

用 Joint 变换实现特征识别

沈晓庆 曹俊卿 刘文山 庄松林
(上海机械学院) (上海光学仪器研究所)

提 要

本文利用 Joint 变换的相关性质,首次分析了多特征信号的并行识别,实验证实了分析的正确。

一、引 言

特征识别是光学信息处理中备受关注的的一个重要领域。脉冲响应为 S^* 的线性空间不变滤波器对于输入信号 S 将给出该信号的一个自相关输出^[1]。文献[2]首次把这种匹配滤波方法用于特征识别并且取得成功。文献[3]给出用匹配滤波器实现相关在特征识别中的各种应用,也指出了一些存在问题。为了克服制作匹配滤波器的困难和使用上的限制,文献[4]最早提出两个函数同时输入的 Joint 变换系统具有实现相关的功能。文献[5]讨论了同一输入面若干函数的 Joint 变换。本文进一步分析研究函数阵列的 Joint 变换及其性质,并用之以实现特征识别,实验的结果证明了分析的正确。

二、原 理

1. Joint 变换^[4]

图1为两个频谱分析装置的串联组合,函数 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ 对称地分布在频谱分析装置的输入平面 P_1 上。输入函数可写为

$$g(x, y) = f(x-b, y) + h(x+b, y). \quad (1)$$

放置在频谱分析装置谱面 P_2 上的,记录输入函数功率谱的底片,可等效于一张全息图,在第二个频谱分析装置的输出平面 P_3 上,得到被单位振幅的相干平面波垂直照明的分布为:

$$\begin{aligned} g'(x', y') = & f(x', y') \star f^*(x', y') \otimes \delta(x', y') + h(x', y') \star h^*(x', y') \otimes \delta(x', y') \\ & + f^*(x', y') \star h(x', y') \otimes \delta(x'+2b, y') \\ & + f(x', y') \star h^*(x', y') \otimes \delta(x'-2b, y'), \end{aligned} \quad (2)$$

公式(2)表明,两个函数同时输入的 Joint 变换,可以得到定位在输出平面中心两个重叠的自相关,同时还得到定位在输出平面 $x' = \pm 2b, y' = 0$ 处的 $f(x, y)$ 与 $h(x, y)$ 一对共轭互相关。

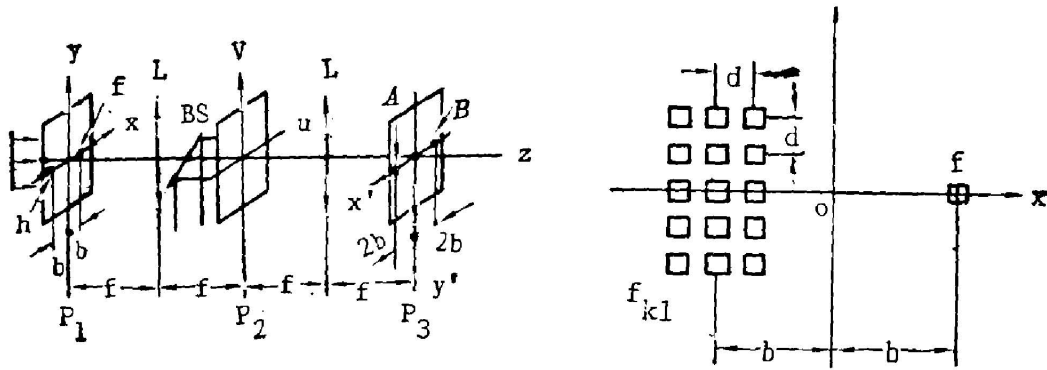


Fig. 1 Schematic representation of an optical joint transform correlator (A— $f \star h^*$, B— $f^* \star h$)

Fig. 2 The input of character and matrix function f : character function f_{kl} : element of matrix function

2. 函数阵列的相关输出

如图 2 所示, 设具有一定开孔大小的特征函数 $f(x, y)$ 分布在输入平面 $x=b, y=0$ 处, 而 $m \times n$ 个同样开孔大小的基元函数 $f_{kl}(x, y)$ 对称地分布在输入平面的 $x=-b, y=0$ 处。每个基元函数在 x 和 y 方向以常数 d 等间距分布。这样, 输入平面上总的函数分布是特征函数 $f(x, y)$ 与由基元函数 $f_{kl}(x, y)$ 所组成的函数阵列之和, 它们可写成

$$c(x, y) = f(x-b, y) + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} f_{kl}[x+(b+kd), y+ld] \quad (3)$$

对公式(3)作傅里叶变换, 得频谱面 P_2 上的振幅分布为

$$C(u, v) = F(u, v) \exp(-j2\pi ub) + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} F_{kl}(u, v) \exp\{j2\pi[u(b+kd) + vld]\} \quad (4)$$

不计函数开孔大小的衍射调制, 则谱面分布是一个复杂的多光束干涉效应。这时线性记录的全息图振幅透过函数为

$$\begin{aligned} t = |C(u, v)|^2 = & |F(u, v)|^2 + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} |F_{kl}(u, v)|^2 \\ & + \sum_{p=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{q=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} F_{kl}(u, v) F_{pq}^*(u, v) \exp\{j2\pi[(k-p)ud \\ & + (l-q)vd]\} + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \langle F(u, v) F_{kl}^*(u, v) \exp\{-j2\pi[u(2b+kd) + vld]\} \\ & + F^*(u, v) F_{kl}(u, v) \exp\{j2\pi[u(2b+kd) + vld]\} \rangle \end{aligned} \quad (5)$$

用一个单位振幅的相干平面波垂直照明该全息图, 在第二个频谱分析装置的输出平面 P_3 上, 得到的输出函数即是 t 的傅里叶变换

$$\begin{aligned}
O'(x', y') = & [f(x', y') \star f^*(x', y') + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} f_{kl}(x', y') \star f_{kl}^*(x', y')] \otimes \delta(x', y') \\
& + \sum_{p=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{q=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} f_{kl}(x', y') \star f_{pq}^*(x', y') \otimes \delta[x' + (k-p)d, y' \\
& + (l-q)d] + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} f(x', x') \star f_{kl}^*(x', y') \otimes \delta[x' - (2b+kd), y' - ld] \\
& + \sum_{k=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{l=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} f^*(x', y') \star f_{kl}(x', y') \otimes \delta[x' + (2b+kd), y' + ld]. \quad (6)
\end{aligned}$$

公式(6)表明,当函数阵列的基元函数 $f_{kl}(x, y)$ 以及特征函数 $f(x, y)$ 同时输入时,输出平面上给出:

(i) 由公式(6)第一项给出的,定位在输出平面中心的特征函数以及所有基元函数的各自自相关。

(ii) 由公式(6)第二项给出的,定位在输出平面中心的互相关阵列。

(iii) 由公式(6)第三项和第四项给出的,分别定位在 $x' = 2b, y' = 0$ 和 $x' = -2b, y' = 0$ 的两个互相共轭的互相关阵列。

类比两个函数同时输入的 Joint 变换结果的描述,对于函数阵列与特征函数同时输入的相关输出,可以得到定位在输出平面中心含有重叠相关元素的相关阵列,同时还得到定位在输出平面 $x' = \pm 2b, y' = 0$ 处的一对共轭互相关阵列。我们引用全息术语分别称之为零级, ± 1 级相关阵列。

3. 用函数阵列的相关输出作特征识别

公式(2)所表示的 Joint 变换的相关性质,提供了用该变换作特征识别的依据,比起匹配滤波方法来,可省去每个要识别特征需制成匹配滤波器及复位精度要求所带来的麻烦,是个很有潜力的特征识别手段。

由公式(6)可知,当输入的函数阵列中有某一基元函数 $f_{kl}(x, y)$ 与特征函数 $f(x, y)$ 相同时,在输出的一对共轭互相关阵列中必然对应两个自相关,如同全息中的正负一级衍射一样,这两个自相关也是共轭的,定位在 $x' = \pm(2b+kd), y' = \mp ld$ 处,在输出平面上距中心的位置,恰好是输入平面上被识别的基元函数距特征函数的位置。这两个级次中的任何一级均可用作特征识别。 R 个与特征函数相同的基元函数在输出平面上的 ± 1 级相关阵列中给出 $2R$ 个自相关。同时,它们还在零级相关阵列中的相应位置给出总数为 $A_R^2 = R(R-1)$ 的自相关。 W 个与特征函数不同,但彼此相同的基元函数,只在零级相关阵列中给出总数为 A_W^2 个自相关,并不会对被识别基元

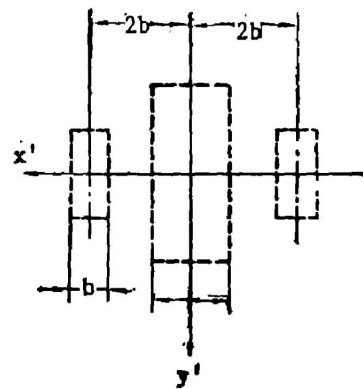


Fig. 3 The distribution of the correlation matrixes in the output plane

函数的相关造成干扰。

由公式(6)还可以知道,在正负一级相关阵列中,元素数目和元素之间的距离都保持与输入函数阵列的相同,只是输入函数阵列中心相对特征函数的距离,变成了输出平面上正负一级相关阵列中心相对于输出平面中心的距离。零级相关阵列由于重叠的缘故,其元素数目并不就如公式(6)的前两项所给出的总数,而是 $(2m-1) \times (2n-1)$ 。这里说的重叠,既包括了中心处诸多的函数自身自相关的重叠,又包括了非中心处的自相关重叠。举例来说,当输入平面函数阵列的基元函数 $f_{kl}(x, y) = f_{pq}(x, y)$ (其中 $kl \neq pq$) 时,在输出平面的 $x' = \pm(k-p)d, y' = \pm(l-q)d$ 处给出相应的自相关亮点。由于这种自相关的位置只取决于输入基元函数的相对位置,因此输入函数阵列中具有相同相互位置的任意一对相同基元函数产生的自相关重叠。图3给出相关阵列的大小和位置在整个输出平面上的分布。为了使输出平面上正负一级阵列与零级阵列不至于重叠,输入平面上的函数阵列在 x 方向上应当满足的分离条件是 $2b \geq \frac{1}{2}(3m-1)d$, 即

$$b \geq \frac{1}{4}(3m-1)d。 \quad (7)$$

三、实验结果与讨论

图1装置 P_1 面上,函数阵列和特征函数同时输入。透镜的焦距 $f' = 1200$ mm。图4和图5分别给出两组不同输入的实验照片。图4(a)的特征函数为中文“海”字,函数阵列是一行含三个“海”字的20字汉字串;图5(a)的特征函数为中文“酒”字,函数阵列是一个含五个“酒”字的十五行三列的汉字阵列。在频谱面上得到如图4(b)和图5(b)所示的相关阵列。由图可见,在对应“海”和“酒”字的 ± 1 级相关阵列的位置上,给出了清晰的、有很好信噪比的自相关亮点。在零级相关阵列中,以图4为例,输入字阵中第三个和第九个“海”字,相距6个字距,对应于中心两旁第6个位置上的自相关亮点;又如两组“酒店”字串,重叠地对应于

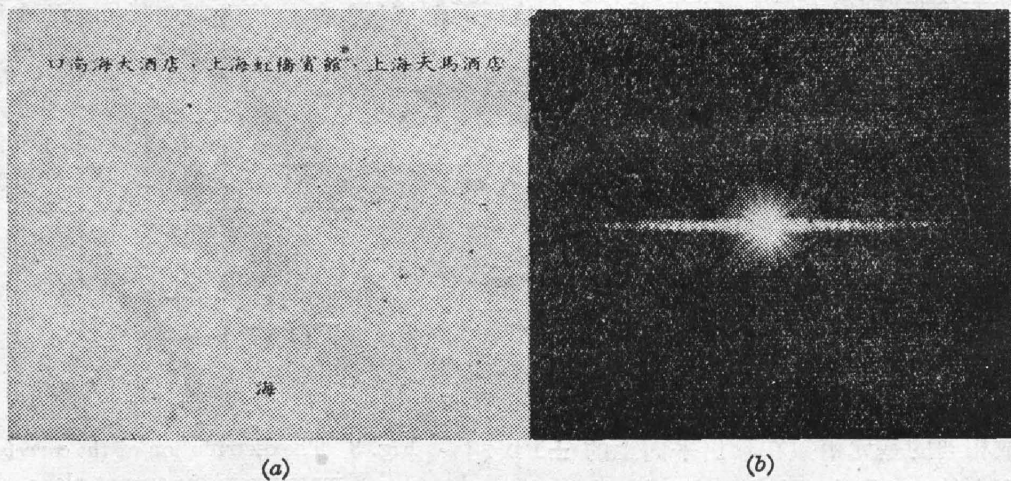


Fig. 4

- (a) The input function;
 (b) the correlation output after the transformation

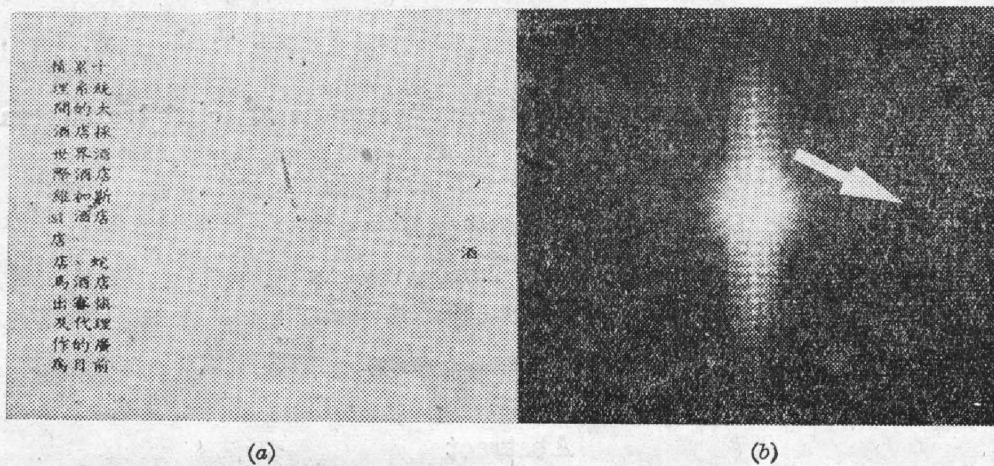


Fig. 5

- (a) The input function;
 (b) the correlation output after the transformation

中心两旁第 14 个位置上的自相关亮点等等。它们都叠在复杂的相关背景上,不适于作特征识别。

实验还证实了相关阵列的基元素数目以及分离条件的分析。

实验表明用这种方法完全可以实现特征识别。较之匹配滤波方法,除前述不用制作匹配滤波器及无复位精度要求等优点,从而给实际应用带来方便外,这种方法还可以在输入平面内调整特征函数与函数阵列的空间尺寸和方向,具有很大的灵活性,因此有着广泛的应用前景。

作者感谢与顾去吾先生所进行的有益讨论。

参 考 文 献

- [1] Vander Lugt; *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1964, **IT-10**, 139.
 [2] J. T. Tippett *et al.*; *Optical and Electro-Optical Information Processing*, (1965, The M. I. T. Press, Cambridge, Mass).
 [3] Silverio P. Almeida and Guy Indebetouw; *Application of Optical Fourier Transforms*, (Ed-by Henry Stark, Academic Press, New York, 1982), 41.
 [4] C. S. Weaver and J. W. Goodman; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, No. 7 (Jul), 1243.
 [5] X. Q. Shen and S. Boseck; *Optik*, 1985, **70**, No. 1 (Apr), 14.

Realization of character recognition by means of joint transform

SHEN XIAOQING CAO JUNQING
(*Shanghai Institute of Mechanical Engineering*)

LIU WENSHAN ZHUANG SONGLIN
(*Shanghai Institute of Optical Instrument*)

(Received 26 February 1987)

Abstract

The correlation property of the joint transform is utilized and the parallel recognition of the multiplying character signals is analysed and realized. The experiments show that the process gives a high signal to noise ratio and a good sensitivity. The method is much simple and practical than the conversional matched filter method for the character recognition.