

新的轨道特征提取算法^①

王 昆, 郑树彬

(上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620)

摘 要: 轨道沉降是影响列车快捷、安全运行的重要原因. 提取出轨道部件稳定的目标特征, 为后续 SLAM 算法提供轨道区域匹配点. 通过研究轨道组成及部件, 分析出能提取出稳定目标特征的轨道部件. 在 CCD 获取图像后, 对图像均衡化、增强与洞形填充以完成钢轨和扣件轮廓的初识别. 二值膨胀生成线性 0、90 度结构, 水平、垂直闭运算, 生成成对元素, 完成钢轨和扣件初步轮廓提取. 对处理后的图像采用改进的 Canny 算子进行边缘检测, 最后根据实验进一步证明了改进后的 Canny 在直线特征检测上面具有速度快, 降低内存等优点, 从而会后后续 DSP 硬件开发上节约 Flash 空间, 对整个课题具有重大的理论支撑意义.

关键词: 二值膨胀; 线性结构; 边缘检测; Hough 变换; 轨道沉降

Extracting Algorithmic of Train Geometry Characteristic

WANG Kun, ZHENG Shu-Bin

(College of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Train settlement is an important reason for affecting the speed and safe operation of train, meanwhile the changing of train axle box acceleration caused by track irregularities can reflect the status information of track irregularity. Extracting the steady target characteristics of pathway can provide the matching point of orbit for subsequent SLAM algorithm. Through the analysis of components of the pathway, the steady target characteristic of pathway parts could be extracted. Image equalization, enhancing and filling in with hole is to be used to complete the rail and fasteners outline at the beginning of the recognition. Binary expansion and generating linear structure of 0 or 90 degree, horizontal and vertical closing-opening operation, generating elements in pairs is to be used to complete the rail and fasteners initial contour extraction. According to the experiments it will prove that the improved RHT on linear feature extraction can increase the speed of PC and reduce the memory space, which can reduce the Flash on the subsequent DSP hardware development. It has great theoretical significance in supporting for the whole project.

Key words: binary expansion; linear structure; edge detection; Hough transform; train settlement

轨道沉降是轨道结构不平顺变形发生、发展的直接原因^[1], 而轨道结构不平顺变形是机车车辆产生振动的主要根源, 直接影响轮轨间相互作用及列车运行的安全性、平稳性及舒适性. 轨道结构由钢轨、轨枕、扣件、铁座等部件连接组成, 轨道支承在路基上, 上部承受列车荷载. 轨道结构示意图如图 1 所示. 从图中

能得出提取轨道中钢轨和扣件排列教均匀且分布较密, 轨枕、扣板等其他部件从分布上都不利于作为提取轨道几何特征的有效部件. 基于此, 文中采用钢轨和扣件作为提取轨道几何特征的有效部件. 即通过双目视觉提取钢轨和扣件的几何特征, 作为 SLAM 算法的匹配点^[2].

① 基金项目:国家自然科学基金(51405287);上海市科委重点支撑项目(13510501300);上海市研究生教育创新计划学位点引导布局与建设培育项目(13sc002);上海工程技术大学创新项目(14KY1008)

收稿时间:2015-05-26;收到修改稿时间:2015-07-14

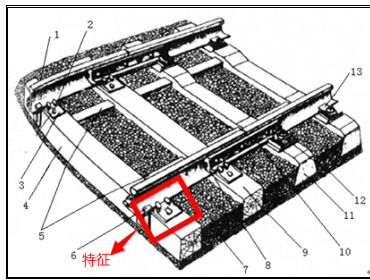


图1 轨道部件示意图

图注: 1-钢轨; 2-螺纹道钉; 3-扣板; 4、11-轨枕; 5-轨枕连接板; 6-铁座; 7; 硫磺锚固剂; 8-衬垫; 9; 绝缘缓冲垫片; 10-绝缘缓冲垫板; 12-平垫圈; 13-扣件

点(如角点)、线(直线)、区域(面)特征是图像中的几何特性, 被外界环境影响较小, 是图像中最稳定的特征. 角点特征是图像中较简单的特征, 在实际应用中容易获取, 但匹配时比较复杂、困难, 特别当图像中含有大量噪声的时候, 匹配的效果差. 相比之下, 直线特征具有更加精确、稳定的特点, 而且更能代表图像中所包含的信息量. 因此, 提取钢轨几何特征可以转化为提取钢轨直线特征.

