

四麦克纳姆轮式小车控制系统研究

易先军, 彭 萌, 耿翰夫, 付 龙

(武汉工程大学 电气信息学院, 武汉 430205)

摘要:针对常规智能小车避障缺陷以及移动灵活性不足,研究并设计了一种四麦克纳姆轮式小车控制系统。通过对麦克纳姆小车的运动模型分析,解算其底盘运动控制方程;采用模糊控制算法对超声波和红外传感器采集的环境信息进行模糊化处理;根据经验规则推理并解模糊输出各轮速度以实现避障。小车避障试验表明,该系统实现了Android App对小车全向运动的控制以及对小车相关信息显示,具有较好的交互能力。四麦克纳姆轮式小车工作于避障场景时能够自主避障,对进一步开展四轮式移动机器人的避障及人机交互等方面的研究有一定的参考价值。

关键词:麦克纳姆轮;智能车;车轮速度;安卓App;模糊控制算法

中图分类号:TN929.53;TP24 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-9944(2019)05-0019-04

Research on the Control System of Four Mecanum Wheeled Car

YI Xian-jun, PENG Meng, GENG Han-fu, FU Long

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: Aiming at the defect of obstacle avoidance and the lack of mobility flexibility of conventional intelligent car, a four-Mecanum wheeled car control system is studied and designed. Through the analysis of the motion model of the Mecanum car, the chassis motion control equation is solved. Fuzzy control algorithm is used to fuzzify the environmental information collected by the ultrasonic and infrared sensors. According to the empirical rules, the fuzzy output of each wheel speed is reasoned and solved to achieve obstacle avoidance. The vehicle obstacle avoidance test shows that the system realizes the control of the omnidirectional motion of the car by Android App and the display of the relevant information of the car, and has a good interaction ability. The four Mecanum wheel-type trolley can avoid the obstacle when working in the obstacle-avoiding scene, and has a certain reference value to the further research on the obstacle avoidance and human-computer interaction of the four-wheel mobile robot.

Key words: Mecanum wheel; intelligent car; wheel speed; Android application(App); fuzzy control algorithm

智能车的研究是移动服务机器人研究的一个重要分支,研究智能小车控制系统的实时性和精确性具有重要的理论和实际意义^[1-2]。随着科学技术的快速发展,智能车的避障问题成为控制领域的研究热点之一。目前,实现避障的方法主要有超声波避障、

视觉避障、红外传感器、激光避障、微波雷达等^[3-6]。针对常规单一传感器的智能小车存在的避障效率低、准确度差以及移动灵活性不足等问题,在此研究并设计了一套基于模糊控制算法的、以Android App为控制端的、满足多工作场景的四麦克纳姆轮

收稿日期:2019-03-11;修订日期:2019-04-15

作者简介:易先军(1975—),男,硕士,副教授,研究方向检测技术与智能仪器、机电传动与控制;彭萌(1993—),男,硕士,研究方向为检测技术及自动化装置。

式小车控制系统。

1 小车控制系统结构及工作流程

1.1 控制系统结构

四麦克纳姆轮式小车控制系统的总体结构如图1所示。该系统采用模块化设计,根据各模块实现功能的不同,可将该小车控制系统划分为以下几个部分:主控制器模块、移动控制端(Android App)、通信模块(蓝牙模块和PS2接收器)、环境信息采集模块(超声波传感器和红外传感器)、电机驱动模块、测速模块(光电编码器)、电源模块(12 V 蓄电池)等。

