

基于区域特征的线阵图像分割

程志鹏¹, 韩建枫^{1,2}

¹天津商业大学理学院, 天津

²天津商业大学信息工程学院, 天津

收稿日期: 2022年4月25日; 录用日期: 2022年5月23日; 发布日期: 2022年5月30日

摘要

图像分割是图像处理中的一个重要问题, 也是一个经典难题。图像分割可以降低后续算法的难度和空间复杂度。然而, 现有的图像分割方法的阈值难确定、算法复杂、耗时长等问题依然存在。本文针对线阵图像的区域特征, 提出一种自适应阈值的图像分割算法。利用线阵图像相对运动和相对静止的物体在图像中差异显著的优良特性, 计算线阵图像每行像素的方差。相对运动部分方差差异显著, 相对静止部分方差差异较小, 以此来实现对线阵图像的分割。

关键词

线阵图像, 区域特征, 图像分割, 差分法, 图像质量评价

Line-Scan CCD Image Segmentation Based on Region Feature

Zhipeng Cheng¹, Jianfeng Han^{1,2}

¹School of Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin

²School of Information Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin

Received: Apr. 25th, 2022; accepted: May 23rd, 2022; published: May 30th, 2022

Abstract

Image segmentation is an important and classic problem in image processing. Image segmentation can reduce the difficulty and spatial complexity of subsequent algorithms. However, the existing image segmentation methods still have some problems such as being difficult to determine the threshold, complex algorithm, being time-consuming and others. In this paper, an image segmentation algorithm based on adaptive threshold is proposed. The variance of each row pixel of line-scan image is calculated by using the excellent characteristic that the relative moving object and the relatively

stationary object differ significantly in the image. The variance difference of the relative moving part is significant, but the variance difference of the relative stationary part is small, so as to realize the segmentation of the line array image.

Keywords

Line-Scan CCD Image, Region Feature, Image Segmentation, Difference Method, Image Quality Evaluation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

20 世纪 70 年代, 美国贝尔实验室研究出一种基于 MOC 集成电路的半导体传感器, 称为电荷耦合器件。近年来, 线阵 CCD 及其应用技术的研究取得了惊人的进展, 在产品的高速非接触检测、在线分级与加工、表面质量评定、数据高速采集和表面缺陷检测等领域占有重要地位。与面阵相机相比线阵 CCD 在成像方面具有以下优势[1]:

- 1) 静止背景图像相对简单, 易于后续目标分割、特征提取和描述;
- 2) 图像分辨率、像素灰度级和采样速度较高, 便于实现高精度检测;
- 3) 图像物理及光学失真小, 图像无拖尾。

除此之外, 线阵 CCD 相机在工程方面, 兼具体积小、功耗低、抗烧毁、价格低等工程化、集成性优势; 在应用环境方面, 具有对测量视距要求较小, 传输带宽需求平稳可控等特点, 因此成为轨道交通车辆检测应用的研究热点[2]。本文以货运列车的线阵图像数据作为分析数据。

文献[3]设定一个分割阈值, 利用阈值将图像二值化, 进而达到分割的目的, 该方法非常适合用于背景与目标所占据不同的灰度级别范围内的图像。然而, 阈值的选取具有一定的难度, 且该方法容易使线阵图像丢失部分有效信息。

文献[4]采用改进的 K-means 算法进行图像分割, 可降低噪声像素点的灰度数据选取概率, 最终 K 个初始聚类中心能够较好地代表图像有效灰度数据, 可改善分割效果。然而图像的部分信息仍未完全有效分割且 K 值的选取具有一定的偶然性。

本文提出基于区域特征的线阵图像分割算法。该方法能自适应阈值, 且线阵图像基本不会丢失任何像素信息, 方法简单易行, 可操作性强。本文的方法适用于相对静止和相对运动区别较明显的线阵图像。

线阵 CCD 成像由线性图像拼接得到, 且每列线性图像均拥有不同采集时间点, 其景物空间在最终图像中呈现出比面阵图像更为复杂的特征。因此, 研究景物空间中不同元素的成像规律, 对研究针对线阵图像的优化和图像增强算法至关重要。

2. 线阵图像分割算法

2.1. 划分景物空间

线阵图像具有相对运动和相对静止的物体在图像中差异显著的优良特性, 因此对线阵图像的“前景空间”和“背景空间”加以区分, 容易去除图像中的冗余信息和噪声干扰, 能够有效降低后续算法的难

