

# 测头成像视觉坐标测量系统中 特征点成像中心获取

张之江 车仁生 黄庆成 林伟国  
(哈尔滨工业大学精密仪器系 哈尔滨 150001)

**摘要** 介绍了测头成像视觉坐标测量系统中多特征点的图像获取及其多目标分割,提出了利用双线性插值的质心算法来获得特征点成像中心的位置,并从误差分析角度证明了通过插值增加特征点图像采样点数可以提高质心算法精度。通过试验验证了所提算法的正确性和可行性。

**关键词** 视觉坐标测量 质心算法 双线性插值

## 1 引言

视觉坐标测量是近年来形成的新测量技术,其实质是模仿人眼视觉系统,将被测物成像,通过从图像中提取有用信息来达到测量的目的。因此当视觉坐标测量系统组成以后,对图像的处理和分析就成了系统能否进行准确测量的关键。

本文所提及的测头成像视觉坐标测量系统是通过圆形高亮点(特征点)的成像来实现对被测目标的测量<sup>[1]</sup>。因此测量系统中所需解决的主要问题之一就是确定特征点的成像中心。对于特征点成像中心的确定,方法一是通过检测特征点成像边缘<sup>[2,5]</sup>,然后进行拟合并计算出其成像中心。这一方法的精度主要取决于特征点边缘的提取,其不足在于只利用了特征点的成像边缘点,而忽略了整个特征点成像面上的其它点的作用,因此其计算精度不是很高。笔者前期的实验和计算验证了该方法对特征点成像中心的检测精度不能满足本测量系统的要求。方法二是利用质心算法计算成像中心,对于本系统圆形特征点,其检测精度高于前者。为了提高质心算法的精度,为此本文提出了利用双线性插值的质心算法。

## 2 特征点图像获取及多特征点目标分割

为了进行特征点图像质心计算,首先要实现特征点与背景分离和多个特征点之间的分割。

设原始离散图像为  $\{f(i, j)\}$ , 其直方图如图 1, 若灰度级未充分利用, 即未用到满灰度级 (256 级), 如图 1 中曲线 I, 则需进行直方图调整。调整后图像为<sup>[6]</sup> (如图 1 中曲线

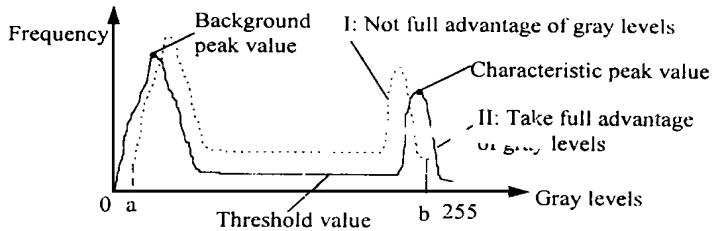


Fig.1 Histogram of image  $f(i, j)$

$$f(i, j) = A + Bf(i, j)$$

其中  $A, B$  为调整常数。

由于系统中特征点为圆形高亮点, 且背景灰度均匀, 因此图像  $f(i, j)$  直方图为标准双峰图 (见图 1), 适当选取背景峰和特征点峰之间谷值为阈值, 便可实现特征点从整幅图像中的提取。

多目标分割和识别是视觉测量中的重要问题之一<sup>[7, 8]</sup>。在测头成像视觉坐标测量系统中, 特征点的形状及数量都固定不变, 根据这一特点, 本文在视觉模型相关神经激活理论设计振子神经网络方法<sup>[9]</sup>基础上, 将其分割过程简化, 即采用某一特征点上某一像素 (基神经元), 在某一固定范围内激活该特征点上的其它像素 (振子神经元) 的方法, 实现了多特征点的准确分割。

### 3 特征点图像双线性插值质心算法

#### 3.1 质心坐标

质心坐标计算公式如下<sup>[10]</sup>:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^n p(x_i, y_i)} \tag{1}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i p(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^n p(x_i, y_i)} \tag{2}$$

其中:  $\bar{x}, \bar{y}$  为质心坐标;

$n$  为图像占据的像素个数, 且  $n$

2;

$(x_i, y_i)$  为第  $i$  个像素的坐标;