1 双目视觉提取轨道几何特征模型

1.1 国内外直线特征提取算法研究

近三十年来, 国内外研究者提出了大量直线提取算法. 如基于像素点拟合的直线提取算法、基于超小波的直线提取算法及基于 Hough 变换的直线提取算法. 常用的基于像素点拟合提取直线方法是 Freeman 链码^[3]方法, 其优点是实时性强, 但对短直线比较密集的图像较难检测, 同时也不能保证跟踪链码的直线特征性. Ridgelet^[4]变换是超小波算法的代表, 该方法有计算速度快的优点. 但需要设置大量的阈值, 且对直线完整性没有很好的保障. 基于 Hough 变换^[5]的提取直线方法是现在常用的一种算法. 虽然 Hough 变换抗噪性能较好, 但计算量较大, 需要预先设置庞大的参数存储空间.

后来许多学者提出了很多经典的边缘检测算子, 如 Sobel、Log、Canny 等, 本文采用改进后的 Canny 算子对图像进行边缘检测. Canny 算子把检测变换的问题转化为检测单位函数极大值问题. 改进后的算法减少了计算量, 提高了提取直线的速率, 并且减少了内存占有空间, 为后续硬件开发节约了 FLASH 空间.

1.2 双目视觉测试模型

采用双目视觉提取轨道目标部件几何特征, 下图2中相机像素中重叠的部分作为 SLAM 算法的匹配点. 基于钢轨和扣件在有砟轨道或者无砟轨道上位置固定且排布均匀. 因此能有效的作为双目测试模型中的特征部分. 下图2为双目测试模型图.

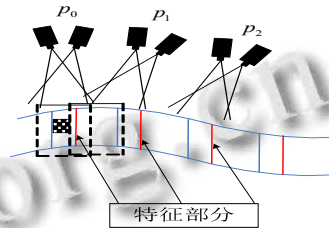


图2 双目测试模型图

2 CCD图像预处理

2.1 图像预处理

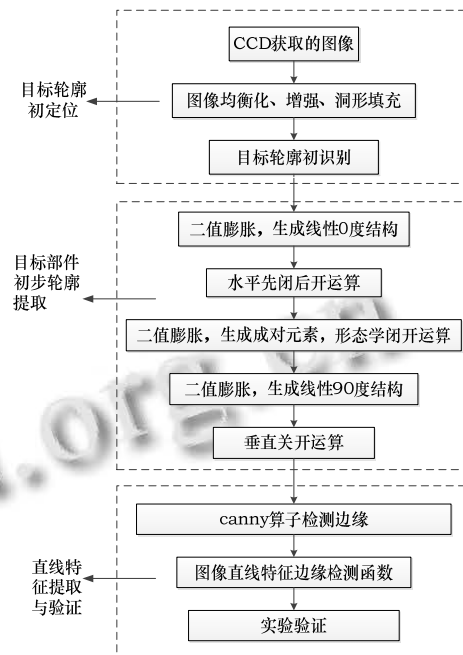


图3 钢轨和扣件几何特征提取算法流程图

2.1.1 目标轮廓线初定位:

利用全局搜索法^[6]获取目标轮廓边缘初值, 其具体步骤如下:

(1) 首先对全局图像进行直方图均衡化^[7]. 在减小数据范围, 降低图像对比度, 从而使图像的细节更加清晰. 全局图像灰度在 0.1 至 0.4 之间的调整到 0.6 至 0.8 之间. 在对图像二值化后的全局图像进行洞形填充,

让图像更加饱和。

(2)其次细化边缘二值图,对钢轨和扣件初识别,得出钢轨和扣件的初定位。

2.1.2 钢轨和扣件初步轮廓提取

1)首先对 2.1.1 细化后的边缘二值图像进行二值膨胀和腐蚀。膨胀和腐蚀的核心是结构元素。一般来说结构元素是由元素值为 1 或 0 的矩阵组成。结构元素为 1 的区域定义了图像的领域。二维的结构元素要比未处理的图像小很多,在这里我们创建水平方向上直线长度为 840 的线性元素进行二值膨胀。

