

四元量化的综合鉴别函数滤波器实现比例不变相关识别

赵 昱 申铨国

(吉林大学通信工程学院光通信系, 长春 130012)

摘 要 设计一种基于综合鉴别函数(SDF)的比例不变相关识别滤波器,将频域中被 SDF 调制的相关输出函数进行复数形式的四元量化(QFCQ),并采用叠代算法调整 SDF 的系数,使输出的相关峰尖锐,区分能力强,同时满足不同比例图像等相关峰输出的准则,从而达到了比例不变识别的要求. 计算机仿真实验对属于训练图像系列的目标图像进行了识别,并与基本的 SDF 及二元化纯相位 SDF 做了比较,结果表明该方法具有较好的识别效果.

关键词 模式识别;综合鉴别函数;比例不变识别;量化

中图分类号 O438 **文献标识码** A

0 引言

综合鉴别函数法(SDF)是畸变不变相关识别的一种基本方法^[1],可以实现旋转^[2]、比例不变识别. SDF 方法的不足之处是相关峰较宽,区分能力差. 针对这一问题提出过很多改进办法,如最小平均能量(MACE)滤波器^[3],纯相位 SDF(POF SDF),二元化纯相位 SDF(BPOF SDF)^[4,5],投影切片 SDF^[6],条纹调制联合变换相关 SDF^[7]等. 最近 Taketsugu Yao 等人提出一种基于四元量化(QFCQ)的匹配滤波新方法^[8]. 与传统的逆滤波(IF),POF 方法相比,在多目标输入的情况下,其输出的相关峰更尖锐,区分能力更强;与以联合变换相关器(JTC)为基础的方法相比,目标物的相关峰只有一个,因此更易确定目标物的位置. 本文将 QFCQ 的概念应用于 SDF,将频域中的被 SDF 调制的相关输出函数四元量化为复数形式,期望在输出平面得到尖锐的相关峰,提高识别能力. 但直接将 QFCQ 用于基本的 SDF 形式,效果并不理想. 不仅相关峰的锐化程度不够好,且不满足等峰值输出的准则,不同比例图像输出的相关峰值差别较大,当输入图像存在多个相似物体时,易造成误判. 为此本文采用叠代算法来修正 SDF 的系数,进一步锐化了相关峰,而且实现了等峰值输出,从而达到了比例不变识别的要求. 对来自于训练系列的目标图像进行了仿真实验,并与 SDF 及 BPOF SDF 进行了比较,证实了本方案的有效性.

1 基本的 SDF 原理

SDF 的基本形式又称为等峰值 SDF^[1]. 该方法中的滤波响应 $h(x, y)$ 由一系列训练图像合成. 设 $r_1(x, y), r_2(x, y) \dots r_N(x, y)$ N 个不同比例的训练图像,代表所期望的图像比例变化. 则 $h(x, y)$ 为 N 个训练图像的线性组合

$$h(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i r_i(x, y) \quad (1)$$

式中 a_i 为实系数.

用矩阵表示为

$$h = S a \quad (2)$$

式中 $S = (r_1, r_2, \dots, r_N)$, $a = (a_1, a_2, \dots, a_N)^T$. 系数向量 a 的约束条件为 N 个训练图像与 $h(x, y)$ 相关滤波后,在坐标原点处的相关峰值为常数. 用矩阵可表示为

$$S^T h = C \quad (3)$$

$C = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T$ 为 N 维常矢量. 若只考虑识别一类目标的问题,则 $C = (c, c, \dots, c)^T$.

由式(2),(3)可求解出

$$a = (S^T S)^{-1} C \quad (4)$$

$$h = S(S^T S)^{-1} C \quad (5)$$

基本的 SDF 算法简单,不足之处是相关峰较宽,区分能力差.

2 四元量化的 SDF

设输入图像为 $f(x - x_0, y - y_0)$,经 SDF 匹配滤波,频域输出为

$$\begin{aligned} O(u, v) &= F(u, v) H^*(u, v) \exp[-j2\pi(x_0 u + y_0 v)] = \\ &= F(u, v) \sum_{i=1}^N a_i R_i^*(u, v) \exp[-i2\pi(x_0 u + y_0 v)] = \\ &= |F(u, v)| \sum_{i=1}^N a_i |R_i^*(u, v)| \exp[-i2\pi(x_0 u + y_0 v)] \cdot \\ &\quad \exp\{j[\phi_F(u, v) - \phi_{R_i}(u, v)]\} \end{aligned} \quad (6)$$

式中

$$F(u, v) \exp[-i2\pi(x_0u + y_0v)]$$

和

$$H(u, v) = \sum_{i=1}^N a_i R_i(u, v)$$

为 $f(x-x_0, y-y_0)$ 和 $h(x, y)$ 的傅里叶变换.

