

辅助实现机器人驾驶车辆的研究与仿真^①

杨琼琼^{1,2}, 孔 斌², 朱勇军^{1,2}

¹(中国科学技术大学 信息科学技术学院, 合肥 230027)

²(中国科学院 合肥智能机械研究所, 合肥 230031)

摘 要: 针对机器人驾驶汽车在未知复杂环境下行驶的问题, 提出一种基于图像的辅助实现机器人驾驶车辆的方法. 根据机器人驾驶过程中所拍摄的路面图像, 在图像中取一点作为车辆行驶的目标位置点; 根据此点的位置, 计算出车辆行驶时的转弯半径; 对方向盘转角与转弯半径之间的关系进行曲线拟合, 计算得出方向盘的转角; 根据转角信息在图像上画出可供参考的车辆可行驶辅助线. 本文算法利用 matlab 进行了仿真研究, 实验结果表明, 采用这种方法获取辅助线能够较为准确的作为车辆行驶的参考, 为辅助机器人驾驶车辆行驶带来了很大的便利.

关键词: 机器人驾驶; 运动轨迹; 辅助线

Research and Simulation of Assist Robot Driving Vehicle

YANG Qiong-Qiong^{1,2}, KONG Bin², ZHU Yong-Jun^{1,2}

¹(University of Science and Technology of China, School of Information Science and Technology, Hefei 230027, China)

²(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: In this paper we present a kind of auxiliary line access method based on image approach to help humanoid robots driving a car in a complicated unknown environments. According to road image taken during driving robot, a point was picked as the next point of the robot driving. According to the location of this point, calculate turning radius. On the steering wheel angle and the turning radius curve fitting, steering wheel angle calculated; According to the Angle of information and draw the vehicle auxiliary line on the image. This algorithm simulated on matlab environment, experimental results show that this method can obtain more accurate auxiliary lines as a reference when the vehicle driving, and bring great convenience to assist the robot successfully driving the vehicle.

Key words: robot driving; motion trajectory; auxiliary lines

在世界各地, 由于自然灾害和各种突发事故等原因, 灾难经常发生. 在灾难救援中, 救援人员只有非常短的时间(约 48 小时)用于救援工作. 然而复杂危险的灾害现场也给救援人员带来了巨大的安全威胁, 也会阻碍救援工作的快速有效进行. 使用救灾机器人进行搜救显得十分必要^[1].

在国外, 救灾机器人发展迅速, 技术日益成熟, 并进入实用化阶段. 日本、美国、英国等已开始装备使用^[2]. 在国内, 救灾机器人的研究刚刚起步, 但进展很快. 目前, 有些救援工作只有人类能够完成, 且这些

工作往往对人类的伤害很大, 人们就希望能够利用机器人代替人类来完成这些工作. 而要全面提升在灾难中可拯救人类的人形机器人的性能, 类人机器人驾驶汽车的研究工作必不可少.

国外机器人驾驶的关键技术只有少数的几个发达国家, 德国、美国、日本、英国等拥有该项技术, 但关于机器人驾驶的研究方向有: 通过让机器人执行重复的操纵来代替工作人员进行汽车试验, 以减轻试验人员的劳动强度, 增加试验数据的可靠性(如国内东南大学与南京汽车研究所联合研制成功的、具有知识产权

① 基金项目: 中科院合肥物质科学研究院“十二五”重点培育方向课题

收稿时间: 2014-04-02; 收到修改稿时间: 2014-05-12

的 DNC-1 型和 DNC-2 型驾驶机器人^[3-5]。但是用于汽车试验的机器人虽然可以操作汽车,却不能真正的驾驶汽车上路行驶。另一个与驾驶机器人研究相关的研究方向也是目前国内外的研究热点,即自动驾驶机器人^[6](也是被人们所熟知的无人驾驶智能车辆),这项研究也是国内外研究机构竞相研发的热点^[7-11]。自动驾驶机器人是机器人与车一体的轮式机器人,已经能够实现现在没有人类驾驶人干预的情况下自动驾驶。

