

连续尺度复合分析核线重排列影像准稠密匹配

杨 晟,李学军,王 珏,杨阿华

(中国人民解放军装备学院,北京 101416)

摘 要:高精度快速准稠密匹配是计算机视觉和摄影测量等领域的急切而富有挑战性的目标,核线约束下的一维匹配将大幅度提高匹配的速度和准确率。在核线重排列影像的基础上,设计了轻量级的线状多尺度三角塔结构,并提出通过多尺度下的广义亮度 Sinc 序列、广义梯度序列、广义 θ 序列和广义中心偏离序列的极值检测,得到大量稳定特征点并进行描述,然后采用属性特征和数值描述特征在预测区间进行快速匹配。大量试验表明该方法能够稳健地快速得到分布均匀、密度较大、亚像素级精度的稳定同名点。

关键词:准稠密匹配;核线;特征匹配;计算机视觉

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)04-0111-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.04.027

Continuous Scale Multi-change Detecting Quasi-dense Matching for Epipolar Resample Images

YANG Sheng, LI Xue-jun, WANG Jue, YANG A-hua

(The Academy of Equipment of PLA, Beijing 101416, China)

Abstract: Quasi-dense matching with high quality and speed is an urgent and challenging goal within the search scope of computer vision and photogrammetry. One dimensional matching assisted by epipolar line would largely improve the speed and precision. The linear triangle multi-scale tower structure with light computation and high efficiency is proposed based on the epipolar resample images, and series of distinguishable sequences such as extended luminance Sinc sequence, extended gradients sequence, extended θ sequence and extended bias sequence are constructed for detecting the key points on the continuous scale space. And then, the key points are described both by attribute characters and numerical label. And based on it, the quick matching is carried out during the predicted scope. Experiments show that the algorithm can reach quasi-dense matching robustly in the whole continuous scale even on distorted images in defect of features, with more couples in good topology and precision.

Key words: quasi-dense matching; epipolar line; feature matching; computer vision

0 引 言

特征提取与匹配是计算机视觉中非常重要而富有挑战性的工作,它是图像配准、三维重建、空间解算的基础。特征点匹配,一般包括待匹配图像间特征点拓扑关系的匹配和基于特征点描述的特征间的匹配,而基于特征描述的点特征匹配综合了点的匹配和特征点邻域的匹配,具有较高的可信度和匹配速度,更有利于参与图像间变换关系的解算,因而得到广泛重视。典型的算法有^[1]: SIFT^[2]及其系列改进算法、SURF 算法^[3]、Affine-SIFT 算法、GLOH 算法、极大稳定区域匹

配算法、DAISY 算子、SUSAN 算子等^[4-6]。随着人们对解算精度要求的进一步提高,能够得到高可靠较连续视差的稠密匹配及准稠密匹配引起了业界极大兴趣,通常包括控制点基础上的区域生长方法、能量和视差约束方法、贝叶斯估计法等。高分辨率包含畸变、扭曲、遮掩的图像匹配,以及匹配的可靠性、速度和准确率仍是该领域的瓶颈问题。

核线理论,在传统框幅式中心投影影像的立体匹配中发挥着重要作用,一方面利用核线约束可以实现匹配过程由二维向一维简化,提高匹配速度;另一方面核线重采样可以消除左右影像之间因姿态差异而引起的几何变形,使匹配结果更具可靠性^[7]。对于推扫式线阵 CCD 相机,虽然其每一成像时刻的外方位甚至内方位参数均不相同,不可以采用框幅式中心投影影像的核线约束,然而,其核线约束及其近似解算已取得初步进展^[8-11]。

收稿日期:2012-07-11;修回日期:2012-10-15

基金项目:国防预研基金(20060826(重大专项))

作者简介:杨 晟(1985-),男,陕西人,博士生,研究方向为计算机应用、遥感图像处理、数字地球、无线传感器网络;李学军,教授,博士生导师,研究方向为计算机图形学、遥感图像处理、数字地球。

