

CCD 摄像机面阵几何检校的自动化方法

葛 仁 彦

摘要 利用 CCD 摄像机实现目标点的高精度定位和量测是计算机机器视觉和实时摄影测量系统的基本手段。而 CCD 摄像机获取的目标影像在传输的过程中受到几何精度的限制。所以,目标影像从 CCD 传感器到存储器的高精度的辐射和几何传输是 CCD 摄像机检校的基本问题。作者在一新研制的解析测图仪上,设计了一套 CCD 摄像机自动检校的软件系统。本文对该软件系统进行了介绍,并通过检校试验,证明了其可靠性和实用性。

关键词 自动二值化,二维子象素边缘检测,轮廓跟踪,采样矩,仿射变换

分类号 TB853.1

0 概 说

工业用 CCD 摄像机在近十年间随着半导体技术、微电子技术的发展,其性能已有大幅度地提高。综观市场,装配有 CCD 传感器的摄像机其不断增长的性能和不断降低的价格使人们对该设备的兴趣越来越大,在各产业部门的应用也越来越广泛。在摄影测量领域,CCD 相机也已广泛地应用于实时摄影机测量系统中。所以,对系统输入部分的质量进行评价和分析是系统设计的一个很重要的方面,其主要的内容是对 CCD 相机的几何性能进行检校。

通过 CCD 相机获取的视频影像信号在 A/D 转换和帧接收器的控制下被实时地数字化和实时地处理和存储。在同步信号的控制下,其影像信息在模拟数据和 A/D 转换以后,其 CCD 阵列上所定义的象素的几何位置不再与数字影像上的位置相对应。这就需要对其 CCD 阵列进行几何检校。并且已有一些学者对 CCD 相机的检校进行过深入细致的研究[H. A. Beyer, 1987; T. Luhmann & W. Wester-Ebbinghaus, 1987; 林宗坚, 1991.],积累了丰富的经验。对行抖动 (Linejitter) 的检测,在作者的另一篇文章中作了较为详细的讨论[葛仁彦, 1992]。这里仅对 CCD 面阵的几何精度进行检校和试验。

1 硬件环境

下面简要地介绍一下我们实验和研究中的硬件环境。

日本索尼(SONY)株式会社的 XC-77CCD 视频摄像机与日本 イバーテック株式会社 (Cybernetics Technology) 的 CT-9800B 图像处理板用 PC-BUS 连在一起。另外用神户制钢所的 Transputer T800 来加强程序的执行速度。CCD 摄像机的信号方式为美国电子工业协会 EIA (Electronic Industries Association) 方式,有效像素数为 768(H)×493(V),摄像面积为 8.8mm×

收稿日期:1992-10-06

6. 6mm; CT-9800B 为日本电气公司 NEC-PC9801 机的专用图像处理版, 其帧缓冲存储器 (Frame Buffer) 的大小为: 512(H)×512(V)×8bit, 垂直扫描频率为 60Hz, 水平扫描频率为 15.75kHz, 主计算机为 NEC-PC9801RA。编程所用语言为 Transputer 用开发语言 Parallel C。

2 CCD 检校中用到的图像处理的几个算法

2.1 影像空间域的低通滤波

图像在生成和传输过程中常受到各种噪声源的干扰和影响而使图像质量降低, 这些噪声源包括电传感器噪声、信道误差以及其他噪声等。为抑制噪声改善图像质量, 必须对图像进行平滑处理, 这可在空间域或频率域中进行。这里我们使用的是空间域中的处理方法, 该方法的优点是计算效率高, 而且适合利用 Transputer 进行多个象素的并行处理。

2.2 影像的自动二值化

这里影像二值化的域值选择方法采用基于群集分类的分离度最大的自动选择方法。其群集的分离度可表示如下:

$$\eta(t) = \frac{\sigma_b^2(t)}{\sigma_f^2}$$

这里 σ_b^2 为群集间的分布方差, σ_f^2 为影像的分布方差, 对一固定的影像, 其值为常数。所以, 其判别 η 最大的问题, 就变成求其群集之方差 σ_b^2 最大的问题。当 σ_b^2 取最大值时的 t 值, 即为二值化阈值。其详细的算法见参考文献[大津展之, 1980]。

