

文章编号 1004-924X(2014)05-1190-08

## 单目三点位置测量精度分析

赵连军<sup>1, 2\*</sup>, 刘恩海<sup>1</sup>, 张文明<sup>1</sup>, 赵汝进<sup>1</sup>

(1. 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**通过理论推导,对影响三点单目视觉位置姿态测量系统的 6 个因素(标志器与相机的相对距离,标志器尺寸,相机量化误差,相机内参数标定误差,特征点的中心提取精度,姿态解算算法精度)以及这些因素对系统精度的影响程度进行了分析,然后通过数值仿真和成像试验验证了理论推导的正确性。实验结果表明,对测量精度影响最大的因素是测量距离,像平面方向的测量误差与靶标和相机的相对距离成正比,光轴方向的测量误差与相对距离的平方成正比;图像中提取的特征点的位置误差是测量系统误差的主要来源,位置误差包括特征点提取误差和由于镜头畸变等引起的特征点成像位置偏移;长焦距和小像元有助于减小相机的量化误差;焦距的标定误差和靶标尺寸主要影响光轴方向的距离测量精度,对其余两个方向的精度影响不大;测量系统的解算算法不是引入误差的主要因素。

**关键词:**单目视觉;三点测量;位置姿态测量;误差分析;精度分析;合作目标

**中图分类号:**TP242 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142205.1190

## Analysis of position estimation precision by cooperative target with three feature points

ZHAO Lian-jun<sup>1, 2\*</sup>, LIU En-hai<sup>1</sup>, ZHANG Wen-ming<sup>1</sup>, ZHAO Ru-jin<sup>1</sup>

(1. Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

\* Corresponding author, E-mail: zhaozongyu@163.com

**Abstract:** On the theoretical analysis, the six factors relating to the measuring precision of a monocular vision pose measurement system with three corresponding feature points were investigated. These factors are the distance between marker and camera, size of the marker, quantitative errors of camera, calibration errors of intrinsic parameters of camera, position errors of feature points, and the error introduced by pose estimation algorithm. The simulations and imaging experiments were performed to verify the validity of the theoretical analysis. It shows that the most effective factor is the measuring distance. The longer focal length and smaller size of a pixel on CCD can reduce the quantitative error, and the bigger error size of target can improve the precision of feature extraction and can minimize the impact of extraction error caused by image processing algorithm. The noise introduced by electronic hardware is also an important factor that can not be ignored during the system designing phase. The

收稿日期:2013-08-18;修订日期:2013-09-20.

基金项目:民用航天预研基金资助项目(No. C5220062303)

focal length, position of intersection of optical axis and the image plane on CCD, aberrations of lenses of the camera should be calibrated after the camera is manufactured during the calibration phase, and the error of calibration is the second significant factor for the whole measurement system. The error introduced by pose estimation algorithm can be ignored because it is much smaller than the whole errors. The position errors of feature points extracted from the image is the main impact of precision loss of system.

**Key words:** monocular vision; three point measurement; pose estimation; error analysis; precision analysis; cooperative target

## 1 引言

单目视觉位姿测量是机器视觉的重要组成部分。它利用相机对目标成像,从图像中提取目标上的特征点,结合目标的已知信息来解算目标和相机之间的相对位置和姿态关系。相机相当于机器的眼睛,视觉测量则给机器提供目标的深度和姿态信息。

