

## 综合判别函数相关器实验研究

何万涛

(西南技术物理研究所计算机研究室, 成都, 610041)

连铜淑

(北京理工大学信息工程学院光电工程系, 北京, 100081)

**摘要:** 本文采用综合判别函数(SDF)构成了一个畸变不变相关滤波系统, 并利用它进行了一系列实验研究, 实验结果证明: 以 SDF 技术与相干光空间匹配滤波相结合的光电混合相关器能够实现畸变(旋转、比例、方位和位移)不变相关识别。

**关键词:** 光学模式识别 综合判别函数

## Experimental study of synthetic discriminant function correlator

He Wantao

(Southwest Institute of Technical Physics)

Lian Tongshu

(Beijing Institute of Technology)

**Abstract:** In this paper, we reviewed the Synthetic Discriminant Function (SDF) theory and successfully manufactured an electro-optical hybrid SDF correlator experiment system. On the basis of above, we completed many experiments. Experiments demonstrated that shift, rotation, orientation and scale distortion invariant correlation could be realized by SDF correlator.

**Key words:** optical pattern recognition synthetic discriminant function

### 一、引言

光学模式识别(OPR)是光学信息处理领域中一个有着广泛发展前途的课题, 它可广泛应用于空中和地面军事目标的识别和跟踪以及工业自动化、机器人视觉等方面。经典的光学模式识别的主要手段是 Vander Lugt 提出的匹配滤波法<sup>[1]</sup>, 但是该方法鉴别能力差, 且不能解决输入物的旋转和比例不变的识别问题。怎样解决畸变不变问题, 一直是 OPR 研究中的关键, 只有解决了它, 才可能将其用于跟踪、识别, 实现实用化。对该问题的研究已经尝试了多种方法, 并已提出了诸如圆谐函数法<sup>[2]</sup>, 最大相关输出值波长迁移<sup>[3]</sup>, 极一梅林变换<sup>[4]</sup>和空间-时间相干滤波<sup>[5]</sup>等。1984年, D. Casasent 提出综合判别函数<sup>[6]</sup>制作匹配空间滤波器(MSF), 进行畸变不变相关识别, 为畸变不变的研究提供了一种新的手段。利用综合判别函数, 可以实现平移、比例、旋转、方位等畸变不变识别<sup>[7]</sup>, 也可进行多目标识别, 从而为 OPR 及光电混合处理的实用化开辟了道路。由于 SDF 是脱机综合, 在线使用, 灵活性大<sup>[8]</sup>。同时它还兼具信息量大的特点<sup>[9]</sup>。目前它被认为是解决 OPR 畸变不变相关的有效途径之一。本文主要对 SDF 相关器系统的畸变不变相关识别能力进行实验研究。

## 二、基本理论

### 1. SDF的基本思想

将某类目标图象及其畸变图象以及有关图象组成一个训练集,由训练集的这些图象进行组合,找出综合判别函数,据此做出 SDF MSF,当正确目标输入时,相关面内有一相关峰。

### 2. 理论简述

综合 SDF 的目的是寻求这样一个滤波函数,使其对于同一种试验物体的各种畸变形态(旋转、方位等)输入时都得到一相等的相关输出峰值(ECP),其方法是首先确定某物体一批不同畸变参数的物体象,从中挑选一组能统计地代表这批物体象的训练集  $\{f_n\}$ ,令滤波函数  $h$  是训练集  $\{f_n\}$  的线性组合:

$$h = \sum a_n f_n \quad (1)$$

由于该滤波器对训练样本的相关都有相等相关输出  $C$ ,即:

$$f_n \star h = C = 1 \quad (2)$$

式中,  $\star$  表示相关运算。

由于只考虑相关输出的中心峰值,则可用投影形式(点乘)表示相关。

$$f_n \star h = f_n \cdot h = f_n \cdot \sum a_n f_n = \sum a_n r_{nn} = 1 \quad (3)$$

式中,  $r_{nm}$  表示  $\{f_n\}$  的相关矩阵  $R$  的矩元,  $r_{nm} = f_n \cdot f_m$ 。

将(3)式写成矩阵形式,则有:

$$Ra = \mu \quad (4)$$

式中,  $\mu$  表示单位矢量,即:  $\mu = (1, \dots, 1)^T$ , 于是:

$$a = R^{-1}\mu \quad (5)$$

这样,只要算出训练图象  $\{f_n\}$  的相关矩阵的逆阵  $R^{-1}$ ,即可得到等相关输出的  $h$ ,这是一个用脱机综合得到的二维数字化的物空间象,称为综合判别函数(SDF)。