度和空间复杂度, 减少计算机内存的消耗。线阵图像成像过程中, 背景空间和前景空间物体呈现在靶标边缘之外及缝隙中, 静态自然状况表现为规律的横向条纹, 而动态自然状况则随着线性图像时间维度的演进, 体现出较为复杂的图像纹理。线阵 CCD 的静态成像区域表现为一个扇形平面, 即检测系统的“测量平面”, 如图 1 所示。测量平面由前景空间、靶标物空间和背景空间三部分的成像切面组成。

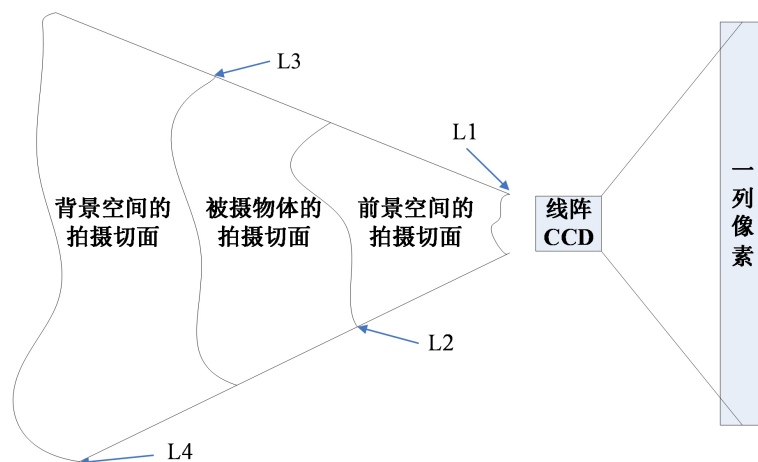


Figure 1. Sectional view of measurement plane

图 1. 测量平面分区域切面图

上图中 L1 位置对应到图像中为前景空间的下边缘位置; L2 为前景空间的上边缘位置, 同时也是靶标的下边缘位置; L3 为靶标的上边缘位置, 同时也是背景空间的下边缘位置; L4 为背景空间的上边缘位置。广义上的背景空间和前景空间是除靶标运动物体的所有空间。本文从狭义上进行定义, 将极少部分的背景和前景空间划分到了靶标物体空间, 这样能极大程度的降低算法难度和复杂度。不同空间在真实图像中的对应关系如图 2 所示:



Figure 2. Area segmentation in a real image

图 2. 真实图像中区域分割图

在单位时间内, 前景空间和背景空间的变化很小, 线阵图像成像是按照时间次序将一系列像素拼接而成。那么, 就可以近似地认为前景空间和背景空间在连续的线阵图像中是一样的, 这个特性体现在图像中为前后时刻的像素一致, 而靶标物体在运动过程中相邻时刻的像素不完全一致。因此, 可以利用算法将图像中的背景和前景进行去除。

2.2. 图像差分法

去除背景常用的算法有图像差分法, 该方法一般可以分为光流法、帧间差法与背景差法这三种[5] [6]。光流法算法复杂且计算量大, 检测精度也较高; 背景差法用当前图像与背景图像进行差分计算, 从而检

测动目标; 帧间差法直接求取前后两帧图像之间的差别, 它对物体的运动比较敏感, 实际上检测到的是目标与背景发生相对运动的区域(包括运动目标和显露区域), 从而判断是否有运动物体的出现, 它受光线的影响较小。

根据线阵 CCD 的特点, 选择帧间差法来去除图像中的冗余信息。这种方法比较准确, 程序设计较简单, 易于实现, 对环境变化不敏感, 时效性高, 只需要将连续的两帧线阵图像进行差分即可。其表达式如下:

$$diff_k(x, y) = \begin{cases} 255 & |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| > T_d \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

其中, $f_k(x, y)$ 为第 k 帧的图像数据, $f_{k-1}(x, y)$ 为第 $k-1$ 帧的图像数据, T_d 为预设的阈值。若图像相邻两帧差值的绝对值大于预设的阈值, 则将像素变为 255; 若不符合条件则将像素变为零, 差分后的结果如图 3(b)所示。由于本文所考虑的数据为列车图像, 车体本身的相邻像素就有较大的连续性, 前后像素的相差幅度并不大, 车体的基本轮廓较为模糊, 给后续的图像分割带来了一定难度。对差分后图像中每行像素的值计算平均数, 预设一个阈值。若像素平均值小于该阈值, 则认为是冗余部分; 若像素平均值大于该阈值, 则认为是车体部分。以此来记录图像的位置信息, 并实现对图像的分割, 分割后的结果如图 3(c)所示。