目前快速匹配算法,在核线重排列影像上很少再做进一步处理,而将传统的相关算法或最小二乘影像匹配算法投影到一维上,其固有问题仍然存在,例如对扭曲、尺度甚至灰度非常敏感^[12~14]。文中根据核线重排列后影像的特点^[15, 16],构建了新的系列多阶数据描述量,设计了轻量级的线状多尺度三角塔结构实现对影像的全尺度域连续分析,通过检测多尺度下多阶描述量下的局部稳定点作为特征点,并进行定位、多阶变化属性描述和数值描述与快速匹配。

1 多尺度下多阶变化监测与特征的描述

对于共线约束的匹配来讲,一方面,减维匹配使得描述向量的数值相似性增大,减少了向量间的区分能力;另一方面,作为高维上信息描述的低维切片,有利于生成更多稳定的特征点。

1.1 光照尺度稳健的多阶特征描述

为减少插值或抽样对信号处理引起的信息丢失,采用离散的 Sinc 窗对图像进行多尺度滤波和数据行提取,即:

$$W(x, s) = r_0 \frac{\sin[2\pi s x / r_0]}{2\pi s x}, x \in [x_0 - r_0, x_0 + r_0] \quad (1)$$

其中, s 为当前尺度,或称抽稀系数, x_0 代表处理模板的中心点坐标, r_0 代表处理模板的半径。为提高速度,构建一个 Sinc 表,在滤波时进行查表式取值。

首先,取得对应尺度下的在整个处理数据段并进行 Sinc 函数卷积平滑滤波,即

$$I(x, s) = \sum_{v=-r_0/s}^{+r_0/s} \sum_{u=(x-r_0)/s}^{(x+r_0)/s} [I_0(u, 1) \cdot W(u, s)] \cdot W(x-v, 1) \quad (2)$$

为更好地提高算法对光照条件的适应性,考虑到数据的无效值和突变会严重影响全局归一化的效果,检测出图像中成块出现的无效值,并将图像中正常的最大值(或最小值)取代所有无效值最大值(或最小值),然后进行归一化处理(归一化到设定的正负阈值之间),将变换后的三行数据序列称为广义亮度 Sinc 序列(定义为 Extended Luminance Sinc Sequence)。取约束方向当前行和上下相邻共三行数据,在 X 方向做尺度变化,而 Y 方向尺度不变。这样可以得到较高精度的不同抽稀系数下的待处理数据序列,较好地保留了图像的灰度(或色彩)信息和灰度(或色彩)变化信息。在广义亮度 Sinc 序列中,如图 1 所示。

以图 1 中阴影处的点为参考点,其在当前尺度下的广义亮度 Sinc 序列值为 I_0 ,其上、下、左、右等八个相邻方向的对应值分别为: $I_U, I_{UL}, I_{UR}, I_L, I_R, I_D, I_{DL}$ 和 I_{DR} ,则该点在缩小系数为 s 下的广义 x 方向 Sobel 梯度

$\text{Grad}(i, s)$ 为:

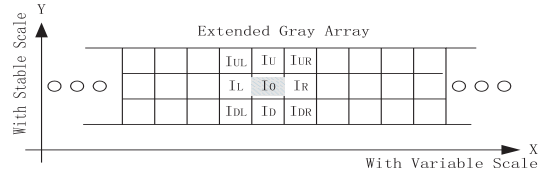


图 1 广义亮度 Sinc 序列及梯度序列示意图

$$\text{Grad}(i, s) = [(2I_R + I_{UR} + I_{DR}) - (2I_L + I_{UL} + I_{DL})] / s \quad (3)$$

其中, I_s 代表在抽稀系数 s 下的对应数据。当 s 较小时,通常需要重采样上下相邻多行数据后再求相关的梯度,这种对核线重排列影像的处理增加了核线垂直方向的计算量和内存开销。由于可采用广义亮度 Sinc 序列的相邻上下行的线性内插求得此时的等效梯度,于是,定义其梯度(考虑到后续需要归一化,忽略系数)为:

$$\text{Grad}(i, s) = (4I_R - 4I_L) / s + s(I_{UR} + I_{DR} - 2I_R + 2I_L - I_{UL} - I_{DL}) / s \quad (4)$$

