# RTG 视觉纠偏的局部引导图像滤波算法

# 张 铭, 苗玉彬, 许凤麟

(上海交通大学 机械与动力工程学院,上海 200240)

摘要:针对轮胎式集装箱门式起重机(RTG)在基于视觉的行走纠偏过程中环境因素干扰导致的定 位失败问题,提出了基于局部引导图像滤波和均值漂移聚类的 RTG 纠偏视觉辅助算法。该算法首 先对图像进行基于局部引导图像滤波的高效预处理,在降噪的同时保留图像边缘特征;然后基于预 先标定的引导线宽度和间距等特征,获取自适应分割阈值及简化均值漂移聚类算法的参数,从而实 现引导线边缘的筛选提取和偏移量的计算。现场试验表明,该算法能够克服夜间环境下偏色光谱 对识别的影响,有效提高纠偏的实时性和精度。

关键词:轮胎式集装箱门式起重机;引导图像滤波;自动纠偏;引导线检测;机器视觉 中图分类号:TP 391.41 文献标志码:A

# Automatic Steering for Rubber Tyred Gantry Based on Local Guided Image Filtering

ZHANG Ming, MIAO Yubin, XU Fenglin

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to solve the problem of locating the rubber tyred gantry (RTG) during its steering process, an algorithm based on local guided image filtering and mean shift clustering algorithm was introduced to extract deviation information. The guided image filter on specific area was used in the algorithm process to preserve the edges while reducing the computation time of noise filtering. Consequently, features including guideline width and spacing were used to determine the adaptive threshold and the parameters in simplified mean shift clustering algorithm. There by offset calculation and extraction of the guide line edges were achieved. The experiments indicate that the algorithm can provide accurate position information even in poor lighting conditions, which improves the real-time performance and accuracy of steering effectively.

Key words: rubber tyred gantry; guided image filtering; automatic steering; guideline detection; machine vision

轮胎式集装箱门式起重机(RTG)是用于集装 箱堆码的专用港口机械。近年来,港口吞吐量的大 幅提高对 RTG 在作业中的精准装卸堆垛、纠偏等功 能提出了更高的要求。由于车轮直径差异等原因, RTG 在作业过程中不可避免地存在轨道偏离风险 进而出现啃轨现象。当 RTG 偏离超过 5°时,较短时 间内就可能发生撞箱,造成巨大经济损失<sup>[1-2]</sup>。目 前,RTG 的行走纠偏由驾驶员经观察地面引导线并

作者简介:张 铭(1994—),女,浙江湖洲人,硕士研究生,研究方向为机器视觉, E-mail, zhangming9411@163. com

收稿日期: 2018-04-18

基金项目:上海市科研计划资助项目(16391901700);上海市科委工程技术研究中心建设专项资金资助项目(17DZ2252300)

苗玉彬(联系人),男,副教授,E-mail:ybmiao@sjtu.edu.cn

依据自身经验判断调整。由于驾驶人员同时负责 RTG 行走和集装箱装卸、堆垛作业,长时间工作容 易疲劳,加之驾驶位置较高使视野存在局限,在受到 恶劣天气或不良光线影响时易发生误判。

为了实现对 RTG 偏移信息的实时提取,研究者 提出了多种定位测量方法。如文献[3]总结了智能 感知技术在 RTG 工作场景中的应用。文献[4]采用 位移传感器进行定位,使车轮组寿命延长至18个月 以上,但也存在运行速度下降和成本增加的问题。 文献[5]则采用了 GPS 定位,定位精度可达到厘米 级,但对码头地理位置要求较高。

相比以上传统方法,基于机器视觉的定位方法 具有精确度高、适应性强的优点。近年来,图像识别 技术在结构化道路信息提取和自动驾驶领域得到了 广泛应用。如文献[6]结合免疫遗传算法与大津算 法对路面进行分割。文献「7]使用深度卷积网络完 成了路面分割与障碍物识别的目标。文献[8]借助 主动轮廓模型,提高了非线性光照条件下的识别正 确率。但现有的结构化道路信息提取算法大多面向 路面场景开发,算法易受到港口场景下夜间偏色灯 光、干扰标志线等负面环境条件的影响,对多种干扰 条件共存的情况处理效果不佳,稳定性不高,因而应 用较少。

