

一种快速的基于边缘的道路检测算法^{*})

杨文杰 胡明昊 杨静宇

(南京理工大学计算机系 南京 210094)

摘要 道路检测是机器人视觉导航中的重要环节。本文提出了一种新的非结构化道路检测算法。算法基于这样一个基本假设,即道路的轮廓由一些具有一定长度的连续直线段组成。在一定的范围中通过计算边缘点,然后通过 Hough 变换求得直线段,从而确定道路边界的位置。但是边缘图像中不仅仅包含道路的边缘,还有阴影,植物等其他的边缘。如果不消除这类边缘的影响,将大大削弱算法的效率和准确性。本文提出一种基于颜色和方差的规则有效地消除这类非道路的边缘。一旦当前帧中获取道路的边缘,通过限定下一帧中的感兴趣区域(ROI)减少搜索范围从而快速定位帧中的道路边缘,从而进一步提高算法的效率。大量实地(校内公园道路)实验验证了该算法的快速和鲁棒性。

关键词 道路检测,道路跟踪,边缘过滤,Hough 变换

A Fast Edge Based Unstructured Road Detection Algorithm

YANG Wen-Jie HU Ming-Hao YANG Jing-Yu

(Computer Science Department, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract Road detection is one of the basic tasks for automatic guidance. A new approach to detect the unstructured road is proposed. It is based on the fundamental hypothesis that the contour of a road is made up of many connected line sections with some length. Here, line sections can be got by Hough Transform, which accumulates edge points in the image and determine the position of the road contour. But image edges include not only the road contour but also many other kinds of edges, such as edges of shadow, plant and so on. If these kinds of edges being considered, the algorithm's efficiency and accuracy will be impaired greatly. Some rules are used to eliminate the edges of non-road contour before accumulating. Besides when the road has been found in one frame, we can infer ROI (the region of interest) road to decrease the searching scope and fast locate the road edge in the latter frame, which can furthermore improve the algorithm's efficiency. Lots of experiments result shows that it is fast and robust for roads detection at a park of the campus.

Keywords Road detection, Road following, Edges filter, Hough transform

1 引言

计算机视觉导航使机器人可以工作于复杂环境中,道路检测是视觉导航中的一个非常重要的环节,其必须从复杂的环境中正确地分道路和周围的区域,是具有挑战性的任务^[1]。高速公路等结构化道路,具有清晰的车道线和道路边界,车道线一般为连续的白线或者断划线,因此,在这种情况下,道路检测问题可以简化为车道线或道路边界检测问题。针对这类道路的系统有很多,如 RALPH 系统等^[2]。而乡村小路等非结构化道路因为其各种不同情况增加了检测的难度:没有车道线或者标记;路与非路的边界模糊,有很小的亮度差;道路形状不够平滑;道路上有阴影,水迹,泥沙等,改变了道路的表面特征。

当前,许多基于视觉的道路检测算法已经被提出。道路检测大体上有两种途径:一种是通过区域方法实现,即先获取道路区域上的每一点,再合并成一个道路区域;另一种为边缘方法,即先检测道路的边线,然后恢复道路的整体轮廓。每种方法都采用不同的道路模型(直线或者曲线)和不同的检测手段(Hough 变换,模板匹配,神经网络等)获取道路轮廓^[4,5]。

根据非结构化道路场景较为复杂的特点,我们提出了一种快速的基于边缘的道路检测算法。本文的第 2 节详细介绍道路检测算法,在第 3 和第 4 节分别给出实验结果和结论分析。

2 道路检测算法

2.1 道路的假设

以下几点是本算法的基础假设和规则。

- 道路的轮廓可以由一组首尾相连的直线段序列表示。
- 一般来说,在不考虑阴影影响的前提下,道路部分的方差较小;而非道路部分和道路边界区域,方差则较大。
- 当机器人向前行进时,路总是位于其前方不远处。
- 因为道路区域在地平线以下,本算法的处理区域为图下方 60% 的部分。

上述假设和规则与实际情况是相符的,其中假设 b,是由于道路是人工修建,颜色分布较为平滑,故道路的方差较小;而非道路部分由于存在植被或土地,较为嘈杂,故方差较大;而道路边界区域,由于处于道路与非道路的交界处,是区域的分界,方差也较大。