2)其次对图像进行形态学先关后开运算^[8]。在创建[100 05]的二维数组的成对结构元素。创建完成后在对图像进行形态学先关后开运算。当需要提取扣件和钢轨的垂直特征时,需要创建垂直方向上直线长度为 140 的线性元素进行二值膨胀,创建完成后最后对图像进行形态学先关后开运算与图像叠加。

3 Canny算子边缘检测

边缘是图像中最基本特征,它存在于背景和目、目标和区域之间,包含了较有用的识别信息,为人类识别、描述、分析解释图像提供了一个重要的、有价值的参数。数字图像中,直线轮廓是以像素点的形式存在图像中,而边缘检测是对图像轮廓像素进行提取的最基本方法。本文采用改进后的 Canny 算子对图像进行边缘检测。

Canny 算子^[9]把检测变换的问题转化为检测单位函数极大值问题。根据检测边缘的可靠性和有效性,研究了一种最优化解边缘的函数,且推导出数学表达式。近些年在数字领域里,是一种运用较广泛的边缘检测算子。同时,Canny 也给出了评价边缘检测效果的三个准则:

a.信噪比,即检测真实边缘点的概率高,将非边缘点检测为边缘点和把真实边缘点检测为非边缘点的概率低;

b.定位性能,即检测边缘点位置要尽可能处在实际边缘的中心位置;

c.单一响应,即由单个边缘点得出多个响应的概率较低,降低检测虚假边缘的概率。基于这三个准则,Canny 提出 Canny 边缘检测算法,其基本方法如下:

①.使用指定标准差高斯函数对图像进行平滑,减少噪声;Canny 算子是一种线性滤波方法,首先对图像

进行平滑滤波。滤波器性能直接影响了检测算子的优劣。它采用高斯一阶微分函数对图像进行滤波。高斯函数如下:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\lambda^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\lambda^2}\right) \quad (1)$$

其中,λ控制了平滑度。当λ较小时,边缘定位的精度高,但图像的信噪比却变低了;当λ较大时,能极大抑制噪声,但边缘定位精度却变低。

②.Canny 算子是使用两 2×2 的模板分别对 x 和 y 方向进行微分处理。

$$f_x(i, j) = (f(i, j+1) - f(i, j) + f(i+1, j+1) - f(i+1, j))/2 \quad (2)$$

$$f_y(i, j) = (f(i, j) - f(i+1, j) + f(i, j+1) - f(i+1, j+1))/2 \quad (3)$$

每个像素点的梯度幅度 P(i, j) 和梯度方向 Q(i, j) 分别为:

$$P(i, j) = \sqrt{f_x(i, j)^2 + f_y(i, j)^2} \quad (4)$$

$$Q(i, j) = \arctan\left(\frac{f_y(i, j)}{f_x(i, j)}\right) \quad (5)$$

其中, P(i, j)反映了像素点的边缘强度, Q(i, j)为像素点的法向量,垂直于边缘方向。

③.使用非极大值抑制法消除图像虚假边缘;如果 P(i, j)值越大说明其对应的梯度值越大,但仅用这一个条件确定是否为边缘显然不够准确。因此,必须对图像进行细化,保留局部幅值变化趋势最大的边缘点。非极大值抑制法能够达到上述效果。具体做法如下:把梯度方向角划分为四个区域,如图 3 所示。考虑像素点 3×3 的邻域,每个像素邻域点必定坐落在其中某一个区域,将中心像素点的梯度幅值分别与梯度方向区域相同的两个像素点梯度幅值相比较,如果中心像素点幅值小于相邻点幅值,那么中心像素点为非边缘点,相反,为候选边缘点

3	2	1
0	P	0
1	2	3

图 3 梯度方向区域划分图

4 改进后的Canny算子边缘检测

虽然 Canny 算子在一定的程度上解决了直线提取等缺点,但 Canny 同样存在问题:会提取伪像素,对于真像素有时提取不出来,Canny 算子^[10]速度慢、占有高内存,不利于后续开发的硬件运行速率。全局采样得到

边缘点后,这种寻找边缘点对模式使得在选择点对时有较大的盲目性.边缘检测之前需要进行滤波,好的滤波方法能很好的抑制由滤波造成的图像边缘模糊.

