

光学模式识别实时硬件执行系统滤波器综合技术

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: 本文介绍了一种光学模式识别(OPR)实时硬件执行系统滤波器综合的新方法。采用该方法, 在综合判别函数(SDF)畸变不变相关滤波系统中实现了系统性能优化, 得到了最小相关峰值方差及最佳 S/N 的相关输出。

关键词: 光学模式识别 综合判别函数

Synthesis filter technique in real-time hardware implementation system for optical pattern recognition

He Wantao

(Southwest Institute of Technical Physics)

Lian Tongshu

(Beijing Institute of Technology)

Abstract: A new method was proposed to synthesize filter in the OPR real-time hardware implementation system. By the method, a optimum filter with very good correlation S/N and minimum peak variance was obtained in the synthetic discriminant function (SDF) distortion invariant correlation filter system.

Key words: optical pattern recognition synthetic discriminant function

一位和 15 位寄存器的最末一位异或得到输出位。每一输入字节的低位首先进入扰频器。寄存器是 15 级线性反馈移位寄存器, 生成多项式是 $x^2 + x + 1$ 。在对每一个 CD-ROM 扇区同步码之后的数据进行扰频之前, 寄存器预置为“000 0000 0000 0001”, 其中 1 是最末位。

参 考 文 献

- 1 ISO/IEC 10149:1989(E)(Yellow book), 1989
- 2 CEI IEC 908:1987(Red book), 1987
- 3 Nakajima H, Ogawa H, Translation by C. Asehmann Compact Disc Technology. Tokyo, Japan: Ohmsha, Ltd., 1992:114



作者简介: 蔡忠平(附照片), 男, 1971 年出生。博士生。现从事新型光存储材料与器件的研究。

潘龙法, 男, 1946 年出生。副教授。长期在清华大学从事教学和科研工作, 任科技攻关项目负责人, 现任清华大学光盘国家工程研究中心副主任。ISO/IEC JTC1/SC23/WG2 国际光盘标准化委员会专家组成员。

徐端颐, 男, 1937 年出生。教授, 博士生导师。主要从事光学微细加工及光学数字数据存储方面研究工作, 现任光盘国家工程研究中心主任。

收稿日期: 1995-10-06 收到修改稿日期: 1995-12-22

一、引言 <http://www.jgjs.net.cn>

采用综合判别函数(SDF)进行畸变不变相关滤波、实时硬件光学执行的结果与相关计算机模拟的结果,通常会有明显的差别^[1]。原因有二:1. 硬件系统总是由非理想光学、光电元器件及装置构成,它们对相关演算的每一步不可避免地引入了非线性畸变,无论是空间光变调器,匹配滤波器的纪录介质,图象输入、显示设备及相关检测器件,它们都具有有限的灰度动态范围、非线性输入-输出特性、有限的空间频率响应(MTF)及响应的非均匀性;2. 数学与物理的过程同一性问题。根据数学模型, SDF 可表为训练样本集 $\{f_i(x, y)\}$ 的线性组合即 $SDF = \sum_{i=1}^N a_i f_i(x, y)$, (式中, a_i 为组合系数, $i = 1, \dots, N$)。为达到 SDF 与样本集等相关峰输出,按公式 $R_0 \cdot a = u$, 式中, R_0 为相关矩阵, 矩阵元 $r_{ij} = F_i(\nu_x, \nu_y) \cdot F_j^*(\nu_x, \nu_y)$, $F_i(\nu_x, \nu_y) = \mathcal{F}\{f_i(x, y)\}$, \mathcal{F} 为傅氏变换算子, $*$ 为复共轭算子, $a = \{a_i\}$, $u = (1, \dots, 1)^T$, T 为转置算子, 计算可得 $a = R_0^{-1} \cdot u$, 由此算出的 a_i 可取负值, 且大、小相差上百倍, 由它构成的 SDF 具有物理上不可能实现的大灰度动态范围及负值点, 以上两点导致硬件系统的非线性畸变, 这将给滤波器的综合带来消极影响, 使计算结果与实际不一致, 相关 S/N 劣化, 接近等相关峰成为不可能。

