

未知环境下的移动机器人仿真平台设计*

林俊,林凯,谷兵,王苏卫
(湖南师范大学,湖南长沙410081)

摘要:从理论上分析了机器人控制系统和检测外部环境的传感器,并在该基础上阐述了航姿推算定位算法。利用 Matlab GUI 设计了移动机器人的控制仿真平台,并通过算法对超声波测距进行了模拟。最后,设计模糊控制器应用于该仿真平台对移动机器人进行实时控制。仿真结果表明,在非结构化的未知环境中,系统响应速度快,实现了机器人从起点到静态目标点的安全行驶。

关键词:移动机器人;仿真;模糊控制

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)16-0069-03

Design of mobile robot's simulation platform in the unknown environment

LIN Jun, LIN Kai, GU Bing, WANG Su Wei
(Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Firstly, this paper analyses the system's structure, and disposes the sensor reasonably to apperceive the external environment. Next, this paper analyses kinematics model of the mobile robot and the localization algorithm—dead reckoning, and designs the simulation platform of the mobile robot based on Matlab GUI. The system simulates the ultrasonic sensor using algorithm. Finally, the system designs fuzzy controller for this simulation platform to control the robot. The results of simulation indicate that the system has quick response speed, and can realize safe track from the beginning to the static target under the non-structural unknown environment.

Key words: mobile robot; simulation; fuzzy control

移动机器人是当今学科研究的热点之一,而控制算法在机器人领域中处于核心地位。目前,常用于移动机器人智能控制的算法主要有:PID控制、模糊控制、神经网络控制等^[1-2]。还有一些相对特殊的控制方法,譬如参考文献[3]中提及的基于风险评估的路径规划方案等。每种算法的原理不同,一般对外界信息的依赖性较大。若根据算法要求开发硬件平台,其电路的设计、PCB板的制作以及电路的调试等一系列繁琐的研发工作对算法的验证将造成极大不便^[4]。Matlab提供的可视化界面环境GUI,其与VB相似的功能可以很方便地创建用户界面形式。因此,本文利用Matlab GUI设计一种用于移动机器人路径规划的控制仿真平台。

1 系统控制体系组成

移动机器人的控制体系结构定义为:一种能把多种模块有机地结合起来,从而在环境中完成目标任务的机器人结构框架。本系统主要完成未知环境下移动机器人的路径规划,所以系统设计了多个模块构成整个控制系统。如图1所示,控制体系主要包含的功能有:感知、定

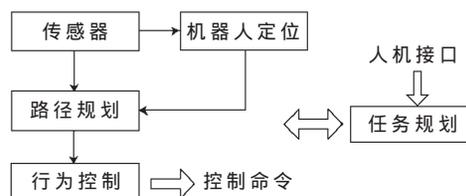


图1 控制体系结构图

* 基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(No.06C519)

技术与方法 Technique and Method

位模块、路径规划、行为控制以及任务规划。

1.1 传感器模型

1.1.1 里程计与罗盘计

里程计用于测量移动机器人的行驶距离,主要由驱动轮内侧的码盘信号计算出单个驱动轮角速度信息,从而根据运动学模型计算出行驶距离。罗盘计基于指南针原理,用于测量机器人的车身角度。

1.1.2 超声波测距

超声波测距原理采用时间差测距法,可表示为:

$$D = \frac{1}{2} C \times \Delta t \quad (1)$$

式中, D 为超声波传感器与障碍物之间的距离, C 为超声波速度, Δt 为发射和接收之间的时间差。

1.2 移动机器人模型

1.2.1 机器人运动学模型

本设计研究的是双轮差分驱动式移动机器人,由两个驱动轮和一个随动轮组成。两驱动轮之间的轴间距离为 d , 驱动轮半径为 r , 其轴间连线中点为 M , 坐标为 (x_M, y_M) , 如图 2 所示。

