控制点排列对图像校正的影响及重复校正

赖国俊 申功炘

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院，北京 100191)

摘 要：针对在 DSPIV(Digital Stereo Particle Image Velocimetry)的图像几何校正中，校正板上控制点的排列方式对图像校正误差所产生的影响，在使用双调和样条函数构建校正映射函数的条件下，分别使用了 11 列×21 行、21 列×21 行、11 列×41 行、21 列×41 行和 16 列×31 行 5 种控制点等列距、等行距排列的校正板来进行图像校正，计算了这 5 种控制点排列方式对应的校正准度和校正精度. 另外，为进一步减小图像校正误差，还提出了对经过校正所得的图像进行重复图像校正. 实验结果表明：随着控制点数目的增加，校正准度和校正精度会相应提高；经过重复图像校正的校正准度和校正精度优于一次校正的结果，但需要耗费更多的图像处理时间.

关 键 词：数字体视粒子图像测速技术(DSPIV)；双调和样条函数；控制点排列方式；重复校正

中图分类号：V 211.71

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)10-1214-06

Image mapping approach based on biharmonic spline interpolation concerning dot arrangement and multi-mapping

Lai Guojun Shen Gongxin

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: To obtain connection between dot arrangement on mapping board and image mapping error of digital stereo particle image velocimetry (DSPIV), five mapping boards with rectangular dot pattern covering aera of same size were used respectively to perform image mapping. Dot spacing in these dot pattern was equal in row and in column. A biharmonic spline function based on the Green function was employed as mapping model in this process. Statistic value of absolute differences between dot-center coordinates after mapping and their theoretical values and its standard deviation were calculated for comparison of image mapping errors. An image multi-mapping approach was also presented. Another image mapping was performed consecutively on the image obtained from the first mapping process. The experimental result shows that the image mapping errors decrease as the dot number on the mapping board increases and the image multi-mapping approach can decrease the mapping errors compared to those of single mapping, but at the cost of time consuming.

Key words: digital stereo particle image velocimetry (DSPIV); biharmonic spline interpolation; dot arrangement; multi-mapping

DSPIV(Digital Stereo Particle Image Velocimetry)是一种利用生物学体视原理，使用两台相机测量一个平面上各点三维速度矢量的粒子图像测速技术. 为了使两台相机所拍摄到的公共区域尽可能地大，DSPIV 系统中的相机经常采用角位移布局. 由于角位移布局要求观测平面、镜头

收稿日期：2008-10-06

基金项目：国家自然科学基金资助项目(10772017)；985 基金二期资助项目

作者简介：赖国俊(1982—)，男，广西灵山人，博士生，sonic3.0@163.com.

平面和相机的 CCD(Charge-Coupled Device)平面必须相交于一条直线(Scheimflüg 条件)才能使整个拍摄区域清晰成像,结果却导致了所拍摄到的图像在各处的放大率不均匀,图像几何变形比较严重.因此,对于角位移布局的 DSPIV 系统,在测速实验前要先利用一块校正板的图像来确定图像校正参数,以用于消除粒子图像的几何变形;同时,还要确定三维标定参数,以用于体视重构三维的速度矢量.图像校正的误差会直接影响到标定参数的误差,这是因为在三维标定过程中所使用的图像必须先经过图像校正.

文献[1]在文献[2－3]的基础上提出了利用双调和样条函数构建校正映射函数.该校正映射函数大大提高了图像校正准度和校正精度,具有很好的数值稳定性.该校正方法已在本实验小组的多次 DSPIV 实验中使用[4－7].本文主要研究了控制点的排列方式如何影响图像校正误差,并提出了对图像进行重复校正,以进一步提高图像校正准度和校正精度.

1　校正步骤及校正映射函数

校正板是几何校正中必须使用的一个工具.它上面精密地刻有正交的网格线,或是打印有等间距的点阵(圆点).网格线的交叉点和圆点的圆心就是控制点.