目前,单目视觉测量系统的应用形式主要有二种:一种基于非合作目标;一种基于合作目标。基于非合作目标的单目视觉测量系统虽然具有广阔的应用前景,但是由于存在非合作目标的特征点提取困难,特征点之间的几何尺寸未知等问题,需要对选取的目标进行三维重构,因此现有的非合作目标测量系统一般为双目系统。非合作测量在国内的研究尚处于初级阶段,工程应用较少<sup>[1-3]</sup>。基于合作目标的三点单目视觉位置姿态测量是当前较为普遍的应用形式,也是航天器交会对接系统中常用的方法。交会对接的特征点提取多采用差分方式<sup>[4-6]</sup>。国内外很多学者系统地研究了基于单目视觉的三点测量系统及三点位置姿态的解算算法<sup>[7-13]</sup>。郝颖明等研究了输入参数和位姿测量误差的关系<sup>[12]</sup>,朱枫等分析了特征点和相机的相对姿态对位置姿态测量精度的影响<sup>[13]</sup>,但他们均未对姿态测量精度的影响因素进行全面、系统地分析。

本文在总结前人对三点位姿测量算法和精度分析的基础上,在系统设计、相机内参数标定和测量系统调试3个阶段分析了影响三点位置测量精度的6个因素,它们分别为标志器与相机的相对距离,标志器尺寸,相机焦距、像元尺寸和电路噪

声,相机内参数标定误差和镜头像差,特征点的中心提取精度,三点位置姿态解算算法精度。从理论推导、仿真分析和试验验证3个方面分析以上因素的影响,所得结论对系统设计、误差分析和分配具有指导意义。

## 2 精度影响因素分析

图1为单目视觉测量系统的原理示意图,其中O点为相机坐标系的中心; $A'B'C'$ 为相机像平面,定义为XY平面;O到 $A'B'C'$ 平面的垂直距离为 $f$ ,方向为相机光轴方向,记为Z轴。 $A, B, C$ 是靶标上的3个特征点,它们之间的位置关系已知。 $A', B', C'$ 是 $A, B, C$ 在相机像平面上的像, $A', B', C'$ 的图像坐标可以检测。当计算得出 $OA, OB, OC$ 的长度以后,利用 $A', B', C'$ 的值确定 $A, B, C$ 在相机坐标系中的坐标,进而利用靶标上 $A, B, C$ 的位置关系确定相机坐标系和靶标坐标系之间的位置和姿态关系。在求 $A, B, C$ 的坐标时,3点没有区别,在此取A点进行分析。 $(x_A, y_A)$ 是特征点A在像平面上的物理坐标真实

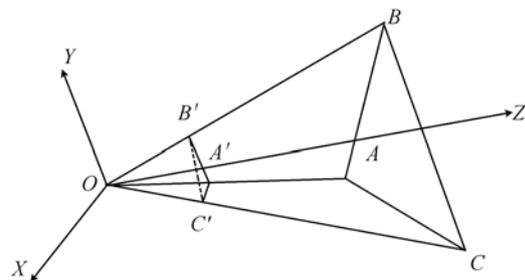


图1 测量系统的示意图

Fig. 1 Sketch map of monocular vision measurement system with three feature points

值,  $(X_A, Y_A, Z_A)$  是特征点 A 在相机坐标系中的空间坐标真实值。根据透视小孔成像原理可以得到:

$$\frac{X_A}{x_A} = \frac{OA}{OA'}, \quad (1)$$

$$\frac{Y_A}{y_A} = \frac{OA}{OA'}, \quad (2)$$

$$\frac{Z_A}{f} = \frac{OA}{OA'}, \quad (3)$$

式中:  $(X'_A, Y'_A, Z'_A)$  表示测量得到的 A 点在相机坐标系中的坐标值。当 A 点的图像坐标存在位置误差  $\Delta x, \Delta y$  时, 式(1)变为:

$$\frac{X'_A}{x_A + \Delta x_A} = \frac{OA}{OA'}, \quad (4)$$

则 A 点在相机坐标系 X 方向的误差为:

$$\begin{aligned} \Delta X_A &= X'_A - X_A = \frac{OA}{OA'}(x_A + \Delta x_A) - \\ &\frac{OA}{OA'}x_A = \frac{OA}{OA'}(\Delta x_A). \end{aligned} \quad (5)$$