$p(x_i, y_i)$  为第  $i$  个像素的灰度

值。

质心算法特别适用于对称图像的中心计算, 算法的优点在于充分利用了对称图像中的每一点的灰度

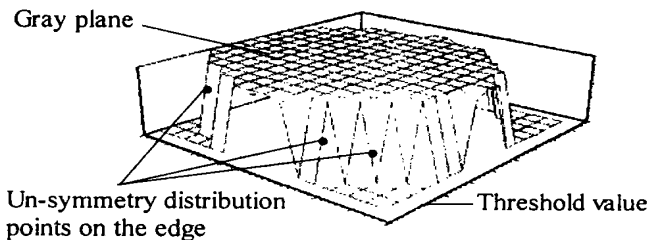


Fig.2 Characteristic point gray distribution

值,因此具有较高的质心坐标计算精度。

在测头成像视觉坐标的测量系统中,特征点的成像灰度值为一“屋顶”状,为阶跃边缘(如图2)。在实际选取阈值截取时,必须会将阶跃边缘上非均匀分布点截取,这就对质心坐标计算产生一定的影响,为进一步提高质心坐标计算的精度和稳定性,在此提出了利用插值增加计算点提高质心坐标计算精度和稳定性的方法。

### 3.2 采样点数对质心算法精度的影响

首先讨论(1)、(2)式中 $n$ 值的变化对计算精度的影响。

对(1)式微分得:

$$d\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \bar{x}}{\partial p(x_i, y_i)} \Delta p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \bar{x}}{\partial x_i} \Delta x_i$$

经计算化简得:

$$d\bar{x} = \sum_{i=1}^n A \Delta p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^n B \Delta x_i \quad (3)$$

其中:

$$A = \frac{\sum_{j=1}^n x_i p(x_i, y_i) - \sum_{j=1}^n x_j p(x_j, y_j)}{[\sum_{j=1}^n p(x_j, y_j)]^2}$$

$$B = \frac{\sum_{j=1}^n p(x_i, y_i)}{\sum_{j=1}^n p(x_j, y_j)}$$

式(3)中:

设 $\Delta p(x_i, y_i)$ 及 $\Delta x_i$ 为 $p(x_i, y_i)$ 及 $x_i$ 的标准差。

根据特征点成像的实际情况,大多数像素的灰度值为同一值,极少数灰度值略小于这一值,因此可设:

$$p(x^1, y^1) = p(x^2, y^2) = \dots = p(x^n, y^n) = p$$

并取:

$$\Delta p = \Delta p(x^1, y^1) = \Delta p(x^2, y^2) = \dots = \Delta p(x^n, y^n)$$

$$\Delta x = \Delta x_1 = \Delta x_2 = \dots = \Delta x_n$$

则由式(3) $\bar{x}$ 的标准差 $u_x$ 为:

$$u_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n A^2 \Delta p^2 + \sum_{i=1}^n B^2 \Delta x^2} \quad (4)$$

经证明可知: $n$ 值增大( $n \rightarrow \infty$ ), $\bar{x}$ 的标准差 $u_x$ 减小。

同理当 $n$ 值增大时, $\bar{y}$ 的标准差 $u_y$ 亦减小,即当 $n$ 值增大时质心坐标计算精度提高。因此可以利用插值增加计算点数来提高质心坐标计算精度。

### 3.3 双线性插值质心算法

如图3示: $(u, v)$ 点灰度值通过插值求得。先根据 $f(i, j)$ 及 $f(i+1, j)$ 插值得:

$$f(u, j) = f(i, j) + \alpha[f(i+1, j) - f(i, j)]$$

再根据 $f(i, j+1)$ 及 $f(i+1, j+1)$ 插值得:

$$f(u, j+1) = f(i, j+1) + \alpha[f(i+1, j+1) - f(i, j+1)]$$

最后根据  $f(u, j)$  及  $f(u, j+1)$  插值得:

$$f(u, v) = f(i, j)(1 - \alpha)(1 - \beta) + f(i+1, j)\alpha(1 - \beta) + f(i, j+1)(1 - \alpha)\beta + f(i+1, j+1)\alpha\beta$$

在实际计算时, 若对任一  $u, v$  值, 规定  $[u], [v]$  表示其值不超过  $u, v$  的最大整数, 则上式中:

$$\begin{aligned} i &= [u] \\ j &= [v] \\ \alpha &= u - [u] \\ \beta &= v - [v] \end{aligned}$$

由此可以得出经插值后质心坐标计算公式如下:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^m x_i f(u_i, v_i)}{\sum_{i=1}^n p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^m f(u_i, v_i)} \quad (5)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^m y_i f(u_i, v_i)}{\sum_{i=1}^n p(x_i, y_i) + \sum_{i=1}^m f(u_i, v_i)} \quad (6)$$

