

## 二维图象特征点快速提取算法

管业鹏 童林夙

(东南大学电子工程系博士后流动站, 南京 210096)

**摘要** 三维立体重建中的主要难题之一就是如何有效选择兴趣点, 虽在文献[2]~[5]中提出了各种算法, 但這些方法计算量大, 且不能有效抑制干扰噪声, 对光照条件的要求也十分苛刻. 基于此, 提出了一种二维图象特征点快速提取方法. 通过与文献[2]、[4]中方法就特征点识别与提取结果的实验对比, 证实了该算法具有抗干扰能力强, 对外界光照条件适应性强及算法简单、运行速度快等显著特点. 通过对一具有已知三维坐标的标准件的三维重建, 证实了该算法的有效性, 采用该算法所提取的特征点具有较高的准确性.

**关键词** 立体重建 灰度 特征点 提取 噪声

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)12-1296-06

### A Fast Algorithm for Extracting Feature Point in 2-Dimensional Image

GUAN Ye-peng, TONG Lin-su

(Department of Electronic Engineering Postdoctoral Station, Southeast University, Nanjing 210096)

**Abstract** One of the main difficult problems is how to choose interesting point efficiently in 3-dimensional stereo restoration. Although different algorithms are put forward in [2, 3, 4, 5], these methods cannot restrain disturbance-noise availablely and are very rigorous on the illumination with large calculation. Based on these, a kind of method to fast extract feature point in 2-dimensional image is presented in this paper. It is proved that the algorithm mentioned in this paper has following remarkable advantages such as strong anti-jamming capacity, powerful adaptability to outside illumination, simplicity and fast speed of computation, etc. after comparing the result of this algorithm with that of the algorithm in [2, 4] on extracting feature point by experiment. Moreover, it is testified that this kind of algorithm is valid after 3-dimensional restoration of standard-piece with given 3-dimensional coordination. The accuracy of feature point extracted by the algorithm is high.

**Keywords** Stereo restoration, Gray, Feature point, Extracting, Noise

## 0 引言

立体视觉是计算机被动测距方法中, 最重要的距离感知技术, 可在多种条件下灵活地测量景物的三维立体信息, 在非接触测量中占有越来越重要的位置. 实现三维立体再现的主要难题之一就是选择兴趣点. 一种典型的兴趣点选择方法是基于灰度值的局部最大变化量方法. 但这些点经常出现在拐角处或不满足平滑约束条件的表面不连续处<sup>[1]</sup>. 文献[2]~[5]介绍了特征点识别与提取方法, 其中, 文献[2]中提出的兴

趣算子方法, 通过计算每个像素在水平、垂直及对角 4 个不同方向上与其相邻像素的平方和, 来确定特征点图象, 再通过阈值抑制, 确定特征点; 而文献[3]~[5]中所提方法, 则是通过每个像素在 4 个不同方向(水平、垂直及对角)上与其相邻像素的差值运算, 确定特征点图象, 然后通过阈值抑制, 确定特征点. 这些方法的共同点是通过对二维图象中的每个像素作水平、垂直及对角 4 个方向的相关运算来确定特征点. 其计算量大, 对干扰噪声的抑制及外界光照条件的适应性也较差. 基于此, 提出了一种新的二维图象特征点提取算法, 并与文献[2]、[4]中所提方法, 就特征点

识别与提取结果作了对比实验, 结果证实本文所提算法简单、有效, 且实用, 对图象中的干扰噪声有较强的抑制作用, 对外界光照条件也具有很强的适应性, 不受外界光照条件的影响。

