

用互补向量修正阈值的光电混合 联想存储器模型

边少平 许克彬 洪 晶
(哈尔滨工业大学应用物理系)

提 要

本文提出了一种在联想存储中评价向量间相似程度的新判据,并完成了一种采用互补向量修正阈值的光电混合联想存储器模型的实验研究,该模型可以控制读出向量的精度,能够消除向量的误读。
关键词: 联想存储器。

一、引 言

以光学方法实现联想存储器可以充分利用光的并行处理能力和灵活性,因而可以提高存储器的存取速度,这对于提高计算机的运算速度和扩大存储容量都有很重要的意义,因此光学联想存储器的研究工作在近年来引起人们广泛的兴趣。

1982年 Hopfield 在人脑神经系统的生理学研究基础上提出了光学联想存储器的一种简单神经网络模型^[1~3]。这种模型较好地模拟了人脑中信息存取的生理过程。因而受到人们的重视^[3~5]。1986年 Athale 等人提出了内积型光学联想存储器模型^[6],在这种模型中,存储向量按行存入存储矩阵中,而不需要 Hopfield 模型也称为外积型的联想存储器中所要求的大量互联权重因子的外积预先计算。在光学处理系统的相关域中,采用向量的内积来评价以二进制数为单元(Bit)制数0,1为单元的 N 维向量 \mathbf{A} 、 \mathbf{B}

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{A} &= (A_1 A_2 \cdots A_N), \\ \mathbf{B} &= (B_1 B_2 \cdots B_N), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 A_i 、 B_i 数值为0或1, ($i=1, 2, \dots$)。那么 \mathbf{A} 和 \mathbf{B} 之间的相似程度定义为 \mathbf{A} 与 \mathbf{B} 的内乘积

$$P_0 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \sum_{i=1}^N A_i B_i, \quad (2)$$

P_0 值越大,则两向量的相似程度越好。

然而,这种采用向量内积方法来评价向量间的相似性要求的条件是:待比较的向量应具有相同的幅值(即向量中数值为1的单元个数都相同),这就大大限制了存储向量的范围。

采用向量间的内积方法不能准确判断向量间的相似性的原因在于:一向量中为零的单元与另一向量的相应单元作乘积的结果为零。因而不能确定后一向量的相应单元的数值。

例如: 要比较向量 A 10010101 和三个向量 B 10110111, C 10010101, D 01011110 的相似程度, 分别作 A 与 B 、 C 、 D 的内积得

$$A \cdot B = 4, A \cdot C = 4, A \cdot D = 2, \quad (3)$$

显然, 由于 $A \cdot B = A \cdot C$, 而 $B \neq C$, 则依此不能判断向量 B 或 C 那个与 A 向量更相似。

二、向量间相似程度判据的提出

在上面的例子中, 如果分别求 A 向量的互补向量 \bar{A} (即原向量中数值为 1 (或 0) 的单元。在互补向量中的相应单元中数值取为 0 (或 1) 与向量 B 、 C 、 D 的内积, 则该内积分别反映向量 A 与向量 B 、 C 、 D 的一种相异程度。

$$A \cdot B = 2, A \cdot C = 0, A \cdot D = 3, \quad (4)$$

再分别取 (3) 式的内积值与 (4) 式的相应内积值之差, 则有

$$\left. \begin{aligned} E_{AB} &= A \cdot B - \bar{A} \cdot B = 2, \\ E_{AC} &= A \cdot C - \bar{A} \cdot C = 4, \\ E_{AD} &= A \cdot D - \bar{A} \cdot D = -1, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

可以看出与 A 向量最相似的向量 C (在本例中 $A=C$ 对应的 E_{AC} 数值最大。据此可提出评价 (1) 式所表示的两个单极、二值向量 A 、 B 之间相似程度的判据为

$$E = A \cdot B - \bar{A} \cdot B = \sum_{i=1}^N A_i B_i - \sum_{i=1}^N \bar{A}_i B_i. \quad (6)$$

从上面的分析知道: (6) 式的第一项 $A \cdot B$ 表示 A 与 B 相同位置上数值均为 1 的单元个数, 它反映了两向量的相似程度, 而第二项 $\bar{A} \cdot B$ 表示 A 的单元为零, 而 B 的对应单元为 1 的单元个数, 它反映了向量间的一种相异程度。两者的差即 (6) 式定义的 E 能很好地反映了两向量的相似程度。 E 值越大, 则两向量越相似。

