

## 基于海天线的双目视觉图像对校准方法研究

孙少杰, 杨晓东

(海军潜艇学院航海观通系, 山东 青岛 266042)

**摘要:** 结合海空背景下图像特点与双目视觉测量的需求, 提出一种基于海天线的双目图像校准方法, 采用 Sobel 算子对图像进行边缘检测并做二值化处理, 利用 Hough 变换算法提取和定位海天线, 根据参数空间返回的参数值对图像进行旋转和平移变换。实验结果表明, 该方法能够有效地实现双目图像对的行对准, 可操作性强, 对计算机视觉技术的进一步应用具有促进作用。

**关键词:** 边缘检测; 图像校准; 海天线; 双目视觉

**中图分类号:** TP391.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2015)02-0051-04

## Binocular Vision Image Rectification Based on Sea-Sky-Line

SUN Shao-jie, YANG Xiao-dong

(Department of Navigational Instrument, Navy Submarine Academy, Qingdao 266042, China)

**Abstract:** Considering the demand of binocular vision measuring and the features of sea-sky images, we proposed a binocular image rectification method based on sea-sky-line. Sobel operator was used for image edge detecting followed by binarization processing, and Hough algorithm was introduced here to extract and locate the sea-sky-line. Image rotation and translation was implemented according to the feed back data from parameter space. The experiment results show that the proposed method can effectively rectify the given target images, and manipulation performance is good, which can help to facilitate the further application of computer vision technique.

**Key words:** edge detection; image rectification; sea-sky-line; binocular vision

### 0 引言

在计算机立体视觉研究领域, 双目图像对的配准一直是一个关键问题<sup>[1-2]</sup>, 其目的是从立体图像对的两幅图像中找出目标对应特征点, 为视觉测量和三维场景重建等立体视觉应用提供基础。目前大部分匹配算法均基于这样一个假设前提: 立体图像对的两幅图像对应特征点在同一扫描线上也即行对准<sup>[3]</sup>, 这样就将匹配的搜索范围从二维降到一维, 可大大加快匹配速度, 同时提高匹配精度<sup>[4]</sup>。

为实现双目图像行对准, 目前多数文献介绍的方法是对图像进行极线校正, 即通过对图像进行射影变换使得两图像对应极线处在同一水平线上。文献[5]提出

了平面投影校正的方法, 由于算法以校正后图像匹配点对间距离最小化为约束条件, 使得校正后图像失真较大; 文献[6-7]提出基于基本矩阵的图像校正方法, 无需对相机进行标定, 但该方法依赖于基本矩阵的精确求解, 当基础矩阵估计不稳定时, 会引起校正精度严重下降; 文献[8-9]提出利用标定后的摄像机参数进行极线校正, 能够取得良好效果, 是目前常用的校正方法, 但是其应用范围局限于目标在距离较近时拍摄的图像。

综合以上分析, 针对远距离海空背景下海面目标拍摄的平行双目视觉图像对, 本文提出一种基于海天线的图像校准方法, 能够有效地实现立体图像对的行对准, 从而使得图像配准速度更快、效率更高。

### 1 边缘检测与海天线提取

在远距离的情况下, 舰船目标如果出现, 则一般处于海天线附近区域。针对上述成像特点, 只要确定海天线区域, 即可以定位出海天线上的舰船目标。为了

收稿日期: 2014-03-20

修回日期: 2014-04-28

基金项目: 海军装备部军内科研项目

作者简介: 孙少杰(1985—), 男, 湖北咸宁人, 博士生, 研究方向为机器视觉导航。

确定海天线区域,对海天线进行检测很有必要。

### 1.1 Sobel 算子边缘检测原理

在采集原始图像时,由于海上环境的复杂性,海面目标成像受天气、背景杂波和光照等因素影响存在噪声,不利于目标的检测,所以在进行边缘检测前,需对噪声予以滤除。Sobel 算子<sup>[10-11]</sup>由于引入了平均因素,对图像中的噪声有很好的平滑作用,可有效减弱检测结果对噪声的敏感性,故本文采用该算子进行边缘检测。

Sobel 算子是在图像空间利用 2 个方向模板与图像进行邻域卷积来完成的,其卷积核为

$$\begin{cases} S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

通过这两个小区域模板在图像中的移动,完成图像中每个像素点同这两个卷积核的卷积运算。

设像素点 $(x,y)$ 的灰度值为 $f(x,y)$ ,则 Sobel 算子的表达式为

$$\begin{cases} \Delta x f(x,y) = f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1) - \\ f(x-1,y-1) - 2f(x,y-1) - f(x+1,y-1) \\ \Delta y f(x,y) = f(x-1,y-1) + 2f(x-1,y) + f(x-1,y+1) - \\ f(x+1,y-1) - 2f(x+1,y) - f(x+1,y+1) \end{cases} \quad (2)$$

