

文章编号: 0253-2239(2005)12-1623-6

基于灰度投影的数字近景摄影立体影像匹配*

盛业华 张 卡 叶 春 牛琴涛 韩 冰

(南京师范大学地理信息科学江苏省重点实验室, 南京 210097)

摘要: 根据数字近景摄影测量的特点, 针对建筑物三维建模的需要, 提出了基于灰度投影的影像匹配算法。该算法将影像行、列两个方向上的一维灰度投影, 拓展为行、列、主对角线和次对角线四个方向上的一维灰度投影, 计算左右影像的四个一维投影向量间的相似性测度的加权平均值作为最后的匹配测度。利用相对定向线性变换 (RLT) 算法来确定同名核线, 以改进的动态定界法来控制待匹配点序列中后续点沿核线匹配的搜索范围, 以减少匹配的搜索空间并提高匹配的准确度。利用该算法对建筑物数字近景摄影影像进行了实验, 结果表明该算法具有较高的匹配速度和匹配准确率。

关键词: 光学测量; 遥感; 近景摄影测量; 影像匹配; 灰度投影; 相对定向线性变换算法

中图分类号: P234.1; TP751 文献标识码: A

Stereo Image Matching for Digital Close-Range Photogrammetry Based on Gray-Scale Projection

Sheng Yehua Zhang Ka Ye Chun Niu Qingtao Han Bin

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science,
Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

Abstract: For the purposes of three-dimensional modeling of buildings, a new stereo image matching algorithm based on the gray-scale projection is advanced considering the characteristics of the digital close-range photogrammetry. The algorithm extends the one-dimensional gray-scale projection from two directions to four directions. The gray-scale projections in the column, row, major diagonal and secondary diagonal directions are calculated simultaneously. The weighted average of similarity measure of these four one-dimensional projection vectors between the left image and right image is computed for the final matching decision. Homonymous epipolar lines are found by using the relative orientation linear transformation (RLT). To decrease the searching scope and improve the matching accuracy, an improved dynamic bounding approach is proposed to control the searching scope of sequential points in the point list to be matched along the homonymy epipolar-line. The new algorithm is applied to actual stereo images of a building taken by a digital close-range photogrammetric system and the experimental result shows that the algorithm has a higher matching speed and matching accuracy than the pyramid image matching algorithm.

Key words: optical measurement; remote sensing; close-range photogrammetry; image matching; gray-scale projection; relative orientation linear transformation

1 引 言

以 CCD 相机为影像采集设备的近景摄影测量系统以其效率高、劳动强度低等特点, 成为一种吸引了众多领域日益关注和采用的几何信息分析提取和模

型制作的有力工具^[1,2]。尤其是在数字城市建筑物三维建模中发挥着重要作用^[3]。在数字近景立体摄影测量中, 影像匹配技术是实现自动寻找同名像点, 实现三维坐标自动解算的关键, 因而如何提高影像

* 国家 863 计划(2001AA135130)和南京师范大学重点项目(2004105XGQ2B46)资助课题。

作者简介: 盛业华(1965~), 男, 安徽庐江人, 博士, 教授, 博士生导师。主要从事三维空间数据采集与地理空间建模方面的研究。E-mail: shengyehua@njnu.edu.cn

收稿日期: 2005-02-03; 收到修改稿日期: 2005-05-08

匹配的可靠性、精确性及速度,是一个至关重要的问题^[4]。

影像匹配实质上是在两幅(或多幅)影像之间搜索同名点,它是计算机视觉及数字摄影测量的核心技术。在航空摄影测量领域,影像匹配是自动获取数字地面模型(DTM)的关键技术,已提出多种影像匹配方法。这些方法可分为3类:

1) 基于灰度的匹配^[5,6]。通过在两影像上一定尺寸的窗口中比较灰度分布相似程度,利用相关系数作为相似测度,在灰度层次上进行匹配。这是目前应用最广泛的影像匹配方法。

