

# 联合变换相关器形态学处理可调节性研究\*

余 杨 张旭革

(南京大学光通信工程研究中心, 南京 210093)

**摘 要** 为改善联合变换相关器的实际识别效果, 将形态学算法引入输入面图像边缘检测, 提出利用形态学边缘检测的宽度可调节性来改善联合变换相关器的实际识别效果, 实验表明, 改进后的算法使相关器既有足够的光强, 又有较高的鉴别率.

**关键词** 捕获\跟踪\瞄准(ATP); 光学跟踪; 联合变换相关器; 数学形态学

**中图分类号** TN247 TN929.1 **文献标识码** A

## 0 引言

在联合变换相关器的实验研究中, Roberts 算子提取图像边缘宽度较窄, CCD 接收到的功率谱图像光能量太小, 不利于实验; 使用某种结构核的形态学算法提取图像边缘因没有宽度可调节性的理论指导也未能取得好的实验效果. 本文研究形态学边缘检测的宽度可调节性(通过调整结构核的大小, 采用外边界、内边界、形态学梯度来调整边缘宽度), 使边缘图像宽度最优, 可使相关器既有足够的光强, 又有较高的鉴别率, 有利于实验.

已有学者将 Roberts 边缘检测、基于某种结构核的形态学边缘检测应用于联合变换相关器<sup>[1,2]</sup>, 但因没有边缘图像宽度可调节性的理论指导, 使实验效果受到影响. 国内外均未见边缘图像宽度可调节性研究应用于联合变换相关器的报导. 本文研究工作的创新处在于首次提出形态学边缘检测的宽度可调节性概念使边缘宽度最优, 并将其应用于联合变换相关器以改善相关器光强进而改善鉴别率.

联合变换相关器(JTC)的经典预处理方法采用 Roberts 算子提取图像边缘, 算法的可调节性较差, 本文主要探讨针对输入面具有可调节性的形态学边缘检测预处理算法. 通过选择不同大小和形状的结构核, 并选择不同的形态学边界, 以提取宽度不同的边缘图像, 从而在算法不变的情况下, 通过结构核的调整及形态学边界的选择, 使相关器既有足够的光强, 又有较高的鉴别率.

## 1 形态学边缘检测及其可调节性

菱形、方形、圆形三种不同的结构核见图 1.

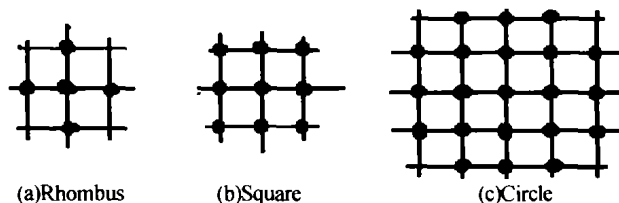


图 1 结构核  
Fig. 1 Structure element

对于图像  $t$  和结构核  $r$ , 图像  $t$  的外边界、内边界、形态学梯度可定义为<sup>[1,2]</sup>:

$$t \oplus r - t \quad (1)$$

$$t - t \ominus r \quad (2)$$

膨胀图像减去腐蚀图像可得到形态学梯度, 其表达式为

$$t \oplus r - t \ominus r \quad (3)$$

结构核  $r$  不同, 得到的图像  $t$  的外边界、内边界、形态学梯度也不同. 因此, 形态学边缘检测具有边缘宽度可调的特点. 当然除形态学算法外, 分形算法也正在应用于图像边缘提取中<sup>[3]</sup>.

在数字图像处理情况下, 利用形态学方法所得到的边界, 取决于使用何种数字结构核. 本文以八角形为参考图像, 输入图像为八角形或五角形, 选用菱形结构核, 联合图像的边缘图像区域面积如表 1. 选用方形结构核或圆形结构核, 联合图像的边缘图像区域面积可调宽如表 1. 宽边界可以通过采用较大的结构核得到.

