

# 单目视觉目标距离测量方法研究\*

张法全<sup>1,2</sup>, 路立平<sup>1</sup>, 沈满德<sup>2</sup>, 陈良益<sup>2</sup>, 崔光照<sup>1</sup>

(1 郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 郑州 450002)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

**摘 要:**提出了一种利用单目视觉测量目标距离的方法. 当目标与光学系统的距离变化时, 其共轭像面的位置也发生相应的变化, 而摄像头的 CCD 是固定的, 因此在 CCD 上得到的是模糊度不同的图像. 利用小波变换对得到的图像进行处理, 检测模糊图像边缘的宽度, 再利用三次样条插值运算计算出目标至光学系统的实际距离. 实验结果表明该方法是可行的.

**关键词:**图像处理; 单目测距; 边缘提取; 模糊度; 小波变换; 样条插值

**中图分类号:** TP39.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)02-453-4

## 0 引言

单目视觉测量是指仅利用一台数码相机或摄像机等视觉传感器, 拍摄单张图像来进行测量工作. 该方法结构简单, 操作方便, 避免了立体视觉中的视场小、立体匹配难等问题, 因而越来越受到人们的重视. 常用的方法中, 几何相似法需要对摄像系统的位置、角度等精确测量, 几何形状约束法对目标几何形状有要求, 结构光法和激光辅助测距法需要激光作辅助工具, 辅助棒法也需要辅助工具, 几何光学法分聚集法和离焦法, 聚集法硬件复杂且昂贵、处理速度慢, 离焦法中离焦模型的准确标定是难点<sup>[1-2]</sup>.

单目视觉系统中, 目标与镜头的距离不同, 在 CCD 像面上成的像大小不同, 无法根据像的大小判断原目标的实际大小, 必须把像的大小和目标与镜头的距离结合起来, 才能判断目标的实际大小. 当目标的实际大小未知时, 无法仅仅根据像的大小判断目标的距离. 由于摄像头的 CCD 像面位置固定, 对于不在对准平面上的空间物点, 其像在 CCD 上会产生弥散斑, 从而空间目标在 CCD 上成像后会变得模糊, 目标与镜头的距离不同, 得到的图像的模糊度不同. 本文据此提出了一种全新的方法, 利用图像处理算法, 检测图像的模糊度, 从而判断目标的距离, 实现了单目视觉测量目标的距离.

## 1 光学依据

由高斯公式可知, 当焦距为定值, 物距  $l$  变化时, 相应的像距  $l'$  也随之变化. 也就是说, 当目标靠近或远离镜头时, 其共轭像面相应地远离或靠近镜头.

摄像头的光学系统把空间中的物点成像在一个像平面上, 形成平面上的空间像. 如图 1,  $A'B'$  为  $AB$  的像平面, 称为景像平面,  $AB$  称为对准平面, 点  $C$  为空间的任意点, 由高斯公式可计算出点  $C'$  为它的共轭像点. 由点  $C$  发出的充满入射光瞳的光束, 在景像平面上形成一个弥散斑  $a'b'$ . 由物理光学中的衍射现象可知, 该弥散斑近似艾里斑, 光斑的强度在中心点有极大值, 然后逐渐减弱<sup>[3-4]</sup>.

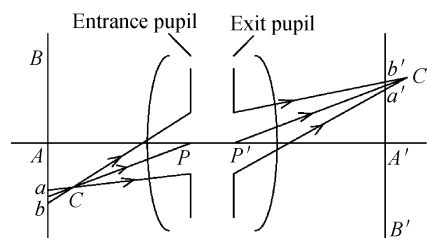


图 1 光学系统的空间像  
Fig. 1 Spatial image of optical system

空间目标可以看成由很多点物组成, 经过摄像头的光学系统后, 在 CCD 像面上成了一个由无数衍射光斑组合成的模糊图像. 在边缘处由于光斑强度不同, 图像的灰度值不同, 为图像处理检测图像的模糊度提供了条件<sup>[5]</sup>.

## 2 实现步骤

实现单目视觉测距, 需要完成三个环节的工作.

### 2.1 调焦

由高斯公式可知, 对于距离镜头较远的目标, 前后移动引起共轭像面位置的变化很小, 因此方法主要针对目标接近镜头时的情形. 选用可调焦的摄像头, 调整到对某一监视位置  $P$  成清晰像, 则在  $P$  点与镜头之间将形成模糊的像. 目标在其间的位置不同, 形成的图像的模糊度不同.