将 $O(u, v)$ 进行四元形式的复数量化(QFCQ)^[8], 即

$$Q(u, v) = \begin{cases} 1+j & \text{Re}[O(u, v)] \geq 0 \\ & \text{Im}[O(u, v)] \geq 0 \\ 1-j & \text{Re}[O(u, v)] \geq 0 \\ & \text{Im}[O(u, v)] < 0 \\ -1-j & \text{Re}[O(u, v)] < 0 \\ & \text{Im}[O(u, v)] < 0 \\ -1+j & \text{Re}[O(u, v)] < 0 \\ & \text{Im}[O(u, v)] \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

经运算, $Q(u, v)$ 可表示为

$$Q(u, v) = \sum_i \sum_n (c_n \cos\{n[-2\pi(x_0u + y_0v) + \phi_F(u, v) - \phi_{R_i}(u, v)]\} + jd_n \sin\{n[-2\pi(x_0u + y_0v) + \phi_F(u, v) - \phi_{R_i}(u, v)]\}) \quad (8)$$

式中

$$c_n = d_n = \begin{cases} 4(\pi n)^{-1} \sin(n\pi/2) & (n=1, 3, 5, \dots) \\ 0 & (\text{elsewhere}) \end{cases} \quad (9)$$

由式(8)可知 $Q(u, v)$ 经逆傅里叶变换, 相关输出有无穷阶衍射项, 幅度随 n 的增加而减少. 第一阶输出项近似为

$$O_Q(x, y) \propto FT^{-1}\{4/\pi \sum_i \exp\{-j[2\pi(x_0u + v_0y) - \phi_F(u, v) + \phi_{R_i}(u, v)]\}\} \quad (10)$$

可见一阶输出项为一个类似于 δ 函数的尖锐的相关峰. 但由于 SDF 的相关峰较宽, 直接将 QFCQ 用于基本的 SDF 形式, 相关峰的锐化效果并不理想, 衍射项的成分很大. 且该方法不再满足基本 SDF 的等峰值输出准则, 不同比例图像输出的相关峰值有较大差别. 当输入图像存在多个相似物体时, 易造成错误识别. 为锐化相关峰, 且达到等峰值输出的要求, 须重新修定 SDF 的系数向量 a .

3 叠代算法

根据等峰值输出准则, 由式(8), 对于每个训练图像 $r_n(x, y), n=1, 2, \dots, N$, 皆应满足

$$\iint Q(u, v) dudv = c \quad (11)$$

这是一组非线性方程. 为求解 a , 本文采用 Jared 和 Ennis 提出的叠代算法^[9], 即

$$a_n^{i+1} = a_n^i + \beta \left[c - c \left(\frac{m_n^i}{m_0^i} \right) \right] \quad (12)$$

式中 i 为叠代次数, β 为松弛因子, m_n^i 为第 n 个训练

图像 $r_n(x, y)$ 第 i 次叠代的相关输出峰值.

为与基本的 SDF 相区别, 经过式(11)、(12)滤波修正后的 SDF 简称为 fSDF. 虽然没有严格的理论证明该叠代算法一定会收敛^[9], 但在本文讨论的 QFCQ-fSDF 系统中, 该算法很有效, 可求解出稳定的系数向量 a 值, 且收敛速度较快.

4 仿真结果

为验证所提出方案的有效性, 本文用 Matlab 软件进行了计算机模拟. 目标图像如图 1, 为 tank-027 型.



图 1 待识别目标图像
Fig. 1 Test image

将目标像缩放 1.2、1.0、0.8、0.6、0.4 倍, 组成训练图像系列, 合成参考图像. 若输入图像为 0.8 倍的目标像, 如图 2, 大小为 200×200 像素. 采用 SDF、BPOF SDF、QFCQ SDF 三种方法, 其相关输出如图 3(a)~(e).



