

基于群体智能边缘提取算法的联合变换相关器

王 勇^{1,2}, 朱 明¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:为提取联合变换相关器输入面图像的边缘,改善相关器的识别效果,提出了一种基于群体智能的图像特征提取方法,并将其应用于联合变换相关器的输入面图像预处理中。实验结果表明该算法有效提取了图像的边缘,锐化了相关峰,提高了联合变换相关器的目标识别能力。群体智能计算机并行算法与联合变换相关器光学并行系统相结合,为实现实时高效的光电混合目标识别系统奠定了坚实的理论基础。

关键词:群体智能;联合变换相关器;实时性;目标识别

中图分类号:TP751.2 **文献标识码:**A

Joint transform correlator based on joint image feature extraction using swarm intelligence method

WANG Yong^{1,2}, ZHU Ming¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An image feature extraction method based on swarm intelligence is used in the preprocessing of joint image in joint transform correlator. The swarm intelligence is superior to the conventional image processing method in its robust, flexible, fault tolerant, scalable, and highly parallelizable characteristic. The output results from the classical JTC without image preprocessing and the JTC with Sobel operator based joint image feature extraction are compared with that of the JTC using the swarm intelligence to extract the feature of joint image. Experiment results show the performance improvement of JTC using the feature extraction method based on swarm intelligence.

Key words: swarm intelligence; joint transform correlator (JTC); real-time; target recognition

1 引言

光学相关识别领域中两种重要的光学相关器 Vander Lugt 相关器 (VLC) 和联合变换相关器 (JTC), 目前被广泛应用于改善图像质量、识别特定目标、探测物体瑕疵、增强图像轮廓以及国防与军事等诸多领域。

Vander Lugt 相关器工作原理简单, 有很高的信噪比, 但匹配滤波器的制作和精确复位比较复杂, 不适于实时目标识别; 相比之下, 光电混合联合变换相关器结合了光学模式识别信息处理容量大, 运算速度快和计算机模式识别精度高容易控制的优点, 逐渐成为模式识别领域极具前途的方法之一。但是传

统联合变换相关器相关峰带宽较大, 且易被图像中的噪声影响, 相关鉴别率较低。

因此, 有必要对输入面图像进行预处理以改善识别效果。目前, 国内外就这一问题展开了较多研究^[1-3]。经典预处理方法无论是采用中值滤波去噪, 还是采用 Roberts 算子提取图像边缘, 算法的可调节性都较差, 且算法分属于不同的理论体系。作为一种新兴的演化计算技术, 群体智能在没有集中

基金项目: 国家“863”计划 (No. 2005AA778032) 资助。

作者简介: 王 勇 (1982 -), 女, 博士, 研究方向是数字图像处理。E-mail: wang_yong8205@163.com

收稿日期: 2009-04-14; **修订日期:** 2009-06-10

控制且不提供全局模型的前提下,为寻找复杂的分布式问题求解方案提供了基础^[4-7]。以数字图像作为数字生命所栖息的环境,把具有生命特征的个体随机分布在图像环境中,个体按照某种系统规则移动、繁殖或者进化。随着这个仿生学进程的不断持续,分布在图像环境中的种群特征也在不断的变化,数字图像本身所具有的一些特点也逐渐涌现出来,这就是基于群体智能的图像边缘提取方法的基本思想。将群体智能并行算法理论应用于联合变换相关器输入面的图像预处理中,有效地改善了传统联合变换相关器目标识别的能力。

2 基于群体智能的图像特征提取算法

与传统图像预处理算法相比,群体智能(Swarm Intelligence)算法具有灵活、自由、并行运算的特点,很好地符合了图像处理领域经常要求的实时性和准确性地要求。在通常情况下,群体智能是指任何启发于群体生物的集体行为而设计的算法和分布式问题解决装置。