2.3 边缘轮廓跟踪

边缘轮廓跟踪的目的是希望检测出目标物体的周界, 它应当是一条封闭的轮廓线。边界跟踪的方法是属于串行处理技术, 即在确定新的边界点时要用到前面已跟踪过的边界点的信息。其跟踪方法的基本原则是: 首先确定一个边界起始点 S 和跟踪接受准则, 然后按照所给定的跟踪接受准则在 S 的领域里接受某个邻点 A 作为下一步跟踪的目标。如此一步步地跟踪下去直到回到起始点 S 为止。

具体的跟踪技术具有较大的灵活性。这里我们采用[T. Pavlidis, 1988]的完整的轮廓跟踪算法, 同时利用启发式搜索技术缩小搜索范围, 以便加速最优路径的搜索。

通过边界的跟踪或搜索所获得的是一组边界点, 其输出的是各边界点的坐标。

2.4 二维子像素边缘检测

通过边界的跟踪或搜索所获得的各组边界点的坐标是整数值, 尚需进一步检测至子象元。这里我们选用 Ali J. Tabatabai 和 O. Robert Mitchell 的二维子象素边缘检测算法。该技术的基本思想类似于 Huechel 的方法, 所不同的是, 该方法是在某一点的领域内, 定义一单位圆。在此单位圆内, 以保护三阶采样矩为条件可获得具有两个参数的直线方程。以此直线方程为判据而进行边缘的精确定位。

该方法对灰度的变化具有加乘不变性, 并要求在其检测的局部领域内其灰度具有单调性。所以, 需要有较好的近似值和正确的“拉入”范围。也可根据局部边缘区域的大小, 选用不同大小的检测算子。

另外, 由于该方法对噪声比较敏感, 所以这里我们以边缘轮廓跟踪算法所获得的各组边界点的坐标值为初始值, 利用低通滤波后的影像进一步检测至子象元。

2.5 最小二乘圆形回归

因所选的标准检测图案模板为圆形,根据求出的傅里叶形心位置和跟踪的边界轮廓的坐标,进行最小二乘圆形回归,从而更进一步地精确求出该圆形图案的形心位置。

3 目标搜索中近似位置的自动获取

因图像中的各图形图案相距很近,若利用前面介绍的各搜索算法和最小二乘圆形回归,其“拉入”范围很小。因此需要想法获取图像中每个图案的近似中心位置,以节省搜索的时间。

这里我们采用被称为“雷达搜索”的算法。即从图像的四个角点开始以类似于雷达波的方式以扇形向中间搜索所设计的图案的角点。然后以类似于内定向的方式建立影像坐标和 CCD 物理坐标之间的关系。从而获得每个图形图案的近似位置。

4 试验和分析

为了对 CCD 面阵的几何精度进行检测,我们在解析测图仪的像片盘上放置一刻有 9×9 个黑白图形图案的玻璃板(如图 1)所示。这样设计的目的主要是考虑能较好地消除行抖动的影响。该图形图案的刻化精度为 $1\mu\text{m}$,其信噪比也比较高,所以可以认为是比较理想的标准图案。在实验中,我们以此理想图案为标准,利用前面介绍的图象处理的算法,对用 CCD 获取的影像上的图案位置进行比较,以此来评定该 CCD 影像的几何质量。

4.1 自动检校的过程

这里设计的 CCD 面阵的几何检校方法,方便、简单、可靠、精确度高。只要将 CCD 对准已设计好的标准图案进行摄影,再经过 PC 机控制下的 A/D 变换等,只要按一下键盘,就可获得检校的结果。并立刻把残差图显示在屏幕终端上,不需要输入任何中间辅助信息,实现了全自动检校。

其软件结构如图 2 所示。

4.2 质量评定方法

这里我们采用仿射变换的方法对 CCD 面阵的几何质量进行评定。同时用双线性变换的结果与此相比较。

根据前面介绍的方法,把刻有标准图案的玻璃板置于相片盘上,用前面介绍的图像处理的方法检测出各图案形心的坐标,把该坐标作为检测的量测值。然后将该玻璃板分别旋转 90° 、 180° 、 270° 。依次对各图案的形心进行检测,这样就得到四个方向的图案坐标的量测值。

根据每组(每个玻璃板方向)获得的图案形心的坐标的量测值,可以列出如下的误差方程式:

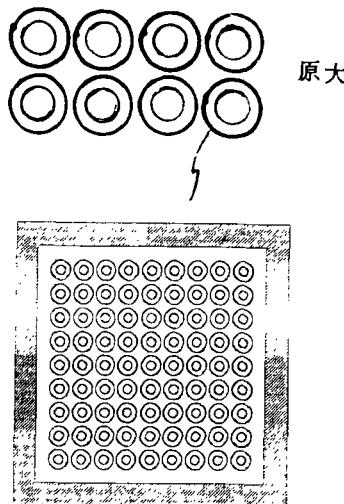


图 1 CCD 检校用标准图案玻璃板示意图

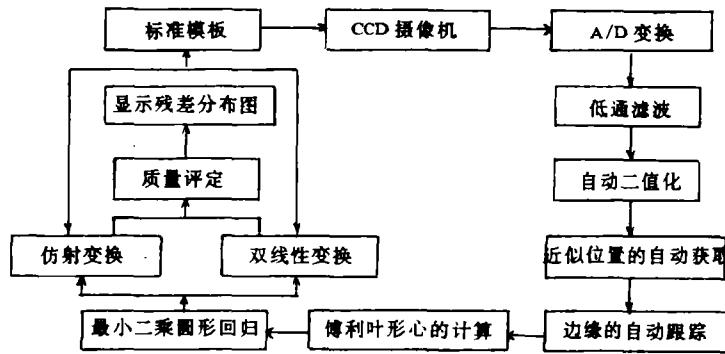


图 2 CCD 检校软件系统程序框图

$$\begin{cases} V_{x_i} = aX_i + bY_i + e_{x_i} - x_i \\ V_{y_i} = cX_i + dY_i + e_{y_i} - y_i \end{cases} \quad (1)$$

其中 X_i, Y_i 为已知的图案形心的理论坐标。 x_i, y_i 为通过 CCD 图像处理获得的图案形心的量测坐标。用最小二乘法解出上面的系数, 其残差则作为评定 CCD 图像几何质量的准则。

在解析测图仪的检校中, 常用 S_x, S_y 两参数反映仪器 x, y 方向量测比例尺的差异。而在此则反映了 CCD 影像在 x, y 方向的实际的象素的大小。其评定的公式为:

$$S_x = \frac{(c^2 + d^2)^{\frac{1}{2}}}{(ad - bc)} \quad S_y = \frac{(a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}}{(ad - bc)} \quad (2)$$

由于对于玻璃板的不同安置情况, 其检校的参数指标应该是相同的。因此, 可取四组结果的平均值作为评价 CCD 影像几何质量的标准。

为了进行比较和改正有关非线性的误差部分, 我们采用双线性变换方法与上述仿射变换类似的方法, 以四个不同的方向对 CCD 相机的几何精度进行检校。其误差方程式如下:

$$\begin{cases} V_{x_i} = a_1 + a_2X_i + a_3Y_i + a_4X_iY_i - x_i \\ V_{y_i} = b_1 + b_2X_i + b_3Y_i + b_4X_iY_i - y_i \end{cases} \quad (3)$$

4.3 结果分析及质量评定

4.3.1 仿射变换

当用仿射变换进行检校时, 其各个图案形心处的残差分布如图 3 所示。其精度评定的结果如表 1 所示。从中我们可以看出, 其检校的各方向残差最大值的平均值为: x 方向为 0.142 个象素, y 方向为 0.170 个象素; 中误差的平均值为: x 方向为 0.056 个象素, y 方向为 0.068 个象素。

表 1 仿射变换结果

		$a(0^\circ)$	$b(90^\circ)$	$c(180^\circ)$	$d(270^\circ)$	avera.
maxim (pixel)	x_{\max}	0.158	0.132	0.083	0.111	0.121
	y_{\max}	0.171	0.146	0.126	0.144	0.147
RMS (pixel)	σ_x	0.058	0.058	0.035	0.047	0.050
	σ_y	0.068	0.057	0.042	0.055	0.056
pixel	$S_x(\mu\text{m})$	19.163	19.165	19.160	19.167	19.164
size	$X_y(\mu\text{m})$	19.116	19.114	19.116	19.113	19.115

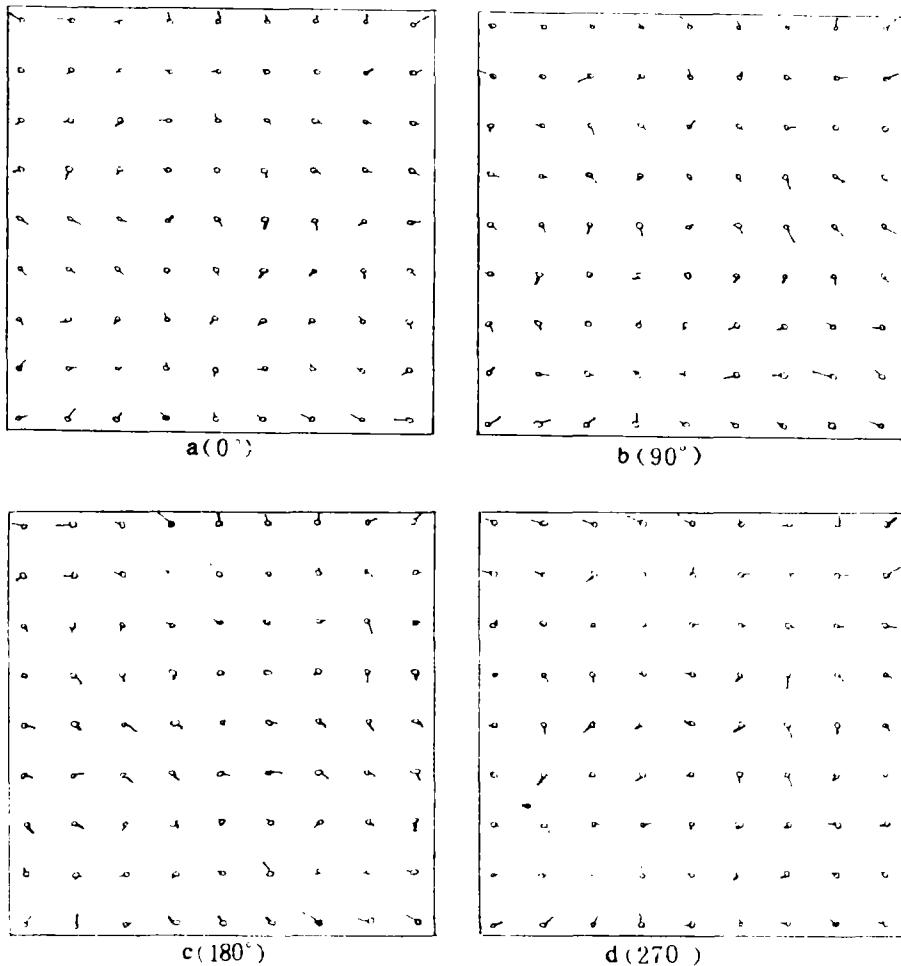


图 3 仿射变换时标准图案形心残差分布

4.3.2 双线性变换

当用双线性变换进行检校时,其各个图案形心处的残差分布如图 4 所示。其精度评定的结果如表 2 所示。从中可以看出,其检校的各方向残差最大值的平均值为: x 方向为 0.142 个象素, y 方向为 0.135 个象素; 其中误差的平均值为: x 方向为 0.056 个象素, y 方向为 0.051 个象素。

5 初步结论与评价

(1) 用所设计的检校软件系统对用 CCD 和其 A/D 转换器获取的影像进行检校后我们发现其影像的几何精度还是比较理想的。其最大残差小于 0.2 个象素, 中误差均值在 x 方向约为 0.05 个象素, y 方向约为 0.06 个象素。

(2) 在检校以后,我们可以大致确定象素的实际大小。在 x 方向约为 $19.17\mu\text{m}$; y 方向约为 $19.11\mu\text{m}$ 。

(3) 在实验中我们发现,所设计的软件系统对解析测图仪上的光强度有较大的适应范围。在正常的工作条件下,一般都能满足影像自动二值化的要求。

(4) 该检校软件系统将作为装配有 CCD 摄像机的解析测图仪上的一个不可缺少的功能模块。在利用 CCD 摄像机进行影像处理之前, 应对其几何质量进行严格的检校和评价。

(5) 作者认为, 该软件系统配上所设计的标准图案模板, 可以对任何借助于 CCD 进行作业的各产业部门, 特别是那些利用 CCD 进行高精度量测和高精度定位的产业部门。

