

用于指纹识别的基于离散余弦变换的二值化联合变换相关器

陈晓伟¹⁾ 陈怀新¹⁾ 洪汝桐²⁾ 陈祯培¹⁾

1), 四川大学光电系, 成都 610064

2), 西南技术物理研究所, 成都 610041

摘 要 提出了一种利用离散余弦变换对联合功率谱进行处理的二值化联合变换相关算法。利用这种二值化联合变换相关器, 进行了一个待识别指纹同四个参考指纹的比较。这种相关器同采用局部中值阈值技术的二值化联合变换相关器相比, 能提高输出峰边比, 提高相关峰的强度。光电混合处理实验的结果表明, 这种方法能大大提高多指纹识别系统的识别性能。

关键词 二值化联合变换相关器, 指纹识别, 离散余弦变换。

1 引 言

联合变换相关器^[1]可以实现实时图像识别。同匹配滤波相关器相比, 它无需预制滤波器, 光学系统调校简单, 较易实现。近年来, 空间光调制器等光学实时器件的不断发展和完善, 使得联合变换相关器具有自适应能力。联合变换相关器已被许多研究者用来进行实时指纹识别, 在安全和司法等领域中发挥着重要作用^[2, 3]。

二值化联合变换相关器^[4, 5]通过非线性操作, 在傅里叶面将联合功率谱二值化。同经典的联合变换相关器相比, 二值化联合变换相关器能产生高的相关峰, 高的峰值旁瓣比, 窄的相关宽度, 及更好的分辨率, 因而二值化联合变换相关器很适合用来进行指纹识别。然而, 在多参考物(多目标物)的情况下, 常规的二值化联合变换容易造成伪相关峰, 使系统的鉴别能力下降。为提高二值化联合变换相关器应用于多指纹识别系统的识别性能, 人们提出利用条纹相减^[6, 7], 啁啾编码^[8]等方法对联合功率谱进行处理。但这些方法, 要么光学系统复杂, 要么对器件性能要求很高, 因而不适于指纹识别系统。本文提出利用离散余弦变换(DCT)对联合功率谱进行处理, 这种方法既能提高系统的识别能力, 又不会增加系统的复杂度, 同时, 它对器件的性能要求也不高。

2 离散余弦变换原理

最基本的二值化联合变换相关器如图 1 所示。

用联合变换相关器实现指纹识别有两个步骤: 第一步, 将参考指纹同待识别指纹送到输入

面上, 参考指纹用 $r(x, y)$ 表示, 它包含有几个已知的指纹, 待识别的指纹用 $s(x, y)$ 表示。

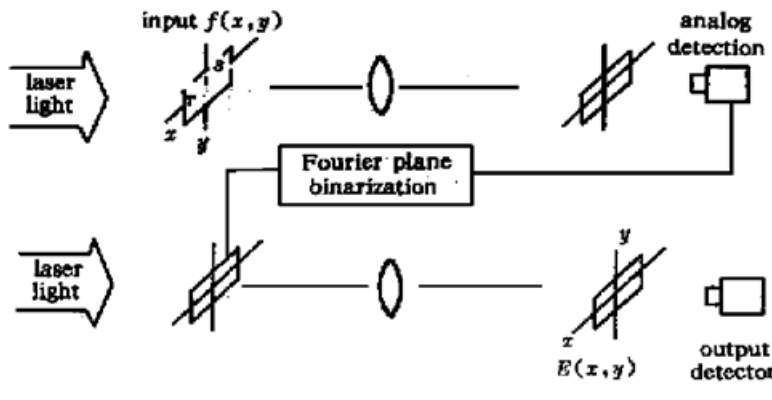


Fig. 1 System block diagram for BJTC

用一个傅里叶透镜对输入进行傅里叶变换, 在透镜的后焦面上用 CCD 记录联合变换功率谱。第二步, 将经过处理的联合变换功率谱输出, 再对其进行一次傅里叶变换, 用 CCD 记录相关输出, 最后用计算机对相关结果进行分析。

在多参考物的情况下, $r(x, y) = \sum_{i=1}^N r_i(x - x_i, y - y_i)$, N 表示参考指纹数目, (x_i, y_i) 为参考指纹中心位置。