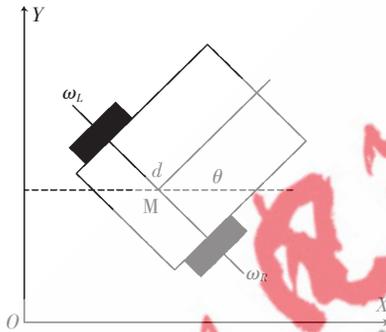


图 2 移动机器人运动学模型

令左、右两驱动轮的角速度分别为 ω_L 和 ω_R , 机器人车身与 X 轴的夹角为 θ , 则关于 M 点的机器人运动学方程为:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_M \\ \dot{y}_M \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \theta & \frac{r}{2} \cos \theta \\ \frac{r}{2} \sin \theta & \frac{r}{2} \sin \theta \\ -\frac{r}{d} & \frac{r}{d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据式(2)可求得 M 点的线速度和角速度, 即:

$$v_M = \sqrt{\dot{x}_M^2 + \dot{y}_M^2} = \frac{r}{2} (\omega_R + \omega_L) \quad (3)$$

$$\omega_M = \dot{\theta} = \frac{r}{d} (\omega_R - \omega_L) \quad (4)$$

令平台转弯半径为 R 。由于 $v_M = \omega_M \times R$, 则:

$$R = \frac{v_M}{\omega_M} = \frac{d}{2} \left| \frac{\omega_R + \omega_L}{\omega_R - \omega_L} \right| \quad (5)$$

从上式可以看到, 当 $\omega_L = \omega_R$ 时, 转弯半径为无穷大, 机器人做向前或向后方向的直线运动; 当 $\omega_L = -\omega_R$ 时, 转弯半径为 0, 平台绕 M 点原地旋转。

1.2.2 航姿推算定位法

双轮差分驱动式移动机器人的运动分为直线模式和弧线模式两种, 本设计采用相对简单的直线模型。离散化航姿推算定位法形式为:

$$\begin{cases} x_n = x_{n-1} + \cos \theta_n \times \Delta s \\ y_n = y_{n-1} + \sin \theta_n \times \Delta s \\ \theta_n = \theta_{n-1} + \theta_j \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中, (x, y) 为机器人的坐标值, θ 为机器人车身与 X 轴之间的夹角, 定义 $(x_{n-1}, y_{n-1}, \theta_{n-1})$ 为上一时刻移动机器人的位姿, (x_n, y_n, θ_n) 为当前机器人的位姿, θ_j 为控制决策的转向角度, Δs 为行驶步长。进一步分析, Δs 越小, 定位效果越好, 但是会造成系统计算量增大。需要根据机器人的行驶环境大小来设定 Δs 。

定义终点坐标为 $T(x_T, y_T)$, 当前时刻机器人车身方向与目标点的夹角为 $\Delta \theta_n$ 。将坐标轴平移到当前机器人坐标, 则新坐标轴下终点的坐标为 $T'(x_T - x_n, y_T - y_n)$, 如图 3 所示。计算新坐标中原点与 T' 之间的正弦和余弦值为:

$$\begin{cases} \sin \theta_T = \frac{y_T - y_n}{\sqrt{(x_T - x_n)^2 + (y_T - y_n)^2}} \\ \cos \theta_T = \frac{x_T - x_n}{\sqrt{(x_T - x_n)^2 + (y_T - y_n)^2}} \end{cases} \quad (7)$$

对式(7)判断符号后即可确定 θ_T 所在的象限, 再分别求反三角函数即可在 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 范围内唯一确定 θ_T 。最后将 θ_n 减去 θ_T 再确定到 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 范围, 即可得出 $\Delta \theta_n$ 值。

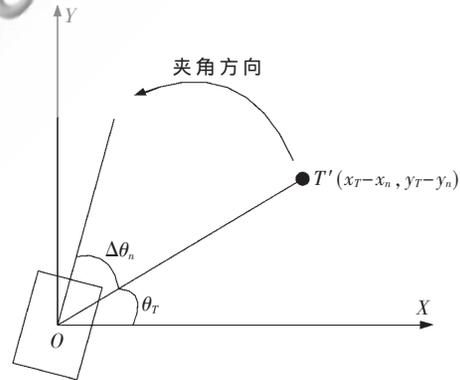


图 3 新坐标下的机器人夹角示意图

2 移动机器人仿真平台建立

本文利用 Matlab GUI 设计人机交互方式的二维平面环境模型^[5], 可以设置移动机器人的行驶环境大小、起点和终点, 通过文本设计方法再加鼠标设置可以绘制障碍物区域。利用文本设置的行驶环境大小、起点与终点设置, 障碍物相对简单。鼠标设置相对复杂, 需要响应鼠标事件。当鼠标左键单击白色坐标轴有效范围时, 系统响应单击事件记下第一个点的坐标值, 然后鼠标划过一段区域后释放, 系统响应释放事件记下第二个点坐标值。通过两点坐标值即可唯一确定一个矩形障碍物。

