第15卷 第8期 光 学 学 报 Vol. 15, No. 8
1995年8月 ACTA OPTICA SINICA August, 1995

增强型双通道实时联想存储系统的研究*

刘 卫 李贺桥 张以谟
(天津大学现代光学仪器研究所，天津 300072)

摘 要 首次将多通道并行处理的概念引入联想存储系统中，提出一个带有CCD摄像机、图像卡、微机及液晶光阀(LCLV)等控制与输入设备，并以液晶电光开关(LCPES)作为取阈反馈装置的双通道联想系统。系统存储方式采用计算机磁盘充当外部图像库存储大量参考图像，而在系统内一点只存储一幅图像。实验表明：其处理速度、输出质量等性能参数均得到优化，实时联想度可达50%。

关键词 存储与处理相分离， 液晶电光开关， 多通道并行处理。

1 引 言

近年来，联想存储器已成为光计算领域中积极研究的一个重要课题。在光学联想存储器中，存储单元和非线性取阈装置是实施处理的主要工具。通常以光折变晶体为存储介质，用不同角度参考光记录多幅参考图像的傅里叶变换全息图，并由相位共轭镜(PCM)完成取阈反馈运算[1,2]。相位共轭镜的特点是结构简单，消误差性能好，但它产生的反馈光束为存储介质衍射光强度与相位共轭镜反射率的乘积。由于目前存储材料和相位共轭镜的效率均在40%左右，因此寻址光束(即反馈光束)强度小，同时相位共轭镜响应速度慢(几秒～几十秒)，再加上晶体内多重存储限制了系统处理容量和输出质量，故而影响了这类光学联想存储器向实用化的推进。

本文提出一个增强型双通道联想存储系统，它以光折变晶体作为暂存器，将大量参考图像存储在外部图像库中，并且由液晶光阀完成非相干光图像到相干光图像的转换。取阈反馈装置采用响应速度快、阈值可调、提供的反馈光可增强的液晶电光开关。在此基础上，将处理元件阵列化，从而实现双通道并行处理。该系统可实时地进行图像存储、调用、可控反馈及联想识别等操作。总体特点表现为：输入输出设备是灵活可靠、易于调整的电器系统，处理单元则是适于大容量并行处理的光学网络。