如图 1 所示,被处理区域包含在蓝色框中,因为我们所关

^{*})基金项目:国防科工委研究基金(K1703060113)。杨文杰 博士研究生。

注的是地平线以下的区域。

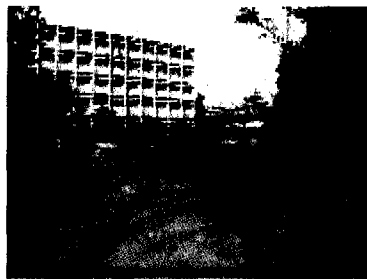


图1 现场图像

2.2 边缘检测

首先使用中值滤波平滑道路图像。然后使用 Sobel 算子增强道路边缘。Sobel 算子是微分算子可以有效地去除道路图像中的无用信息。经过 Sobel 算子的处理,非路区域的值会变得较小,从而使得道路边缘更加清晰,如图 2 所示。

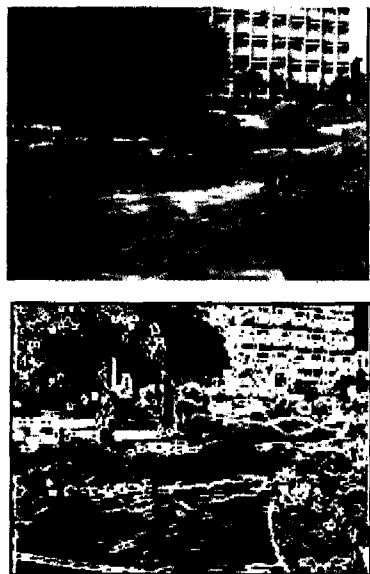


图2 道路图像(上图)和 Sobel 图像(下图)

Sobel 算子处理后的图像仍然存在无用信息。为了使得道路边缘更加清晰,采用了二值化方法。首先计算直方图,采用自适应方法确定恰当的阈值。在本文中,保留 sobel 图像中最亮的 40% 的点。图 3 是二值化后的结果图像。



图3 道路的二值图像

2.3 边缘过滤

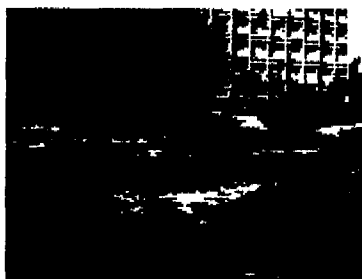
经过上述的处理过程,图像的边缘已经清楚地得到。但是此时的边缘不仅包括道路的轮廓,也包含了诸如阴影,植物等非道路的边缘。如果这类边缘不能被去除,将会大大削弱算法的效率和准确性。边缘过滤的目的就是尽可能地去除非道路边界对应的边缘,为获取真正的道路边界做准备。我们

采用以下的规则和方法消除非道路的边缘。

2.3.1 色彩特征 选择这个特征的原因很明显,道路的基本颜色是基本一致的。通常情况下,道路的颜色中灰略偏蓝或略偏红,而组成非路的如泥土、植物等往往是明显偏绿或非常偏红,可以利用这些颜色信息判定道路。选定亮度适中的区域(即不是太亮或者太暗),分别计算其红绿蓝(Red, Green, Blue)分量,如果绿色分量或红色分量占主要组成部分,则此类区域是对应于图像的非道路区域,其内的边缘也一定不是我们关心的道路边界对应的边缘。将这类区域定义为颜色过滤掩膜,位于颜色掩膜内高亮区域的边缘应该被去除。图 4 即为颜色过滤掩膜图像。



图4 颜色掩膜



(a) 本质图像



(b) 方差掩膜



(c) 过滤后的边缘

图5 阴影边缘的过滤

2.3.2 阴影边缘 道路是人工铺设,通常整洁程度较高。因此如果不考虑道路上阴影的影响,道路区域的方差明显小于非道路区域和道路边界区域。依据文[3]中的与阴影无关的方法,可以得到摄像机的不变方向从而得到与亮度无

关而至于物体介质有关的“本质图像”(Intrinsic Image)。所以我们可以求得本质图像的方差图像。很显然,对应于本质图像上方差较小的边缘图像的亮点是阴影的边缘,该边缘点可以被去除。通过二值化方差图像可以建立一个方差过滤掩膜,并与初始的二值边缘图像进行“与”操作,道路上的阴影边缘将被去除。具体的步骤如下:

(1)运用文[3]中的方法生成本质图像。

(2)以 7×7 的窗口计算本质图像的方差。图像中可能存在过饱和点,由于光照的影响,这类点的亮度太大而无法确定其色彩信息,所以计算方差的过程中此类过饱和点不参与方差计算。

(3)通过二值化方差图像生成方差掩膜。

(4)在初始边缘图像与模板间进行与操作。过程和结果如图5所示。

2.4 道路边界的生成

道路边界的生成算法的基本思路就是基于道路的轮廓由许多首尾相连的直线段组成^[5]。我们首先找到道路轮廓的起始点,然后通过 Hough 变换求得直线段。然后此线段的终点作为下一直线段的起始点。通过这样的迭代过程求得道路的轮廓。因为求取右侧道路轮廓的方法与左侧的相同,本文只介绍计算左侧道路轮廓的详细步骤。

