

# 图像测量系统中的误差分析及提高测量精度的途径

吴晓波 安文斗 杨 钢  
(后勤工程学院自动化系, 重庆 630041)

**摘要** 为了进一步提高图像测量系统的测量精度, 必需考虑影响测量精度的诸多因素, 如: 照明视场噪声、热电子噪声、CCD 性能、镜头畸变、量化误差、帧存与 CCD 不同步、温度、振动、视频馈线等的影响。本文将分析这些误差对图像测量系统测量精度的影响, 并给出消除或减小误差的有效方法, 从而提高测量精度。

**关键词:** 图像测量; 误差分析; 测量精度

## 1 引言

数字图像测量系统<sup>[1]</sup>的处理过程有两个任务, 数据采集及数据处理。数据采集包括原始图像的采集以及初始值的采集。数据处理是利用图像测量原理和图像处理的各种技术, 计算出 3-D 物体的几何参数坐标, 并以要求的形式显示<sup>[2]</sup>。所有这些过程非常复杂, 并在各个环节都存在误差影响。如对这些误差源不进行分析和处理, 图像测量系统将会给出不准确或错误的结果。这些误差源主要有: 照明视场噪声、热电子噪声、CCD 性能、镜头畸变、量化误差、帧存与 CCD 不同步、温度、振动、视频馈线等。本文将分析这些误差对图像测量系统测量精度的影响, 并给出消除或减小误差有效方法, 从而提高测量精度。

## 2 照明视场噪声

照明视场噪声有两类: 一类是随时间而变化的随机起伏噪声, 它由供电电源波动以及光源本身发光的不稳定而产生; 另一类则是随空间的起伏而变化。这种变化主要因为照明系统光源

本身不是真正点光源, 而是一个具有不同发光强度的线或面光源, 以及照明光学系统的不完善(像差或调整不好)而引起的。即使采用柯拉照明方式<sup>[3]</sup>, 也不可能使整个视场达到严格的均匀照明, 特别是在测量大工件时尤其明显。一个好的解决方法是采用软件消除照明视场不均匀性的影响, 这样可极大地降低对照明系统的要求, 同时以不降低系统的测量精度。文献<sup>[4]</sup>所提出的边缘检测十字窗口算法便可消除照明视场噪声。

### 3 热电子噪声

在 CCD 摄像机、A/D 转换器和采集系统电路中均有大量的电阻性器件。由于热电子起伏, 产生热电子噪声。这是一种白噪声, 也是一种加性噪声。在监视器上观察可以发现, 在图像结束采集“冻结”之前, 屏幕上有许多闪烁跳跃的波纹, 一旦图像采集“冻结”, 这些闪烁跳跃波纹消失, 图像变得稳定清晰。采集到的数据统计结果表明, 噪声约为5个灰度等级, 占256个灰度级的2%左右。根据这种加性噪声的特性, 处理方法有: 平滑滤波和多次测量取平均。

#### 3.1 平滑

平滑操作主要用来减小热电子噪声、采样、量化、传输、以及图像采集过程中环境的扰动在图像中产生的噪声和其它不良影响。

##### a 领域平均

领域平均是一种简便的空域图像平滑方法。给定一幅图像  $f(x, y)$ , 这种处理产生一幅平滑的图像  $g(x, y)$ , 它的每个像素  $(x, y)$  的强度值等于  $(x, y)$  的预定领域内  $f$  的像素强度的平均值。也就是说, 对于  $f(x, y)$  中的所有  $x$  和  $y$ , 可用如下关系求得平滑后图像:

$$g(x, y) = \frac{1}{P} \sum_{(n,m) \in S} f(n, m) \quad (1)$$

式中,  $S$  为  $(x, y)$  领域内各点(包括  $(x, y)$  本身)的坐标集,  $P$  为领域内有所包含像点的总数。

##### b 中值滤波

领域平均的方法的主要困难问题之一是它会使边缘和鲜明的细节变模糊。使用中值滤波器可使这种模糊作用显著降低。在中值滤波器中, 用的不是平均值, 而是用一像素特定领域内强度的中值来取代该像素的强度。中值滤波的主要功能是用于一个于其领域更为接近的值取代强度明显不同的值, 因此可以消除在滤波器模板区域内孤立存在的强度突然变化。

