

文章编号:1000-582x(2000)04-0123-05

123-126,137

汽车智能辅助操作系统中的障碍物检测

黄席樾, 柴毅, 周欣, 汪先矩, 黄翰敏

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

摘要: 研究了基于计算机视觉技术的高速公路上的障碍物实时检测问题。其目的是为了得到障碍物的准确图象位置信息, 实现汽车自动防撞安全行驶。基于图象分割、模式识别理论, 笔者提出了一种根据汽车整体模型并结合高宽值来识别高速公路上主要障碍物——汽车的检测方法。而且利用有色噪声的卡尔曼滤波器实现了运动物体的实时跟踪。并在系统的上路测试中取得了令人满意的效果。

关键词: 计算机视觉; 透视投影; 图象分割; 模式识别; 卡尔曼滤波

中图分类号: TP 391.4

文献标识码: A

汽车操作, 障碍物

U492.8

汽车安全行驶智能辅助操作系统是一个集环境感知、规划决策、辅助驾驶等多种功能于一体的综合系统。如何利用摄像机拍摄到的实际公路图象检测出本车辆行进前方的公路上是否存在障碍物并避免与障碍物发生碰撞是本系统的最终目标。

从图象处理与模式识别发展起来的计算机视觉, 其主要目的是让计算机能够利用图象和图象序列来识别和认知三维世界, 实现利用计算机来理解三维景物, 让计算机实现人的视觉系统的某些功能。现在, 随着视觉传感器及计算机硬件设备的飞速发展和图象处理及线性投影理论的深入研究, 计算机视觉技术也得到长足发展。笔者立足于计算机视觉技术, 提出了一种障碍物的实时检测方法, 把它运用于汽车行驶过程障碍物检测系统, 经实际测试, 达到了满意的效果。

关键所在。在道路检测子系统中已经准确、实时地检测到了公路边缘^[1]。因此在本系统中首先在前方路面搜寻, 如果没有搜寻到满足障碍物条件的候选者, 则系统输出前方无障碍物; 如果有满足障碍物条件的候选者出现, 系统将对它们进行辨识, 除去假障碍物, 保留真正的障碍物, 对它进行进一步处理, 并输出前方有障碍物的信息。系统处理过程如图1所示。

1 系统简介

汽车安全行驶智能辅助操作系统重点讨论汽车前向行驶的主动安全问题, 其应用背景为高速公路或标准高等级公路。汽车后向行驶安全防撞系统是靠一对超声波传感器来实现的。而在前向行驶方向上, CCD摄像机作为视觉传感器, 是一个完全基于摄像机的视觉系统^[1]。一个完善的汽车安全行驶智能辅助操作系统通常要实现道路检测、障碍物检测和防偏、防撞安全行驶三部分功能。其中的障碍物检测子系统是其

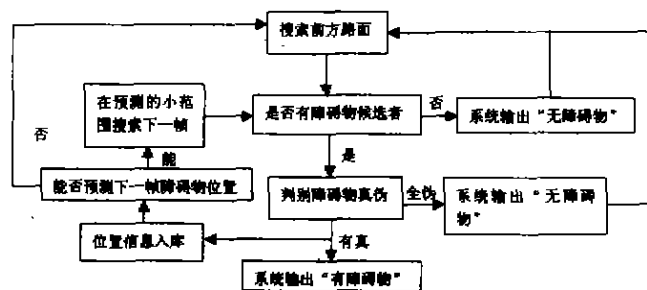


图1 障碍物检测子系统

2 障碍物实时检测

笔者主要运用图象分割技术来检测障碍物^[2,3]。从总体上说, 图象分割就是把图象分成若干有意义的区域的处理技术。区域是像素的连通集, 这里选择的连通性准则是只依据旁侧相邻的像素(上、下、左、右)确定连通, 称之为四连通。图象分割的基础是像素间

· 收稿日期: 1999-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69674012)

作者简介: 黄席樾(1943-), 男, 重庆奉节人, 重庆大学教授, 博导。主要研究方向: 计算机视觉、人工智能。

的相似性和跳变性。“相似性”是指在某个区域内像素具有某种相似的特性,如灰度一样,纹理相同等;“跳变性”是指特性的不连续,如灰度值突变等。当人观察景物时,视觉系统对景物进行分割的过程是必不可少的。但在数字图象分析中它确是一个并非轻而易举的任务。基于此,在作了大量实况路面情况分析之后,看到在高速公路上车辆行进前方出现的主要障碍物是车速低于本车辆的汽车,其它障碍物如忽然横穿公路的行人、动物或散落的货物等等虽有出现但概率极低,处理方法类似。所以本系统主要以前方车辆为检测目标。

