

光学特征识别

宋菲君

(中国科学院大恒公司,北京 100086)

与数字图像识别技术相比,光学特征识别具有高速度、大容量信息处理的特点,因而成为实时识别技术发展的前沿。本文概述了光学特征识别的进展,讨论了 Vander Lugt 匹配滤波和 Joint 变换相关识别方法的物理模型,介绍了利用空间光调制器的光电混合实时相关识别系统。

一、人工识别、计算机识别和光学识别

所谓特征识别,就是从大量信息中检测某一特定信息的存在并指示它的位置,或认定两幅图象是否同一,又称图形识别。例如,从卫星或其他航空、航天器上拍摄的地面照片(俗称“卫片”或“航片”)中确认对方某种型号的导弹、坦克的存在,指出它们的方位;从望远镜视场中快速识别对方飞机的类型;从一页书刊中检测某一字符(例如大写字母“A”)的存在并指示它的位置等。特征识别还用于机器人的视觉识别,用于无人操作生产流水线传送带上的零件识别等。因此,它是军事和国民经济中具有重要意义的课题。

近年来,公安部门、检察机关对这一技术表现出越来越浓厚的兴趣,因为它可以用于识别指纹。在侦破案件过程中,常常会发现罪犯不慎留下的指纹,称为现场指纹。把现场指纹和公安机关存档的嫌疑人指纹相比较,可以发现罪犯的身份。大量的鉴定工作指出:迄今还没有发现两个不同的人具有完全相同的指纹。因此,指纹可以看成是每一个人的特殊编码。长期以来,指纹识别是用人工方法进行的,即在显微镜下仔细比对现场指纹 *a* 和档案指纹 *b* 的纹路走向、形状特征,作出 $a = b$ 或 $a \approx b$ 的结论。图 1 是一对现场指纹和档案指纹。显然,这一识别方法的准确性很大程度上取决于识别工作人员的“解码”水平和经验,具有主观性。当



图 1 现场指纹(a)和档案指纹(b)

现场指纹残缺不全或模糊时,识别的困难更大。如罪犯的线索不多时,还得从多个嫌疑人的档案指纹中进行识别,工作量很大,甚至会延误破案时间。因此,公安、检察部门急需一种快速、准确的客观识别方法。

数字图象处理是一种比较成熟的识别技术。它将两幅待比较的图形 *a* 和 *b* 分别拍摄下来,进行抽样、*A/D* 转换后变成数字化的图象,送入计算机提取它们的特征、模式进行对比,运用各种评价方案进行判别。这一识别方法已完全实用化。

然而,一般二维图象所包含的信息量相当之大。例如,用一个 512×512 的点阵来对一幅黑白图象抽样,每点的灰阶为 8bit,即 256 个灰阶,则一幅图象所占的存贮量为 2Mbit。同时在计算机内对两幅图象进行对比识别,所占内存为 4Mbit,加上监控、识别软件,计算机的内存至少要 5Mbit,已超出一般微机的容量。此外,计算机的处理是串行的,对信息量如此巨大的图

象进行识别,颇费机时。因此,数字图象识别需要速度更快、字长更长、内存更大的小型或超级微型机来做,设备技术复杂,体积很大,价格昂贵,处理速度往往还满足不了实时识别的要求。

在实际运用中,空间往往很宝贵。例如在机载识别器的场合下,希望识别器的体积尽可能小。在实时识别中,时间往往也很宝贵。例如对于对方袭来的空中目标的识别,需要快速、准确,以便作出及时的反应。即使在上面谈到的指纹识别工作中,也希望尽快得出结论,以利破案。

于是,科学家和工程师们纷纷转向新兴的前沿科学——光学信息处理。我们知道,透镜具有对二维图象进行傅里叶变换的功能。一个稍微复杂一点的光学信息处理系统,具有对输入的待识别图象和参考图象进行相关识别的功能:从理论上讲,识别的处理过程在相干光(激光)照射的一瞬间就完成了,速度之快是数字图象识别系统无法比拟的。此外,光学处理系统的价格相对来说是低廉的,系统体积较小,结构紧凑,工作稳定可靠。这些长处恰恰弥补了数字图象处理系统的不足,因而吸引了许多从事特征识别的专家的注意力。