然后进行归一化和平滑处理,于是就形成了广义梯度序列(Extended Grad Sequence)。类似的,定义该点在核线垂直方向上的广义梯度为:

$$\text{Grad}^*(i, s) = s(2I_U + I_{UR} - 2I_D - I_{DL} + I_{UL} - I_{DR}) / s \quad (5)$$

于是,该点的梯度的斜率为 $K(i, s) = \text{Grad}^*(i, s) / \text{Grad}(i, s)$,对应于该点梯度的方向为: $\theta(i, s) = \arctan[K(i, s)]$, $\theta(i) \in (-\pi, \pi]$, $\theta(i, s)$ 的象限由空间的点坐标 $(\text{Grad}^*(i, s), \text{Grad}(i, s))$ 决定。然而, $K(i, s)$ 和 $\theta(i, s)$ 对匹配和识别均存在不稳定性因素,不利于直接进行特征的数值描述。对 $K(i, s)$ 而言,当 $K(i, s)$ 接近 $\pi/2$ 或 $-\pi/2$ 时, $K(i, s)$ 会逐渐取得非常大的值,其附近微小的波动,会过度放大特征间的距离;同时,如果对序列进行归一化,会泯灭 $K(i, s)$ 在其他区域的表达值,使得结果不可信;当 $\text{Grad}(i, s)$ 在 0 附近波动时, $K(i, s)$ 的值会出现正负的跳变。对 $\theta(i, s)$ 而言,其值域相对稳定,利于归一化分析处理。但是,当点 $(\text{Grad}^*(i, s), \text{Grad}(i, s))$ 处在 $(0, 0)$ 的邻域内出现象限间波动时, $\theta(i, s)$ 会出现较大的跳变;同时, $\theta(i, s)$ 在 $-\pi$ 邻域和 π 邻域时出现不连续,造成识别和匹配困难。

为解决这个问题,采用 $\theta(i, s)$ 时,当 $\text{Grad}^*(i, s)$ 在 0 附近跳变时,不会影响 $\theta(i, s)$ 的较大浮动;当 $\text{Grad}(i, s)$ 在 0 附近跳变时, $\theta(i, s)$ 会出现较大的跳变,此时采用 $|K(i, s)|$ 判别抑制,即当 $|K(i, s)|$ 跳变时,判断 $\text{Grad}(i, s)$ 是否在 0 附近,如果是,采用 0 阶保持,即保持前一点的相位。在匹配时,如果相位差大于 π ,就取该点的负相位加 2π 。从而实现梯度方向描述