为了能应用本文提出的方法, 可将待识别

指纹 $s(x, y)$ 置于原点处, 并取 $x_i \in \{-a, a\}$ (a 为参考指纹同待识别指纹在水平方向的中心距离)。设参考指纹中 $r_k(x - x_k, y - y_k)$ 同待识别指纹 $s(x, y)$ 相同。这时系统的输入用 $f_m(x, y)$ 表示为:

$$f_m(x, y) = \sum_{i=1}^N r_i(x - x_i, y - y_i) + s(x, y). \tag{1}$$

在傅里叶面记录的联合功率谱用 $I_m(\xi, \eta)$ 表示为:

$$I_m(\xi, \eta) = |F_m(\xi, \eta)|^2 = R^2(\xi, \eta) + S^2(\xi, \eta) + 2 \sum_{i=1, j=k}^N R_i(\xi, \eta) S(\xi, \eta) \times \cos [x_i \xi + y_i \eta + \phi_s(\xi, \eta) - \phi_{r_i}(\xi, \eta)] + 2R_k^2(\xi, \eta) \cos (x_k \xi + y_k \eta), \tag{2}$$

式中 (ξ, η) 为频域坐标, $S(\xi, \eta) \exp [j\phi_s(\xi, \eta)]$, $R(\xi, \eta) \exp [j\phi_k(\xi, \eta)]$ 分别为 $s(x, y)$, $r(x, y)$ 的傅里叶变换。联合功率谱包含自相关项和互相关项。相关信号包含在调制互相关项的余弦项中, 而利用离散余弦变换可以将这种余弦调制项检出来。可利用 $\cos(a\xi)$ 对(2)式进行余弦变换, 得:

$$I'_m(\xi, \eta) = I_m(\xi, \eta)^* \cos(a\xi) = [R^2(\xi, \eta) + S^2(\xi, \eta) + 2 \sum_{i=1, j=k}^N R_i(\xi, \eta) S(\xi, \eta) \times \cos [x_i \xi + y_i \eta + \phi_s(\xi, \eta) - \phi_{r_i}(\xi, \eta)] + 2R_k^2(\xi, \eta) \cos (x_k \xi + y_k \eta)]^* \cos(a\xi) = [2R_k^2(\xi, \eta) \cos (x_k \xi + y_k \eta)]^* \cos(a\xi) = \frac{1}{\pi} E_{r_k} \cos (x_k \xi + y_k \eta), \tag{3}$$

(3) 式中, E_{r_k} 表示 $r_k(x, y)$ 的能量, $E_{r_k} = \iint r_k^2(x, y) dx dy$ 。从(3)式可以看出, 经过余弦变换以后, 联合功率谱中的自相关项被完全除去, 参考指纹和待识别指纹间的互相关项被检出来。对(3)式的结果再进行一次傅里叶变换, 得到最后的相关输出为:

$$E(x, y) = E_{r_k} [\sigma(x - x_k, y - y_k) + \sigma(x + x_k, y + y_k)]. \tag{4}$$

输出中仅包含两个相关点。对(3)式离散化得:

$$I'_m(u, j) = \sum_{i=-N/2}^{N/2-1} I_m(u-i, j) \cos(ai), \quad \begin{cases} u = 0, 1, 2, \dots, N-1. \\ i = 0, 1, 2, \dots, N-1. \end{cases} \quad (5)$$

联合功率谱中余弦条纹的周期随着参考指纹和待识别指纹的相对位置的变化而变化。当参考指纹和待识别指纹的中心距离增加时, 联合功率谱中余弦条纹的频率增高, 相应的条纹周期缩短。当参考指纹和待识别指纹的中心距离减小时, 联合功率谱中余弦条纹的频率减低, 相应的条纹周期增长。在实际中, 由于参考指纹同待识别指纹之间在水平方向的中心距离不一定刚好等于 a , 这时联合功率谱中余弦条纹的周期就同 $\cos(a\xi)$ 的周期不一致, 再利用 $\cos(a\xi)$ 对联合功率谱进行处理就会导致相关输出变差[在理想情况下, 利用无限周期的 $\cos(a\xi)$ 对联合功率谱进行处理就会导致零输出]。可以通过减小所用 $\cos(a\xi)$ 的周期数的办法减小离散余弦变换算法对联合功率谱中余弦条纹的周期变化的灵敏度。适当地选择所用 $\cos(a\xi)$ 的周期数对于这种算法的处理效果至关重要。在下一节的计算机模拟中, 选取不同周期数的 $\cos(a\xi)$ 对联合功率谱进行处理, 观察相关输出的变化, 以选择一个最合适的所用余弦函数的周期数。此时(5)式变为:

