

实现光学多特征图形识别的一种方法

刘济林 戴建华 张洪钧

(中国科学院物理研究所)

1981年7月10日收到

提 要

本文提出从输入图形和参考图形的互相关阵决定输入图形在 Schmidt 正交化基函数(标准图形)上的投影,从而为多特征图形的识别提供了一种新方法,实验结果与理论相一致。

一、引 言

在光学图形识别中,多特征图形的识别可能是最有实际意义的,也是当前努力方向之一。多特征图形识别要解决的问题是从各种可能的姿态中辨认出物体,并与其它不同类的物体区别开。这种问题在导弹的终端控制和生产线上产品的自动检验等实际情况中是必然会遇到的。

对于多特征识别问题有过一些处理办法和想法。Leib *et al.*^[1], Guenther *et al.*^[2] 等人都是选择多姿态中的一些典型姿态制成多个匹配滤波器,进行相关识别。这种方法的局限性是显而易见的,总不能把所有的可能姿态都制成滤波器。Caulfield 等^[3]曾经建议对用于字母识别的相关输出矩阵进行后处理,以便增强鉴别。但仔细分析表明,文献[3]中所建议的后处理方法同样受到上述的限制。霍裕平^[4]指出,所有图形构成图形空间,它与 L^2 空间(平方可积函数空间)是同构的。图形识别实质上就是分析一个图形在不同图形子空间上的投影。当把图形 $f(x, y)$ 看成图形空间上坐标表象时,识别系统的作用实际上就相应于图形空间中的表象变换——投影算子。文献[4]指出,由参考图形经 Schmidt 正交化得到的标准图形组可作为一组正交基,并从理论上指出,完全可以设计全息透镜来完成这一投影变换。Hester 等^[5]利用电子计算机从实验上得到了由标准图形组(正交基函数)的线性和组成的平均滤波器,在一般的相干光处理系统上实现了多特征图形识别。但是用电子计算机实现 Schmidt 正交化来得到标准图形组的方法,无论是从费用、速度、复杂性、精度、适用范围等方面,还是从自适应等实时要求来说,都不能说是一个很好的办法。基于在分类中有意义的是输入图形在标准图形上的投影,而不是标准图形本身这样一个根本事实,本文提出一种方法,直接将输入图形与参考图形作光学相关,通过该相关矢量可以得到输入图形在标准图形上的投影,并且这种方法还能剔除参考图形中线性相关的图形。本文介绍了方法的理论和与理论相一致的实验结果。

二、理 论

光学多特征图形识别就是运用光学手段,从参考图形 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 出发,运用

Schmidt 正交化方法, 构造正交归一的标准图形(正交基函数)组 $e_1, e_2, \dots, e_n$. 对于任一输入图形 f , 其中是否包含某一标准图形 e_i , 就看 f 在 e_i 上的投影大小. 根据数组 $\{(f, e_i)\} (i = 1, 2, \dots, n)$, 而将 f 分类. 其中内积

$$(f, e_i) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e_i^*(x) dx. \quad (1)$$

为简单起见, 考虑一维情况, $*$ 代表复共轭.

Schmidt 正交化手续为

$$\begin{aligned} e_1(x) &= f_1(x)/k_1, \\ e_2(x) &= \{f_2(x) - (f_2, e_1)e_1(x)\}/k_2, \\ e_3(x) &= \{f_3(x) - (f_3, e_1)e_1(x) - (f_3, e_2)e_2(x)\}/k_3, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$e_n(x) = \{f_n(x) - \sum_{j=1}^{n-1} (f_n, e_j)e_j(x)\}/k_n. \quad (2)$$

这里归一化因子

$$\begin{aligned} k_1 &= (f_1, f_1)^{\frac{1}{2}}, \\ k_i &= \left(f_i - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j, f_i - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right)^{\frac{1}{2}} \quad (i = 2, 3, \dots, n). \end{aligned} \quad (3)$$

一张普通图形(透明片)通常可看成是以其强度透过率 $\tau(x, y)$ 表示的一个平面分布. 在相干光学系统中, 忽略片基所带来的相移, 可把透明片的复振幅透过率 t 定义为强度透过率 $\tau(x, y)$ 的平方根的正值^[6], 即

$$t(x, y) = \sqrt{\tau(x, y)} \geq 0. \quad (4)$$

这样, 相干光学系统把普通图片看成是一个非负的二元实函数 $t(x, y)$. 按照上述定义, 参考图形 $\{f_i\} (i = 1, \dots, n)$ 的互相关阵中矩阵元 $(f_i, f_j) (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 是非负的.