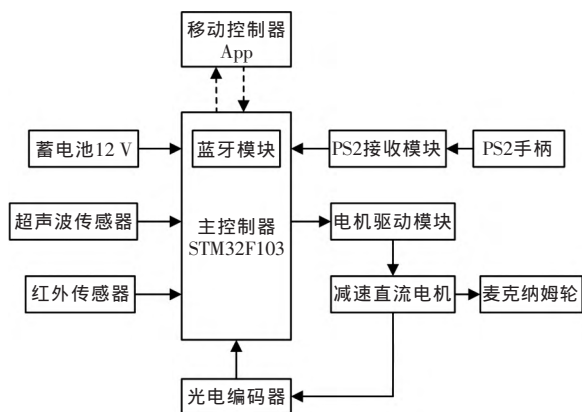


图1 小车控制系统结构

Fig.1 Structure of car control system

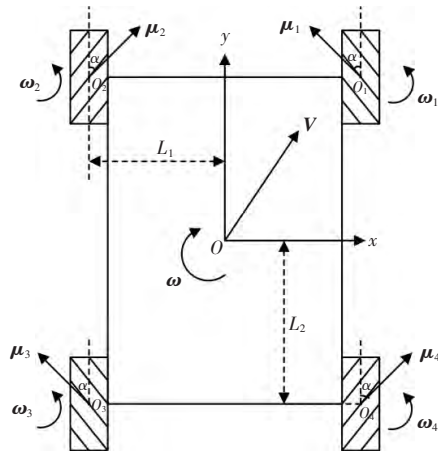
1.2 控制系统工作流程

小车控制系统的工作流程如下:在移动控制端App上选择小车的工作场景,通过通信模块将控制指令发送到小车;小车解析接收到的指令后,根据指令进行预定的动作。例如:当选择避障场景1或避障场景2时,主控制器利用模糊避障算法进行智能避障同时利用航迹推算法进行定位。可以根据运动模型控制小车的运动,驱动器、直流减速电机以及光电编码器会形成一个闭环控制,通过增量式PID调速算法控制各个电机的速度,从而使小车实现预定的运动。

2 小车的运动模型分析

全向运动小车采用四麦克纳姆轮式驱动结构来实现对小车的三自由度控制^[7],2个左旋轮,2个右旋轮,左旋轮和右旋轮呈手性对称。符合三自由度的安装方式有多种,在此仅以O-长方形(即4个轮子的辮子与地面接触所形成的图形)安装方式为

例,分析全向运动小车的逆运动学模型。小车的运动模型如图2所示。



1.右上轮;2.左上轮;3.左下轮;4.右下轮

图2 小车运动模型

Fig.2 Car movement model

图中,以小车的底盘几何中心O点为原点建立坐标系 xOy 。底盘的运动可以分解为3个分量 $[V_x, V_y, \omega]$,其中 V_x 为底盘沿 x 轴方向的速度,m/s; V_y 为底盘沿 y 轴方向的速度,m/s; ω 为底盘沿 z 轴自转的角速度,rad/s。车轮轴心处 O_i 的速度为 V_i ,m/s;轮绕轮轴转动的角速度为 ω_i ,rad/s;辮子速度为 μ_i ,m/s; $i=1,2,3,4$,分别为右上轮、左上轮、左下轮、右下轮; α 为麦克纳姆轮的轮轴与辮子转轴的夹角,在此取 $\alpha=45^\circ$ 。

右上轮轴心速度分析如图3所示。图中, r 为O点到右上轮中心点 O_1 点的距离,m; V 为轮子的轴心处 O_1 速度,m/s; V_r 为轮子轴心速度沿垂直于 r 方向(即切线方向)的速度分量,m/s。 V_i 为原点O点的速度,m/s; ω 为原点O点的角速度,rad/s。

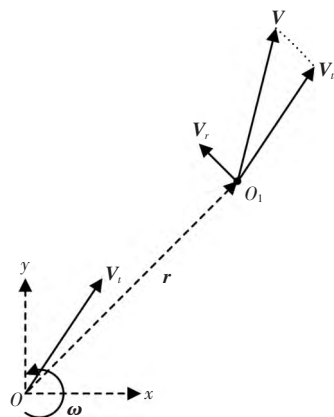


图3 右上轮轴心速度分析

Fig.3 Analysis of the upper right wheel axis speed

故 $V=V_i+\omega\cdot r$, 其在 x,y 轴方向的速度分量为

$$\begin{cases} V_x=V_{tx}-\omega\cdot r_y \\ V_y=V_{ty}+\omega\cdot r_x \end{cases} \quad (1)$$

同理,可以推算另外 3 个轮的轴心 O_2,O_3,O_4 处速度沿 x 和 y 轴方向的速度分量。轮子轴心速度 V 可以分解为沿辊子方向的速度 V_1 和垂直于辊子方向的速度 V_2 。垂直于辊子方向的速度 V_2 可以忽略。故

$$\begin{aligned} V_1=V\cdot\mu &=(V_x\cdot i+V_y\cdot j)\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}i+\frac{1}{\sqrt{2}}j\right)= \\ &-\frac{1}{\sqrt{2}}V_x+\frac{1}{\sqrt{2}}V_y \end{aligned} \quad (2)$$

式中: μ 为轮子轴心速度 V 沿辊子方向的单位矢量。又轮轴角速度 ω 与辊子的速度关系为

$$\omega=\frac{1}{\cos 45^\circ}V_1=-V_x+V_y \quad (3)$$

结合式(1)~式(3),可得四轮轮轴角速度 ω 与底盘几何中心的速度关系,即小车底盘的逆运动学关系式为

$$\begin{cases} \omega_1=V_y-V_x+\omega(L_1+L_2) \\ \omega_2=V_y+V_x-\omega(L_1+L_2) \\ \omega_3=V_y-V_x-\omega(L_1+L_2) \\ \omega_4=V_y+V_x+\omega(L_1+L_2) \end{cases} \quad (4)$$