(a) 原图



(b) 帧差法下的二值图



(c) 分割后的图像

Figure 3. Frame difference method rendering

图 3. 帧差法效果图

在实际的图像处理中, 由于在列车图像中背景空间相对比较简单, 应用帧差法效果较好。而前景空间中有铁轨、砂石、铺砖等干扰物的存在, 造成前景空间相邻像素会产生较少的变化。对此, 在应用帧差法时, 图像的分割精度无法保证, 分割的错分率较高, 上图中就将部分车轮信息分割出去了。

由于本文所考虑的数据为列车图像, 车体本身的相邻像素就有较大的连续性, 前后像素的相差幅度

并不大, 因此阈值就很难选取。若图像的像素平均值很低, 这也会给阈值的选取带来极大难度。阈值设置的太大车体本身的很多像素信息将会丢失; 阈值太小抗噪性能便会降低, 背景和前景空间中就会有许多的冗余信息不能去除掉。应用该方法有两次阈值设置, 这无疑给算法带来了很大的难度和不确定性。

2.3. 基于区域特征的图像分割算法

对图像的灰度信息的规律加以考虑, 发现图像中前景空间和背景空间中每行像素的方差较小, 与靶标物空间的像素方差相差较大, 因此, 在对图像分割之前, 可以先对每行像素的方差数据加以运算, 再进行后续操作。计算结果如图 4 所示:

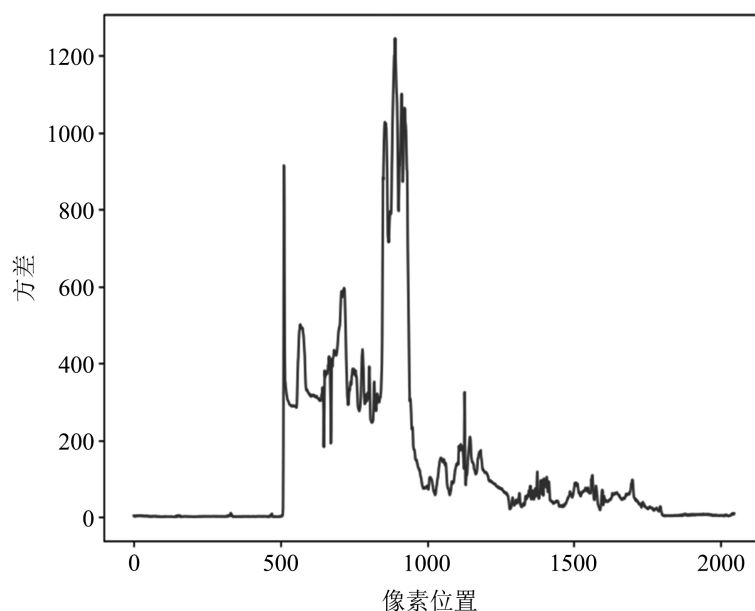


Figure 4. A line chart of variance for each row of pixels
图 4. 每行像素的方差折线图

横坐标代表每行像素的位置, 纵坐标代表每行像素所对应的方差。在像素坐标系中(0, 0)位置在图像的左上角, 因此 0 代表图像中的最上方的行。可以从图像中明显的看到图像两端趋于平稳, 图像左端平稳部分是背景空间, 图像右端平稳部分是前景空间图像中部对应的就是靶标物体。平稳部分可以通过设计算法找出并标记位置就可以实现对图像的裁剪。

靶标物体在线阵图像中成像需要符合占空比的标准, 而且在成像系统建设前期会对相机进行标定。这些都可以保证图像能够在图像的中部出现, 顶端一定是背景, 底部一定是前景。因此要确定平稳序列的位置, 可以利用均值和方差来加以确定。其步骤如下:

步骤 1: 获取线阵图像, 写入计算机内存;

步骤 2: 计算出线阵图像每行像素所对应的方差和每列像素值求和;