## 1 Barnard“兴趣算子”及 Sobel 算子方法回顾

### (1) Barnard“兴趣算子”方法

在图象  $\{f(x, y), x=0, 1, \dots, M-1, y=0, 1, \dots, N-1\}$  中, 取互不重叠的处理窗口  $W_{m \times n}$ ,  $m, n$  分别表示窗口的行和列包含的像素数。对每一个位于  $W_{m \times n}$  中的像素  $f(x, y)$ , 取水平、垂直、左对角和右对角 4 个不同的方向。求这个像素在每个方向上与相邻像素灰度差的平方和。取算子

$$t(x, y) = \min\{H, V, L, R\} \quad (1)$$

其中,

$$H = [f(x, y) - f(x-1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x+1, y)]^2 \quad (2)$$

$$V = [f(x, y) - f(x, y-1)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+1)]^2 \quad (3)$$

$$L = [f(x, y) - f(x+1, y-1)]^2 + [f(x, y) - f(x-1, y+1)]^2 \quad (4)$$

$$R = [f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2 + [f(x, y) - f(x-1, y-1)]^2 \quad (5)$$

在  $W_{m \times n}$  内, 求坐标  $(x', y')$ , 使得

$$t(x', y') = \max_{x, y \in W_{m \times n}} \{t(x, y)\} \quad (6)$$

在  $W_{m \times n}$  窗口内取得的像素位置  $(x', y')$  具有这样的特点: 以  $(x', y')$  为中心, 与它的 4 个方向邻点像素的灰度差都很大。

### (2) Sobel 算子方法

对数字图象  $\{f(i, j)\}$  的每个像素, 考察其上、下、左、右邻点灰度的加权差, 则与之接近的邻点的权大。据此, Sobel 算子定义如下

$$S(i, j) = |(f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)) - (f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1))| + |(f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)) - (f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1))| \quad (7)$$

适当取阈值  $T$ , 作如下判断: 若  $S(i, j) > T$ , 则  $(i, j)$  为特征点,  $\{S(i, j)\}$  为特征点图象。

## 2 二维数字图象灰度分析

现以一幅  $M \times N$  的二维数字图象  $\{f(x, y), x=0, 1, \dots, M-1, y=0, 1, \dots, N-1\}$  为例进行灰度分析。故该数字图象为一整数阵列, 因而可用矩阵来

描述, 其表示为

$$F = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中,  $f(x, y)$  表示位置  $(x, y)$  处的灰度值。

如以二维图象的像素灰度值  $f(x, y)$  为  $z$  坐标, 对图 1 作灰度曲面分析, 其灰度级数为 256 级 (即  $f(x, y) \in [0, 255]$ ), 所得灰度曲面如图 2 所示。

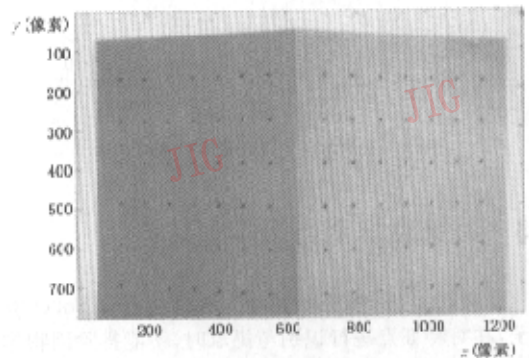


图 1 原始二维图象

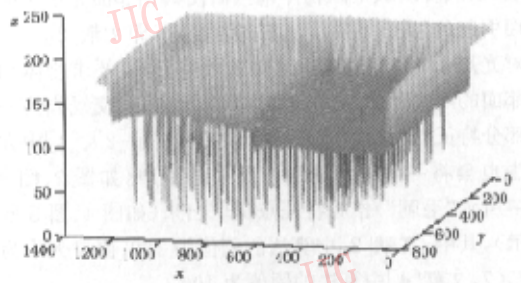


图 2 含背景的二维图象的灰度曲面

从图 2 可以看出, 灰度曲面中, 有很多明显的线状长纹 (朝下突出), 及一些“毛刺” (朝上突起的线状短纹)。对于 256 级灰度图象而言, 0 表示黑色, 255 表示白色。这样, 原始二维图象中灰度较大的“白噪声”在灰度曲面中呈现向上突起分布, 即对应于图 2 中的“毛刺”; 而原始二维中的特征点, 因其灰度较小, 故在图 2 中呈现向下分布, 即图 2 中朝下突出的线状长纹对应于二维图象中的特征点; 而图 2 中的“U 形平台”灰度较高, 则对应于二维图象中的背景。同时还应注意到, 图 2 中, 大约在  $x$  方向中部, 有一因物体遮挡而使相邻面的照度不同而引起灰度的整