##### c 图像平均

考虑一幅噪声图像  $g(x, y)$ , 它由未被噪声污染的图像  $f(x, y)$  与噪声  $n(x, y)$  相加形成, 即:

$$g(x, y) = f(x, y) + n(x, y) \quad (2)$$

上式中, 设噪声是不相关的并且均值为零。下面讨论的问题是叠加一组噪声图像  $g_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2, \dots, K$ , 求得一幅平滑的图像。

如果噪声满足上述约束条件, 则容易证明: 若图像  $\bar{g}(x, y)$  等于  $K$  个不同噪声图像的平均, 即

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x, y) \quad (3)$$

则有如下关系:

$$E\{\bar{g}(x, y)\} = f(x, y) \quad (4)$$

及

$$\sigma_g^2(x, y) = \frac{1}{K} \sigma_n^2(x, y) \quad (5)$$

式中,  $E\{\bar{g}(x, y)\}$  为  $\bar{g}$  的期望值,  $\sigma_g^2(x, y)$  和  $\sigma_n^2(x, y)$  分别为  $\bar{g}$  和  $n$  的方差。平均图像中任一点的标准偏差可表示为:

$$\delta_g(x, y) = \frac{1}{K} \delta_n(x, y) \quad (6)$$

式(5)和(6)表明, 随着  $K$  的增大, 像素值的变化减小, 由于  $E\{\bar{g}(x, y)\} = f(x, y)$ , 这表示随着平均过程中所用噪声图像数量增加,  $\bar{g}(x, y)$  将趋向于未受污染的图像  $f(x, y)$ 。

需注意, 所有噪声图像在空间上相互配准, 只有像素的强度不同。这意味着工作空间所有物体在平均过程中必需相对于摄像机保持静止状态, 不能发生相对运动。

### 3.2 多次测量平均

测得一系列值  $V_i, i = 1, 2, \dots, N$ , 则取测量结果为:

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad (7)$$

式中,  $N$  的取值一般为7~10。

## 4 CCD 摄像机

虽然在现代传感器中, 暗电流、光响应不均、以及电荷转移效率低等引起的误差相对较小和不重要<sup>[5]</sup>。但利用 CCD 摄像机来进行高精度测量, 这些因素不能不考虑。

### 4.1 CCD 摄像机固定图像噪声

固定图像噪声是由于暗电流分布不均、各光敏元大小、间隔不等所引起的空间分布噪声。若用镜头盖遮挡进入 CCD 摄像机的所有光线, 此时在监视器上进行观察, 在屏幕上可以看到呈周期排列的粗直线条。图样不随时间与空间变化。每次接通 CCD 摄像机时的背景图样均相同。从采集到的数据看, 其灰度等级最大与最小之差达到10个灰度级, 占总的256个灰度级的4%。由于固定噪声不随时间、空间变化, 所以只要检测时分离出噪声便可予以清除。

### 4.2 CCD 像元响应非均匀性

固态图像传感器由离散的光敏像素组成。尽管现代传感器芯片中像元之间的几何精度很高, 但各个像元的响应明显存在不同。理想的情况应是每个像元应对光产生同样的响应, 并且其响应不受落在其它像元光量的影响。然而实际的摄像机, 对光的响应各像元互不相同, 且一个像元的输出不仅依赖于其本身入射照度, 而且依赖于相邻像元的入射照度。