表 1 形态学边界区域面积

区 域 面 积	八角形和八角	八角形和八角	八角形和八角
	形外边界	形内边界	形态学梯度
结 构 核	八角形和五角	八角形和五角	八角形和五角
	形外边界	形内边界	形态学梯度
菱形	$\frac{74}{71.5}$ (L1)	$\frac{64}{61.5}$ (L2)	$\frac{129}{122.5}$ (L3)
方形	$\frac{113}{116.5}$ (F1)	$\frac{97}{96.75}$ (F2)	$\frac{201}{202.75}$ (F3)
圆形	$\frac{194}{193.5}$ (Y1)	$\frac{136}{131.75}$ (Y2)	$\frac{321}{314.75}$ (Y3)

\*江苏省重点学科经费资助

Tel: 025-83597474-807

Email: yyshan@sohu.com

收稿日期: 2003-12-30

## 2 形态学预处理联合变换相关器计算机模拟研究

将上述形态学算法应用到联合变换相关器中,对输入面进行边缘检测预处理,能起到改善识别的作用.当然对联合变换相关器输入信号和谱面的处理还有多种方法<sup>[4]</sup>.根据上述分析,对边缘特征区别较大的图像,可采用以下识别步骤:

1)边缘检测:根据 JTC 相关输出面光强确定输入图像边缘检测的宽度,选择适当大小的结构核,用形态学边缘检测对获得的图像提取边缘(根据实际需要,可以是外边界、内边界或形态学梯度中的一种).

2)识别:将第 1)步获得的输入边缘图像和相应

的参考边缘图像播放到输入面上,经傅里叶透镜变换得到功率谱,再经傅里叶透镜逆变换在输出面上得到相关结果.

利用菱形、方形、圆形三种不同大小的结构核对联合图像进行边缘检测,可采用外边界、内边界或形态学梯度,现比较采用菱形、方形、圆形结构核提取图像边缘后的 JTC 识别效果.采用二值多边形图像进行计算机模拟,模拟运算基于 64 \* 64 的快速傅里叶变换,图像尺寸各为 12 \* 12,相关峰均采用振幅输出.本文仅给出基于菱形结构核,采用形态学梯度的识别效果图,见图 2,中间峰为 0 级项,两侧峰为相关峰.其它情形的识别效果图可用上文方法类似给出.

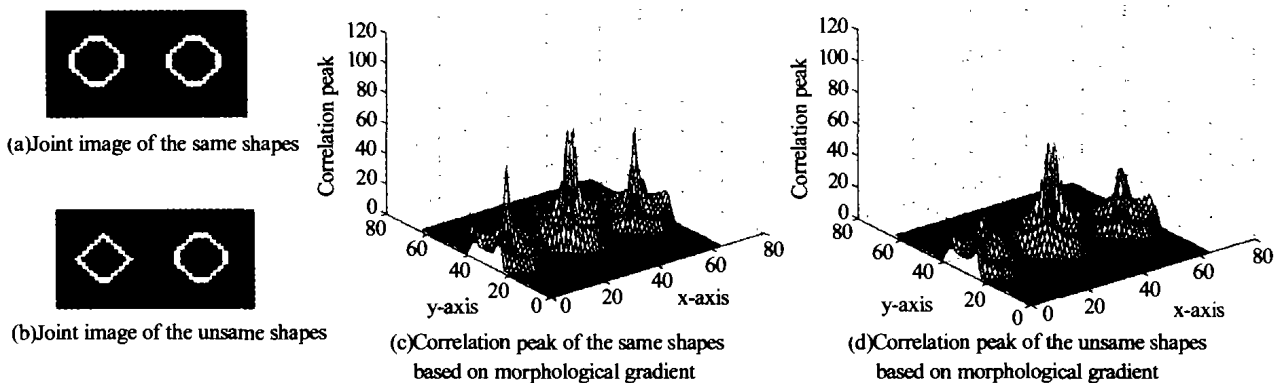


图 2 基于菱形结构核的形态学梯度相关结果

Fig. 2 Morphological gradient correlation result based on rhombus structure element

在菱形、方形、圆形结构核条件下,采用外边界、内边界或形态学梯度提取联合图像边缘,以八角形为参考图像, JTC 识别五角形、八角形的鉴别率( $\Delta_p$ )如表 2.

