

# IPA 型菲涅尔全息联想存贮器\*

路明哲 王许明 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

战元龄

(南开大学物理系, 天津 300071)

## 提 要

本文提出了一种用菲涅尔全息片实现的 IPA (Interpattern Association) 型联想存贮器。其对不独立的存贮模式有较强的分辨能力, 采用菲涅尔全息片, 可以实现大神经元数目的光学联想存储, 具有较大的存储能力。

关键词: IPA 存贮器, 菲涅尔全息。

## 一、引 言

神经网络在近年来是最活跃的研究领域之一。联想存贮器是神经网络的最重要的组成部分。在光学实现的神经网络中, 大多采用 Hopfield 模型制备联想存贮器。在 Hopfield 模型中, 没有考虑所存储的各模式之间的关系, 只强调了某个被存储的模式之中的各个元素之间的联想。Hopfield 模型成立的条件, 是所存储的模式之间相互独立而且元素出现 ON 和 OFF 的状态的几率相等。这样的系统对不独立的模式的联想再现能力较差。而当要区分一些相似的模式时, 它们之间的不同之处就变得非常重要。因此, 在制备联想存储器时, 要考虑被存储模式的相同之处和不同之处, 使它们在联想过程中有不同的作用。

Taiwei Lu<sup>[1]</sup> 等人于 1990 年提出了用 IPA 模型制作联想存贮器, 由监视器, 透镜阵列以及空间光调制器, 通过计算机构成了一个光学神经网络系统, 在监视器上显示 IPA 型联想存贮矩阵, 透镜阵列起到各个象元互联的作用。所得的结果表明, IPA 型神经网络系统对存储图象的寻址能力比 Hopfield 模型大大提高, 尤其是当存储模式的 Hamming 距离较小时, 也能正确寻址, 从而 IPA 神经网络模型也就比 Hopfield 模型有更大的存储能力, 但由于受到监视器的分辨率的限制, 系统所存储图象的象元数不可能太多。

全息联想存储器特别适合于多象元的二维图象存储。本文从理论上分析了菲涅尔全息片的联想存储性能, 并以此制备了 IPA 型联想存储器, 且在光学上实现了大象元数目的 IPA 型光学联想存储器。

## 二、理 论 分 析

IPA 模型是根据所存储的模式集合中一个模式和其他模式重合的情况, 把每一模式分

解成几部分,每一部分在联想过程中所起的作用不同。在联想过程中,某一模式的特有部分比它和其它模式共有部分起着更重要的作用。

例如存储三个模式,当输入的寻址模式的某些部分为 ON 状态时,如果三个模式的对应部分均为 ON 状态,则输入模式可能是三个模式中的任何一个,无法依此来判断具体是哪一个模式,而只能说明是有模式输入,因此这部分只刺激三个存储模式的共同部分;如果有两个模式的对应部分处于 ON 的状态,而另一个模式的对应部分为 OFF 状态,说明输入的模式可能是前两个中的某一个而不是后一个,但不能分辨是前两个中的哪一个,则这部分刺激前两个模式的共有部分,同时抑制后一个模式的特有部分;如果只有一个模式的对应部分处于 ON 的状态,而其余两个模式的对应部分处于 OFF 状态,则输入模式一定是前一模式,这部分对这一模式的所有部分都刺激,而对其他两个模式的其余部分进行抑制。Taiwei Lu 等人提出采用三灰度阶的关联矩阵,矩阵元的值分别为  $-1, 0, 1$ , 在光学神经网络中实现刺激和抑制,这样的关联矩阵在光学上比较容易实现,但这样制备的联想存储器,在互联过程中,各分类部分所起的作用和这部分所含的象元数的大小成正比。当两个存储模式的 Hamming 距离较小时,两个模式的重合部分很大,它们各自的特有部分在联想过程中所起的作用很小。系统分辨这样的存贮模式比较困难。本文认为应该在关联矩阵元中增加灰度,使各部分的作用均衡。由于系统还要对输出进行取阈,因此对关联矩阵元的灰度要求不十分严格,光学上也比较容易实现。

下面从理论上分析菲涅尔全息片的关联存贮过程。记录菲涅尔全息图的光路如图 1 所示,  $P_2$  平面是  $P_1$  平面经  $L_1$  透镜的成像面,  $P_3$  平面是  $P_4$  平面经  $L_2$  透镜的成像面。在记录时,一透过率为  $a(p, q)$  的透明片放在  $P_2$  平面上和全息干板相接触,由一会聚光照明,另一透过率为  $b(x, y)$  的透明片放在  $P_4$  平面上,在它的前面放置一个漫散屏。