实际上, 由于充电饱和和延迟充电会扩展到邻近像素。换句话说, 一像元的输出可能被在其区域光的特殊分布及落在相邻像元光量所影响。响应的不均匀性一般为1%。为了在测量中实现高精度, 校正这个不足显得非常重要。校正方法通常采用测量和校正像素值之间的依赖于位置的线性关系:

$$V_{\text{corrected}} = \alpha V_{\text{measured}} + \beta \quad (8)$$

式中,  $\alpha$  为放大倍数(增益),  $\beta$  为附加常数(偏移)。

## 5 镜头几何畸变

几何畸变讨论图像点在图像平面的位置问题。由于在设计、安装镜头组成摄像机光学系统中的不完善, 必须考虑位置误差, 用下式表示:

$$x = x + \delta_x(x, y) \quad (9)$$

$$y = y + \delta_y(x, y) \quad (10)$$

式中,  $x, y$  是不可观测的无畸变图像坐标,  $x, y$  为畸变后的相应坐标。如式(9)和(10)表示沿着每个坐标的位置误差量, 通常取决于点的位置。为校正误差, 我们需要分析各种畸变根源以及在图像平面中建立它们的数学模型。

这里, 考虑三种畸变。第一种畸变由缺陷镜头形状引起, 并且只表现为径向位置误差。第二种和第三种畸变, 通常由不合适镜头以及摄像机的安装所产生点位置的径向和切向误差。如图1。

### 5.1 径向畸变

径向畸变引起给定图像点从其理想位置向内或外偏移。这种畸变主要由镜头的径向弯曲曲线特性缺陷引起。图像点的负径向偏移, 叫做桶形畸变。它导致外面的点挤在一起, 使比例因子减小; 正径向偏移, 叫做枕形畸变。它导致外面的点扩展, 使比例因子增大。这种畸变于光轴严格对称。图2显示了径向畸变的影响。

径向畸变由下式表示<sup>[6]</sup>:

$$\delta_{\rho} = k_1^3 \rho + k_2^5 \rho + k_3^7 \rho + \dots \quad (11)$$

式中,  $\rho$  是畸变点到图像平面原点的径向距离,  $k_1, k_2, \dots$ , 是径向畸变系数。每个图像点可用极坐标( $\rho, \varphi$ )表示。径向畸变相当于沿半径( $\rho$ )方向畸变。图像点也可用笛卡坐标( $x, y$ )表示。

$$x = \rho \cos \varphi \quad (12)$$

$$y = \rho \sin \varphi \quad (13)$$

沿笛卡尔坐标每个轴的畸变量为:

$$\delta_x = k_1 x (x^2 + y^2) + 0 [(x, y)^5] \quad (14)$$

$$\delta_y = k_1 y (x^2 + y^2) + 0 [(x, y)^5] \quad (15)$$

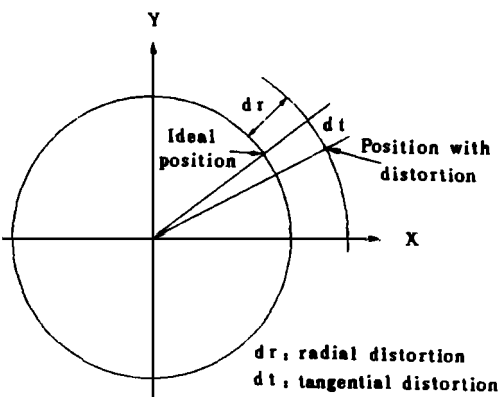


Fig. 1 Radial and tangential distortion

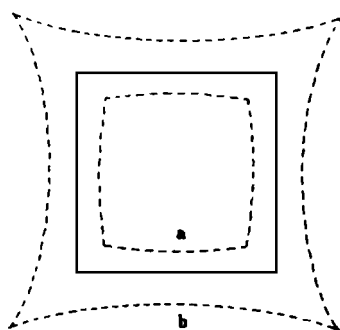


Fig. 2 Effect of radial distortion. Solid lines: no distortion; dashed lines: with radial distortion (a: negative, b: positive)

## 5.2 偏心畸变

实际光学系统存在不同程度的不同心,即偏心的影响。也就是说,镜头组的各光学中心不严格同心。这种影响引入所谓偏心畸变。这种畸变具有径向和切向畸变。用下式表达<sup>[6]</sup>:

$$\delta_{\rho d} = 3(j_1^2 \rho + j_2^4 \rho + \dots) \sin(\varphi - \varphi_0) \quad (16)$$

$$\delta_{\varphi d} = (j_1^2 \rho + j_2^4 \rho + \dots) \cos(\varphi - \varphi_0) \quad (17)$$