Sobel 算子梯度为

$$G[f(x,y)] = |\Delta x f(x,y) + \Delta y f(x,y)| \quad (3)$$

由于只对图像边界轮廓感兴趣,因此,选取合适的梯度阈值 $G_{thr}$ ,利用式(4)即可得到边界轮廓的二值化图像

$$B(x,y) = \begin{cases} B_{eg} & G[f(x,y)] \geq G_{thr} \\ B_{bg} & G[f(x,y)] < G_{thr} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $B(x,y)$ 为边界轮廓的二值图像灰度值; $B_{eg}$ 为边缘点灰度值; $B_{bg}$ 为背景灰度值; $G_{thr}$ 为非负阈值。

### 1.2 基于 Hough 变换提取海天线

远距离观察目标时,海天线通常呈现为一条直线边缘,所以海天线的检测问题就变成了海空背景下的直线检测问题。Hough 变换<sup>[12-13]</sup>是一种图像空间到参数空间的转换,通过它可以将在笛卡尔坐标空间中的直线变换为极坐标空间中的点。

对于 $(x,y)$ 空间的任意一点 $(x_i,y_i)$ ,采用极坐标 $(\rho,\theta)$ 作为参数空间,其变换方程为

$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta \quad (5)$$

采用极坐标的形式是为了更好地处理当直线垂直时其斜率接近无限大的问题。图 1a 是笛卡尔坐标中

的一条直线, $\rho'$ 表示图像坐标原点到直线的距离, $\theta'$ 为该直线的法线与 $x$ 轴的交角。由 $\rho'$ 、 $\theta'$ 可以唯一地确定一条直线。

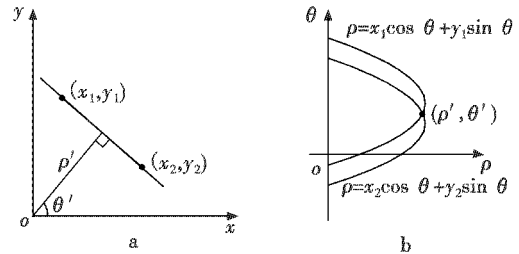


图 1 Hough 变换示意图

Fig. 1 The schematic diagram of Hough transform

图像空间中的一点 $(x_i,y_i)$ 对应于 $(\rho,\theta)$ 空间的一条正弦曲线,其相位和幅值由 $x_i,y_i$ 决定,如图 1 所示。 $(x,y)$ 空间的同一条直线上的点在 $(\rho,\theta)$ 空间的正弦曲线都会相交于点 $(\rho',\theta')$ 。在参数空间相交曲线最多的点,其对应图像中的直线即为解。因此,要探测图像空间的一条直线,相当于探测参数空间相交曲线最多的一个点,该点对应的 $\rho$ 即为图像空间中原点到最长直线的距离,对应的 $\theta$ 即最长直线的垂线与 $x$ 轴正向的夹角。本文利用边缘检测方法得到边缘点的集合,再通过 Hough 变换求出共线点及其直线方程,最后利用映射关系,在原图中精确定位海天线。

## 2 基于海天线的图像水平校正

通过 Hough 变换精确定位海天线,返回该线与原点的距离 $\rho_0$ 以及该线法线同 $x$ 轴的夹角 $\theta_0$ ,然后以某个参考点 $(x_0,y_0)$ 为中心,将图像中各点 $(x,y)$ 围绕该中心点顺时针或逆时针转动角度 $\theta_0$ ,变为新的坐标 $(x',y')$ ,该过程步骤如下所述:

- 1) 将图像平移 $T_x = -x_0, T_y = -y_0$ ;
- 2) 做旋转变化;
- 3) 平移 $T_x = x_0, T_y = y_0$ 。

组合以上 3 个步骤的计算公式为

$$\begin{cases} x' = x_0 + (x - x_0) \cos \theta_0 - (y - y_0) \sin \theta_0 \\ y' = y_0 + (y - y_0) \cos \theta_0 + (x - x_0) \sin \theta_0 \end{cases} \quad (6)$$