拍摄校正板图像前,把校正板放到观测区域;两台相机分别安装到实验观测所要求的位置;拍摄到由于相机摆放位置"不正"(图 1)而发生几何变形的校正板图像.利用变形的校正板图形进行图像几何校正.图像几何校正分为 3 步:使用高斯拟合在变形的校正板图像上提取出所有控制点的坐标;依据几何变形前后控制点的坐标矩阵建立校正映射函数;对原始图像进行重取样,即利用校正映射函数把原始变形图像中的所有像素点里的灰度值,逐个填充到标准空间中相应的像素点.这样,便获得一幅与物面成正射投影关系的标准图像.

校正映射函数所反应的是图像发生几何变形前后的各个图像点之间的映射关系.一般地,设校正映射函数为

$$\left.\begin{aligned} X &= f(x,y) \\ Y &= g(x,y) \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

其中,(x,y)为图像变形前的各个像素的坐标;(X,Y)为像素点(x,y)在变形图像中的坐标.在实际的校正运算中,不可能知道真实的校正映射函数,但可以使用一组合理的解析函数来近似.为

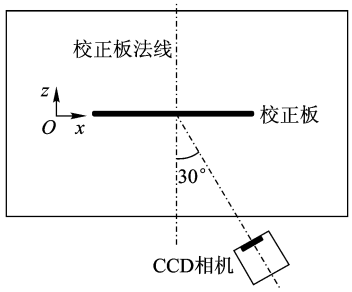


图 1　实验布置示意图(俯视图)

求解方便,同时又为了能够有效地反应这种图像几何变形的映射关系,可以设映射函数为 M 阶多项式[2－3],如下:

$$\left.\begin{aligned} X &= f(x,y) = \sum_{j=0}^{M}\sum_{k=0}^{j} a_{jk}x^k y^{j-k} \\ Y &= g(x,y) = \sum_{j=0}^{M}\sum_{k=0}^{j} b_{jk}x^k y^{j-k} \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

又设(x_c,y_c),(X_c,Y_c)分别为图像变形前后控制点中心的坐标,分别代入式(2)两边,利用最小二乘法即可把系数 a_{jk},b_{jk} 求出来.确定了多项式中的系数,也就确定了校正映射函数.文献[1]提出了使用双调和样条函数替代多项式来构建图像几何校正的映射函数.该样条函数采用的是基于格林函数的二维双调和样条插值函数[8].对于 m 维空间($m\geqslant 2$)的 N 个位置 x_r($r=1,2\cdots,N$)上的数据点 w_r,利用样条进行插值的 w,满足双调和方程:

$$\nabla^4 w(x) = \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \delta(x - x_j) \tag{3}$$

其通解为

$$w(x) = \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \Phi_m(x - x_j) \tag{4}$$

其中,系数 α_j 由线性系统 $w_i = \sum_{j=1}^{N} \alpha_j \Phi_m(x_i - x_j)$($i=1,2,\cdots,N$)求得;$\delta$ 为狄拉克函数.

对于二维空间(两个自变量),双调和格林函数 Φ_m 的具体表达式为

$$\Phi_2 = |x|^2(\ln|x| - 1) \tag{5}$$

w 具有最小曲率的特性,因此由它生成的曲面光滑而不易产生振荡,也不易受局部误差的影响,有利于对不规则变形的空间进行几何校正,但缺点是计算时间较长.

2　实验设备及布置

本实验使用的校正板是 0.1 mm 厚的透明胶片纸,在 5 个 1 英寸×2 英寸的矩形区域上各自打印圆点阵列:11 列×21 行、21 列×21 行、

11列×41行、21列×41行和16列×31行.各个点阵的行列距见表1.

