



基于 STM32 的智能变速无碳小车设计

金翠红, 任亨斌, 任 红, 秦海波, 余文莎

(重庆大学 工程培训中心, 重庆 400044)

摘要: 电控无碳小车是一种重力势能驱动行进兼具循迹和避障功能的小车, 其速度控制尤为关键。该文为解决无碳小车依据赛道坡度智能变速这一问题, 采用光电传感器、红外对管和轻触开关, 设计了一种基于 STM32 的电控无碳小车。实验表明, 该小车不仅能够循迹和避障, 还可以根据赛道特征智能变速, 与其他需要固定赛道起点的电控无碳小车设计相比, 优势明显。

关键词: STM32; 无碳小车; 电控; 坡道检测; 自动变速

中图分类号: TH123

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20180381

Design of Intelligent Variable Speed Carbon-free Trolley Based on STM32

JIN Cuihong, REN Hengbin, REN Hong, QIN Haibo, YU Wensha

(Engineering Training Center, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The electronically controlled carbon-free trolley is a kind of gravitational potential energy-driven trolley that has both tracking and obstacle avoidance functions, and its speed control is particularly critical. In order to solve the problem of intelligent shifting of carbon-free trolleys according to the slope of the track, an electronically controlled carbon-free trolley based on STM32 was designed using a photoelectric sensor, an infrared pair tube and a touch switch. Experiments show that the car can not only track and avoid obstacles, but also intelligently change speed according to the characteristics of the track. Compared with other electronically controlled carbon-free cars that need to fix the starting point of the track, the advantages are obvious.

Key words: STM32; Carbon-free car; electronic control; ramp detection; automatic transmission

当今社会, 环境污染俨然已成为人们无法回避的社会热点问题, 无碳的理念逐渐深入人心。在通向无碳未来的道路上, 人们开始做着各种尝试和预演^[1]。与之成佐证的是, 高校为了提升大学生的环保意识, 培养大学生的工程实践能力, 已举办了四届的全国大学生工程训练综合能力竞赛(无碳小车设计大赛), 包括“S”形和“8”字形赛道, 涌现出了一大批优秀的作品, 如文献[2]设计了一种自适应赛道起点的“S”形无碳小车, 文献[3]建立了无碳小车运动的数学模型并通过 Matlab 进行了验证, 文献[4]开展了基于 C 语言无碳小车凸轮轨迹设计。此外, 文献[5]对已有无碳小车的设计进行了综述。2017 年, 在第五届全国大

学生工程训练综合能力竞赛项目中, 仍以“重力势能驱动的自控行走小车越障竞赛”命题, 但却加入了电控部分, 命题涉及机械设计、电路原理、信号获取和信号处理等众多学科领域知识。在市赛中, 各参赛队基本上采用设计 2 个不同传动比的绕线盘, 预先估算坡道距离, 来确定绕线圈数。尽管该方案实现简单, 能量损失小, 但前提是赛道起点固定, 无法适应赛道(坡道位置)变化。

鉴于此, 本文采用 STM32^[6] 嵌入式微控制器, 设计了一种智能变速无碳小车, 不仅可以自控行走成功避障, 而且不受赛道起点或坡道位置变化影响。与在阶梯轴上绕线来控制传动力矩上坡的小车相比, 小车对赛道的变化更具智能化。

收稿日期: 2018-08-11; 修回日期: 2018-10-01

基金项目: 2017 年重庆市教改项目(170313); 2017 年重庆大学教学改革研究项目(2017Y34)。

作者简介: 金翠红(1984-), 女, 本科, 实验师, 主要从事电子及自动化控制的实践教学与研究。

1 无碳小车工作原理

无碳小车是一种通过滑轮机构将重物下落的重力势能转化为小车前进的动能以实现小车行走, 并采用合理的机构, 来实现行走过程中正确转向并绕过障碍的装置^[7]。如果在机械装置的基础上, 增加电路控制模块, 便可升级为电控无碳小车, 如图1所示。