本文使用的是改进的自适应中值滤波^[11],该算法比传统滤波能更好地保护图像的边缘细节.该方法首先在噪声图像滤波窗口中去除具有最大以及最小灰度值的像素,然后求取剩余像素的平均值,计算出该均值与对应的像素灰度值之间的差值,再通过与阈值相比较,确定是否用得出的均值代替原图像的灰度值,阈值由图像的灰度分布自适应地得出.设原始图像为 I ,大小为 $m \times n$ (m 为行, n 为列),带有椒盐噪声的原图像为 I ,滤波后输出图像为 O .其具体步骤如下:

1)以噪声图像的像素 $I(i, j)$ 为中心选取像素数 $n \times n$ 的窗口,后找出窗内的最大灰度值和最小灰度值,在计算出窗口内所有像素灰度值的和 S :

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(i, j) \quad (6)$$

2)将上述窗口里每一个像素的灰度值分别与最大和最小灰度值进行比较,如果相等,则在 S 中减去该灰度值,并相应地将像素指 $n \times n$ 减1,最后得出窗口内剩余像素的灰度值的和 S_1 ,且此时窗口中的像素点的值为 x .

3)求出噪声图像窗口中 $n \times n$ 剩余像素平均值 M , $M = S_1 / x$,并计算该均值与相应像素的灰度值差的绝对值 d , $d = |M - I|$,阈值 T 随着图像灰度分布的不同而自适应地调整,与阈值 T 相比较,则得到输出像素的灰度值 $O(i, j)$:

$$O(i, j) = \begin{cases} M, & d \geq T \\ I(i, j), & d \leq T \end{cases} \quad (7)$$

对于要求自适应的图像处理情况中,阈值 T 可以用图像的标准差来替代,具体方法如下:

图像像素灰度值的总体平均值为:

$$M_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(i, j) / m \times n \quad (8)$$

则图像的标准差为:

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I(i, j) - M_a)^2}{m \times n}} \quad (9)$$

图像的阈值 T 为:

$$T = \sigma_I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (I(i, j) - M_a)^2}{m \times n}} \quad (10)$$

4)如果在第(2)步中 x 为0,则相应地扩大窗口尺

寸;如果 x 仍旧为零,则令:

$$O(i, j) = (O(i-1, j-1) + O(i-1, j) + O(i-1, j+1) + O(i, j-1)) / 4 \quad (11)$$

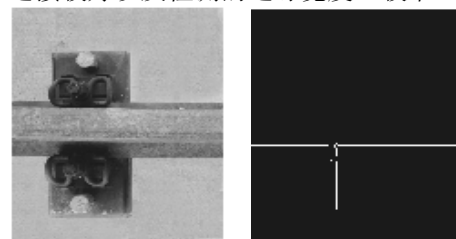
5)对图像的所有像素重复1)~4)步,即得到消除脉冲噪声的恢复图像 O .

通常,在利用边缘检测算子提取图像边缘时不仅需要考虑边缘的粗细,还要考虑图像边缘连续性,因此在实验中对Canny算子做了一些改进^[12]:在双阈值选取过程中,通过非极大值抑制的像素梯度统计直方图得到高阈值,大于高阈值的点选作边缘点,在低于高阈值的点里,为判断像素点是否为边缘点设置了两个条件:一个是必须与边缘点相邻,二是这个像素本身也应该有比较高的梯度值,这样,应该再选择一个低阈值来判断像素点是否是边缘点.判断像素是否是边缘点的具体方法如下:选择一个高阈值点,在这个点的 3×3 像素邻域内,如果邻域内有低阈值点,则此点为边缘点,再以此点为中心重复前面的步骤,将边缘点连接起来.并得到最终图像的边缘.

5 实验结果与分析

为了检验本文中算法的性能,分别采用几组实际轨道拍摄图像对本文算法和RHT做了实验.实验运行环境: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU, 2.00 GHz, 4.00GB 的内存台式机.第一组实验图像为天气较好时的无砟轨道图像,其大小为 502×492 ,图4(a)是原图像,(b)是Canny边缘检测的结果,(c)是改进的Canny算子检测结果.第二组实验图像为天气不好时的无砟轨道图像,其大小为 511×468 ,图5(a)是原图像,(b)是Canny边缘检测的结果,(c)是改进的Canny算子检测结果.第三组实验图像为砟轨道图像,其大小为 505×512 ,图6(a)是原图像,(b)是Canny边缘检测的结果,(c)是改进的Canny算子检测结果.表1是本文算法与Canny算子相比较的结果,包括算法运行时间,检测的直线数.