步骤 3: 划分初始值, 取上一步中的计算结果中的前 50 个值的均值作为背景空间的初始值, 取后 50 个值的均值作为前景空间的初始值。

$$\text{Mean}(\text{data}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

步骤 4: 设定阈值, 若初始值取的太小抗噪性就会比较差, 因此需要对初始值进行一定程度的放大

处理。在初始值结果的基础上加上这组数据的最大值, 将最终结果作为分割阈值。

$$\text{Mean} = \text{Mean}(\text{data}) + \max(\text{data})$$

步骤 5: 确定平稳序列数据位置, 令阈值为为参考帧, 以步长为 1 依次进行平滑比较, 并记录每次平滑的位置, 当出现不符合程序的设定的初始值时就终止;

$$\text{response} = \begin{cases} \text{continue} & \text{if Mean}(X) < \text{Mean and Var}(X) < \text{Var} \\ \text{break} & \text{if others} \end{cases}$$

步骤 6: 得出结果, 确定平稳数据序列所处位置并将图像进行分割。

根据上述的操作步骤能够对图像进行顺利的分割, 区分出前景空间和背景空间的位置信息。还可以解决直接使用帧差法对于本文数据而言阈值很难选取且区分效果不好的问题。同时应用本方法还能够分割掉例如高压线、部分铁轨、砂石、铺砖等静态干扰物, 且车体部分的像素信息基本没有损失。本文的方法分割效果如图 5 所示:



Figure 5. Comparison of line array image before and after segmentation
图 5. 线阵图像分割前后的对比图

2.4. 线阵图像分割效果评价

线阵图像分割效果评价可以分为主观评价和客观评价[7]。主观评价耗时费力, 受制约的影响因素较多。客观评价方便简单, 操作便捷。本文采用客观评价指标对线阵图像分割效果进行评价, 评价表达式如下:

$$P_{err} = \frac{P_a + P_b}{P_{all}}$$

$$P_{acc} = 1 - P_{err}$$

其中, P_{err} 为错分率; P_{all} 为理想分割区域的像素总数; P_a 为实际分割区域内不属于理想分割区域的像素数量; P_b 为理想分割区域内不属于实际分割区域的像素数量; P_{acc} 为算法正确分割线阵的概率。本文对 50 幅不同的货运列车线阵图像进行图像分割, 其分割结果如表 1 所示:

Table 1. Table of segmentation results of different segmentation algorithms
表 1. 不同分割算法的分割结果表

分割方法	时间 t (ms)	P_{err} (%)	P_{acc} (%)
差分法	2.936	12	88
本文方法	0.247	4	96

其中, 时间、*Perr* 和 *Pacc* 都为每幅图像计算结果的平均结果。由于本文数据为灰度图像, 且车体的像素连贯性较高, 差分法对于本文中的特定分割任务效果一般且耗时较长。本文提出的基于区域特征的图像分割算法能够较好的对图像中的前景空间和背景空间进行分割, 去除冗余信息并能够实现静态干扰物的过滤。

3. 总结

本文提出了一种基于区域特征的图像分割算法。首先利用线阵图像相对静止和相对运动区别明显的优良特性对线阵图像的空间进行了划分, 分别为前景空间、背景空间和靶标物空间。然后, 根据线阵图像每行像素的方差在不同的空间差距显著, 实现了线阵图像的区域分割。实验表明, 相较于差分法本文提出的算法能够高效地对线阵图像实现分割且分割后的图像像素的连贯性高, 抗噪性强, 有利于后续的算法设计, 降低计算机内存消耗。但本文只对一种车型的货运列车进行了实验, 下一步将针对多种车型, 进一步扩展这种算法。同时由于图像亮度过低或者相机过曝、有效占空比不满足标准等因素的影响, 导致本文方法的分割正确率未达到 100%, 接下来会针对阈值的选取、鲁棒性更高的图像分割算法进行研究。

参考文献

- [1] 杨凌辉. 基于线阵图像傅里叶与灰度匹配算法的三维测量[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(20): 319-327.
- [2] 俞大海. 基于线阵 CCD 图像纹理特征的铁路货车货物分割算法研究[J]. 铁道学报, 2013, 35(9): 59-64.
- [3] 李良宇. 基于线阵 CCD 的弹药质量无损检测仿真[J]. 计算机仿真, 2020, 37(7): 4-8.
- [4] 董家顺. 基于改进 K-means 算法的钢管表面缺陷视觉检测方法[J]. 武汉科技大学学报, 2020, 43(6): 439-446.
- [5] 乐英. 基于背景差分法的多运动目标检测与分割[J]. 中国工程机械学报, 2020, 18(4): 305-309.
- [6] 汤元会. 一种基于图像处理的交通运动目标快速检测方法[J]. 计量学报, 2019, 40(S1): 94-98.
- [7] 曹玉东. 基于深度学习的图像质量评价方法综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(23): 27-36.