

高速公路路面识别技术研究

吴新焯, 葛晓宏, 曾令军, 黄红武

(厦门大学 机电系, 福建 厦门 361005)

摘要: 根据高速公路路面的基本特征, 通过分道线特征点投影位置的计算, 提取出了比较完整的当前车道分道线特征点。建立道路边缘灰度模型, 采用 Gabor 变换多分辨率的特点, 对图像按方向进行滤波处理, 实现道路边缘线检测和拟合。实验结果表明, 所讨论的方法在工程实践中有实际应用价值。

关键词: 高速公路; 计算机视觉; 模式识别; 路面检测

Study on Highway Road Detection Based on Computer Vision

WU Xin-ye, GE Xiao-hong, ZENG Ling-jun, HUANG Hong-wu

(Department of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: According to the basic characteristics of the road and through marginal extraction, the location of current lane line can be acquired. After calculating projection location of the lane feature points, feature points of a relatively complete current lane dividers can be distilled. Establishing the model of road edge grey scale and adopting the multi-resolution characteristics of Gabor transform, they can filter the image so that they can realize the detection and fitting of the road edge line. Experimental results show us that the method discussed in this text has a certain value in practice.

Key words: highway; computer vision; pattern recognition; road detection

现在, 随着视觉传感器及计算机硬件设备的飞速发展和图像处理及投影理论的深入研究, 计算机视觉技术也得到长足发展。把计算机视觉技术应用于汽车智能辅助操作系统中的道路检测, 把实测结果与汽车安全行驶专家系统提供的信息进行比较, 若在行驶中有危险发生, 则发出声光报警信号, 提醒驾驶员注意, 防偏防碰, 避免危险^[1]。

1 路面图像的获取

装有摄影机的汽车在高速公路上摄取连续的前方图像。摄影机的摄影原理实质上就是三维空间信息到二维平面的线性投影。运用线性投影的基本原理, 采用解析几何和矩阵方法研究道路的几何模型, 易知: 在世界坐标系中, 道路的对应左

右边缘是相互平行的(如是弯道, 其对应点的曲率亦相等), 并且它们之间的距离为道路的宽度。

2 道路图像的预处理算法分析

2.1 道路图像的滤波

任何一幅未经处理的原始图像, 都存在着一定程度上的噪声干扰。^[2] 噪声恶化图像质量, 使图像模糊, 甚至淹没需要检测的特征, 给图像的分析带来困难。由于图像灰度值相关性, 一幅图像的能量主要集中在低频区域, 图像中噪声和假轮廓的信息则集中在高频区域中, 图像细节部分的能量也处于高频区域中。噪声滤波是必要的, 特别是由于汽车抖动引起的边缘毛刺, 以及汽车刹车对车道标识线的损伤和孤立的噪声点, 这些噪声都会

收稿日期: 2009-01-06

基金项目: 福建省青年科技人才创新项目(2006F3121)

作者简介: 吴新焯(1980-) 男, 福建莆田人, 2007 级博士研究生, 厦门大学建筑与土木工程学院助理教授。

对以后的分道线的检测造成不小的麻烦。由于图像中噪声和信号往往交织在一起,如果平滑不恰当会使图像本身的细节如边界轮廓、线条等变得模糊不清,从而使图像质量下降。所以需要找到既能平滑图像中的噪声,又尽量保持图像细节的合理算法。同时,在车辆视觉导航系统中,算法的处理速度也是一个比较重要的问题。

通过计算机对像素大小 320×240 的图像进行仿真,在同等条件下,邻域平均滤波算法的平均耗时约 30ms,用快速中值滤波算法的平均耗时约为 80ms,数学形态滤波平均耗时约 194ms,而边缘保持算法的平均耗时约 280ms。考虑到智能车辆的实时性要求,采用快速中值滤波算法较为合适。

2.2 图像边缘提取

边缘是指图像周围像素灰度有阶跃变化或屋顶状变化的那些像素的集合,它存在在目标与背景、目标与目标、区域与区域之间。图像边缘信息在图像分析和人的视觉中都是十分重要的,是图像识别中提取图像特征的一个重要属性。图像的边缘有方向和幅度两个特性。通常沿边缘方向的像素变化平缓,而垂直于边缘走向的像素变化剧烈。这种变化可能呈现阶跃型和房顶型。阶跃型变化常常对应目标的深度和反射边界,而房顶型变化则常常反映表面法线方向的不连续。如果一个像素落在图像中某一个物体的边界上,那么它的邻域将成为一个灰度级的变化带。对这种变化最有用的两个特征是灰度的变化率和方向,它们分别以梯度向量的幅度和方向来表示。