$$I'_m(u, j) = \sum_{i=-L/2}^{L/2-1} I_m(u-i, j) \cos(ai), \quad (6)$$

上式中 $L = 2\pi K/a$, K 为所取余弦函数的周期数。

3 计算机模拟

将五个指纹按图 2 所示的方式排列, 中间的指纹为待识别指纹, 周围四个指纹为参考指纹。这种放置方式保证了每个参考指纹同待识别指纹在水平方向的中心距都相同; 在输出面上, 参考指纹同待识别指纹的相关在竖直方向依此排开, 而在水平方向上, 参考指纹同待识别指纹的相关落在自相关和两边参考指纹的互相关之间。模拟实验中所用的指纹取自同一个人, 大小为 100×100 像素点, 利用一种微分算法二值化。图 2 中左上角的参考指纹同待识别指纹相同。在实际中, 利用取指器

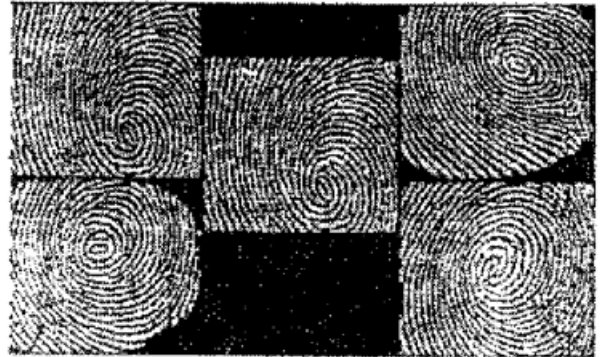


Fig. 2 Digital analog and experiment input

取指纹, 对同一手指, 所取两指纹的位置移动最大为 10 个像素点, 因此, 可模拟两种情况: 1) 左上角参考指纹同待识别指纹的中心在水平方向的间隔为 100 个像素点。2) 左上角参考指纹同待识别指纹的中心在水平方向的间隔为 110 个像素点。可将按图 2 所示方式排列的五个指纹置于一 512×512 像素点的矩阵中, 对它进行一次傅里叶变换, 得到它的功率谱。在第一种情况下, $\cos(x_k\xi + y_k\eta)$ 在水平方向的周期为 5.1 个像素点, 在第二种情况下, $\cos(x_k\xi + y_k\eta)$ 在水平方向的周期为 4.6 个像素点。对于所得到的功率谱, 利用周期数不同的余弦函数(周期为 5 个像素点) 对其进行处理, 对于处理过的联合功率谱, 由于它的平均值为 0, 故可直接取 0 为门限将它二值化。为对相关结果作出评价, 引入信噪比 R_{SN} 和鉴别率 D_r 两个参数, 其定义分别由(7)式和(8)式给出。信噪比反映了系统作为相关器的性能, 而鉴别率则表征了系统的鉴别能力。

$$R_{SN} = 10 \log \left[\frac{I_{\text{peak}}}{(1/N) \sum I(x, y)} \right], \quad (7)$$

$$D_r = 10 \log \left[\frac{I_{\text{peak}}}{I_{\text{sec}}} \right], \quad (8)$$

