

专论与综述

质地理论——一种关于视知觉的心理物理理论

周 清

(浙江大学生命科学研究室, 杭州)*

提 要

本文概要地介绍了 Julesz 的关于视觉心理物理的质地理论。Julesz 从六十年代初提出质地检测的概念, 到 1981 年形成质地子理论, 其思想经历了一系列的演变和成熟过程。文中按时间顺序, 较全面地描述了 Julesz 的质地理论在这二十多年里的演变历程。最后, 对该理论作了简单的评论。

一、引 言

我们生活在一个丰富多彩的环境中。视觉是我们获取外界信息的主要途径。因此, 关于外部世界的光信息是如何被感知的这个问题, 一直颇受心理学家的重视。在各个心理学流派中, 结构主义 (structuralism) 和格式塔 (Gestalt) 两学派特别重视感知觉问题。以 Wundt 为代表的结构主义学派心理学家认为, 知觉是由一个个分离的感觉元素所构成的。而格式塔学派心理学家则反对将知觉分解成一个个感觉元素, 强调知觉的整体性。后者认为, “知觉本身显示出一种整体性, 一种形式, 一种格式塔, 在力图加以分析时, 这种整体性就被破坏。”可见, 在知觉问题上已成了势不两立的两学派^[1]。

美国 Bell 实验室的 Julesz 在六十年代提出的一种知觉理论, 似乎将以上两个学派的相互矛盾的观点调和起来。六十年代初, Julesz 发明了一种研究视觉的有力工具——随机点图。他用随机点图不仅研究了立体视觉问题, 还研究了许多别的视知觉问题。据此, 他提出了一种独特的心理物理理论——质地辨认 (texture

discrimination) 理论, 用来解释一些视知觉现象。他提出, 人有两个视觉系统: 一个是预注意 (preattentive) 视觉系统, 对整个视野上的视觉信息作平行加工; 另一个是注意 (focal attention) 视觉系统, 通过注意视线的扫描, 对视觉信息作串行加工。这就是说, 预注意系统对刺激作整体的综合, 注意系统则对刺激作局部的分析。这样, 似乎就将结构主义学派和格式塔学派的知觉理论调合起来了。

二十多年来, Julesz 的质地辨认理论有了较大的变化和发展。并且, Julesz 还试图将他的理论与 Hubel 等人的特征检测理论、Campbell 等人的空间频率理论和 Marr 等人的计算视觉理论联系起来。下面, 就概要地介绍一下该理论的产生和发展历程。

二、用随机点图研究知觉

在日常生活中, 我们是怎样将一个物体与另一个物体或周围的背景区分开的呢? Julesz 把这类问题归结为两种质地的分辨问题^[2,3]。Julesz 的所谓质地, 也就是知觉对象表面的亮

* 现在地址: 美国普林斯顿大学心理系

度分布规律。但是,在传统的实验心理学研究中,知觉对象被人为地简化成若干线条和轮廓,这样质地就不再存在了。Julesz 认为,这与日常情况相距太远。因此,他提出通过研究质地的辨认来研究视知觉。

那么,如何产生质地呢?在六十年代初,Julesz 利用计算机发明了产生随机点图的方法。一张随机点图是由两种或两种以上的颜色或亮度的点依一定的统计规律随机地分布在一块区域内而构成的。按不同统计规律构成的随机点图就成为不同的质地。这种随机点图的质地有很大的优越性。因为我们的视知觉受过去的经验影响很大,使视知觉中一些最基本的特征被掩盖了。在随机点图质地中,那些我们所熟悉的视觉模式通通被剥夺了,而知觉中的某些“最基本特征”则有可能被揭示出来^[3]。

Julesz 研究质地辨认的基本程序是,将呈现图形的屏分别以两种方式一分为二(分别称为方式 a 和方式 b,见图 1)。每次随机地选择一种方式,在这两个区域内分别产生两种有不同统计特性的随机点质地。然后,呈现给被试,要求被试回答屏是以 a 方式还是以 b 方式分割的。显然,如果被试回答的正确率很高,则表明他能够分辨这两种质地。反之,则表明他不能分辨^[3]。