$$(f_i, f_j) = \int_{-\infty}^{\infty} f_i(x) f_j^*(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} f_i(x) f_j(x) dx \geq 0. \quad (5)$$

而我们知道, 光学频率平面相关器, 对复振幅是线性的, 输出强度分布可表示为

$$I_{ij}(x) = K \left| \int_{-\infty}^{\infty} f_i(\xi) f_j^*(\xi + x) d\xi \right|^2. \quad (6)$$

原点处的值

$$I_{ij}(0) = K \left| \int_{-\infty}^{\infty} f_i(\xi) f_j^*(\xi) d\xi \right|^2 = K |(f_i, f_j)|^2, \quad (7)$$

其中 K 是比例因子.

这意味着只要用能量探测器测出输出平面原点处的值, 开方取正值就可以得到矩阵元 (f_i, f_j) . 我们关心的是数组 $\{(f, e_i)\}$. 但是由于 $\{e_i\}$ 是一张全息片, 即是含有位相因子的复分布, 所以初看起来, 很难确定 $\{(f, e_i)\}$ 是复数, 还是实数. 是实数, 又如何确定正负?

在附录一中, 证明了在 Schmidt 正交化过程中出现的诸系数为

$$(f_n, e_1) = \frac{1}{k_1} (f_n, f_1),$$

$$\begin{aligned}
 (f_n, e_2) &= \frac{1}{k_2} \left[(f_n, f_2) - \frac{1}{k_1^2} (f_2, f_1)(f_n, f_1) \right], \\
 (f_n, e_3) &= \frac{1}{k_3} [(f_n, f_3) - (f_3, e_1)(f_n, e_1) - (f_3, e_2)(f_n, e_2)], \\
 &\dots\dots\dots \\
 (f_n, e_i) &= \frac{1}{k_i} [(f_n, f_i) - (f_i, e_1)(f_n, e_1) - (f_i, e_2)(f_n, e_2) - \dots \\
 &\quad - (f_i, e_{i-1})(f_n, e_{i-1})], \quad (8) \\
 k_i^2 &= (f_i, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} |(f_i, e_j)|^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots; i = 1, 2, \dots, n-1). \quad (9)
 \end{aligned}$$

从上式看出, 由参考图形的互相关阵出发, 就可以确定正交化中诸系数. 而(9)式就是 Parseval 关系式, 其物理意义很清楚: k_i^2 表明第 i 个标准图形的能量, (f_i, f_i) 表明第 i 张参考图形的能量, 而 $|(f_i, e_j)|^2$ 表明第 i 张参考图形含有第 j 个标准图形的能量. 于是我们可以根据由互相关阵计算出的 k_i 值对参考图形进行筛选. 当 k_i 接近于零时, 可舍弃这张参考图形. 因为 $\|x\| = 0 \Leftrightarrow x = 0$, 这就意味着由第 i 张参考图形得到的第 i 张标准图形是图形空间中的零元, 而零元与任何矢量正交, 它对识别已经没有什么作用了.

同样, 对于输入图形 f 有

$$\begin{aligned}
 (f, e_1) &= \frac{1}{k_1} (f, f_1), \\
 (f, e_2) &= \frac{1}{k_2} \left[(f, f_2) - \frac{1}{k_1^2} (f_2, f_1)(f, f_1) \right], \\
 (f, e_3) &= \frac{1}{k_3} [(f, f_3) - (f_3, e_1)(f, e_1) - (f_3, e_2)(f, e_2)], \\
 &\dots\dots\dots \\
 (f, e_i) &= \frac{1}{k_i} [(f, f_i) - (f_i, e_1)(f, e_1) - (f_i, e_2)(f, e_2) - \dots \\
 &\quad - (f_i, e_{i-1})(f, e_{i-1})] \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (10)
 \end{aligned}$$

(10)式中的许多系数已经由参考图形的互相关阵确定. 再求得输入图形与参考图形互相关矢量 $\{(f, f_i)\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 就可以完全确定上式的值. 这就提供了一种方法, 不必去真正求得标准图形以及由它组成的滤波器, 只要将参考图形 $\{f_i\}$ 作成滤波器, 并求出它们之间的互相关阵 $\{(f_i, f_j)\}$ 以确定(10)式中的许多系数. 然后对任一输入图形 f 作互相关, 将矢量 $[(f, f_1), (f, f_2), \dots, (f, f_n)]$ 代入(10)式, 即得到输入图形 f 在 Schmidt 正交基(标准图形组)上的投影, 从而实现了将输入图形 f 分类的目的.