边缘检测算子检查每个像素的邻域并对灰度变化率进行量化,也包括方向的确定,一般使用基于方向导数掩模求卷积的方法。常用的边缘检测算子有 Robert 梯度算子、Sobel 算子、拉普拉斯(Laplacian)算子^[3]等等。近年来许多学者提出用人工神经网络、小波算法及分行维思想来检测边缘,都取得了一定的进展。但边缘检测同样存在算法不完善的问题,即没有一种边缘检测算法可适用于所有图像。因此,在对具体图像进行边缘检测时,需要根据图像的特点选用适当的算法。本文研究中,边缘检测采用了 Sobel 算子。

2.3 基于边界跟踪的分道线检测算法

汽车在高速公路上行驶时摄取的前方景物图

像中,包含了前方的道路以及延伸方向,道路上的车道分隔白线,以及道路两边的安全围栏和树木等复杂景物。在这些图像中,要获得前方车道和车辆等目标信息,首先必须清楚地分割出道路边缘和路面、分道线和各行车道,再进一步识别和判断道路上的目标,才能构成安全行驶辅助系统,或实现自动驾驶,达到安全行驶的目的。

对于道路图像,当前车道的分道线和道路区域有着很强的对比度,分道线边界也比较清晰,通过对图像进行二者化处理能够提取出车道标识线。如果行驶车道内没有积水和破损,则经过二者化后,路面区域不会有白色区域。如果路面存在斑马线和白色箭头,可以根据透视变换原理及形状信息予以滤除。由于边界跟踪算法简单,快速有效,目前边界跟踪算法大量地应用于机器视觉中的目标特征识别^[4-5]。

而链码作为边界跟踪的一个副产品,在边界跟踪算法应用相当广泛。通过分析链码,可以对局部图像中目标的方向进行判断,连接断线以及对目标现在进行重构等优点。用链码来记录轮廓信息是合适的,它既可以用来表示相邻边界点间的位置关系,又可在跟踪过程中控制各邻点的检测顺序。链码是用中心像素指向它的八个相邻点的方向来定义的。链码值加 1,其所指方向就按逆时针方向旋转 45°。轮廓的跟踪可依链码的方向进行,下一跟踪点的取得依赖于上一轮廓点,从而避免了对所有像素点的扫描,增加了轮廓跟踪的效率。基于链码的轮廓值可由链码的解码来完成,解码思路和其译码的思路是一致的,由以上可知链码方向和像素坐标有表 1 所示的对应关系,因此可以构造一个数组来完成解码过程。对 X 坐标, $X[8] = \{1, 1, 0, -1, -1, -1, 0, 1\}$; 对 Y 坐标, $Y[8] = \{0, 1, 1, 1, 0, -1, -1, -1\}$ 。这样可由链码序列得到相应的轮廓的坐标值。

表 1 临点与中心点的坐标关系

链码值	X坐标偏移	Y坐标偏移	对应角度值 / °
0	1	0	0
1	1	1	45
2	0	1	90
3	-1	1	135
4	-1	0	180
5	-1	-1	225
6	0	-1	270
7	1	-1	315

对于车道的边界检测,并不需要检测出分道线段轮廓,只要检测左分道线的右边缘和右分道线左边缘即可。因此,针对这一特点,只需要上半部分的方向链码,而且左分道线边界采用逆时针搜索,右分道线采用顺时针方向搜索策略。在边界检测过程中,需要保存有用的信息和链码,于是需要建立一个数据结构:

```
Struct EdgeInfo
{ int x;// 边界点 x 坐标
  int y;// 边界点 y 坐标
  int ChainCode;// 链码值
  int ChainMargin;// 相邻两个边界的链码差 }
```

针对高速公路道路图像的特点,本文提出了自己的分道线检测算法,左右分道线搜索算法是一样的,可以先搜索左边或者右边分道线,然后再搜索另外一边,而且可根据已找到的一边去校正未找到的一边。以左边分道线为例,具体搜索步骤如下:

(1) 搜索左分道线起点。在二者化图像中,可以根据车道的中线开始向左搜索白点,当检测到白点,则计算该白点的所在白线段的宽度、高度和面积。如果高度、宽度和面积适当,则认为是分道线上的点。

(2) 以起点为 P 点,并标识为已搜索,然后依次判断链码值为 0—4 邻域的点,看是否边界点。

(3) 如果在邻域内找到边界点,则保存该边界点的坐标值和链码值以及该点与上一个边界点的链码的差值。然后以此点为 P 点,重复第(2)步直到在 0—4 邻域找不到边界点,则到第(4)步。

(4) 分析已经搜索到的链码,并根据链码计算该段分道线的斜率。

(5) 在斜率的延伸方向的一点弧度区域里搜索下一段分道线起始边界点,如果找到则重复(2)、(3)步骤。如果找不到下一段分道线的边界点,则认为分道线已经结束。

(6) 对搜索到的分道线进行差值修正。边界检测中几个阈值的确定,分道线起点搜索时的宽度、高度和面积阈值,以及在搜索下一段分道线时的方向性判断。

3 基于 Gabor 小波滤波器的道路边缘检测

3.1 道路边缘线灰度特征模型

道路边缘线是连续的等宽度白色线条,道路

分隔线是等长间断的等宽度白色线条,用一条长度为 100 个像素的扫描线对道路上的线条和路面的灰度值进行分析,得到图 1 所示的路面灰度图,图中的“脉冲”即为路面白色线条的灰度值。

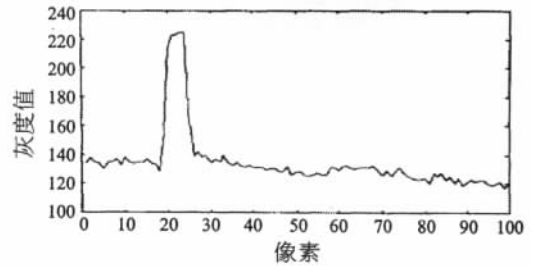


图 1 道路边缘线与路面灰度值曲线

道路边缘线和分隔线为白色线条其灰度几乎一致。以路面灰度进行归一化可得到道路灰度模型,如图 2 所示。

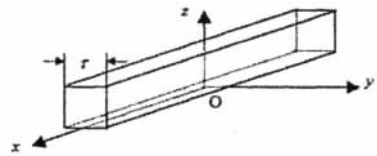


图 2 道路边缘线灰度模型

线条宽度为 τ ,其灰度为 z ,则道路边缘线条可描述为:

$$f(z(x, y)) = \begin{cases} z_1, & -\frac{\tau}{2} \leq y \leq \frac{\tau}{2} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

对 $f(z(x, y))$ 作傅里叶变换将其由空间域变换到频率域的 $F(\Omega(i, j))$,表示道路边缘线条的频域特征,由傅里叶变换可知,在空间域越窄的线条,则在频率域的频谱就越宽。

3.2 Gabor 变换的频率特性和方向特性

Gabor 变换是通过信号的时间平移和频率调制方式建立的联合时间 - 频率函数。利用其频率调制的特性,在图像处理中可获得一个稳定的方向滤波。Gabor 滤波器的冲激响应 $h(x, y, \phi, f)$ 可表示为:

$$h(x, y, \phi, f) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_\phi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\phi^2}{\delta_y^2} \right) \right] \cos(2\pi f x_\phi) \quad (2)$$

式中: $x_\phi = x \cos \phi + y \sin \phi$, $y_\phi = -x \sin \phi + y \cos \phi$, x, y 是像素点的坐标, ϕ 是滤波器的方向, f 为正弦波的频率, δ_x, δ_y 为高斯函数沿 x, y 方向的常数。显然, Gabor 小波滤波器是一个以高斯函数所调制的频率中心为 (fx_ϕ) 的正弦表达式, $h(x, y, \phi, f)$ 的频