二、用物光重建参考光的全息再现术和 Vander Lugt 的匹配滤波

全息照相是大家熟知的技术。它是一个两步法的记录—再现过程,如图 2 所示。第一步是全息记录,来自物体的复杂的物光和另一束简单的参考光(通常是平面波或球面波)交汇在全息胶片上,形成复杂的干涉条纹图,由胶片记录下来。第二步是再现,通常是单独用参考光波照射全息图。由于全息图衍射的结果,重建了原来的物体光波,使我们重新看到了全息图后面的“虚”物体,它是原来物体的逼真的立体象。这是大家都熟悉的全息再现。

大概很少有人想到用物光去重建参考光。从理论上讲,物光和参考光的地位相同,既可用参考光来重建物光,自然也可以用物光来重建参考光。物光的波前是极其复杂的,仅当再现

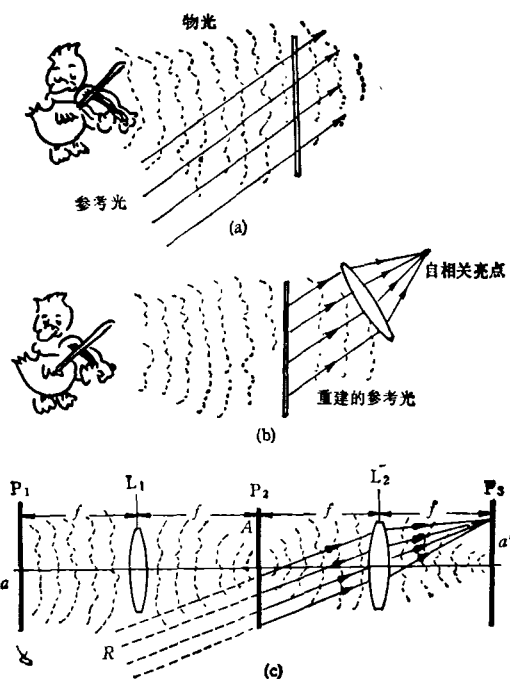


图 2 用物光重建参考光的全息再现术和 Vander Lugt 的匹配滤波

(a)全息记录;(b)全息再现——用物光重建参考光;
(c)用匹配滤波方法实现特征识别(f 为透镜焦距)

过程的物体光波与记录时的物体光波完全一致时,才有可能重建原来的参考光,如图 2(b)所示。这样一来,重建的参考光波是否出现,就是再现时的物体与原来的物体是否相同的判据。进一步,如果我们在参考光后面放置一个透镜,那么平面参考光波将会聚在焦点上形成亮斑,又称“自相关”亮斑,它明确地指示了再现物体与记录物体的同一性或相关性,因而这也是特征识别的一个方法。

1964年,Vander Lugt 正是运用上面的方法制造成功所谓匹配滤波器,并将它用于特征识别,成为光学特征识别发展史上的一个重要的里程碑^[4]。

Vander Lugt 的实验如图 2(c)所示。这是一个典型的光学信息处理系统, P_1 为输入平面, P_2 为频谱平面即滤波平面, P_3 为输出平面; L_1 , L_2 为傅里叶变换透镜, P_1 用平行的激光束照亮。如果在 P_1 上放置输入图象 a ,由于透镜 L_2 的傅里叶变换性质,在 P_2 上将出现 a 的空间频谱 A 。再由 L_2 的变换,还原成 a 的象 a' 。

Vander Lugt 在 P_2 平面上同时引入倾斜的平面参考光波 R , 它和 a 的傅里叶谱 A 发生干涉, 形成复杂的干涉图。如在 P_2 平面上放置感光胶片, 就可以记录下干涉图的强度分布。由于我们记录的是参考光波 R 与 a 的傅里叶空间谱 A 的干涉图样, 所以称它为傅里叶变换全息图。

如果设平面参考光波 R 与光轴的夹角为 θ , 则可将 R 表为

$$R = R_0 \exp \left[j2\pi \left(\frac{\sin \theta}{\lambda} \right) y \right] \quad (1)$$

的形式, 它和 A 相干迭加后形成的干涉图的光强分布为

$$\begin{aligned} |R + A|^2 = & |R|^2 + |A|^2 \\ & + R_0 A^* \exp \left[j2\pi \left(\frac{\sin \theta}{\lambda} \right) y \right] \\ & + R_0 A \exp \left[-j2\pi \left(\frac{\sin \theta}{\lambda} \right) y \right], \quad (2) \end{aligned}$$