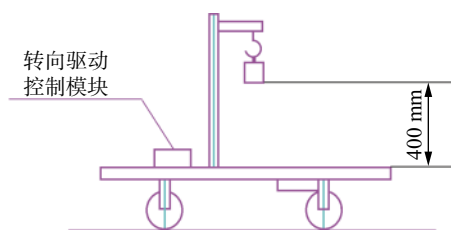


图1 无碳小车示意图

比赛中, 电控无碳小车采用三轮结构, 其中一轮为转向轮, 另外两轮为行进轮, 允许两行进轮中的一个轮为从动轮。小车应具有赛道障碍识别、轨迹判断及自动转向功能和制动功能, 这些功能可由机械或电控装置自动实现, 不允许使用人工交互遥控。主控电路必须采用带单片机的电路, 电路的设计及制作、检测元器件、电机(允许用舵机)及驱动电路自行选定。小车上安装的电控装置必须确保不能增加小车的行进能量。

电控无碳小车越障竞赛赛道为宽 1.2 m, 长约 15 m 的环形赛道, 赛道边缘有 80 mm 挡板, 赛道上间隔不等(随机)交错设置多个障碍墙, 障碍墙高度约 80 mm, 厚约 30 mm, 每个障碍墙从赛道一侧边缘延伸至超过中线约 100 mm, 且在直赛道上设置有一段坡道, 赛道中心由 20 mm 宽的黑色自喷漆绘制。

2 智能变速无碳小车设计方案

智能变速无碳小车设计方案主要分为机械结构设计和电路控制设计两大模块。机械部分包括车架、原动机构、传动机构和转向机构; 电路控制包括循迹、避障、上坡检测、下坡检测、舵机控制 5 个部分。小车整体结构图如图2所示。

2.1 机械结构设计

图1中, 砝码下降所产生的重力势能主要是克服地面与轮子之间的摩擦, 根据能量守恒定律有:

$$G \times h = m \times g \times h = f \times s \quad (1)$$

式中, G 为砝码的重力, h 为砝码下降的高度, f 为车轮与地面之间的摩擦力, s 为无碳小车的行进距离。可见, 无碳小车的机械结构设计和电路控制设计必须尽可能采用轻型结构和小密度材料, 减小摩擦力 f , 才能确保无碳小车能够行进更远的距离。

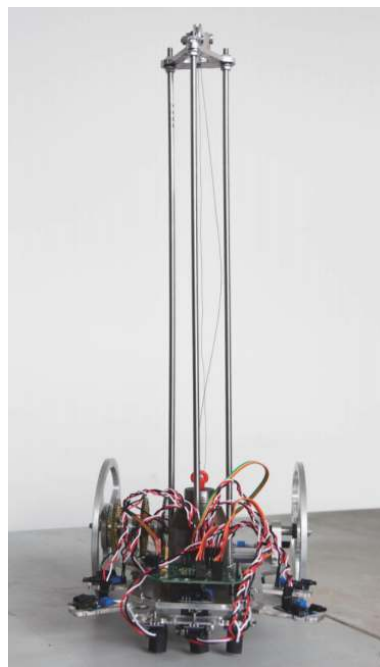


图2 无碳小车整体结构

越障无碳小车的机械结构设计包括转向机械结构设计和上下坡变速机械结构设计。其中, 转向机械结构采用舵机转动控制双摇杆机构, 驱动前轮转向, 如图3所示。

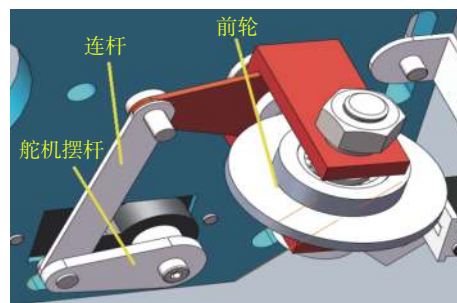


图3 转向机械结构

为了使无碳小车行进距离最大化, 本文设计了在上下坡时可以变换传动比, 兼具超越离合功能的变速机械结构。由于小车行进过程中有平路段和上下坡段, 为了使小车能够有足够的动力上坡而且能够跑得更远, 所以采用变传动方式^[8], 将传动分为零级传动和两级传动, 小车变速传动链如图4所示。