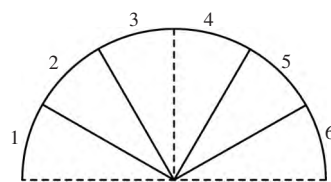
由式(4)可知,若要实现小车的不同运动状态,只要调节各麦克纳姆轮的转速便可实现。

3 小车控制系统软件设计

3.1 小车模糊避障控制模型

由于单个传感器具有不确定性、观测失误和不完整性等弱点,因此单层数据融合限制了系统的能力和鲁棒性^[8]。在此,结合多传感器信息融合技术,在小车底盘的左、前、右 3 个方向分别安装超声波传感器和红外传感器,以获取未知环境的障碍物距离信息,通过红外传感器弥补超声波测距的缺陷,利用航迹推算法定时推算小车与目标物的方位角。

传感器的整体布局如图 4 所示。图中,1,3,5 为小车底盘上 3 个超声波传感器编号;2,4,6 为小车底盘上 3 个红外传感器编号。传感器 1 和 2 组成小车左方障碍物的测距组;传感器 3 和 4 为前方的测距组;传感器 5 和 6 组成右方的测距组。每组的距离信息中选取较小的数据作为该组的输入。



1~6 为传感器编号

图 4 小车传感器布局示意图

Fig.4 Schematic diagram of the car sensor layout

3.2 小车模糊控制器的输入与输出

在图 5 所示小车模糊避障系统中,将模糊控制器的输入变量设为 4 个:左前方障碍物距离的信息 LD;正前方障碍物距离信息 FD;右前方障碍物距离信息 RD;目标点相对于小车的角度 θ 。通过对小车运动模型的分析可知,控制小车底盘几何中心 O 点的水平速度和垂直速度,即可控制小车实现全向速度,故控制器的输出变量设为 2 个——小车底盘几何中心的水平速度 V_x 和垂直速度 V_y 。

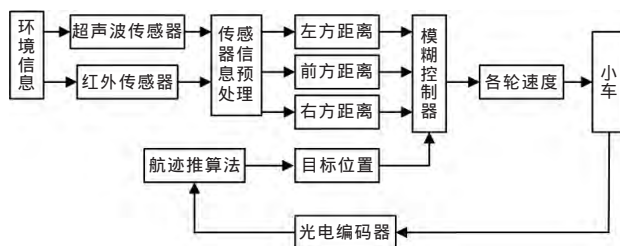


图 5 小车模糊避障系统

Fig.5 Car fuzzy obstacle avoidance system diagram

通过模糊化语言将 3 组传感器检测环境信息以及目标角度转换为模糊控制器的输入变量。障碍物左边距离值 LD,前方距离值 FD 和右边距离值 RD 的模糊语言变量均为 $\{SD, MD, BD\}=\{\text{Small Distance, Middle Distance, Big Distance}\}$, 论域为 $[0, 2.4]$, 表示 0~2.4 m。定义小车距离障碍物的安全距离为 0.8 m。

目标点相对于小车的角度 θ 的模糊语言变量为 $\{L, F, R\}=\{\text{Left, Front, Right}\}$, 论域为 $[-90, 90]$, 表示 $\pm 90^\circ$ 。定义目标角度,在 $-30^\circ\sim 30^\circ$ 时为 F;小于 -30° 时为 L;大于 30° 时为 R。

小车底盘的水平速度 V_x 和垂直速度 V_y 的模糊语言变量均为 $\{NB, NS, ZO, PS, PB\}=\{\text{Negative Big, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Big}\}$, 论域为 $[-0.3, 0.3]$, 表示 ± 0.3 m/s。定义水平速度向右为正向,垂直速度向前为正向。各模糊变量采用基本的三角形和梯形隶属度函数。

3.3 小车的模糊控制规则

文中模糊推理采用 Mamdani 的 max-min 合成法,去模糊化输出采用面积中心法^[9]。模糊规则是模糊控制的核心,采用 IF-THEN 条件语言,组成 $N=81$ 条模糊控制规则。在小车工作于避障场景时,由传感器采集环境信息数据,经模糊处理后,输入到设计好的模糊规则表中进行匹配判断,然后根据判断结果去模糊化输出底盘水平速度和垂直速度。以小车的左侧近距离具有障碍物为例,列出的部分模糊控制规则见表 1。

表 1 部分模糊控制规则
Tab.1 Partial fuzzy control rule

LD	FD	RD	θ	VX	VY
SD	FD	FD	L	NS	PB
SD	MD	FD	L	NS	PB
SD	SD	FD	L	NS	PS
SD	FD	MD	L	NS	PB
SD	MD	MD	L	NS	PB
SD	SD	MD	L	NS	PS
SD	FD	SD	L	NS	PB
SD	MD	SD	L	NS	PB
SD	SD	SD	L	NS	PS
... ..					

