

击中击不中变换在光学全息 关联存储中的应用

袁石夫 邬敏贤 金国藩 严瑛白

张景文 陈历学 许克彬

(清华大学精密仪器系, 北京 100084) (哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

摘 要 应用形态击中击不中变换, 提出了一种提高光学全息关联存储寻址准确性的方法, 并给出了实验演示。

关键词 形态变换, 全息关联存储。

1 引 言

关联存储是 Hopfield 神经网络模型所具有的重要功能^[1]。用光学方法实现关联存储, 即光学关联存储器, 因其具有光学处理的独特优点, 已受到广泛而深入的研究^[2~5]。现有的全息光学关联存储器, 都致力追求用存入图像的一部分去联想读出存入的整幅图像, 但在联想识别过程中存在着寻址不准确性, 即用某一寻址图像读出的整幅图像有可能不是所要搜寻的图像。

光学全息关联存储可看作是符号替换的过程, 它包含了两个步骤: 识别输入的部分图像, 而后用整幅图像去替换。而识别过程在数学形态学中对应着击中击不中变换。本文将应用形态击中击不中变换, 来提高光学全息关联存储系统的寻址准确性。

2 光学全息关联存储系统的寻址不准确性

光学全息关联存储系统的缺点在于: 输入部分图像的任何一个扩展图像也能联想出这一完整图像。为了从实验上演示这一缺点, 作者采用 Xu 等提出的实时全息关联存储系统^[5], 将输入寻址的部分图像称作寻址图像, 存入的整幅图像称为记忆图像, 能将寻址图像淹没其中的图像称作寻址图像的扩展图像。假定记忆图像和寻址图像均为二值图像, 分别如图 1 所示。如图 1(h) 所示的图像 B 是如图 1(f) 所示图像 H 的扩展图像。如果记忆图像为如图 1(a) 所示的 HIT , 当寻址图像为 H 时, 由系统联想出完整图像 HIT , 但当用 H 的扩展图像 B 作为寻址图像输入时, 因为图像 B 包含了图像 H 的全部信息, 那么完整图像 HIT 仍能被联想读出。特别当用一个全亮的亮斑作为寻址图像输入时, 系统仍然会联想识别出完整图像 HIT 。

图 2 为实时全息关联存储系统的光路图。其中光折变晶体 $Ce, Fe:LiNbO_3$ 为存储介质,

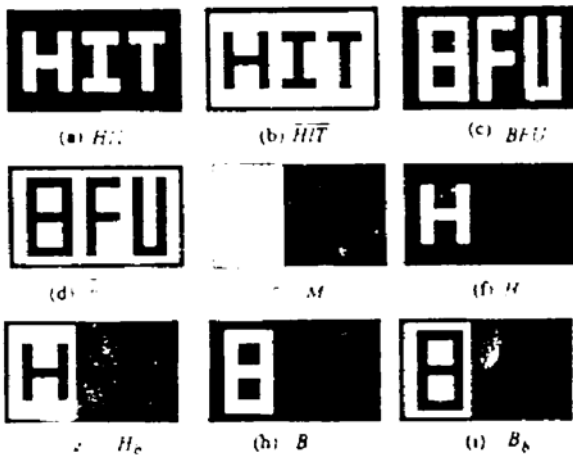


Fig. 1 The concerned images

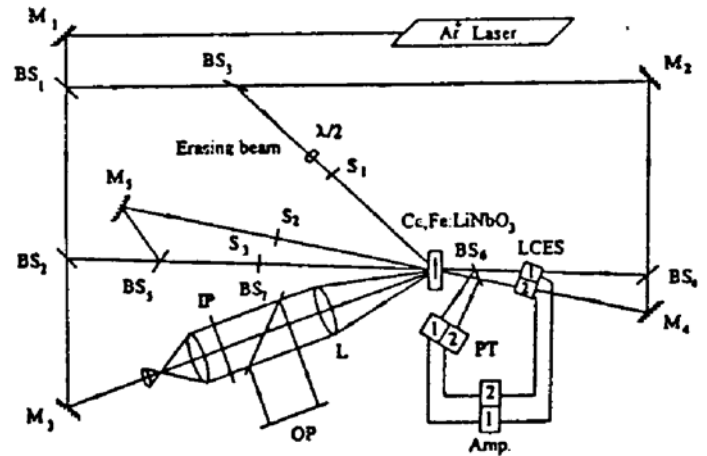


Fig. 2 The real-time holographic associative memory system; BS, beam splitter; PT, photo-triode; Amp., electric amplifier; S, stop; IP, input plane; OP, output plane; LCES, liquid crystal electro-optical switch

液晶电光开关(LCES)列阵被用作反射阈值器件以提供二元阈值响应。分别采用两束不同角度的参考光束按文献[5]的要求将如图 1(a)和图 1(c)所示的两幅完整图像 *HIT* 和 *BFU* 作为记忆图像存入 $Ce, Fe:LiNbO_3$ 晶体。当用某一寻址图像输入时,得到的两束相关光束被一个反射率为 80%的分束器反射后作为探测光,会聚到光电三极管列阵 PT 上,通过电子放大器控制相应液晶电光开关的开关状态。PT₁ 探测的光束对应于记录 *HIT* 的参考光,而 PT₂ 探测的光束对应于记录图像 *BFU* 的参考光。

为了执行关联存储,自相关光束光强应比其它的互相关光束光强大。当记忆图像 *BFU* 的一部分图像 *B* 被作为寻址图像输入时,其互相关光束提供的被光电三极管 PT₁ 所得到的探测光功率为 $7.8 \mu W$,而由其自相关光束提供的 PT₂ 上的探测光的功率为 $11.4 \mu W$ 。当这两个 LCES₁ 和 LCES₂ 的阈值选为 $8 \mu W \sim 11 \mu W$ 之间的某一值时,例如 $10 \mu W$,只有 LCES₂ 能被开启



Fig. 3 Associative output images using the real-time holographic associative memory system

为透明状态,这样便可联想读出一个完整的 *BFU* 图像,如图 3(a)所示。但当图像 *H*(记忆图像 *HIT* 的一部分)被用来作为寻址图像输入时,则由其自相关光束提供的光电三极管 PT₁ 上的探测光的功率为 $7.3 \mu W$,而由其互相关光束提供的 PT₂ 上的探测光的功率为 $7.5 \mu W$ 。互相关光束提供的探测光功率反而比自相关光束提供的探测光功率略大一些,这时如用上述 $10 \mu W$ 作为阈值,则两幅图像都不能联想读出。若将两个 LCES 的阈值调低以便完整图像 *HIT* 能被输出,

则完整图像 *BFU* 也同时被读出,如图 3(b)所示。

实验结果表明这种全息关联存储系统不能将一个部分图像与其扩展图像相区分。这一缺点严重影响了光学全息联想存储系统的寻址准确性。

3 利用击中击不中变换改进全息关联存储系统的寻址准确性

击中击不中变换将一幅图像看作由两部分组成,即由前景和背景组成。只有当前景和背景都分别与待识别模式的前景和背景相匹配时,才认为在原图像中存在该模式。作者曾利用

非相干光学相关器^[6]、而 Casasent 等人利用相干光学相关器^[7]，分别实现了击中击不中变换。这些工作可看作是利用击中击不中变换来改善非相干或相干光学相关器的模式识别能力。而实时全息关联存储系统就是利用相关识别方法。因此，将击中击不中变换用于实时全息关联存储，在相关域中将前景图像及其背景图像分别存入而后用寻址图像的前景及其背景图像分别输入寻址，可以得到一种提高全息关联存储系统的寻址准确性的改进方法。

假定一幅记忆图像为 X ，则其前景和背景图像可分别定义为

$$X_f = X, \quad X_b = \bar{X}, \quad (1)$$

这里“ $\bar{\quad}$ ”表示图像的补图像。而记忆图像 X 的部分图像 P 则可表示为

$$P = X \cap M, \quad (2)$$

这里“ \cap ”表示交操作， M 是一个表示部分图像 P 在图像 X 中所处区域大小及位置的二值图像模板。图像 P 是一个寻址图像，其前景和背景分别定义为

$$P_f = P, \quad P_b = \bar{P} \cap M. \quad (3)$$

图 1 中给出了根据上述定义得到的一些图像。图 1(a) 是图像 HIT 的前景，图 1(b) 表示其背景图像 \overline{HIT} ；图 1(c) 是图像 BFU 的前景，而图 1(d) 表示其背景 \overline{BFU} ；图 1(e) 给出了表示部分图像所占区域大小及位置的二值图像模板 M ；图 1(f) 和 (g) 分别给出了部分寻址图像 H 的前景及其背景图像 H_b ；图 1(h) 和 (i) 则分别给出了部分寻址图像 B 的前景及其背景图像 B_b 。

图 4 给出了提高寻址准确性的改进全息关联存储系统实验原理图。采用两套一般的全息关联存储系统来分别存储前景图像和它们的背景图像。在实验过程中，前景图像 HIT 和 BFU 被用具有不同方向的参考光束从输入平面 IP_1 存入到第一块 $Ce, Fe:LiNbO_3$ 晶体中，而相应的背景图像 \overline{HIT} 和 \overline{BFU} 以同样的方法从输入平面 IP_2 存入到第二块 $Ce, Fe:LiNbO_3$ 晶体中。每一个液晶电光开关都由两个光电三极管控制。例如， $LCES_1$ 用 PT_1 和 PT_3 来控制， $LCES_2$ 用 PT_2 和 PT_4 来控制。存储前景图像 HIT 时的参考光束所对应的相关光束给 PT_1 提供探测光，存储图像 HIT 的背景图像 \overline{HIT} 时的参考光束所对应的相关光束给 PT_3 提供探测光。而存储图像 BFU 及其背景图像 \overline{BFU} 时的参考光束所对应的相关光束则分别给 PT_2 和 PT_4 提供探测光。

由于存储记忆图像 HIT 和 BFU 然后分别用前景图像 H 和 B 去寻址的过程与上一节中描述的过程完全一样，相应的 PT_1 和 PT_2 的探测光功率也没有改变。当采用图像 H 的背景图像 H_b 作为寻址图像从 IP_2 面输入时，其自相关光束提供的被 PT_3 得到的探测光功率为 $15.3 \mu W$ ，而其互相干光束提供的被 PT_4 得到的探测光功率为 $10.4 \mu W$ 。而当图像 B 的背景图像 B_b 作为寻址图像从 IP_2 输入面输入时，由其互相干光束提供的被

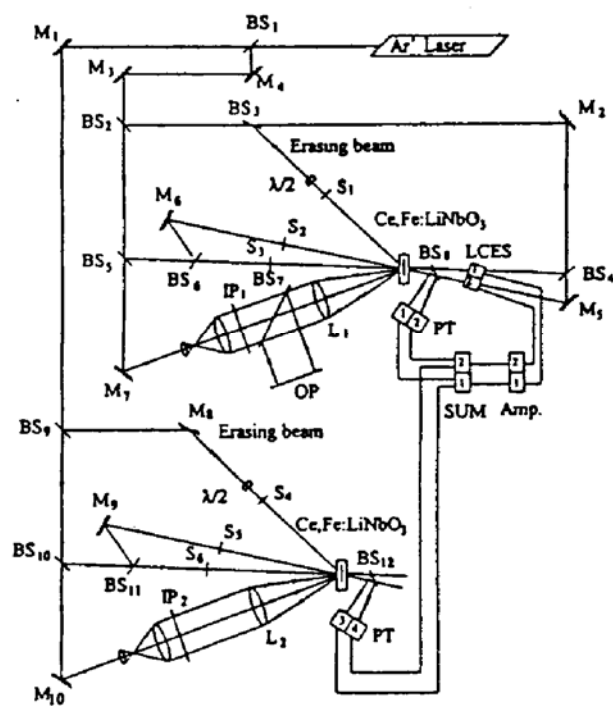


Fig. 4 The improved real-time holographic associative memory system; BS, beam splitter; PT, photo-triode; Amp., electric amplifier; SUM, summing circuit; S, stop; IP, input plane; OP, output plane; LCES, liquid crystal electro-optical switch

PT₃ 得到的探测光功率为 9.9 μW, 而由其自相关光束提供的被 PT₄ 得到的探测光功率为 9.7 μW。LCES₁ 的开关状态由 PT₁ 和 PT₃ 探测光功率相加的和来控制, 而 LCES₂ 的开关状态由 PT₂ 和 PT₄ 探测光功率相加的和来控制。当前景图像 H 和其背景图像 H_b 被作为寻址图像分别从 IP₁ 和 IP₂ 面输入时, PT₁ 和 PT₃ 所探测光功率的和为 22.6 μW, 而 PT₂ 和 PT₄ 所探测光功率的和为 17.9 μW。当 LCES₁ 和 LCES₂ 的阈值被选定为 19.5 μW 时, 则 LCES₁ 处于透明态而 LCES₂

处于不透明态。这样, 便可在输出平面 OP 上得到联想输出的完整图像 HIT , 如图 5(a) 所示。而当前景图像 B 及其背景图像 B_b 作为寻址图像分别同时从 IP₁ 和 IP₂ 面输入时, PT₁ 和 PT₃ 所探测光功率的和为 17.7 μW, 而 PT₂ 和 PT₄ 所探测光功率的和为 21.1 μW。利用同样的阈值 19.5 μW, 只有 LCES₂ 能被开启为透明状态, 从而在输出平面 OP 上得到联想输出的完整图像 BFU , 如图 5(b) 所示。

通过以上实验可证实, 这一改进的实时全息关联存储能够将一个部分寻址图像与其扩展图像区分开来, 因而寻址准确性可得到很大提高。

4 全息关联存储系统的进一步改进

上述改进的实时光学全息关联存储系统需要两套全息存储系统去分别存储前景图像及其背景图像, 为使仅在一套全息关联存储系统上便能提高其寻址准确性, 在一般的光学全息关联存储系统上, 可采用改变记忆图像和寻址图像使之同时带有前景和背景信息的方法。