作为一个例子, 我们选择了不同的字母 I, F, E (这里没有选择同类图形主要是为计算方便)作为参考图形, $\square$ 作为输入图形[图 1(a)]. 在附录二中证明了图形 I, F, E 的 Schmidt 正交化标准图形组是 $I, \equiv, -$ [图 1(b)]. 采用了两种方法进行计算. 一种方法是按照本文方法将输入图形与参考图形作相关, 计算出输入图形在标准图形组上的投影. 另外一种方法是将输入图形直接与参考图形正交化后的标准图形作相关, 得出投影值. 计算方法是根据相关的定义, 求出输入面上两图形的公有面积(任意单位)即是两图



图 1

表 1 相关阵的理论计算值

参 考 图 形					标 准 图 形 (正交基)				
输入图形		I	F	E		I	$=$	$-$	
	I	8	8	8	输入图形	I	8	0	0
	F	8	14	14		$=$	0	6	0
	E	8	14	17		$-$	0	0	3
	$\square$	8	12	15		$\square$	8	4	3

形的内积值。结果列在表 1。

经过计算后得到输入图形 $\square$ 在 I, F, E 的 Schmidt 正交化后的标准图形组上的投影值都是 (2.83, 1.63, 1.73)。

同时对上述图形进行了实验，目的是通过实验验证两种方法得到的结果是否一致。

三、实 验

1. 实验装置

实验装置示意图见图 2。从 50mW 的 He-Ne 激光器 LA 发出的激光 ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) 经棱镜 PR_1 和 PR_2 两次全反射后，由准直器 LC (Tropel Model 280) 准直成平行光(光束直径 $\phi = 100\text{mm}$)。 SH 是快门，控制曝光时间。 P_1 是输入平面，放置输入图形 IN 和参考点光源(由透镜 L_1 聚焦形成， $f_1 = 100\text{mm}$)。 L_2 是变换透镜 (Tropel $f_2 = 861.4\text{mm}$ F8.7)。 P_2 是频率平面，放置复空间滤波器。若挡住参考点光源，此系统可实行相关操作。 L_3 是反变换透镜 ($f_3 = 450\text{mm}$ F10)， P_3 是输出平面。带有狭缝 $0.01\text{mm} \times 0.03\text{mm}$ 的光电倍增管 M 安装在微调支架上，由伺服马达驱动，对输出平面上的相关图形进行一维扫描，扫描结果送入 X-Y 记录仪 R 记录。

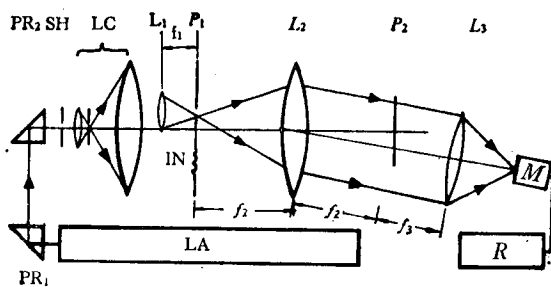


图 2

2. 实验过程

(1) 滤波器的制作 输入片(图 1)总长 14mm，高 4mm，每个字高 4mm，宽 2mm，

字间距为 4mm. 调整 L_1 的位置, 使参考点光源准确聚焦在输入平面上, 点光源距输入片上的字母 E (或一) 约 20mm. 从微调支架上取下光电倍增管, 装上读数显微镜, 观察输入片经系统后成在 P_3 平面上的象, 仔细调整输入片, 使输入片的中心线与微调支架的运动基线严格平行, 以保证光电倍增管的狭缝能够扫过诸相关峰.

由于输入图形不太复杂, 频谱区域的截止频率大致定在 7 线对/mm, 空间带宽积 1600 左右. 如何使滤波器参数最佳化已有论述^[6]. 重要的是选择合适的频段, 使该频段上的光束比 $K = 1$. 文献[6]指出, 应使低频部分的光束比 $K = 1$, 且不宜使自相关峰过锐. 我们与理论结果相比较, 经过反复实验, 最后选定在约 2 线对/mm 的频谱区域上的光束比 $K = 1$. 使用光学质量较好、衰减系数均匀的衰减板衰减物光束来调整光束比. 滤波器的多次曝光的曝光量是这样确定的: 仅让参考光通过, 使干板曝光. 测出干板的平均密度 $D = 0.6$ 所需的曝光时间, 取这个时间的 1/3 做为每个输入图形的曝光时间. 整个实验所用滤波器是由 Agfa 10E75 干板记录(图 3), 其洗相条件为: 温度 20℃ 时, D-19 显影 5 分钟, F-5 定影 15 分钟, 水洗半小时. 滤波器的定位由机械复位支架来保证, 定位精度在微米量级.