3.4 小车 Android App 的设计

App 的开发环境为 MIT App Inventor 2。MIT App Inventor 2 是以可视化编程语言为基础的 Android 应用开发工具,用户只要根据自己的需求编写简单的代码拼装程序^[10],简化了用户开发 App 应用软件的步骤,缩短了开发时间。在此,手机 App 与小车之间采用蓝牙通信方式,利用配置成数据透传工作模式的蓝牙模块,手机 App 将控制指令发送到小车,实现对小车运动状态的控制。小车在运动的同时,会定时将自身运动状态等数据发送到手机 App 端来显示,以达到更好的交互。

4 小车的避障试验

将小车硬件移动平台初始化后,打开小车 Android App 应用软件,进入小车活动场景选择界面,选择场景后界面跳转到相应控制界面,通过蓝牙列表按钮连接小车,待手机与车载蓝牙连接后,就可以通过相应的功能键控制小车的运动。

以图 6 所示的 App 避障场景为例进行说明。此处选择的是场景 2,地图 1 的大小是 250×250 像素与小车的实际物理活动场景 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 成映射关系。待蓝牙连接后,通过点击目标配置按钮,打开地

图 1;在地图 1 的 xOy 坐标中点击任意位置,App 会将对应像素点位置(即图 6 中黑点位置)发送到小车。小车根据地图映射关系,从起点 O 点向目标点运动(每一次指定新的目标点后,上一次的终点位置成为新的起点),途中遇到障碍物时,会根据嵌入小车处理器的模糊避障控制算法避障。同时,定时上传各驱动轮速度等信息到 App,App 接收即时信息并显示出来。图 6 中,根据各电机速度可知,小车处于直线运动,黑色的点轨迹为小车的运动轨迹。

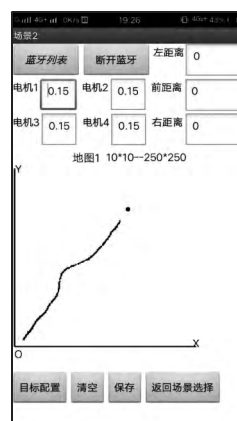


图 6 App 避障场景 2 界面

Fig.6 Interface of App obstacle avoidance scenario 2

5 结语

四麦克纳姆轮式小车控制系统,能够通过 Android App 实时地对小车的运动场景进行选择并控制小车的运动状态。所设计的小车硬件模块电路和相应的软件控制流程,实现了小车硬件移动平台与 PS2 手柄以及 Android App 之间的无线数据传输与控制,开发了 Android App 应用软件。最后对此系统进行测试,当小车处于避障场景中时,能自主避障并到达目标点;当处于其它场景如 PS2 手柄时,可以通过 PS2 手柄控制小车灵活运动。然而,还可在提高小车到达目标点的速度和位置精度,以及丰富 App 软件的数据分析功能上做进一步改进。

参考文献:

- [1] 陈威,陈静.基于多传感器的智能小车避障控制系统设计[J].工业控制计算机,2018,31(7):44-45.
- [2] 冯蓉珍.基于 ATmega128 的智能机器人小车控制系统设计[J].河北软件职业技术学院学报,2012,14(1):37-41.
- [3] 陈绍茹,陈奕梅.基于多传感器信息融合的移动机器人避障[J].传感器与微系统,2014,33(5):35-38.

(下转第 26 页)