在道路检测系统中,运用区域生长等方法,已经实时、准确地 在摄影图象上确定了车辆行进前方的公路区域^[1]。在摄影图象上检测障碍物时,只需对公路区域进行搜索就足够了。这将缩短处理时间,为实现实时检测提供保证。搜索公路区域时,路面作为一个图象区域显示出较为一致的色彩特征,并且无明显的纹理走向。路面上的障碍物在这两种特征上与路面特征有一定差异。比如,分析主要障碍物——汽车的特征,它们的底部与路面相比明显成低亮区域,如果把车辆的阴影区也考虑进去,此特征就更为显著。所以基于区域相关分割技术,利用色彩纹理特征,可以确定障碍物候选者所在的大致区域,并为真实障碍物定位。

首先确定候选者所在的大致区域,具体方法如下:由于已把公路从整幅图象中分割提取出来,所以背景信息以及物体未落入公路区域部分的信息已被分离而不予考虑。在正常光照下,通过对 CCD 摄像机的调节,可以把高速公路路面彩色图象的 R,G,B 值保持在 90-150 的灰度级范围之内;把分道线的 R,G,B 值保持在 160 以上。在这种状态下,通过大量实验证明,真实障碍物底部(落入公路区域部分)的 R,G,B 值低于路面 R,G,B 值。运用图象分割中的梯度图象二值化方法,可以得到有用部分的最大梯度边界。如果候选者为真实障碍物,此最大梯度边界就是障碍物底部外轮廓线。因此可根据最大梯度边界以及汽车图象高宽的经验比值框出一大致范围留待进一步处理。如图 2 和图 3 黑框所示:



图 2 远处障碍物候选者区域



图 3 近处障碍物候选者区域

确定了障碍物候选者的大致区域之后,要精确框定障碍物同时识别候选者的真伪,这两步是相辅相成的。精确框定障碍物是为了获取其位置信息以之进行预测,而且在下一子系统中还要利用它来计算车距。对于障碍物的精确框定和识别,分以下 3 个方面来考虑:

1) 对于本车辆系统而言,当圈定候选者的矩形框边长小于 12 个像素宽度时(图 2 的幅面为 320 * 240 像素),则认为是伪障碍物。这是因为当障碍物特别小(不会对汽车行驶构成危险)或障碍物离本车辆很远(车距已大到不足以构成危险),才会有如此小的投影图象。这种情况下不需要精确框定候选者。

2) 研究发现,摄影机从后方或侧后方对车辆等障碍物摄影,其投影图象的外轮廓线都呈现出近似矩形的几何特性。基于此,在投影平面上构造平行于图象平面坐标的矩形框作为障碍物几何模型,以此来定位并识别候选者是行之有效的。具体方法如下:

在候选区域内运用 3×3 的边缘检测算子提取候选者的边缘线,并通过搜索 5×5 的邻域对边缘线加以一定填充。检测边缘时以黑框为基础向内搜索,这样可降低物体复杂的内部线条的干扰。实践证明,首先检测下底边缘,其次当候选者位于图象右部时检测左边缘,反之检测右边缘,在此基础上利用汽车图象高宽的经验比值最后检测剩下的另一侧边缘与上边缘。这种方法比顺序检测图象得到的边缘更精确。根据候选者的边缘线作出其外截矩形(障碍物几何模型),计算候选者的矩形拟合因子 λ 与高宽比 γ :

$$\lambda = r/R \quad \gamma = H/W$$

其中 r 是候选者的面积, R 是其外截矩形的面积; H 是候选者的高度, W 是候选者的宽度。单位均为像素。 λ 反映了物体对其外截矩形的充满程度,对矩形物体 λ 取得最大值 1; γ 反映了物体的高宽比例关系。设定这两个参数的阈值范围并考虑其相互关系可以准确迅速地识别候选者;同时用外截矩形可以确定障碍物的准确图象位置。处理结果如图 4 和图 5 所示(白框为障碍物外截矩形框):