设  $b(x, y)$  在  $P_2$  平面上的衍射场为  $B(p, q)$ , 同时注意到此场在  $P_3$  平面上的分布为  $D(x', y')b^{1/2}(x', y')$  则可以得出:

$$B(p, q) = \iint D(x', y') b^{1/2}(x', y') \exp[-ik(d + p \sin \theta)] \cdot \exp[ik\{(p \cos \theta - x')^2 + (q - y')^2\}/2d] dx' dy'. \quad (1)$$

在记录介质上的曝光量正比于

$$|\{\exp[ik(p^2 + q^2)/2f] + B(p, q)\}a(p, q)|^2. \quad (2)$$

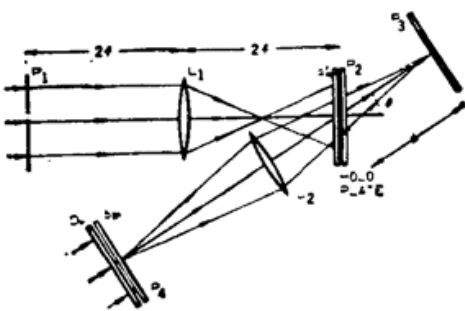


Fig. 1 Fabrication of memory matrix for an IPA holographic associative memory

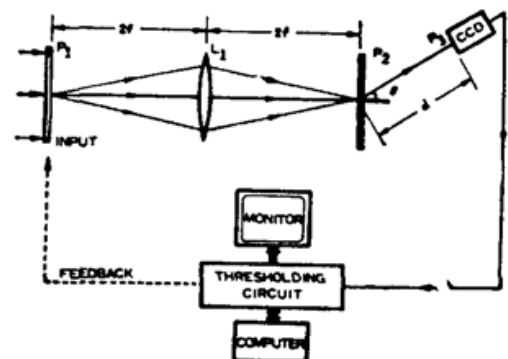


Fig. 2 IPA holographic associative memory

这里  $d$  是全息干板和  $P_3$  平面之间的距离,  $K$  是激光的波数,  $f$  是透镜的焦距,  $\theta$  是两透镜光轴的夹角,  $D(x', y')$  代表漫散屏。将代表分类部分的模板  $a_i$  和其相应的刺激、抑制分布  $b_i$  依次放入  $a, b$  的位置, 进行曝光。显影处理后记录全息片的振幅透过率正比于曝光量, 对全息一级衍射有贡献的项为:

$$t(p, q) = \sum_i \{ \exp[-ik(p^2 + q^2)/2f] B_i(p, q) \} a_i(p, q). \quad (3)$$

全息联想存储器进行关联的光路如图 2 所示, 将记录好的菲涅尔全息片放在  $P_2$  平面上, 当输入物片  $a'(x, y)$  放置在  $P_1$  平面上, 并被行光束照明, 则透过全息片的光场为

$$\exp[-ik(p^2 + q^2)/2f] a'(p, q) \cdot t(p, q), \quad (4)$$

在输出平面  $P_3$  上光场可以表示成:

$$\begin{aligned} & \sum_i \iint a_i(p, q) a'(p, q) B_i(p, q) \exp[-ik(d + p \sin \theta)] \\ & \cdot \exp[ik\{(p \cos \theta - x')^2 + (q - y')^2\}/2d] \cdot dp dq. \end{aligned} \quad (5)$$

令  $F_i(x, y)$  为  $a_i(p, q) \cdot a'(p, q)$  的傅里叶变换, 则输出光场可以写成:

$$\begin{aligned} & \sum_i \iint F_i(x - x', y - y') D_i(x', y') b_i^{1/2}(x', y') \\ & \exp[ik(x^2 - x'^2 + y^2 - y'^2)/2d] \cdot dx' dy'. \end{aligned} \quad (6)$$

由于引入了漫散屏  $D_i(x', y')$ , 则强度分布可以表示成:

$$\begin{aligned} & \sum_i \iint \{ a_i^2 a'^2 \} \cdot \delta(x - x', y - y') b_i(x', y') dx' dy' \\ & = \sum_i \{ a_i a' \} b_i(x, y). \end{aligned} \quad (7)$$

括号  $\{a_i a'\}$  表示  $a$  与  $a'$  的内积, 这里忽略了输出平面的散斑。可以看出, 在关联过程中, 输入物和各分类部分进行内积, 关联出相应的刺激与抑制分布, 关联的权重就是内积的大小。关联矩阵元的大小, 可以通过调节全息片的衍射效率来实现, 本文采用调节全息片记录时的曝光时间来得到不同的衍射效率。