技术与方法 Technique and Method

本设计模拟超声波的测距方案,对机器人正前、左 45° 、右 45° 三个方向进行距离检测,如图4所示。系统将机器人看作一个质点, S_0 、 S_1 、 S_2 分别代表正前、左 45° 、右 45° 三个方向上的超声波传感器。

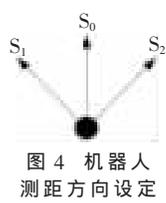


图4 机器人测距方向设定

通过算法实现的机器人测距原理相对复杂,如图5所示。首先确定出障碍物四个顶点,即 $M1(x_{M1}, y_{M1})$ 、 $M2(x_{M2}, y_{M2})$ 、 $N1(x_{N1}, y_{N1})$ 、 $N2(x_{N2}, y_{N2})$,然后通过line函数画出矩形框,并对机器人质点S的前方用line绘制一条直线并与障碍物相交。由于line函数属于直线绘制,故射线与矩形框相交为A、B、C、D四个交点。当设置合理障碍物区域,即当交点横坐标不属于 $[x_{M1}, x_{M2}]$ 范围或者交点纵坐标不属于 $[y_{N1}, y_{N2}]$ 范围时,系统定义该交点为无效点。因此,系统可排除C、D两点。最后,运用两点距离公式求出SA、SB的距离 d_{SA} 、 d_{SB} ,然后取两者最小值即可得出机器人前方障碍物的距离信息 d_0 ,即 $d_0 = \min(d_{SA}, d_{SB})$ 。利用相同方法也可得出机器人左 45° 和右 45° 的障碍物距离信息 d_1 和 d_2 。系统将三个距离信息值用一个向量D表示,即 $D = [d_0, d_1, d_2]$ 。

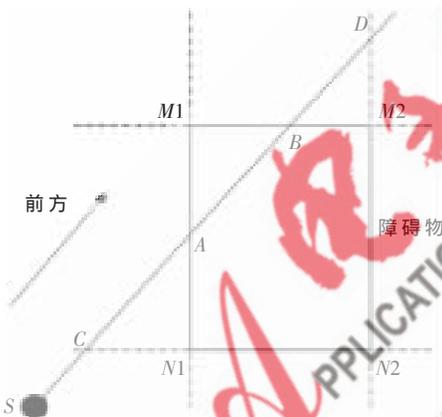


图5 机器人测距原理图

3 建立模糊控制器

Matlab 提供了强大的模糊推理系统编辑器(Fuzzy),通过选择、编辑界面中的选项和文本,即可生成机器人模糊控制系统^[6]。将距离向量D和机器人车身方向与目标点的夹角 $\Delta\theta$ 作为输入,将机器人转向装置控制量 θ_j 作为输出,建立MISO模糊控制系统。

系统设置输入隶属函数:

(1)将 d_0 、 d_1 、 d_2 分为N(近)、M(中)、L(远)三个模糊集,隶属函数形状为梯形。

(2)车身与目标点的夹角 $\Delta\theta$ 取NZ、FZ,分别表示目标点位于小车左侧和右侧,从而建立隶属函数:当 $\Delta\theta \geq 0$ 时,隶属度为FZ;当 $\Delta\theta < 0$ 时,隶属度为NZ。其中 $\Delta\theta$ 的范围为 $[-180^\circ, 180^\circ]$ 。

转向装置控制量 θ_j 的模糊集合取:LL(左大转弯)、LM(左中转弯)、LS(左小转弯)、Z(保持)、RS(右小转弯)、

RM(右中转弯)和RL(右大转弯)七档,隶属函数取三角形。

系统根据汽车驾驶经验制定了54条基于IF-THEN形式的模糊控制规则,并设置重心法为去模糊方式。当设定输入 $D = [37.9, 47.7, 135]$, $\Delta\theta = 22.2^\circ$ 时,模糊系统首先触发控制规则库中的有效规则,并通过分析决策,推理出转弯量 3.29° 。由于控制规则很多,这里只给出该情况下输入、触发的规则以及最后去模糊结果,如图6所示。