表1 各点阵的行列距 英寸

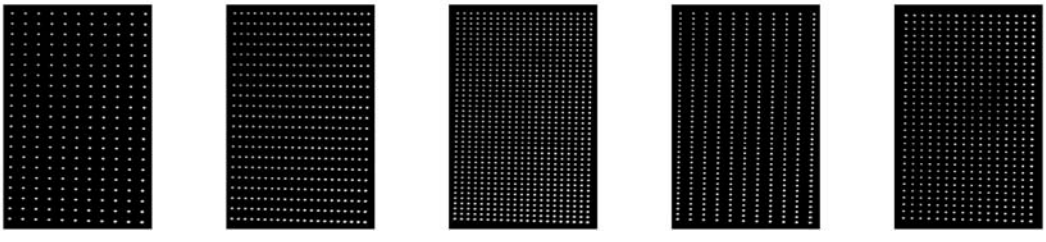
距离	11列×21行	21列×21行	11列×41行	21列×41行	16列×31行
列距 Δx	0.1	0.05	0.1	0.05	0.067
行距 Δy	0.1	0.1	0.05	0.05	0.067

圆点直径约为0.3 mm.圆点制作精度为每英寸300个喷墨打印点.本文称这些圆点为控制点.实验中,校正板放入一个小水缸中.仿照常见的DSPIV中的相机布置,令一个相机与拍摄平面(即校正板)的法线方向成30°,如图1.实验中所使用的镜头的参数为:镜头直径为30.5 mm,最大光圈值为1.2,焦距为3.8~38.采集到的校正板图像会因为相机的拍摄角而发生相应的几何变形.实验中,为了保证各个校正板图像的几何变形相同,每次拍摄校正板图像时,始终保证镜头中心对准各个点阵的中心.

3 实验结果及讨论

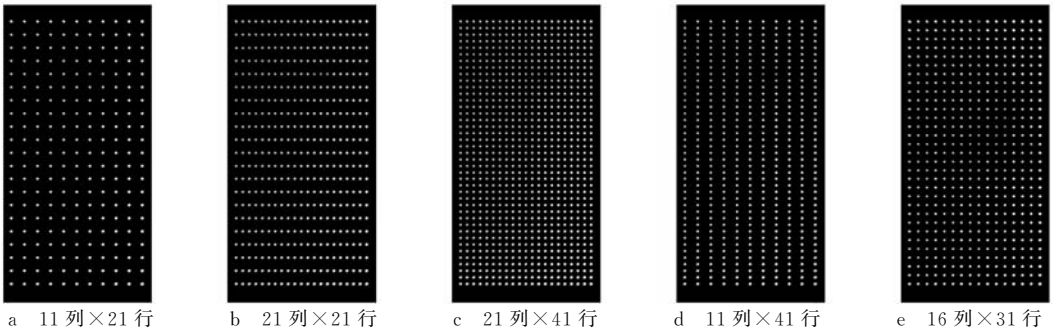
3.1 校正前后的图像

图2为拍摄到的发生了几何变形的校正板图像.经过校正后,得到还原的校正板图像(如图3).为了方便,本文约定点阵的横向(沿行的方向)为 x 方向,相应地,点阵的纵向(沿列的方向)为 y 方向.



a 11列×21行 b 21列×21行 c 21列×41行 d 11列×41行 e 16列×31行

图2 校正前的校正板图像



a 11列×21行 b 21列×21行 c 21列×41行 d 11列×41行 e 16列×31行

图3 校正后的校正板图像

3.2 校正准度和精度的定义

本文分别采用校正后控制点中心坐标的平均校正偏差 ε^x_{abs},ε^y_{abs} 和标准差 ε^x_{std},ε^y_{std} 来衡量校正的准度和校正的精度.ε^x_{abs} 和 ε^y_{abs} 是校正后控制点中心实际坐标与约定坐标的偏差的平均值,定义如下:

$$\varepsilon^x_{abs}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|(x_{act})_i-(x_{std})_i| \tag{6}$$

$$\varepsilon^y_{abs}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|(y_{act})_i-(y_{std})_i| \tag{7}$$

其中,x_{act},y_{act} 为校正后的控制点中心的实际坐标;x_{std},y_{std} 为控制点中心的约定坐标.ε^x_{std} 和 ε^y_{std} 为控制点中心坐标校正计算的标准差,定义如下:

$$\varepsilon^x_{std}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(|(x_{act})_i-(x_{std})_i|-\varepsilon^x_{abs})^2} \tag{8}$$

$$\varepsilon^y_{std}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(|(y_{act})_i-(y_{std})_i|-\varepsilon^y_{abs})^2} \tag{9}$$

在这里,平均校正偏差和标准差表征的都是在同一幅图像内所有控制点坐标的分布误差的统计平均值.