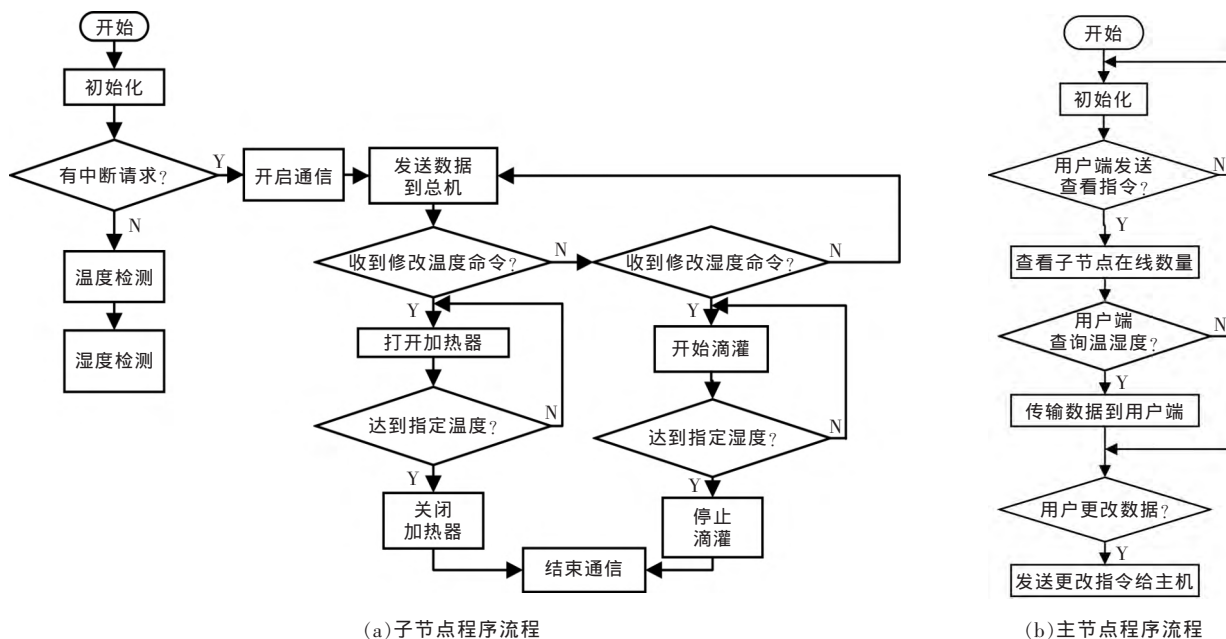


图4 系统程序流程

Fig.4 System program flow chart

用户端发送的指令主要有:查看指令——了解哪些从机在工作;查询温湿度指令——当发送该指令时从机会将大棚内温、湿度等数据发送过来;更改指令——执行该指令发出时从机会根据指令内容进行控制,使大棚内的加热器或水泵工作。

由图 4b 可见,主节点微处理器判断用户端是否向其发送查看指令,如果发送指令则先查看哪些从机处于工作状态,然后判断是否需要发送温湿度数据,根据发送过来的数据再判断是否需要更改大棚内的温度和湿度。

4 结语

科学技术在农业中的应用越来越广泛,由此实现的低功耗、低污染绿色农业具有利国利民的重大意义。文中描述了基于 LoRa 传输的农业大棚监测系统设计。该系统通过多传感器检测大棚内空气和

温湿度等,并将检测数据进行处理通过 LoRa 技术发送到主机,主机通过 SIM900A 以短信方式最终发送到用户端(如手机);手机与主机双向通信,手机发送指令改变环境参数,也可以发送指令在第一时间了解大棚内部的实际状况。通过对信息的及时处理,最终使大棚内作物产量增加,解放人工劳动力,实现农业自动化监控。

参考文献:

- [1] 荣朝和.互联网共享出行的物信关系与时空经济分析[J].管理世界,2018,34(4):101-112.
- [2] 李升芄.基于 RFID 的车间监测系统硬件设计及实现[D].大连:大连交通大学,2017.
- [3] 郭志龙.多仿生机器鱼分布式编队控制算法研究[D].兰州:兰州交通大学,2016.
- [4] 周姝颖.基于扩频通信的车载路况提示系统[D].成都:成都理工大学,2017.

(上接第 22 页)

- [4] 王檀彬,陈无畏,李进,等.多传感器融合的视觉导航智能车避障仿真研究[J].系统仿真学报,2009,21(4):1015-1019.
- [5] 彭美定,邓鹏.基于单片机的智能红外避障小车设计[J].无线互联科技,2017,14(3):74-76,104.
- [6] 李媛,刘莹.基于激光雷达的车辆避障控制研究[J].山东工业技术,2018,37(19):144-147.
- [7] 张忠民,郑仁辉.基于模糊 PID 的麦克纳姆轮移动平台的控制算

法[J].应用科技,2017,44(6):53-59.

- [8] 孙华,陈俊风,吴林.多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用[J].传感器技术,2003,22(9):1-4.
- [9] 黄漫国,樊尚春,郑德智,等.多传感器数据融合技术研究进展[J].传感器与微系统,2010,29(3):5-8.
- [10] 张居彦.移动 App 设计工具 Inventor[J].电子世界,2013,35(15):170-171.