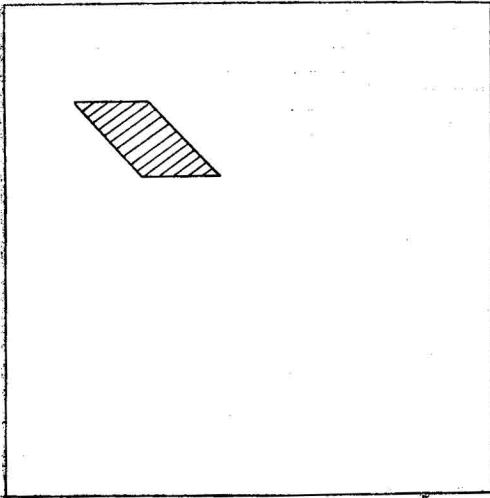


图 11 输出的第三批相似形

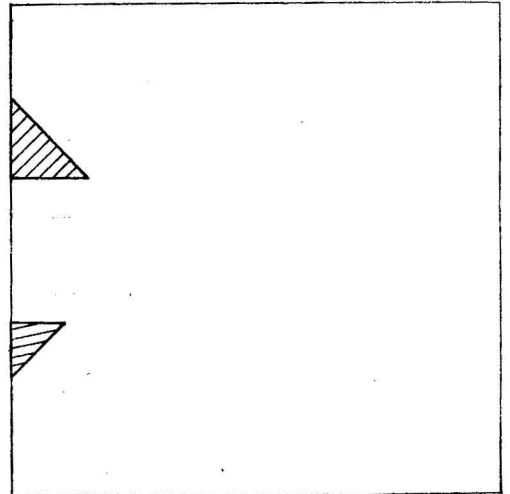


图 14 输出的第六批相似形

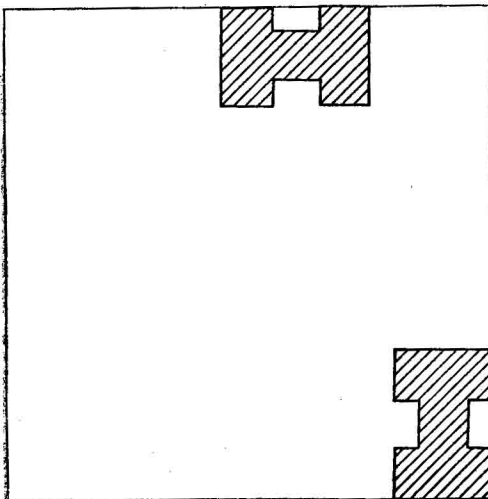


图 12 输出的第四批相似形

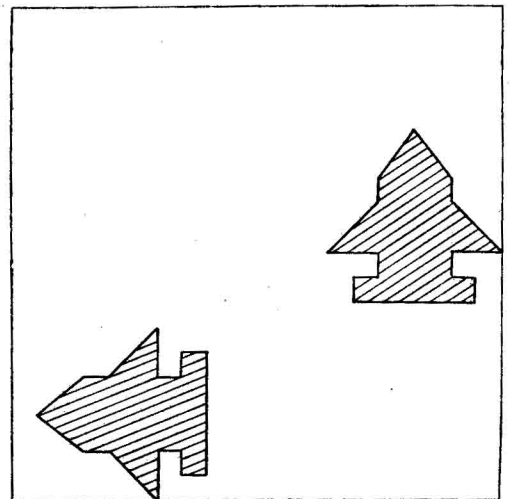


图 15 输出的第七批相似形

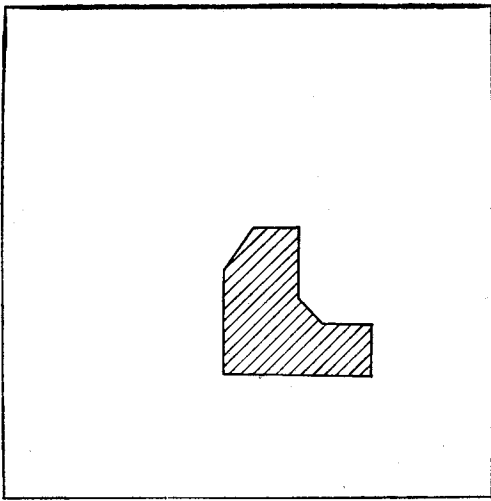


图 16 输出的第八批相似形

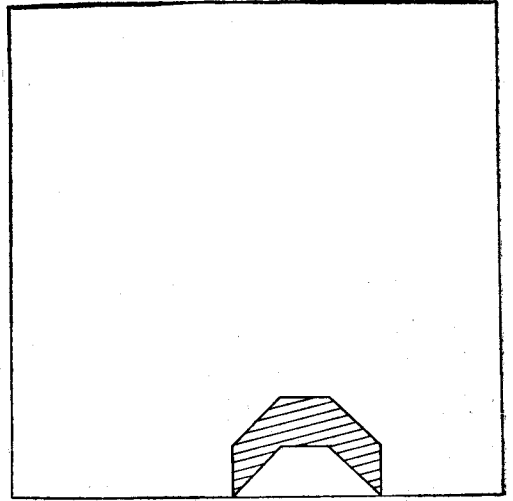


图 17 输出的第九批相似形

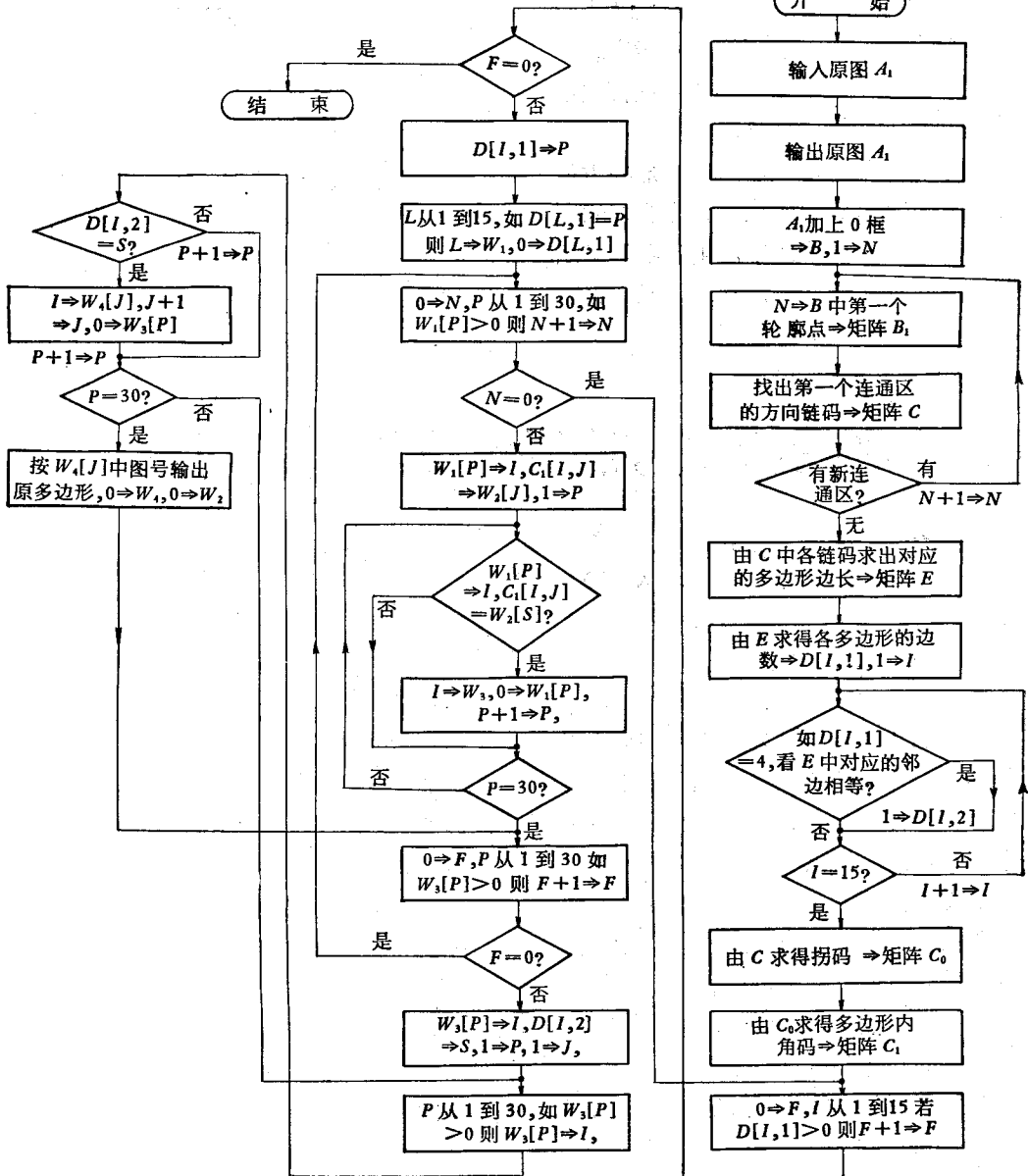


图 18 计算机流程图

形。对于图 8 这样的输入, 计算机分批输出的相似形见图 9 到图 17。

计算机流程图见图 18。

### 三、结 论

本文从人与动物的“视觉不变性”作为出发点和用通用电子计算机 (TQ-16 型) 抽提各连通区的轮廓的边数、内角、边长特点等特征实现对大小不一, 朝向不一的多边形的识别与分类。由于所抽提的特征比较简单, 不需要复杂的运算, 因此图形的识别与分类比较迅速。由于对相似的多边形虽有某些位移、大小变化及旋转, 但均能划分为同一类, 可以认为这模拟了“视觉不变性”。只要对程序稍加修改, 也可能实现在一个输入的未知简单图形集合中, 寻找特定目标并确定该目标的位置的任务。