3.3 控制点行、列数目变化的影响

利用4种控制点阵的排列方式:11列×21行、21列×21行、11列×41行和21列×41行,研究控制点行、列数目变化对校正误差产生的影响.

表2反应了控制点数目在 x 和 y 方向上变化对校正后的图像中的控制点中心 x 坐标的标准差的影响.当 y 方向只有21个控制点时,x 方向的控制点数目由11个增加到21个,即增加一倍,ε^x_{std} 减少约0.03像素;同样地,当 y 方向的控制点

数目为 41 个时,比较 x 方向的控制点数目由 11 个增加到 21 个后的变化,发现 ε_{std}^{x} 减少约 0.02 像素.这说明,在 y 方向控制点数目不变的情况下,随着 x 方向的控制点数目增加,ε_{std}^{x} 将随之减小,亦即校正的精度将提高.相似地,在 x 方向的控制点数目不变的情况下,增加 y 方向的控制点数目,亦可减小 ε_{std}^{x},提高校正的精度.所以,无论提高哪个方向的控制点数目,均可提高 x 方向上的校正精度.

表 2　校正后控制点中心 x 坐标的标准差

ε_{std}^{x}/像素	x 方向 11 个点	x 方向 21 个点
y 方向 21 个点	0.246 9	0.215 9
y 方向 41 个点	0.177 9	0.157 7

表 2 的数据还表明:提高 y 方向的控制点数目能够更有效地提高 x 方向上的校正精度.比较点阵 11 列×21 行(231 个控制点)和点阵 21 列×21 行(441 个控制点)相应的标准差,发现在 y 方向的控制点数目不变的情况下,x 方向的控制点数目增加了一倍,即控制点总数约增加了一倍,ε_{std}^{x} 仅减小约 0.03 像素;再比较点阵 11 列×21 行(231 个控制点)和点阵 11 列×41 行(451 个控制点)相应的标准差,在 x 方向的控制点数目不变的情况下,y 方向的控制点数目增加了一倍,ε_{std}^{x} 就可以减小约 0.07 像素.点阵 11 列×41 行(451 个控制点)与点阵 21 列×21 行(441 个控制点)相差不过 10 个控制点,而前者在 x 方向上的控制点数目比后者还少一倍,前者的 ε_{std}^{x} 却比后者减小约 0.03 像素.这足以说明,增加 y 方向的控制点数目更有利于提高 x 方向上的校正精度.

表 3 反应了控制点数目在 x 和 y 方向上变化对校正后的图像中的控制点中心 y 坐标的标准差的影响.与表 2 比较发现:控制点数目的变化对 ε_{std}^{y} 的影响规律与对 ε_{std}^{x} 的影响相类似,无论提高哪个方向的控制点数目,均可提高 y 方向上的校正精度,尤其提高 y 方向的控制点数目同样能够更有效地提高 y 方向上的校正精度.

表 3　校正后控制点中心 y 坐标的标准差

ε_{std}^{y}/像素	x 方向 11 个点	x 方向 21 个点
y 方向 21 个点	0.225 8	0.208 4
y 方向 41 个点	0.145 1	0.135 0

进一步比较发现:控制点总数目是影响两个方向的校正精度的一个因素,如图 4.ε_{std}^{x} 和 ε_{std}^{y} 随着控制点总数的增加而减小,即两个方向的校正精度都随着总数的增加而提高.并且,ε_{std}^{y} 总是比 ε_{std}^{x} 小,即 y 方向的校正精度总是比 x 方向高.

控制点行数目和列数目的变化对图像校正精度的影响归纳如下:增加某个方向的控制点数目不仅可以提高该方向的校正精度,还可以同时提高另一个方向的校正精度,而增加 y 方向的控制点数目更有利于提高校正精度;校正精度随着控制点总数的增加而提高;y 方向的校正精度总是比 x 方向高.