体阶跃,为能更清楚地看出,因物体遮挡而导致相邻面光照不同而引起灰度的整体阶跃及物体相邻面(前景)的灰度分布情况,仅对场景中的物体(前景)灰度进行分析,如图 3 所示。

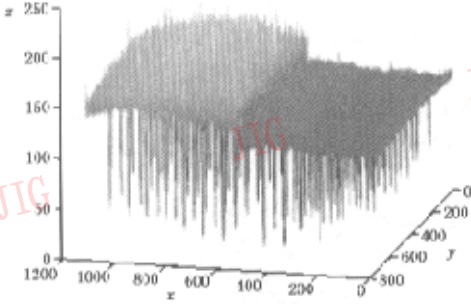


图 3 不含背景的二维图象的灰度曲面

### 3 特征点识别与提取算法

文献[2]中的“兴趣算子”及文献[4]中 Sobel 算子,在对特征点进行识别与提取时,不能排除因物体遮挡引起的灰度阶跃对特征点提取的影响,往往会将这一灰度阶跃作为一部分特征点提取出来。实际上,该灰度阶跃是因物体遮挡而使其相邻面光照不同而引起的,其并不对应真实的特征点,即文献[2]、[4]对光照条件十分敏感,且要求较苛刻。其要求物体相邻面的照度近似,否则会将物体相邻面的交线作为一部分特征点而提取出来。除此之外,文献[2]、[4]中方法也会将一部分背景噪声及前景噪声(如图 2、图 3 中所示“毛刺”)作为特征点提取出来(如图 4、图 5 所示),其中,文献[2]中算法的阈值为 150,窗口大小为  $7 \times 7$ ,文献[4]中算法的阈值为 100。

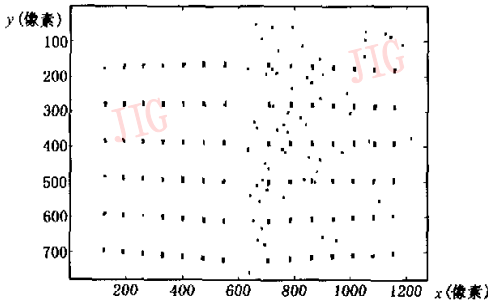


图 4 采用文献[2]中“兴趣算子”方法提取出的特征点

从图 4、图 5 可看出,采用 Barnard 兴趣算子或 Sobel 算子,虽能提取图 1 中的目标特征点,但因物

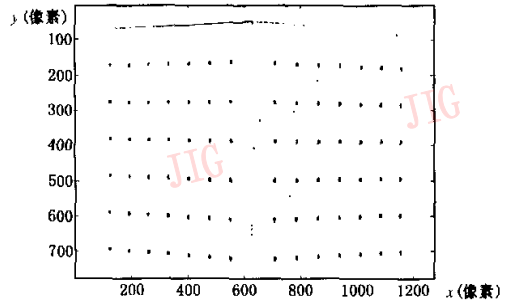


图 5 采用文献[4]中 Sobel 算法提取出的特征点

体相邻面及物体与背景间存在灰度差异,上述两种方法均没完全消除该灰度差异造成的影响,为能最大限度地抑制干扰噪声和外界光照条件的影响,可相应地提高阈值,但随之会抑制相当一部分实际特征点。此外,图 4、图 5 的“特征点图象”中含有许多明显的非特征点干扰。