(6) 摄影测量所要求的精度若要以改善电子元件的稳定性来实现则要以很昂贵的代价才能达到, 特别是摄像机和计算机接口的同步。这就强烈地要求把从摄像机传来的信息数字化, 在这种情况下, 则象素的几何精度被 CCD 芯片(chip)的生产工艺所限制, 只能达到一定的精度水平。

表 2 双线性变换结果

		a(0°)	b(90°)	c(180°)	d(270°)	avera.
maxim. (pixel)	x_{max}	0.163	0.119	0.117	0.098	0.124
	y_{max}	0.184	0.111	0.084	0.121	0.125
RMS (pixel)	σ_x	0.057	0.055	0.037	0.035	0.046
	σ_y	0.070	0.050	0.034	0.050	0.051
pixel	$S_x(\mu m)$	19.163	19.168	19.161	19.173	19.166
size	$S_y(\mu m)$	19.106	19.102	19.110	19.103	19.105

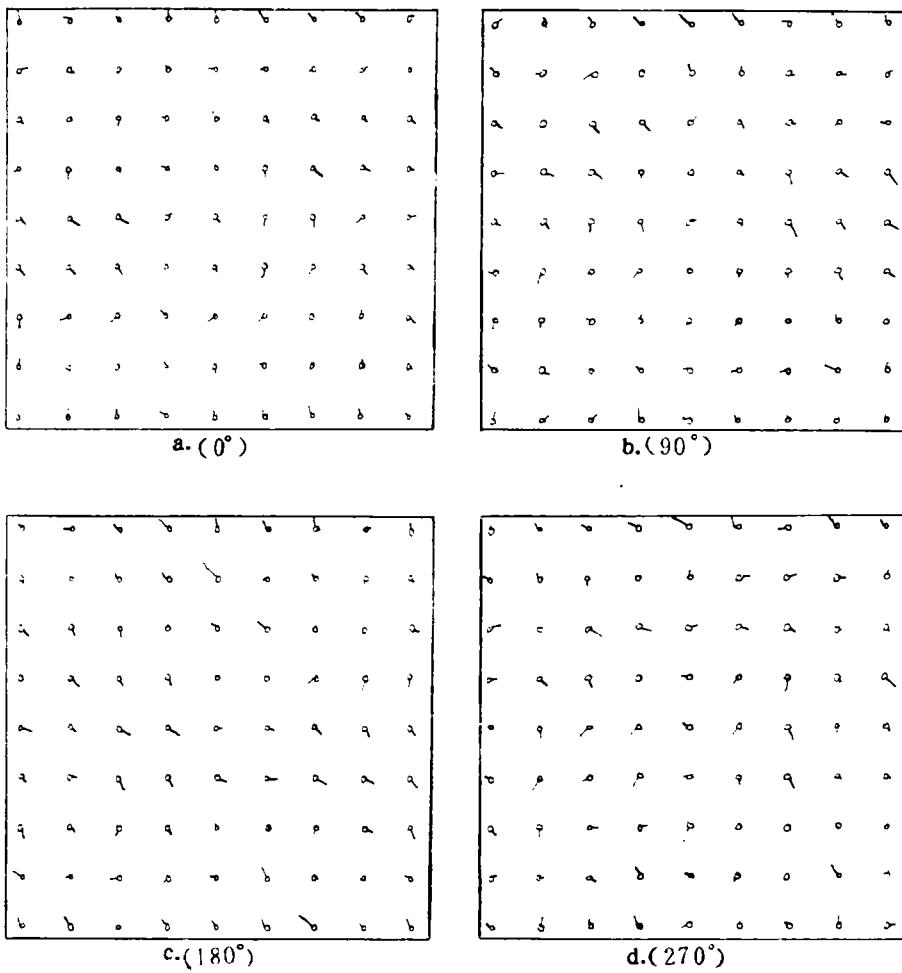


图 4 双线性变换时各图案形心残差分布

(7)应用于摄影测量定位的 CCD 摄像机的检校和实验需要 CCD 传感器的专家、电子工程师和摄影测量工作者的共同努力才能实现。

致谢 本文的研究作为中日合作的科研项目之一,是在日本完成的。在此期间得到了我的老师李德仁教授、张祖勤教授和林宗坚教授的指导。我的朋友日本东京大学博士后研究员陈晓勇博士、在瑞士苏黎世高工攻读博士学位的李海鸿先生提供了宝贵的资料。日本国的谷浦宪治先生为实验的完成提供了良好的条件,作者在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Beyer H. Some Aspects of the Geometric Calibration of CCD-Camera. Proceedings Intercommission Conference of Fast Processing of Photogrammetric data. Interlaken, Switzerland, June 2-4, 1987. 68~81
- 2 Luhmann T and Wester-Ebbinghaus W. On Geometric Calibration of Digitized Video Images of CCD Arrays. Proceedings Intercommission Conference of Fast Processing of Photogrammetric data. Interlaken, Switzerland, June 2-4, 1987. 35~47
- 3 Dahler J. Problems in Digital Image Acquisition with CCD Cameras. Proceedings Intercommission Conference of Fast Processing of Photogrammetric data. Interlaken, Switzerland, June 2-4, 1987. 48~59
- 4 Beyer H A. Linejitter and Geometric Calibration of CCD Cameras. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1990(45): 17~32
- 5 Gruen A. Towards Real-Time Photogrammetry. Photogrammetria, 1988(42): 209~244
- 6 Richard O Duda. Peter E Hart. Pattern Classification and Scene Analysis. Stanford Research Institute, Menlo Park, California, 1973.
- 7 林宗坚,卢健,陶闯,邸凯昌. CCD 相机几何误差的检测. 武汉测绘科技大学, 1991.
- 8 トランジスタ技術. Special, 1991(31)
- 9 葛仁彦. CCD 摄像机行抖动的产生和检校. (株)ソキア技術本部資料, 1992.
- 10 長谷川純一, 鹿水大和, 中山晶, 橋畠茂樹共著. 画像処理の基本技法、技術評論社, 平成 3 年 5 月 1 日