2 实验装置与工作原理

增强型双通道实时联想存储系统的实验装置原理如图1所示。整套系统可分为三个单

* 该课题由国家“863”高技术项目资助。
收稿日期：1994年5月9日；收到修改稿日期：1994年7月1日

元，即：图像采集、存储和显示输入单元，联想处理单元及输出图像接收与显示单元。图像的实时处理过程如下：

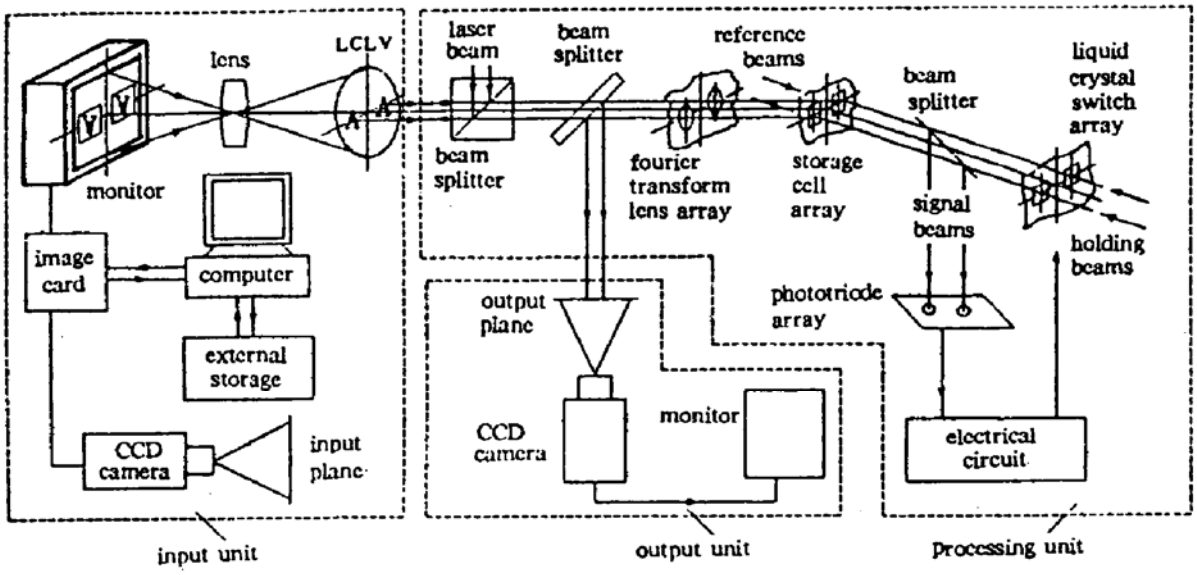

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

1） 参考图像库的建立及图像预处理：CCD 摄像机采集的大量参考图像，在微机控制下，经图像卡和一定软件处理后(如 A/D 转换、图像二值化等)，存储在由计算机磁盘充当的参考图像库中。待识别目标也可以同样方式存入图像库的特定区域中。由于图像卡采样速度为 25 帧/s，因此待识别目标可以是静止的，也可以是运动的。

2） 图像调出、显示与输入：在双通道系统中，监视器屏幕由软件分成 2 个单元，从图像库中调出的两幅不同的参考图像，经图像卡作 D/A 转换后，可一次分别显示在监视器屏幕的两个区域中。对于待识别目标，既可以是实时采集的，也可以是从图像库中调出的，其两幅相同的图像同样以上述方式显示在监视器两个区域中。此后，液晶光阀将非相干光图像转换成相干光图像，并送入联想处理单元。

3） 联想识别：首先，两幅参考图像以傅里叶变换全息图的形式被同一角度的两束平行参考光记录在两块光折变晶体上。此后，遮挡参考光，将监视器上显示的同一待识别目标的两幅相同图像输入处理单元，并同时与记录的参考图像在晶体内作相关运算，所产生的自相关或互相关光束作为取阈反馈器件——液晶电光开关的取阈光束(或信号光束)，控制液晶开关的“开”(透光)/“关”(挡光)状态。当待识别目标与某一参考图像相同或相似(畸变量<50%)时，自相关峰值输出使开关打开，外部提供的支持光束穿过开关，沿着与记录时参考光相反的方向入射到对应的那块光折变晶体上，从而再现出待识别目标的参考图像。若待识别目标与参考图像不同，则开关挡住支持光束，故没有图像再现。

如果系统不能在一次处理中识别目标，那麼从图像库中调出另两幅图像，重复上述过程，直至找到所需图像或搜索完所有参考图像。

4） 图像输出与接收：在输出面的对应位置，可以直接观察到输出图像，也可由 CCD 摄像机接收后显示在监视器上，并可存入存储系统，以备进一步处理。

3 测试与分析

对系统中的两个通道进行了测试，实验选用的两块光折变晶体均为山东大学晶体所提供

的 KNSBN：Cu 晶体，其外形尺寸分别是 7×7×2.5 和 6×9×2 mm^3。晶体 c 轴的方向与前表面平行，并在入射面内。光源为 Ar^+ 激光器，使用波长是 514.5 nm 。记录时，照射到晶体上的总光能量为 310 mW/cm^2。当选定曝光时间为 1 sec，两光束夹角等于 25°，且参物比约为 20∶1 时，全息图衍射效率接近 10%。

取阈反馈器件是液晶电光开关，其工作原理如图 2 所示(为简便起见，以一个通道进行说明)。控制电路实际上是一个施密特触发器。电路中只需一组电源，通过电位器 R_3 的分压作用，确定 B 点的阈值电压。同时，光电三极管将接收到的光信号(相关运算结果)转换为光电流，引起 A 点电位变化。当 A 点电位升高到 B 点电位时，输出电压由零伏附近跃升至接近电源电压，使液晶开关打开。显然，可以通过调节电位器 R_3 控制该器件的阈值。其透过的寻址光束的光强表达式为：

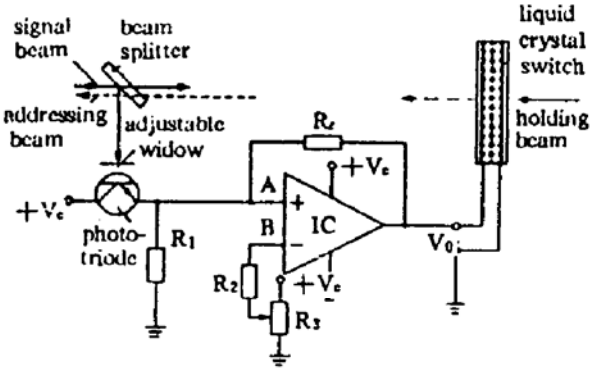

Fig. 2 Schematic diagram of LCPES

$$A_T = \begin{cases} A_O[1 - S_r(u)]t, & \text{当 } a = S_P(u)A_S W(r) > f_n(x), \\ A_O[1 - S_r(u)]b, & \text{当 } a = S_P(u)A_S W(r) < f_n(x). \end{cases} \tag{1}$$