上式中, 求和的区域为相关峰周围的输出区域(实际中取相关输出面上一个 60×260 像素点的区域), N 为这个区域中点的数目, I_{peak} 表示相关峰的强度, I_{sec} 表示整个输出区域中次峰的强度。模拟实验的结果如图 3 所示。图 3 中连续线表示输入为第一种情况时的相关输出结果, 点划线表示输入为第二种情况时的相关输出结果。横坐标轴表示所用余弦函数的周期数。可以看出, 当联合功率谱的周期同余弦函数的周期相差较大时, 随着用来处理联合功率谱的余弦函数周期数的增加, 其输出的信噪比 R_{SN} 和鉴别率 D_r 都快速下降。为保证在不同的输入条件下相关输出的信噪比和鉴别率都较大, 可取 4 个周期的余弦函数对联合功率谱进行处理。



Fig. 3 Computer simulation showing R_{SN} and D_r changing according to the period number of cosine function used

4 实验结果

实验装置如图 4 所示, 用一个 EPSON 640×480 液晶电视(LCTV)作为系统的输入, 液

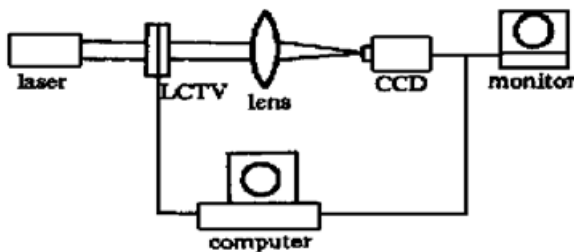


Fig. 4 Experimental setup

晶电视工作于纯振幅模式。实验用的光源为一半导体激光器, 其波长为 690 nm , 光强可调。傅里叶透镜的焦距为 36 cm 。输出用一 JVC TK-S210 CCD 摄像机接收, CCD 的 γ 值设为 1, 自动增益关闭。

实验用的输入图像为 100×100 像素点的二值化的指纹, 按图 2 的方式放置。中间的指纹为待识别指纹, 周围四个为参考指纹。将输入的图像送到液晶电视上, 利用 CCD 摄取联合功率谱, 得到的联合

功率谱中余弦项在水平方向的周期为 5 个像素点。

取四个周期, 周期为 5 的余弦函数来处理联合功率谱, 然后再以 0 为门限将它二值化。作为比较, 利用滑动窗口中值阈值技术(SWLM)^[4, 9]对联合功率谱进行处理。这种方法首先计算联合功率谱中某一点周围的一个区域内的点值的灰度直方图, 然后取该直方图的中值为门限, 将该点二值化。Javidi^[10]等的实验表明, 当窗口的尺寸同联合功率谱的周期相同时系统的输出性能最优, 二维窗口同一维窗口有相类似的性能。由于本文中的联合功率谱的周期为 5, 因此, 取窗口的大小为 5×1 像素点。图 5 给出了一个典型的联合功率谱和利用离散余弦变换和滑动窗口中值阈值技术对其进行处理后得到的二值化功率谱。利用离散余弦变换技术的相关器的一个典型相关输出如图 6 和图 7(a) 所示。图 6 中大框内的区域为整个输出区域, 小框标出了相关峰可能出现的区域。利用滑动窗口中值阈值技术的二值化联合变换相关器的一个输出如图 7(b) 所示。做了八组实验, 每组实验中都有一个参考指纹同待识别指纹相同。

