

# 车辆导航立体视觉测量技术特征点匹配方法

石德乐 叶培建 贾阳 王荣本 郭烈

**【摘要】** 车辆跟踪定位中的立体视觉算法,特征点匹配计算量大,误匹配概率高,实时性不强。对特征点匹配技术进行了研究,通过分析传统特征点提取方法的不足,提出了基于四边形约束的彩色标示特征点的匹配方法。试验表明,该方法匹配的准确率为100%,计算速度快、适应性强。

**关键词:** 车辆 导航 立体视觉 特征点匹配 四边形约束

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## Character Points Matching Method on Vehicle Stereo Vision Navigation

Shi Dele<sup>1</sup> Ye Peijian<sup>1</sup> Jia Yang<sup>1</sup> Wang Rongben<sup>2</sup> Guo Lie<sup>2</sup>

(1. Chinese Space Technology Academy 2. Jilin University)

### Abstract

In vehicle tracing and locating, character points matching in stereo vision algorithm has more calculation works, high error matching probability and can not run in real time. In this paper, the technology of character points matching is studied. After compared several matching algorithms, we put forward a method named rectangle constraint of color field matching. The experiment results show that the method has 100% matching accuracy, quickly calculating rate and strong adaptability.

**Key words** Vehicle, Navigation, Stereo vision, Character points matching, Rectangle limited

## 引言

立体视觉测量技术在当前车辆导航中得到越来越广泛的应用,它利用视差原理得到特征点的三维信息。因此在基于基站的车辆跟踪中,可以利用立体视觉进行车辆的定位,而获得车辆的位姿信息,为导航应用提供必要的保证。但是在立体视觉算法中,特征点匹配计算量大,误匹配概率高,实时性不强,使该方法在车辆导航控制中理论研究较多,应用的实例较少。本文主要对车辆跟踪定位中的特征点匹配技术进行研究。

## 1 传统特征点提取方法

当前对于图像的配准可分为基于面积的配准和基于特征的配准。基于面积的配准是在一幅图像中以某一像素点的邻域作为模板,在另一幅图像中以互相关函数作为两个搜索邻域的相似性测度, Moravec、Genneydeng 等给出了各种方法,它以像素灰度值进行匹配,对图像的旋转以及光强和对比度的变化敏感,对重复纹理特征易引起混淆,并且运算量大,在早期的图像配准中应用较多。当前更多采用基于特征的方法,图像特征有点、线段、曲线和片

收稿日期: 2006-04-24

石德乐 中国空间技术研究院 513 所 高级工程师 博士生, 264000 烟台市

叶培建 中国空间技术研究院 教授 博士生导师 中国科学院院士, 100086 北京市

贾阳 中国空间技术研究院 高级工程师

王荣本 吉林大学交通学院 教授 博士生导师, 130025 长春市

郭烈 吉林大学交通学院 博士生

状区域等<sup>[1]</sup>。在特征点的匹配算法中由 Barnard 方法、Harris 角检测器、Forstner 兴趣算子等进行左右图像特征点的提取,然后采用松弛迭代算法、SAD 算法等进行特征点的匹配<sup>[2~3]</sup>。为了验证各种算法的优劣,对各种检测算法进行了试验。

图 1 为吉林大学智能车辆课题组研制的月面巡视探测器原理样机以及各种试验结果,它是采用德国 Basler 公司生产的 A602fc 型 CCD 摄像机拍摄的一对图像,通过插值的方法获得各个像素点的 RGB 分量后,生成的彩色图像。