式中,  $\varphi_0$  是正  $x$  轴和称着极大切向畸变轴的参考线之间的夹角,如图3。

沿  $x$  轴和  $y$  轴的畸变量可根据  $\delta_{\rho d}$  和  $\delta_{\varphi d}$  得到:

$$\begin{bmatrix} \delta_{x d} \\ \delta_{y d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{\rho d} \\ \delta_{\varphi d} \end{bmatrix} \quad (18)$$

注意到,  $\cos \varphi = x/\rho$ ,  $\sin \varphi = y/\rho$ , 并令  $P_1 = -j_1 \sin \varphi_0$ ,  $P_2 = j_1 \cos \varphi_0$ , 由式(16)、(17)和(18)得:

$$\delta_{x d} = P_1(3x^2 + y^2) + 2P_2xy + 0[(x, y)^4] \quad (19)$$

$$\delta_{y d} = P_2(x^2 + 3y^2) + 2P_1xy + 0[(x, y)^4] \quad (20)$$

## 5.3 薄棱镜畸变

薄棱镜畸变由镜头设计、制造的缺陷以及摄像机的装配(如,镜头组之间图像传感器阵列的稍微倾斜)引起。这种畸变可通过附加一薄棱镜到光学系统中,引起径向和切向畸变附加量而适当建模<sup>[6]</sup>。这种畸变可表示为:

$$\delta_{\rho p} = (i_1 \rho^2 + i_2 \rho^4 + \dots) \sin(\varphi - \varphi_0) \quad (21)$$

$$\delta_{\varphi p} = (i_1 \rho^2 + i_2 \rho^4 + \dots) \cos(\varphi - \varphi_0) \quad (22)$$

式中,  $\varphi_0$  是正  $x$  轴和极大切向畸变轴之间的夹角,如图3。令  $S_1 = -i_1 \sin \varphi_0$ ,  $S_2 = i_1 \cos \varphi_0$ , 类似前面推导,得到  $x$  轴和  $y$  轴的畸变量表达式:

$$\delta_{x p} = S_1(x^2 + y^2) + 0[(x, y)^4] \quad (23)$$

$$\delta_{y p} = S_2(x^2 + y^2) + 0[(x, y)^4] \quad (24)$$

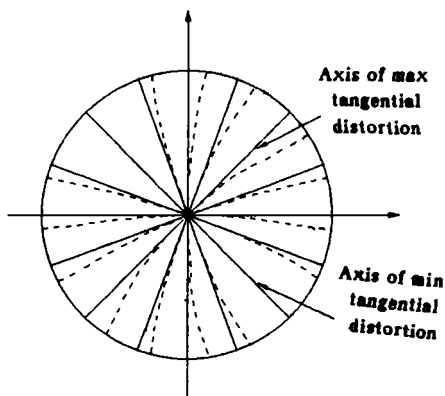


Fig. 3 Effect of tangential distortion.  
Solid lines: no distortion; dashed lines: with tangential distortion.

## 6 量化误差

当摄取一幅图像时,一幅大场景被变换成一幅小尺寸的平面,场景到一幅小平面的压缩以及图像平面上点的坐标值被量化,在图像测量中引起了许多不利因素。空间量化并非唯一的一种量化。由于摄像机能区分的灰度等级数的限制,图像平面内像素灰度也被量化为,例如,  $K$  个值。灰度的量化在图像测量中也是一个不利因素。由于量化误差在图像测量中是主要的影响因素之一,所以需要对其在图像测量中所产生的影响进行分析,研究该项误差影响的大小以及如何减小。值得指出的是,量化误差不像其它类型的误差,它不能通过执行非常精确的实验而减小。因为它是由图像处理中所采用的器件的内部

