

自走式山地单轨运输机遥控系统的设计

张俊峰 张衍林 张唐娟 李善军 孟亮

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 为降低劳动强度和保证安全作业,以 7YGD-35 型自走式单轨运输机为研究对象,设计了一套基于 AT89S52 单片机的遥控系统。该控制系统主要由遥控器、中央处理单元和电动推杆等组成,以电动推杆为核心设计了离合执行机构、换挡执行机构、油门执行机构和制动执行机构,实现对自走式单轨运输机的离合、换挡、油门、制动等准确控制。田间实地作业试验结果表明,该控制系统遥控距离可达 300 m,适合山地橘园运输作业,具有良好的应用前景。

关键词 山地橘园; 自走式; 单轨运输机; 遥控系统; 电动推杆

中图分类号 S 229⁺.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)06-0792-05

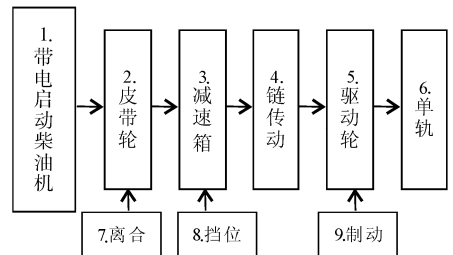
7YGD-35 型山地自走式单轨运输机是国家柑橘产业技术体系机械研究室华中农业大学团队研制的一种用于山地橘园中果实、农药和肥料等的运输设备^[1-2]。该运输机离地间隙约 45 cm,牵引车上的驱动轮和轨道上方的齿条啮合,用 1 台 8.8 kw 的柴油机驱动,行驶速度约 1.2 m/s,上坡运载质量 300 kg,下坡运载质量 1 000 kg,爬坡能力 40°。

应用于山地橘园的自走式单轨运输机因受到果园的复杂地形限制,在作业过程中存在操作环境较恶劣、舒适性差等问题,因此,设计一种遥控系统,用于操作山地自走式单轨运输机,不仅能保障危险环境作业时的人身安全,而且还能降低驾驶人员的劳动强度。针对单轨运输机作业特性,笔者以 7YGD-35 型自走式单轨运输机为研究对象,设计了基于 AT89S52 单片机的遥控系统,旨在实现对运输机的前进、停止和后退等动作的自动控制。该系统已用于华中农业大学工科基地建立的模拟山地单轨运输试验线路。

1 总体方案

通过参考国内外相关文献^[3-15]进行遥控无人驾驶改造试验,在保证原运输机机械传动结构基本不变、整机各手动操作机构极少变动的情况下,通过加装由单片机控制的电动推杆控制系统,实现运输机

的自动离合、换挡、制动和遥控调节油门大小。运输机的总体结构框图如图 1 所示。



1. 带电启动柴油机 Electric start diesel engine; 2. 皮带轮 Pulley; 3. 减速箱 Gear box; 4. 链传动 Chain drive; 5. 驱动轮 Driving wheel; 6. 单轨 Monorail; 7. 离合 Clutch; 8. 挡位 Gear; 9. 制动 Brake.

图 1 运输机总体结构框图

Fig. 1 Overall structure of monorail transporter

与相关研究使用的遥控执行机构相比^[3-8],使用电动推杆执行机构无需提供额外的液压源和气源,无污染、成本低、定位精确,同时整体机构比较轻便,适合在本系统中实现遥控操作。

遥控控制系统由 2 个部分组成:手持遥控器和电动推杆控制模块,该系统总体结构如图 2 所示。工作过程:操作者按下手持遥控器上的按键开始发出遥控指令,由无线发射模块在某一频段上发射出去;接收控制模块中接收电路接收到编码信号后放大该信号并解调出 TTL 电平信号送到基于

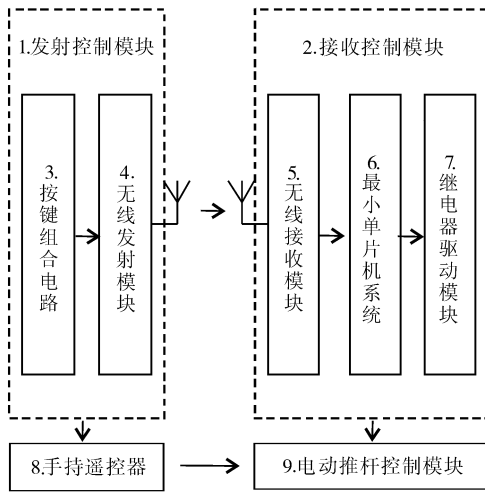
收稿日期: 2012-03-22

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200903023)和现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-27)

张俊峰, 博士研究生, 研究方向: 柑橘生产机械化和自动化. E-mail: zhangjunfeng@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 张衍林, 教授. 研究方向: 柑橘生产机械化和生物质能工艺与装备. E-mail: zhangyl@mail.hzau.edu.cn

AT89S52 的单片机控制电路进行处理^[5]；得到的处理信号去控制继电器驱动模块使相应继电器吸合,进而控制对应的电动推杆,完成对运输机执行机构的动作控制。



1. 发射控制模块 Launch control module; 2. 接收控制模块 Receiver control module; 3. 按键组合电路 Key combination circuit; 4. 无线发射模块 Wireless transmitter module; 5. 无线接收模块 Wireless receiver module; 6. 最小单片机系统 The smallest single-chip system; 7. 继电器驱动模块 Relay driver module; 8. 手持遥控器 Hand-held remote control; 9. 电动推杆控制模块 Electromotive handspike control module.