本文针对现有研究中存在的不足,提出 RTG 纠 偏视觉辅助算法。该算法首先基于局部引导滤波对 图像进行预处理,使用自适应的阈值进行分割并提 取边缘,再由边缘图像识别直线,并根据车道特征确 定均值漂移聚类的参数对直线进行筛选,最后将偏 移量计算结果提供给驾驶人员,并在偏移量超出设 定阈值时触发报警机制。本算法能高效利用港口特 征,实时精确定位并适应不同光照条件,在不增加硬 件投入的情况下,允许实现更多后续功能。

#### 视觉辅助纠偏的原理与方案 1

为了实现对 RTG 纠偏的视觉辅助定位测量,分 别在其主动轮和从动轮上方位置安装了 4 个高清网 络摄像头,并使摄像头面向所在车道的路面,以采集 RTG 行驶车道的实时视频流,如图 1 所示。图 1 中 两条引导线为需要识别的目标特征,分别代表车道 的左右边缘,干扰标志线位于路肩位置,其不作为识 别目标。对摄像头输出的高清视频流进行解码处理 可以获取图像实时帧,再对图像进行预处理、边缘提 取和聚类筛选,获取水平方向上的4个偏移量和偏 转角度。

图1显示,采集到的图像中经常存在其他标志

引导线 日星线 度 引导线间距

图1 典型实时图像 Fig. 1 Typical real-time image

线等干扰因素,尤其是夜间码头使用的大功率钠灯 光源,对纠偏图像存在较大影响,因此,需要对车道 特征进行预先标定。RTG 日常运行过程中行走车 道的图像要素通常是固定的,主要包括:引导线宽度 (d)、引导线间距(D)、黄色标志线占画面比例的最 大值(r),无偏离情况下引导线的中心线在画面中的 位置 $(x_{calib})$ 和角度 $(\varphi_{calib})$ 等。其中,d、D、r 用于确 定图像处理算法相关参数,其他特征用于偏移距离 和偏移角度的计算。

图 2 所示为通过图像分析计算得到的 RTG 大 车相对偏移信息,包括当前位置的偏移和行驶方向 的偏移。图 2 中虚线为车道中心线, RTG 中部横跨 部分为堆叠的集装箱,①和②轮为同侧轮,③和④轮 为同侧轮。



根据纠偏策略可知:图 2(a)情形下,①和②轮 h速,③和④轮减速;图2(b)情形下,③和④轮加 速,①和②轮减速。当平均偏移量超过 10 cm 或平

干扰标志约

均偏转角大于 0.5°时,启动保护措施;当平均偏移量 超过 20 cm 或平均偏转角大于 1.0°时,强制 RTG 停止行驶以防止撞箱。

## 2 引导线的视觉检测与纠偏计算

引导线的视觉图像检测与偏移信息计算流程如 图 3 所示。首先需要将图像从 RGB 空间转换到 CIE LAB 颜色空间并提取 b\* 通道图像;再结合图像 中颜色与梯度符合要求的像素点位置作局部的引导 图像滤波,以滤波后图像为起点作二值化和边缘获 取;然后利用 Hough 变换提取图中所有直线特征, 根据车道特征对提取结果聚类筛选目标;最终计算 得到偏移信息。



图 3 图像处理算法流程图 Fig. 3 Flow chart of image processing algorithm

## 2.1 基于局部引导滤波的 b\* 通道预处理

 RGB 图像转换到 CIE LAB 颜色空间需要借助

 XYZ 颜色空间,如式(1)和(2)所示<sup>[8]</sup>。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
(1)

$$\begin{cases}
L^{*} = 116 f_{(Y/Y_{n})} - 16 \\
a^{*} = 500 [f_{(X/X_{n})} - f_{(Y/Y_{n})}] \\
b^{*} = 200 [f_{(Y/Y_{n})} - f_{(Z/Z_{n})}]
\end{cases}$$
(2)

式中:  $f(t) = \begin{cases} t^{1/3}t > (6/29)^3 \\ (6/29)^2 t/3 + 16/116 \end{cases}; X_n, Y_n, Z_n 为$ 

参照白点的 CIE XYZ 刺激值。

采集到的 b\* 通道图像与原图像对比如图 4 所 示。由图 4 可知,b\* 通道可以较为显著地区分标志 线与地面。



(a) 原图像
 (b) b\*通道图像
 图 4 原图像与 b\* 通道图像对比图
 Fig. 4 Original image and b\* channel image