上述方法<sup>[2,4]</sup>虽不能有效提取目标特征点,但有时这些方法仍被用来提取特征点<sup>[6-10]</sup>。

通过对二维图象的灰度分析知,在识别与提取二维图象中的特征点时,只需对二维图象中的像素点作水平(或垂直)方向上的灰度差值运算,而不必作 4 个方向(水平,垂直及对角)的相关运算。因特征点在灰度曲面中表现为朝下突出的“线状长纹”,虽然噪声在灰度曲面中也表现为“线状”,但其朝上突起且长度较短。因此,如能选择一合理阈值,就能直接在水平(或垂直)方向上抑制二维图象中的噪声点而突出有用的候选特征点信息。

此外,因遮挡而使物体相邻面灰度出现差异,在灰度曲面中表现为灰度的整体阶跃。从图象灰度分析知(如图 2、图 3),该灰度阶跃及物体面(前景)上灰度均高于分布于物体面上的特征点灰度,特征点灰度愈小,在灰度曲面中朝下突起愈明显,其突出的“线状长纹”也愈长,即灰度愈小,其表征特征点的概率就愈大。因此,在选择阈值抑制噪声而突出有用的候选特征点信息后,为剔除相邻面因照度不同而出现的灰度整体阶跃及提取出实际特征点,需在包含候选特征点的窗口内,将灰度值最小的候选特征点确定为特征点。

基于上述分析,文中提出了一种新的特征点识别与提取算法,与文献[2]、[4]中所提方法就特征点识别与提取结果作了对比,证实本文算法能有效提取特征点,且抗干扰能力强,对外界光照条件具有较

强的适应性,不因物体的遮挡而影响特征点的识别与提取。

具体算法如下:

(1) 若以数字图象矩阵中某像素点  $(i, j)$  为特征点,其灰度为  $f(i, j)$ ,以其为中心,在其同行(或同列)各取  $m(m=3$  或  $4, \dots, 10$  等)个像素点,它们对应的灰度值分别为:  $f(i-m, j), f(i-m+1, j), \dots, f(i+m, j)$ ,与特征点像素灰度  $f(i, j)$  的差值为  $I_k$

$$I_k = f(i+k, j) - f(i, j) \quad (9)$$

或

$$I_k = f(i, j+k) - f(i, j) \quad (10)$$

其中,  $k=\pm 1, 2, \dots, m$ 。

取一合理阈值  $T$ ,则有以下逻辑关系式成立

$$I_k \geq T \quad (11)$$

(2) 在以像素点  $(i, j)$  为中心的窗口  $W_{p \times q}$  (如  $3 \times 3$  或  $5 \times 5, 7 \times 7$  等)中,将灰度最小的像素点确定为特征点。

$$f(i', j') = \min_{i, j \in W_{p \times q}} \{f(i, j), I_k \geq T\} \quad (12)$$

需要说明的是:

①以  $f(i, j)$  为中心,在其同行或同列各取一定数目的像素点进行相关运算,均能确定特征点,两者在特征点识别与提取结果上,不存在任何差别。两者之间的唯一差别,仅在于提取特征点时,扫描制式的不同,即是采用横向扫描还是竖向扫描;另一方面,由于特征点在灰度曲面中表现为朝下突出的线状长纹,不会因扫描制式的不同而变化,因此,选择相同阈值,两者均能达到抑制噪声而突出特征点信息的目的。

虽遮挡会使物体相邻面灰度出现阶跃,使其中一种扫描制式的所选区间跨越了灰度阶跃部分,而另一种扫描制式不存在这种情况,但任何一种扫描制式均存在所选区间跨越灰度阶跃部分及不跨越灰度阶跃部分两种情况,因此可以说,一种扫描制式能有效提取特征点,则另一种扫描制式也必会达到同样结果,大量实验也证实了这一点。此外,因在确定特征点时,是将包含于候选特征点窗口中灰度最小的候选点确定为特征点,这样便剔除了灰度阶跃对特征点提取的影响。因此两种扫描制式的特征点提取结果是相同的。