限制所引起。

被量化量A 极大量化误差为量化单位 γ的一半(例如,空间量化的极大误差是半个像元)。也就是说量A 的实际值A<sub>a</sub>可能在间隔I = [A<sub>q</sub> - γ/2, A<sub>q</sub> + γ/2]的内任何地方。其中A<sub>q</sub>是A 经量化后的值。而且,A 的实际值,即A<sub>a</sub>在间隔内的某一地方的可能性遵循均匀分布概率密度。换句话说,在I内,A<sub>a</sub>落在点A<sub>q</sub>附近小间隔dA 内的概率独立于A 且等于dA /γ。这样,A 的量化误差平均值(或期望)由下式给出:

$$\frac{1}{\gamma} \int_{A_q - \gamma/2}^{A_q + \gamma/2} |A - A_q| dA = \frac{1}{\gamma} \int_{-\gamma/2}^{\gamma/2} |x| dx = \frac{\gamma}{4} \tag{25}$$

如果A 是几个被量化量的函数,那么情况较为复杂。令A = f(A<sub>1</sub>...A<sub>N</sub>),其中量A<sub>i</sub>的实际值A<sub>ia</sub>以等概率落在间隔I<sub>i</sub> = [A<sub>iq</sub> - γ<sub>i</sub>/2, A<sub>iq</sub> + γ<sub>i</sub>/2]内。同前,A<sub>iq</sub>是A<sub>i</sub>量化后的值。为获得A 的由于量化A<sub>i</sub>引起的误差,考虑A 的Taylor级数展开式,仅保留独立变量ΔA<sub>i</sub> = A<sub>i</sub> - A<sub>iq</sub>的量化误差一阶项:

$$\Delta A \approx \frac{\partial f}{\partial A_1} \Delta A_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial A_N} \Delta A_N \tag{26}$$

当ΔA<sub>i</sub>或等效地间隔I<sub>i</sub>(因为|ΔA<sub>i</sub>| ≤ γ<sub>i</sub>/2)与A<sub>iq</sub>相比较小时,展开式有效。当间隔I<sub>i</sub>较大时,展开式的高阶项则必需考虑。然而,这里我们假设ΔA<sub>i</sub>的线性项就足够了。明显地,如果A = f(A<sub>1</sub>...A<sub>N</sub>)的高阶导数很小或消失,那么即使间隔I<sub>i</sub>较大式(26)也保持有效。

A 的极大误差,即E<sub>max</sub>,由下式给出:

$$E_{\max} = \left| \frac{\partial f}{\partial A_1} E_{1,\max} \right| + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial A_N} E_{N,\max} \right| = \sum_{i=1}^n \left| \alpha_i \gamma_i / 2 \right| \tag{27}$$

式中, E<sub>i max</sub> = γ<sub>i</sub>/2 是A<sub>i</sub>的极大误差,系数α<sub>i</sub> = ∂f/∂A<sub>i</sub>在{A<sub>1q</sub>...A<sub>Nq</sub>}计算。

量化误差最实际的测量是平均误差E,它是绝对值误差E = |ΔA|的平均,即:

$$\bar{E} = \frac{1}{\gamma_1 \dots \gamma_N} \int_{-\gamma_1/2}^{\gamma_1/2} \dots \int_{-\gamma_N/2}^{\gamma_N/2} |\alpha_1 x_1| dx_1 \dots dx_N \tag{28}$$

其中,类似于(25) x<sub>i</sub>代表x<sub>i</sub> = A<sub>i</sub> - A<sub>iq</sub>。

由于不可能对任意误差分布的平均误差进行估计,为方便常用标准差作为误差的测量。通过下式定义标准差:

$$\sigma^2 = \frac{1}{\gamma_1 \dots \gamma_N} \int_{-\gamma_1/2}^{\gamma_1/2} \dots \int_{-\gamma_N/2}^{\gamma_N/2} (\Delta A)^2 dx_1 \dots dx_N = \frac{1}{12} (\alpha_1^2 \gamma_1^2 + \dots + \alpha_N^2 \gamma_N^2) \tag{29}$$