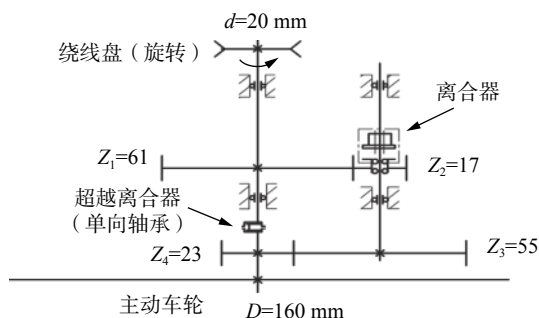


图4 小车变速传动链

上下坡传动时，砝码降落的重力势能直接传递给绕线盘，绕线盘通过主轴带动轮子转动。上坡为零级传动，在上坡时绕线盘与驱动轮所转圈数一致，砝码的下降距离 $h_1 = l \times d/D = 95 \text{ mm}$ ，其中 l 为坡道长度， d 为绕线盘直径， D 为驱动轮直径。下坡时，由于单向轴承工作重物下降距离为0。

平路为两级齿轮传动^[9]，齿轮1的传动比为 $i_1 = Z_2/Z_1 = 17/61$ ，齿轮2的传动比为 $i_2 = Z_4/Z_3 = 23/55$ ，则齿轮的总传动比为： $i = i_1 \times i_2 = 391/3355$ 。平路砝码下降长度： $h_2 = 400 - h_1 = 305 \text{ mm}$ 。若假设单向轴承仅在下坡路段起作用， l_p 为坡顶段长度，则小车行走最小理论距离：

$$S_{\min} = h_2/(i \times d/D) + l + l_p = 23050 \text{ mm} \quad (2)$$

基于此，本文设计了1个变速机构，3种速度的智能小车，其主要机构是离合盘和棘轮，如图5所示。平路行驶时，离合盘卡紧副轴齿轮，以二级齿轮传动行进；上坡时，离合盘抽离副轴齿轮，副轴上的小齿轮空转，绕线盘直接带动主动轮转动；下坡时，直接利用舵机将棘轮卡死，使得主轴抱死重锤停止下落，单向轴承使得小车仍能继续前进。

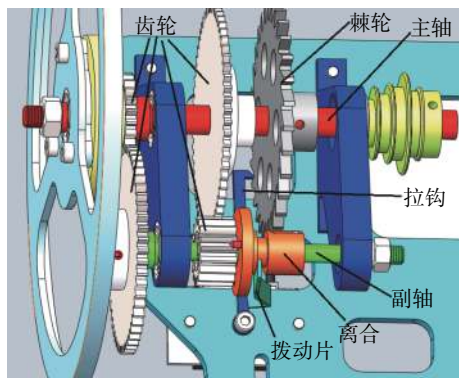


图5 变速机构

2.2 电路控制设计

小车电路控制包含5个模块：循迹、避障、

上坡检测、下坡检测和舵机控制。事实上，这些电路控制功能已经在飞思卡尔智能车竞赛中广泛使用^[10-11]，且技术相对成熟。因此，本文设计的无碳小车，采用三路循迹，使小车始终循着赛道中间黑线行驶；避障则采用抗干扰的红外对管，当前方传感器检测到障碍，小车朝无障碍端转动，实现避障；上坡检测，小车行至上坡初始位置，车前方的轻触开关被触发，检测到上坡，可控制舵机转动使小车直接通过绕线盘传动，拥有合适的驱动力矩；坡道完成检测则是通过红外对管检测从动轮转动角位移，判断是否完成上坡，完成上坡后，控制舵机调至下坡制动挡。

2.2.1 传感器的选择

无碳小车电路控制部分以STM32F103C8T6微控制器作为处理系统，为了增加小车行进距离，必须选择性能稳定且重量较轻的传感器实现各个模块的功能。通过对比，各个器件选择如下。

1)电源。8节碱性南孚电池(赛制要求必须使用碱性电池)。采用2个电池盒子对三个舵机和电路控制电路分开供电，既能保证舵机的用电量，又能在舵机工作时电压迅速被拉低的情况下，其他传感器和控制系统不被干扰。

2)转向和速度控制装置的动力源。9g舵机，具有质量轻，可适应系统供电电量小的现状。

3)微控制器。STM32F103C8T6。满足对舵机进行PWM的输出控制，适应系统供电电量低的特点。

4)避障模块。光电传感器E18-D80N。具有探测距离远、受可见光干扰小、易于装配、价格便宜、使用方便等诸多优点^[11]，广泛应用于流水线计件、机器人避障、智能除草机和消防机器人等众多场合。一般来说，避障功能仅需要左右两路传感器即可。然而，在实际的测试中，无碳小车转弯时，可能将路沿挡板误判为障碍。因此，本文采用三路E18-D80N光电传感器，构建无碳小车避障模块。