- 11 Theo Pavlidis. 计算机图形显示和图像处理的算法. 吴成柯译. 科技出版社, 1988.
- 12 荆仁杰, 叶秀清, 徐胜荣, 陈存椿. 计算机图像处理. 浙江大学出版社, 1991.
- 13 边肇祺等编著. 模式识别. 清华大学出版社, 1988.
- 14 大津辰之. 判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値算定法, 电子通信学会論文誌 (D), Vol. J63-D, 1980(4), 349~356
- 15 Tabatabai A J, Mitchell O R. Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-6, 1984(2)

Automation of Geometric Calibration of CCD Camera Array

Ge Renyan

Abstract With the help of CCD images, realization of high precision positioning and measurement has become the basic standard for machine vision and real time photogrammetry system. But deformation and other degradation occurring during transmission are major limiting factors of the precision attainable with most current CCD cameras and framegrabbers. So precise radiometric and geometric transmission of images from CCD sensor to memory is a

fundamental aspect of CCD camera calibration. The geommetric calibration system of the CCD camera based on the analytical plotter which SOKKIA researched and developed is discussed. And some image processing algorithms are used in the system. The reliability and validity are also discussed. The experimental results of the calibration of the CCD array will be taken as an important quality index for CCD evaluation.

Key words automatic binary; fourier descriptors; chain-encoding; boundary trace; affine transformation; bilinear transformation

基金资助注记方法

凡投本刊的稿件,如系科研成果又曾受某基金资助,请作者在文稿首页左下注明该文受何种基金资助。目前,作者对“基金资助”的注记很不规范,而且基金名目又多,所以注记格式过滥。规范的注记形式应为:星号+基金名称+资助+项目(或课题)字样,例如:

* 国家自然科学基金资助项目

我校科研课题一般可获取如下基金资助,相应的注记为:

- * 国家自然科学基金资助项目(或课题)
- * 国际科学基金会资助项目(或课题)
- * 国家“八五”重点科技攻关资助项目(或课题)
- * 国家青年自然科学基金资助项目(或课题)
- * 国家教委博士点基金资助项目(或课题)
- * 国家博士后基金资助项目(或课题)
- * 高校博士点专项科研基金资助项目(或课题)
- * 国家教委霍英东基金资助项目(或课题)
- * 国家教委优秀青年教师基金资助项目(或课题)
- * 国家测绘局测绘科技发展基金资助项目(或课题)
- * 湖北省自然科学基金资助项目(或课题)
- * 湖北省科委资助项目(或课题)

请作者注意使用规范的基金名称,而“项目”或“课题”可根据需要选用其一即可,工科院校选用项目者居多。

本刊编辑部

1993. 1