本文介绍了一种在线光学-计算机反馈及脱机数值迭代的滤波器综合方法, 对这种非线性进行了校正, 从而优化了滤波器的性能。主要思想是首先设定具有最小灰度动态范围的全正值的 $SDF_0[\mathcal{SDF}_0 = \sum_{i=1}^N f_i(x, y), f_i(x, y)$ 为训练样本, $i = (1, \dots, N)]$ 为初值, 计算并实测它与各样本的相关, 由此对相关矩阵 R 进行非线性校正, 再由实测与期望的相关通过数值迭代校正输入得到具有最小相关输出方差的 SDF_{01} , 这种反馈一般进行 2 次左右即可使相关输出 S/N 及方差得到明显改善, 使硬件执行系统的非线性得到很好的校正。

二、基本理论

1. SDF 理论

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^[2]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:

$$h = \sum a_n f_n \tag{1}$$

由于该滤波器对训练样本的相关都有等相关输出 C , 即:

$$f_n \star h = C = 1 \tag{2}$$

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。

$$f_n \star h = f_n \cdot h = f_n \cdot \sum a_m f_m = \sum a_m r_{nm} = 1 \tag{3}$$

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

将(3)式写成矩阵形式, 则有: $R \cdot a = \mu$ (4)

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

$$a = R^{-1} \mu \tag{5}$$

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

版权所有 © 《激光技术》编辑部
http://www.jgjs.net.cn

个用脱机综合得到的二维数字化的空间物象, $SDF_0 = \sum_{i=1}^N a_i f_i(x, y)$ 也就是典型的等相关峰综合判别函数(ECPSDF)。

但是根据(5)式计算出的 a_i 可取负值, 且大小可以相差上百倍, 而在构成 SDF 时, 负值点以及这样大的灰度动态范围, 物理上是不可能实现的。

2. 滤波器的综合过程

考察训练集 $\{f_i(x, y), i = 1, \dots, n\}$, 假定初始输入矢量 $a_{10} = (1, \dots, 1)^T$, 从而构成 $SDF_{10} = \sum_{i=1}^N f_i(x, y)$ 。由于矢量 a_{10} 的各分量为全 1, 它所构成的 SDF_{10} 具有最小的灰度动态范围, 并可降低非相干到相干转换时的非线性畸变。从 SDF_{10} 出发, 综合滤波器的过程如下:

(1) 根据(3)式计算该训练集的相关矩阵:

$$R_{10} = \begin{bmatrix} f_1 \star f_1, & \dots, & f_1 \star f_n \\ \dots & \dots & \dots \\ f_n \star f_1, & \dots, & f_n \star f_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

(2) 将上式代入矩阵矢量公式(4)可得:

$$R_{10} \cdot a_{10} = \mu_{10} \quad (7)$$

式中, μ_{10} 是输出的计算值, 假定经过上式计算得到: $\mu_{10} = (\mu_1, \dots, \mu_n)^T$ 。

(3) 将 SDF_{10} 输入到相干滤波系统, 然后制作 SDF_{10} 的全息空间匹配滤波器(MSF), 探测 SDF_{10} 与各训练象 $f_i(x, y)$ 的光学相关峰, 得到实测的光学输出 $\mu'_{10} = (\mu'_1, \dots, \mu'_n)^T$ 。并据此计算光学输出的方差 V_{10} 。

(4) 引入一对角阵, 并令: $N_1 \cdot \mu_{10} = \mu'_{10}$; 可以看出, 此时 N_1 的作用实际上是对理论计算的结果进行修正, 我们不妨称其为非线性畸变校正矩阵。这样 N_1 可以唯一的确定为:

$$N_1 = \mu'_{10} / \mu_{10} \quad (8)$$

(5) 等式(7)两端同乘以 N_1 , 则有:

$$N_1 \cdot R_{10} \cdot a_{10} = N_1 \cdot \mu_{10} = \mu'_{10} \quad (9)$$

令 $N_1 \cdot R_{10} = R_{11}$, 则有: $R_{11} \cdot a_{10} = \mu'_{10}$

式中, 我们称 R_{11} 为第一次非线性校正相关矩阵。

(6) 引入一对角阵, 并令: $N_2 \cdot \mu'_{10} = \mu$; 可以看出, 此时 N_2 的作用实际上是对输出的结果进行修正, 我们不妨称为输出校正矩阵。于是 N_2 可以唯一的确定为:

$$N_2 = \mu / \mu'_{10} \quad (10)$$

(7) 为达到理想效果, 输出全为等相关峰, (9)式两端同乘以 N_2 :