由于数字图像本身所具有的特点,可以很容易地将其比喻为数字生命存在的空间,分布在图像环境中的数字生命称为“智能体”。智能体按照预先制定的系统规则移动、繁衍和进化,在完成了对有效资源的搜索后,寄居在图像环境中的智能体所刻画的就是数字图像本身所具有某种特征。

用于执行资源搜索的智能体通过4种不同的行为反应之间的转换来适应环境,即在有效资源位置的驻留行为,在邻域内的繁殖行为,寻找新资源的扩散行为以及因为能量的衰竭而产生的消失行为。首先针对繁殖与扩散行为给出如下的定义:

繁殖:

$$\Delta^{g,t}(i, j) \Rightarrow \{ \Delta_l^{(g+1,t+1)}(m, n) \mid l=1, 2, \dots, s; \\ D((i, j), (m, n)) \leq R(i, j); \\ W((i, j), (m, n)) \in H \} \quad (1)$$

扩散:

$$\Delta^{g,t}(i, j) \Rightarrow \Delta^{(g,t+1)}(m, n); \\ D((i, j), (m, n)) \leq R(i, j); \\ W((i, j), (m, n)) \in K \quad (2)$$

其中, Δ 表示存在于图像环境中的智能体; g 表示智能体代; t 表示时间步; (i, j) 表示当前智能体在图像中的位置;式(1)中的 (m, n) 表示后代智能体在图像中的位置;式(2)中的 (m, n) 表示智能体的新位置; \Rightarrow 表示“产生”关系; l 是后代智能体的标示

符; $R(i, j)$ 表示运动区域的半径,也就是在 (i, j) 位置的智能体能够感知到的局部资源半径;在繁衍行为中 D 表示后代智能体相对于前代智能体的距离,在扩散行为中, D 表示新位置相对于原位置的距离; H 和 K 分别表示繁衍后代智能体的方向和扩散的方向; W 表示一个位置相对于另一个位置的方向。

在任一时间步 t ,智能体都要感知其局部资源环境是否适合其驻留,驻留或者扩散取决于智能体的位置 (i, j) 的感知区域内与 (i, j) 的灰度值接近的所有像素的密度分布,密度分布的定义如下:

$$\rho_{I(i,j)}^{R(i,j)} = \sum_{s=-R(i,j)}^{R(i,j)} \sum_{t=-R(i,j)}^{R(i,j)} \{ s^0 t^0 \mid |I(i+s, j+t) - I(i, j)| \leq \delta \} \quad (3)$$

其中, s 和 t 表示 (i, j) 位置的智能体感知区域内的一个像素的索引; $I(i, j)$ 表示像素 (i, j) 的灰度值; δ 为对比度阈值。当智能体检测到一处有效资源 P_x ,它将在邻域内繁殖有限数量的后代智能体。这里的邻域是指:以智能体所在的位置 (i, j) 为中心,周围和其相邻的8个像素。繁殖行为使得智能体把其后代智能体移近一个满足特征定义的像素位置,因而增加了进一步特征提取的可能。对于有效资源的检测,应该满足如下条件:令 $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2]$ 是由式(3)所定义的像素数的可接受范围。如果在像素点 P_x 的密度分布的评估结果在 λ 范围内,即 $\rho_{I(i,j)}^{R(i,j)} \in \lambda$,那么该智能体将永久驻留在 (i, j) 像素位置,并产生如式(1)所描述的繁殖行为,即在其周围的8个邻域内产生8个后代智能体。当密度分布的结果不在内,即 $\rho_{I(i,j)}^{R(i,j)} \notin \lambda$,智能体将在其邻域内产生如式(2)所描述的扩散行为,扩散的方向随机选择。扩散行为对智能体在图像环境中发现特征像素起着重要作用。后代智能体以及移动到新位置的智能体将重复上述资源搜索过程。