图 2 0.8 倍的目标像
Fig. 2 The target image with scale factor 0.8

可以看出基本的 SDF 方法的相关峰较宽, 如图 3(a). 若直接将 QFCQ 的概念用于 SDF, 识别效果并未得到多大改善, 如图 3(b), 相关峰依然较宽. 且仿真计算表明不同比例图像相关输出峰值差别较大, 不满足等峰值输出的准则. 直接运用 BPOF 也存在同样的问题, 如图 3(c). 为此引入叠代算法, 即式(12)来修正 SDF 的系数. 这里系数向量 a 的初始值皆取 1, β 值根据经验取 0.9, 如何选取最佳 β 值, 本文就不作讨论了. QFCQ fSDF 的收敛过程见图 4, 其中 m_0, m_1, m_2, m_3, m_4 分别代表比例为 1.0、0.4、0.6、0.8、1.2 的训练图像. 经过 9 次叠代后, fSDF 的系数收敛于稳定解, 不同训练图像相关输出峰值趋于相同, 见表 1. 其相关输出结果如图 3(d). 可见修正后的 QFCQ fSDF 具有尖锐的相关峰, 且满足等峰值输出的要求, 从而达到了比例不变识别的目的. 将同样的叠代算法用于 BPOF SDF, 也可以做到等峰值输出, 但相关峰的尖锐程度要差一些, 如图 3(e).

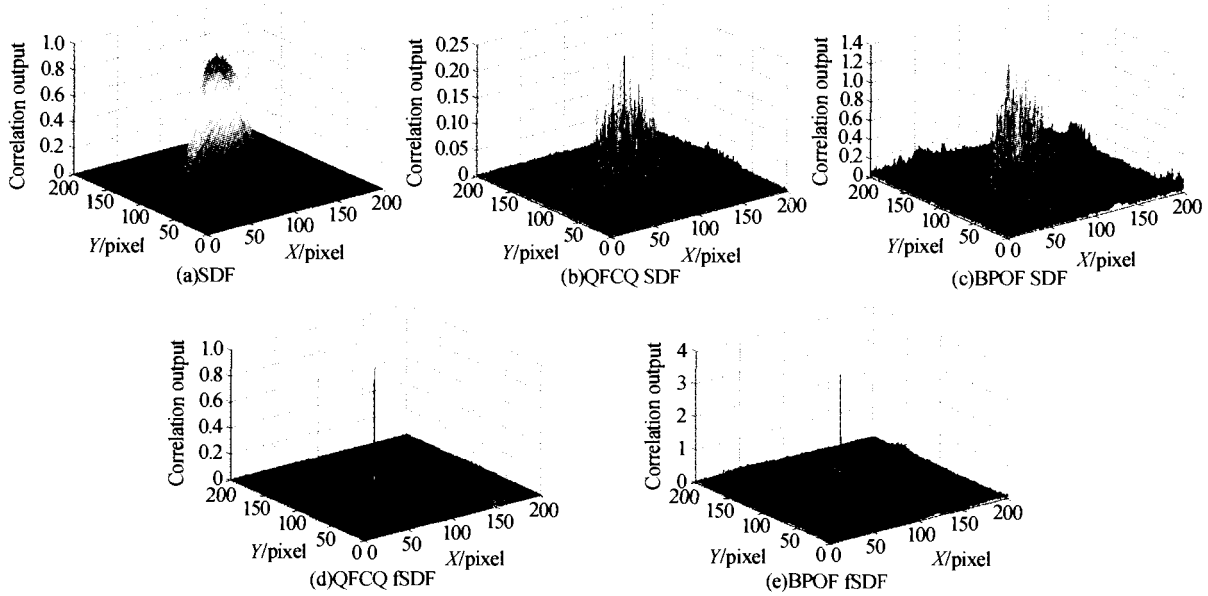


图3 相关输出结果
Fig. 3 Correlation output

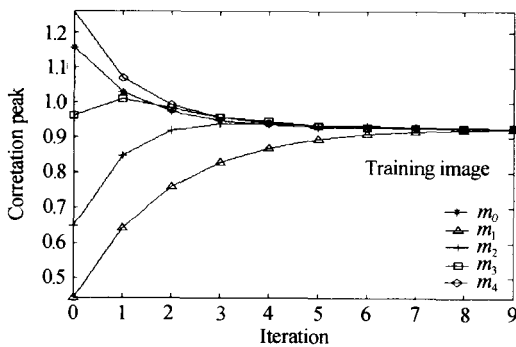


图4 叠代算法的收敛过程
Fig. 4 The convergence procedure of the iteration algorithm

表1 不同比例训练图像的相关峰值

比例因子	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
相关峰值	0.924	0.926	0.926	0.925	0.926

图5给出三种方法的 peak-to-correlation-energy (PCE) 值的曲线, 进一步说明了 QFCQ fSDF 良好的识别能力. PCE 定义为输出相关峰值