由以上分析可以看出,之前人们所研究的机器人都是在人类的掌控之中,并不能实现自主。2013 年 12 月, DARPA 举办的机器人挑战赛,希望能够实现机器人更多的自主权,能够像个人一样去完成和实现一些事情,比如开车。这是在所有的竞赛任务中难度最大的一个,任务中对机器人的基本要求是,能够顺利的到达指定救援地点。比赛最终由 SCHAFT 公司的机器人夺冠,比赛中,有参赛队伍已经能够完成开车的任务。但由于视野有限,只能采取分段处理的方式,行驶一小段停下来,再继续行驶到下一个点的位置。在国内还并没有关于机器人驾驶汽车的相关研究。因此,本文在机器人驾驶汽车行驶的研究中,对问题进行了简化,采用人工遥控的方式来辅助机器人驾驶。主要是在机器人所拍摄图像上人工确定一点可行驶的地点,通过对图像信息及给定点的信息处理,得出到达指定点位置所需要的方向盘角度,实现机器人驾驶过程中的路径规划,从而帮助类人机器人快速准确的到达指定地点。

1 机器人驾驶车辆行驶辅助线研究

在分析机器人驾驶车辆的过程之前,首先需要理解驾驶汽车机器人与自动驾驶机器人的区别。

1.1 驾驶汽车机器人

关于自动驾驶机器人的研究已有很多,也被人们所熟知。自动驾驶机器人行驶的主要工作原理是:使用视频摄像头、雷达传感,以及激光测距器等来了解周围的交通状况,并通过一份详尽的地图(通过有人驾驶汽车采集的地图)对前方道路进行导航。而机器人驾驶汽车则是在未知的环境中(即没有关于此环境的地图),且车辆本身并无任何感知及识别辅助工具,只能要求机器人本身像人类一样对前面的道路进行识别及判断,并自主操纵方向盘,实现车辆的驾驶过程。因此,可以看出驾驶汽车机器人完成驾驶汽车的过程比

自动驾驶机器人的驾驶过程需要解决的问题更多。

1.2 车辆运动学建模

为了分析路径生成过程,首先对车辆的运动学模型进行分析。

由于类人机器人驾驶汽车的场地限制,汽车在行驶时车速较低(限速 15km/h)。在这种情况下可以将车体看作是一个刚体^[12],车轮在缓慢行驶过程中没有侧向力作用,可认为车轮只做滚动和侧转,而不会发生滑动,以此来建立模型如图 1 所示:

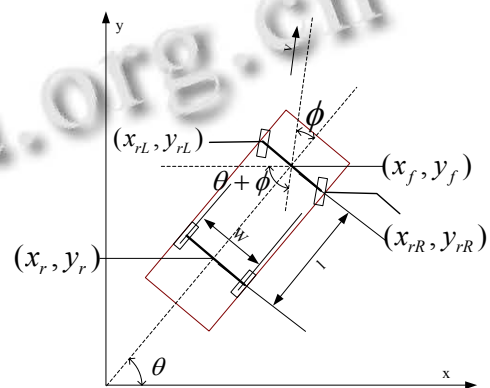


图 1 车辆运动学模型

其中 (x_f, y_f) 是前轴中心点坐标, (x_r, y_r) 是后轴中心点坐标, (x_{rL}, y_{rL}) 是左前轮坐标, (x_{rR}, y_{rR}) 是右前轮坐标, v 是前轴中心点速度, l 是轴距, w 是轮距, ϕ 是前轴中心点转向角, θ 是车辆中心轴与水平方向的夹角。

分析可得出车辆前轮轴中心的运动轨迹为:

$$(x_f - a)^2 + (y_f - b)^2 = (l \cdot \csc \phi)^2 \quad (1)$$

其中:
$$\begin{cases} a = x_{f0} - l \cdot \csc \phi \cdot \sin \theta_0 \\ b = y_{f0} - l \cdot \csc \phi \cdot \cos \theta_0 \end{cases}$$