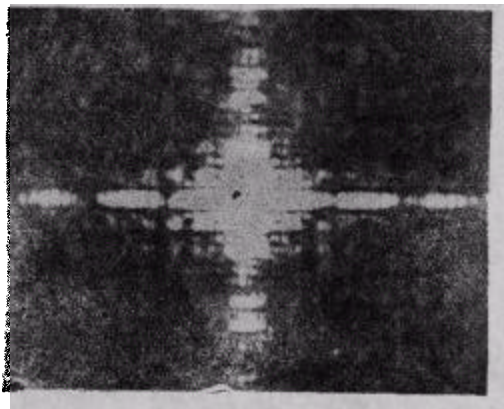


图 3

(2) 互相关曲线记录 在上述实验装置上, 把由 I, F, E 制作的复合滤波器复位. 在读数显微镜监测下, 调整光电倍增管的高低, 使参考点光源的象进入光电倍增管上的狭缝. 在输入面上挡住参考点光源, 让字母 E 输入, 然后让光电倍增管开始扫描, 选择合适的记录量程, 记录下 $(E, E), (E, F), (E, I)$ 的互相关曲线, 再让 $F, I, \square$ 逐个输入, 则得到所需的互相关阵和互相关矢量. 由于输入图形的间距准确, 故不难从曲线上读出各内积值, 其单位可任意选定. 换上输入片 $\square, I, =, -$ 和由 $I, =, -$ 制作的滤波器, 重复上述实验过程.

3. 实验结果

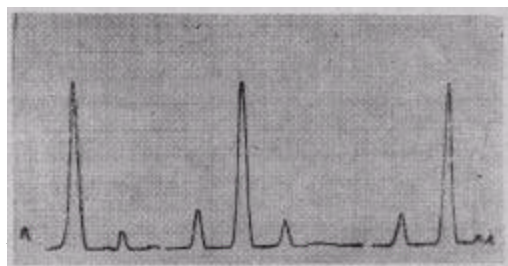
图 4 为互相关图形和互相关曲线. 从图 4 等相关曲线上得到的结果, 经开方、归范后列在表 2.

表 2 相关阵的实验值

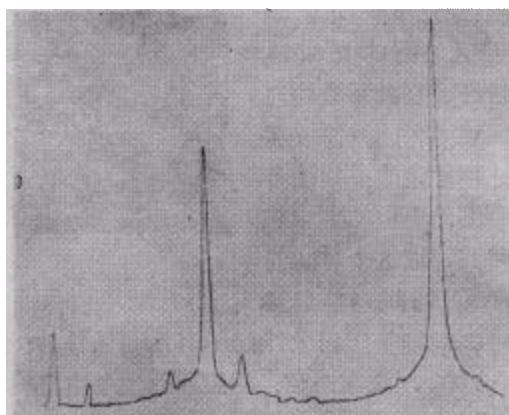
参 考 图 形					标 准 图 形 (基函数)				
		I	F	E		I	$=$	$-$	
输入图形	I	8	8	8	输入图形	I	8	0	0
	F	8	13.98	13.98		$=$	0	6.38	0
	E	8	13.98	17.00		$-$	0	0	3.27
	$\square$	8	11.45	14.7		$\square$	8	3.15	3.07



(a) 输出面上互相关图形
 $((0, I), (0, F), (0, E))$, 从左往右



(b) 互相关曲线
 $((I, I), (I, F), (I, E))$, 从左往右



(c) 互相关曲线
 $((E, I), (E, F), (E, E))$, 从左往右

图 4

按本文方法计算出 $\square$ 的投影值是 $(2.83, 1.41, 1.86)$, 直接算出 $\square$ 的投影值是 $(2.83, 1.25, 1.70)$. 尽管存在实验误差, 但这两组实验结果是一致的, 与理论结果 $(2.83, 1.63, 1.73)$ 相比, 也是基本上相符的, 因而从实验上证实了本文提出的方法是可行的.