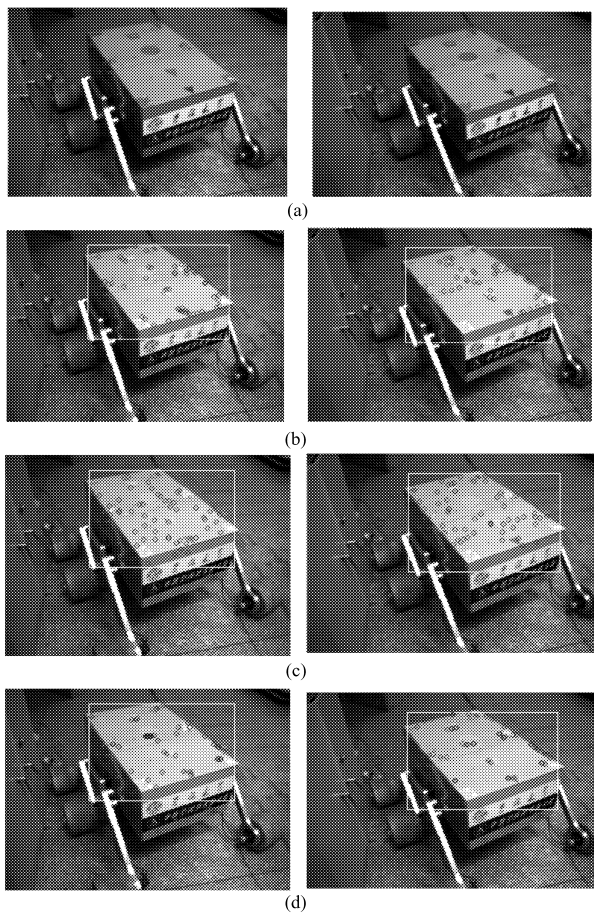


图 1 月面巡视探测器特征点提取结果

Fig. 1 Several methods of character points extracting

(a) 月面巡视探测器原始图像 (b) Barnard 方法提取的特征点  
(c) Forstner 兴趣算子提取的特征点 (d) Harris 角检测器提取的特征点

特征点的提取是针对图像分割后的月面巡视探测器区域进行的,左、右图像中各提取了 50 个特征点。结果表明,对于平行立体视觉系统,检测的角点对应性较好;而对于具有一定覆盖角度的立体视觉系统,角点的对应性较低,匹配后的误匹配率较大,并且计算时间长。对于要求较高的车辆导航应用,不能够满足特征点匹配的要求。

## 2 标示特征点匹配方法

为了提高匹配的正确率及计算效率,在月面巡

视探测器的上表面作出一系列特征图形,标示各个特征点,如图 1a 上表面所示的各个特征区域。只要获得特征区域的中心,并找到对应区域,即能够达到准确匹配的目的,流程图如图 2 所示。

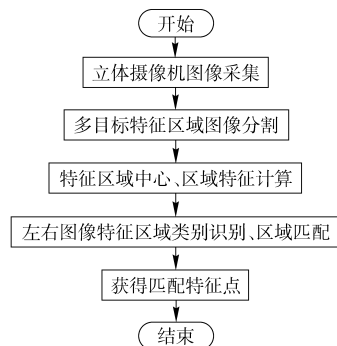


图 2 标示特征点匹配流程图

Fig. 2 Flow chart of signed character points matching

该方法首先要做到对特征区域的分割、多目标区域的标示,然后计算各个区域的中心以及区域的特征,最后设计分类器完成区域的识别。匹配区域的中心点即为匹配的特征点。

可以看出多目标特征区域的分割与标示,成为特征点识别方法的关键。文中采用颜色特征作标记区域,并采用多通道彩色分量融合的图像分割方法,能够适应各种光照条件的影响,具有较强的鲁棒性,对各种噪声有明显的抑制作用。

彩色分割后的图像,首先经过形态学滤波中的腐蚀、膨胀算法,将分割后图像的孤立点滤除,同时,把分割区域内部断开的一些区域连上。然后采用区域增长算法标记出多个分块的小区域。最后通过投影算法,用矩形框表示出来,以后的计算可以在矩形区域中进行。

对特征区域进行几何特征建模时,其特征可以选用一些不变量,如广泛使用的矩不变量,物体图像经过平移、旋转以及比例变换后,矩的特征仍然不变。对于经过分割处理的数字图像  $f(x, y)$ ,可以定义  $(p+q)$  阶矩为<sup>[4~5]</sup>

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

$(p+q)$  阶中心矩为

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

$p, q$  为不同值时,  $m_{pq}, \mu_{pq}$  具有不同的几何意义。 $m_{00}$  为区域的面积,  $m_{10}, m_{01}$  为形心坐标,  $\mu_{20}, \mu_{02}$  为绕垂直和水平轴的惯性矩。通过对中心矩规范化  $\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{00}^r$ , 其中  $r = (p+q+2)/2$ , 可以导出不变矩组

$$\begin{cases}
 \phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \\
 \phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
 \phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
 \phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\
 \phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(h_{21} + h_{03}) \cdot [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\
 \phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
 \phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (-3\eta_{12} + \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]
 \end{cases}$$

(3)