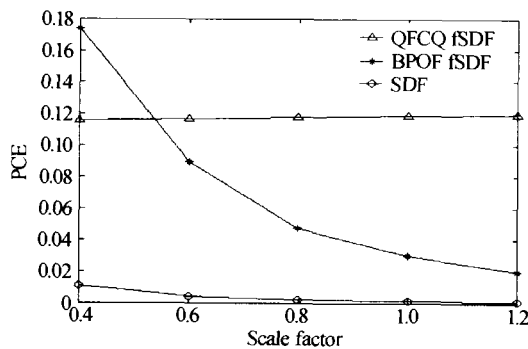


图5 目标像的 PCE 曲线
Fig. 5 PCE curves of the correlation output for target

的平方与输出平面总能量之比. 设输出平面每点相关值为 c_i , 相关峰值为 c_0 , 共有 M 个采样点, 则

$$PCE = \frac{|c_0|^2}{\sum_{i=0}^M |c_i|^2} \quad (13)$$

PCE 值越大, 相关峰值越尖锐, 识别性能越强. 由图5可见 SDF 的 PCE 值最低. BPOF fSDF 的 PCE 值除一点高于 QFCQ fSDF 以外, 其于均明显低于 QFCQ fSDF, 且不同比例输入图像的 PCE 值差别较大, 影响了识别性能. 而 QFCQ fSDF 曲线较平坦, 不仅满足等峰值输出的准则, 不同比例图像的 PCE 值也很接近, 从而更好地达到了比例不变识别的要求.

5 结论

本文提出一种实现比例不变相关识别的新方法, 将四元量化 (QFCQ) 的概念应用于 SDF 滤波器, 并采用叠代算法调整 SDF 的系数, 使输出的相关峰尖锐, 且满足不同比例图像等峰值输出的准则, 从而达到了比例不变识别的要求. 仿真结果表明对属于训练图像系列的目标图像, 本方法具有较好的识别效果. 与基本的 SDF 及 BPOF SDF 方法相比, 识别性能有了明显提高.

参考文献

- Hasser C F, Casasent D. Multivariant technique for multiclass pattern recognition. *Appl Opt*, 1980, **19**: 1758 ~ 1761
- 袁祥岩, 于大勇, 陶纯堪. 基于相位编码的畸变不变联合变换相关器的设计. *光子学报*, 2002, **31**(10): 1238 ~ 1243
- Yuan X Y, Yu D Y, Tao C K. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(10): 1238 ~ 1243
- Mahalanobis A, Vijavaya Kumar BV K, Casasent D.

- Minimum average correlation energy filters. *Appl Opt*, 1987, **26**:3633~3640
- 4 Horner J L, Gianino P D. Applying the phase-only filter concept to synthetic discriminant function correlation filter. *Appl Opt*, 1985, **24**: 851~855
- 5 Kallman R R. Direct construction of phase-only filters. *Appl Opt*, 1987, **26**: 5200~5201
- 6 Riasati V R, Abushagur M A G. Projection-slice synthetic discriminant functions for optical pattern recognition. *Appl Opt*, 1997, **36**(14): 3022~3034
- 7 Alam M S, Chen Xuewen, Karim M A. Scale-invariant fringe-adjusted joint transform correlation. *SPIE*, 1997, **3073**: 288~298
- 8 Yao T, Minemoto T. Pattern recognition by quantization of modulated function to complexes of a quadrupole in matched filtering. *Opt Eng*, 2003, **42**(10): 2994~3003
- 9 Jared D A, Ennis D J. Inclusion of filter modulation in synthetic-discriminant-function construction. *Appl Opt*, 1989, **28**(2): 232~239

Quantization of Synthetic Discriminant Function Filter to a Quadrupole For Scale Invariant Pattern Recognition

Zhao Yu, Shen Xuanguo

Institute of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012

Received date: 2005-03-02

Abstract A new scale-invariant correlation filter based on synthetic-discriminant-function (SDF) was designed. In this filter, the correlation output function modulated by SDF in frequency-domain was quantized to complexes of a quadrupole to obtain sharp correlation peak. To satisfy the equal correlation peak criteria, an iterative algorithm was utilized to modify the coefficients of SDF. Thus scale-invariant recognition was achieved. Computer simulation results show that the proposed method performs better compared with the basic SDF and the binary phase-only SDF (BPOF SDF) for the target images from training set.

Keywords Pattern recognition; Synthetic discriminant function; Scale invariant recognition; Quantization



Zhao Yu is a lecturer in the Institute of Communication Engineering of Jilin University. She received her B. S. degree in electronics from North East Normal University in 1993, and the M. S. degree in communication and information system from Jilin University of Technology in 1999. Now she is a Ph. D. student in the Institute of Communication Engineering of Jilin University. Her current research interests include optical pattern recognition and optical information processing.