式中第三项含有输入图象 a 的谱 A 的复共轭 A^* , 因而称作 a 的匹配滤波器。

如果在 P_1 平面上放置参考图象 b , 同样由于 L_1 的傅里叶变换作用, 在 P_2 平面上将出现 b 的空间频谱 B 。倘若 $b = a$, 则 $B = A$ 。用它照射记录在感光胶片上的傅里叶变换全息图, 结果将重建倾斜的平面参考光波 R [参见图 2(c)]。这个光波经 L_2 的聚焦作用, 在输出平面 P_3 上形成亮点, 即自相关亮点, 它是 $b = a$ 的判据。

全息波前重建是一个十分严格的过程, 如果 $b \neq a$, 即 $B \neq A$, 就不可能重建参考光 R , 在输出平面上也就不会出现相关亮点。

从光学信息处理的角度来看, 当 $b = a$ 时, 经过 L_1 的傅里叶变换作用得到的频谱必然是 A , 它经过匹配滤波器 A^* 的滤波(即相乘)操作后得到 $A \cdot A^* = |A|^2$ 。 $|A|^2$ 再经过第二个透镜 L_2 的逆傅里叶变换后得到相关输出, 相关峰的位置恰恰就在参考光波 R 的焦点上。匹配滤波器 A^* 一般讲是一个复杂的复数滤波器, Vander Lugt 的功绩就在于将这个复振幅型的函数巧妙地记录在强度型的记录介质上。他的具体做法上面已讲过, 就在于引入了一个倾斜

的平面参考光波。

Vander Lugt 尽管开创了光学特征识别的新纪元, 但他所创造的匹配滤波方法还存在两个严重的缺点, 妨碍了这一技术的实用化。

第一个缺点, 是识别过程对于图形间的方位和比例的要求过于严苛。也就是说, 在重建参考光时, 要求第二次输入的图形在方位和比例上都与第一次输入的图形一致。例如第一次输入英文字母“F”, 若第二次输入的是倒置的“F”, 就得不到相关峰。即使第二次输入的仍然是“F”, 但用的是小一号的字体, 也没有相关输出。原因其实很简单: 用于识别图形的光学系统遵循着十分严格的全息记录一再现的原理进行工作, 它不具备人工识别所特有的自我学习、自我适应等等高级的识别能力。在光学系统看来, 即使是两幅完全相同的图形, 当它们的放置方位不同, 或图形的比例不同, 它都认为是两个毫不相关的输入信号, 系统没有可能自动把旋转了角度或改变了比例的图形恢复原状。实验指出, 当图形的相对方位的差别为 3.5° 时, 或图形间的比例相差 2% 时, 相关输出的信噪比都将从 30dB 下降到 3dB。

第二个缺点, 在于匹配滤波器必须精确复位。早先的滤波器都是用全息干版制作的, 在记录下第一个输入图形的谱和参考光的相干图形后, 还要进行显影、定影处理。处置完毕的干版必须严格复位, 否则即使用原来的物体作第二次输入, 也看不到相关峰。

自从匹配滤波技术诞生以来, 为了克服这些缺点而进行的努力从来没有间断过^[2-4]。

三、相同图形的杨氏干涉条纹和 Joint 变换相关器

全息再现是识别图形的绝妙的方案, 但并非唯一的方案。物理光学中的另一些效应也可用以进行特征识别, 其中最重要的就是杨氏实验。参见图 3(a), 当一对平行的狭缝 S_1 和 S_2 被同一点光源或一束平行光照明时, 在它们后面远处的屏 H 上便出现了一组平行的杨氏条纹。如果把 S_1 和 S_2 换成一对完全相同的图形, 并

用平行光照明,那么图形中相应的“点对”同样起到了 S_1 和 S_2 的作用,所有这些点对所产生的杨氏条纹是互相重合的。通常我们用一个透镜 L 收集来自这一对物体的光波,在 L 的后焦面上放置屏 H ,就可以看见杨氏条纹,如图 3(b) 所示,