5)寻迹模块。红外传感器ST188^[12]，因其价格便宜、体积小、使用方便、质量可靠等特点，广泛应用于红外检测。因此，本文采用三路ST188红外对管，位于车头的正下方，实现无碳小车循迹功能。

6)轻触开关。用于检测坡道。轻触开关位于

小车前段底部,当赛道从平路变成坡道时,利用其夹角幅度,前伸的轻触开关提前触碰到坡道,舵机拨动波动片变换传动比,进入上坡模式。

2.2.2 小车速度的控制

该小车将行驶速度分为3种模式,正常行驶模式、上坡行驶模式和下坡行驶模式,通过控制9 g 舵机转角来拨动离合盘从而转变小车行驶速度模式。正常行驶模式,当小车处在平路段,舵机将离合盘推进副轴齿轮,采用二级齿轮传动,一是可以控制速度,二是能够增加行驶距离;上坡行驶模式,利用小车最前端的轻触开关采集坡道信号,通过单片机控制舵机,将离合盘抽离二级齿轮,使绕线盘直接带动主动轮转动,这样便可以使小车拥有较大的驱动力矩,克服上坡的难题;下坡行驶模式,利用装载在从动轮旁的ST188红外对管检测上坡完成后,直接用舵机将制动拉钩打进棘轮下侧,棘轮卡死主轴的转动,重锤停止下滑,小车便可以利用坡道惯性下滑,将坡道的重力势能转换成小车的驱动能。

2.2.3 小车轨迹的控制

轨迹控制采用了比较成熟的三路红外线(ST188红外对管)寻迹方案,红外发射管发射光线到路面,红外光遇到白底则被反射,接收管接收到反射光经施密特触发器整形后输出低电平;红外线遇到黑线则被吸收,接收管未接收到反射,输出高电平。三路红外线分别位于车头的左中右,实时检测黑线相对于小车导向轮的位置,并通过舵机进行转角控制,使小车始终保持在赛道中间黑线行驶。

2.2.4 避障控制

采用5个红外对管对障碍物进行判断与躲避。考虑到障碍物位于小车正常行驶的一个侧面,故采用前置三路的距离红外探头进行障碍物位置的判断。中路可防止小车在转弯时将赛道边缘挡板误判为障碍;左右两路主要可以辅助中路对左右两边的障碍进行检测。在小车车身中部,左右还各安装了1个红外对管,主要用于检测是否通过障碍,这样,可以在小车检测到障碍物进行壁障后,以最短的路径回转到赛道中线。

2.2.5 方案总结

小车的整个电路设计,由于考虑到复杂的赛道环境,在设计之初考虑采用四路循迹的办法,

即在小车前端加装4个循迹传感器,通过中间两个传感器对路径微调,两边传感器修正过度偏离赛道的情况。但是在安装实验后发现,如果加装4个,则在循迹时转向舵机可能会一直动作。这样虽然能够达到循迹的目的,但是舵机一直工作不仅损耗电池能量,还使得小车行进不平稳。再者,考虑到用变换传动比的方式来适应不同的路况,首要解决的则是上坡识别问题。设计之初,采用陀螺仪来采集上下坡数据,通过对数据波形识别来判断小车所处的位置。但是,在调试阶段中发现,由于场地不平整,采集的信息很混乱,无法进行准确处理,使用陀螺仪只能当小车处于上下坡处位置时才给出判断,但是小车上坡需要一个速度,陀螺仪判断无法满足预判需求。通过多次试验,选择的简单而有效的判断方法——轻触开关,安装于小车前段,当小车处于上坡之前,由于与地面形成一定角度,轻触开关被触发,则后置舵机响应,使得小车提前处于上坡传动,能够得到一个冲车时间。