②特征点在灰度曲面中表现为朝下突出的线状长纹,其长度代表特征点与前景间的灰度差,即阈值  $T$ 。因此,从灰度曲面(如图 2、图 3)中便可直观地确

定阈值  $T$ ,这是其他方法(如文献[2],[4]中所提方法)所无法比拟的。

③算法中同行或同列所取的  $m$  值,要求满足  $m \geq 3$ ,但过大的  $m$  值,虽可包括足够多的灰度变化信息,但也会覆盖其他特征点区域,这势必导致遗漏某些特征点;过小的  $m$  取值,其包含的灰度变化信息少且信噪比低,很难准确提取出特征点,因此要求合理选取  $m$  值。通过对不同图象的多次实验,  $m$  一般取值在  $3 \sim 10$  的整数范围内是合适的。同理,包含像素点  $(i, j)$  的窗口  $W_{p \times q}$  也要求大小适宜,一般  $(p, q)$  取值在  $3 \sim 10$  的整数范围内。

## 4 实验结果与分析

根据本文所提算法,采用  $m=7$ , 阈值  $T=20$ , 窗口  $W_{p \times q}$  大小为  $7 \times 7$ , 对图 1(图象大小:  $1272 \times 776$ ) 作特征提取,得到的特征点图象如图 6 所示。

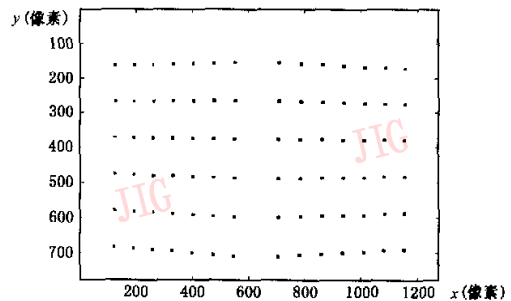


图 6 采用本文算法提取出的特征点图象

对比图 4~图 6, 可发现,采用本文算法,能很好地识别与提取图 1 中的 84 个特征点,抗干扰能力明显强于文献[2],[4]中所提算法。

在运行时间上,通过调用 Matlab 秒表定时器函数 tic, toc<sup>[11]</sup>, 以确定相关算法处理相同大小图象的计算机运行时间。使用 Pentium III 450 计算机,在 Matlab 5.3 环境下,采用文献[2],[4]中方法,分别对图 1 进行特征点提取,其计算机运行时间分别为  $2.8732 \times 10^3$  s,  $1.0989 \times 10^3$  s;而本文算法的计算机运行时间为  $1.8680 \times 10^2$  s。上述两种方法的计算机耗时分别是本文方法的 15.38116 倍、5.8828 倍。

为进一步验证本文算法对特征点提取的有效性和准确性,对一已知三维坐标的标准件(大小:  $50 \times 50 \times 50$  mm, 特征点坐标精度:  $2 \mu\text{m}$ )进行了三维重建。实验测量系统由 Nikon (Coolpix950) 数码相机

(1 600×1 200)、已知三维坐标的标准件、PⅢ 450 计算机及相应图象处理软件组成. 使用一台数码相机在不同位置进行两次拍摄, 拍摄到的左右两幅二维图象如图 7 所示. 其中, 标准件离数码相机的距离约为 500mm, 数码相机两次拍摄时, 光轴约成 10°角.

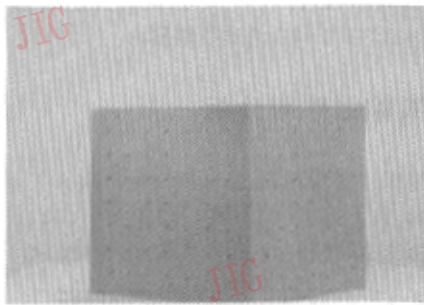
下面仍以文献[2],[4]中方法为例, 进一步比较它们与本文算法对图 7(图象大小: 1 600×1 200)进行特征点提取时的效果.