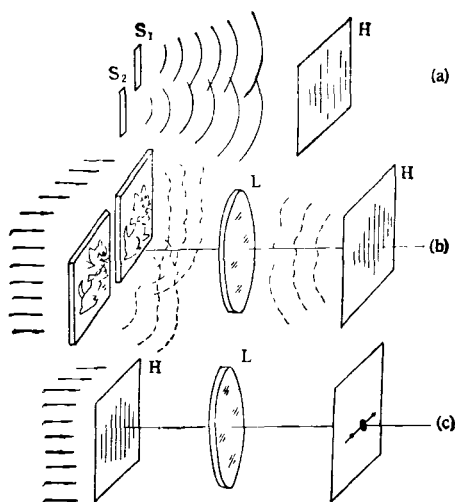


图3 杨氏干涉实验和 Joint 变换相关器

显然,仅当两个图形本身完全相同,而且放置方位也相同时,所有的“点对”产生的杨氏条纹才是重合的。当两个图形不同时,在 H 上就得不到杨氏条纹。由此可见,杨氏条纹也是这两个图形相同的判据。

就在 Vander Lugt 的匹配滤波器发明后不久,Weaver 和 Goodman 就提出了所谓 Joint 变换相关识别的方案^[6],他们依据的正是杨氏实验的原理。这是一个两步的识别过程,第一步,用相干光照明一对待识别的图形 a 和 b ,并在透镜 L 后焦面处放置记录干版,记录 a 和 b 的干涉图样。第二步,将此干版放在原来的输入平面处,代替 a 和 b ,再用相干光照射。倘若 $a = b$,则干涉图样为杨氏条纹。根据大家所熟知的事实,在透镜 L 的后焦面 H 上将出现一个中心亮斑,即零级谱;在它两边将对称地出现一对一级亮斑,即 ± 1 级谱,称为 a 和 b 的“互相关”峰,参见图 3(c)。显然,仅当 $a = b$ 时才有互相关峰出现,它是 $a = b$ 的另一个判

据。由于它包含了全部杨氏条纹的信息,所以比杨氏条纹更加明显,更加突出。通常都用这一对互相关峰的出现与否来作为 a 是否为 b 的判据,当 $a \neq b$ 时,干涉条纹不会是杨氏条纹,在第二步就不可能出现相关峰。

如前面所述,在透镜后焦面上出现的图形是输入图形的傅里叶变换。由于 a 和 b 是同时输入的,杨氏条纹则是 a 和 b 联合形成的傅里叶谱,故称为 Joint 谱,这一相关识别方法即称为 Joint 相关识别。

在 Joint 相关识别过程中,记录干版把 a 和 b 干涉图样的振幅分布转换成强度分布。从形成互相关输出的原理可知,干版并没有严格复位的要求,只要干版上记录的是杨氏条纹,在第二步用相干光照射时必然会出现互相关峰,这是它比匹配滤波方便的地方。尽管 Joint 相关同样对图形的方位和比例敏感,近年来新的光学特征识别方案几乎无一例外地采用了这一技术。

四、空间光调制器在实时光电混合相关识别中的应用

传统的光学特征识别系统用外腔式 He-Ne 激光器作光源,体积较大,功率往往并不高;相关峰的观察则主要靠人工进行;特别是输入图形和滤波器都得借助于全息干版作为信息的载体,而干版的制作免不了要进行显、定影手续,无法实现实时处理。因而传统的光学特征识别只能在实验室中进行。

近年来,相关识别器的三个主要的薄弱环节在技术上和工艺上发生了突破:小型化、高功率的半导体激光器、各种空间光调制器和 CCD 面阵器件的诞生,终于使传统的“纯光学”识别技术升华,形成了新一代的光电混合实时识别系统。

磁光空间光调制器(magnetic optical spatial light modulator,简称 MOSLM)是一种比较成熟的电寻址的空间光调制器^[7],它的原理是磁光效应,使得被寻址的某一象素透光,从而达到将计算机内存中的一幅图形显示在调制器