为了最大程度地保留引导线的边缘细节,定义输入图像为 p,引导图像为 I,输出图像为 q,则根据引导图像滤波算法,像素 k 为窗口  $\omega_k$  中心像素,q 满足

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k$$
(3)

$$E(a_k, b_k) = \sum \left[ \left( a_k I_i + b_k - p_i \right)^2 + \varepsilon a_k^2 \right]$$
(4)

式中:参数 $a_k$ ,  $b_k$ 使 $E(a_k, b_k)$ 最小;  $\varepsilon$ 为抑制 $a_k$ 过大的参数。遍历所有窗口后,特定像素 *i* 在被包含的多 个窗口中计算得到不同的参数 $a_k$ 和 $b_k$ ,常规引导图 像滤波算法取相关窗口中的 $a_k$ 和 $b_k$ 的平均值 $a_i$ 和  $\overline{b_i}$ ,根据式(5)计算输出图像q。

$$q_i = a_i I_i + b_i \tag{5}$$

由于输入图像 p 中存在大量与识别对象无关的 信息,导致引导图像滤波在无关区域花费大量计算时 间,为此提出改进的局部引导图像滤波算法,以颜色 梯度二值图(M) 作为掩膜,其来自于颜色二值图 ( $M_c$ )与梯度二值图( $M_G$ )的"与"运算结果。在掩膜非 零位置附近使用窗口大小r=3和 $\epsilon=0.01$ 为参数的 引导图像滤波,在其他位置使用简单的中值滤波加 快算法速度。由式(6)可以计算获得输出图像 q。

$$q_{i} = \begin{cases} \overline{a}_{i} I_{i} + b_{i}, i \notin \omega_{j} \\ \operatorname{Med} \left\{ p_{i} \middle| i \in \omega_{k} \right\}, i \in \omega_{j} \end{cases}$$
(6)

式中:j为距离点i最近的掩膜M非零点位置;Med函数计算集合中位数。引导线边缘横向梯度图像(G)根据x方向的Sobel 算子<sup>[10]</sup>计算,如式(7)所示。

$$G = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * p \tag{7}$$

梯度图像 G 和 b\* 通道图像的分割阈值根据其 灰度直方图确定。确保 G 的二值化阈值高于该阈值 的直方图面积并占总面积 2%以上。图 5(a)展示了





(b) 颜色梯度二值图



(c) 引导图像滤波结果



(d) Canny 边缘检测结果图 5 图像预处理结果图Fig. 5 Image preprocessing results

日间与夜间不同光照下灰度直方图的区别,直方图形 状类似,但高度和峰值横坐标受到光照条件影响。为 自适应确定颜色阈值 *t*,根据标定值 *r* 和式(8)计算:

$$\frac{\sum_{i=t}^{255} N(i)}{\sum_{i=0}^{255} N(i)} > r = \max\left\{\frac{S_y}{S}\right\}$$
(8)

式中  $:N_{(i)}$ 为 $M_c$ 的灰度直方图中灰度值为 i 的高度; $S_y$ 为画面中各类标志线部分面积;S 为画面总面积。

滤波结果即输出图像 q 如图 5(c)所示。以 q 为 对象,按前文给出的算法提取自适应阈值并检测边 缘,结果如图 5(d)所示。由此可知,边缘检测结果 非常吻合引导线的实际边缘,并保留了大部分细节。 2.2 引导线边缘提取

对图 5(d)作 Hough 变换检测图中所有直线特 征后获得直线集,将直线集中直线 i 延长后与图像 底部边界交点的横坐标 $x_i$ 称为直线位置, $\varphi_i$ 为直线i与 x 轴正方向所成夹角,如图 6 所示。原点 O 根据前 期标定的  $x_{calib}$ 确定。



图 6 直线参数定义图 Fig. 6 Line parameters definition

将直线集绘制为气泡图,如图7所示,对属于直 线集的直线 *i*,对应气泡的横纵坐标根据式(9)确 定,气泡的面积与直线长度 *l<sub>i</sub>* 成正比。

$$\begin{cases} x_i = x_i \\ y_i = H/\tan \varphi_i \end{cases}$$
(9)

式中:H为图像高度。

对图 7 所示的气泡图根据横坐标值自小至大作 聚类,对尚未确定所属类别的点  $(x_i, y_i)$ ,将其与当 前类 k 加权平均  $(\mu_{\xi}^{k_2}, \mu_{\xi}^{k_2})$  作比较,权值根据直 线长度确定,满足式(10)则归属当前类 k,否则属于 类 k+1。