同理得:

$$\Delta Y_A = \frac{OA}{OA'}(\Delta y_A). \quad (6)$$

在计算由于 A 点的图像坐标提取误差  $\Delta x, \Delta y$  对 A 点 Z 轴坐标计算精度的影响时, 需要同时引入另一个点 B 或者 C, 在此利用 B 点。A'B' 是 AB 在相机 CCD 上成的像, 虽然 A'B' 与 AB 不平行, 但是当 AB 保持与 A'B' 的姿态关系不变且远离 A'B' 时, 有:

$$\frac{Z_A}{f} = \frac{OA}{OA'} \propto \frac{AB}{A'B'}, \quad (7)$$

则:  $A'B' \propto \frac{AB \times OA}{OA}, Z_A \propto \frac{AB}{A'B'} \times f$ .

由此可得 A 点坐标在 Z 轴方向上的误差:

$$\begin{aligned} \Delta Z &= Z'_A - Z_A \propto \frac{AB}{A'B' + \Delta A'B'} \times f - \frac{AB}{A'B'} \times f = \\ &\frac{AB \times A'B'}{(A'B' + \Delta A'B')A'B'} \times f - \frac{(A'B' + \Delta A'B') \times AB}{(A'B' + \Delta A'B') \times A'B'} \times f = \\ &-\frac{AB \times f}{(A'B' + \Delta A'B')A'B'} \times \Delta A'B', \end{aligned} \quad (8)$$

其中: AB 表示点 A 和点 B 之间的距离, A'B' 表示图像上 A' 和 B' 之间的距离,  $\Delta A'B'$  表示由于  $\Delta x, \Delta y$  引起的 A'B' 的长度误差。因为  $\Delta A'B'$  远远小于 A'B', 可以忽略, 所以式(8)变为:

$$\Delta Z \propto -\frac{AB \times f}{A'B'^2} \times \Delta A'B'. \quad (9)$$

将式(7)带入式(9)得:

$$|\Delta Z| \propto \frac{f \times OA^2}{AB \times OA'^2} \times \Delta A'B'. \quad (10)$$

将式(3)带入式(5)、式(6)、式(10), 可得:

$$\Delta Y_A = \frac{Z_A}{f}(\Delta y_A). \quad (11)$$

$$\Delta X_A = \frac{Z_A}{f}(\Delta x_A). \quad (12)$$

$$|\Delta Z| \propto \frac{Z_A^2}{AB \times f} \times \Delta A'B'. \quad (13)$$

## 2.1 标志器和相机的相对距离

从式(11)、式(12)中可以更直观地看出, 当  $\Delta x, \Delta y$  不变时, A 点在相机坐标系 X, Y 方向上的坐标的计算误差与  $Z_A$  的增加量成正比, 即与相机和靶标的相对距离成正比例关系。从式(13)中可以看出, Z 轴(光轴)方向的测量误差与  $Z_A$  (相机和靶标的相对距离)增加量的平方成正比。

## 2.2 标志器尺寸

由式(5)和式(6)可知, X 和 Y 方向上的误差与标志器的尺寸没有直接关系; 由式(10)可知, Z 方向上的误差与 AB 长度(即标志器的尺寸)成反比例关系, 即标志器尺寸越大, 误差越小。从几何角度来看, 增大 AB 可以降低误差  $\Delta A'B'$  与 AB 的比值, 从而降低总误差。

## 2.3 相机量化误差

相机的焦距和像元尺寸是相机量化误差的重要指标, 是相机测量精度的关键因素。根据小孔透视成像模型, 图 2 是像元尺寸、相机焦距、相机与标志器之间的距离和单个像素在物空间的尺寸关系示意图。其中 OF' 为焦距  $f$ , OF 为相机与标志器的相对距离  $D$ , E'F' 为一个像素尺寸  $l$ , EF 为单个像素对应的物空间尺寸  $L$ , 它们的关系为:

$$L = \frac{l}{f} \times D. \quad (14)$$

当像元尺寸为  $5.3 \mu\text{m}$ , 焦距为  $7.44 \text{ mm}$  时, 每个像元对应的视场角大约为  $0.04^\circ$ , 当距离  $D$  为  $2000 \text{ mm}$  时, 根据式(14)得  $L = 1.42 \text{ mm}$ 。由式(14)可知, 在其它条件不变的情况下, 相机的焦距越长, 相机的像元尺寸越小, 相机的量化误差越小。