### 三、光学实现

依照以上的理论分析, 在光学上实现了 IPA 型菲涅尔全息联想存储器。实验选择了三个  $24 \times 24$  象元的英文字母  $X, Y, Z$  的二进制形式作为被存储的图象, 依据以上的思想, 可将象元分成七类:  $(\overline{X \cap Y}) \cup Z \overline{(Y \cap Z)} \cup X, (\overline{Z \cap X}) \cup Y, (X \cap Y) \cap \overline{Z}, (Y \cap Z) \cap \overline{X}, (Z \cap X) \cap \overline{Y}, (X \cap Y \cap Z) \cap \overline{\phi}$ 。其中  $\cap, \cup$  和  $\overline{\phantom{x}}$  分别代表逻辑与、或和非,  $\phi$  代表三个图象均未占用的象元的集合。每一类有抑制作用的矩阵元的值为负。本文也采用惯常的办法, 给所有的矩阵元一个偏置, 使透过率为零处代表最小值, 在光学系统中实现负值运算。

实验中, 用 He-Ne 激光器作光源, 输出功率为 30 mW, 用 HP 366-1 型全息干板, 记录时进行多次曝光, 由于所分类的各部分的通光象元无重叠, 全息干板上任何部分的曝光次数最多是一次, 可以保证全息片的衍射效率。在输出面上用一个二维的 CCD 阵列探测器接收输出图象, 将信号输入计算机中, 由计算机对输出图象进行取阈, 然后在监视器上显示关联结果。图 3 给出了实验结果。图 3(a) 是系统中存储的图象, 图 3(b) 是用于内容寻址的存

储图象的部分输入,图 3(c)是在这样输入情况下的联想结果。使用菲涅尔全息片制作 IPA 型联想存贮器可以实现大象元数目的图象关联。实验中实现了  $24 \times 24$  象元的图象,这并不是这个存储器的极限,由于全息片的分辨率很高,全息干板对象元数没有限制,系统可实现的象元数,是由制备输入物片这一环节决定的。

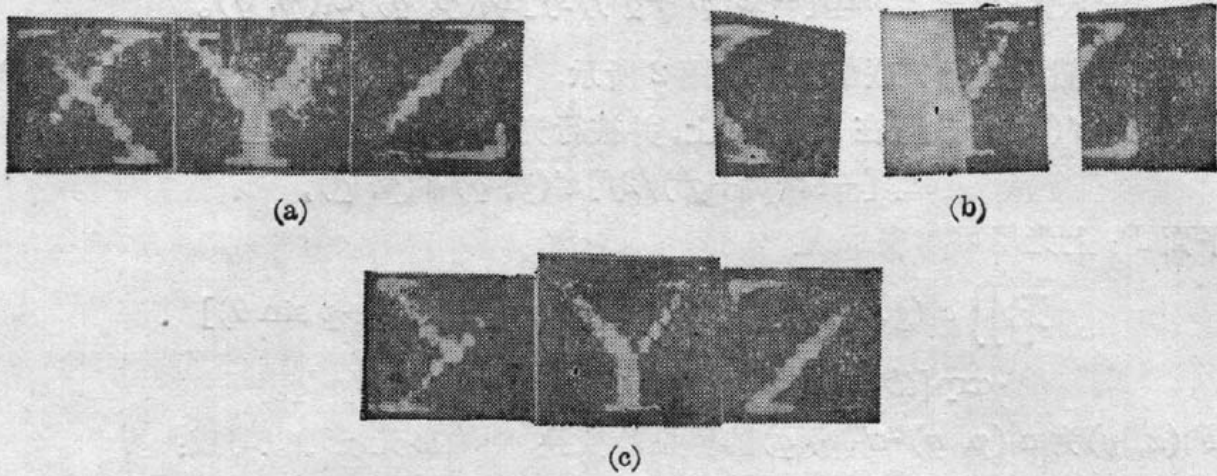


Fig. 3 Stored patterns and recalled outputs

**结论:** 用菲涅尔全息片实现 IPA 型联想存储器,提高系统可存储图象的象元数目,并在 IPA 联想存储器的关联矩阵中增加了灰度,保证了此系统对 Hamming 距离较小的存储模式所具有的高分辨能力。

### 参 考 文 献

- [1] Taiwei Lu, Xin Xu *et al.*; *Appl. Opt.*, 1990, 29, No. 2 (Jan), 284.

## IPA memory with Fresnel hologram

LU MINGZHE, WANG XUMIEG AND MU GUOGUANG

(*Institute of Modern Optics, Nankai University Tianjin 300071*)

ZHAN YUANLING

(*Department of Physics, Nankai University Tianjin 300071*)

(Received 8 October 1990; revised 17 December 1990)

### Abstract

The IPA (Inter-pattern Association) memory is set up with Fresnel Hologram. Compared with Hopfield Model, it is of better storage capacity and higher recognition ability even for the patterns which are similar to each other. The interconnection of patterns with large pixel number is implemented in this system because of using hologram.

**Key words:** IPA memory, fresnel hologram, large pixel number.