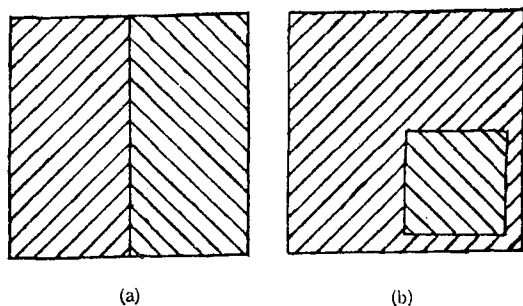


图 1 屏幕的两种方式^[3]

关于质地图呈现的时间,Julesz 把它限制在几百毫秒以内。Julesz 将知觉(perception)和细察(scrutiny)作了区分。前者是在没有眼动的情况下进行的,是一个预注意的过程;而后者则是通过眼动,使注意视线在图形上不断移

动(或称扫描),作局部的细察。Julesz 所指的质地辨认,只是对预注意系统而言,因此必须限制图形的呈现时间,以确保在此期间没有眼动^[3]。

三、质地的统计量与质地辨认

随机点质地的性质是由其统计特性来确定的。用各阶统计量可描述一个随机点质地^[3]。现在我们用黑白两种点子来制作质地。因为一阶统计量实际上就是这两种点子的密度,显然它们决定了整块质地的亮度水平,应该很容易分辨。从图 2a,一眼就可分辨出,左边的质地比右边的质地看上去要亮些。下面,让我们来制作两个二阶统计量不同的质地。让黑、白两种点子各自以一定的概率随机地落到一块正方形内,构成一块质地。对于另一块质地,我们仍用这种方式制作,但加一个限制:任意两个黑点间的距离不得小于某常数 ϵ 。这样得到的两块质地见图 3,我们也能将它们立即分辨出来。

但是,制作具有不同三阶统计量的随机点质地却遇到了困难。Julesz 起初借助于 Markov 过程。他产生了两个具有相同一阶和二阶统计量,但有不同三阶统计量的 Markov 过程,由此产生的两块质地见图 2b。它是按 a 方式分割的,但我们无法分辨。然而,Markov 过程是一维的,Julesz 是用一行一行的 Markov 链来构成二维随机点图的,这种一维过程向二维的推广是否合理,还值得怀疑^[3]。

看来,用随机点的方法来产生具有相同高阶统计量的质地对是行不通了。七十年代初,Julesz 开始用一种新的方法来产生质地^[4]。他先找一种微模式(micropattern),然后把许许多多相同的微模式集合起来构成一块质地。这样,微模式的统计特性显然是和由之构成的质地的统计特性相同的。例如,字母“U”旋转 90°后,可以证明其一阶统计量未变而二阶统计量变了。图 4(4b)就是分别用这两种微模式构成的两块质地,它们是可以被分辨的。但若将“U”翻转 180°,则一、二阶统计都不变,只是三阶统计量改变了。从图 4b 可看出,由“U”和“∩”这