采用本文算法( $m=5$ , 窗口大小为  $5 \times 5$ , 阈值

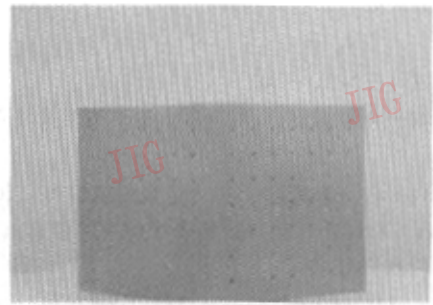
$T=20$ )、文献[2]中方法(窗口大小为  $5 \times 5$ , 阈值为 200)及文献[4]中算法(阈值为 120), 其结果分别如图 8~图 10 所示.

上述各算法对应的计算机运行时间分别为  $4.343 \times 10^2$ s,  $9.2557 \times 10^3$ s,  $2.6386 \times 10^3$ s.

此外, 采用线性成像几何模型, 根据透视投影变换原理, 标准件的三维重建结果与其三维坐标的绝对值差如表 1 所示.

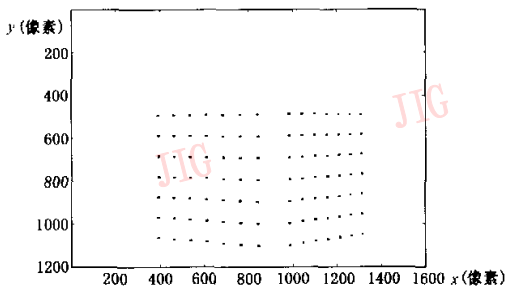


(a) 左图象

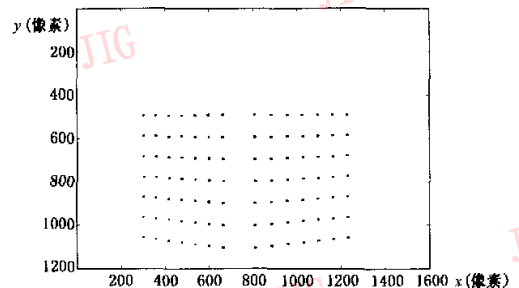


(b) 右图象

图 7 标准件图象

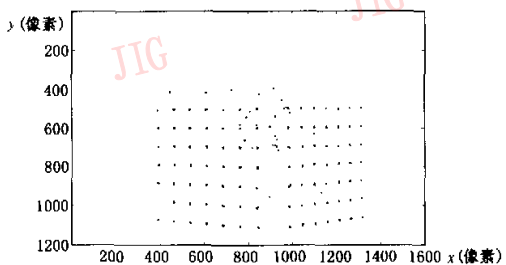


(a) 左图象特征点

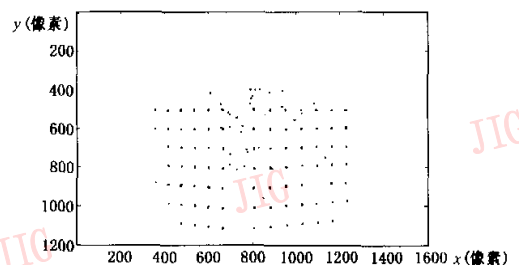


(b) 右图象特征点

图 8 本文算法所提取的图 7 图象特征点



(a) 左图象特征点



(b) 右图象特征点

图 9 采用“兴趣算子”方法提取的图 7 图象特征点

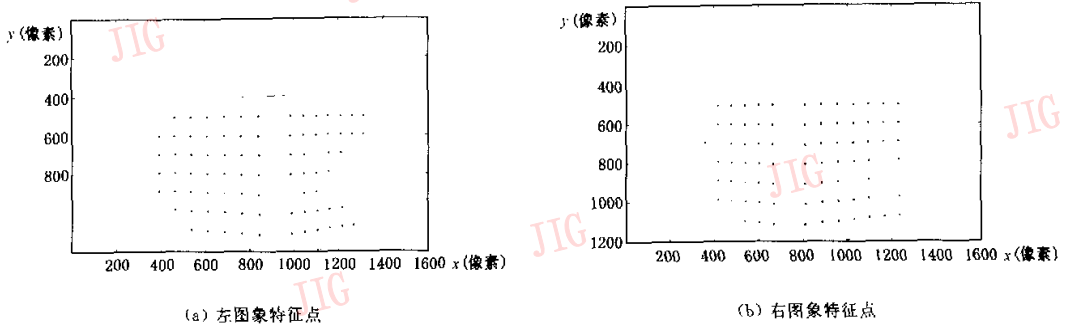


图 10 采用 Sobel 算法提取出的图 7 图象特征点

表 1 三维重建结果与标准件坐标绝对差

	X	Y	Z
最大值	0.269 2	0.087 1	0.340 3
最小值	$8.64 \times 10^{-3}$	$1.35 \times 10^{-4}$	$8.64 \times 10^{-4}$
平均值	$2.85 \times 10^{-3}$	$-6.41 \times 10^{-6}$	$-3.65 \times 10^{-5}$

单位:mm

实验结果表明,本文提出的特征点提取算法是切实有效的。

在实验中,有很多因素影响测量精度,如数码相机成像几何模型、数码相机移动时的聚焦位置、标准件与数码相机的相对位置及两次拍摄时,光轴夹角的大小等。因此,为提高测量精度,一方面除需对数码相机标定及特征点坐标提取算法进行优化与改进外,另一方面,还需建立完善的误差修正与补偿模型。

### 5 结 论

文中提出的特征点提取算法能有效识别与提取二维图象中特征点像素坐标,通过与文献[2],[4]中所提算法的实验对比,证实了文中所提方法抗干扰能力强、对外界光照条件具有较强的适应性,具有算法简单,运行速度快等显著特点。同时,通过采用双目立体成像,对一已知三维坐标的标准件进行了三维重建,其结果进一步证实了本文算法的有效性,采用该算法所提取的特征点具有较高的准确性。

### 参 考 文 献

- 1 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000.