表 2 形态学边缘检测 JTC 相关识别结果 (%)

结构核	八角形、五角形		八角形、五角形
	外边界图像	内边界图像	形态学梯度图像
菱形	88.2(L1)	87.2(L2)	67.9(L3)
方形	66.7(F1)	72.7(F2)	39.0(F3)
圆形	35.3(Y1)	54.9(Y2)	20.6(Y3)

表中鉴别率  $\Delta_p = (API - CPI) / API$ ,其中 API 是自相关峰强度, CPI 是最大互相关峰强度.

分析表 1 和表 2,空间光调制器(SLM)透过率一定,当激光器功率较大时,较窄的边界上的光通量就可满足谱面光强的要求(如在 L1、L2 情况下,边缘区域面积较小(64 ~ 74),边界较窄),此时相关鉴别率较高(87.2% ~ 88.2%);当激光器功率适中时,边界宽度要加宽后的边界上的光通量才能满足谱面光强的要求(如在 L3、F1、F2、Y2 情况下,边缘区域面积适中(97 ~ 136),边界已加宽),此时相关鉴别率适中(54.9% ~ 72.7%);当激光器功率较小时,边界宽度要进一步加宽后的边界上的光通量才能满足谱面

光强的要求(如在 F3、Y1、Y3 情况下,边缘区域面积较大(194 ~ 321),边界已进一步加宽),此时相关鉴别率较小(20.6% ~ 39.0%).可见,根据选用的激光器功率不同、空间光调制器(SLM)透过率不同,可以利用形态学边缘检测的宽度可调节性来改善识别,使相关器既有足够的光强,又有较高的鉴别率.

## 3 形态学预处理联合变换相关器实验研究

采用回旋结构 JTC,构建的实验系统见图 3.

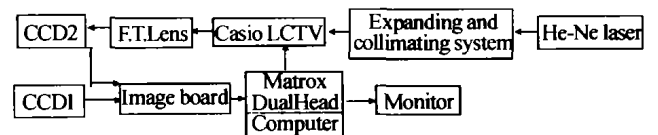


图 3 JTC 实验系统

Fig. 3 JTC experiment system

其中使用了最新 matrox 双头显卡、Casio 液晶电视、无需外置电源的小巧型 He-Ne 激光器、 $\Phi 100$  傅里叶变换透镜、大恒图像卡、敏通 CCD 等器件.

Matrox 显卡: Dualhead 双头显示,同时支持两台独立的显示器输出,包括 VGA 显示器,模拟或数字平板显示器、电视. Casio 液晶电视(LCTV)是作为便

携电视机而生产的,经过适当的改装,可作为电寻址的空间光调制器(SLM)使用,约30万像素.傅里叶变换透镜所能传递的信息容量为 $W = 2h * N_{max}$ ,式中,2h为输入面的直径; $N_{max}$ 为能处理的最高空间频率(lp/mm).此处最高空间频率为78 lp/mm,最大处理面的直径为50 mm.

大恒图像卡支持标准 PAL、NTSC 制彩色/黑白视频信号输入;图像采集最大分辨率:PAL - 768 × 576 × 24bit,NTSC - 640 × 480 × 24 bit;可按单场(奇场或偶场)、单帧、连续场、连续帧、间隔几场或几帧等多种方式灵活地采集图像.选购的敏通 CCD 摄像机,图像传感器靶面 1/3",图像传感器面积 4.8 mm × 3.6 mm,分辨率 420 电视线,最小照度 0.11 ux.选购的摄像镜头:输入图像选购 16.0 mm, F1.6 精工镜头摄入,以拍摄较远目标;功率谱图像和相关输出图像选购 8.0 mm, F1.3 精工镜头摄入,以拍摄近距离目标.