随着搜索过程的持续,寻找到有效资源的智能体数量将不断增加,从一开始的零到稳定为某个固定的常数。而那些在指定的步骤内没有找到任何有效资源的智能体将因为能量的衰竭而终止其进一步的资源搜索行为,同时,该智能体也会在图像环境中消失。这样可以避免智能体进入无限搜索无效资源的循环模式,从而减少无用的计算量。

3 联合变换相关器的群智能预处理及识别研究

联合变换相关器是一种光电混合的目标识别装

置。它结合了光学的高速性并行性和电子计算机的灵活性可编程性等优点,成为目标识别领域极具发展前途的方法之一。

JTC 的结构如图 1 所示,参考图像事先存在计算机 1(Computer 1)中,用 CCD1 获取目标图像并输入 Computer 1,参考图像和目标图像组成的联合图像经 Computer 1 做图像预处理后并排显示在空间光调制器 SLM1 上,SLM1 位于傅里叶变换透镜 FTL1 的前焦面上,用平行相干光垂直照射 SLM1,可在 FTL1 的后焦面上得到联合变换功率谱。用 CCD2 记录该功率谱,并输入到 Computer 2 中进行优化处理,处理后的功率谱呈现在 SLM2 上,经傅里叶变换透镜 FTL2 再进行一次傅里叶变换,便可在输出面上得到相关输出。由 CCD3 记录该相关输出,并输入 Computer 2 中。

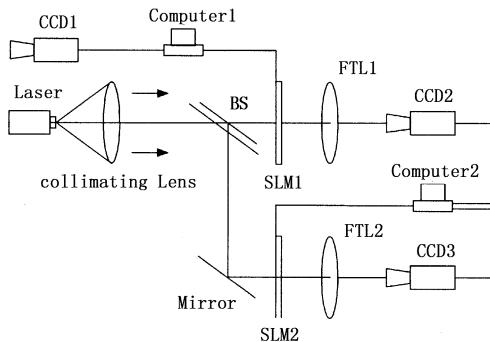


图 1 联合变换相关器结构图

若输入到 SLM1 的参考图像函数为 $r(x, y)$, 其中心位于 $(-a, 0)$; 目标图像函数为 $t(x, y)$, 其中心位于 $(a, 0)$ 。由参考图像和目标图像组成的合成图像 $f(x, y)$ 被准直的激光照明, 并通过透镜进行傅里叶变换。若输入面的图像分布表示为:

$$f(x, y) = r(x + a, y) + t(x - a, y) \quad (4)$$

则透镜后焦面的傅里叶谱分布为:

$$F(u, v) = \exp[j2\pi au]R(u, v) + \exp[-j2\pi au]T(u, v) \quad (5)$$

$$R(u, v) = \iint r(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (6)$$

$$T(u, v) = \iint t(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \quad (7)$$

其中, $F(u, v)$, $R(u, v)$ 和 $T(u, v)$ 分别为联合图像、参考图像和目标图像的傅里叶变换。用平方律探测器在透镜的后焦面上探测到联合变换功率谱为 $F(u, v)^2$, 有:

$$|F(u, v)|^2 = |R(u, v)|^2 + |T(u, v)|^2 + \exp[j4\pi au]R(u, v)T^*(u, v) + \exp[-j4\pi au]T(u, v)R^*(u, v) \quad (8)$$

将上述联合联合功率谱经透镜再做傅里叶变换得:

$$f(\xi, \eta) = r(\xi, \eta) \otimes r(\xi, \eta) + t(\xi, \eta) \otimes s(\xi, \eta) + r(\xi, \eta) \otimes t(\xi, \eta) * \delta(\xi + 2a) + t(\xi, \eta) \otimes r(\xi, \eta) * \delta(\xi - 2a) \quad (9)$$