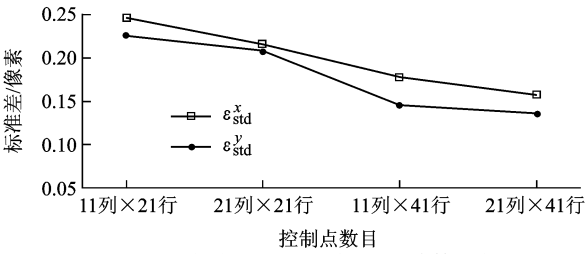


图 4　4 种方式控制点中心坐标校正计算的标准差与点阵总数关系曲线

控制点的数目越多,使用双调和样条函数所构建的两个校正映射函数就越准确地表达变形的图像平面与变形前的图像平面各点之间的映射关系.所以,无论提高哪一个方向的控制点数目,只要控制点总数增加,就有利于提高整个校正精度.至于校正精度对 y 方向的控制点数目更敏感的原因可归结为图像在 y 方向上的变形较大,对插值结果影响更大.所以,在该方向需要排列更多的控制点来提高校正精度.而 y 方向的校正精度总是比 x 方向高则是由于 y 方向上排列的控制点总是比 x 方向上多的缘故.图 4 表明当两个方向上都排列 21 个控制点时,两个方向上的校正精度是相当的;相比较来看,点阵 11 列×41 行在两个方向上的校正精度差别较大.

表 4 为校正后控制点中心 x 坐标和 y 坐标的平均校正偏差.平均校正偏差比标准差大一个数量级,而且控制点中心 x 坐标的平均校正偏差比 y 坐标大.这意味着校正的准度在 x 方向上较高.

表 4　4 种方式校正后控制点中心坐标的平均校正偏差

平均校正偏差/像素	11 列×21 行	21 列×21 行	11 列×41 行	21 列×41 行
ε_{abs}^{x}	1.524 1	1.458 9	1.524 6	1.537 4
ε_{abs}^{y}	2.267 2	2.232 9	2.180 7	2.199 7

校正准度在两个方向上的差异应当归因于校正时对原始校正板图像的“拉伸”.在校正前,原始校正板图像的大小是 576 像素×720 像素;校正过程中,校正程序对原始图像进行灰度插值,使其大小变为所需要的 1 024 像素×2 048 像素.可以看到,x 方向上的尺寸从 576 像素变为 1 024 像素,增加了 448 像素;y 方向上则由 720 像素“拉伸”到 2 048 像素,增加了 1 328 像素.显而易见,y

方向上的插值量是 x 方向上的3倍.这就是使得 y 方向上校正准度比 x 方向上校正准度低的原因.为了验证这一论断,对点阵11列×21行重新进行校正,而校正后图像的大小设定为512像素×1 024像素.如表5所示,在校正后图像在两个方向上均缩小一倍的情况下,ε_{abs}^{x} 和 ε_{abs}^{y} 分别下降约6倍和4倍.这说明校正的缩放比例越小,越有利于提高校正准度;反之,越不利于保证校正准度.这也是 y 方向上校正准度比 x 方向上校正准度低的原因:校正后图像在 y 方向上的尺寸比 x 方向大(比例刚好为2∶1),从而导致 y 方向上的校正准度比 x 方向上的低.

表5 点阵11×21在不同校正缩放比例下的平均校正偏差

平均校正偏差/像素	预设的校正后图像尺寸/像素	
	1 024×2 048	512×1 024
ε_{abs}^{x}	1.524 1	0.264 1
ε_{abs}^{y}	2.267 2	0.583 8

3.4 均匀分布下控制点总数的影响

11列×21行、21列×41行、16列×31行,这3种排列方式的控制点是均匀分布的,即在各个点阵中,行距和列距相等.表6和图5反应了控制点均匀排列时,控制点数目对两个方向校正精度 ε_{std}^{x} 和 ε_{std}^{y} 的影响.ε_{std}^{x} 和 ε_{std}^{y} 均随着控制点总数的增加而减小,并且 ε_{std}^{y} 总是比 ε_{std}^{x} 小.显然,控制点均匀排列时,两个方向校正精度的变化规律与3.1小节类似:校正精度随着总控制点数的增加而提高.而且,y 方向的校正精度总是比 x 方向高.这与上小节的结论的一致.至于控制点中心 x 坐标和 y 坐标的平均校正偏差(表7),前者依然比后者小,即 x 方向上的校正准度比 y 方向上的高.