式中,√(γ<sub>i</sub><sup>2</sup>/12)是在间隔[-γ<sub>i</sub>/2, γ<sub>i</sub>/2]内,具有均匀分布的随机变量x<sub>i</sub>的标准差。对于非常特殊情况,当N → ∞ (为了中心极限定理绝对保持)所乘积α<sub>i</sub>γ<sub>i</sub>相等,在平均误差和标准差存在简单关系σ/E = √(π/2)<sup>[7]</sup>;然而一般情况下,这两个量的特殊关系通常不知道。

现在,不失一般地,我们用1代替γ,如果误差是灰度的量化引起,那么积分范围是±1/2灰度单位;如果误差是由于空间量化引起,那么积分范围是±1/2像元。

下面一简单的例子以说明以上积分的应用。考虑在像平面内,两个像元(A<sub>1</sub>, y)和(A<sub>2</sub>, y)之间的水平距离A,这样A = A<sub>1</sub> - A<sub>2</sub>,这里很容易求得α = 1, α = -1。因此,距离A的平均误差为:

$$\bar{E} = \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} |x_1 - x_2| dx_2 = 1/3 = 0.33 \tag{30}$$

而最大误差为  $E_{\max} = |1/2| + |-1/2| = 1$ , 标准差为  $\sigma = 1/\sqrt{6} = 0.41$  像元。

## 7 行 抖 动

图像采集卡以离散时间采样摄像机的输出。尽管摄像机中的每一像素, 在输出信号中被分配了一特定时间间隔, 但大多数图像采集卡忽略了这个关系。多数图像采集卡以一行中帧存储器的像元散(通常量512)来为一扫描行划分整个时间, 并以固定时间间隔采样<sup>[8]</sup>。其结果是, 帧存像元通常与传感器像没有一对一关系。

大家知道, 在普通的摄像机中, 行抖动是产生几何误差的主要原因之一。行抖动的根源是在摄像机与图像采集卡之间缺乏发送频率参考, 以至在时间同步上产生偏移。CCD 摄像机通常遵照光导摄像管摄像机标准而设计, 具有水平和垂直同步信号相加而形成的复合同步信号。在图像采集卡中, 同步信号被同步分离器从复合视频信号中分离出来。锁相环(PLL)电路用于为图像采集卡中的A/D产生采集时钟频率(像素时钟)。像素时钟和分离出的水平垂直同步信号用于把A/D转换出的信号放入帧存。从CCD传感器输出的模拟图像强度数据总是以符合CCIR标准的固定频率14.1815 MHz输出。对每行进行A/D转换的定时, 总是在水平同步信号被检测出后, 给定的时钟周期数上进行。起始周期检测位置的任何偏差, 都会产生行抖动。其结果是在x方向而不是在y方向产生误差。行抖动是随机的, 许多图像采集卡的行抖动误差在1/4到1/8像素之间<sup>[9]</sup>。

要消除行抖动, 需将CCD摄像机的发送时钟频率作为图像采集卡中A/D的采集时钟频率。

## 8 温度的影响

温度的变化对CCD摄像机的性能有所影响。这是因为CCD摄像机由电子线路和半导体器件所构成, 温度对它们均有影响。这种影响所产生的变化, 可通过预热实验进行评估。做如下实验: 随着预热时间的延长, CCD摄像机的图像采集卡的温度随之变化, 观察所采集图像所反映的被测物体的几何位置变化。

评估温度单独对CCD摄像机的影响。

评估温度单独对图像采集卡的影响。

评估温度对CCD摄像机和图像采集卡的综合影响。

通过上面几个实验<sup>[2]</sup>, 可作出预热对摄像机和图像采集卡影响的结论如下:

(1) 摄像机预热的主要影响因素是摄像机的热膨胀, 主要是CCD芯片。固定点的膨胀各个摄像机互不相同, 但对所有目标图像其量值有同样阶次。摄像机的预热漂移可达0.3个像素。