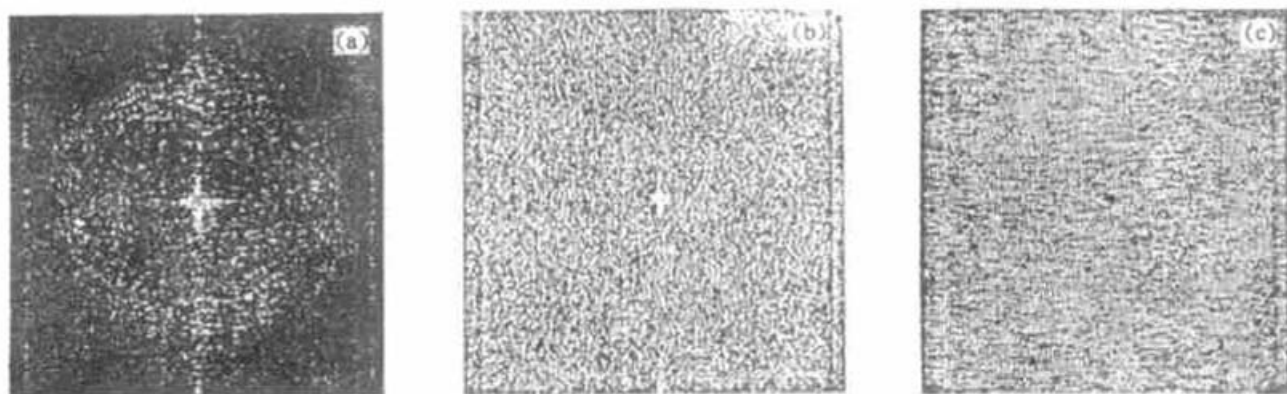


Fig. 5 (a) Joint power spectrum, (b) Binarized joint power spectrum with the sliding-window local-median thresholding method, (c) Binarized joint power spectrum with the DCT based thresholding method

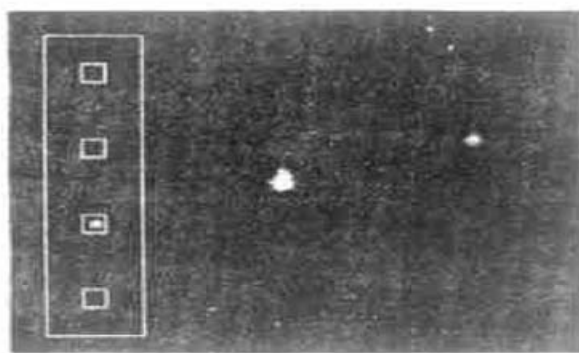


Fig. 6 Correlation output showing the expected peak region used for the D_r calculation and the output region used for the R_{SN} calculation. This is the correlation output for DCT based BJTC

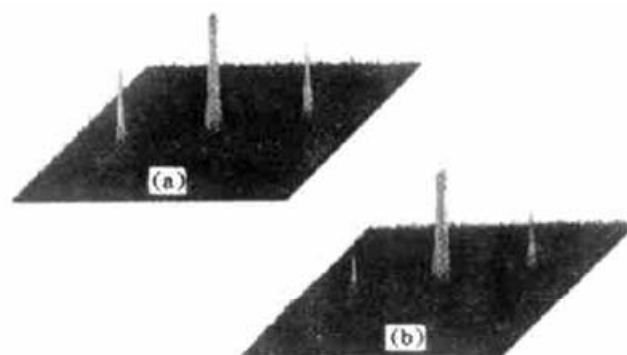


Fig. 7 Typical output response for the BJTC to fingerprint data: (a) DCT based threshold, (b) Sliding-window local-median threshold

八组实验的结果由图 8 给出。此外, 还做了参考指纹中没有待识别指纹的对比实验。在这种情况下, 利用这两种方法处理功率谱, 在系统的输出面上都没有出现相关峰。利用离散余弦变换对联合功率谱进行处理, 同滑动窗口中值阈值方法相比, 系统输出相关峰的强度、峰边比、鉴别率都有较大提高。利用本文提出的方法, 用于实验的八个待识别指纹均被识别出来, 而利用滑动窗口中值技术, 则只有七个指纹能够正确识别。