从上述实验4、5、6可以看出改进的Canny算子检测的边缘连续性较好,没有伪像素,且像素连接直线特征连接较好以及检测的边缘宽度比较窄.



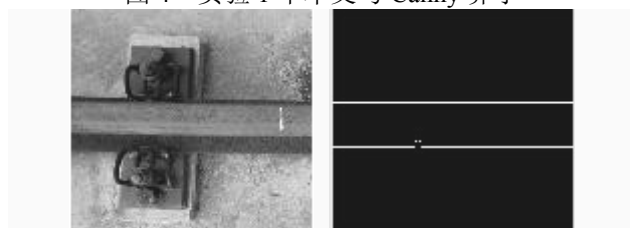
(a) 原图像

(b) canny 算子



(c) 改进的 canny 算子

图 4 实验 1 中本文与 Canny 算子



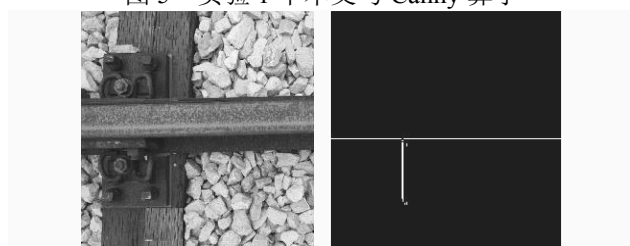
(a) 原图像

(b) canny 算子



(c) 改进的 canny 算子

图 5 实验 1 中本文与 Canny 算子



(a) 原图像

(b) canny 算子



(c) 改进的 canny 算子

图 6 实验 3 中本文与 Canny 算子

表 1 算法比较

	试验算法	直线数	消耗时间
第一组	RHT	2	1.3248s
	本文	2	1.9876s
第二组	RHT	2	1.8157s
	本文	2	1.3245s

上述两组试验表明,从上述两组试验可以得出本

文算法是可行的,在保持与随机 Canny 算子直线检测精度相同的情况下,改进后的算法降低了运算时间,降低了内存使用量.后后续 DSP 硬件开发大大节约了 Flash 空间.

6 结论

本文基于双目视觉,分析得出几何特征转化为直线特征提取和钢轨和扣件能作为提取轨道稳定直线特征的部件,首先对图像进行一系列图像处理,达到滤波效果,后对处理后的图像采用改进的 Canny 算子进行边缘检测.基于试验验证,进一步证明了改进后的 Canny 在直线特征提取上面具有速度快,降低内存的优点,从而能在后续 DSP 硬件开发上很好的降低 Flash 空间,对整个课题具有重大的理论支撑意义.

参考文献

- 1 王午生.铁路线路工程.上海:上海科学技术出版社,2000.
- 2 Chi JN, Xu XH. Research on simultaneous localization and mapping of mobile robot. Robot, 2004, 26(1): 92-96.
- 3 Freeman H. Boundary Encoding and Processing. BS Lipkin, A Rosenfeld. Picture Processing and Psychopictorics, Academic, New York, 1970, 12(6): 241-266.
- 4 Donoho DL, Huo XM. Beamlets and multiscale image analysis. Springer Lecture Notes in Computer Science and Engineering: Multiresolution Methods, 2000.
- 5 Hough PVC. A Method and Means For Recognizing Complex Patterns. USA, 069654. 1962, 23(6): 7-21.
- 6 Leica GeoSystems. ADS40 Technical Reference Manual. Switzerland: Leica Geosytems, 2007.
- 7 张强,王正林.精通 MATLAB 图像处理.北京:电子工业出版社,2011.
- 8 王慧锋,战桂礼,罗晓明.基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用.计算机工程与应用,2009,45(9):223-226.
- 9 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE-PAMI, 1986, 8(12): 679-698.
- 10 孙继龙.基于模糊理论的图像边缘检测技术研究是实现 [硕士学位论文].上海:华东师范大学,2009.
- 11 黄剑玲,郑雪梅.一种改进的基于 Canny 算子的图像边缘提取算法.计算机工程与应用,2008,44(25):170-172.
- 12 Sonka M, et al. 图像处理、分析与机器视觉.第 3 版.北京:清华大学出版社,2011.