采用形态学边缘检测预处理改善识别,边缘检测 JTC 的实验流程图见图 4.

使用 Roberts 算子提取图像边缘宽度较窄,CCD

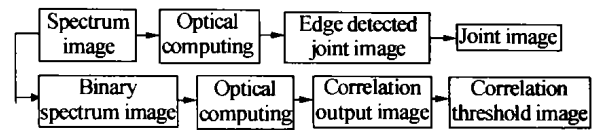


图 4 边缘检测 JTC 的实验流程图

Fig. 4 Experiment diagram of edge detected JTC

接收到的功率谱图像光能量太小,不利于实验;利用形态学边缘检测的宽度可调节性(通过调整结构核的大小,采用外边界、内边界、形态学梯度来调整边缘宽度),使边缘图像宽度增加,从而使 CCD 接收到的功率谱图像光能量增大,有利于实验.

用经 Roberts 算子边缘检测的基本形状进行实验,因光强太弱,无法取得好的实验效果;而用一组具有一定边缘宽度的基本形状边缘图像进行实验,取得了好的实验效果.实验中用八角形为参考图像,当输入图像与参考图像相同时,对联合图像进行形态学边缘检测如图 5(a),选取适当阈值对联合图像的功率谱进行二分化,联合图像的二元功率谱如图 5(b),二元功率谱经透镜傅里叶变换后得到左相关斑,选取适当阈值,左相关斑经取阈后的左相关点如图 5(c).图 5(b)、5(c)中心部分已挡去.

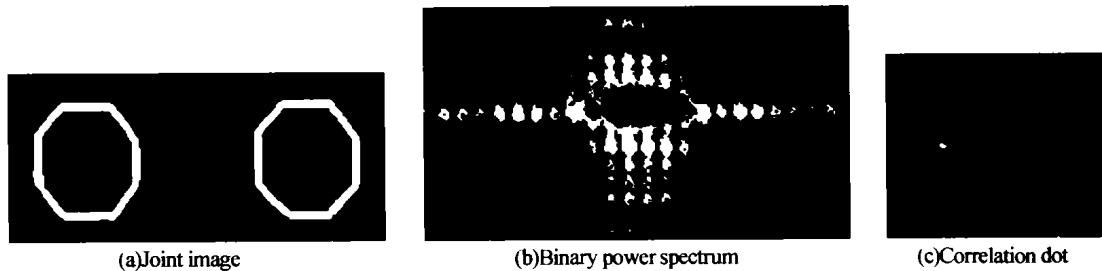


图 5 八角形相同基本形状识别实验结果  
Fig. 5 Recognition experiment result of the same basic shape of octagon

当输入图像与参考图像不同时,图 6(a-d)各联合图像的二元功率谱(所取阈值与相同基本形状的阈值相等)均发生变化,使左相关斑均衰减,经取阈

(所取阈值与相同基本形状的阈值相等)后,左相关点均消失如图 6(e)所示.