通过上述旋转变换,就可以分别将左右摄像机拍摄的图像校正水平,也使得海天线处于水平状态,但是由于左右相机相对位置很难做到完全处于同一水平线上,此时左右图中海天线并没有行对准,还需进行一个平移操作,才能最终实现左右立体图像对的行对准。

假设左右图像海天线经旋转校正后离原点距离分别为 $\rho_{01}$ 和 $\rho_{02}$ ,以左图为准,将右图向上或向下平移 $T_y = \rho_{01} - \rho_{02}$ ,则可使左右图像海天线实现行对准。

若直接对原图做 Hough 变换,把图像中的每个点

都对应到参数空间,不但计算量大,而且难以正确检测出海天线。因此,在进行 Hough 变换前先对原始图像进行边缘检测和二值化,然后将二值化图像中灰度值最大的点对应到参数空间,最后在参数空间图像中寻找最亮点即可。算法流程如图 2 所示。其中,对图像进行旋转变换的参考点取为图像的中心点。

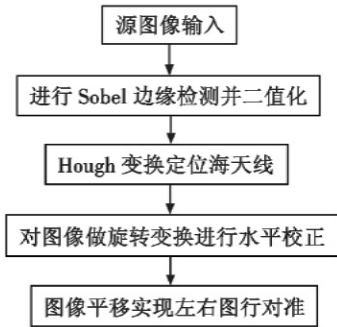


图 2 算法流程图

Fig. 2 The flow chart of proposed algorithm

### 3 实验及结果分析

根据本文的方法,在 Windows XP 环境下,利用 Visual Studio 2010 软件开发平台,结合强大的开源计算机视觉库 OpenCV<sup>[9,14]</sup>对双目图像水平校正和行对准进行程序实现。采用实拍的分辨率为 1360 × 1024 的海天背景舰船目标图像进行仿真分析。

图 3a 为摄像机左右摄像头在同一时刻拍摄的海天背景图像,对于海天背景下的图像,利用 Hough 变换检测出的图像中最长直线即为海天线;图 3b 为对图像进行 Sobel 边缘检测并二值化后的结果,从中可以看到海天线被有效地检测出来;图 3c 为基于海天线检测对图像进行水平校正的结果。图 4 为左右图像对最终实现行对准的结果。由图 3、图 4 可以看到,经过水平校正和平移处理,两图海天线已经处于同一水平线上。

表 1 校正后各标志点像素坐标比较

Table 1 The pixel coordinates of picked corners after rectification

序号	Bouguet 方法		本文方法	
	左图	右图	左图	右图
1	(906.300, 255.886)	(747.522, 247.393)	(914.939, 237.130)	(743.210, 237.562)
2	(965.284, 349.147)	(805.402, 340.701)	(968.231, 332.354)	(795.912, 332.371)
3	(923.578, 373.055)	(764.559, 363.972)	(925.964, 354.418)	(752.310, 354.437)
4	(950.864, 439.148)	(791.572, 429.462)	(949.657, 421.205)	(777.546, 421.508)
5	(933.525, 477.348)	(774.157, 468.428)	(930.741, 459.066)	(758.388, 459.595)

由表中数据可以看到,本文的校正方法很好地实现了双目图像对的行对准,左右图中同一个标志点在垂直方向像素坐标的差异仅体现在亚像素级上,而 Bouguet 方法校正后相同目标点在垂直方向像素坐标值相差较大,接近 10 个像素,说明 Bouguet 方法对于远距离的目标图像校正误差较大。此外,在算法计算量

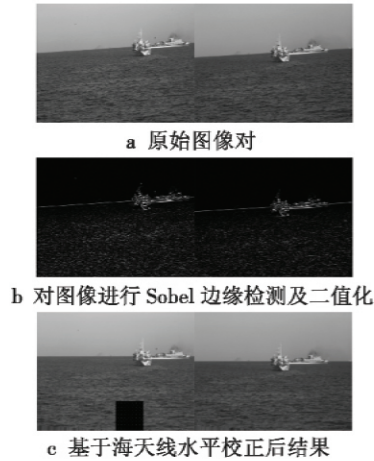


图 3 海天线检测及水平校正效果图

Fig. 3 The results of sea-sky-line detection and image rectification



图 4 本文方法最终校正效果

Fig. 4 The final matching results of stereo pairs

为对比本文方法校正效果,同时采用 Bouguet 算法对目标图像进行校正,校正效果如图 5 所示。



图 5 Bouguet 方法校正效果

Fig. 5 Rectification results using the Bouguet method

进一步做定量分析,对舰船目标由上至下选取若干标志点,采用文献[15]算法进行亚像素级角点检测和定位,并将其在左右图像中用直线相连标示,如图 4 中所示。对图中左侧舰船 5 个标志点测得的亚像素级像素坐标值列于表 1。