三、用互补向量修正阈值的光电混合联想存储器模型的实现

1. 数学模式的描述

设有 M 个 N 维单极、二值向量

$$V^{(i)} = (V_1^{(i)}, V_2^{(i)}, \dots, V_N^{(i)}), \quad (i=1, 2, \dots, M), \quad (7)$$

用这 M 个向量按下式构成 $M \times N$ 阶矩阵 T :

$$T = \begin{pmatrix} V_1^{(1)} & V_2^{(1)} & V_3^{(1)} & \dots & V_N^{(1)} \\ V_1^{(2)} & V_2^{(2)} & \dots & \dots & V_N^{(2)} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ V_1^{(M)} & V_2^{(M)} & \dots & \dots & V_N^{(M)} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

T 称为存储矩阵。

现以一向量 $V^{(i)}$ ($V^{(i)}$ 可以是 $V^{(i)}$ 中的一个也可以是其中某一向量的部分向量) 及其互补向量 $\bar{V}^{(i)}$ 分别乘以存储矩阵 T , 则分别得到相似程度的一个估计矩阵 E_i 和相异程度的

一个估计矩阵 E_N :

$$E_p = T V^{(p)} = \begin{pmatrix} V_1^{(1)} & V_2^{(1)} & \dots & V_N^{(1)} \\ V_1^{(2)} & V_2^{(2)} & \dots & V_N^{(2)} \\ \vdots & & & \vdots \\ V_1^{(M)} & V_2^{(M)} & \dots & V_N^{(M)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1^{(p)} \\ V_2^{(p)} \\ \vdots \\ V_N^{(p)} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$E_N = T \bar{V}^{(p)} = \begin{pmatrix} V_1^{(1)} & V_2^{(1)} & \dots & V_N^{(1)} \\ V_1^{(2)} & V_2^{(2)} & \dots & V_N^{(2)} \\ \vdots & & & \vdots \\ V_1^{(M)} & V_2^{(M)} & \dots & V_N^{(M)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{V}_1^{(p)} \\ \bar{V}_2^{(p)} \\ \vdots \\ \bar{V}_N^{(p)} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

令

$$E = E_p - E_N = T V^{(p)} - T \bar{V}^{(p)}, \quad (11)$$

则向量 $V^{(p)}$ 与第 i 个向量 $V^{(i)}$ 的相似程度为

$$E_i = \sum_j V_j^{(i)} V_j^{(p)} - \sum_j V_j^{(i)} \bar{V}_j^{(p)} = V^{(p)} \cdot V^{(i)} - \bar{V}^{(p)} \cdot V^{(i)}, \quad (i=1, 2, \dots, M) \quad (12)$$

在构成存储器时,以适当的方式识别出最大的 E_i 值对应的向量 $V^{(i)}$ 所在的行位置,就可用光学方法读出该向量。而这一向量是与输入向量 $V^{(p)}$ 最相似的(或相同的)。

2. 光电混合联想存储器的实验研究及结果讨论

按上述模式设计的光电混合联想存储器的实验原理示意图,如图1所示。其中 A, C 分别是可组成输入信号(向量)及其互补信号(向量)的光源阵列,由小灯泡组成。小灯泡的开、关状态分别代表二进制数 1 和 0。 L_1, L_4 是柱面透镜, L_2, L_3 是成像透镜, T_1 是由存储向量按(8)式构成的存储矩阵,它是用照像方法在全息记录干板上制成的,如图2所示。其中透明部分表示二进制数 1,不透明部分表示二进制数 0。 D_1, D_2 是由 2CU 型光电二极管构成的多通道(可并行输出)光电探测器线阵列。 F 包括运算放大器构成的线性放大电路阵列和

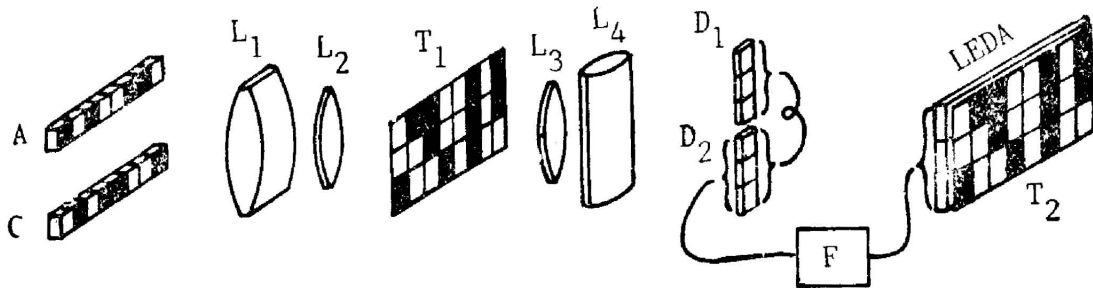


Fig. 1 Diagram of the optical electric hybrid associative memory experimental setup