率响应就是其傅里叶变换,由调制定理可得 Gabor 滤波器的频率特性:

$$\begin{aligned}
H(u, v, \phi, f) &= 2\pi\delta_x\delta_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(u_\phi-u_0)^2}{\delta_u^2}+\frac{(v_\phi-v_0)^2}{\delta_v^2}\right]\right\} \\
&+ 2\pi\delta_x\delta_y \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(u_\phi+u_0)^2}{\delta_u^2}+\frac{(v_\phi+v_0)^2}{\delta_v^2}\right]\right\} \\
u_\phi &= u\cos\phi + v\sin\phi, \quad v_\phi = -u\sin\phi + v\cos\phi \\
u_0 &= \frac{2\pi\cos\phi}{f}, \quad v_0 = \frac{2\pi\sin\phi}{f} \\
\delta_u &= \frac{1}{2\pi\delta_x}, \quad \delta_v = \frac{1}{2\pi\delta_y}
\end{aligned}$$

与道路边缘线条的空间域和频率特性一致, δ_x, δ_y 决定了高斯滤波器的宽度。 δ_x, δ_y 越小,即高斯滤波器在空间域越窄,在频率域里能通过更多的高频噪声和细纹理信号,反之可抑制高频噪声和细纹理信号。利用高斯滤波器的这个特性,调制一个频率中心为 (fx_ϕ) 的正弦波,就可以利用 (fx_ϕ) 指定的方向和频率有效的图像进行基于方向的滤波。

3.3 Gabor 小波滤波器进行道路边缘处理

在图像处理中,可以用有限尺寸的模板设计相应的滤波器,使图像中待处理的线条方向与模板基本一致。^[6]这时 Gabor 小波滤波器作为一个具有方向的低通滤波器,其参数值对于方向轴以及与其垂直的方向上是对称的,它使线条的像素点的灰度尽可能接近,而在与线条方向垂直的方向上,线条与其他图像点的灰度反差尽可能的大,这样就可以基于方向把线条区分出来。

将 Gabor 滤波器应用于道路边缘的增强处理,必须确定三个参数:1) 式中的频率 f ; 2) 滤波器的方向; 3) 高斯函数的方差 δ_x, δ_y 。

由于 Gabor 变换是将高斯函数调制成中心频率为 (fx_ϕ) 的正弦函数,而高斯函数经傅里叶变换之后仍是高斯函数型的频谱。根据道路边缘线及分道线的空间域和频率域的特征,应将 Gabor 小波滤波器的双高斯型频谱特征变化为具有一个类高斯型特征的低通滤波器,即调制信号 $\cos(fx_\phi)$ 的频率应较小,滤波器的频率可取为 $f < 1/2\tau$ 。滤波器的方向由局部道路边缘线的方向决定。 δ_x, δ_y 根据道路边缘线条的宽度选取,以应用效果决定, δ_x, δ_y 的大小决定了滤波器在空间域的散布(宽度)水平,其大小与频域的频谱宽度成反比。

图 3 为处理前的原始图像,经 Gabor 小波滤波器后图像的处理效果如图 4 和图 5 所示,图 4 为经过 Gabor 滤波器方向滤波后的二值图像,图 5 为细化后的图像。



图 3 汽车前方道路图像



图 4 经方向滤波后的二值图像

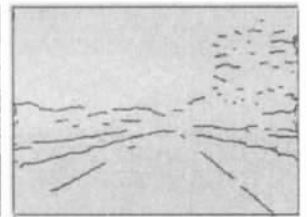


图 5 细化后的图像

4 结论

本文利用计算机视觉理论和技术,建立了空间域的道路边缘线灰度模型,并设计出具有方向滤波的有限尺寸模板 Gabor 小波滤波器,引入了基于 Gabor 小波滤波器的方向特征来进行道路检测的方法。实验结果表明,文中所讨论的方法在工程实践中有实际的应用价值。

参考文献:

- [1] 黄席樾,柴毅,王先炬,等. 汽车安全行驶智能辅助操作系统中的道路检测[J]. 重庆大学学报, 2000(2): 26-30.
- [2] 高文,陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 何斌,马天予,王运坚,等. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [4] 吴宇岚,费旭东,荆仁杰. 边界的快速跟踪算法和硬件实现[J]. 通信学报, 1997, 18(5): 67-72.
- [5] 滕振宇,孟祥旭,杨承磊. 基于有向图的边界表示模型与重描算法[J]. 工程图学学报, 2000(3): 1-6.
- [6] 周欣. 高速公路单目视觉主动导航技术研究[D]. 重庆: 重庆大学自动化学院, 2003.

[责任编辑 林 锋]