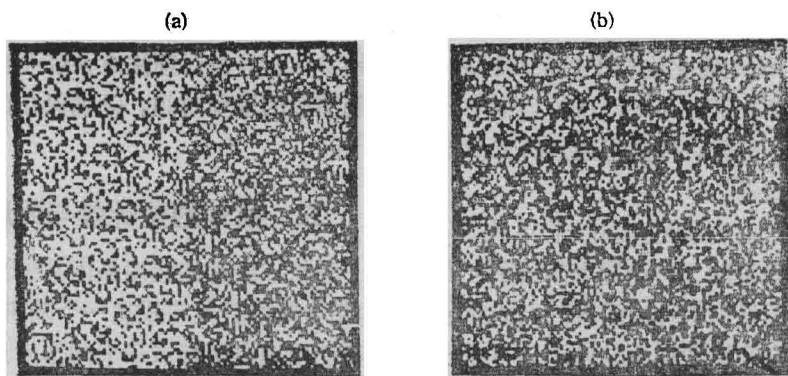


图 2 (a)是以方式 a 呈现的两种质地。两质地具有不同一阶统计量。(b)是以方式 a 呈现的两个具有不同三阶统计量的质地^[3]。

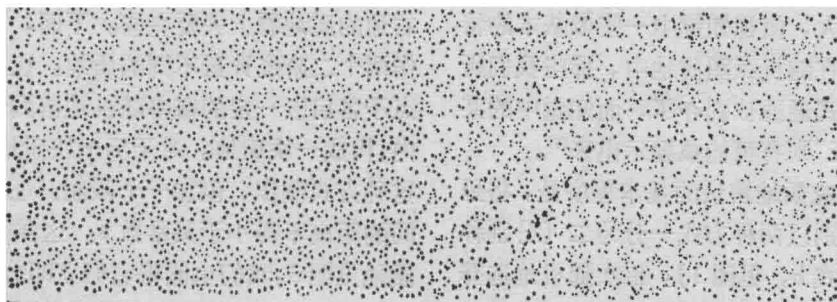


图 3 两块具有不同二阶统计量的质地^[4]

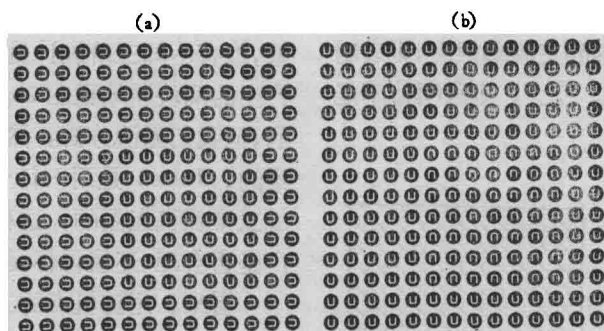


图 4 用微模式构成的质地图 (a)为由微模式“U”和“C”构成的质地,(b)为由微模式“U”和“n”构成的质地。^[4]

两个微模式构成的质地是不能分辨的。一个微模式和它的镜像也是具有相同一、二阶统计量和不同三阶统计量的,它们构成的两种质地同样是不可分辨的^[4]。

那么具有相同二阶统计量的质地不能被分辨是不是一个规律呢?为此,Julesz 在 Bell 实验室两位数学家的帮助下,找到了一种可以产生大量具有相同二阶统计量和不同三阶统计量的微模式对的方法。其具体步骤见图 5。用这

种方法,Julesz 作了许多实验,一直没有找到两种可分辨的质地。

根据以上的一些事实,可以得出以下的结论:具有不同一阶统计量的质地一定能被分辨;具有相同一阶统计量和不同二阶统计量的质地一般也能分辨;具有相同二阶统计量和不同三阶统计量的质地一般不能被分辨。具有相同三阶或三阶以上统计量的质地基本上不能被分辨。这就是说,人的预注意系统一般能计算

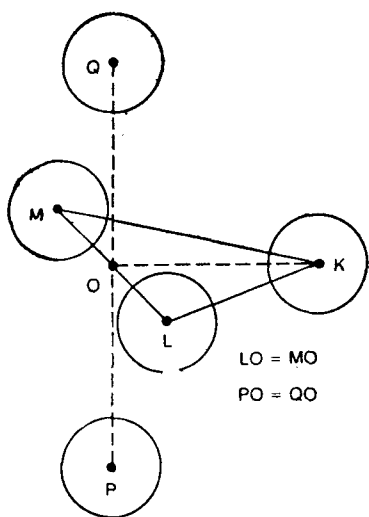


图5 制作具有相同一阶、二阶统计量和不同三阶统计量的微模式的示意图

作一个任意三角形 MLK ，过任一边 ML 的中点 O 作中线 OK 的垂线，在该垂线一端取一点 P ，然后再在另一端取点 Q ，使 $PO = OQ$ ，这样就分别得到了两个由四点 $MPLK$ 和 $MQKL$ 构成的微模式。^[5]