上的目的。

液晶光阀 (liquid crystal light valve, 简称 LCLV) 则是典型的光寻址的空间光调制器^[8] (见图 4), 它利用液晶加电场后产生的“混合场效应”, 使输出端的双折射性能发生变化。“读出光”由偏振分光棱镜 BS 导入 LCLV 的输出端面, 它的偏振态为垂直于纸面的线偏振光。当 LCLV 的输入端没有光照, 或光信号 (“写入光”) 达不到阈值时, LCLV 的输出端相当于一个普通的反射镜, 读出光的偏振态不变, 因而通不过 BS。从 BS 的透射面看进去, 这些部分是暗场。当写入光超过阈值后, 由于双折射效应, 反射的读出光变成水平方向的长椭圆偏振光, 近似于水平方向的线偏振光, 因而大部分透过 BS。从输出端看进去, 这些部分呈亮场。这样一来, LCLV 的输出端的光强分布与输入端的振幅分布相对应。换句话说, 它把输入光的振幅谱转换为输出光的强度谱或功率谱。它的作用, 与感光胶片相似, 但省去了显、定影的手续, 可以看成是“实时”显、定影的干版。

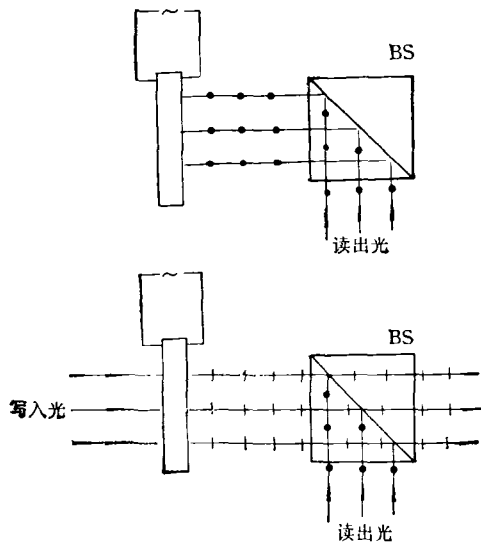


图 4 液晶光阀(LCLV)工作原理图

- 代表垂直于纸面的偏振光;
- |代表平行于纸面的偏振光

液晶光阀的另一功能, 是相干态的转换。我们知道, 相干光比较容易进行处理, 运用相干光做各种运算, 例如傅里叶变换、相关、卷积和微

物理

分等均较准确。然而在实际运用中, 客观图形大部分是用非相干光照明的, 因此有必要进行非相干光-相干光的转换。LCLV 的写入光和读出光可以是完全没有关系的不同波长、不同相干态的光, 用 LCLV 就可以实现这一转换。

随着各种商用空间光调制器的诞生, 各种不同设计的光电混合实时相关识别装置纷纷出现。图 5 是一个典型的例子^[9]。

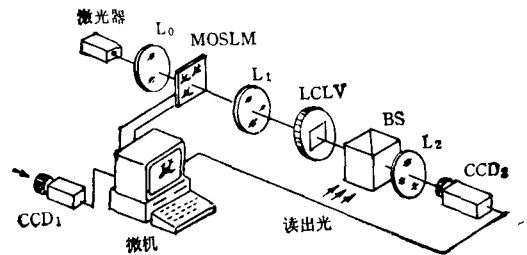


图 5 光电混合实时相关识别系统

BS 为分光棱镜

各种不同比例、不同方位的参考图形, 预先由 CCD 器件拍摄并存入微机的内存中。待识别的图形, 也由 CCD 拍摄存入内存, 并与各个参考图形同时显示在磁光空间光调制器 MOSLM 上。这些图形经第一个傅里叶变换透镜 L_1 变换后, 在液晶光阀 LCLV 上形成 Joint 复振幅谱, 用激光从 LCLV 的输出端读出的就是 Joint 变换功率谱。

Joint 变换功率谱再通过第二个傅里叶变换透镜 L_2 形成相关输出, 由第二个 CCD 器件探测并送到中心微机进行处理。如果待测图形与某一特定方位、比例的参考图形一致, 在相应的位置就会出现相关峰。

由于应用了磁光空间光调制器、液晶光阀和 CCD 器件, 这一相关识别系统具有一些令人瞩目的特征。

首先, 传统的光学处理系统通过 MOSLM 和 CCD 与微机数字图象处理系统连接起来, 形成了光电混合识别系统。在这一系统中, 光学图象处理和微机图象处理有了合理的分工: 前者承担前后两次二维傅里叶变换和相关运