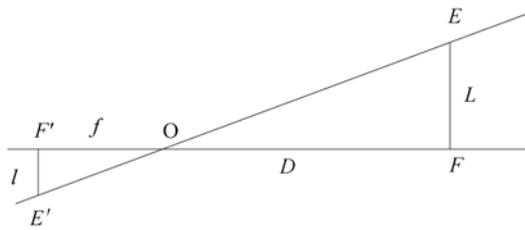


图2 距离计算示意图

Fig. 2 Sketch map of distance measurement

## 2.4 相机内参数标定误差

标定时,相机内参数包括相机焦距、图像中心位置和相机镜头的像差。从式(5)和式(6)可以看出。X和Y方向上的误差与焦距的标定误差没有直接关系;从式(10)可以看出,Z方向上的测量误差与焦距的标定误差成正比例关系。

## 2.5 特征点质心位置精度

在相机系统设计完成之后,相机的量化误差和镜头畸变引起的特征点成像位置偏移已定,可以对特征点的质心进行亚像素提取,通过提高质心提取精度来补偿相机的量化误差,提高测量系统的精度。从式(11)、式(12)、式(13)可以看出,系统的测量精度与提取的质心位置精度成正比例,即误差 $\Delta A'B'$ 增大,测量精度降低; $\Delta A'B'$ 减小,测量精度增加。

## 2.6 位置解算算法

测量系统采用经典的3点位置姿态测量算法,可通过设置计算时的迭代结束条件来控制算法引入的误差,且误差可控制到很小。

由于本文重点是分析各因素对测量精度的影响,每种因素涉及的具体方法,如相机及靶标设计、特征点提取及质心计算、相机标定、位置姿态解算算法是相对独立的研究方向,因此对这些方面不进行详细介绍。文中所有的试验结果均建立在经典测量算法的基础上。

## 3 实验结果及讨论

试验中使用的相机经专门设计,采用的CCD传感器具有高光电转换效率,像元数为 $1\ 024 \times 768$ ,大小为 $5.3\ \mu\text{m} \times 5.3\ \mu\text{m}$ ;相机镜头口径为4 mm,焦距为7.44 mm。根据靶标特征点布置和相机位置与解的情况设计靶标,其外形如图3所

示,靶标4个角上的点在靶标基面上构成正方形,边长为60 mm,中间3个特征点突出基面30 mm,相邻两点之间的距离为30 mm。仿真时特征点之间的距离设为300 mm(特征点间距离为实际加工的靶标尺寸的10倍),取相机和靶标的相对距离为800,1 000,2 000,3 000,4 000和5 000 mm作为样本点,在每种距离条件下X,Y,Z轴姿态角依次取 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 。仿真结果如图4~图8所示。

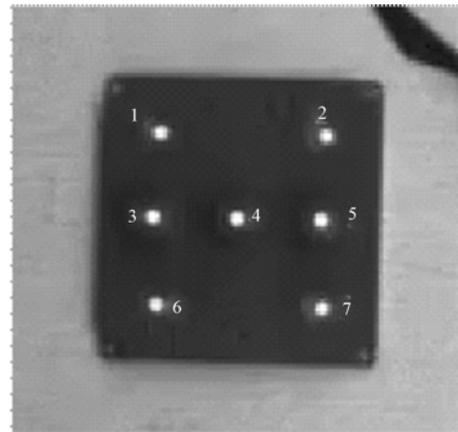


图3 靶标图像

Fig. 3 Image of target

### 3.1 标志器和相机相对距离的影响

图4和图5是标志器特征点质心位置存在一个像素的随机波动误差时,对每个预先设定的位置计算100次取平均后得到的误差随距离变化的情况。图4中,3个坐标轴上的位置测量误差随相机和标志器的相对距离的增加而增大。图5中,3个坐标轴上的姿态角测量误差随距离的增加而增大。