- 2 Barnard S T, Thompson W B. Disparity analysis of images[J]. IEEE Trans., 1980,PAMI 2(4):333~340.
- 3 Roberts L G. Machine perception of three-dimensional solids [A]. In:Tippett J T et al. editors, Optical and Electro-optical Information Processing [M], Cambridge, MA: MIT Press,

1965:159~197.

- 4 Sobel I. Camera models and machine perception [M]. CA: Stanford AI Memo, 1970;121.
- 5 Prewitt J M S. Object enhancement and extraction [A]. In: Lipkin B S, Rosenfeld A, editors, Picture Processing and Psychopictorics[M], New York, Academic Press, 1970;826~857.
- 6 龙世清,黄载禄,曹汉房. 一种立体视觉图像的特征选择与匹配方法[J]. 华中理工大学学报,1994,22(11):28~31.
- 7 潘晓露,李一民,刘辉. 平行视双目测量体系中特征检测方法[J]. 云南工业大学学报,1999,15(4):19~22.
- 8 Feug G C, Yuan P C. Variance projection function and its application to eye detection for human face recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 1998,2(19):899~906.
- 9 周东翔,蔡宣平,孙茂印. 一种基于特征点约束的立体匹配算法[J]. 中国图象图形学报,2001,6A(7):653~656.
- 10 周东翔,蔡宣平,孙茂印. 基于模糊判别的立体匹配算法[J]. 中国图象图形学报,2001,6A(4):359~364.
- 11 姚东,王爱民,冯峰等编著. MATLAB 命令大全[M]. 北京:人民邮电出版社,2000.



**管业鹏** 1967年生,1990年、1996年、2000年分别获中南工业大学学士、硕士、博士学位,2000年入东南大学电子工程系电子科学与技术博士后流动站作博士后研究,主要感兴趣方向为:数字图象处理与分析、电磁兼容、电路与系统等。



**董称凤** 1933年生,1955年北京大学物理系毕业,现任东南大学电子工程系教授,博士生导师,中国电子学会会员,IEEE资深会员,复旦大学物理系兼职教授,上海交通大学兼职教授。