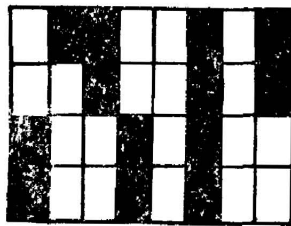


Fig. 2 Stored matrix mask

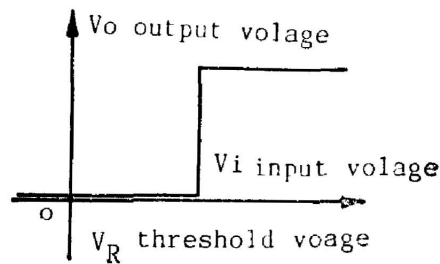


Fig. 3 The characteristic of single threshold devices

由电压比较器构成的阈值器件阵列。其中单个阈值器件的特性如图 3 所示。LEDA 在发光二极管阵列,用于向量的读出显示。 T_2 是与 T_1 一样的存储矩阵。

L_1 、 L_2 的作用是使输入光信号(原向量和互补向量)在存储矩阵处沿水平方向成像,沿垂直方向弥散开。因此输入平面中光源阵列构成的原向量及其互补向量经过 L_1 、 L_2 后,能与存储矩阵中的行向量作对应单元的乘积。 L_3 、 L_4 的作用是使从存储矩阵 T_1 通过的光信号在输出光电探测器平面内沿垂直方向成像,沿水平方向会聚。因此 L_3 、 L_4 及两个线阵列光电探测器 D_1 、 D_2 能在每一行上完成上述对应单元乘积的求和,从而实现向量的内积(即分别完成(9)、(10)两式)。光电探测器线阵列 D_1 、 D_2 中的对应单元 D_{1i} 、 D_{2i} 按图 4 与运算放大器 A_m 连接,从而完成对应内积的相减,即完成(11)式(同时也实现了相减电信号的放大)。已完成相减的每一行输出信号再并行地输入到由电压比较器构成的阈值器件阵列中。适当地设定阈值电压 V_R 可使得具有最大输入信号(即(12)式中的 E_i 的最大值对应的输入信号)的通道输出一电信号来驱动相应的行地址的发光二极管线阵列,从而完成该行向量的读出。适当地调节阈值电压 V_R 还可以读出多个满足设定精度要求的向量。

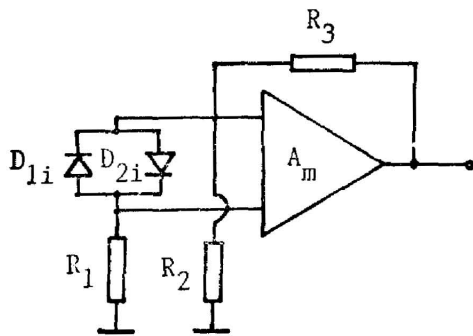


Fig. 4 The connection between photodiodes and amplifier

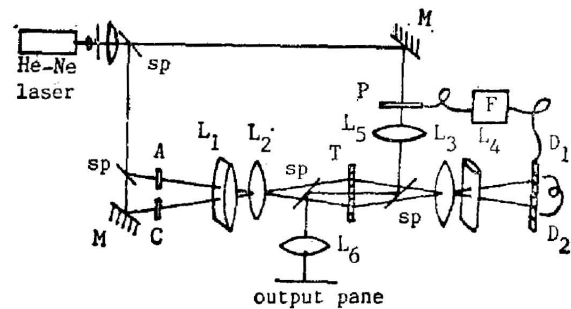


Fig. 5 Diagram of the improved optical electric hybrid associative memory

用图 1 的实验装置进行的实验结果以及数字模拟结果如表 1 所示。其中阈值的选取依据是保证有一个向量的读出。存储向量是下列 4 个 8 比特长的向量。

$$V^{(1)} \quad 10011010 \quad V^{(2)} \quad 11011010 \quad V^{(3)} \quad 01101010 \quad V^{(4)} \quad 01101011$$