表6 校正后控制点中心坐标的标准差

标准差/像素	11列×21行	16列×31行	21列×41行
ε_{std}^{x}	0.246 9	0.230 0	0.157 7
ε_{std}^{y}	0.225 8	0.212 6	0.135 0

表7 3种方式校正后控制点中心坐标的平均校正偏差

平均校正偏差/像素	11列×21行	16列×31行	21列×41行
ε_{abs}^{x}	1.524 1	1.642 1	1.537 4
ε_{abs}^{y}	2.267 2	2.242 1	2.199 7

3.5 重复校正前后校正误差的比较

对校正后的校正板图像(11列×21行)又进行了一次图像校正,并计算了相应的校正准度和校正精度,与一次校正的结果进行比较(表8和表9)发现进行二次图像校正可以同时大大地提高校正的准度和精度.特别地,二次校正使得校正准度提高了两个数量级如表9所示,第1次校正后,ε_{abs}^{x}=1.524 1像素,ε_{abs}^{y}=2.267 2像素;第2次校正后,平均校正偏差分别下降为0.095 6像素和0.094 2像素.图6显示了第1次和第2次校正后各点坐标的校正误差分布图.图像经过第2次校正后,校正误差绝大部分都趋于零.可是,两次校正需要花费多一倍的时间.

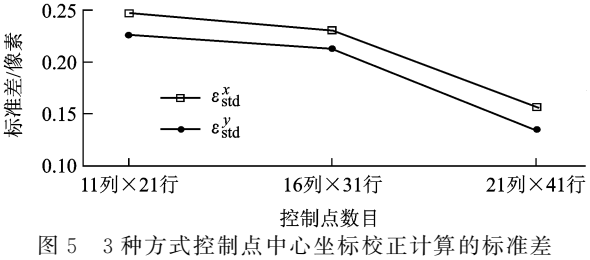
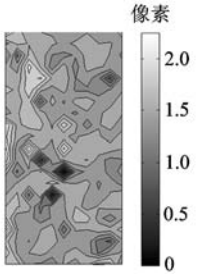
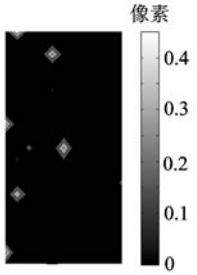


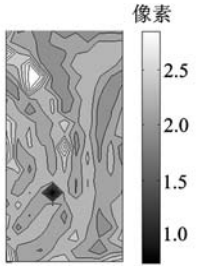
图5 3种方式控制点中心坐标校正计算的标准差与点阵总数关系曲线



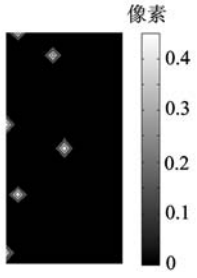
a 第1次校正后各点 x 坐标的误差分布图



b 第2次校正后各点 x 坐标的误差分布图



c 第1次校正后各点 y 坐标的误差分布图



d 第2次校正后各点 y 坐标的误差分布图

图6 第1次和第2次校正后各点坐标的校正误差分布图

表8 两次校正后控制点中心坐标的标准差

标准差/像素	第1次校正	第2次校正

ε_{std}^{x}	0.246 9	0.095 4
ε_{std}^{y}	0.225 8	0.094 2

表 9　两次校正后控制点中心坐标的平均校正偏差

平均校正偏差/像素	第 1 次校正	第 2 次校正
ε_{abs}^{x}	1.524 1	0.095 6
ε_{abs}^{y}	2.267 2	0.094 2

4　结　论

本文研究了在使用双调和样条构建映射函数的条件下,控制点排列方式的变化对图像校正精度和准度的影响,得到了以下结论:增加某个方向的控制点数目不仅可以提高该方向的校正精度,还可以同时提高另一个方向的校正精度;并且,增加图像变形较大的那个方向的控制点数目更有利于提高总体的校正精度;校正精度基本上随着控制点总数的增加而提高.此外,重复校正可以大大地提高校正的准度和精度,尤其是校正的准度.在本实验中,发生几何变形的图像经过一次重复校正已经可以保证校正的精度和准度达到实验要求了.但是,重复校正需要耗费更多的时间.