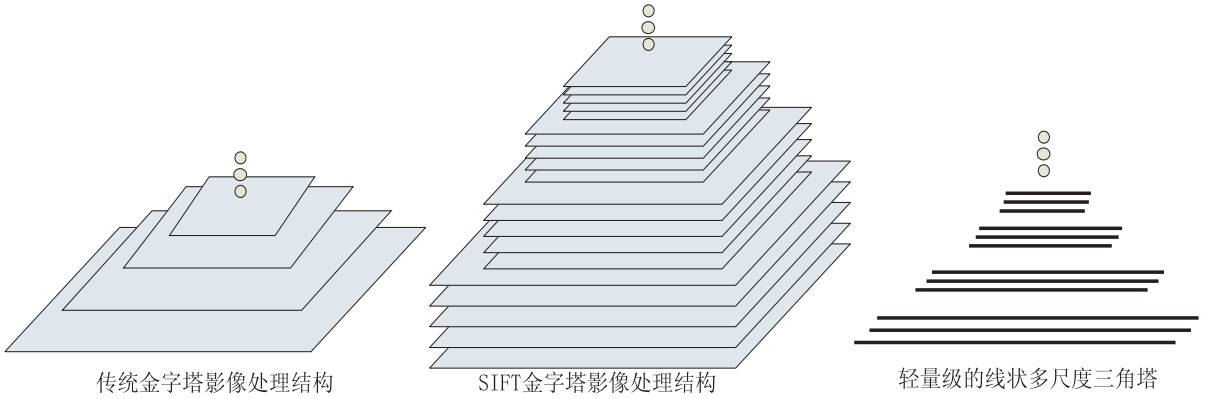


图2 文中轻量级的线状多尺度三角塔结构与传统多尺度分析结构对比

的稳健性和有效性。同时,连续地形或景物的 $\theta(i,s)$ 的值不会受到局部光照的影响。更有利于提高算法的抗光照变化性能。这样就形成了广义 θ 序列。

为了描述广义亮度 Sinc 序列中参考点与周围点的对比关系,忽略局部系数,定义广义中心偏离序列 (Extended Bias Sequence), 其中的元素 $\text{Bias}(i,s)$ 满足:

$$\text{Bias}(i,s) = 8I_0 \mid_s - (I_U + I_{UL} + I_{UR} + I_D + I_{DL} + I_{DR} + I_L + I_R) \mid_s \quad (6)$$

它可应用于多种特征点的检测依据,只有当 $\mid \text{Bias}(i,s) \mid$ 超过一定阈值时,才认为参考点为一个局部稳定点。

1.2 特征的近似连续尺度域分析和实现

对于高分辨率影像,往往图像的宽度和高度较大,通常有几千甚至上万个像素,传统的金字塔结构占用非常大的内存开销和时间开销,设计了轻量级的线状多尺度三角塔结构,如图2所示。

底层的三行数据代表原始影像处理后的广义亮度 Sinc 序列,平均抽稀系数为 s_0 ,层次间的缩小倍数为 z ,则第 i 层的平均抽稀系数为 $s_i = s_0 z^{i-1}$ 。为了得到分析空间的连续尺度,即为了确定在第 i 层时该特征的尺度,在该点特征的模板覆盖范围,依靠对应的广义亮度 Sinc 序列和广义梯度序列进行求解,假设该特征点在源图中的像素坐标为 (x_p, y_p) ,在核线重排列影像上,暂不考虑 y_p 的差异,则该点的尺度 s_p 满足:

$$s_p = \{ a_l [x_p - \frac{1}{a_l} \sum_{j=p-2s_0z^{i-2}r_0/3}^{p-2s_0z^{i-2}r_0/3} x_j \mid \text{Gray}(j,i) \cdot \text{Grad}(j,i) \mid] + a_r [\frac{1}{a_r} \sum_{j=p+2s_0z^{i-2}r_0/3}^{p+4s_0z^{i-2}r_0/3} x_j \mid \text{Gray}(j,i) \cdot \text{Grad}(j,i) \mid - x_p] \} / [r_0(a_l + a_r)] \quad (7)$$

其中,

$$a_l = \sum_{j=p-4s_0z^{i-2}r_0/3}^{p-2s_0z^{i-2}r_0/3} \mid \text{Gray}(j,i) \cdot \text{Grad}(j,i) \mid, a_r = \sum_{j=p+2s_0z^{i-2}r_0/3}^{p+4s_0z^{i-2}r_0/3} \mid \text{Gray}(j,i) \cdot \text{Grad}(j,i) \mid。$$

这样将亮度信息和变化信息均融入尺度的拟合,

采用加权操作抵消左尺度和右尺度可能的不一致性。

1.3 特征点的多尺度监测与描述向量的生成

在行数据形成的多尺度多属性序列中,分别检测当前处理行中的各种极值点作为特征点。其中,广义亮度 Sinc 序列中的极值点,对应校正后图像中的极亮点或极暗点,多尺度下就表示较亮或较暗的一块点状区域;广义梯度序列中的极值点,对应数据变化程度最为剧烈的点或区域,其极大值为正,极小值为负,可以检测出图像明暗交替变化显著,并且比较稳定的点或区域。广义 θ 序列极值点反映了局部梯度方向变化的显著点。这些特征形成了点特征的属性描述。为了得到更稳定更可信的特征点,可利用某点处的特征相对于相同描述序列中周围点或待匹配点的区分程度,去掉特征不明显或者异常跳跃造成的伪特征。这样,可综合检测出多种类型、多种极性、多尺度下的特征点。由于相机畸变、较大的投影变形、以及精确相机模型等问题的存在,往往导致并非所有的特征点或同名点均严格核线重排列一致。所以在核线方向和核线垂直方向采用离散二次极值拟合调整,从而修正真值距离理论值之间的误差,实现对特征点的定位。