(1)起始点的求取

道路轮廓应该具有较长和局部直线段的特点,而且左侧轮廓的起始点应该位于道路图像的左下部。只要道路轮廓的起始点可以明确地确定,就可以获取整条道路的轮廓。我们采用水平和竖直相交的 x 轴和 y 轴限定搜索起始点的范围。两条相交线距离图像的底端和左端边线10个像素距离。搜索轴点的过程沿着两条线进行,并以点为中心旋转一定角度确定一个搜索窗口。计算和保存该点在窗口内的边缘点数量和角度,其中的最大数量点即为道路轮廓的起始点。图6中两条红线显示了起点的搜索范围。

(2)直线段的生成

一旦求得起始点,根据点的位置和角度,利用 Hough 变换可以求得直线段。此线段的终点即为求取下一直线段的起始点。

(3)道路轮廓的生成

运用上述的步骤,迭代生成首尾相连的直线段,直到搜索范围内没有直线段为止。

同样的方法求得道路的右侧轮廓,此时就可以得到道路的左右轮廓。结果如图7所示,其中的黑线代表道路的轮廓。



图6 道路边界的起点的搜索范围

2.5 道路边界的更新

本文实验中使用的移动机器人 ATRV 在校园公园内的行驶速度较慢,相邻图像帧间的变化较小。所以当前帧的道路轮廓位置与前一帧相近,一旦找到一帧内的道路,就可以推

断出其中的道路感兴趣区域(Region of Interest),从而减少下一帧的搜索范围。如果前一帧道路边界已经确定,可以将起始点的搜索范围限定在上一帧道路边界起始点的邻域,如图8所示,白线指示了前一帧道路起点及方向,那么在当前图像中,道路起点的搜索范围,可以从两个红线上所有的点缩小为蓝色线段间的红色点。这样大大地提高了处理速度,从而进一步提高了算法的效率。



图7 道路边界的结果

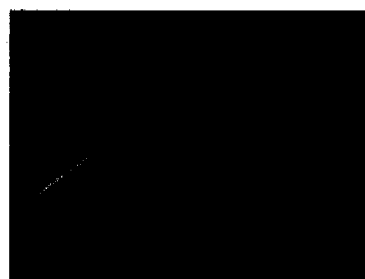


图8 道路边界起点搜索范围

3 实验分析

我们使用配备有摄像机等多个传感器的小机器人-ATRV 在学校里的一个公园中的行进过程中拍摄的图像作为实验数据集。公园内大量种植着各类树、花、草等植物,并铺设环行的水泥路面。由于光照的影响,道路上存在大量阴影。为了验证算法的有效性,在白天的不同时刻和不同天气条件下进行了大量实验。

实验结果表明,本算法能够快速鲁棒地检测出公园中的道路。摄像头采集的图像大小为 160×120 ,算法的处理时间小于100毫秒。图9给出了部分实验结果,其包含了三幅较为有代表性的图像和各自的处理结果。

结论 本文提出了一种快速的道路检测算法,可以正确地检测非结构化道路的轮廓,从而为后续的局部路径规划和机器人视觉导航做好了准备。算法是一种基于边缘的检测方法,其中的边缘过滤和识别是关键步骤。接下来,我们将把机器人上的其他传感器数据,如来自红外摄像机、激光测距仪等融合到算法中,这将使得道路检测算法更加高效和健壮。

参考文献

- 1 吴东晖,叶秀清,顾伟康. 基于不确定知识的实时道路场景理解[J]. 中国图像图形学报,2002,7(1):69~74
- 2 杨明,陆建业,王宏,张钊. 基于视觉的道路跟踪[J]. 模式识别与人工智能,2001,14(2):186~193
- 3 Finlayson G D, Drew M S, Lu Cheng. Intrinsic Images by Entropy Minimization. ECCV,2004(3):582~595
- 4 Morgan A D,Dagless E L,Milford D J,Thomas B T. Road Edge