2) 基于特征的匹配^[7~15]。先在两张影像上提取特征(如边缘等),然后对特征进行比较来确定同名影像。特征的相似度可用如边缘线的形状、灰度在边缘处梯度变化的正负等来度量。基于特征的匹配仍依赖于影像上灰度的变化,且特征提取的好坏直接影响匹配的结果。

3) 基于语义的匹配。根据从两影像中提出的语义信息确定同名像点。这需要模式识别及人工智能(高级认知活动)的支持,往往难以实现。

与航空摄影相比,数字近景摄影所获取的立体影像存在更大、更复杂的几何变形,以及前景遮挡后景等问题,而且由于摄影比例尺大,影像上地物的局部纹理变化少,这些因素导致对近景摄影的影像匹配比航空摄影的影像匹配存在更大的难度。若采用航空摄影测量中颇为成熟的影像相关法进行灰度匹配,则很容易出现误匹配现象。因此,有必要探讨适合于数字近景立体摄影影像的灰度投影影像匹配方法,以便利用数字近景立体摄影影像构建摄影对象

的三维表面模型。

2 灰度投影影像匹配方法

2.1 基于灰度投影的匹配测度

灰度投影变换是一种常见的线性变换^[16]。对于大小为 n 行 \times n 列的匹配窗口影像,设其灰度函数为 $f(x,y)$,且有 $f(x,y) \geq 0$,则可定义长度为 n 的一维矩阵 \mathbf{H} 和 \mathbf{L} ,分别表示该影像的行、列投影特征:

$$\mathbf{H}[i] = \sum_{j=1}^n f(i,j), \quad 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

$$\mathbf{L}[j] = \sum_{i=1}^n f(i,j), \quad 1 \leq j \leq n \quad (2)$$

在行、列方向投影的基础上,将灰度投影向主对角线(图像左上角与右下角连线)和次对角线(图像右上角与左下角连线)两个方向拓展。定义主对角线方向上的灰度投影 \mathbf{Z} 和次对角线方向上的灰度投影 \mathbf{C} 分别为

$$\mathbf{Z}[i] = \sum_{l=1}^T f(x_{i,l}, y_{i,l}), \quad 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

其中 T 为过次对角线上第 i 个像素的与主对角线方向平行的一组像素的总数。

$$\mathbf{C}[i] = \sum_{l=1}^S f(x_{i,l}, y_{i,l}), \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

其中 S 为过主对角线上第 i 个像素的与次对角线方向平行的一组像素的总数。

图1给出了大小为 5×5 的影像窗口在行、主对角线2个方向上的灰度投影及其计算方法,其它方向的投影按与此类似的方法计算。

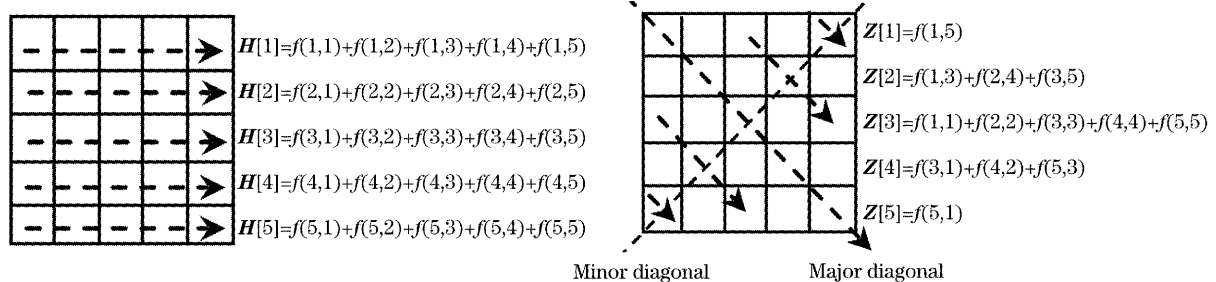


图1 行方向(a)和主对角线方向(b)灰度投影及计算

Fig. 1 Gray-scale projection in column direction (a) and in major diagonal direction (b) and their calculation