$(x_{f0}, y_{f0}, \theta_0)$ 为 (x_f, y_f, θ) 的初始值。

可见 (x_f, y_f) 的运动轨迹为一个标准圆,同理可以得出车身上任意一点的轨迹均为一个标准圆。

1.3 车辆转向过程分析

车辆行驶的辅助线就是车轮随着方向盘转角转动的运动轨迹线。我们要求出这个轨迹线,需要研究车轮运动轨迹与方向盘转角之间的关系。

车辆的运动轨迹是通过驾驶者操纵方向盘改变转向轮的转角来实现的,所以要研究出车轮转角与车轮运动轨迹的关系,必须对车辆的转向过程进行分析。

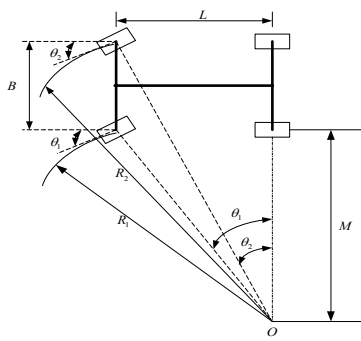


图 2 车辆转向过程分析

汽车设计时, 为了避免汽车转向时产生的路面对汽车行驶的附加阻力和轮胎的过快磨损, 要求转向系统能保证在汽车转向时, 所有车轮均作纯滚动. 显然, 只有在所有车轮的转向轴线均交于一点时方能实现, 此交点 \$O\$ 称为瞬时转向中心(如图 2 所示). 显然车辆内侧转向轮的转角 \$\theta_1\$ 大于外侧转向轮的转角 \$\theta_2\$.

由于类机器人在驾驶汽车的过程中, 一直保持低速的状态, 所以作用于车体的离心力较小, 由此而产生的悬架弹簧变形和轮胎的侧向变形可以忽略. 由此我们可以将车轮假设成绝对刚体, 那么车辆在转向时其导向轮旋转面将重合于车轮中心平面, 我们就可以通过导向轮的转角参数, 通过数学方法最终计算出转弯半径.

内外转向轮的转角满足如下的关系:

$$\cot \theta_1 - \cot \theta_2 = \frac{oe}{de} - \frac{og}{fg} = \frac{B}{L} \tag{2}$$

其中:

\$B\$ 为车辆左右转向轮转向主销轴线与地面交点之间的距离, 近似等于车辆的轮距.

\$L\$ 为车辆前后轴之间的距离.

车辆两个前轮的运行轨迹的确定另外取决于三个参数:

\$M\$——车辆内侧轴线与 \$O\$ 点之间的距离;

\$R_1\$——转向时车轮内侧运行轨迹半径;

\$R_2\$——转向时车轮外侧运行轨迹半径.

根据图 2, 有以下几何关系:

$$R_1 = L \cdot \cot \theta_2 - B \tag{3}$$

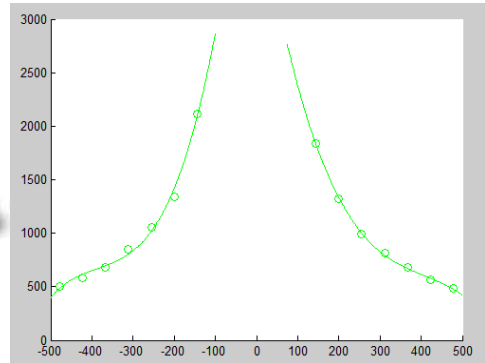
$$R_2 = L \cdot \csc \theta_2 \tag{4}$$

由 \$\theta_1\$ 和 \$\theta_2\$ 之间的关系, 可推出:

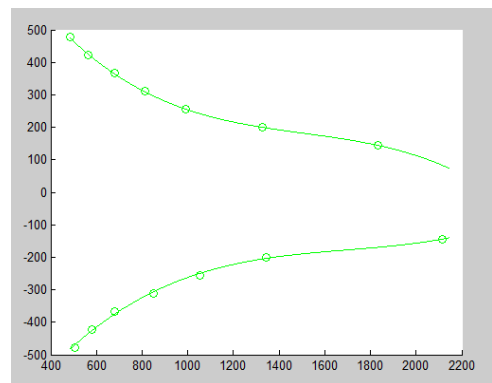
$$R_1 = L \cdot \sqrt{\left(\cot \theta_2 + \frac{B}{L}\right)^2 + 1} \tag{5}$$

根据式(4)和式(3)就可以看出车辆前轮的运动轨迹随转角参数变化而变化.

通过对实际车辆进行实验, 再左转和右转两种情况下各测出 7 组方向盘转角与转弯半径的数据, 对这 7 组数据进行曲线拟合.