如果要得到更好的实验结果, 必须提高激光器光强稳定性, 准直光束的均匀性, 尤其重要的是, 仔细选择频谱区域, 使该区域附近的光束比 $K = 1$, 以保证制作一个相关特性较好的复合滤波器

按照本文的方法对一组坦克照片(图 5)进行了处理. 从上往下数第 5 个作为输入图形 f , 其它依序定为 $f_1, f_2, \dots, f_7$. 整个输入片长约 14mm, 每个图形尺寸近似高 3mm, 宽 1.1mm, 图形间距约 0.8mm (图 5 旋转 90° 才是输入面上的位置).

由于所有坦克输入图形的频谱的带宽都很窄(不大于 5 线对/mm), 所以并没有如文献[6]那样来选择光束比 $K = 1$ 的频段, 而是直接选在频谱的低频部分. 按照上述实验步骤, 将 $f_1, f_2, \dots, f_7$ 作在一复合滤波器上. 从结果看, 频谱区域的选择基本上是合理的, 判断标准就是检查 (f_i, f_j) 是否接近 (f_j, f_i) .

图 6 和图 7 是互相关曲线.

从互相关曲线上得到的结果经开方, 平均后列在表 3.

表 3 坦克互相关阵

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
f_1	2.61	1.54	1.55	1.58	1.61	1.65	1.74
f_2	1.54	3.23	1.81	2.30	2.47	2.18	1.71
f_3	1.55	1.81	3.81	1.65	2.16	2.16	2.17
f_4	1.58	2.30	1.65	4.53	2.98	2.68	1.87
f_5	1.61	2.47	2.16	2.98	5.20	4.54	2.32
f_6	1.65	2.18	2.16	2.68	4.54	6.08	2.12
f_7	1.74	1.71	2.17	1.87	2.32	2.12	5.66
f	2.09	2.50	2.42	2.60	2.60	2.35	2.85



图 5 坦克输入片



图 6 互相关曲线

$((f_2, f_1), (f_2, f_2), (f_2, f_3), (f_2, f_4), (f_2, f_5),$
 $(f_2, f_6), (f_2, f_7), \text{从左往右})$



图 7 互相关曲线

$((f_1, f_1), (f_1, f_2), (f_1, f_3), (f_1, f_4), (f_1, f_5),$
 $(f_1, f_6), (f_1, f_7), \text{从左往右})$

经计算后得出 f 在 $f_1, f_2, \dots, f_7$ 的 Schmidt 正交化标准图形组上投影值是 (1.29, 0.83, 0.43, 0.32, 0.07, -0.06, 0.39)。

实验表明,可以在一般的相干光学系统上,利用本文建议的方法,得出输入图形在某子空间上的投影值,根据此数组而将图形分类,从而达到识别的目的。

四、结 语

本文提出了由互相关阵计算输入图形在 Schmidt 正交化后的标准图形组上投影的方法。用相干光系统很易得到互相关阵,因而为相干光系统实现多特征识别提供了一种新方法,它充分体现了光学方法的优点,也避免了用电子计算机进行图形正交化这个复杂而又不合适的过程。

如果在光学系统后接一微型处理机,对输出数据按文中方法处理,则可望成为一个实时混合识别系统。比起用于同样目的其它光电混合系统,它能使光学系统的平行处理能力和电子计算机的快速运算能力各自得到有效的发挥,成为一个更为合理的系统。

原则上,本方法也适用于求输入图形在其它正交归一基函数上的投影.

作者感谢霍裕平同志的有益的讨论.

附录一 Schmidt 正交化系数

$$(e_1, e_1) = \left(\frac{f_1}{k_1}, \frac{f_1}{k_1} \right) = \frac{1}{k_1^2} (f_1, f_1)$$