由此可知,测量距离是影响测量精度的首要因素。在特征点位置误差不变时,光轴方向的测量误差与相机和标志器的相对距离的平方成正比;像平面两个方向上的测量误差与相对距离成正比,即距离相同时光轴方向误差的增大速度远大于像平面方向。但特征点的提取精度随距离的增加而降低,因此实际应用中一般设计大小两种靶标,分别在测量的不同阶段使用。

### 3.2 标志器尺寸对测量精度的影响

图4是、图6分别是特征点距离为300,30 mm时的位置误差曲线。由图可知,当标志器上特征点之间的距离缩小为原来的 $1/10$ 时,Z方向

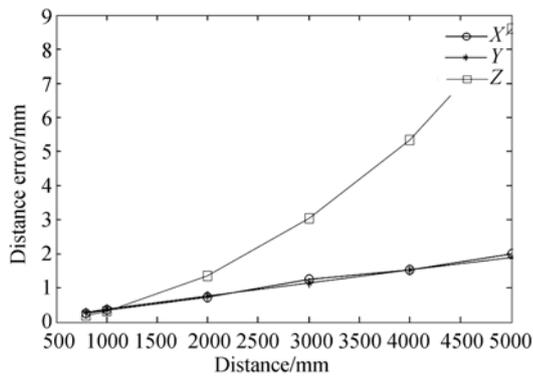


图 4 距离计算误差

Fig. 4 Distance errors

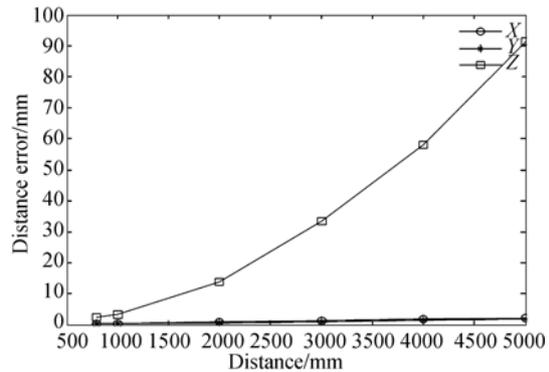


图 6 特征点距离为 30 mm 时的位置误差

Fig. 6 Distance errors at feature point distance of 30 mm

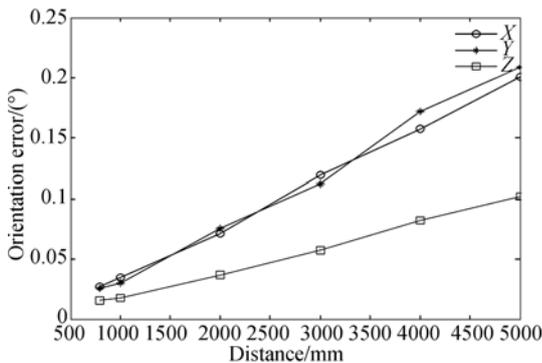


图 5 姿态角误差

Fig. 5 Orientation errors

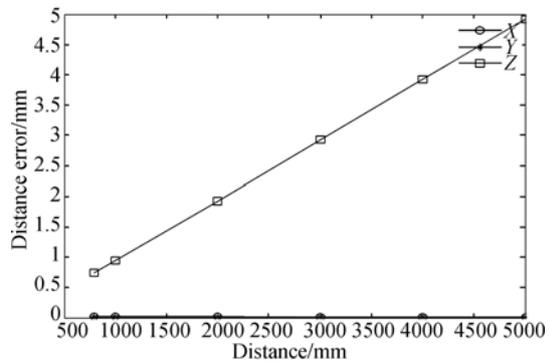


图 7 焦距存在 0.1% 误差时的位置误差

Fig. 7 Distance errors at focal length with 0.1% error

上的误差增大了 9 倍,而 X 和 Y 方向上的误差基本没有变化。试验结果表明,在相机和标志器的相对距离及其它条件不变时,X 和 Y 方向上的测量误差与标志器大小无关,Z 方向上的误差与标志器尺寸成反比例关系。