其中:  $m$  为插值点数

需要注意的是: 在进行插值时, 必须对称插值才能提高质心计算精度。

## 4 实验结果分析

系统采用的 CCD 摄像机为 MTV-1881EX 型, 镜头焦距  $f = 8\text{mm}$ , CCD 像面像素为 795 (H)  $\times$  596 (V), 灰度级为 256 级。

### 4.1 双线性插值质心算法实验验证

实验时, 目标测头距 CCD 摄像机距离约为 1000mm, 目标测头有五个特征点, 孔径

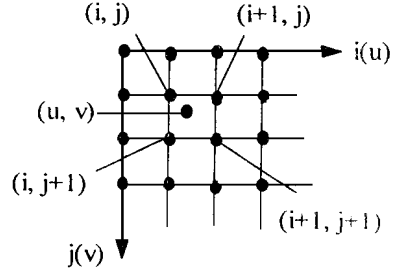


Fig. 3 Bilinear interpolation



Fig. 4 Image of characteristic points

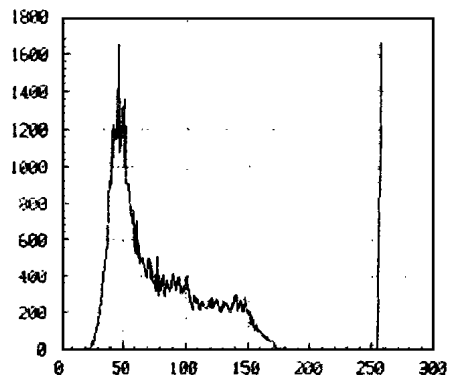


Fig. 5 Histogram of characteristic points

$\varphi 12\text{mm}$ , 五个特征点中心距为等间距, 误差 $< 0.05\text{mm}$ , 五个特征点成像如图 4。图 5 为成像的直方图。

表 1 给出了利用双线性插值质心算法计算出的五个特征点的四个中心距的标准差  $\sigma_{ic}$  和不使用插值的质心算法计算出的四个中心距的标准差  $\sigma_{in}$ 。各中心距标准差是分别在时刻 1 和时刻 2 连续进行四组测试, 每组成像 10 次求得的。

**Table 1 Experiment of centroid arithmetic( pixel)**

evaluation programs		experiment result							
		time 1				time2			
		group	group	group	group	group	group	group	group
standard errors of four center distance using centroid arithmetic	$\sigma_{1c}$	0.0159	0.0229	0.0054	0.0154	0.0259	0.0274	0.0200	0.0269
	$\sigma_{2c}$	0.0057	0.0104	0.0079	0.0082	0.0125	0.0146	0.0139	0.0147
	$\sigma_{3c}$	0.0118	0.0238	0.0213	0.0169	0.0115	0.0302	0.0124	0.0136
	$\sigma_{4c}$	0.0118	0.0237	0.0198	0.0199	0.0113	0.0245	0.0212	0.0117
standard errors of four center distance not using centroid arithmetic	$\sigma_{1n}$	0.0175	0.0243	0.0063	0.0162	0.0271	0.0284	0.0211	0.0283
	$\sigma_{2n}$	0.0067	0.0116	0.0092	0.0091	0.0137	0.0159	0.0153	0.0155
	$\sigma_{3n}$	0.0123	0.0246	0.0228	0.0181	0.0126	0.0323	0.0132	0.0148
	$\sigma_{4n}$	0.0122	0.0249	0.0210	0.0211	0.0122	0.0257	0.0222	0.0130

由表 1 可见, 质心插值计算的中心距标准差  $\sigma_{ic}$  小于质心非插值计算的中心距标准差  $\sigma_{in}$ , 即前者质心计算精度高于后者。表中不同中心距的、同一时刻同一中心距不同组别的、以及不同时刻的中心距的标准差都有一定的分散, 但插值计算时最大的  $\sigma_{ic}$  为 0.03 像素, 据此, 插值质心算法可望实现 CCD 像素 30 细分。

#### 4.2 特征点大小对质心计算的影响

表 2 给出了特征点大小为  $\varphi 12\text{mm}$  和  $\varphi 8\text{mm}$  时 8 组实验的中心距的标准差值, 每组实验均成像 10 次。

**Table 2 The effect of size of characteristic points(pixel)**

evaluation program	experiment groups							
	1	2	3	4	5	6	7	8
standard errors of center distance with characteristic point diameter $\varphi 12\text{mm}$ (using centroid arithmetic)	0.0186	0.0111	0.0152	0.0259	0.0257	0.0297	0.0239	0.0249
standard errors of center distance with characteristic point diameter $\varphi 8\text{mm}$ (using centroid arithmetic)	0.0254	0.0239	0.0298	0.0303	0.0301	0.0321	0.0246	0.0311
Standard errors of center distance with characteristic point diameter $\varphi 8\text{mm}$ (not using centroid arithmetic)	0.0389	0.0312	0.0439	0.0459	0.0447	0.0453	0.0331	0.0442