(a) 方向盘转角与转弯半径的拟合曲线



(b) 转弯半径与方向盘转角的拟合曲线

图 3 方向盘转角与转弯半径的拟合曲线

由上图 3 中图(a)和图(b)可以看出, 方向盘转角与转弯半径之间有很好的拟合关系.

1.4 辅助线获取方法

由于在未知的复杂环境中, 给机器人驾驶过程带来了更大的困难. 为了使机器人可以驾驶车辆更准确快速的行驶, 利用人工在机器人所拍摄的图像上确定一个点作为机器人下次行驶到达的地点. 而相机的成像过程是一个从 3 维空间到 2 维空间的投影过程. 即从世界坐标系 \$(X_w, Y_w, Z_w)\$ 到像素坐标系 \$(u, v)\$ 的坐标变换的过程. 由于在整个过程中, 我们所需要获得及处理的点均在地面上, 因此 \$Z_w\$ 的值在标定的过程

中不予考虑. 则可以标定得到如下的关系:

$$w \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

由上式可得:

$$\begin{cases} w = p_{31}X_w + p_{32}Y_w + p_{33} \\ u = (p_{11}X_w + p_{12}Y_w + p_{13}) / w \\ v = (p_{21}X_w + p_{22}Y_w + p_{23}) / w \end{cases}$$

其中 p_{ij} 为转换矩阵的参数, 在对机器人与车辆进行标定之后, p_{ij} 的参数是已知的. 故在图像中选取一个点, 获得该点的像素坐标 (u, v) .

同理也可得世界坐标系中的坐标点与像素坐标之间的对应关系:

$$\begin{cases} K = h_{31}u + h_{32}v + h_{33} \\ X_w = (h_{11}u + h_{12}v + h_{13}) / K \\ Y_w = (h_{21}u + h_{22}v + h_{23}) / K \end{cases}$$

因为车身上的任意一点的轨迹均为一个标准圆, 故可对前轮车轴中心点的运行轨迹进行如下分析:

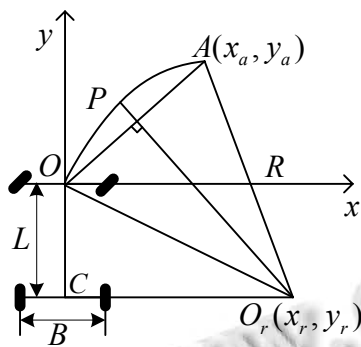


图 4 前车轴中点的运行轨迹分析图

如图 4 所示, 其中 R 为轨迹圆的半径, O 点为 xy 坐标系中的原点位置, 这里为了方便分析, 则假设原点位置即为前车轴的中心位置. $A(x_a, y_a)$ 为前车轴中心点的下一个位置, 也就是 O 点的下一个位置点. 我们可以看出若使车辆可以成功行驶到 $A(x_a, y_a)$ 位置, 则车子行驶时的转弯半径是一个定值. $O_r(x_r, y_r)$ 即为行驶轨迹圆的圆心位置. OP 为弦长 OA 的垂直平分线, 已知其过圆心. C 点为后车轴的中心位置, 故 C 点的坐标为 $(0, -L)$, 由理论分析可

知轨迹圆的圆心在后车轴的延长线上. 所以直线 OP 与直线 OC 的交点即为圆心.

直线 OP 的方程为:

$$y = -\frac{x_a}{y_a}x + \frac{x_a^2}{2y_a} + \frac{y_a}{2} \quad (6)$$

直线 OC 的方程为:

$$y = -L \quad (7)$$

两直线的交点 $O_r(x_r, y_r)$ 的坐标可求出为:

$$\left(\frac{x_a}{2} + \frac{2Ly_a + y_a^2}{2x_a}, -L \right)$$

由以上条件就能得到:

$$R = \sqrt{x_r^2 + y_r^2} \quad (8)$$

在 1.3 节中讨论到, 转弯半径与方向盘转角有对应的关系, 因此我们可以在转弯半径已知的情况下, 求出相对应的方向盘转角信息.

机器人则可以根据得到的方向盘转角信息, 给出车辆的行驶辅助线, 并将辅助线的信息作为控制车辆行驶参考, 从而使得机器人更加准确的控制方向盘实现车辆行驶过程.