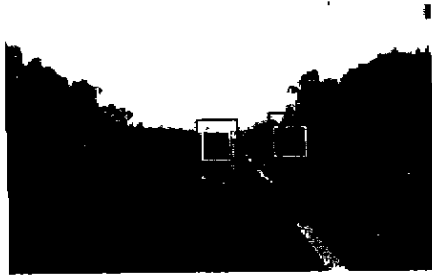


图 4 远处障碍物中心



图 5 近处障碍物边缘

3) 为了不漏掉每一个障碍物,用来确定障碍物候选者的判别条件是较宽松的。由于公路上有阴影、积水等复杂情况,它们构成相当一部分伪障碍物。如果都要对其进行判别、测距、报警,系统的总开销太大。可以用下面的方法来识别这部分伪障碍物。

首先简单介绍一下透视投影。透视投影使用一种基于几何光学原理的理想小孔摄像机来反映图象形成。现在研究从实体出发的通过投影中心的光线,投影中心对应于透镜中心。其成像原理如图 6 所示。

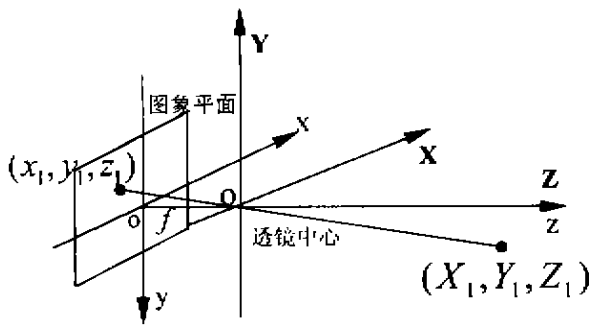


图 6 透视投影模型

如果把投影中心 O (透镜中心) 作为全局坐标的原点 (o 为图象原点), 则有下面的透视变换代数关系:

$$x_1 = fX_1/Z_1$$

且

$$y_1 = fY_1/Z_1$$

其中: f 表示投影中心至图象平面的距离。根据投影理论,路面的最远点即消失点在像平面的原点,也就是说

路面区域均位于图象平面的下半平面^[1]。

我们的实验用车高度为 1.42 m,摄影机安放在车顶部,由于在高速公路上,地面坡度较小,为叙述方便起见设路面上任意一点的 Y 坐标绝对值相等,均为摄影机光心到地面的距离 H ($H = 1.45$ m)。实际系统的示意图如图 7 所示。

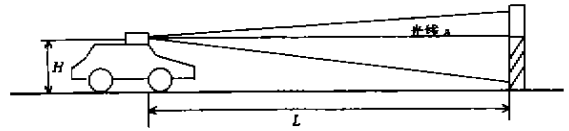


图 7 汽车摄影示意图

其中, L 为投影中心到障碍物的直线距离,光线 a 到路面的垂直距离为 H ,相当于全局坐标系的 Z 轴。阴影部分为障碍物高度不超过 H 的部分。显然,高度不超过 H 的物体所成的像必位于图象平面的下半平面。根据上面的透视变换公式,通过下面的推导,得到障碍物实际高度 h 的计算公式:

$$\begin{cases} y_1 = fY_1/Z_1 \\ y_2 = fY_2/Z_2 \\ Y_1 = -H \\ Z_1 = Z_2 = L \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Y_2 - Y_1 = L(y_2 - y_1)/f \\ L/f = -H/y_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Y_1 = Y_2 = H(1 - y_2/y_1) \\ h = H(1 - y_2/y_1) \end{cases}$$

即 $h = H(1 - y_2/y_1)$ 其中, y_1 为障碍物外截矩形底端在投影图象上的 y 分量, y_2 为障碍物外截矩形顶端在投影图象上的 y 分量, Y_1 为障碍物底端在全局坐标系上的 Y 轴分量, Y_2 为障碍物顶端在全局坐标系上的 Y 轴分量, Z_1, Z_2 分别为障碍物底端、顶端在全局坐标系上的 Z 轴分量。此公式没有距离 L , 计算简单。由此得到下面的识别方法:从图象上的障碍物外截矩形计算其大致高度,与一般汽车模型比较,去掉那些与经验值差距较大的候选者(一般阴影、积水的计算高度远小于 H)。如果加入障碍物宽度计算公式(推导过程类似):

$$d = L |(x_2 - x_1)| / f$$

其中 x_1 为障碍物外截矩形左端在图象上的 x 分量, x_2 为障碍物外截矩形右端在图象上的 x 分量。虽然与测距系统交换数据要占用一定时间,但利用障碍物的实际宽高值,能更准确地识别阴影、积水等大量伪障碍物。