图 7 均值漂移聚类结果 Fig. 7 Mean shift clustering results

$$\sqrt{(x_i - \mu_x^{\zeta^{k_y}})^2 + (y_i - \mu_y^{\zeta^{k_y}})^2} < 2d^2 \quad (10)$$

式中: 
$$\mu_{x}^{\varsigma^{k}} = \frac{\sum x_{i}^{\varsigma^{k}} l_{i}^{\varsigma^{k}}}{\sum l_{i}^{\varsigma^{k}}}; \quad \mu_{s}^{\varsigma^{k}} =$$

$$\frac{\sum y_i^{\langle \epsilon \rangle} l_i^{\langle \epsilon \rangle}}{\sum l_i^{\langle \epsilon \rangle}}$$
;*d* 为前文标定值。

聚类结果如图 7 中虚线框所示,根据标定值 *D* 选定两个类即类 L 和类 R 为左右引导线的位置。

### 2.3 RTG 偏移角和偏移量计算

基于前文选定的类 L 和类 R, 根据式(11) ~ (13) 可计算摄像头  $C_k(k = 1, 2, 3, 4)$  对应中心线 的位置偏移量  $\Delta x_c$  和方向偏移量  $\Delta \varphi_c$ 。实际为计算 图 8 中三角形的中线, 三角形以消失点  $(x_V, y_V)$  为顶 点, 以类 L 和类 R 加权中心线为邻边。

$$\Delta x_{\rm C} = \left(\mu_x^{\rm cL} + \mu_x^{\rm cR}\right)/2 \tag{11}$$

$$h = (\mu_x^{\varsigma^{\mathsf{R}_2}} - \mu_x^{\varsigma^{\mathsf{L}_2}}) / \left(\frac{1}{\tan(\varphi^{\varsigma^{\mathsf{L}_2}})} + \frac{1}{\tan(\varphi^{\varsigma^{\mathsf{R}_2}})}\right)$$
(12)

Fig. 8 Central line definition

用 4 个摄像头的偏移量求取算数平均,得最终 位置偏移  $\Delta \overline{x}$  和方向偏移  $\Delta \overline{\varphi}$ 。

2.4 基于前帧信息的处理速度优化

视频流中的图像帧信息具有延续性,利用前一 帧的信息能够有效减小后续帧的计算量。

使用时,利用前一帧的识别结果动态确定后续 帧的感兴趣区域(ROI)。第 i 帧的感兴趣区域的左 边界  $x_{\text{IB},i}$  与右边界  $x_{\text{rB},i}$  由式(14)和(15)计算。

 $x_{\text{IB},i} = \max \{ x_{\text{IB},i-1} - [(k+1) * W/10], 0 \}$ (14)  $x_{\text{rB},i} = \min \{ x_{\text{rB},i-1} + [(k+1) * W/10], W \}$ (15) 式中:k 为截止到前一帧连续识别失败的数量;W 为

原始图像总列数。 同时,前一帧消失点的位置也可作为后续帧直线

筛选标准之一,当前一帧消失点与某直线距离大于所 设定的阈值时,该直线将从候选直线集中剔除。

# 3 试验与分析

图 9(b)是利用局部引导图像滤波算法处理的结 果。其中,图像分辨率为 1 280 像素×960 像素,滤波 效果在非边缘位置与中值滤波接近。局部图的的引 导图像滤波算法处理结果如图 9(d)所示。由图 9 可 知,在边缘位置与引导图像滤波接近,在局部图中可 见边缘外侧有偏蓝阴影,原因是 *b*\* 通道处理中提高 了边缘两侧的对比度,有利于后续阈值分割的完整 性。相比常规引导滤波算法,局部引导图像滤波算法 的处理时间由 0.613 s 降低到 0.196 s,耗时节约了 68.1%。



(a) **原始图像** 



(b) 局部引导滤波结果



(c) 原始图局部



(d) 滤波结果局部图 9 局部引导滤波结果对比Fig. 9 Guided image filtering results

图 10 为白天与夜间素材提取结果。由图 10 可 知,本文算法能够克服偏色光照的影响,本文识别结 果的单条引导线与手工标定的真实引导线中心距离 均小于 5 个像素,对应的真实长度小于 10 mm。