## 三、实验结果

### 1. 实验装置

SDF 相关器系统实验装置如图 1 所示。将 SDF 模板图象经图象子系统输出到 CRT, CRT 上的图象经  $L_1$  成象在 LCLV 上,用准直激光束读取 SDF 的图象信息;然后透镜  $FTL_1$  对 SDF 作傅里叶变换,在  $FTL_1$  的焦平面上用全息干板同时记录 SDF 的功率谱和与之匹配的参考光;再后取下全息干板,对其作显影、定影处理,形成空间匹配滤波器(MSF; Match Spatial Filter)后再精密复位;最后关闭参考光,依次输入训练样本及非样本图象进行相关峰检测,相关峰的信息经摄像机  $CCD_2$  探测后,结果存入计算机。

### 2. 训练样本的采集

用 CCD 摄像机将三维坦克立体模型(图 2)的畸变图象输入图象系统(每帧  $256 \times 256 \times$

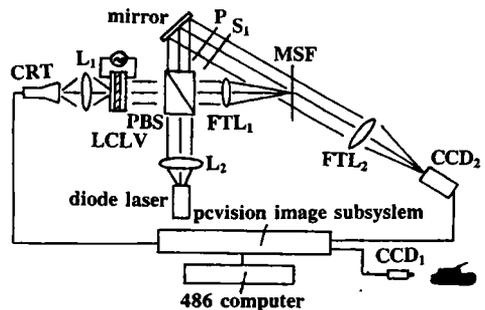


Fig. 1 Architecture of hybrid digital-optical SDF correlator

PBS - polarized beamsplitter P - polarizer  
 $L_2$  - collimated lens  $L_1$  - imaging lens  
 $S_1, S_2$  - shutter

8bit), 采集时利用变焦镜头摄入两种比例坦克模型图象(1:1.2), 每种比例分别采集 4 个方位角(0°, 20°, 35°和 45°), 而在每个方位角, 坦克模型作平面内 15 个方向旋转(在 360°范围内, 每旋转 24°采一幅), 这样在每个方位角, 采集到模型的二个比例, 平面内 15 个旋转方向的 30 幅图象。于是在 4 个方位角, 总共采集到  $4 \times 30 = 120$  幅图象。这些图象经去除背景及 Sobel 预处理后, 再组成三个旋转、比例、方位不变的 SDF<sub>1</sub>, SDF<sub>2</sub> 和 SDF<sub>3</sub>(图 3)。其中 SDF<sub>1</sub> 含方位角 0°~20°, SDF<sub>2</sub> 含方位角 20°~35°, SDF<sub>3</sub> 含方位角 35°~45°。三个 SDF 的训练象之一如图 4 的 a, b, c 所示。



Fig.2 3-D object model



Fig.3 a, b, c, SDF<sub>1</sub>, SDF<sub>2</sub>, SDF<sub>3</sub> synthesized by ECPSDF algorithm



Fig.4 a, b, c, One of the training images of SDF<sub>1</sub>, SDF<sub>2</sub>, SDF<sub>3</sub>, with sobel preprocessing

### 3. 光电混合实时相关

(1) 旋转、比例及方位不变性 在图 1 中, 分别用图 3 所示的三个 SDF, 进行光电混合处理, 各样本与各自 SDF 的光学相关峰如图 5, 图 6 及图 7 所示。其中图 5 是坦克模型象在旋转



Fig.5 a, b, the maximum and minimum optical correlation S/N of SDF<sub>1</sub> and its training images



Fig.6 a, b, the maximum and minimum optical correlation S/N of SDF<sub>2</sub> and its training images

(0°~360°), 比例(1:1.2)及方位(0°~20°)三种畸变同时存在时, 训练样本与 SDF<sub>1</sub>(图 3a)相关的结果。a, b 分别是相关信噪比最大和最小的情况。图 6 是坦克模型在旋转(0°~360°), 比例(1:1.2)及方位(20°~35°)三种畸变同时存在时, 训练样本与 SDF<sub>2</sub>(图 3b)相关的结果, a, b