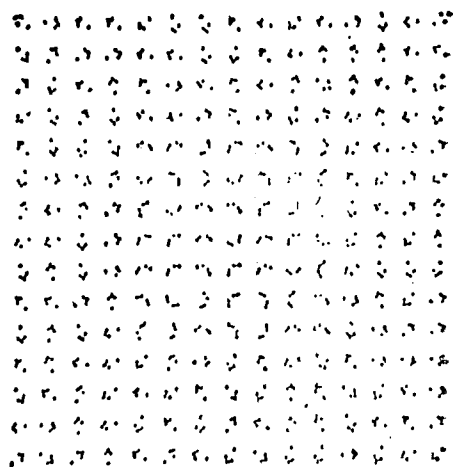
一阶、二阶统计量，对于更高阶的统计量则无能为力了。

但是，1978年，Julesz 与他的合作者却找到了一对具有相同二阶统计量的微模式，由它们构成的两种质地可以分辨（见图6）^[5]。同年，具有相同三阶统计量的可分辨的质地也产生出来^[6]。由于出现了这些例外（尽管是极个别的），使视觉系统通过统计量来辨认质地这一观点受到动摇。而且，对统计量的计算似乎对神经系统来说又是一个过于艰巨的任务。

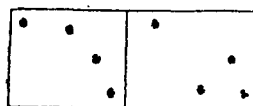
四、质地子^[7,8]

近年来，Julesz 为了解释计算质地的统计量中所出现的矛盾，提出了一种新的观点。他认为，质地的微模式是由一个个基本要素构成的，这些基本要素被称为质地子（texton）。下面我们来看看 Julesz 是怎样用这一观点来解释质地辨认现象的。

Julesz 将质地子分成三类。第一类是长条（elongated blob）；具有各种朝向、颜色、亮度、宽度等的长条，它们分别是不同的质地子。第二类是端点（terminals）。第三类是交叉（cros-



(a)



(b)

图6 (b)为用图5方法构成的两个微模式；(a)为由这两个微模式构成的质地，其中中间一块质地是用(b)左边的微模式构成的，其余的质地是用右边的微模式构成的^[5]。

sings)。两个微模式，如果所包含的质地子完全相同，则所构成的两种质地是无法辨认的。我们来看图7a。下图是两个微模式，它们具有相同的质地子：两个竖直长条、三个水平长条、两个端点，没有交叉。当这两个微模式在速示器上呈现200毫秒时，被试无法分辨它们。上图的上下两块质地分别是由这两个微模式构成的，我们也无法分辨出。

让我们再来看一个例子。图7b中，下图的两个微模式都具有相同的长条，右边那个模式比左边的多出两个端点。从上图可以看出，这两种微模式构成的两块质地，它们之间的差别是很醒目的。不同质地子数目越多，分辨越容易。有时，两个微模式之间的差别是如此之大，以至在一块由其中一种微模式构成的质地中只要混入一个另一种微模式，也能被我们的预注意视觉系统分辨（参见图8）。