2 车辆行驶辅助线仿真结果

车辆行驶辅助线的系统仿真是在 `mat lab` 平台下进行的, 主要考虑到可以提高仿真的精确度, 且图像中有网格, 可以更清楚的判定结果的准确性, 图像采用的是相机的标定图像. 仿真结果如图 5 所示.

在图 5 的五幅图中, 红色的星号点为人工在图片上点的位置, 即为期望的下一位置点, 蓝色的实线为两前轮的可行驶的辅助线, 蓝色的点横线为前车轴中间点的可行驶辅助线. 在仿真的过程中, 首先在图像中给出期望点的位置, 在选取期望点时, 考虑到能够更好地帮助看出仿真结果是否有效, 故选择网格点的位置作为目标点. 由于车辆中的方向盘的角度有限, 也就对应了车辆有最小的转弯半径, 因此我们在给出车辆行驶辅助线的同时, 以右方向为正方向, 给出方向盘转角的大小. 若方向盘转角超出了可使用的范围 (约为 $-540^\circ \sim 540^\circ$), 则视为无效.

在图 5 的仿真结果图中, 可以看出蓝色的点横线均能够过红色的星号点位置, 且每一幅图像中均给出其对应的方向盘角度信息, 在方向盘角度的可用范围内, 可以看出仿真的结果满足期望要求.



(a)左转 方向盘角度: -486.0°



(e)右转 方向盘角度: 204.1°



(b)直行 方向盘角度: 0°



(c)右转 方向盘角度: 480.5°



(d)左转 方向盘角度: -183.9°

图 5 MATLAB 的仿真结果

3 结论

通过在 MATLAB 下的仿真, 验证了本文提出的机器人驾驶汽车行驶辅助线算法的可行性。

类机器人的存在是必然的, 人类需要它们来做许多人类所不能做或者对人类的生命财产有威胁的事情。而在机器人驾驶汽车的研究方面, 高效率准确的机器人驾驶水平, 对机器人在救灾方面的研究有着极其重要的意义。因此在以后的研究中, 将着重实现对机器人遥控驾驶汽车的实车验证及参数修正, 使得机器人能够在遥控的过程中安全有效的驾驶。

参考文献

- 1 柳玉龙. 煤矿搜救机器人的研究现状及关键技术分析. 矿山机械, 2013, 41(3): 7-12.
- 2 Yoshida T, Nagatani K, Tadokoro S, et al. Improvements to the rescue robot quince toward future indoor surveillance missions in the fukushima daiichi nuclear power plant. Springer Tracts in Advanced Robotics, 2014, 92: 19-32.
- 3 薛金林, 张为公, 龚宗洋. 汽车驾驶机器人关键技术与发展. 机器人技术与应用, 2007, 3: 36-40.
- 4 Chen G, Zhang W, Zhang X. Speed tracking control of a vehicle robot driver system using multiple sliding surface control schemes. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2013, 10.
- 5 Chen G, Zhang W, Zhang X. Fuzzy neural control for unmanned robot applied to automotive test. Industrial Robot: An International Journal, 2013, 40(5): 450-461.
- 6 Nonami K, Kartidjo M, Yoon KJ, et al. Autonomous Control Systems and Vehicles: Intelligent Unmanned Systems.

- Springer, 2013.
- 7 Minh VT. Trajectory generation for autonomous vehicles. *Mechatronics*, 2013: 615–626.
- 8 Minh VT. Vehicle steering dynamic calculation and simulation. *Proc. of 23rd Symp DAAAM International*. Vienna. 2012. 237–242.
- 9 Niccolini M, Pollini L, Innocenti M. Cooperative control for multiple autonomous vehicles using descriptor functions. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2014, 3(1): 26–43.
- 10 Wang JH, Yu L, Zhang G, Chen WH, et al. An adaptive trajectory tracking control of wheeled mobile robots. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. Beijing, China. 2011. 1156–1160.
- 11 Martinet P, Laugier C, Nunes U. Special issue on perception and navigation for autonomous vehicles. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2014, 21(1): 26–27.
- 12 杨妮娜. 基于视觉的泊车辅助系统的研究[硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn