

文章编号: 0258-702X(2002)04-0359-04

# 基于体全息图像库的模式识别算法

周 雁, 陶世荃, 王大勇, 江竹青

(北京工业大学应用物理系, 北京 100022)

**提要** 定义了特征识别向量并提出了图像识别模板的概念,在此基础上发展了相关系数的算法,对存有 100 幅图像的体全息图像库所进行的模式识别实验表明此算法能够有效地提高识别准确率。

**关键词** 体全息 模式识别 相关系数

中图分类号 TB 877, TP 391.44 文献标识码 A

## Pattern Recognition Algorithms Based on Volume Holographic Image-Databases

ZHOU Yan, TAO Shi-quan, WANG Da-yong, JIANG Zhu-qing

(Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

**Abstract** In this paper, the characteristic recognition vector and the template matrix are proposed for image recognition based on volume holographic storage image-databases, which include the effect of the non-uniform diffraction efficiency upon the recognition accuracy. With such vectors and the matrices, the comparison study has been performed experimentally about several recognition algorithms, and it is found that the scheme of correlation coefficient is optimum.

**Key words** volume holography, pattern recognition, correlation coefficient

体全息存储器具有高存储容量、并行工作页面式读写、数据传输速率高等诸多优点<sup>[1-3]</sup>。这些优点使得体全息存储器在光学模式识别、光学神经网络、光学互连、联想存储等领域中有着广泛的应用前景<sup>[4,5]</sup>。

利用基于体全息存储器的光学相关器对光学图像进行识别的系统受到了研究人员的极大关注<sup>[6,7]</sup>。多数系统是将大量的参考模板图像存储在体全息存储器中,构造体全息图像库(这些构造体全息图像库时所使用到的图像在本文中被称为库内图像,未使用到的图像称为库外图像),然后根据待识别图像与上述每幅图像的再现相关峰强度大小和位置来判断该待识别图像是体全息图像库中的哪一幅库内图像,还是库外图像。这种只是根据再现相关峰强度大小来进行识别的方式,被称为直接识别。

直接识别是最简单的识别方式,可以发挥光学处理所具有的高速并行优势。但它要求所有图像具

有几乎相同的平均强度,同时要求存储器中全息图的衍射效率非常均匀。如果这些条件得不到满足,则很容易造成误判。本文为了在全息图衍射效率不够均匀的情况下提高识别准确率,提出了图像识别模板的概念并在此基础上研究了适当的识别算法。

## 1 识别算法的研究

采用特征识别向量对识别算法进行研究。首先构造一个有  $N$  幅图像的体全息图像库,例如采用纯角度复用技术将  $N$  幅图像用  $N$  个不同角度的参考光存储在介质的同一空间区域,构成图像库。输入待识别图像  $X$ ,它将与库中的  $N$  幅图像进行相关,再现出  $N$  个参考光点,即相关峰。这  $N$  个相关峰构成一个相关峰序列,将其中每个相关峰的强度值  $C_j (j = 1, \dots, N)$  作为识别特征,写成一个列向量  $\vec{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}^T$ ,称作输入图像  $X$  的特征识别向量

收稿日期 2000-12-13;收到修改稿日期 2001-04-27

基金项目 北京市科技新星项目和国家 973 计划资助项目。

作者简介 周雁(1974.5—)男,北京市人,硕士,现主要从事光通信产品研发与销售。本文通信联系人王大勇, E-mail:

(Characteristic Recognition Vector, 简称为 CRV)。在本文的各种识别算法研究中,都将使用特征识别向量。

在我们的初步实验中,存储 20 幅全息图建立体全息图像库,输入待识别图像  $X$  后,再现出的相关峰序列中各相关峰的强度值示于图 1。由图中可见,若采用直接识别方式,由于待识别图像  $X$  的再现相关峰最大值出现在“11”的位置上,故图像  $X$  将被判为第 11 幅库内图像。而实际上,图像  $X$  是建立体全息图像库时所用的第 5 幅图像,采用直接识别的方式造成误判。这是由于建立体全息图像库时,因为种种因素,各幅全息图的衍射效率不够均匀,造成再现相关峰序列中的各个相关峰强度不均匀,致使某些图像,如第 5 幅图像,与体全息图像库中第 5 幅图像的自相关强度比与第 11 幅图像的互相关强度还要低,从而得到错误判决结果。实验中,采用直接识别的方式,用 20 幅库内图像进行识别,只有 7 幅被准确地识别出来,识别准确率为 35%;而当输入库外图像时,它总会被判定为图像库中的某一幅,这时的识别准确率是 0。

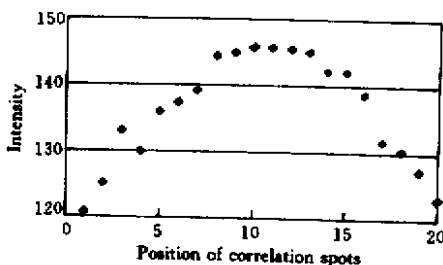


图 1 全息图像库(20 幅图像)中第 5 幅图像重构的相关峰序列

Fig. 1 Series of correlation spot intensities reconstructed by image No.5 from a holographic image-base of 20 images

由于直接识别仅考虑比较相关峰的强度大小,从而忽略了相关峰强度因衍射效率波动而产生的变化。要提高识别准确率必须同时关注以上两个因素。下面我们提出图像识别模板的概念。基于该模板的模式识别算法综合了上述两方面的因素,可以有效地改进识别准确率。

### 1.1 图像识别模板

在建立了体全息图像库之后,将所有库内图像  $P(i = 1 \dots, N)$  依次输入识别系统,分别得到其特征识别向量  $\vec{C}_i = \{C_{1i}, C_{2i}, \dots, C_{Ni}\}^T$ 。将全部  $N$  幅库内图像的特征识别向量组成一个识别特征矩阵,这个特征矩阵就是图像识别模板  $C_{\text{pattern}}$

$$C_{\text{pattern}} = \begin{Bmatrix} C_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{1N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & & C_{ji} & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{N1} & \cdot & \cdot & \cdot & C_{NN} \end{Bmatrix}_{N \times N}$$

$$(i = 1 \dots, N; j = 1 \dots, N) \quad (1)$$

图像识别模板的特征是对角线元素  $C_{ii}$  不一定是第  $i$  列中的最大元素,但一定是第  $i$  行中的最大元素。从图像识别模板出发进行了多种识别算法的研究。

### 1.2 识别算法的研究

对多种识别算法<sup>[8]</sup>的正确识别率进行了比较,其基本过程是利用识别算法计算出待识别图像的特征识别向量与图像识别模板中特征识别向量之间的度量值,再根据预设定的阈值进行判别。以偏差度量算法为例,当待识别图像  $X$  输入识别系统后,得到再现相关峰序列,经过特征提取,获得特征识别向量,再经过向量偏差处理过程,选取偏差识别向量中最大的元素,如果该元素超过阈值,就根据出现的位置来判定图像  $X$  是体全息图像库中的哪一幅。

采用偏差度量方法,将 20 幅库内图像输入识别系统,有 17 幅被正确地识别出来,识别准确率为 85%;而当用 20 幅库外图像进行识别时,这 20 幅图像都被判为不是体全息图像库中的图像,其识别准确率达到 100%。

采用其他的识别算法的处理过程与偏差度量基本相似。将库内图像和库外图像各 20 幅分别输入识别系统,各自的识别准确率见表 1。从表 1 可见,采用特征识别模板后,以上各种算法的识别准确率均高于直接识别,但仍不够满意。为此我们进一步研究了相关系数识别。

### 1.3 相关系数识别

相关系数  $CC$ (correlation coefficient)是标准化的协方差,不带有量纲,非常适合于进行模式之间相互关联程度的度量。在存有  $N$  幅全息图的体全息图像库中,两幅图像的特征识别向量  $\vec{C}_i$  和  $\vec{C}_j$  的相关系数  $r_{ij}$  ( $i, j = 1 \dots, N$ ) 为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (C_{ki} - \bar{C}_i)(C_{kj} - \bar{C}_j)}{\left\{ \left[ \sum_{k=1}^N (C_{ki} - \bar{C}_i)^2 \right] \left[ \sum_{k=1}^N (C_{kj} - \bar{C}_j)^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2)$$

$\bar{C}_i$  和  $\bar{C}_j$  分别是特征识别向量  $\vec{C}_i$  和  $\vec{C}_j$  的均值。

图 2 显示出采用相关系数对图像进行识别的结

表 1 不同识别算法的识别准确率

Table 1 Recognition accuracy of different algorithms

Recognition algorithms	20 images in the database as inputs	20 images out of the database as inputs
Deviation measure	85%	100%
Angle similarity measure	95%	100%
Manhattan distance measure	5%	0%
Camberra distance measure	5%	0%
Euclidean distance measure	10%	0%

果。设定阈值为 0.9955。待识别图像  $Y_1$  的识别特征向量与图像识别模板的识别特征向量采用相关系数度量，相关系数的最大值出现在“5”的位置，且超过阈值，而被判定为是第 5 幅图像，而图像  $Y_1$  就是构造体全息图像库所使用的第 5 幅图像，判断正确。同样，待识别图像  $Y_2$  也被准确地识别出来。而当将图像  $Y_3$  输入识别系统时，相应的相关系数曲线上没有任何一个点超过阈值，故可以被准确地判为库外图像。对上述存储 20 幅图像的体全息图像库，使用库内图像和库外图像，采用相关系数进行识别，识别准确率为 100%。

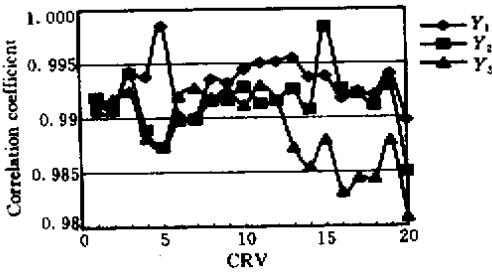


图 2 采用相关系数对图像进行识别的结果  
Fig.2 Result curves using correlation efficient (CC)

经过多种度量方式的比较，在采用相关系数进行度量时，识别准确率最高。因而，在进一步的实验工作中将采用该种算法进行识别工作。

## 2 基于体全息图像库的模式识别实验

使用相关系数分别对采用角度复用技术和分块全息复用存储技术<sup>[3]</sup>建立起来的存储了 100 幅全息图的体全息图像库进行模式识别实验。

### 2.1 实验装置和实验步骤

系统光路图如图 3 所示。波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光束经过偏振分光棱镜分成两束光，其中一束作为参考光，经过扫描振镜和 4f 系统，照射到掺铁铌酸锂(Fe:LiNbO<sub>3</sub>)光折变晶体上；另一束经过

滤波和扩束，投射到已经加载了特定二值图像的空间光调制器(SLM)上，形成物光，在傅里叶变换透镜(FTL<sub>1</sub>)的后焦面附近，物光的频谱与参考光相干涉，产生反射型体积全息图。晶体的厚度为 3 mm；SLM 包含 640×480 个像素，每个像元尺寸为 42 μm×42 μm，傅里叶变换透镜的焦距都是 150 mm，扫描振镜的角度分辨率约为 0.002°。通过振镜旋转，可以改变参考光的入射角，采用角度复用技术或分块全息复用存储技术可以充分利用晶体记录材料的体积，存储多幅图像，建立大型的体全息图像库。

在进行识别时，关断参考光，将待识别的二值图像加载到 SLM 上，对该图像的特征识别向量与图像识别模板中的特征识别向量的相关系数进行比较，来决定该输入图像是不是图像库中的图像，并且判定，如果是该图像库中的图像，那么这幅输入图像是该图像库中哪一幅。

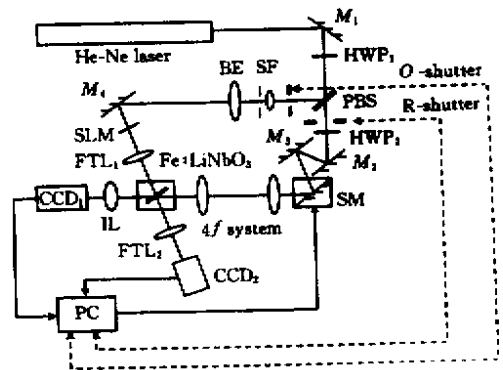


图 3 体全息图像库模式识别实验装置  
PC: 专用计算机; HWP: 半波片; PBS: 偏振分束器; SM: 扫描镜; SLM: 空间光调制器; FTL: 傅里叶变换透镜; SF: 空间滤波器; BE: 扩束器; IL: 成像透镜

Fig. 3 Experimental setup for pattern recognition based on volume holographic image-base  
PC: personal computer; HWP: half-wave plate; PBS: polarized beam splitter; SM: scanner mirror; SLM: spatial light modulator; FTL: Fourier transfer lens; SF: spatial filter; BE: beam expander; IL: image lens

## 2.2 角度复用 100 幅图像的识别

采用角度复用技术建立存有 100 幅图像的体全息图像库,原始图像是中心有四个数字标识的二值图像,其页面大小为  $128 \times 128$  个像素,如图 4 所示。利用角度复用存储 100 幅图像,建立体全息图像库时,参考光被分成两排,每排 50 个。在 100 幅全息图全部记录完毕之后,将待识别的图像输入 SLM,再现出 100 个相关峰亮点,如图 5 所示。

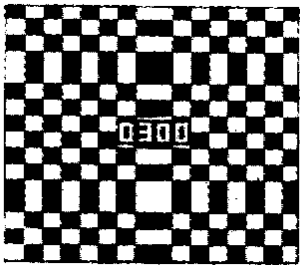


图 4 存储的原始图像

Fig.4 An example of original image



图 5 角度复用情况下再现的相关峰输出

Fig.5 Replayed correlation outputs using angular-multiplexing

通过将 100 幅库内图像分别输入 SLM,对体全息图像库采用相关系数进行识别,结果 97 幅库内图像被准确地识别出来,准确率为 97%;100 幅库外图像分别输入 SLM,结果全部被准确地识别出来。

对库内图像的识别准确率下降的原因是由于在记录 100 幅全息图的时候,各幅全息图的衍射效率极度不均匀,再现识别时,输入图像与衍射效率低的全息图相关再现出来的相关峰亮点强度很弱。此时如果相关峰亮点被噪声淹没,就容易造成误判。从图 5 的 100 个再现相关峰亮点看,有的相关峰强度已经很小了。其中有 3 幅库内图像的衍射效率太低,再现相关峰被噪声淹没了。

## 2.3 分块复用 100 幅图像的识别

仅靠采用角度复用技术在晶体一个很小的区域内存储成千上万的全息图,在实际运用中具有较大困难,应尽量充分利用晶体的体积。而分块全息复用技术能够更好地利用存储晶体的体积,对大量的图像进行存储和识别。这种技术在晶体的不同位

置,即“块”内各复用存储大量全息图。

实验中将晶体分成三个块,其中两块各存储 35 幅全息图,第三块存储 30 幅全息图。每个记录块作为一个体全息图像库的子库,总共三个子库中存储了 100 幅图像。对每个图像子库都要构造出各自的图像识别模板。在识别时,将待识别图像输入 SLM,对三个图像子库逐一寻址进行识别。即先对第一个图像子库进行识别,如果待识别图像是该子库中的某幅图像,就给出判决结果并结束对这幅图像的识别;如果不是该子库中的图像,就移到第二个记录块的位置上,对第二个子库进行识别。如果在第二个子库内也没有,就移到第三个记录块处。如果在三个子库中都没有,则判定其为库外图像。

通过将 100 幅库内图像分别输入 SLM,采用相关系数进行识别,结果这些图像被准确地识别出来,识别准确率为 100%;100 幅库外图像分别输入 SLM,结果全部被准确地判断为库外图像。

## 4 结 论

采用相关系数分别对采用角度复用技术和分块全息存储技术建立起来的存有 100 幅全息图的体全息图像库进行识别工作。在不需增加光学系统复杂性的前提下,基于图像识别模板矩阵的相关系数算法可以有效地克服相关峰强度因衍射效率波动而产生的变化,提高识别准确率。

## 参 考 文 献

- 1 Fai H. Mok. Angle-multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate [ J ]. *Opt. Lett.*, 1993, **18**( 11 ) 915 ~ 917
- 2 Allen Pu, Robert Denkwalter, Demetri Psaltis. Real-time vehicle navigation using a holographic memory [ J ]. *Opt. Eng.*, 1997, **36**( 10 ) 2737 ~ 2746
- 3 Tao Shiquan, Wang Dayong, Jiang Zhuqing *et al.*. Optical Holographic Storage [ M ]. Beijing: Beijing Polytechnic University Publishing House, 1998. 12 ( in Chinese )
- 4 Samuel Weaver, Kelvin Wagner. Nonlinear techniques in optical synthetic aperture radar image generation and target recognition [ J ]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**( 20 ) 3981 ~ 3996
- 5 R. G. Zech. Volume hologram optical memories, mass storage future perfect ? [ J ]. *Opt. & Photonics News*, 1992, 16 ~ 25
- 6 Liu Huakuang, Jin Yahong, N. I. Marzwell. Advanced ultra-high-capacity optical random access memory and pattern recognition techniques [ J ]. *Opt. Eng.*, 1998, **37**( 3 ) :779 ~ 788
- 7 D. Psaltis, F. Mok. Holographic memories [ J ]. *Science American*, 1995, **273**( 5 ) 52 ~ 58
- 8 Bian Zhaoqi. Pattern Recognition [ M ]. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 1988 ( in Chinese )