为了计算匹配测度,将左影像中的目标窗口影像(通常采用正方形窗口,影像大小为 n 行 \times n 列)向行、列、主对角线和次对角线4个方向进行灰度投影,得到4个一维投影向量 $\mathbf{H}[i]$ 、 $\mathbf{L}[i]$ 、 $\mathbf{Z}[i]$ 和 $\mathbf{C}[i]$, $i = 1, 2, \dots, n$,在右影像中的搜索区内取与目

标窗口等大的搜索影像,再将该搜索影像向行、列、主对角线和次对角线4个方向进行投影,得到4个一维向量 $\mathbf{H}'[i]$ 、 $\mathbf{L}'[i]$ 、 $\mathbf{Z}'[i]$ 和 $\mathbf{C}'[i]$, $i = 1, 2, \dots, n$,然后分别计算4个一维投影向量的相似性测度:

$$\rho_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{H}[i] \times \mathbf{H}'[i])}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\mathbf{H}[i])^2 \times \sum_{i=1}^n (\mathbf{H}'[i])^2}}, \quad (5)$$

$$\rho_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{L}[i] \times \mathbf{L}'[i])}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\mathbf{L}[i])^2 \times \sum_{i=1}^n (\mathbf{L}'[i])^2}}, \quad (6)$$

$$\rho_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{Z}[i] \times \mathbf{Z}'[i])}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\mathbf{Z}[i])^2 \times \sum_{i=1}^n (\mathbf{Z}'[i])^2}}, \quad (7)$$

$$\rho_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (\mathbf{C}[i] \times \mathbf{C}'[i])}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\mathbf{C}[i])^2 \times \sum_{i=1}^n (\mathbf{C}'[i])^2}}, \quad (8)$$

根据 4 个相似性测度，计算归一化权重 q_j ：

$$q_j = \frac{\rho_j}{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4}, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

定义目标影像和搜索影像的匹配测度为这 4 个相似性测度的加权平均值：

$$\rho = \sum_{j=1}^4 \rho_j \times q_j, \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

2.2 基于相对定向线性变换算法的匹配搜索范围的确定

在近景摄影的立体像对中，包含摄影基线与地面任一点组成的平面称为该点的核面。核面与像平面的交线称为核线，同名像点必然位于同名核线上。因此如果能找出同名核线，则可以缩小匹配的搜索范围。由于匹配前不知道影像的内方位元素，所以

本文采用基于共面条件的相对定向线性变换算法在匹配过程中实时确定同名核线，进而在同名核线上确定待匹配点的搜索范围。

在立体摄影中，过同名点的摄影光线与摄影基线应满足共面条件：

$$\begin{vmatrix} B_x & B_y & B_z \\ u & v & w \\ u' & v' & w' \end{vmatrix} = 0, \quad (11)$$

取左影像的像空间坐标系为像空间辅助坐标系，有

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + dx \\ y + dy \\ -f \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{bmatrix} = \mathbf{R}' \begin{bmatrix} x' + dx' \\ y' + dy' \\ -f' \end{bmatrix},$$

其中 $(dx, dy, f)^T, (dx', dy', f')^T$ 分别为左、右影像的内方位元素（未知）， \mathbf{R}' 为右影像相对于左影像的旋转矩阵， $(x, y)^T$ 为左影像上像素的列号和行号， $(x', y')^T$ 为右影像上像素列号和行号。

将式 $[u, v, w]^T$ 和 $[u', v', w']^T$ 代入 (11) 式并展开，得

$$L_9 y' + L_1 + L_2 x + L_3 y + L_4 x' + L_5 x x' + L_6 x y' + L_7 y x' + L_8 y y' = 0, \quad (12)$$

将 (12) 式表达成相对定向解算过程中常用的关于“上下视差”的误差方程式：

$$V = L_1^0 + L_2^0 x + L_3^0 y + L_4^0 x' + L_5^0 x x' + L_6^0 x y' + L_7^0 y x' + L_8^0 y y' - q, \quad (13)$$

式中 $L_j^0 = \frac{L_j}{L_9} (j \neq 3); L_3^0 = 1 + \frac{L_3}{L_9}; q = y - y'$ 。