增大标志器上特征点之间的距离有利于在标志器上装配大尺寸的特征点,同时大尺寸的特征点有助于提高特征点质心的提取精度,尤其是在测量距离较远时。

### 3.3 相机内参数标定误差

图 7 是假设相机焦距的标定误差为 0.1%,不存在其它误差时的位置误差曲线。由图可以看出,X 方向和 Y 方向上的误差与相机的标定误差没有关系,始终为 0;Z 方向上的误差曲线与焦距的标定误差曲线的斜率相同,即焦距的标定误差为 0.1%,所带来的测量误差和测量距离的比例也为 0.1%。

在实验室标定相机时,焦距的标定误差小于

0.01 mm;对于高精度测量相机,焦距的标定误差可以限制在 $\pm 0.04\%$ 以内。镜头像差是另一个影响测量精度的相机内参数。单色像差包括球差、彗差、像散、场曲和畸变,其中对测量精度影响最大的是畸变,它会影响特征点在 CCD 靶面上的成像位置,导致特征点的质心位置存在误差。因此镜头像差中畸变是相机标定工作中的重要标定项。在相机电路噪声允许的情况下,中心点位置的标定误差量级可以达到  $0.1 \mu\text{m}$ 。相机的电路噪声也是相机测量精度的重要影响因素。

### 3.4 特征点质心提取精度对最终测量精度的影响

图 4、图 8 分别是标志器特征点质心提取存在一个像素的随机误差和不存在随机误差时的位置误差曲线。对比图 4 和图 8 可知,5 m 以内一个像素的提取误差所导致的最大误差为 0.2%,从误差特点看,在距离增大时,一个像素的提取误差导致的最大误差更大。

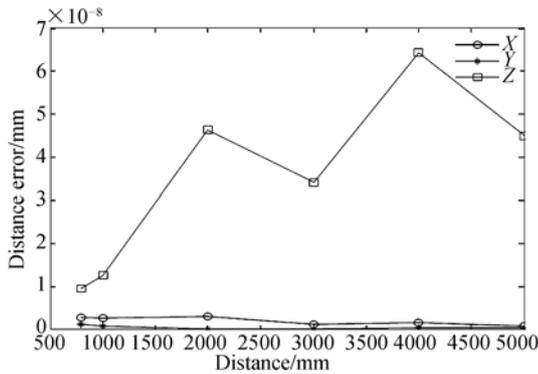


图 8 质心不存在误差时的位置误差

Fig. 8 Distance errors of centroid without error

综上所述, 图像上特征点的位置误差是测量系统误差的最主要来源。对质心位置精度影响较大的因素主要有特征点的提取精度、镜头像差(主要是畸变)、相机的电路噪声。

### 3.5 解算算法对测量精度的影响

#### 3.5.1 算法误差的仿真

图 8 是在特征点位置不存在误差时, 解算出来的位置与实际位置的差值。从图中可以看出, 姿态解算的误差在 5 m 以内为  $10^{-8}$  量级, 对测量精度的影响不大。

#### 3.5.2 基于重投影的算法精度验证

重投影是利用算法计算得到的位置姿态量将靶标特征点虚拟成像到相机像平面上, 然后将重投影结果与从图像中提取的特征点质心进行对比, 计算它们的差值, 差值的大小反映了解算算法的精度。实际检测到的特征点的质心坐标存在误差, 利用该误差的中心值进行计算能够检验解算算法的鲁棒性和抗噪声能力。