Fig 6 The combinatorial memory images and combinatorial addressing images

- (a) combinatorial- memory image HIT;
- (b) combinatorial memory image BFU;
- (c) combinatorial addressing image H; (d) combinatorial addressing image B

为使记忆图像分别带有前景和背景信息, 可以使记忆图像由上下两个相应部分组合而成组合记忆图像, 组合记忆图像的上半部分由记忆图像的前景图像组成, 而其下半部分则由记忆图像的背景图像组成。例如图像 HIT 及其背景图像 \overline{HIT} 组合而成如图 6(a) 所示组合记忆图像, 图像 BFU 及其背景图像 \overline{BFU} 组合而成如图 6(b) 所示的组合记忆图像。而在寻址时也应用这一方法构成组合寻址图像, 即组合寻址图像的上半部分由寻址部分图像的前景图像组成, 而其下半部分由寻址部分图像的背景图像组成。例如部分图像 H 及其背景图像 H_b 组合而成如图 6(c) 所示的组合寻址图像 H , 部分图像 B 及其背景图像 B_b 组合而成如图 6(d) 所示的组合寻址图像 B 。实际上组合寻址图像 H 也就是组合记忆图像 HIT 的一部分, 组合寻址图像也就是组合记忆图像 BFU 的一部分。

产生组合记忆图像和组合寻址图像所需要完成的主要操作是逻辑操作。现已建立了许多光学方法用于实现光学并行图像逻辑^[8]。这些处理方法都可以用来产生合适的组合记忆图像和组合寻址图像。因此, 在光学全息关联存储的图像记忆过程中, 将所产生的组合记忆图像通过记录多重曝光全息图的方法依次存入全息记录介质之中。而在寻址过程中, 也使输入的部分图像经光学并行逻辑处理之后产生一个组合寻址图像, 利用这一组合寻址图像来寻址, 便可有效地提高光学全息关联存储系统的寻址准确性。



Fig. 5 Associative output images using the improved real-time holographic associative memory system

5 对于灰度图像的考虑

当在光学全息关联存储系统中所处理的图像是灰阶图像时，其寻址的不准确性依然存在。考虑一幅灰阶图像 G ，其可能的灰阶取值为从 0 到 α ，这里 α 是最大的灰度级。假定灰阶图像 G 的某一点 (j, k) 的灰度级为 $f(j, k)$ ，则它的补图像 \bar{G} 可采用下式来定义：

$$f(j, k) = \alpha - f(j, k), \quad (4)$$

这里 $f(j, k)$ 表示其补图像 \bar{G} 上点 (j, k) 的灰度级。采用这一定义，上述方法应可转化为适用于灰阶图像的关联存储方法。关于这一问题的详细研究正在进行。

结 论 本文通过实验证实，实时全息关联存储系统寻址的准确性存在着严重缺点，提出并演示了将形态击中击不中变换的基本思想应用于全息关联存储系统以提高其寻址准确性的改进方法。由于采用两套存储系统的方法使整个系统过于复杂庞大，实用的方法是在一套光学全息关联存储系统上使用组合记忆和寻址图像。尽管这将使得全息存储系统中需存入的信息量增加一倍，但由于全息存储的高信息容量，这种信息量的增加正可发挥全息存储的高容量和高密度的优点。该方法可广泛应用于光学全息关联存储系统及相关模式识别之中。

参 考 文 献

- [1] J. J. Hopfield, Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, 1982, **79**(8) : 2554~2558
- [2] 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
- [3] G. J. Dunning, E. Marom, Y. Owechko *et al.*, All-optical associative memory with shift invariance and multiple-image recall. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(5) : 346~348
- [4] Y. Owechko, G. J. Dunning, E. Marom *et al.*, Holographic associative memory with nonlinearities in the correlation domain. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(10) : 1900~1910
- [5] Haiying Xu, Yang Yuan, Youlong Yu *et al.*, Performance of real time associative memory using a photorefractive crystal and liquid crystal electrooptic switches. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(23) : 3375~3379
- [6] D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill, Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(29) : 6255~6263
- [7] Shifu Yuan, Lixue Chen, Jing Hong, Pattern recognition based on morphological transformations and its optical implementation. *Proc. SPIE*, 1992, **1822** : 50~58
- [8] A. A. Sawchuk, T. C. Strand, Digital optical computing. *Proc. IEEE*, 1984, **72**(7) : 758~759

Application of Hit-Miss Transformation in Optical Holographic Associative Memory

Yuan Shifu Wu Minxian Jin Guofan Yan Yingbai

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

Zhang Jingwen Chen Lixue Xu Kebin

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(Received 26 September 1994; revised 29 November 1994)

Abstract Using a morphological hit-miss transformation, an improved method for increasing the addressing accuracy of optical holographic associative memory is proposed and the experimental demonstration is given.

Keywords morphological transformation, holographic associative memory.