在立体像对内观测 $n (n \geq 8)$ 对同名点，即可列出如下的误差方程：

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x'_1 & x_1 x'_1 & x_1 y'_1 & y_1 x'_1 & y_1 y'_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x'_2 & x_2 x'_2 & x_2 y'_2 & y_2 x'_2 & y_2 y'_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x'_n & x_n x'_n & x_n y'_n & y_n x'_n & y_n y'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1^0 \\ L_2^0 \\ L_3^0 \\ L_4^0 \\ L_5^0 \\ L_6^0 \\ L_7^0 \\ L_8^0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix}, \quad (14)$$

将 (14) 式以总体误差方程的矩阵形式表达：

$$\mathbf{V} = \mathbf{A}\mathbf{X} - \mathbf{L}, \quad (15)$$

式中

$$\mathbf{V} = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n]^T,$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x'_1 & x_1x'_1 & x_1y'_1 & y_1x'_1 & y_1y'_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x'_2 & x_2x'_2 & x_2y'_2 & y_2x'_2 & y_2y'_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x'_n & x_nx'_n & x_ny'_n & y_nx'_n & y_ny'_n \end{bmatrix},$$

$$X = [L_1^0 \quad L_2^0 \quad L_3^0 \quad L_4^0 \quad L_5^0 \quad L_6^0 \quad L_7^0 \quad L_8^0]^T,$$

$$L = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_n]^T,$$

根据最小二乘原理,在观测值为等权的情况下,得法方程:

$$A^TAX - A^TL = 0, \tag{16}$$

解法方程,得 X 的解为

$$X = (A^TA)^{-1}A^TL, \tag{17}$$

在求得参量 $L_j^0 (j = 1, 2, \dots, 8)$ 后,对于左影像上的任意一点 (x_i, y_i) ,其在右影像同名核线上的同名点设为 (x'_i, y'_i) 则当 x'_i 按列号自 1 至 N 搜索时(整个影像的大小为 M 行 \times N 列),对应的 y'_i 由下式给出:

$$y'_i = \frac{(1 - L_3^0)y_i - L_1^0 - L_2^0x_i - L_4^0x'_i - L_5^0x_ix'_i - L_7^0y_ix'_i}{1 + L_6^0x_i + L_8^0y_i}. \tag{18}$$

若对待匹配点序列中的每个待匹配点都在整条核线上搜索匹配其同名点,则搜索范围仍然很大,需要花费很长的搜索时间.借鉴曾峦等^[17]的动态定界法来确定匹配的搜索范围(如图 2 所示).在该方法中,每一个待匹配点的搜索范围都靠序列中与该点相邻的前一个已匹配点来确定.如点 (x_i, y_i) 与点 (x'_i, y'_i) 是一对已匹配的同名点,则点 (x_{i+1}, y_{i+1}) 在右影像上的搜索范围为 $[x'_q, x'_h] \times [y'_q, y'_h]$ 其中 $x'_q = x_{i+1} + x'_i - x_i - d, x'_h = x_{i+1} + x'_i - x_i + d, d$ 为给定的参量,一般取 $d = 4 \sim 8; [y'_q, y'_h]$ 区间内的每一个 y'_i 由(18)式在 $[x'_q, x'_h]$ 区间内对应的 x'_i 处求出.

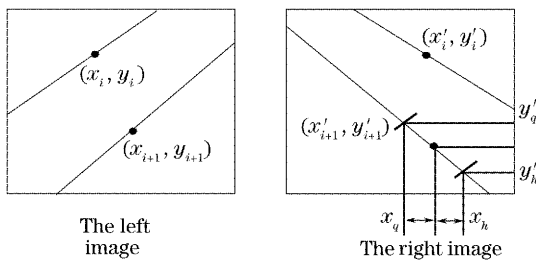


图 2 动态定界示意图

Fig. 2 Sketches for the dynamic bounding

曾峦等的动态定界方法存在的一个重要缺陷.若待匹配点序列中首点的匹配结果偏差较大,则会导致后续所有点的匹配结果出错.在此对其加以改进:增加一个逆向匹配检验过程对已匹配点的匹配结果进行检验,若经检验是正确的匹配,则用该点来控制后续点的匹配搜索范围;若不是正确的匹配,则继续向待匹配点序列中的下一点进行匹配,同时对匹配结果进行检验,直到检验出正确的匹配结