参考文献(References)

[1] 赖国俊. 体视 PIV 的应用研究[D]. 北京:北京航空航天大学航空科学与工程学院, 2005
Lai Guojun. Improvement in stereo-PIV[D]. Beijing: School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005(in Chinese)

[2] Pratt W K. Digital image processing: PIKS scientific inside [M]. 4th Edition ed. New York: Wiley-Interscience, 2007

[3] Raffel M, Willert C E, Wereley S T, et al. Particle image velocimetry[M]. 2nd ed. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2007

[4] 任禹桥. 昆虫拍动翼的三维流动结构研究[D]. 北京:北京航空航天大学航空科学与工程学院, 2006
Ren Yuqiao. Three-dimensional flow structure of insect flapping wing[D]. Beijing: School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006(in Chinese)

[5] Lu Yuan, Shen Gongxin. Three-dimensional flow structures and evolution of the leading-edge vortices on a flapping wing [J]. Journal of Experimental Biology, 2008, 211(8): 1221－1230

[6] 陆远. 拍动翼前缘涡三维空间结构及演化[D]. 北京:北京航空航天大学航空科学与工程学院, 2007
Lu Yuan. Three-dimensional flow structure and evolutions of the leading-edge vortices on flapping wing [D]. Beijing: School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007(in Chinese)

[7] 谭广琨. 仿生机械鱼模型摆动的三维流动测量与流动机理研究[D]. 北京:北京航空航天大学航空科学与工程学院, 2007
Tan Guangkun. The quantitative measurement and mechanism invetigation on three-dimensional flow of mimic robot fish oscillation[D]. Beijing: School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007(in Chinese)

[8] Sandwell D T. Biharmonic spline interpolation of GEOS-3 and SEASAT altmeter data[J]. Geophysical Research Letters, 1987, 2: 139－142

(编　辑:刘登敏)

(上接第 1213 页)

[3] Abdel Aziz Y I, Karara H M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry[C]//Proc of the Symposium on Close-Range Photogrammetry. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, 1971: 1－18

[4] Triggs Bill, Mclauchlan Peter, Hartley Richard. Bundle adjustment—a modern synthesis [C]//Proc of the Int Workshop on Vision Algorithms: Theory and Practice. Freiburg, Germany: Springer-Verlag, 1999: 298－372

[5] Weng Juyang, Paul C, Marc H. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(10): 965－980

[6] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330－1334

[7] Tsai R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision[C]// Proc IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami Beach, Florida: [s. n.], 1986: 346－373

[8] Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. IEEE, Robotics Automat, 1987(4): 323－344

[9] Frederic D, Oliview F. Straight lines have to be straight_automation calibration and removal of distortion from scenes of structured environments [J]. Machine Vision and Applications, 2001, 23: 14－24

[10] Yang Yongyue, Deng Shanxi, Wang Xunsi. Correction of anamorphic vision image with perspective lines[J]. Journal of Applied Sciences, 2006, 24(6): 628－632

[11] 王亚东,丁明跃,彭嘉雄. 一种基于摄像机模型的畸变图像校正方法[J]. 自动化学报, 1997, 23(5): 717－720
Wang Yadong, Ding Mingyue, Peng Jiaxiong. Correction of distortion image based on camera model [J]. Acta Automatic Sinica, 1997, 23(5): 717－720(in Chinese)

[12] Zhang Yanzhen, Ou Zongying, Xue Bindang. Error correction method based on slope for camera radial distortion [J]. Mini-Micro System, 2002, 23(5): 625－627

[13] Salci J, Armangue X, Batlle J. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation [J]. Pattern Recognition, 2002, 35(7): 1617－1365

(编　辑:刘登敏)