图 9 是特征点质心的提取过程, 特征点质心提取采用差分方式, 即拍摄一幅前景图像 9(a) 和一幅背景图像 9(b), 将两幅图像相减得到 9(c), 然后提取特征点质心 9(d)。表 1 是图 9 的测量结果, 表 1 中的量还可作为重投影的位置姿态量。表 2 中数据包括图像中提取的特征点坐标值、利用表 1 中的位姿量和相机内参数对靶标特征点重投影的坐标值以及它们的差值。在相对距离为 2 m 时, 1 个像素对应物方空间中像平面平行面上  $1.42 \text{ mm} \times 1.42 \text{ mm}$  的区域。表 2 表明, 2 m 时位置姿态解算算法引入的最大误差为 0.3 pixel (约 0.5 mm), 与距离的相对值为 0.025%。

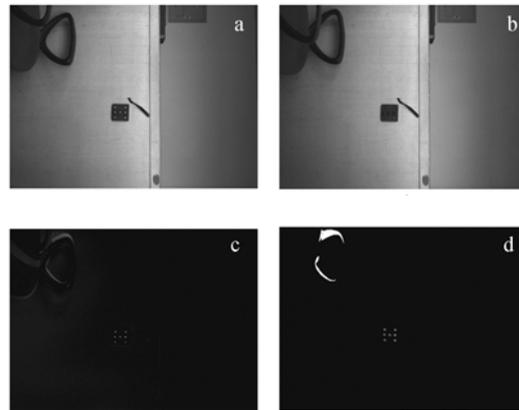


图 9 特征点提取

Fig. 9 Extraction of feature points

表 1 位置姿态测量结果

Tab. 1 Results of pose measurement

	X	Y	Z
距离/mm	94.25	-77.65	1 979.20
角度/(°)	-0.57	3.85	-0.70

表 2 重投影坐标及误差

Tab. 2 Results of reprojection and its errors (pixel)

	图像提取坐标		重投影坐标		坐标差值	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	44.85	-76.03	45.32	-76.00	-0.46	-0.03
2	45.86	-33.18	45.82	-33.51	0.04	0.32
3	65.68	-77.73	66.16	-77.70	-0.47	-0.03
4	66.28	-56.05	66.42	-56.11	-0.14	0.06
5	66.84	-34.23	66.68	-34.51	0.16	0.28
6	87.44	-76.70	87.90	-76.67	-0.46	-0.03
7	88.66	-34.14	88.42	-34.09	0.23	-0.04

仿真时位姿解算算法的误差为  $10^{-8}$  量级, 但是在真实测量中, 在相机和标志器相对距离为 2 m 时, 解算误差为 0.025%, 比仿真结果的误差高几个数量级。其原因是实际情况下提取的特征点质心存在误差, 该误差是解算结果误差增大的最主要因素。

## 4 结 论

本文通过理论推导、仿真和试验分析了 6 大因素对测量系统测量精度的影响,分别涉及系统设计、标定和调试 3 个阶段。系统设计阶段可以利用长焦距和小尺寸像元 CCD 减小相机的量化误差;标志器尺寸对测量精度的影响主要有两个:一是影响特征质心提取,二是影响噪声占总距离量的比例,从而影响光轴方向的测量结果;相机的电路噪声是测量精度的重要影响因素,需要在设计阶段控制并在标定阶段标定。系统标定阶段需

要标定相机的焦距、图像中心位置和镜头畸变,相机的焦距标定误差是引入测量误差的另一大因素。系统调试阶段需要降低特征质心提取和位姿解算算法引入的误差。影响测量系统精度的首要因素是特征点质心的提取精度,而不是位置解算算法,即使用带有噪声的特征点质心进行位姿解算引入的误差也比总误差小一个量级。特征点质心的提取精度受很多因素的影响,包括电路噪声、标志器尺寸、图像处理算法、镜头畸变等。