从表 1 看出,实验结果与数字模拟结果相符合,所读出的向量(无论是实验结果还是数字模拟结果)都是与输入向量最相似(或相同)的向量。例如第 4 个输入向量是四个存储向量之一 $V^{(1)}$,在 R. A. Athale 等人提出的内积型联想存储器中,将随机地读出 $V^{(1)}$ 或 $V^{(2)}$,因为输入向量 $V^{(1)}$ 与存储向量 $V^{(1)}$ 和 $V^{(2)}$ 的内积都为 4。在我们的模型中则能准确地读出 $V^{(1)}$ (与输入最相似),因为 $E_1=4$ 在 4 个 E 中最大。第 5 个输入向量也有类似情况。由于阈值(电压)连续可调,因此可以控制读出向量的精度,消除读出向量的误码率,(它可定义为读出向量中错误的单元数与向量全部单元数的比)。

只采用一个存储矩阵模板同时完成向量的搜寻和读出显示的光学联想存储器如图 5 所示,其中 P 、 A 和 C 可由空间光调制器构成,存储矩阵 T 可由编程的空间光调制器实现。目前可编程的空间光调制器已研制成功,它可为动态存储矩阵提供高的帧变速率。同时非线性光学放大器件以及适合作为阈值器件的光双稳阵列器件都已经能够实现,因此这种模式的光电混合联想存储器的实现是可能的,值得提出的是,这种光电混合联想存储器的结构设想

Table 1 Results of experiment and digital simulation of the optical electric hybrid associative memory

experiment		digital simulation	
input vector	output vector	readout vector	Max{ E_i }
0 1 0 0 1 0 1 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$E_4=3$
1 1 0 0 1 1 1 0	$V^{(2)}$ 1 1 0 1 1 0 1 0	$V^{(2)}$ 1 1 0 1 1 0 1 0	$E_2=3$
0 1 1 0 1 0 0 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$E_4=3$
1 0 0 1 1 0 1 0	$V^{(1)}$ 1 0 0 1 1 0 1 0	$V^{(1)}$ 1 0 0 1 1 0 1 0	$E_1=4$
0 1 1 1 1 0 1 0	$V^{(3)}$ 0 1 1 0 1 0 1 0	$V^{(3)}$ 0 1 1 0 1 0 1 0	$E_3=4$
0 1 1 0 1 0 1 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$V^{(4)}$ 0 1 1 0 1 0 1 1	$E_4=5$
1 1 0 1 0 0 1 1	$V^{(2)}$ 1 1 0 1 1 0 1 0	$V^{(2)}$ 1 1 0 1 1 0 1 0	$E_2=3$
1 0 1 1 0 0 1 0	$V^{(1)}$ 1 0 0 1 1 0 1 0	$V^{(1)}$ 1 0 0 1 1 0 1 0	$E_1=2$

对于图像识别、人工智能、机器视觉的应用研究都将是很有意义的。

参 考 文 献

- [1] J. J. Hopfield; *Proc. Natl. Acad. Sci. (U. S. A.)*, 1982, **79**, No. 8 (Apr), 2554~2558.
 [2] J. J. Hopfield; *Proc. Natl. Acad. Sci. (U. S. A.)*, 1984, **81**, 3088~3092.
 [3] N. H. Farhat *et al.*; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 10 (May), 1469~1475.
 [4] D. Psaltis, N. Farhat; *Opt. Lett.*, 1985, **10**, No. 2 (Feb), 98~100.
 [5] 杨世宁;《光学学报》, 1987, **7**, No. 10 (Oct), 911~916.
 [6] R. A. Athale *et al.*; *Opt Lett.*, 1986, **11**, No. 7 (Jul), 482~484.

Optical electric hybrid associative memory model with threshold modification using complementary vector

BIAN SHAOPING, XU KEBIN AND HONG JING

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology)

(Received 24 February 1988; revised 28 December 1988)

Abstract

A new kind of criterion for evaluating the degree of the similarity between two vectors in associative memorizing is proposed and accordingly, an experiment about the optical electric hybrid associative memory model with threshold modification using complementary vector is designed and implemented. This model is capable of controlling the accuracy to retrieve vector and eliminating the possibility to read out erroneously.

Key words: associative memory.