

用双透镜 Joint 变换实现多特征识别

刘文山 庄松林

(上海光学仪器研究所)

曹俊卿 沈晓庆 陆霞芳

(上海机械工程研究所)

提 要

本文分析了多特征函数与函数阵列 Joint 变换的相关特性, 提出用双透镜 Joint 变换实现多特征识别, 并应用于变尺度、变方位特征识别。实验结果表明: 分析是正确的, 方法是可行的。

关键词: 光学相关; 特征识别; Joint 变换。

一、引 言

特征识别是以光学相关原理为基础的。实现光学相关的有效方法是 Vander Lugt 匹配滤波法^[1], 但在实际应用中受限制。将两函数同时作傅氏变换^[2], 可获得两函数的卷积, 也可得到两函数的相关。利用这种 Joint 变换制作的全息图没有复位要求。用单透镜作 Joint 变换具有光路简单、易于调整、对记录介质的分辨率要求不高的优点, 但要求变换透镜具有较大的相对孔径, 这一不足可用双透镜作 Joint 变换加以克服^[3]。文献[4]分析了函数阵列的 Joint 变换及其相关性, 采用单透镜作 Joint 变换, 进行文字特征识别, 获得较好的结果, 向实用化迈进了一步。由于 Joint 变换要求特征函数与待识别函数必须间隔一定距离, 才能在输出平面上将 ± 1 级衍射项与零级项分开, 所以用单透镜 Joint 变换, 难以实现多特征识别。

二、双透镜 Joint 变换及其相关特性

图 1 为进行双透镜 Joint 变换的光学装置, 特征函数与待识别函数各自由透镜 L 作傅氏变换。特征函数与待识别函数在输入平面 P_1 上的分布如图 2 所示, 特征函数 $u(x, y)$ 由 $M \times N$ 个特征子函数 $u_{rs}(x, y)$ 组成。特征子函数在 x 轴方向的间距为 C_0 , y 轴方向为 C_1 ; 待识别函数 $f(x, y)$ 由 $m \times n$ 个基元函数 $f_{kl}(x, y)$ 组成, 相邻两基元函数的间距为 d 。特征子函数与基元函数的最大宽度均小于 d 。特征函数与待识别函数的表达式分别为:

$$u(x, y) = \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} u_{rs}(x - rc_0, y - sc_1), \quad (1)$$

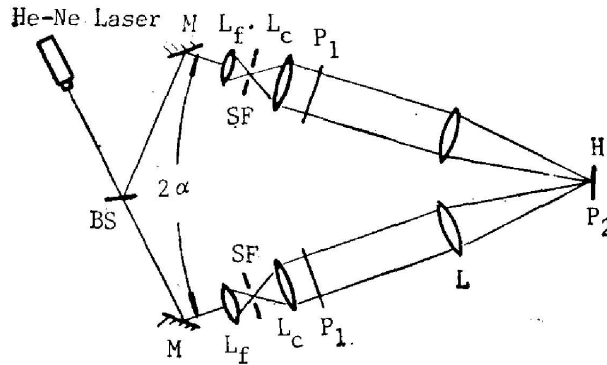


Fig. 1 Optical setup for dual-lens Joint transform

BS, beam splitter; M, mirror; SF, spacial filter; H, holographic plate; P₁, input plane, P₂, frequency plane; F_f, focusing lens; L_c, collimating lens; L, Fourier tran form lens

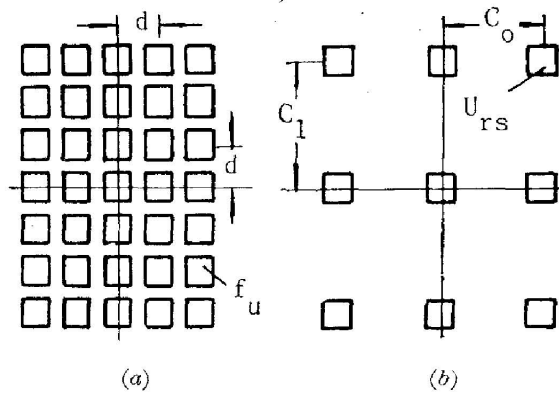


Fig. 2 Distribution of the input function

(a) The function to be recognized; (b) The characteristic function

$$f(x, y) = \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} f_{kl}(x-kd, y-l d) \tag{2}$$

其中 $M_0 = (M - 1) / 2$, $N_0 = (N - 1) / 2$, $m_0 = (m - 1) / 2$, $n_0 = (n - 1) / 2$, 为了便于书写公式, M 、 N 、 m 和 n 取奇数。