对于数值描述向量,分为多维,包括:选定窗口(半径为 W_R)的广义亮度 Sinc 序列及其垂直方向的上下较小窗口(半径为 w_R)的均值的 W_R/w_R 倍;选定窗口的广义梯度序列;选定窗口的广义 θ 序列;选定窗口的广义中心偏离序列。然后对各描述量进行 Sinc 波加权,突出距离特征点较近描述量的贡献,然后重新排序,赋给特征描述子,并进行 Sinc 波平滑和归一化。

例如,一般描述子的属性特征包括点的位置、特征点的类别、点的极值属性、点的尺度信息、点的当前亮度、点的中心点亮度与整个模板亮度和的比、与左半个模板的亮度和之比、与右半模板的亮度和之比等,参与匹配的该描述子有 47 维(彩色 56 维)。然后,采用基于自动提取的控制点进行区域仿射预测,在预测区域进行属性匹配和数值匹配相结合的一维匹配。最后结

合一致性规律剔除误匹配,再核线重排列进行逆变换,最终进行视差偏移曲线剔除误匹配。

2 算法的实现与分析

开发环境为 VS2005 的 VC++环境,PC 机内存 2.0G,主频 3.0GHz。首先,以嫦娥二号月图片段为测试对象(嫦娥二号月图第 204 轨前视(F)图的 50 行至 650 行片段,对应该轨的后视(B)图的片段偏移大约为 6430 行,图像的宽度为 6144)。图 3 为文中算法匹配效果的部分截图(为方便显示,对同名点进行了密度控制,7 个像素内没有两对同名点):

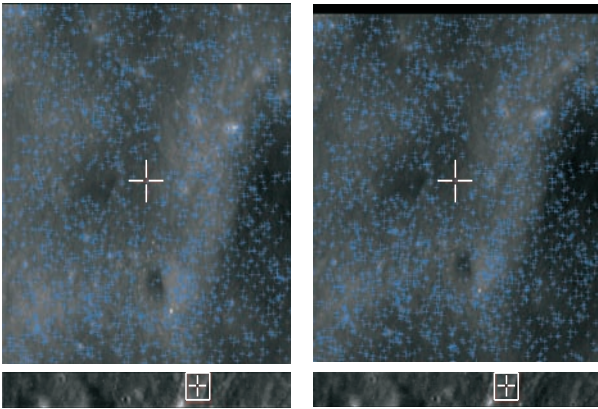


图 3 文中匹配算法进行月图匹配局部效果显示图

其中,上面两幅较大截图(实际尺寸约 600 像素×600 像素,像素分辨率约为 7 米)分别是对应下方图片(缩略图,实际尺寸 6144×650,对应图中的分辨率约为 72 米)中的带“+”的白色方框中图像的放大图像。其中的蓝色“+”分别表示该图中的同名像点。

分别以文中算法与目前功能较强大和应用广泛的 SIFT 算法、SURF 算法和核线变换一维最小二乘算法作对比。SIFT 和 SURF 算法的次近和最近距离比值阈值均设为 1.02,相关数据如表 1 所示:

表 1 文中算法与典型匹配算法简要对比

	SIFT 算法	SURF 算法	核线变换一维 最小二乘	文中匹配 算法
正确匹配数量(对)	3,937	901	13,382	23,657
特征提取与匹 配总时间(ms)	542,249	14,142	3,800,361	129,738
平均匹配精度(pixel)	约 1	2~3	约 0.5	< 1