在分析了影响测量系统精度的 6 方面因素基础上,如何提高位置测量精度将是下一步的工作重点。

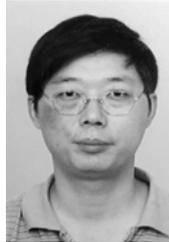
### 参考文献:

- [1] 徐文福,刘宇,梁斌,等.非合作航天器的相对位姿测量[J].光学精密工程,2009,17(7):1570-1581.  
XU W F, LIU Y, LIANG B, et al.. Measurement of relative poses between two non-cooperative spacecrafts[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(7): 1570-1581. (in Chinese)
- [2] 韩廷祥,张志胜,戴敏.用于目标测距的单目视觉测量方法[J].光学精密工程,2011,19(5):1110-1117.  
HAN Y X, ZHANG ZH SH, DAI M. Monocular vision system for distance measurement based on feature points [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(5):1110-1117. (in Chinese)
- [3] DU X, LIANG B, XU W, et al.. Pose measurement of large non-cooperative satellite based on collaborative cameras [J]. *Acta Astronautica*, 2011, 68:2047-2065.
- [4] HOWARD R T. Next generation advanced video guidance sensor development and test [J]. *AAS*, 2009,09-064:1-13.
- [5] JOHNSTON N A S, HOWARD R T, WATSON D W. X-ray calibration facility/advanced video guidance sensor test [J]. *NASA/TM*, 2004, 213393.
- [6] ZIMPFER D, KACHMAR D, TUOHY S. Autonomous rendezvous, capture and in-space assembly: past, present and future [C]. *1st Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery*, Orlando, Florida, 2005:1-12.
- [7] QUAN L, LAN Z D. Linear n-point camera pose determination [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 1999, 21(8):774-780.
- [8] HARALICK R M, LEE C N, TTENBERG K O, et al.. Review and analysis of solutions of the three point perspective pose estimation problem [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994, 13(3):331-356.
- [9] 郝颖明,朱枫,欧锦军.目标位姿测量中的三维视觉方法[J].中国图象图形学报,2002,7(12):1247-1251.  
HAO Y M, ZHU F, OU J J. 3D visual methods for object pose measurement [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(12):1247-1251. (in Chinese)
- [10] 周鑫,朱枫.关于P3P问题解的唯一性条件的几点讨论[J].计算机学报,2003,26(12):1696-1671.  
ZHOU X, ZHU F. A note on unique solution conditions of the P3P problem [J]. *Chinese Journal of Computer*, 2003, 26(12):1696-1671. (in Chinese)
- [11] 任行行.空间交会接近视觉测量方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.  
REN H H. *Research on Visual Measurement for Spacecraft Rendezvous and Approach* [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008. (in Chinese)

- [12] 郝颖明,朱枫,欧锦军,等. P3P 位姿测量方法的误差分析[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(18): 239-242.  
HAO Y M, ZHU F, OU J J, *et al.*. Error analysis of P3P pose measurement[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44 (18): 239-242. (in Chinese)
- [13] 朱枫,郝颖明. 合作目标位姿对视觉位姿测量精度的影响分析[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 130-134.  
ZHU F, HAO Y M. The analysis of collaborative object attitude's effect on visual pose's accuracy [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, 28(4):130-134. (in Chinese)

**作者简介:**

赵连军(1985—),男,山东潍坊人,博士研究生,2009年于四川大学获得学士学位,主要从事图像显示、图像处理 and 空间物体位置姿态测量等方面的研究。E-mail:zhao-zongyu@163.com

**导师简介:**

刘恩海(1964—),男,四川达州人,研究员,博士生导师,1987年于大连理工大学获得学士学位,主要从事光电精密计量测试技术的研究。E-mail:leh@ioe.ac.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)