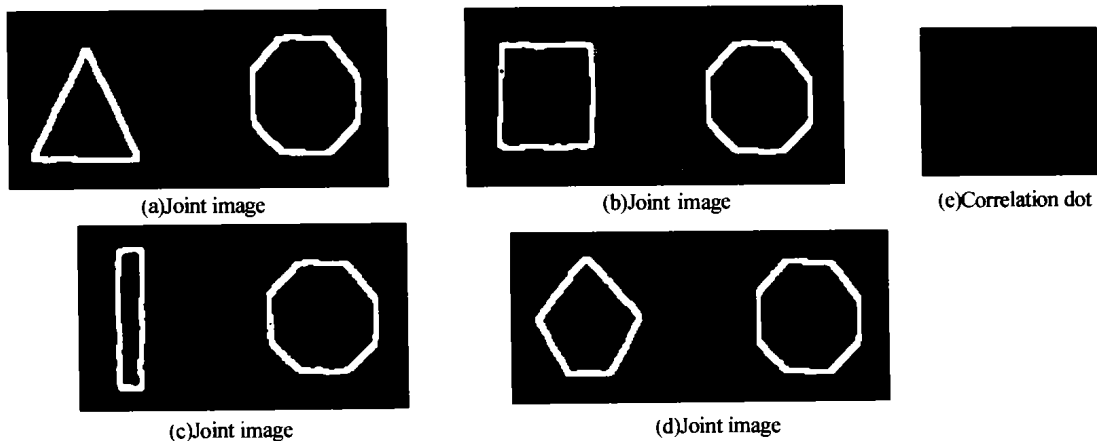


图 6 八角形不同基本形状识别实验结果  
Fig. 6 Recognition experiment result of the unsame basic shape of octagon

## 4 结论

每选取一种结构核,就至少有三种边界供选取,如果以菱形、方形、圆形为结构核,就至少有九种边界供选取,且边界的宽度和形状随结构核的不同而有所变化,从而使边缘检测的弹性大为增加,当 JTC 硬件系统中的激光器功率较低、空间光调制器的透过率一定时,可采用较宽的边界以增加谱面光强,但相关鉴别率一般要减小;当 JTC 硬件系统中的激光器功率较高、空间光调制器的透过率一定时,采用较窄的边界就可满足谱面光强要求,相关鉴别率一般要增大,从而通过调整结构核,可使相关器既有足够的光强,又有较高的鉴别率. 由于结构核的大小和形态学边界种类对谱面光强和鉴别率具有调节作用,因而用形态学方法进行边缘检测较传统方法有更大的灵活性,对改善 JTC 的识别效果作用明显.

## 参考文献

- 1 崔屹. 数学形态学方法及应用. 北京: 科学出版社, 2000. 56 ~ 84  
Cui Y. Method and Application of Mathematical Morphology. Beijing: Science Publication House, 2000. 56 ~ 84
- 2 Zhang S, Karim M A. Morphologically preprocessed joint transform correlation. *App Opt*, 1999, **38**(11): 2182 ~ 2188
- 3 赵健, 杨川, 俞卞章. 多重分形分析图像边缘提取算法. 光子学报, 2003, **32**(1): 61 ~ 65  
Zhao J, Yang C, Yu B Z. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 61 ~ 65
- 4 李春, 安毓英, 曾晓东. 一种新的相位编码幅值调节联合变换相关器. 光子学报, 2003, **32**(3): 327 ~ 332  
Li C, An Y Y, Zeng X D. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(3): 327 ~ 332

## Research on Adjustability of Morphological Processing of Joint Transform Correlator

Yu Yang Zhang Xuping

*Institute of Optical Communication Engineering, Nanjing University, NanJing 210093*

Received date: 2003-12-30

**Abstract** In order to improve recognition effect of joint transform correlator (JTC), morphological algorithm is introduced to detect image edge in the input plane. Width adjustability of morphological edge detection is put forward to improve JTC recognition effect. Experiment indicates that the modified algorithm makes JTC have enough light intensity and higher discrimination capability.

**Keywords** Acquisition/tracking/pointing (ATP); Optical tracking; Joint transform correlator; Mathematical morphology



**Yu Yang** was born on May 4, 1966 in Nanjing, China. He received the Doctor degree in Southeast University in Nanjing in 2002. He is currently a Postdoctor in the Institute of Optical Communication Engineering of Nanjing University. His research area includes optical tracking, acquisition/tracking/pointing (ATP), joint transform correlator (JTC), mathematical morphology.