文中算法能够在较快时间内提取并匹配大量同名点,具有较高的匹配准确率和匹配精度,可以大幅度提高传统同名像点分布不均匀区域的解算精度。

图 4 为该算法进行的一组彩色航空影像的匹配效果显示图。上面两幅较大截图(实际尺寸约 600 像素×600 像素,像素分辨率约为 6.5 厘米)分别对应下方

两边灰度图片中的带“+”的白色方框中图像的放大图像。

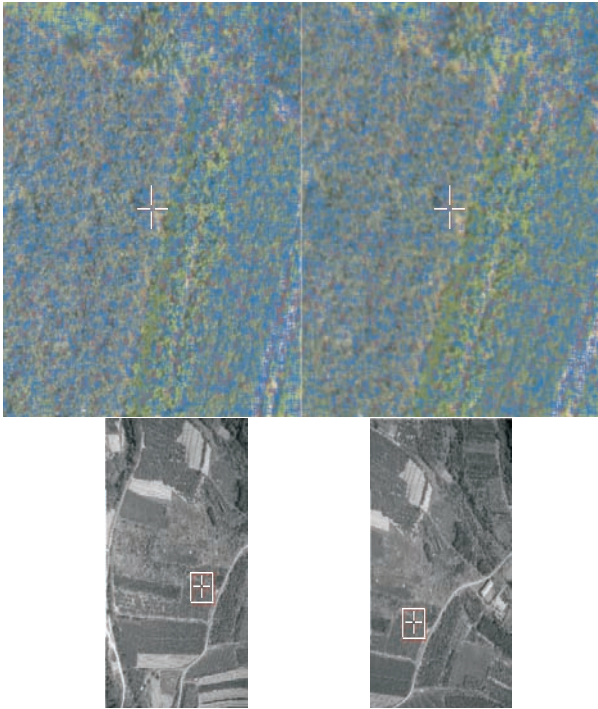


图 4 文中算法在航空影像上的匹配效果

3 结束语

提出核线重排列影像基础上的多阶变化监测准稠密匹配算法,设计的轻量级的线状多尺度三角塔结构实现对影像的全尺度域连续分析,能够在多尺度上进行多阶变化量的点特征检测,并将影像的合成广义亮度 Sinc 序列信息、广义梯度序列信息、广义 θ 序列信息和广义中心偏离序列信息结合起来,对特征点进行了属性描述、数值描述以及快速匹配,并提出偏移曲线簇进行引导式误匹配剔除算法,进一步提高了匹配的可靠性。这将对高分辨率影像的高精度空间解算和三维地形生成提供保障,尤其提高特征比较稀少、传统稀疏匹配算法同名点数量较少区域的匹配效果。

参考文献:

[1] Li Jing, Allinson N M. A comprehensive review of current local features for computer vision[J]. Neuro Computing, 2008, 71 (10-12): 1771-1787.

[2] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoint[J]. Computer Vision, 2004(5): 91-110.

[3] Bay H, Tuytelaars T, Van G L. SURF: Speeded Up Robust Features[C]//9th European Conference on Computer Vision. Graz, Austria: [s. n.], 2006.

[4] Stefano L D, Marchionni M, Mattoccia S. A fast area-based stereo matching algorithm[J]. Image and Vision Computing, (下转第 138 页)

行模拟过滤,其结果如表 2 所示:

表 2 实验结果

层次	合法		非法		查全率	精度
	正确判决	错误判决	正确判决	错误判决		
一	0	0	0	0	0	0
二	353	47	161	39	0.805	0.774
三	384	16	187	13	0.935	0.921
基于统计的 KNN 方法					0.82	0.83

从表中可以看出:在第一层因为初始时 IP、URL 地址库内无内容,所以无法识别出,系统经过长时间的运行,得到的地址库内容会丰富,直接在第一层过滤的几率会越来越大,过滤效果也越来越强。第二层采用关键词频与权重计算效果并不太理想,将第二层结果带入第三层计算,综合后得到的过滤效果明显,查全率和精度更高。系统在多台工作站上进行实际运行都获得了较好的过滤效果。

3 结束语

文中对三层过滤模型作了较为深入的研究,取得了较好的效果,具有实用价值,在不良信息的传播方面产生良好地阻截效果,能使网络客户端用户免遭这些信息的侵扰。但为了能更好的进行信息知识的识别与检测,还需要结合中文自然语言处理方法、中文语义分析技术等达到更精确的识别效果,下一步工作重点是全面分析中文语义信息来提高精度。同时,使相关参数在实践中能同时实现自适应,完成自动调整,不断提高过滤效果,适应复杂多变的网络文本信息,创建干净

的用网环境,远离不良网页带来的负面影响。

参考文献:

[1] 中国互联网络发展状况统计报告[R]. 北京:中国互联网络中心,2012.