对于左右视觉图像中特征区域,由于图像变化不明显,可以认为在平面区域中,平移、旋转和区域的比例大小保持不变,此时可以将7个不变矩作为特征进行分类、匹配。图3为对特征区域分割、标示、特征计算及匹配后的结果。

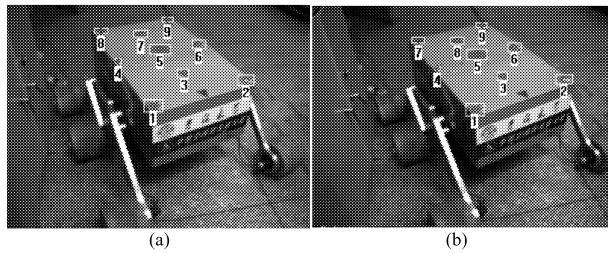


图3 标示特征点匹配结果

Fig. 3 Result of signed character points matching

图3中完成了对洋红色区域的分割,前面的红色箭头没有被误分割出来,表明分割结果准确,而区域标记算法及特征计算算法完成也较好。但是对于“7”、“8”两点却存在误分类问题,原因是7个不变矩的应用问题,在平面区域中,只有垂直于摄像机光轴的图像平面内,7个不变矩才对平移、旋转和区域的比例大小保持不变。对于透视投影图像,不变矩发生变化,虽然对于双目视觉左右图像变化不大,可以简化为平面的矩特征进行匹配,但存在误匹配的概率,并且既不能够依此进行图像的认识,也不能够确定月面巡视探测器的方向。同时,随着月面巡视探测器的移动,特征区域变小,矩特征相差不大,误匹配的概率增加。因此,提出了基于四边形约束的特征点匹配方法。

### 3 基于四边形约束的特征点匹配方法

四边形约束的特征点匹配方法原理如图4所示。

设特征点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  位于平行四边形的4个角

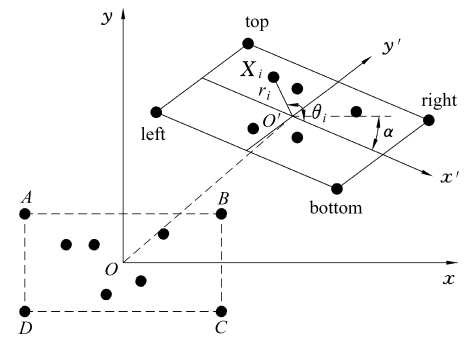


图4 四边形约束的特征点匹配方法原理图

Fig. 4 Diagram of rectangle limited method

点上,其它特征点位于四边形内部,四边形内部坐标系起始位置与图像坐标系重合,如图4中虚线框。当经过三维运动后,设在图像平面上,四边形经过平移、旋转到达  $O'$  位置,设特征点  $X_i$  在图像坐标系中的坐标  $X_i = [x_i, y_i]^T$ , 在四边形内部坐标系中坐标为  $X'_i = [x'_i, y'_i]^T$ , 旋转矩阵为  $A$ , 平移矩阵为  $T$ , 则  $X_i = AX'_i + T$ , 可以求得

$$X'_i = A^{-1}(X_i - T) \quad (4)$$

$$\text{其中 } A = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} x_{O'} \\ y_{O'} \end{bmatrix}$$

式中  $\alpha$ ——方位角

求得  $X'_i$  坐标后,可以在四边形内部坐标系中计算特征点  $X_i$  的旋转角  $\theta_i$  和到原点的距离  $r_i$ , 依据  $\theta_i$  与  $r_i$  值的大小完成对特征点的匹配,需要求得的是坐标原点的位置和坐标轴  $x'$  的方位角  $\alpha$ , 在图像处理中采用求四边中点连线的方法获得中心点,即

$$\text{CenterPt} = \text{mid}(\text{lefttopPt}, \text{rightbottomPt})$$

$$x' = \text{line}(\text{lefttopPt}, \text{rightbottomPt})$$

该方法由以下条件来保证。

(1) 由于平行四边形为凸多边形,而凸多边形边界上或内部的任意两点连线上所有的点均在该凸多边形的内部或边界上,因此位于四边形内部的特征点经过变换后,仍位于四边形内部。