方面,由于本文方法无需事先标定摄像机参数,从而使校正过程大为简化,进而节省计算时间。

### 4 结论

通过海天线检测,可以确定海上目标的潜在区域,从而减少搜索及识别目标舰船的计算量。本文针对海

空背景下的海天特征,采用 Sobel 算子和 Hough 变换算法对海天特征进行检测并精确定位,在此基础上实现了双目视觉立体图像对的水平校正,并进一步实现了基于海天特征的图像对行对准,实验结果表明,本文算法可以有效地实现海空背景下双目图像对的海天线校准,对计算机视觉技术的进一步应用,如目标识别和图像配准等具有很好的参考价值。

### 参 考 文 献

- [1] 林国余,张为公.一种无需基础矩阵的鲁棒性极线校正算法[J].中国图象图形学报,2006,11(2):203-209. (LIN G Y,ZHANG W G. An effective robust rectification method for stereo vision[J]. Journal of Image and Graphics, 2006,11(2):203-209.)
- [2] 华顺刚,曾令宜.一种基于角点检测的图像密集匹配算法[J].计算机工程与设计,2007,28(3):1092-1095. (HUA S G,ZENG L Y. Dense matching algorithm based on corner detection[J]. Computer Engineering and Design, 2007,28(3):1092-1095.)
- [3] ISGRO F,TRUCCO E. Projective rectification without epipolar geometry [C]//IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,1999:94-99.
- [4] 张淮峰,CECH J,SARA R,等.三视校正的理论及鲁棒性算法[J].软件学报,2004,15(5):676-688. (ZHANG H F,CECH J,SARA R,et al. Theory and robust algorithm of trinocular rectification[J]. Journal of Software,2004,15(5):676-688.)
- [5] HARTLEY R. Theory and practice of projective rectification[J]. International Journal of Computer Vision,1999,35(2):115-127.
- [6] LOOP C,ZHANG Z Y. Computing rectifying homographies for stereo vision[C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,1999:125-131.
- [7] 刘怡光,孙柏林,石勇涛,等.用于3维重建的立体图像校正[J].四川大学学报:工程科学版,2013,45(3):79-84. (LIU Y G,SUN B L,SHI Y T,et al. Stereo image rectification suitable for 3D reconstruction[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2013,45(3):79-84.)
- [8] 徐芳,刘晶红,王宣.基于标定的 CCD 图像畸变校正方法研究[J].液晶与显示,2013,28(4):633-640. (XU F,LIU J H,WANG X. Distortion correction method for CCD image based on calibration[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays,2013,28(4):633-640.)
- [9] BRADSKI G,KAHLER A. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library [M]. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2008:165-179.
- [10] 蒋婷,谭跃刚,刘泉.基于 Sobel 算子的图像清晰度评价函数研究[J].计算机与数字工程,2008,36(8):129-131,191. (JIANG T,TAN Y G,LIU Q. Research of a clarity-evaluation function of image based on Sobel [J]. Computer & Digital Engineering,2008,36(8):129-131,191.)
- [11] 王涛,全书海.基于改进 Sobel 算子的车牌定位方法[J].微计算机信息,2008,24(5):63-65. (WANG T,QUAN S H. Research on calculation method to do with locating license plate based on improved Sobel arithmetic operators[J]. Microcomputer Information,2008,24(5):63-65.)
- [12] 刘松涛,周晓东,王成刚.复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究[J].光电工程,2006,33(8):5-10. (LIU S T,ZHOU X D,WANG C G. Robust sea-sky-line detection algorithm under complicated sea-sky background[J]. Opto-Electronic Engineering,2006,33(8):5-10.)
- [13] OKUZONO T,WAKIZAKO H. Object detection using straight line matching in  $\theta$ - $\rho$  space [J]. Electronics and Communication in Japan,2010,93(3):34-41.
- [14] 陈胜勇,刘盛.基于 OpenCV 的计算机视觉技术实现 [M].北京:科学出版社,2008:142-149. (CHEN S Y,LIU S. OpenCV based computer vision technical implementation [M] Beijing: Science Press,2008:142-149.)
- [15] CHEN D Z,ZHANG G J. A new sub-pixel detector for X-corners in camera calibration targets [C]//The 13th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, 2005:97-100.

本刊国内邮发代号为 36-693 欢迎订阅