以上所述 3 种方法应有机地结合并交叉运用。比

如在框定了候选者区域或提取了精确的矩形框之后都可以判别其边长是否大于12个像素和计算其高宽值。因此运用这种方法,可以准确地检测到前方车辆以及其它一些特殊障碍物,而且对伪障碍物的识别相当准确。

3 障碍物实时跟踪

分析大量高速公路路况,看到前方速度低于本车的车辆是频繁出现的障碍物。通常从它进入摄影区到被超过,会出现在若干幅连续的摄影图象上。如果能够实时跟踪它,势必比每一次都要搜索整个路面来定位要节省很多时间。而对于运动物体的实时跟踪其实质就是利用连续多帧的物体位置信息预测物体在下一帧图象上最有可能出现的区域,即最优预测问题。

根据卡尔曼滤波的基本原理,给定一个时间序列的矢量或标量观察,如果这些观察和它们的系统状态变量线性相关,那么卡尔曼滤波器就是在每个时间点上递归地估算动态系统的状态。如果状态变量和噪声的模型被构造成互不相关的高斯随机过程,那么该卡尔曼滤波器就产生最小均方误差估算。针对实际问题,研究提取出的状态变量和噪声的模型,认为用卡尔曼滤波器能很好地实现运动物体的实时跟踪。具体如下^[4]:

设运动目标在时刻 t 的图象坐标为 $(x(t), y(t))$ (把框定障碍物的矩形框的中心作为跟踪对象),运动目标在图象坐标 x 和 y 方向上的速度、加速度分别为 $v_x(t), v_y(t), a_x(t), a_y(t)$ 。取 x, y, v_x, v_y, a_x, a_y 描述它的运动状态,得目标运动的线性状态转移差分方程为:

$$N(k) = AN(k-1) + BW$$

测量方程组为:

$$\begin{pmatrix} X(k) \\ Y(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(k) \\ y(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Z_x(k) \\ Z_y(k) \end{pmatrix}$$

其中, $N(k) = (x(k), y(k), v_x(k), v_y(k), a_x(k), a_y(k))'$, $(x(k), y(k))'$ 为计算所得物体图象坐标, $(X(k), Y(k))'$ 为测量所得物体图象坐标。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$W = \begin{pmatrix} w_x(k-1) \\ w_y(k-1) \end{pmatrix}$$

T 为采样周期, $w_x(k-1)$ 为 (t_{k-1}, t_k) 时间段上 a_x 的随机变量; $w_y(k-1)$ 为 (t_{k-1}, t_k) 时间段上 a_y 的随机变量。 $\{w_x(t)\}, \{w_y(t)\}$ 为零均值的有色噪声序列, $\{z_x(k)\}, \{z_y(k)\}$ 为零均值的白噪声序列,与 $\{w_x(t)\}, \{w_y(t)\}$ 互不相关。

上述状态转移和观察方程即为通常所说的“动态噪声为有色噪声的卡尔曼滤波方程”,求解该方程组即可动态估计出各时刻的状态变量值。估算的状态变量误差如图8和图9所示。

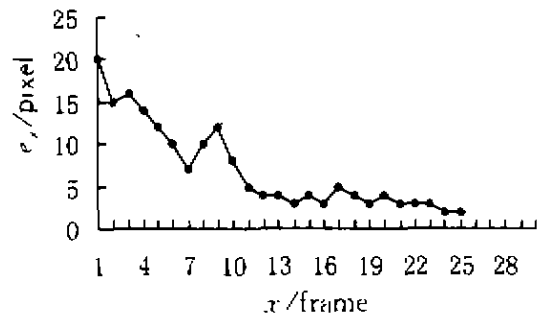


图8 x轴误差曲线

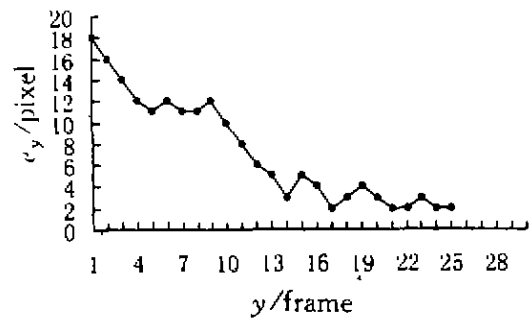


图9 y轴误差曲线

4 结论

由于高速公路上的汽车安全行驶辅助操作系统要求的实时性很高,根据本实验系统选定的采样周期 $T = 0.2$ s,即在0.2s之内处理完一幅图象并送出执行指令,障碍物检测必须在0.05s内完成。

(下转 137 页)