果为止.利用得到的正确匹配点对序列中该点之前的全部误匹配点按动态定界方法重新进行匹配.显然,在改进的搜索匹配方法中,逆向匹配检验过程的作用至关重要,它控制了待匹配点序列中从正确匹配点开始至其余待匹配点的搜索范围.逆向匹配检验过程如下:

设点 (x_i, y_i) 与点 (x'_i, y'_i) 是一对已匹配的同名点,在右影像上取出以点 (x'_i, y'_i) 为中心的大小为 $n \times n$ 的目标窗口 W' ,在其左影像对应的同名核线上取出以 $[x_q, x_h] \times [y_q, y_h]$ 范围内每一点为中心的大小亦为 $n \times n$ 的搜索窗口 W ,计算 W' 与 W 的基于灰度投影的匹配测度,若在点 (x_i, y_i) 处的匹配测度最大,则此匹配结果就是正确的匹配结果.其中 $x_q = x_i - d, x_h = x_i + d, [y_q, y_h]$ 区间内的每一个 y_i 由(19)式在 $[x_q, x_h]$ 区间内对应的 x_i 处求出:

$$y_i = \frac{y'_i + L_1^0 + L_2^0x_i + L_4^0x'_i + L_5^0x_ix'_i + L_6^0x_yy'_i}{1 - L_3^0 - L_7^0x'_i - L_8^0y'_i}. \tag{19}$$

2.3 灰度投影匹配方法的实现

将改进的动态定界匹配方法和灰度投影匹配测度结合起来,则基于灰度投影的立体影像匹配方法的实现步骤如下:

1) 在原始左、右影像的重叠区域内,人工量取至少 8 对同名像点的行列坐标,这些同名像点要尽量均匀分布在影像的重叠区域内,按照 2.2 所述的方法,求出参量 $L_j^0 (j = 1, 2, \dots, 8)$;

2) 对于左影像上选取的待匹配点序列中的每一个待匹配点,按 2.2 所述的改进动态定界方法,求出该点在右影像上的匹配搜索范围,然后用 2.1 所

述的方法,计算搜索范围内的每一个点和待匹配点的基于灰度投影的匹配测度,取匹配测度最大的点为有效匹配点。

3 实验和结论

为了验证基于灰度投影影像匹配方法的实际效果,以数字立体近景摄影系统实拍的建筑物立体影像进行实验,立体影像的大小均为 2560×1920 像素

(图 3)。将本文方法的匹配结果与基于金字塔分层的影像匹配算法^[5](共 4 层影像)的匹配结果进行比较。两种影像匹配方法的实际影像匹配结果如图 4 所示。为了区分不同位置的匹配点,图中只给出部分匹配点所在的局部放大影像。白色十字丝为选取的待匹配特征点和匹配结果点,十字丝旁的数字为特征点编号,其中错误的匹配结果及其编号用矩形框标出。两种匹配算法的匹配速度和准确率对比结果见表 1。