式中, “ \otimes ”表示相关, “ $*$ ”表示卷积, 第一项与第二项重叠在输出平面中心附近, 称之为零级衍射项, 并不是我们要探测的信号。两个互相关项第三项和第四项为正负一级衍射, 它们在输出平面上沿轴分别平移 $-2a$ 和 $2a$, 与零级项分离, 正是我们寻求的相关信号。在参考图像 r 和目标图像 t 相同的情况下, 第三项和第四项的互相关就等于自相关, 峰值会达到最大。

经典联合变换相关器(C-JTC)存在两个缺点: 第一, 由于联合变换相关器存在较强的零级衍射级, 从而使输出面中相关输出的衍射效率较低, 影响了相关峰的检测; 第二, 因为联合变换相关输出面中零级衍射峰的宽度很大, 限制了输入面的目标图像和参考图像的大小和相对位置, 降低了对输入面空间带宽积的使用。

因此, 削弱或去除零衍射级, 增强互相关峰的强度, 提高相关性能成为了设计各种新型 JTC 的依据。对输入面图像进行预处理可以改善 JTC 的性能, 提高目标识别能力。

本文提出用群智能算法对联合图像作边缘提取。目标图像由 CCD1 摄入并输入到 Computer 1 后与事先存在 PC1 中的参考图像组成联合图像, 用群智能算法处理该联合图像, 驻留智能体所在的位置就是图像的边缘, 将处理后的图像显示在 SLM1 上, 经光学 JTC 输出联合变换相关图像, 该预处理算法有效地提高了联合变换相关器的相关输出性能。

4 仿真实验结果

图 2 为两幅联合变换相关器的输入面图像。2(a)为 CCD1 摄入的目标图像与参考图像相同时的联合图像, 图 2(b)目标图像和参考图像不同。图 3 采用本文提出的群体智能方法进行边缘提取的结果。用群智能算法做边缘提取时, 设置初始智能体 $\Delta = 1600$ 个, 搜索半径 $R(i, j) = 3$, 即在 7×7 邻域内

进行搜索,由式(3)所定义的像素数的可接受范围 $\lambda = [11, 41]$,对比度阈值 $\delta = 115$,驻留智能体的后代个数为 $s = 8$ 。最后,在有限步长 $t = 130$ 内,驻,留智能体所标记的有效资源的位置就是图像的特征。图4为 Sobel 算子边缘提取结果。



(a) 目标图像和参考图像相同 (b) 目标图像和参考图像不一致

图2 目标图像与参考图像的联合图像



(a) 目标图像和参考图像相同 (b) 目标图像和参考图像不一致

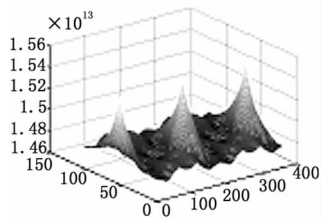
图3 群智能特征提取算法处理结果



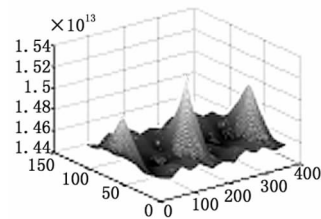
(a) 目标图像和参考图像相同 (b) 目标图像和参考图像不一致

图4 Sobel 算子边缘提取结果

图5为传统联合变换相关器的相关输出结果,中间的峰值为目标图像和参考图像自相关峰的叠加,即公式(9)中第一项和第二项的和,不是我们要探测的信号;两边的峰值为目标图像和参考图像的互相关峰,即公式(9)中第三项和第四项,是我们探测的信号。由实验结果可以看出,当目标图像和参考图像一致时,互相关峰值较大,反之则互相关峰较平坦。所以,可以通过互相关峰值的大小来识别目标。