(a) 白天



(b) **夜间** 

图 10 白天和夜间的引导线识别结果 Fig. 10 Guidelines detection results at day and night

实际使用中,未加入基于前帧的处理速度优化 时,单帧处理耗时较长可达 0.34 s。处理速度优化 步骤能够缩小 ROI 到引导线附近以提高运行速度, ROI 缩小至 600 像素×960 像素左右,单帧耗时降 低到 0.14 s,耗时减少了 58.8%。

试验结果显示,在超过 500 帧的测试图像序列 中,引导线的识别成功率高于 90%。图 11 显示了 使用 RTG 纠偏视觉辅助算法前后的实时偏离曲线。 由图 11 可知,加入视觉辅助算法后 RTG 偏移量更 小,波动范围小于 50 mm,由此表明 RTG 偏移信息 有助于驾驶人员完成纠偏。



图 11 自动纠偏过程中的 RTG 偏移曲线 Fig. 11 Deviation curves during automatic steering

试验表明,本算法使用局部引导滤波提高了处 理效率,在降噪的同时保留边缘特征。利用 RTG运 行时车道固定的特点,以标定的标志线宽度和间距 作为所在车道特征优化算法,可以有效区分引导线 和临近的其他标志线。为克服码头夜间偏黄光照的 影响,根据车道特征确定的自适应阈值能够适应夜 间情况。

## 4 结 语

本文针对 RTG 纠偏过程中肉眼定位易受干扰, 以及现有解决方案成本高或不适应港口作业场景的 问题,提出基于引导线位置检测的 RTG 纠偏视觉辅 助算法。在引导线检测过程中,首先根据颜色和梯 度特征改进引导图像滤波进行降噪并保留边缘特 征,节约了 68.1%的预处理时间;接着,根据自适应 的分割阈值进行二值化并提取边缘直线特征;然后, 进一步结合当前车道特征确定的聚类算法参数对直 线特征进行筛选,以克服光照条件和干扰标志线的 影响;最后,计算并向驾驶人员提供 RTG 偏移信息。 实际使用中,基于前帧信息的处理速度优化能进一 步使总耗时降低 58.8%。

本纠偏视觉辅助算法可在驾驶人员视野受限时 为其提供偏移信息,能有效减轻驾驶人员工作强度, 提高码头作业效率。

(下接第 645 页)

- [12] 开封大学. 全自动电控辨识大蒜直立播种机: CN 201610158414.6[P].2016-07-20.
- [13] 石峰,孙松林,邓向春,等. 偏心圆盘指夹式幼苗移栽机栽植机 构运动轨迹分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2012,

(上接第 622 页)

### 参考文献

- [1] 孙亮. 门式与桥式起重机电气保护系统的检验技术[J]. 电子制 作,2015(11):232.
- [2] 刘剑锋,李记叶.带自诊断功能的门式起重机纠偏装置[J].中 国特种设备安全,2017,33(1):32-34.
- [3] 乔俊杰. RTG 集装箱堆场智能化远程控制技术综述及探讨[J]. 装备制造技术,2016(12):123-126.
- [4] 谢剑刚. 起重机大车运行自动纠偏系统[J]. 起重运输机械, 2003(5):33-34.
- [5] 陈迪茂. GPS 在场地集装箱轮胎吊上的应用[J]. 水运工程, 2005(5):67-69.
- [6] HAN H, WANG Y, HUANG Z, et al. Segmentation for path analysis based on OTSU and immune genetic algorithm [C]// Mechatronics and Control (ICMC), 2014 International Conference on. IEEE, 2014: 662–666.

38(3):333-336.

## (责任编辑:杜 桂)

- [7] LEVI D, GARNETT N, FETAYA E, et al. StixelNet: A deep convolutional network for obstacle detection and road segmentation[C]//British Machine Conference. 2015: 109. 1-109. 12.
- [8] International Color Consortium. Specification ICC. 1: 2004-10
   [R]. Image Technology ColourManagement-Architecture, Profile Format, and Data Structure, 2004.
- [9] HE K, SUN J, TANG X. Guided image filtering [C]// European Conference on Computer Vision. 2010: 1-14.
- [10] KANOPOULOS N, VASANTHAVADA N, BAKER R L.
   Design of an image edge detection filter using the Sobel operator
   [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1988, 23 (2): 358-367.

(责任编辑:徐惠华)