式中，A_T 为该器件透过的寻址光强度；A_O 为支持光束光强；$S_P(u)$ 为分束镜反射率，其值可调；t、b 分别为器件开态、闭态透过率；A_S 为信号光强度，$W(r)$ 为光电三极管前可变窗口，故 a 是其接收到的光能量；$f_n(x)$ 为可调阈值。

下面进一步分析该器件取代相位共轭镜的可能性。在光折变晶体内记录的光栅与普通的全息光栅不同，是一种动态的体相位栅，但用于描述这种非线性光耦合现像的波耦合理论[3]相当繁杂且不便于说明问题，故仅以通常的全息概念作定性说明。参考图像的傅里叶变换谱 O 与参考光 R 记录的全息图可表示为：

$$|O + R|^2 = |O|^2 + |R|^2 + OR^* + O^*R \tag{2}$$

对于体全息，只考虑最后一项。当待识别目标谱为 $\bar{O}$ 时，沿参考光方向的衍射光为 $\bar{O}O^*R$。经相位共轭镜取阈，反馈光为 $\eta\bar{O}^*OR^*$。其中，η 是相位共轭镜反射率。由于参考光是平行激光束，支持光束由同一光源提供，则由阈值开关提供的反馈光可表达为：κR^*，κ 取决于所提供的支持光束光强度。

从上述分析可见，液晶开关提供的反馈光可以完成全息图联想再现的功能，其响应时间小于 100 ms。与相位共轭镜相比，该阈值器件具有速度快、反馈光可增强、阈值易于调整等优越性。系统的另一个特点表现为：存储与处理相分离。由于存储介质动态范围的限制，其存储图像的最大数目 M 表示为[4]：

$$M = \sqrt{2}\,\delta\Delta n/\lambda, \tag{3}$$

式中，δ 是全息图厚度；Δn 为折射率的最大改变量；λ 是记录光波长。

对于体全息，存储容量还要受角度灵敏性的限制，则在参考光角度变化范围 Ω 内可记录的全息图数为[4]：

$$M_\theta = \Omega/2\ \Delta\psi_0 = \Omega\pi n_0\delta \sin\theta_b/2.7\lambda, \tag{4}$$

式中，$\Delta\psi_0$ 为照明光偏离布喇格角大小；n_0 是介质折射率；δ 是全息图厚度；θ_b 为物光在晶体内入射角；λ 是照明光波长。一般地，由理论值推算出的存储数目约为几百幅，但在实际应用

中，其数值远小于理论值。同时，随着存储数目的增加，衍射效率将下降。

令多重记录全息图中的物光和参考光分别是 O_n 和 R_n，$n=1, 2, \cdots, M$，则全息图透射率 T（只考虑沿参考光方向衍射的那一项）表示为：

$$T = O_1^* R_1 + O_2^* R_2 + \cdots + O_M^* R_M \tag{5}$$

假定输入模式是 O_1，全息图衍射光为：$O_1O_1^* R_1 + O_1O_2^* R_2 + \cdots + O_1O_M^* R_M$，其中只有第一项是有效项。若存储介质仅存储了一幅图像 O_1，则衍射光为：$O_1O_1^* R_1$。

显然，若存储时其它条件不变，两全息图的衍射光强可认为基本相等，于是有效衍射效率之比 e 为：

$$e = O_1O_1^* R_1/(O_1O_1^* R_1 + O_1O_2^* R_2 + \cdots + O_1O_M^* R_M) \tag{6}$$

由此看出，随着存储图像数目 M 的增加，有效衍射效率将下降。此外，多重记录还会造成输出结果的“串像”。

4 实验结果

对双通道进行测试的实验结果如图 3 所示。图 3(a)为由监视器显示的两幅参考图像，3(b)为待识别目标在监视器上的两幅图像，3(c)为对应输入为图(b)时的输出，3(d)为仅为 50%的输入，图(e)为对应图(d)的联想结果。

实验结果表明：

1） 当待识别目标(100%及 50 %飞机)与参考图像(飞机图像)相同或相似时，相应通道得到联想识别结果[如图(c)、(e)左半部所示]；当待识别目标(飞机)与参考图像(坦克)不同时，相应通道无输出图像[如图(c)、(e)右半部所示]。