电源系统最初采用4节电池对整个小车系统供电,由于小车通电系统在给舵机供电的同时也要给传感器供电,加之使用的红外对管测距,当电压不稳定时,红外对管检测障碍的距离变短(即对障碍物不敏感),致使小车避障会触碰到障碍物。最终选择分开供电的方式来给小车的舵机和信息采集系统供电,确保传感器工作的稳定。其中,4节干电池仅对传感器供电,另外4节干电池仅对舵机供电,这样虽然会对小车重量有一定的影响,但是加装在驱动轮附近的底板上对小车的附着能力有了一定的提升,小车的行进不会打滑,避障也更平稳。在实现电控功能的前提下对电路设计的考虑,焊接的简便和可靠,设计上尽量在满足功能的前提下减少了元器件,以及选择可靠性高的器件,程序下载接口使用了SWD的下载接口。

3 无碳小车功能测试

本文设计的智能变速电控无碳小车,在第五届全国大学生工程训练综合能力竞赛赛道上表现优异,不仅可以自控行走成功避障,而且可以任意指定小车出发位置,能够通过坡道检测智能控制小车速度,其行进时间与行进距离和速度如图6所示。

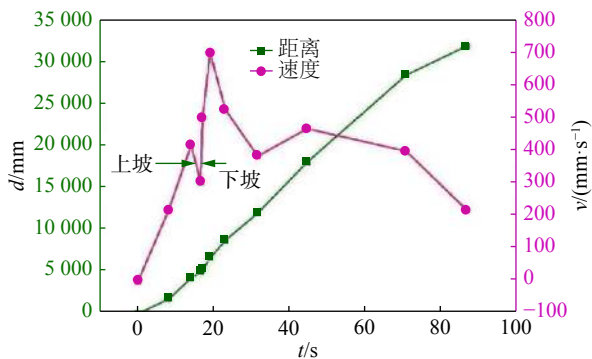


图 6 智能变速电控无碳小车行进速度变化

4 结束语

本文依托第五届全国大学生工程训练综合能力竞赛,设计了一款集循迹、避障及坡道检测于一体的智能变速电控无碳小车,不仅可以自控行走成功避障,而且不受赛道起点或坡道位置变化影响,特别是变速系统的设计,巧妙地控制了平路、坡道和下坡行驶上的速度,从而大大地减小了能量的损耗,其设计理念优于起始位置固定的无碳小车设计。该智能小车与传统的纯机械无碳小车相比,实现了机电结合,更符合当代新工科领域的发展要求,与在阶梯轴上绕线来控制传动力矩上坡的小车相比,自适应能力强,更加智能稳定。

参考文献

- [1] 徐锐.《城市去碳化:让城市低碳发展成为主流》翻译实践报告[D].四川:西南石油学院,2016.
- [2] LIU J W, LI Y H, YANG N J. Innovative design and

manufacture of “S” type carbon-free cars[C]// MATEC Web of Conferences. Paris: EDP Sciences, 2017.

- [3] XIAO Y M. Structural design and modeling analysis of carbon-free car[C]// International Conference on Applied Science and Engineering Innovation. Paris: Atlantis Press, 2015: 1687-1690.
- [4] 楚蓓蓓,杨志文.基于C语言的凸轮轨迹设计[C]//以创新驱动为引领,加快“中国制造”战略实施研讨会暨全国地方机械工程学会学术年会.乌鲁木齐:新疆机械工程学会,2016.
- [5] WANG Z S, YANG H S, KONG L Y. Review of research on carbon-free car[C]// Matec Web of Conferences. Paris: EDP Sciences, 2015.
- [6] 刘火良,杨森. STM32库开发实战指南[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [7] 陈晓东,石雁南,张莉莉.无碳小车的设计、制作与创新实践[J].实验室研究与探索,2013,32(12): 92-95.
- [8] 彭紫薇,何兴川,周鑫.基于无碳小车的多级齿轮传动系统设计[J].现代工业经济和信息化,2017,7(10): 86-87.
- [9] 兰羽.基于红外传感器ST188的自动循迹小车设计[J].电子设计工程,2013,21(3): 64-66.
- [10] LV C Y, WANG Y X. Design of tracing intelligent vehicle based on image processing[C]// 2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology. Singapore: IJMMM, 2017.
- [11] ZHANG C W. Design of intelligent vehicle control system based on single chip microcomputer[C]// Materials Science, Energy Technology and Power Engineering II. New York: AIP Publishing, 2018.
- [12] 田鹏,李泽滔.基于单片机的红外避障系统设计[J].自动化与仪器仪表,2015(6): 40-42.

编辑 钟晓