算;后者则负责图象的存贮、输入、相关峰的检测和处理等。光学系统的大容量并行处理的优势和微机系统的可编程、灵活处理的优势都得到了发挥。

其次,由于用 LCLV 代替全息干版作为 Joint 振幅谱-功率谱的转换,实现了实时相关。

在开发各种光电混合识别系统的同时,对于相关识别效率的提高,也作了各种努力和尝试,从而产生了纯位相滤波器、二进制滤波器等^[5,10,11,12,13],使这些系统的识别能力、抗干扰能力大为提高。

光电混合的实时相关识别技术近年来获得了很大的进展。利用磁光空间光调制器作为输入和滤波平面调制器件的动态磁光相关器,曾在实际的目标识别系统的模拟实验中试用并获得成功。尽管直到今天还没有形成真正具有商业或军事价值的产品,但一个同时具备光学处理和数字图象处理的优点,而且结构紧凑、价格

较低、功能满足实用要求的高速、实时相关识别器,仍然是科学家和工程师们探索和追求的目标。

- [1] A. Vander Lugt, *IEEE Trans Inform. Theory*, **IT-10** (1964), 139.
- [2] D. Casent and D. Psaltis, *Opt. Commun.*, **17**(1975), 59.
- [3] 平子良、徐大雄, *光学学报*, **4**(1984), 425.
- [4] Y. N. Hsu and H. H. Arsenault, *Appl. Opt.*, **23**(1984), 841.
- [5] L. Leclere et al., *Appl. Opt.*, **28**(1989), 1251.
- [6] C. S. Weaver and J. W. Goodman, *Appl. Opt.*, **5** (1966), 1248.
- [7] S. A. Mills and W. E. Ross, *SPIE*, **753**(1987), 54.
- [8] W. P. Bleha et al., *Opt. Eng.*, **17**(1978), 371.
- [9] F. T. S. Yu and J. E. Ludman, *Opt. Lett.*, **11**(1986), 395.
- [10] J. L. Horner and P. D. Gianino, *Appl. Opt.*, **23**(1984), 812.
- [11] M. W. Farm and J. W. Goodman, *Appl. Opt.*, **27** (1988), 4431.
- [12] B. Javidi et al., *Appl. Opt.*, **28**(1989), 411.
- [13] B. Javidi and J. L. Horner, *Appl. Opt.*, **28**(1989), 1027.

第七届全国磁学及磁性材料会议简讯

由中国电子学会、中国物理学会、中国金属学会、中国稀土学会、中国计量测试学会、中国仪器仪表学会及中国仪表材料学会联合举办的第七届全国磁学及磁性材料会议于1990年11月11—14日在湖南省娄底市召开。

会议共征集论文678篇,经审稿委员会审定,录取569篇编入论文集。参加本届会议的代表有472人,其中有高级职称的240多人,约占人数一半,研究生、实习生约90余人。本次会议的论文,无论在质量上和数量上都明显高于往届,这反映了我国磁学和磁性材料领域这几年来在科研和生产上的迅速发展。

会议报告分九个学组同时进行。各学组还利用晚间召开了受人欢迎的专题报告会和研讨会,共作了18篇专题报告。其中,北京大学杨应昌教授作了题为《新型系列R-Fe-N金属间化合物的结构与磁性》的专题报告,首次披露了我国在永磁合金方面世界领先的科研成果,十分振奋人心,受到几百名与会者的热烈欢迎。

各会场的交流气氛既严肃认真,又热烈活跃。通过交流讨论,与会者对当前国内外磁学研究水平、动向、存在问题及发展方向等都有了进一步的了解,也解决了一些在理论、制造、设计、测试和应用方面的问题,同时也为今后更深入地交流和协作创造了条件。经过认真讨论,各学组共评选出优秀获奖论文七篇:(1)轧片取向SrCa永磁铁氧体研究(周辅成等);(2)NdFeCoBNb系快淬粘结磁体的磁性(孙立等);(3)氢对非晶态软磁合金磁性影响的研究(何开元等);(4)吸波体的优化设计(廖绍彬等);(5)(Zn_{1-x}Co_x)₂-W六角晶系铁氧体单晶粉体微波吸收特性的研究(过璧君等);(6)磁流体密封馈器(何远辉等);(7)一种新型磁阻薄膜位移传感器(黄平等)。此外,会议期间还组织了科研成果及新产品展览会,有十几个单位的百余件成果和产品参加了展出。

(李友浩)