2） 对于取阈光束 $\bar{O}O^* R$，随着输入信息 $\bar{O}$ 相对于存储信息 O 畸变量的增大，其峰值输出将下降。通过调整开关器件的阈值，可以使输入信息不足全部正确信息 50%的图像恢复出来，但这样做的结果将导致误判率的提高，即将非自相关图像输了出来。因此，需要综合考虑容错率与误判率的影响。实验证明，输入信息为 50%(飞机的一半)时，便可启动阈值开关，同时不会造成坦克对飞机的误读出，从而实现联想功能。

3） 由于阈值开关是一个双稳器件，一旦打开，输出结果不受输入信息量的影响，故当输入不完整信息时，识别结果与输入完整信息时相同。

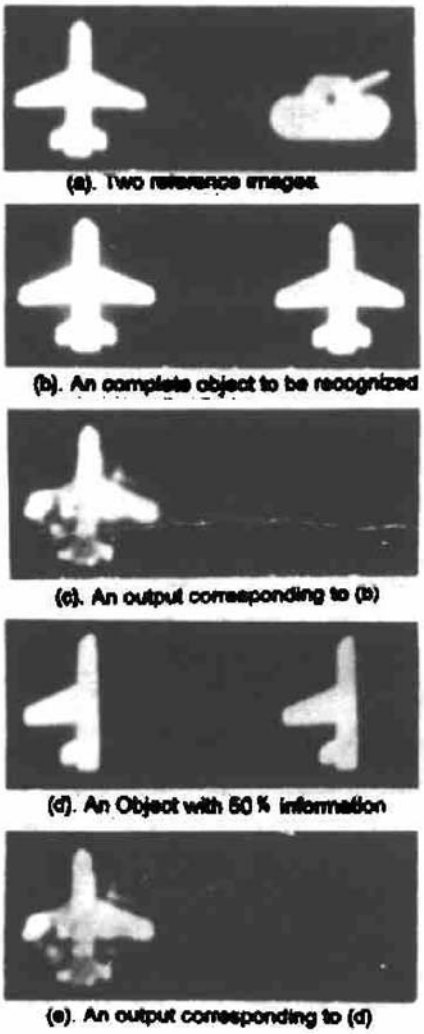

Fig. 3 Experimental results of two-channel associative recognition (a) Two reference images, (b) An complete object to be recognized, (c) An output corresponding to (b), (d) A object with 50% information, (e) An output corresponding to (d)

结 论 本文对系统结构进行优化，并适当引入电子控制和电/光、光/光转换器件，使系统具有快速、实时、灵活地处理能力，其总体特点表现为：

1） 提出多通道并行处理，建立了双通道实时联想存储系统；

2) 实现处理与存储相分离，使系统容量可扩展且输出图像信噪比较高；

3) 选用液晶电光开关作取阈器件，响应速度快且阈值可调；

4) 实时联想度可达 50%。

参 考 文 献

[1] B. H. Soffer, G. J. Dunning, Y. Owechko *et al.*, Associative holographic memory with feedback using phase-conjugate mirrors. *Opt. Lett.*, 1986, 11(2): 118～120

[2] 王　凡，张以谟，采用自泵浦相位共轭镜的光学关联存储器. *光学学报*，1992，12(1)：49～51

[3] M. Cronin-Golomb, B. Fischer, J. O. White *et al.*, Theory and applications of four-wave mixing in photorefractive media. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1984, QE-20(1): 12～30

[4] 于美文等，*光学全息及信息处理*. 第一版，北京：国防工业出版社，1984：236～237

Study on an Enhanced Two-Channel Real-Time Associative Memory System

Liu Wei　　Li Heqiao　　Zhang Yimo

(*Institute of Opto-Electronics and Precision Engineering*, *Tianjin University*, *Tianjin* 300072)

(Received 9 May 1994; revised 11 July 1994)

Abstract　A new concept of multi-channel parallel processing is introduced into associative memory system initially in this paper. A two-channel associative system using a CCD camera, an image card, a computer and a liquid crystal light valve (LCLV) as the controlling and input devices, and liquid crystal photoelectric switches (LCPES) as the threshold devices, is proposed. The method of storing in this system is to store a large amount of reference images into an external storage carried out by computer disks, while only store one image in one piece of memory medium within the system. The experimental results show that its performances, such as processing speed, output quality and so on, have all been optimized. In addition, the real-time associative degree obtained 50%.

Key words　separation of storing and processing, liquid crystal photo-electric switch, multi-channel parallel processing