于是，Julesz 的质地子理论指出，质地分辨实际上是对各种质地子一阶统计量（即密度或

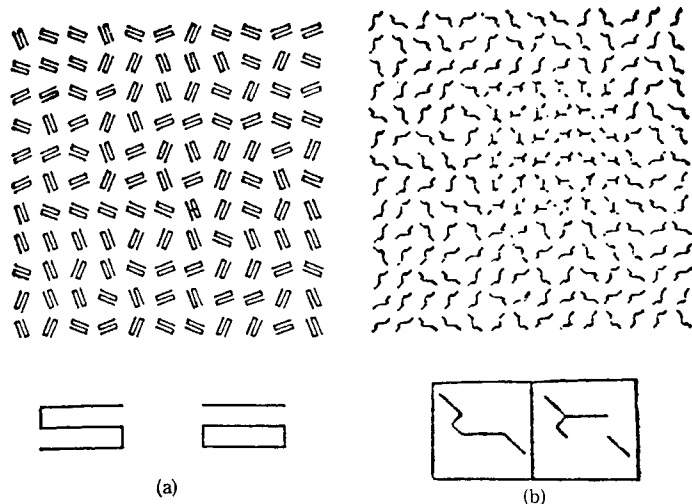


图 7 微模式及其构成的质地

(a)下图是两个具有完全相同质地子的微模式，上图偏左下角处有一块是用下图右边的微模式构成的，其余的是用下图左边的模式构成的。(b)下图两个微模式具有不同的质地，上图是由这两个微模式构成的质地，其中中间一块是由下图右边的微模式构成的，其余部分由左边的微模式构成^[7]。

个数)的检测。但是,这种检测是局部的,如果在小范围的质地子密度不均匀,那么即使大面积的密度相等,两质地仍可分辨。

五、两种信息加工^[9]

在多年的质地辨认的研究中, Julesz 逐渐形成了两种信息加工的思想。他认为,在视觉过程中,存在两种不同的信息加工过程,一种是平行加工,另一种是串行加工。他先前所指出的预注意系统的质地辨认,就是平行加工过程,在极短时间内就能完成。而他所谓的细察过程则是一种串行加工,每次只能注意一个很小的范围,要“细察”一个图形,必须对该图一小块一小块地进行扫描。

为了证明有两种信息加工存在, Caelli 和 Julesz 设计了以下的实验。在图 8 中, a、b 两图各有一个“L”字母,其周围分别是“T”和“X”字母。对于 b 图,被试在呈现极短时间后就能将“L”找出来,而对 a 图辨认出来的次数却很少。并且,当增加“T”和“X”的数目时,被试对 b 图的辨认只受到微小的影响,而对 a 图的辨认能力却大大下降。实验结果表明,对 b 图中“L”的辨认是一个平行的信息加工过程,因

此,字母“X”的增多对辨认的正确率没有什么影响。而对左图的辨认是一个串行的过程,注意系统必须对字母逐个地“细察”,才能找出混在当中的字母“L”来。显然,字母越多,辨认所花的时间越长,亦即对于一确定的时间辨认的正确率越低。

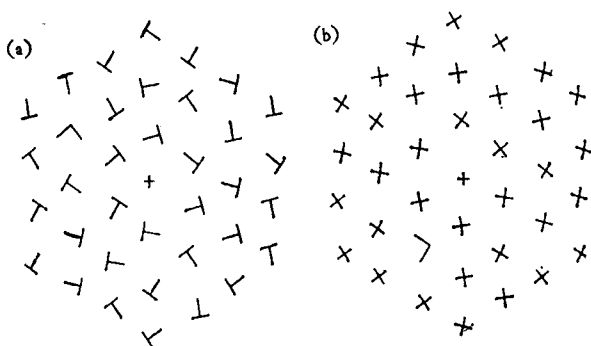


图 8 证明存在两种信息加工过程的示意图^[9]

应当指出的是,预注意系统的分辨能力和视网膜上视像分辨能力是完全不同的。实际上,网膜上虽接受了大量的信息,但平行加工系统只提取其中一部分“关键”的信息进行加工。串行加工系统能处理更多的信息,但它只对网膜中央凹区域所接收的信息进行加工,因此要观察一幅图,必须不断移动视线,使图中各部分

依次落到中央凹上。

两种信息加工系统具有明显的生理意义。平行加工系统能够很快地分辨出不同的质地,从而立即把注意力移到质地发生变化的地方。随后,串行加工系统开始对被注意的地方进行“细察”。这是主动获取外界信息的有效方式。

六、结 语

Julesz 的质地理论从提出到现在已过了二十多年了。在这二十多年里,对该理论已作了许多修改和补充。从 1980 年提出质地子理论到 1983 年提出两种信息加工系统的理论,可以说他的理论已基本成熟。