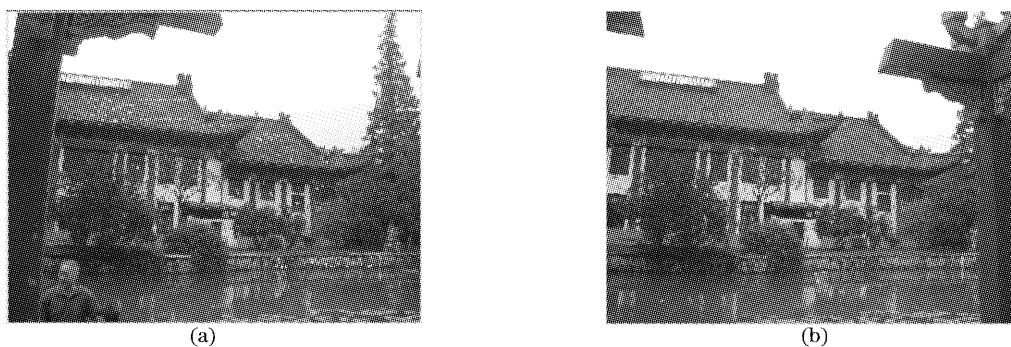


图 3 数字立体近景摄影影像(原始影像为真彩色)。(a) 左影像,(b) 右影像

Fig. 3 Stereo images acquired by digital close-range photogrammetry (the original images are in true color).
(a) The left image, (b) the right image

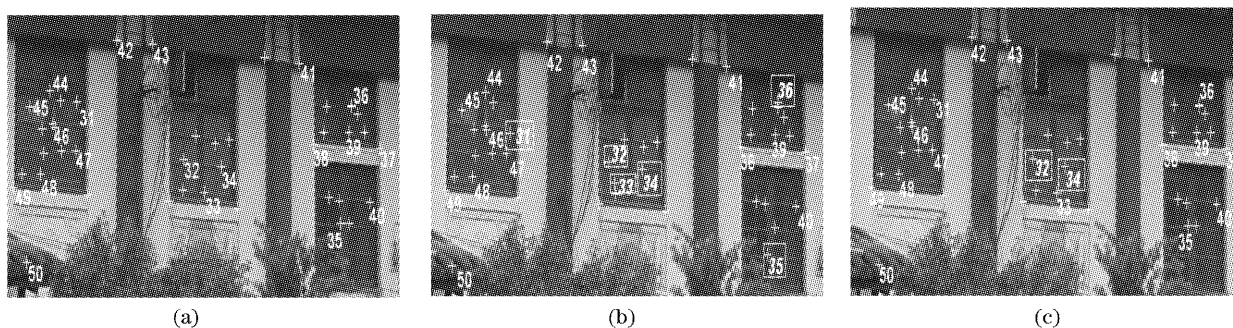


图 4 不同影像匹配方法匹配结果的对比。(a)左影像以及待匹配特征点(局部影像),
(b)金字塔分层匹配算法,(c)基于灰度投影的影像匹配结果

Fig. 4 Comparing the matching results with different image matching algorithms. (a) Portion of the left image and the feature points to be matched, (b) image matching result with the pyramid image matching algorithm and (c) with matching algorithm based on the gray-scale projection

表 1 不同影像匹配方法的匹配速度和准确率

Table 1 Comparing the matching speed and matching accuracy between two image matching algorithms

	Points to be matched	Exactly matched points	Time needed /s	Accuracy /(%)
Pyramid image matching	558	267	1107	47.85
Author's algorithm	558	508	5	91.03

从实验结果见,对于数字近景摄影立体影像,若采用金字塔分层的匹配算法进行匹配,不仅速度慢,而且匹配的准确率较低,尤其是在影像结构复杂的屋顶部分准确率更是如此。而用本文的算法进行匹配时,由于引入了一个逆向匹配检验过程,保证了匹配点序列中各点的匹配总是以正确的匹配点作为匹

配空间搜索的条件,因此匹配的准确率和匹配速度大大提高。本文所提出的立体影像匹配方法的主要特点是:基于灰度投影的匹配测度反映了影像局部窗口内的特征信息;匹配过程中的核线约束和匹配点序列中相邻点间的连续性约束,缩小了匹配的搜索范围,提高了匹配速度和准确率。另外,本文算法