$$k_1^2 = (f_1, f_1),$$

$$(f_2, e_1) = \left(f_2, \frac{f_1}{k_1} \right) = \frac{1}{k_1} (f_2, f_1),$$

$$\begin{aligned} k_2^2 &= (f_2 - (f_2, e_1)e_1, f_2 - (f_2, e_1)e_1) = (f_2, f_2) - (f_2, (f_2, e_1)e_1) - ((f_2, e_1)e_1, f_2) \\ &\quad + ((f_2, e_1)e_1, (f_2, e_1)e_1) = (f_2, f_2) - (f_2, e_1)^*(f_2, e_1) - (f_2, e_1)(e_1, f_2) \\ &\quad + |(f_2, e_1)|^2 (e_1, e_1) = (f_2, f_2) - |(f_2, e_1)|^2 = (f_2, f_2) \\ &\quad - \frac{1}{k_1^2} |(f_2, f_1)|^2, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (f_n, e_i) &= \frac{1}{k_i} \left(f_n, f_i - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right) = \frac{1}{k_i} \left[(f_n, f_i) - \left(f_n, \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right) \right] \\ &= \frac{1}{k_i} \left[(f_n, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} (f_n, (f_i, e_j)e_j) \right] = \frac{1}{k_i} \left[(f_n, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)^*(f_n, e_j) \right] \\ &= \frac{1}{k_i} \left[(f_n, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)(f_n, e_j) \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_i^2 &= \left(f_i - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j, f_i - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right) \\ &= (f_i, f_i) - \left(f_i, \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right) - \left(\sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j, f_i \right) \\ &\quad + \left(\sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j, \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)e_j \right) = (f_i, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)^*(f_i, e_j) \\ &\quad - \sum_{j=1}^{i-1} (f_i, e_j)(e_j, f_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{u=1}^{i-1} (f_i, e_j)(f_i, e_u)^*(e_j, e_u) \\ &= (f_i, f_i) - 2 \sum_{j=1}^{i-1} |(f_i, e_j)|^2 + \sum_{j=1}^{i-1} |(f_i, e_j)|^2 \\ &= (f_i, f_i) - \sum_{j=1}^{i-1} |(f_i, e_j)|^2 \\ &\quad (i = 1, 2, \dots, n-1). \end{aligned}$$

附录二 I, F, E 的标准图形

$$\begin{aligned} k_1 e_1 &= f_1 = I, \\ k_2 e_2 &= \left\{ f_2 - (f_2, e_1)e_1 \right\} = \left\{ f_2 - \left(f_2, \frac{f_1}{k_1} \right) \frac{f_1}{k_1} \right\} \\ &= \left\{ f_2 - \frac{(f_2, f_1)}{k_1^2} f_1 \right\} = \left\{ f_2 - \frac{(f_1, f_1)}{k_1^2} f_1 \right\} \\ &= f_2 - f_1 = F. \end{aligned}$$

(这里 F 含 I , 即 f_2 含 f_1 , 故 $(f_2, f_1) = (f_1, f_1)$)

$$\begin{aligned} k_3 e_3 &= \{f_3 - (f_3, e_1)e_1 - (f_3, e_2)e_2\} \\ &= \left\{f_3 - \frac{(f_3, f_1)}{k_1^2} - \left(f_3, \frac{f_2 - f_1}{k_2}\right) \frac{f_2 - f_1}{k_2}\right\} \\ &= \left\{f_3 - f_1 - \frac{(f_3, f_2 - f_1)}{(f_2 - f_1, f_2 - f_1)} (f_2 - f_1)\right\} \\ &= \{f_3 - f_1 - (f_2 - f_1)\} = \underline{\quad}. \end{aligned}$$

(这里 E 含 I , 即 f_3 含 f_1 , 故 $(f_3, f_1) = (f_1, f_1)$; E 含 $\underline{\quad}$, 即 f_3 含 $(f_2 - f_1)$, 故 $(f_3, f_2 - f_1) = (f_2 - f_1, f_2 - f_1)$).

参 考 文 献

- [1] K. G. Leib *et al.*, *Applied Optics*, **17**(1978), 2892.
- [2] B. D. Guenther *et al.*, *IEEE Journal of Quantum Electronics* **QE-15**(1979), 1348.
- [3] H. J. Caulfield, W. T. Maloney, *Applied Optics*, **8**(1969), 2354.
- [4] 霍裕平, 物理学报, **29** (1980), 153.
- [5] C. F. Hester, D. Casasent, *Applied Optics*, **19**(1980), 1758.
- [6] D. Casasent, A. Furman, *Applied Optics*, **16**(1977), 1652; 1662.

A METHOD TO ACHIEVE OPTICAL MULTI-CHARACTERISTIC PATTERN RECOGNITION

LIU JI-LIN DAI JIAN-HUA ZHANG HONG-JUN

(Institute of Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The projections of an input image on the Schmidt orthogonalized basis functions are determined from the crosscorrelation matrix of the input and the reference image, so a novel method for multi-characteristic pattern recognition has been provided. The experimental demonstrations are in agreement with the theory.