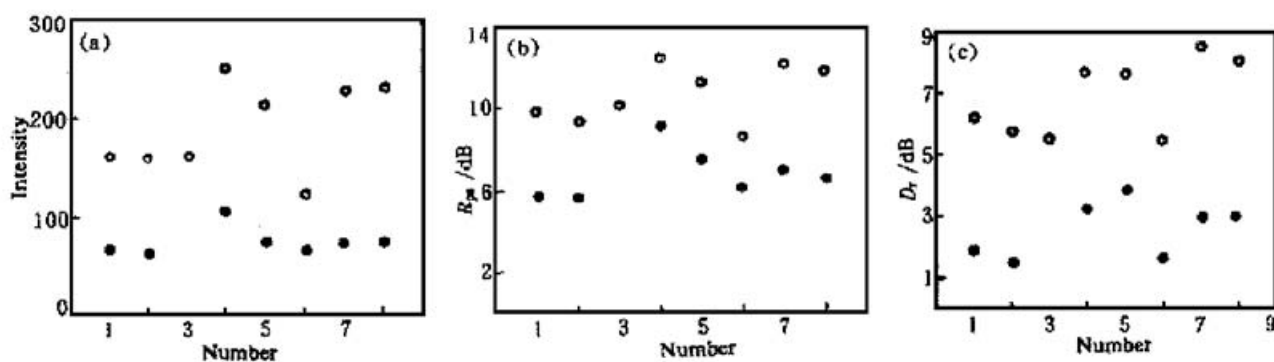


Fig. 8 Summary of the correlation results. “•”: SWLM, “○”: DCT. (a) Intensity of correlation peaks, (b) R_{SN} obtained using each of the method, (c) D_r obtained using each of the method. In the third experiment, SWLM based thresholding method failed to find the unknown fingerprint

结 论 提出了一种新的联合功率谱处理方法——离散余弦变换技术, 并通过计算机模拟, 找到一种最优的处理方案——选择最佳周期数的余弦函数对联合功率谱进行处理。这种处理方法可以消除联合功率谱中的自相关项, 并对参考指纹和待识别指纹间的互相关信号进行增强。这种方法能够显著地提高相关峰的强度, 提高输出峰边比, 从而提高了系统的鉴别能力。

参 考 文 献

- [1] Weaver C S, Goodman J W. Technique for optically convolving two functions. *Appl. Opt.*, 1966, **5** (7) : 1248~ 1249
- [2] Javidi B. Nonlinear Joint power spectrum based optical correlation. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(12) : 2358 ~ 2367
- [3] Javidi B, Horner J L. Optical pattern recognition for validation and security and verification. *Opt. Engng.*, 1994, **30**(6) : 1752~ 1756
- [4] Javidi B, Wang Jun. Binary nonlinear joint transform correlation with median and subset median thresholding. *Appl. Opt.*, 1991, **30**(8) : 967~ 976
- [5] Fielding K H, Horner J L, Makerkau C K. Optical fingerprint identification by binary joint transform correlation. *Opt. Engng.*, 1991, **30**(12) : 1958~ 1961
- [6] Grycewicz T J. Fingerprint identification with joint transform correlator using multiple reference fingerprints. *Opt. Pattern Recog. VI. Proc. SPIE*, 1995, **2490** : 249~ 254
- [7] 陈怀新, 陈祯培, 陈晓伟. 基于相移功率谱相减的二元联合变换相关识别. *中国激光*, 1998, **25**(4) : 353~ 358
- [8] Grycewicz T J, Javidi B. Experimental comparison of binary joint transform correlators used for fingerprint identification. *Opt. Engng.*, 1996, **35**(9) : 2519~ 2525
- [9] Hahn W B, Flannery D L. Design elements of binary joint transform correlation and selected optimization techniques. *Opt. Engng.*, 1992, **31**(4) : 896~ 905
- [10] Javidi B, Li Jian, Fazlollahi A H *et al.*. Binary nonlinear joint transform correlator performance with different thresholding methods under unknown illumination conditions. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(5) : 886 ~ 895

Discrete Cosine Transform Based Binary Joint Transform Correlator for Fingerprint Identification

Chen Xiaowei¹⁾ Chen Huaixin¹⁾ Hong Rutong²⁾ Chen Zhenpei¹⁾
 [1), *Opto-Electrical Department, Sichuan University, Chengdu 610064*
 [2), *Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041*]

(Received 16 September 1998; revised 20 April 1999)

Abstract A new binary joint transform correlator algorithm is presented which uses the discrete cosine transform technique to process the joint transform power spectrum. This binary joint transform correlator can compare a target fingerprint with four reference fingerprints. Compared with other joint power spectrum processing method such as slide-window local median threshold method, the correlator using this technique has better performance in terms of output peak-to-noise ratio, peak intensity and discriminate rate. The result of optical-electrical hybrid experiment has shown that this technique can greatly improve the discrimination ability of multiple fingerprint identification system.

Key words binary joint transform correlator, fingerprint identification, discrete cosine transform.