不需要对影像进行金字塔分层,计算过程简单明了,而且避免了分层过程中影像信息的损失和上层结果影响下层结果的缺陷。

参 考 文 献

- 1 Deng Gang. Discussions on the issues in digital close-range-photogrammetry with non-metric images [J]. *J. Kunming University of Science and Technology*, 2002, **27**(4): 6~11 (in Chinese)
邓 钢. 非量测影像数字化近景摄影测量的部分问题探讨[J]. 昆明理工大学学报, 2002, **27**(4): 6~11
- 2 Liu Zhangwen, Gu Tianxiang. Three-dimensional measurement of object by using gray gradient of CCD image[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(11): 1384~1387 (in Chinese)
刘章文,古天祥. 利用 CCD 图像的灰度梯度实现物体三维测量[J]. 光学学报, 2003, **23**(11): 1384~1387
- 3 Zhu Qing, Lin Hui. *Geographical Information System for Cyber-City: Exploration 3 Dimensional City Model in Virtual City Environment* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004 (in Chinese)
朱 庆,林 珺. 数码城市地理信息系统-虚拟城市环境中的三维城市模型初探[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004
- 4 Zhang Zhuxun, Zhang Jianqing. *Digital Photogrammetry* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 1997. 114~120 (in Chinese)
张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997 114~120
- 5 Zhang Yan, Wang Tao, Lu Wei. Automatic image matching based on wavelet pyramid[J]. *J. Institute of Surveying and Mapping*, 2002, **19**(1): 25~27 (in Chinese)
张 艳,王 涛,路 威. 基于小波影像金字塔的影像自动匹配[J]. 测绘学院学报, 2002, **19**(1): 25~27
- 6 Shanghong Lai. Robust image matching under partial occlusion and spatially varying illumination change[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2000, **78**(1): 84~98
- 7 Cheng Gang, Jin Guofan, Liu Haisong *et al.*. Using optical walsh transformation for feature extraction in image matching [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(2): 167~172 (in Chinese)
成 罡,金国藩,刘海松等. 基于光学沃尔什变换特征提取的图像匹配[J]. 光学学报, 2001, **21**(2): 167~172
- 8 Jiang Wanshou, Zheng Shunyi, Zhang Zuxun *et al.*. Feature-based image matching for aerial images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, **28**(5): 510~513 (in Chinese)
江万寿,郑顺义,张祖勋等. 航空影像特征匹配研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, **28**(5): 510~513
- 9 Chen Ying, Li Tiejun, Xiong Xinghua. A feature-based and least square image matching with constraints [J]. *J. Image and Graphics*, 1998, **3**(4): 299~302 (in Chinese)
陈 鹰,李铁军,熊兴华. 带约束条件的特征与最小二乘影像匹配[J]. 中国图象图形学报, 1998, **3**(4): 299~302
- 10 Peng Zhenming, Zhang Qiheng, Wei Yuxing *et al.*. Image matching based on multi-features fusion[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(3): 281~284 (in Chinese)
彭真明,张启衡,魏宇星等. 基于多特征融合的图像匹配模式[J]. 强激光与粒子束, 2004, **16**(3): 281~284
- 11 A. Adnan, Y. Mustafa. Fuzzy shape matching with boundary signatures [J]. *Pattern Recognition Lett.*, 2002, **23** (12): 1473~1482
- 12 B. Biswas, A. Konar, K. Achintya *et al.*. Image matching with fuzzy moment descriptors [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2001, **14**(1): 43~49
- 13 I. Balslev. Noise tolerance of moment invariants in pattern recognition [J]. *Pattern Recognition Lett.*, 1998, **19** (13): 1183~1189
- 14 Yung-Kuan Chan, Chin-Chen Chang. Image matching using run-length feature [J]. *Pattern Recognition Lett.*, 2001, **22** (5): 447~455
- 15 M. El Ansari, L. Masmoudi, L. Radouane. A new region matching method for stereoscopic images [J]. *Pattern Recognition Lett.*, 2000, **21**(4): 283~294
- 16 Liu Yaxuan, Su Xiuqin, Wang Ping. Image matching based on local projection entropy [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 105~107 (in Chinese)
刘雅轩,苏秀琴,王 萍. 一种基于局部投影熵的图像匹配新算法[J]. 光子学报, 2004, **33**(1): 105~107
- 17 Zeng Luan, Li Yingchun. A method of enhancing image matching speed [J]. *Application of Electronic Technique*, 2000, (8): 13~14 (in Chinese)
曾 峦,李迎春. 提高图像匹配速度的一种方法[J]. 电子技术应用, 2000, (8): 13~14