由表 2 可见, 发光面大的特征点质心计算精度相对发光面小的特征点的质心计算精度高, 从而也验证了增加计算点数可以提高质心计算精度的论断。需要注意: 表 2 中对  $\varphi 8\text{mm}$  特征点插值计算比非插值计算, 对提高质心计算精度效果显著, 但表 1 中, 当特征点较大为  $\varphi 12\text{mm}$

时, 插值计算比非插值计算虽有改善, 但不显著, 这表明计算点数  $n$  值达到一定数值后, 再增加计算点数对质心计算精度的改善将变得缓慢。

#### 4.3 灰度阈值选取对质心计算的影响

表 3 给出了选取不同阈值时对特征点质心计算的影响。

Table 3 The effect of threshold value(pixel)

evaluation program	threshold value				
	230	235	240	245	250
standard errors of center distance	0.029	0.035	0.025	0.027	0.049

由表 3 可见, 灰度阈值变化对特征点中心位置的确定有一定影响, 根据特征点的发光情况适当选取灰度阈值可以提高特征点中心确定的精度。

## 5 结 论

(1) 对于对称图形, 尤其是中心对称图形, 利用质心计算求取成像中心具有较高的精度。利用双线性插值进行特征点质心计算, 可望实现对 CCD 像素 30 细分。

(2) 增加质心计算点数, 可以提高质心计算精度, 本文从理论上对此进行了证明, 并进行了实验验证。

(3) 用不同阈值截取对确定特征点的成像中心有一定的影响, 如何在变化的背景情况下选取适当的阈值需要进一步深入研究。

### 参 考 文 献

- 1 Zhang Zhijiang, Che Rensheng, etc. Vision coordinate measuring machine. Proceedings of Asia-pacific Symposium on Instrumentation. 1997: 28 ~ 32
- 2 Jensen Kris, Anastassiou Dimitris. Subpixel edge localization and the interpolation of still image. IEEE Transactions on Image Processing. 1995, 4(3): 285 ~ 295
- 3 Tabatabai Ali J, Mttchell O Robert. Edge location to subpixel values in digital imagery. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1984. PAMI- 6(2): 188 ~ 201
- 4 Li Yushang, Young Tzay Y. Subpixel edge detection and estimation with a microprocessor controlled line scan camera. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1989. 35(1): 105 ~ 107
- 5 Lyvers Edward P, Mitchell Owen Robert. Edge Location to subpixel measurements using a moment-based edge operator. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1989. 11(12): 1293 ~ 1307
- 6 周孝宽, 曹晓光, 陈建革等. 实用微机图像处理. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994: 15 ~ 45
- 7 Reitboeck Herbert J, Stoecker Michael, Hahn Chrisoph. Object separation in dynamic neural networks. IEEE International Conference on Neural networks, 1993, 2: 638 ~ 641
- 8 Ch von der Malsburg, Buhmann J. Sensory segmentation with coupled neural oscillators. Biol Cybern., 1992, 67: 233 ~ 242
- 9 Wang D L, Terman D. Locally excitatory globally inhibitory oscillators networks: Theory and Application to pattern Segmentation. IEEE International Conference on Neural Network, 1994, 2: 945 ~ 950
- 10 王庆有, 孙学珠. CCD 应用技术. 天津: 天津大学出版社, 1993: 142 ~ 143

## Centroid of Characteristic Point Image Obtain in Probe Imaging Vision Coordinate Measuring System

ZHANG Zhi-Jiang, CHE Ren-Sheng, HUANG Qing-Cheng, LIN Wei-Guo  
(*Dep t. of Precision Instruments, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

### Abstract

The study introduces characteristic point image obtain in probe imaging vision coordinate measuring system, proposes centroid algorithm using bilinear interpolation and proves it can improve accuracy of centroid algorithm by increase points. The experiments have show the validity and feasibility of the arithmetic.

**Key words:** Vision coordinate measurement; Centroid algorithm; Bilinear interpolation

张之江 男, 1968年9月生, 1991年毕业于哈尔滨科学技术大学精密仪器专业, 获工学学士。1996年毕业于哈尔滨工业大学精密仪器专业, 获工学硕士。现哈尔滨工业大学精密仪器专业博士研究生。