我们现在讨论的方法只能适合图形的方位某些特定角度的旋转; 对于任意角度旋转的图形的识别方法尚待进一步研究。由于我们讨论的“相似”与几何学上定义的严格的“相似”是不

同的, 如需要找出严格的相似形还需要增加一些条件。

关于人与动物“视觉不变性”的机理究竟如何尚需要进一步研究, 以便为复杂图形的计算机“视觉不变性”提供启示。三维物体“视觉不变性”的原理也是需要研究的有意义的课题。

### 参 考 文 献

- [1] Matthew, Kabrisky: A Proposed Model for Visual Information Processing in the Human Brain, 1966.
- [2] F. W. Campbell and J. G. Robson: *J. Physiol.*, 197, p. 551, 1968.
- [3] F. W. Campbell: *The Neurosciences*, Third Study Program, 1974.
- [4] Maffei L. Fiorentini A.: *Nature*, 240, 479, 1972.
- [5] M. Kabrisky: Proceedings of the National Aerospace Electronics Conference, 1973, IEEE.
- [6] Robert, B. McGhee: Automatic Recognition of Complex Three-Dimensional Objects from Optical Images, Learning System and Intelligent Robots, 1973.
- [7] Rosenfeld, A.: *Journal of ACM*, 17, 146, 1970.

[本文于 1979 年 1 月 9 日收到]

## 利用模糊方法进行癌细胞识别

钱 敏 平

陈 传 涓

(北 京 大 学)

(中国科学院生物物理所五室)

### 一、引 言

模糊集的概念和方法是 Zadeh<sup>[1]</sup>于 1965 年首先提出的。十几年来, 特别是七十年代以来, 各种冠以 Fuzzy (模糊) 的文献不断涌现, 不少从事图象识别、控制、信息与计算机科学等工作的学者都试图应用这一概念与方法处理各种问题, 作出了大量有趣的尝试。这些尝试表明模糊方法具有简单方便, 便于运算和利于吸收人的智慧与经验等优点。本文将提出利用模糊方法识别癌细胞的初步尝试及若干结果。

根据细胞病理学家的实际经验, 判决鳞状

上皮单个细胞的标准有如下几种:

1. 核增大。
2. 核染色加深。
3. 核形态畸形(正常细胞核为圆或卵圆形)。
4. 核浆比例置
5. 核内染色质出现粗颗粒, 结成团块或有核膜、核仁, 染色质分布不均匀。
6. 整个细胞呈长条(纤维状)、串状等各种畸形(详见[6])。

对于上述各指标虽然可以构造相应的数学模型, 但在进行分类判决时却不易机械地划定数值界限。以“核增大”为例, 通常正常表层细