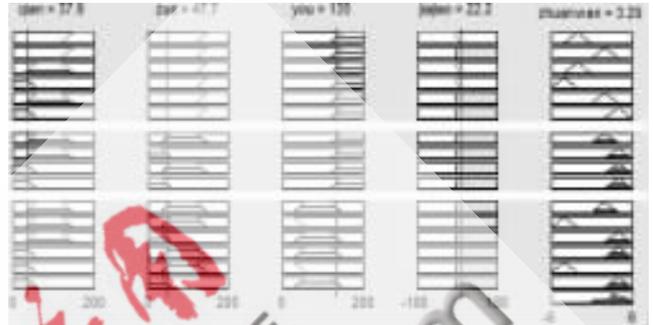


图6 模糊控制器运行结果

4 仿真

本设计平台对移动机器人的本身和行驶环境作如下假设:(1)车轮只能在地面上正常滚动,不发生侧向滑动;(2)机器人在二维平面内运动,运动表面平整。

对于随机的未知环境,系统设置:X轴和Y轴的坐标显示范围为 $[-100, 1000]$ 。起点A(0,0),终点B(900,900);机器人初始行驶角度为0; Δs 为0.5。通过鼠标随机绘制障碍物。点击“运行”后,代替车体的半径为8的圆点开始实现以目标点为向导的避障行为,并显示出行为轨迹,结果如图7所示。

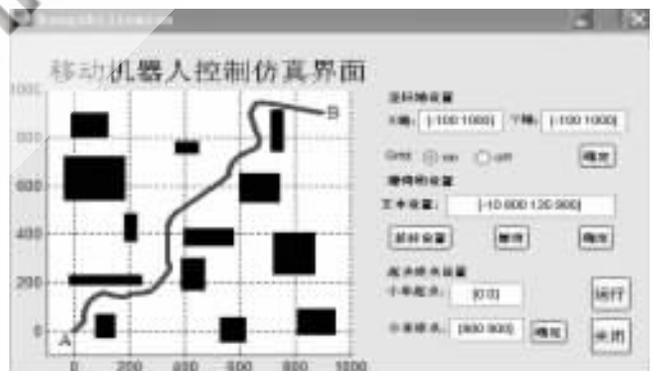


图7 移动机器人仿真结果示意图

图8所示为机器人车身角度变化示意图,对照图7,移动机器人在行驶过程中车身角度随障碍物的随机分布而变化。为了程序计算方便,角度一律取弧度值。

本设计介绍了移动机器人的基本结构和运动原理,并在此基础上实现了基于Matlab GUI的移动机器人控制仿真平台。将基于行为的模糊控制应用于机器人进行实时控制。仿真结果表明,移动机器人响应速度快,适应

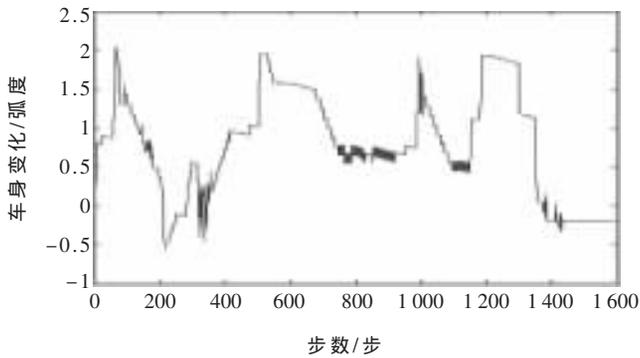


图8 移动机器人角度变化示意图

环境能力强,成功实现从起点到目标点的路径规划。

参考文献

- [1] QIN Guo Ping, YAO Wei, ZHANG Wei. Design of nonlinear optimization PID controller for BLDCM based on neuro-fuzzy identified model[C]. Proceedings of the Eighth

International conference. 2005, 2(27~29): 1524-1527.

- [2] 张洪宇,徐昕,张鹏程,等.双轮驱动移动机器人的学习控制器设计方法[J].计算机应用研究,2009,26(6): 2310-2313.
- [3] 高扬,孙树栋,黄伟峰.一种未知环境下的快速路径规划方法[J].计算机应用研究,2009,26(7): 2623-2626.
- [4] 梁毓明,徐立鸿.移动机器人多传感器测距系统研究与设计[J].计算机应用,2008,6(28): 340-343.
- [5] 刘保龙,何波,王永清,等.移动机器人未知环境地图构建仿真平台[J].系统仿真学报,2007,19(13): 2940-2943.
- [6] 吴晓莉,林哲辉. Matlab 辅助模糊系统设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.

(收稿日期:2010-03-30)

作者简介:

林俊,男,1971年生,副教授,博士研究生,主要研究方向:控制理论与控制工程、数字图像处理、智能信息处理。

林凯,男,1983年生,硕士研究生,主要研究方向:智能控制。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com