由于两光轴的夹角为 2α , 所以特征函数和待识别函数的傅氏谱均与频谱平面 P_2 有个 α 夹角, 应分别乘以因子 $\exp(-j2\pi \frac{\sin \alpha}{\lambda} x_2)$ 和 $\exp(j2\pi \frac{\sin \alpha}{\lambda} x_2)$, 为了便于推导公式, 这里采用旁轴近似, 即有 $\exp(-j2\pi \frac{\sin \alpha}{\lambda} x_2) = \exp(-j2\pi b\xi)$ 。其中 b 为两傅氏透镜中心间距的 $1/2$ 。这样在频谱平面 P_2 上的光场分布为:

$$\begin{aligned} G(\xi, \eta) &= \mathcal{F}\{u(x, y)\} \exp(-j2\pi b\xi) + \mathcal{F}\{f(x, y)\} \exp(j2\pi b\xi) \\ &= \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} U_{rs}(\xi, \eta) \exp\{-j2\pi [(b+rc_0)\xi + SC_1\eta]\} \\ &\quad + \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} F_{kl}(\xi, \eta) \exp\{j2\pi [(b-kd)\xi - ld\eta]\} \end{aligned} \tag{3}$$

将全息干板置于频谱平面 P_2 上作线性记录, 得到一张全息图, 它的振幅透过率为:
 $T(\xi, \eta) = |G(\xi, \eta)|^2$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{w=-M_0}^{M_0} \sum_{z=-N_0}^{N_0} \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} U_{rs}(\xi, \eta) U_{wz}^*(\xi, \eta) \exp\{-j2\pi[(r-w)C_0\xi + (s-z)C_1\eta]\} \\
&+ \sum_{p=-m_0}^{m_0} \sum_{q=-n_0}^{n_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} F_{kl}(\xi, \eta) F_{pq}^*(\xi, \eta) \exp\{-j2\pi[(k-p)d\xi + (l-q)d\eta]\} \\
&+ \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} U_{rs}(\xi, \eta) F_{kl}^*(\xi, \eta) \exp\{-j2\pi[(2b+rc_0-kd)\xi \\
&+ (sc_1-l)d\eta]\} \\
&+ \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} U_{rs}^*(\xi, \eta) F_{kl}(\xi, \eta) \exp\{j2\pi[(2b+rc_0-kd)\xi \\
&+ (sc_1-l)d\eta]\}. \tag{4}
\end{aligned}$$

用单位振幅的相干平面波照射此全息图,作逆傅氏变换,输出表达式为:

$$\begin{aligned}
g'(x', y') &= \mathcal{F}^{-1}\{T(\xi, \eta)\} \\
&= \sum_{w=-M_0}^{M_0} \sum_{z=-N_0}^{N_0} \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} u_{rs}(x', y') \otimes u_{wz}^*(x', y') * \delta[x' - (r-w)c_0, y' - (s-z)c_1] \\
&+ \sum_{p=-m_0}^{m_0} \sum_{q=-n_0}^{n_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} f_{kl}(x', y') \otimes f_{pq}^*(x', y') * \delta[x' - (k-p)d, y' - (l-q)d] \\
&+ \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} u_{rs}(x', y') \otimes f_{kl}^*(x', y') * \delta[x' - 2b - rc_0 + kd, y' - sc_1 + ld] \\
&+ \sum_{r=-M_0}^{M_0} \sum_{s=-N_0}^{N_0} \sum_{k=-m_0}^{m_0} \sum_{l=-n_0}^{n_0} u_{rs}^*(x', y') \otimes f_{kl}(x', y') * \delta[x' + 2b + rc_0 - kd, y' + sc_1 - ld]. \tag{5}
\end{aligned}$$

公式(5)中的第一、第二项为零级衍射项,第一项是特征子函数之间的互相关阵列及其自身的自相关;第二项是基元函数之间的互相关阵列及其自身的自相关。两项一起构成零级相关阵列,其中心位于 $x'=0, y'=0$ 处,宽度为 $2[M_0 - (\frac{1}{2}M_0)]C_0 + 2d = 2(M-1)C_0 + 2d$ 。我们关心的是公式(5)中的第三、第四项,即 ± 1 级衍射相关阵列,两者相互共轭,阵列中心分别位于 $x'=2b, y'=0$ 和 $x'=-2b, y'=0$ 处。考虑公式(5)的第三项或第四项,可以看到1级衍射相关阵列由 $M \times N$ 个相关子阵列组成(见图3),其宽度为 $(M-1)C_0 + (m+1)d$ 沿 y' 轴方向的长度为 $(n+1)d$,分别等于待识别函数的宽度和长度,以及特征子函数宽度之和;相邻的两个相关子阵列的中心间距沿 x' 轴方向为 C_0 ,沿 y' 轴方向为 C_1 ,分别等于特征子函数沿 x 轴, y 轴的中心间距,为了使相邻的相关子阵列相互分离,应该使相邻两个

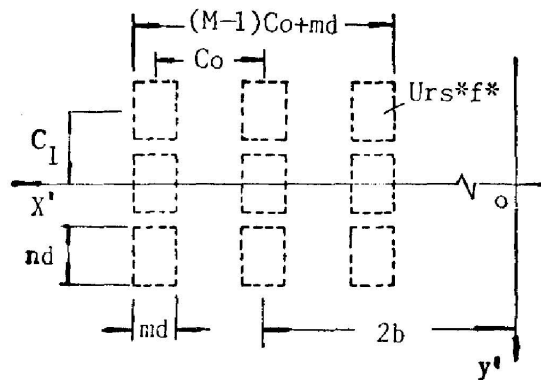


Fig. 3 Distribution of the +1 diffraction order

相关子阵列沿 x' 轴和 y' 轴的中心间距大于或等于相关子阵列的宽度和长度, 即相邻两个特征子函数的间距应满足下式要求:

$$C_0 \geq (m+1)d, \quad C_1 \geq (n+1)d. \quad (6)$$

要将 ± 1 级衍射相关阵列与零级相关阵列分开, 两个变换透镜的中心间距应满足下式要求:

$$2b \geq [3(M-1)C_0 + (m+3)d]/2. \quad (7)$$

满足公式(5)、(6)的要求, 我们便可利用 ± 1 级衍射相关阵列中的任一个进行多特征识别。若在 $x' = 2b + kd - rC_0$, $y' = ld - sC_1$ 处出现自相关亮点, 则表明基元函数 $f_u(x, y)$ 与特征子函数 $u_{rs}(x, y)$ 相同而被识别。特征函数用不同尺度或不同方位的同一字符组成, 就可以进行一定范围内的变尺度或变方位文字特征识别。

三、实验及结果

本实验用图 1 所示的光学装置综合全息图, 制得的全息图用单位振幅的相干平面波照明, 对 $+1$ 级衍射作逆傅氏变换(见图 4)。所用的光源为 30 mW 的氦氖激光器; 变换透镜 L 的焦距为 306 mm; 相对孔径为 1:10; 两光轴的夹角为 18° 。

图 5 为一组输入函数, 特征函数由四个特征子函数组成。对应的相关输出为四个相关子阵列(见图 6), 它们的排列顺序与特征子函数的排列顺序上下、左右相反, 每一相关子阵列中相关元素的排列一一对应于基元函数的排列。例如, 特征子函数“际”与“店”上下排列, 而“际”特征相关子阵列与“店”特征相关子阵列下上排列。掌握这一规律则可以根据特征子

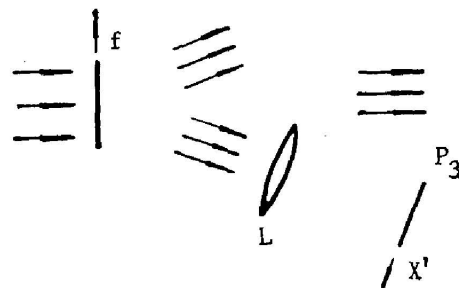
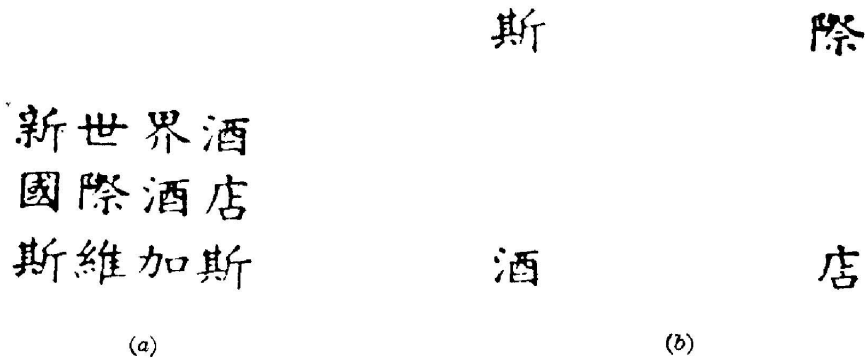


Fig. 4 Optical scheme for inverse Fourier transform



(a)

(b)

Fig. 5 Tee input function

(a) The function of be recognized; (b) The characteristic function

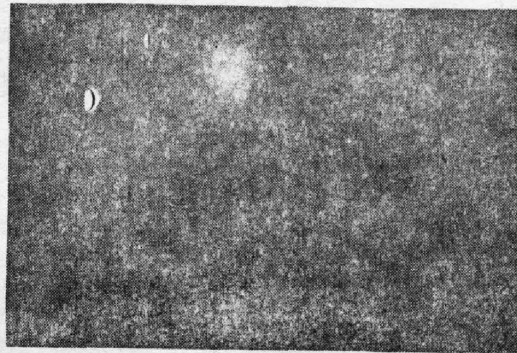


Fig. 6 Correlation output for the input of Fig. 5

光 光 光 光 光 光 光 光 光
 (a)

光
 光
 光 (b)

Fig. 7 The input function

(a) The function of be recognized; (b) The characteristic function

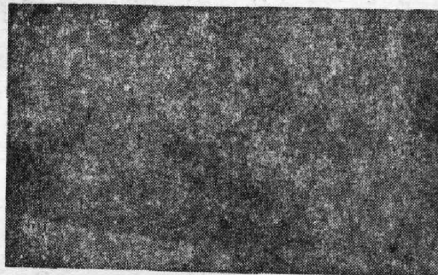


Fig. 8 The correlation output for the input of Fig. 7

光 光 光 光 光 光 光 光
 (a)

光
 光
 光
 光 (b)

(a)

Fig. 9 The input function

(a) The function to be recognized; (b) The characteristic function

函数的位置, 确认相关子阵列的位置; 基元函数“际”位于第二行第二列, 在“际”特征相关子阵列中, 我们可以看到第二行第二列有一个表示已被识别的自相关亮点。

图 7 为另一组输入函数。特征函数由三个不同尺度的“光”字组成, 它们的大小分别与



Fig. 10 The correlation output for the input of Fig. 9

待识别函数中的第四、六、九个“光”字相同。从输出的相关阵列(见图 8), 可以看到, 从第四个开始, 一共有七个不同大小的“光”字被识别, 倍频变化约为 1.6。

图 9 中的特征函数由四个不同方位的“光”字组成。对于“光”字, 旋转受限的范围为 $\pm 5^\circ$, 故特征子函数的方位角分别取 0° 、 $\pm 10^\circ$ 、 $+20^\circ$ (设字符处于端主位置为 0° , 顺时针转动角度为正, 反之为负)。基元函数的方位角分别为 0° 、 $\pm 4^\circ$ 、 $\pm 8^\circ$ 、 $\pm 12^\circ$ 、 16° 、 20° 。由图 10 可知, 九个不同方位角的“光”字均被识别, 方位角变化为 32° 。

四、结 论

采用双透镜 Joint 变换能够实现多特征识别, 并可用于变尺度、变方位特征识别。用这种方法综合的全息图无复位要求, 降低了对变换透镜相对孔径的要求, 能给实际应用带来方便。这种方法还可以在输入平面上方便地更换特征函数, 调整特征函数的尺度及方法, 此方法与实时记录介质配合使用, 有利于满足实时特征识别的要求。

参 考 文 献

- [1] A. Vander Lugt; *IEEE trans. Inf. Theory*, 1964, **IT-10** (Apr), 139~145.
- [2] C. S. Weaver and J. W. Goodman; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, No. 7 (Jul), 1248~1249.
- [3] T. C. Lee *et al.*; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, No. 4 (Apr), 121~123.
- [4] 沈晓庆等; 《光学学报》, 1988, **8**, No. 5 (May), 435~440

Realization of multi-characteristic recognition via dual-lens Joint transform

LIU WENSHAN, ZHUANG SONGLIN

(Shanghai Institute of Optical Instrument)

CAO JUNQING, SHEN XIAOQING AND LU XIAFANG

(Shanghai Institute of Mechanical Engineering)

(Received 12 May 1988; revised 3 October 1988)

Abstract

The correlation property of multi-characteristic function and matrix function is analyzed in the paper. A new method using dual-lens joint transform to realize multi-characteristic recognition is proposed. It can be extended for the application of scale-invariant or rotation-invariant pattern recognition. The experiment shows the results expected.

Key words: optical correlation; pattern recognition; Joint transform.