### 2.2 判断图像的模糊度

根据图像的模糊度, 可以得出原目标与镜头的距离. 图像的模糊度有不同的定义, 本文用目标图像

\* 中国科学院知识创新工程国防创新重大基金和郑州轻工业学院博士基金资助

Tel: 029-88887854-001 Email: zhangfq@opt.ac.cn

收稿日期: 2007-09-12

外轮廓边缘的宽度来衡量。

图像边缘提取的方法很多,如 SOBEL 边缘检测, LAPLACE 算子, Canny 算子, 小波变换等. 由于小波变换有极强的“变焦”能力, 有数学显微镜的美誉, 适当地选择小波基, 可以使小波变换在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力, 有利于检测信号的瞬态或奇异点, 小波变换的计算复杂度较低, 抗噪能力强, 因此选取小波变换作图像的边缘检测<sup>[6]</sup>.

### 2.3 插值运算

对于特定的光学系统, 由于待检测的位置是连续的, 有无穷多个, 不可能事先得到所有位置的图像, 只能得到某几个位置的图像, 分别检测它们的边缘宽度, 然后使用插值运算, 得到每个位置图像的边缘宽度. 插值运算的方法有很多, 如线性插值、多项式插值、样条插值等, 三次样条函数是分段三次曲线并接而成, 在连续点处二阶导数连续, 由于待检测的位置是连续性的, 摄像头得到的图像的边缘宽度也应是连续变化的, 不会产生突变, 三次样条插值结果更符合连续特性, 因此选取三次样条插值运算<sup>[7]</sup>.

## 3 基于小波变换的图像边缘检测及宽度计算

B 样条小波是基于样条的小波, 是一个平滑函数, 有很高的正则性, 且便于编程上机计算. B 样条 ( $m \geq 3$ ) 可以很好地近似 Gauss 函数, 因此选择 B 样条 ( $m \geq 3$ ) 的一阶微分为小波函数. B 样条函数具有偶对称性, 小波函数具有奇对称性, 并且小波函数和其尺度函数是正交的. 三次 B 样条小波相应的低通和高通滤波器的系数列于表 1. 此算法的滤波器相当简单, 有限长度短<sup>[8]</sup>.

表 1 三次样条小波滤波器系数

$n$	-2	-1	0	1	2
$h_n$	0.062 5	0.25	0.375	0.25	0.062 5
$g_n$	0	0	-2	2	0

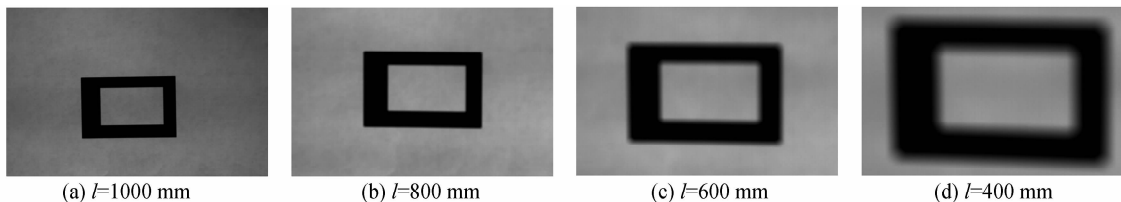


图 3 不同距离时的图像

Fig. 3 Images for various distances

由图 3 可以清楚地看出, 当目标逐渐靠近镜头时, 在 CCD 上成的图像越来越大, 图像的边缘越来越模糊. 表 1 列出的三次 B 样条小波滤波器系数对

利用样条小波检测图像边缘的计算流程, 如图 2.

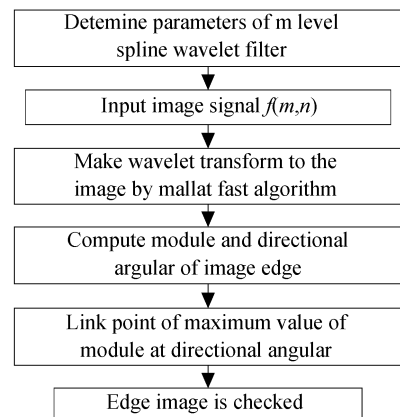


图 2 样条小波边缘检测流程

Fig. 2 Flowchart of edge detection with spline wavelet

边缘提取中使用自适应阈值, 根据小波变换系数的最大值以及系数的梯度合理确定阈值. 得到边缘图像后, 利用数学形态学算法, 分别进行一次膨胀和腐蚀算法, 消除图像中可能存在的微小的空洞. 对边缘图像进行分割, 获取外轮廓边缘, 计算其面积和周长, 图像边缘宽度定义为

$$\omega = \frac{s}{g} \times 2$$

式中  $s$  为外轮廓边缘的面积,  $g$  为外轮廓边缘的周长, 单位均为像素点数.