(2) 预热对图像采集卡的主要影响因素是图像采集卡产生的频率时钟信号发生了变化。变化出现在x方向, 有4个像素漂移。

(3) 预热对图像采集卡的影响远大于对摄像机的影响。建议预热以后再采集图像。

(4) 另外, 需要特别指出的是环境温度对被测工件的影响。在测量对环境温度敏感的金属工件时, 必须考虑其线膨胀和保证环境温度恒定, 并在此温度下进行系统定标和测量。

## 9 振动和电缆的影响

被测物体和摄像机的微小运动都能造成图像的变形。由于像元非常小,摄像机的运动很容易引起大的测量误差。对不希望的随机振动可采用适当的振动隔离方法便可以减小。如将摄像机的被测工件均置于隔振平台上。如果在生产现场进行实时测量,采用减振平台不现实,较好的解决办法是采用带快门的或特殊的摄像机以很快的速度拍摄图像。

正确的视频电缆对于无误差传输非常重要。若采用 $50\ \Omega$ 视频电缆,会导致在电缆长度较长时出现阻尼振荡现象。如果正确地采用 $75\ \Omega$ 视频电缆,视频信号则可无畸变地传送更长的距离。

## 10 结 论

尽管数字图像测量系统的测量精度主要取决于CCD摄像机的分辨率<sup>[1,4]</sup>,但为了进一步提高测量精度,必需考虑影响测量精度的诸多因素,如:照明视场噪声、热电子噪声、CCD性能、镜头畸变、量化误差、帧存与CCD不同步、温度、振动、视频馈线等的影响。本文较为详细地分析了这些误差对图像测量系统的测量精度的影响,并给出了消除或减小误差的有效方法,从而提高了图像测量系统的测量精度。

### 参 考 文 献

- [1] 吴晓波,钟先信 高精度图像测量系统 光学精密工程,1995,3(1): 28~ 33
- [2] 吴晓波 异形三维回转体亚像元轮廓图像测量技术的研究 重庆:重庆大学光电精密仪器系博士学位论文,1995
- [3] 王庆有,孙学珠 CCD 应用技术 天津:天津大学出版社,1993
- [4] 吴晓波 提高面阵CCD尺寸测量分辨率的新途径 中国科协第二届青年学术年会四川卫星会议论文集,1995,上册: 656~ 659
- [5] West G A W and Clarke T A. A Survey and Examination of Subpixel Measurement Techniques Proc SPIE, 1990, **1395**: 456~ 463
- [6] Weng J, Cohen P, Herniou M. Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation. PAMI, 1992, **14**(10): 965~ 980
- [7] Kamgarpari, B. B. Kamgarpari Evaluation of Quantization Error in Computer Vision. PAMI, 1989, **11**(9): 929~ 940
- [8] McClellan J. Characterization and Correction of Image Acquisition System Response for Machine Vision. Proc SPIE, 1989, **1194**: 62~ 73
- [9] Jinchun. The Use of Multiple Cameras and Geometric Constraints for 3-D Measurement. Great Britain: The City University, 1995

## **Error Analysing and Approaches of Improving Measuring Precision in Image Measuring System**

Wu Xiaobo, An Wendou and Yang Gang

(Dept. of Automation, Logistic Engineering Institute, Chongqing 630041)

### **Abstract**

To find out the way of further improving the measuring precision, this paper has analysed in detail the factors in influencing upon the precision of image measurement system, such as luminary field noise, warm electron noise, CCD properties effect, lens distortion, quantization error, line-jitter, the effects of temperature, vibration and cable termination. The effective methods to eliminate or reduce these errors have also been given out.

**Key words:** Image measurement, Error analysing, Measuring precision.

**吴晓波** 男, 1963年8月生。1984年在解放军后勤工程学院自动化系获学士学位, 1992年在重庆大学自动化系获硕士学位, 1995年在重庆大学光电精密仪器系获博士学位。所搞科研项目“空军某油库自动化系统工程”1988年获军队科技进步二等奖及国家科技进步三等奖。已公开发表论文8篇。现正从事自动控制系统故障诊断、容错控制、系统辨识、图像处理及精密测量等研究工作。