$$N_2 \cdot R_{11} a_{10} = N_2 \cdot \mu'_{10}$$

由于 N_2 是对角阵, 则存在以下关系: $N_2 \cdot \mu'_{10} = \mu$, 令 $N_2 \cdot a_{11} = a'_{10}$, 则可得到:

$$N_2 \cdot R_{11} a_{10} = R_{11} \cdot a'_{10} = \mu \quad (11)$$

(8) 据(10)式算出 N_2 , 将其代入上式的最左端, 可得一个新的输出 $\mu' = (\mu'_1, \dots, \mu'_n)^T$ 。然后将 μ' 代替 μ'_{10} , 代入(10)式进行迭代运算, 直到输出方差最小为止, 得到一个新输入矢量 a_{11} , 这样:

$$R_{11} \cdot a_{11} = \mu_{11} \quad (12)$$

经过以上八个步骤后, 我们使用 a_{11} 可构成第一次反馈后的 SDF_{11} 。然后重复(3), 可得到

SDF₁₁的光学输出和方差 V_{11} 。

(9) 重复(4)~(8), 我们可以进一步得到 SDF₁₂, SDF₁₃, ……。这个过程可以重复多次, 直到得到最小方差及最佳 S/N 的相关输出(根据实验, 这个过程一般进行二次左右就可达到目的, 详见实验结果部分)。

这一校正通过理论计算、实际硬件执行及期望的相关输出 μ_{10}, μ_{10}', μ 分别对相关矩阵 R 和输入 a 进行, 类似神经网络的反馈校正过程, 不同的是该系统实时识别灰度图象信息量大(512×512×8bit/帧), 而相当于互联权重矩阵的 R, 也可实现很大, 这是目前任何神经网络硬件光学执行系统所难以达到的。

三、实验结果

1. 训练样本的采集

用 CCD 摄像机将飞机模型图 1 的畸变图象输入图象系统 256×256×8bit/帧, 这些畸变图象含模型的二个空间角(0°和 20°), 模型在每个空间角分别作平面内 16 个方向的旋转(每 22.5°), 这样共形成 32 幅图象。每幅图象再经勾边去除背景及二值化处理形成含 32 个训练象的训练集, 图 2 是其中的一个训练象。



Fig. 1 One of the original image of airplane model



Fig. 2 One of the training image of airplane model

2. 硬件光学执行

(1) 采用典型的 ECPSDF 用上面得到的训练样本集, 经典型的 ECPSDF 算法综合得到



Fig. 3 SDF₀ synthesized by prototype ECPSDF algorithm with the same training image set as SDF₁

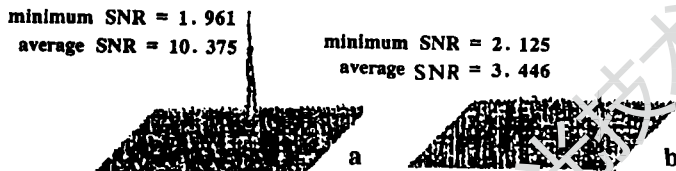


Fig. 4 a, b—The maximum and minimum optical correlation S/N of SDF₀ and its training images

SDF₀(图 3)。将 SDF₀ 输入到相干滤波系统, 制作它的 MSF, 检测 SDF₀ 与各训练样本的光学相关输出。表 1 列出了 SDF₀ 的综合系数和输出方差 V_0 。该表清楚表明, 系数有负值, 而所有光电显示器及 CRT 都只能显示强度值, 因此在实际工作中, 只能将其负值点取绝对值, 同时因为综合系数相差上百倍而带来的不可实际实现的灰度动态范围, 导致等相关峰不可能实现。图 4 显示了 SDF₀ 与训练样本光学相关时的最强和最弱相关峰。

Table 1 Correlation coefficients of SDF₀

	-10.2	-0.4	-7.8	2.3	22.5	21.0	29.0	39.4	10.7	19.4	6.7	19.6
a	-37.6	-7.0	1.5	-13.8	46.5	20.5	34.9	20.0	28.0	5.1	0.0	4.5
	1.8	-13.9	-5.7	1.4	35.0	20.4	6.4	16.2				
	variance of optical correlation output											
v_0	1.1											

(2) 采用新方法 用同样的训练样本集, 采用本文介绍的新方法, 首先综合出全一的 SDF₁₀(图 5), 从 SDF₁₀ 出发, 经过 2 次反馈得到 SDF₁₂(图 6)。