(2) 平行四边形的变换满足仿射变换的特性,即两直线间的平行性是仿射变换不变量,可确保求得的中心点和坐标轴是唯一的。

(3) 由几何不变性可知,特征点与坐标轴  $x'$  的夹角以及与中心点的距离的排列次序,不会因几何变换而改变。

因此,当标示特征点唯一确定后,可确保特征点排序的唯一性。匹配的流程图如图5所示。

试验结果如图6所示。

可以看出该匹配方法实现了准确匹配,不足之处是以上、下、左、右点为基准,不能对月面巡视探测器定向,如果在临界状态,可能造成完全错误匹配结果。

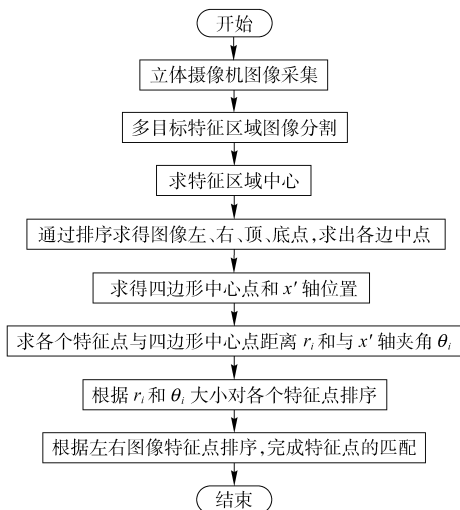


图5 标示特征点提取流程图

Fig. 5 Flow chart of signed character points matching based on rectangle limited

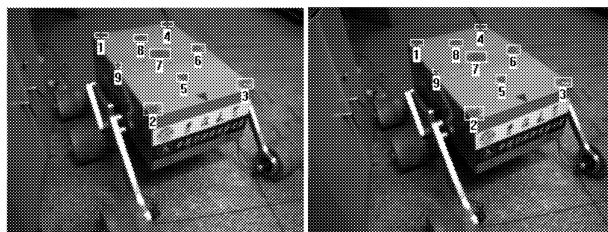


图6 四边形约束的特征点匹配结果

Fig. 6 Result of signed character points matching based on rectangle limited

果。实际中,采用增加不同颜色的特征角点进行方位确定的办法,以不同颜色特征点确定的边作为基准,确定坐标轴  $x'$ 。图7为试验结果,点1、2为增加的青色特征区域。结果表明,该方法能够进行全方位的

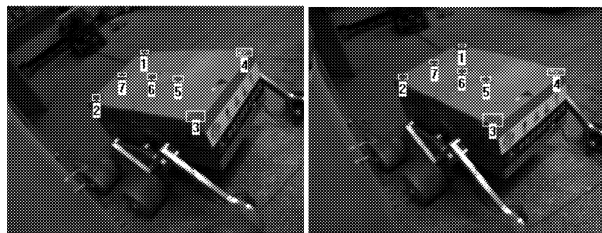


图7 增加基准颜色的四边形约束的特征点匹配试验结果

Fig. 7 Result of signed character points matching based on rectangle limited and added benchmark color

匹配,匹配正确率达到100%。

该匹配方法的不足之处在于:需要对特征区域的完全识别,特别对四边形4个角点信息要一一对应,内部区域可以根据  $\theta_i$  与  $r_i$  的大小去除没有对应的点,而外部的干扰信息却是致命的,引起四边形识别的错误。实际应用中,角点可以用多种颜色标示,如采用不同颜色的同心圆环,限定为一个特征,根据不同颜色的识别结果进行判断。同时,限定匹配区域,如首先辨识月面巡视探测器的外廓,在限定的区域中匹配,不仅减少了计算量,而且能够减少匹配错误,提高系统的鲁棒性。

## 4 结束语

通过对基于基站的车辆跟踪定位中各种特征点匹配方法的研究,提出了基于四边形约束的标示特征点的匹配方法。试验结果表明,该方法匹配正确率100%,而且计算效率较高,能够满足立体视觉测量的要求以及序列图像的匹配要求。

## 参 考 文 献

- 1 高文,陈熙霖. 计算机视觉-算法与系统原理[M]. 北京:清华大学出版社,1999:66~75.
- 2 Paul L Rosin. Measuring corner properties[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1999, 73(2): 291~307.
- 3 武林,彭复原,赵坤. 基于图像特征点匹配的车辆运动检测[J]. 仪器仪表学报,2005,26(增刊):581~582.
- 4 HU M K. Vision pattern recognition by moment invariants[J]. IEEE Trans On Information Theory, 1962,8: 179~187.
- 5 王海霞,徐欣锋,徐抒岩. 一种基于不变矩的目标识别方法[J]. 光学精密工程,2004,12(4):131~136.