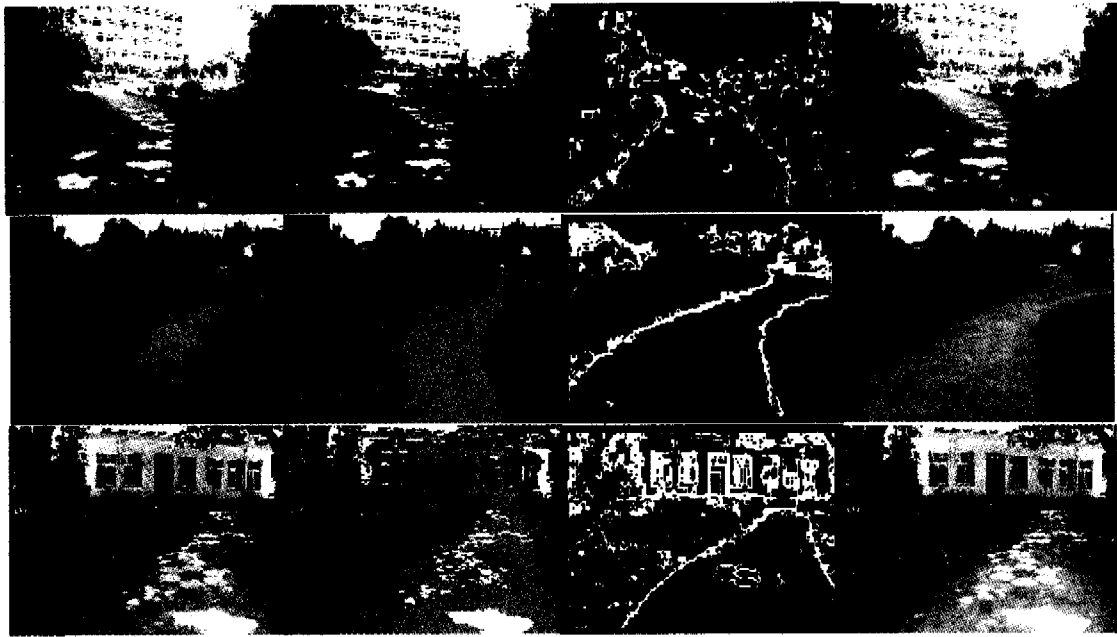


图9 实验结果(从左到右依次为原始图像,本质图像,过滤后的边缘图像和结果图像)

(上接第 256 页)

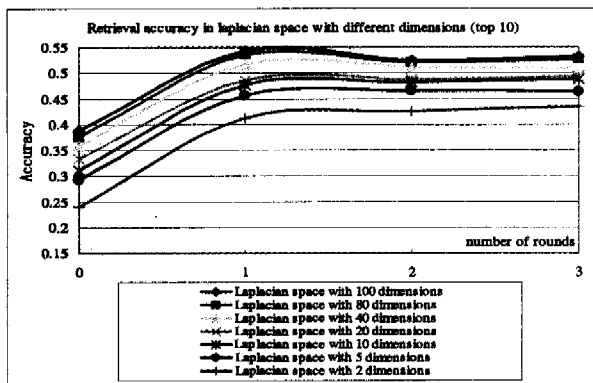


图2 在 LE 空间中的检索效果

总结 基于内容的 Web 图像检索技术是当前的研究热点。在 Web 环境中,快速高效是检索系统自身和用户的共同要求,因此,在保证不丢失图像主要特征的前提下尽可能地缩减图像维数是基于内容的 Web 图像检索技术的关键。拉普拉斯特征值映射(LE)是一种最近提出的用于流形学习的算法。它可以很好地保留图像空间的非线性的几何结构,在维数剧烈缩减时,这些保留下来的非线性结构有助于保持图像特征。从以上的实验分析我们可以发现,对于需要进行维数剧烈缩减的 Web 图像检索来说,基于 LE 的图像降维算法可

以获得最佳的效果。因此,我们认为,它是一种新型的最适用于 Web 图像检索的降维算法。

参考文献

- 1 Ng R, Sedighian A. Evaluating multi-dimensional indexing structures for images transformed by principal component analysis. In: Proc. SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Database, 1996
- 2 Faloutsos C, Lin K-Ip (David). Fastmap: A fast algorithm for indexing, data-mining and visualization of traditional and multimedia datasets. In: Proc. Of SIGMOD, 1995, 163~179
- 3 Chandrasekaran S, Manjunath B S, Wang Y F, et al. An eigenspace update algorithm for image analysis. Comput. Vis., Graphics, and Image Proc. 1997
- 4 Salton G, McGill M J. Introduction to Modern Information Retrieval. McGraw-Hill Book Company, New York, 1982
- 5 Belkin M, Niyogi P. Laplacian Eigenmaps and Spectral Techniques for Embedding and Clustering. Advances in Neural Information Processing Systems 14, Vancouver, Canada, 2001
- 6 He Xiaofei, King O, Ma Wei-Ying, et al. Learning a Semantic Space from User's Relevance Feedback for Image Retrieval. IEEE Trans. On Circuit and Systems for Video Technology, 2003, 13 (1)