## 4 实例

用一具体的摄像头对一幅图像进行采集, 实现上述步骤. 镜头的参量为:  $f=25$  mm,  $F=4$ . 式中,  $f$  为焦距,  $F$  为光圈.

把镜头调整到当目标在 1 000 mm 位置时 CCD 成清晰像, 然后依次把目标移动到距离镜头 900 mm、800 mm、700 mm、600 mm、500 mm、400 mm、300 mm 的位置, 分别采集图像. 选择 1 000 mm、800 mm、600 mm、400 mm 位置的图像示于图 3 中, 用  $l$  表示目标到镜头的距离.

得到的图像进行边缘提取, 得到边缘图像如图 4.

表 2 是各边缘图像的面积  $s$  和周长  $g$ , 以及计算出的边缘宽度  $\omega$ , 三个参量的单位均是像素点数.

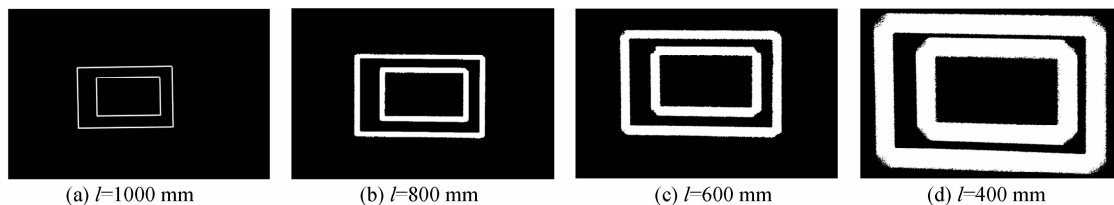


图 4 与图 3 相对应的各图的边缘图像  
Fig. 4 Edge images corresponding to all images in Fig. 3

表 2 各个距离对应图像的参量

距离 $l/\text{mm}$	1 000	900	800	700	600	500	400	300
面积( $s$ )	3 780	11 303	26 312	47 076	75 289	120 594	191 165	271 002
周长( $g$ )	2 986	3 303	3 685	4 187	4 609	5 512	6 522	7 890
宽度( $w$ )	2.53	6.84	14.28	22.49	32.67	43.76	58.62	68.70

描述三次样条插值运算结果的多项式是

$$S(x) = M_j \frac{(x_{j+1} - x)^3}{6h_j} + M_{j+1} \frac{(x - x_j)^3}{6h_j} + (y_j - \frac{M_j h_j^2}{6}) \frac{x_{j+1} - x}{h_j} + (y_{j+1} - \frac{M_{j+1} h_j^2}{6}) \frac{x - x_j}{h_j}$$

$$(j = 0, 1, \dots, n - 1) \quad (1)$$

式中  $x_j$  是目标与镜头的距离,  $y_j$  是表 2 中求得的边缘宽度,  $h_j = x_{j+1} - x_j$ ,  $M_j$  样条插值运算求出的系数, 各个参量的具体数值见表 3, 插值运算结果见图 5.

当目标处于距离镜头 300 mm~1 000 mm 之间的任意位置时, 可以根据得到图像的模糊度, 即图像边缘的宽度, 代入式(1)中求出目标与镜头的距离.

如果需要确定其它位置时, 可以进行扩展插值.

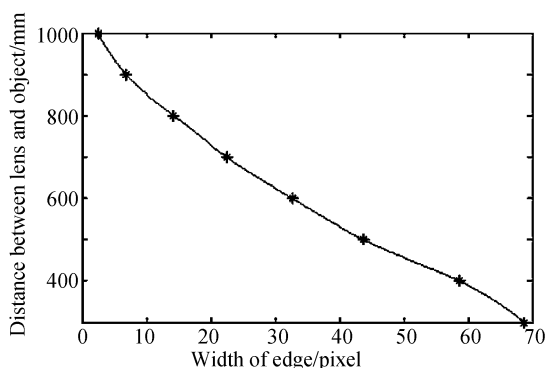


图 5 三次样条插值运算结果  
Fig. 5 Results of cubic spline interpolation

表 3 插值运算多项式参量表

$j$	0	1	2	3	4	5	6	7
$x_j/\text{mm}$	300	400	500	600	700	800	900	1 000
$y_j$	68.70	58.62	43.76	32.67	22.49	14.28	6.84	2.53
$h_j$	100	100	100	100	100	100	100	100
$M_j (\times 1e^{-3})$	0	-0.926	0.838	-0.163	0.361	-0.098	0.494	0

## 5 准确度分析

图像边缘检测是实现距离测量的重要环节, 因

此主要讨论边缘检测结果对测量准确度的影响. 在实验图像中选取 10 行实际边缘灰度数据, 统计后得到的边缘宽度结果见表 4.