[2] 中国互联网违法和不良信息举报情况公告[EB/OL]. 2012. http://net.china.com.cn/jbqk/node_5957.htm.

[3] 陈世强,贺刚,谢坤武. 基于 SPI 与 VSM 的 Web 访问控制与过滤系统的研究与设计[J]. 计算机应用与软件, 2009,26(7):126-128.

[4] Hammamii M,Chahir Y,Chen L. Web guard: A web filtering engine combining textual,structural,and visual content-based analysis[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2006,18(2):272-284.

[5] Lewis D D,Yang Y,Rose T,et al. Rcv1: A New Benchmark Collection for Text Categorization Research[J]. Journal of Machine Learning Research,2004(5):361-397.

[6] 杨金柱,刘金岭. 基于词语上下文的文本分类研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(8):145-148.

[7] ictclas 汉语分词系统[EB/OL]. 2011. <http://www.ictclas.org/index.html>.

[8] 李英. 基于词性选择的文本预处理方法研究[J]. 情报科学,2009,27(5):717-719.

[9] Gong Leiguang. Exploring Computational Mechanism for Contexts[J]. IEEE Computational Intelligence Bulletin,2002,1(1):19-25.

[10] 张玲达,金林,程秀霞,等. 一种基于内容的混合模式过滤模型[J]. 计算机工程,2008,34(24):64-66.

[11] 戴永清,章月丽. 一种基于文本倾向性的不良文本识别方法[J]. 计算机应用与软件,2011,28(5):296-298.

(上接第 114 页)

2004,22(12):983-1005.

[5] Tola E,Lepetit V,Fua P. A Fast Local Descriptor for Dense Matching[C]//CVPR. [s.l.]:[s.n.],2008.

[6] Xing Y J,Meng J J,Sun J,et al. An improved region-growth algorithm for dense matching[J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering,2006,18(1-2):323-326.

[7] 山海涛,郝向阳,马淑宇,等. 影像畸变对基本矩阵估计精度的影响分析[J]. 测绘科学技术学报,2010,27(1):50-53.

[8] 张过,潘红播,江万寿,等. 基于 RPC 模型的线阵卫星影像核线排列及其几何关系重建[J]. 国土资源遥感,2010,12(4):1-5.

[9] Jiang Zetao,Wu Min,Zheng Bina. A linear and aspect ratio invariant rectification method for stereo vision[C]//International Conference on Computer Science and Software Engineering, IEEE CSSE 2008. Wuhan,Hubei,China:[s.n.],2008:903-

906.

[10] Morgan M. Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes[D]. Calgary:University of Calgary,2004.

[11] Su Junying. Study of SPOT Epipolar Image Polynomial Fitting Based on Matching Constraint[J]. Remote Sensing Information,2002(4):10-15.

[12] 李德仁,周月琴,金为铤. 摄影测量与遥感概论[M]. 北京:测绘出版社,2001:217-243.

[13] 胡广书. 数字信号处理理论算法与实现[M]. 第 2 版. 北京:清华大学出版社,2003:303-307.

[14] 吉大纯,李学军,侯金宝. 影像匹配中的若干基本问题研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(5):246-249.

[15] Xie Jierui,Beigi M S. A Scale-invariant Local Descriptor for Event Recognition in 1D Sensor Signals[C]//ICME 2009. [s.l.]:[s.n.],2009:1226-1229.

[16] 吉大纯,李学军,谢剑薇. 一种分层的航空影像匹配算法[J]. 装备指挥技术学院学报,2008,19(4):73-77.

连续尺度复合分析核线重排列影像准稠密匹配

作者: [杨晟](#), [李学军](#), [王珏](#), [杨阿华](#)
作者单位: [中国人民解放军装备学院, 北京 101416](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201304029.aspx