近年来, Julesz 试图将质地子的检测,与 Hubel 和 Wiesel 在视皮层上所作的关于特征检测细胞的生理学发现相统一。他提出的所谓长条质地子,就是为了和视皮层神经元的长条形感受野联系起来。视皮层上几个简单细胞的组合,有可能成为一个质地子检测器。不过目前还未发现恰当的组合^[8]。

Julesz 还试图将他的质地子与 Marr 的基元图(primal sketch)相对应。Marr 的基元图也包含了长条和端点,还包含了一阶统计量。Marr 关于视觉早期过程的理论(与 Julesz 的预注意理论相仿)并没有到此为止,还要进一步地使基元之间发生相互作用,这与 Julesz 的观点是相悖的。两者之间还是很难取得一致的^[10]。

关于 Campbell 等人的空间频率理论, Julesz 也在试图找到和他的理论之间的联系。但迄今为止还没有什么结果。

汪云九等提出了一种初级视觉信息加工的模型,即广义 Gabor 函数模型^[11,12]。他们试图用该模型来描述对质地子的检测,并提出了质地子滤波器的概念。这一工作将会使我们对质地理论的认识更加深入。

总之, Julesz 的质地理论,作为一种心理物理理论,还是比较成功的。它能够解释一些知觉现象,但也存在着不少问题,还有待于进一步修正和完善。Marr 在评价 Julesz 的理论时写道,他的理论的“数学是简单的,但其心理物理学却不简单。我们也不清楚,自然界到底在多大程度上能允许视觉系统利用可能的数学关系。”只有当后者弄清楚时,我们才能真正了解,“为什么人的视觉系统以相当奇妙和精练的方式来处理信息。”^[10]

参 考 文 献

- [1] Schultz, D.: *A history of modern psychology*, Academic Press, New York & London, 1981.
- [2] Julesz, B.: *Foundation of Cyclopean perception*, University of Chicago Press, Chicago, 1971.
- [3] Julesz, B.: *IRE Trans. Inf. Theory*, 1962, IT-8, 84.
- [4] Julesz, B.: *Sci. Am.*, 1975, 212, 34.
- [5] Caelli, T. M. & Julesz, B.: *Biol. Cybern.*, 1978, 28, 167.
- [6] Julesz, B. et al.: *Biol. Cybern.*, 1978, 31, 137.
- [7] Julesz, B.: *Nature*, 1981, 290, 91.
- [8] Julesz, B. & Bergen, J. R.: *Bell Syst. Tech. J.*, 1983, 62, 1619.
- [9] Bergen, J. R. & Julesz, B.: *Nature*, 1983, 303, 696.
- [10] Marr, D.: *Vision*, Freeman & Company, San Francisco, 1982.
- [11] 汪云九等:《生物物理学报》, 1986, 1, 123.
- [12] 潘卓华等:《生物物理学报》, 1986, 1, 189.

[本文于 1987 年 6 月 4 日收到]

新书简介

《汉英生物化学词汇》简介

由王秋香等编辑、汪沛洪教授审订的《汉英生物化学词汇》一书已由陕西人民出版社出版。该书是国内少有的汉英体例专业工具书,共收编了基础生化、应用生化及与生物化学密切相关的科技词汇 13000 余条。所收词汇覆盖面宽,命名规范,按照汉语拼音顺序编排。任一常用生化名词,根据其中文名称首字的汉语拼音,可迅速查到相应的英文词条。书末附有词汇首字笔画索引,便于不熟悉汉语拼音的读者通过第二条检索途径查找所需词条。

本书适合生化专业、综合院校与师范院校生物系、农林、医药、轻工、食品等院校有关专业师生及从事与生化有关的生产、科研、教学、编译工作者参考使用。对中青年生物科学工作者、研究生、本科生快速扩大生化专业词汇尤有帮助。

《汉英生物化学词汇》由西北农业大学科技部邮购发行。

(西北农业大学·陈毓荃)