表 4 实际边缘灰度值统计结果

距离 $l/\text{mm}$	1 000	900	800	700	600	500	400	300
宽度 $w$	2.7	6.8	13.5	24.1	34.2	42.8	56.3	70.1

与表 3 中数据比较, 最大相对误差为 6.72%. 由于插值算法中, 数据点密度增加时, 插值误差明显减小, 因此可以采用增加取样位置的方法, 减小插值误差. 如果图像处理算法有足够的稳健性, 经过样条插值算法后, 准确度可以进一步提高.

## 6 结论

光学系统的焦距确定后, 通过对获得图像的模糊度检测, 得到图像边缘宽度, 由样条插值运算计算出目标至镜头的实际距离. 不需要借助任何辅助工具, 也不需要目标有任何特殊要求, 是这种方法最大的优点. 由于光学系统对较远处的目标能够成清

晰的图像, 因此本方法主要针对目标距镜头较近的情形. 在单目视觉系统中, 需要对目标的实际大小进行估算时, 结合得到的图像, 利用本方法可以很好地实现该功能.

### 参考文献

[1] HUANG Gui-ping, LI Guang-yun, WANG Bao-feng, et al. Evolution for monocular vision measurement [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2004, **25**(04): 314-317.  
黄桂平, 李广云, 王保丰, 等. 单目视觉测量技术研究[J]. *计量学报*, 2004, **25**(04): 314-317.

[2] SUBBARO M, SURYA G. Depth from defocus: a spatial domain approach[J]. *Int J Computer Vision*, 1994, **13**(3): 271-294.

- [3] LIN Hwei-yung, CHANG Chia-hong. Depth recovery from motion blurred images[C]. 18th *International Conference on Pattern Recognition*, 2006, **1**: 135-138.
- [4] YU Dao-yin, TAN Heng-ying. Engineering optics[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2005.  
郁道银, 谈恒英. 工程光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] ZHAO Xin, SUN Ming-zhu, YU Bin. Extracting depth information from microscopic image of micro manipulator[C]. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, August, 22 - 26, 2004, Shenyang, China.
- [6] MALLAT S G. Characterization of signals from multiscales [R]. Edges. NYU, Computer Science Tech. Report, 1991: 374-398.
- [7] LI Qing-yang, WANG Neng-chao, YI Da-yi. Numerical analysis [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2004.  
李庆扬, 王能超, 易大义. 数值分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004.
- [8] YAN Wen-hao, MA Cai-wen, ZHANG Ming, *et al.* A new way for image fusion based on wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(4): 638-640.  
燕文浩, 马彩文, 张鸣, 等. 基于小波变换的图像融合新算法 [J]. 光子学报, 2006, **35**(4): 638-640.

## Measurement Method to Object Distances by Monocular Vision

ZHANG Fa-quan<sup>1,2</sup>, LU Li-ping<sup>1</sup>, SHEN Man-de<sup>2</sup>, CHEN Liang-yi<sup>2</sup>, CUI Guang-zhao<sup>1</sup>

(1 School of Electrics & Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

(2 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

Received date: 2007-08-27

**Abstract:** A method to measure object distance by monocular vision was proposed. Position of one object's conjugate image plane varied when the distance between it and the optical system was changed. The image on CCD was out of focus as a result of fixed CCD in cameras. Blur extent of images was scaled by width of image edge. Images were processed by wavelet transform and widths of blurred image edge were detected. Real distance between object and optical system was calculated through cubic spline interpolation. The measurement method to object distance by monocular vision was realized. Results show that the method is feasible.

**Key words:** Image processing; Monocular ranging; Edge extract; Blur extent; Wavelet transform; Spline interpolation



**ZHANG Fa-quan** was born in 1969. He graduated from Tianjin University in 1991 with the B. S. degree. In 2003, he obtained the M. S. degree from Zhengzhou University. Now his main research interests focus on machine vision, information processing and pattern recognition.