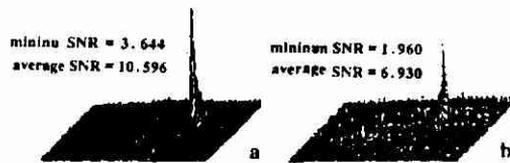


Fig.7 a, b, the maximum and minimum optical correlation S/N of SDF<sub>3</sub> and its training images

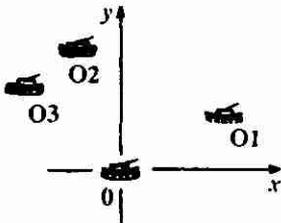


Fig.8 Target moving track

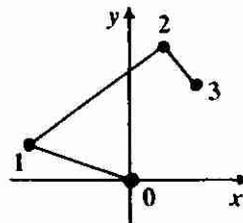


Fig.9 Correlation point moving track

分别是相关信噪比最大和最小的情况。图 7 是坦克模型象在旋转(0°~360°), 比例(1:1.2)及方位(35°~45°)三种畸变同时存在时, 训练样本与 SDF<sub>3</sub>(图 3c)相关的结果, a, b 分别是相关信噪比最大和最小的情况。从图可以看出, 相关的 S/N 较高, 相关峰很

锐。这说明本系统具有旋转、比例及方位不变性。

(2)位移不变性 在 SDF 相关滤波系统(图 1)中,坦克模型在视场内作二维运动,其运动轨迹如图 8 所示。目标在相关平面的相关点也将发生相应的运动,目标每一位置所对应的相关点的测量坐标见附表。

Table Correlation point location coordinate

| target location              | 0      | 01         | 02        | 03         |
|------------------------------|--------|------------|-----------|------------|
| correlation point coordinate | (0, 0) | (-121, 55) | (71, 198) | (108, 150) |

据附表数据绘制出相关点的移动轨迹(图 9),可以看出目标和相关点的移动轨迹极其相似,这说明本相关器具有位移不变性。

## 四、结 论

利用综合判别相关器,通过光学执行能够实现如下范围的实时畸变不变相关识别:位移:全视场,平面旋转: $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ,方位: $0^{\circ}\pm 45^{\circ}$ ,比例:1:1.2。可见以 SDF 技术与相干光空间匹配滤波相结合的光电混合相关器能够实现畸变不变光学相关识别。这一技术的好处是将光学的高速、高分辨、多目标位置不变等优点与计算机的灵活性相结合,无疑这一技术在制导、机器视觉、文字识别等方面有广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 Lugt A V. IEEE Trans Inform Theory, 1964;IT-10(2):139
- 2 Hsu Y N. Appl Opt, 1982;21(22):4012
- 3 Mersereau K, Morris G M. Appl Opt, 1986;25(14):2338
- 4 Casasent D. Prog Opt, 1978;16:289
- 5 Schils G. F. Opt Lett, 1987;12(5):307
- 6 Casasent D. Appl Opt, 1984;23(10):1620
- 7 Hong R, You Z, Chen Z *et al.* SPIE, 1990;1230:791
- 8 Casasent D, Rozzi W, Fetterly D. Opt Engn, 1984;23:716
- 9 陶纯堪. 中国科学(A辑), 1989;12:1333



作者简介:何万涛(附照片),男,1964年出生。博士研究生,工程师。现从事计算机图象处理方面的研究工作。

连钢淑,男,1932年出生。教授,博士生导师。SPIE 和 COS 会员,政府津贴获得者。现从事光学仪器方面的科研和教学工作。

收稿日期:1995-03-29 收到修改稿日期:1995-05-31

## ·产品简讯·

### 高分辨率的 CCD 摄象机

德国 VDS Vosskuhler 公司研制一种型号为 CCD-1010 的黑白摄象机,其分辨率为  $1024 \times 1024$ ,具有 12bit 的动态范围。这种摄象机的帧速率可达  $25 \sim 30 \text{field/s}$ ,且隔行扫描交错成象为  $50 \sim 60 \text{field/s}$ 。标准的 CCD-1010 型摄象机还装备有一个 12 位数字式输出口( $48 \text{Mpixels/s}$ )和一个连接控制计时器的模拟输出口。RS-232 的接口可用于编程和改变操作参数。

丁育明,巩马理 供稿