(a) 目标图像和参考图像相同

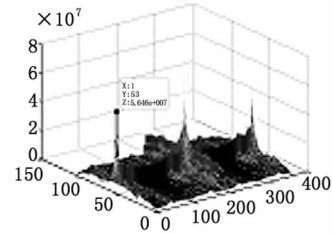


(b) 目标图像和参考图像不一致

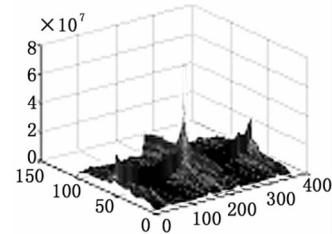
图5 传统联合变换相关器的输出结果

图6和图7分别为群智能联合变换相关器和

Sobel 联合变换相关器相关输出结果,它们都使经典联合变换相关器的相关峰值得到锐化,但图6的互相关峰值比图7的大,由此可见,群智能联合变换相关器相关性最好。

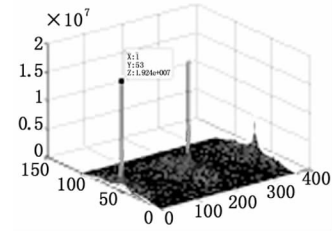


(a) 目标图像和参考图像相同

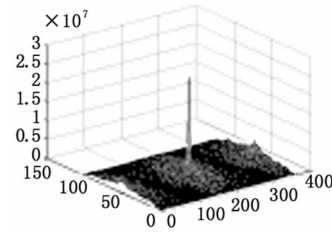


(b) 目标图像和参考图像不一致

图6 SWARM - JTC 相关结果相关结果



(a) 目标图像和参考图像相同



(b) 目标图像和参考图像不一致

图7 Sobel - JTC 相关结果

通过对比传统联合变换相关器(C - JTC)、群智能联合变换相关器(SWARM - JTC)和 Sobel 联合变换相关器(Sobel - JTC)三者的相关输出结果,可以得出,传统联合变换相关器输出峰值最大,为 10^{12} 数量级,但相关峰宽度大,效果不够理想;Sobel-JTC 与 SWARM-JTC 都克服了相关峰宽度大的缺点,锐化了相关峰,二者相比较,SWARM-JTC 的相关峰值为 5.646×10^7 比 Sobel-JTC 的峰值 1.924×10^7 大 3.722×10^7 。

综上所述,SWARM-JTC 不仅锐化了相关峰,而

且保留了较高的峰值,三者相比较,性能最优。

将群体智能边缘提取方法应用于联合变换相关器输入面图像预处理,显著提高了联合变换相关器的图像识别性能。

5 结 论

群体智能并行算法是一种优越的图像预处理方法,它具有灵活、实时、高效等特点。与传统的串行特征提取方法相比,群体智能算法中多个智能体搜索有效资源的行为是并行的。将其应用于光电混合联合变换相关器的输入面图像预处理中,显著增强了输出面上相关峰的强度,有效提高了传统的经典联合变换相关器的性能。尤为重要的是,本文提出的群智能联合变换相关器(SWARM-JTC)将计算机并行算法与光学并行系统相结合,为实现实时高效的光电混合模式识别系统奠定了坚实的理论基础。

参考文献:

[1] 刘广利,李彪.提高光电联合变换相关器识别能力的

输入面预处理实验研究[J].长春理工大学学报,2005,28(2):17-22.

- [2] 陈宇,王文生,苗华,等.灰度变换在光学相关探测与识别中的应用[J].仪器仪表学报,2005,26(8):676-683.
- [3] Zhang S, Karim M A. Morphologically preprocessed joint transform correlation [J]. *Appl. Opt.*, 1999, 38(11): 2182-2188.
- [4] Liu J M, Tang Y Y. An evolutionary autonomous agents approach to image feature extraction [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1997, 1(2): 41-158.
- [5] Liu J M, Zhao Y. On adaptive agents for distributed divide-and-conquer: a dynamical systems approach [J]. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 2002, 32(2): 214-227.
- [6] Liu J M, Tang Y Y. Adaptive image segmentation with distributed behaviour based agents [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.*, 1999, 21(6): 544-551.
- [7] Kennedy J, Eberhart R C, Shi Y. *Swarm intelligence* [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2001.