图 2 系统总体结构图

Fig.2 Overall structure of remote control system

2 硬件系统

设计的硬件结构包括电路控制系统硬件和电动推杆控制系统设计 2 个部分。

2.1 电路控制系统硬件设计

1) 发射控制模块。发射控制模块即手持遥控器,主要由按键组合电路和无线发射模块组成。设计中选用普通的大功率 7 键遥控器,需要 7 个通道才能完成不重复编码,而编码电路中应用的专用编码芯片 PT2262 本身只有 4 个通道(D0-D3),故采用按键组合电路实现数据编码的唯一,具体组合表如表 1 所示。

发射电路采用 315 MHz 的无线发射模块,在空旷地信号理论有效范围可达 1 000 m。其传输距离较远,发射功率较大,适合山地作业环境下的使用。

无按键操作时,电路还是持续发送低电平信号,会造成电源的浪费,故采用高速开关二极管 1N4148

表 1 数据码组合表

Table 1 Combinative table of data code

2262 引脚 2262 pin	10 脚 10 pin	11 脚 11 pin	12 脚 12 pin	13 脚 13 pin	功能 Function
0x01H	0	0	0	1	启动 Start
0x02H	0	0	1	0	加速 Acceleration
0x03H	0	0	1	1	减速 Deceleration
0x04H	0	1	0	0	前进 Go forward
0x05H	0	1	0	1	后退 Fall back
0x06H	0	1	1	0	停车 Parking
0x07H	0	1	1	1	确认 Enter

使得按键开关还可作为发射模块的电源开关,以降低遥控器的能量消耗^[5]。

2) 接收控制模块。接收控制模块即电动推杆控制模块,主要由无线接收模块、最小单片机系统和继电器驱动模块组成,其中继电器驱动模块电路图如图 3 所示,其实现的功能是控制电动推杆的伸缩和停止。图 3 中 MS、MD 接三极管 9013 的集电极端,分别控制电动推杆内部直流电机的启停和方向信号,而 M+、M- 接到电动推杆的输入端。继电器 RELAY1 的触点 K1 闭合后电动推杆启动,此时取决于 K2 的闭合方向,控制电动推杆伸长或缩短。

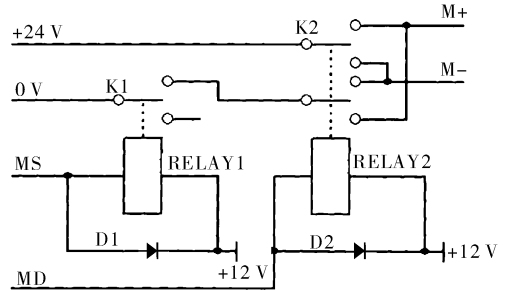


图 3 继电器驱动模块电路图

Fig.3 Circuit diagram of relay drive module

无线接收模块选用与无线发射模块相配套的产品 PT2272,其 15~16 引脚(OSC 1 和 OSC2)间接的振荡电阻与 PT2262 外接的振荡电阻相配套,选用 680 kΩ。当收到无线发射信号时,D0-D3 端对应输出约 4 V 的高电平控制信号,由单片机 I/O 口进行读取。

最小单片机系统采用 AT89S52 对遥控信号进行处理以及继电器驱动模块的电路控制。AT89S52 的 P2.0-P2.3 口作为数据输入端,对应连接 PT2272 的 D0-D3 引脚。通过软件查询 I/O 口状态,与数据码组合表比对,单片机输出相应的控制信号到 P1.0-P1.4 和 P3.0-P3.7 口,进而去驱动继电器电路。

继电器驱动模块主要由限流电阻、三极管 9013、二极管 1N4148 和继电器组成。

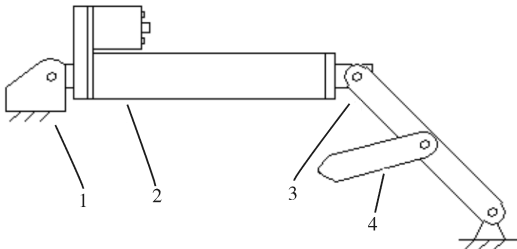
2.2 电动推杆控制系统设计

根据自走式单轨运输机功能要求,电动推杆控制系统应该满足的功能包括:

- I. 变速箱与皮带轮的离合操作;
- II. 制动踏板的制动操作;
- III. 变速箱换挡操作(前进挡、空挡和后退挡);
- IV. 柴油机油门的调节(调大和调小)。

需要说明的是,离合器的分离可以代替空挡,所以可以省去空挡控制。

1) 离合和制动执行机构。根据山地地形条件和操作人员的实际驾驶经验,将离合和制动设计成联动机构,实际设计中采用 2 个电动推杆分开控制,同时动作,通过外加行程开关调节行程,达到完全离合和制动,行程开关的常闭触点与继电器驱动模块电路串联,离合操纵杆或者制动推杆碰到行程开关后,常闭触点断开,电动推杆断电停止。电动推杆一端与机架铰接,另一端与离合操纵杆或者制动推杆铰接,离合执行机构示意图如图 4 所示,制动执行机构与之类似。



1. 机架 Support bracket; 2. 电动推杆 Electromotive handspike; 3. 离合操纵杆 Clutch lever; 4. 离合拉杆 Clutch pull rod.

图 4 离合执行机构示意图

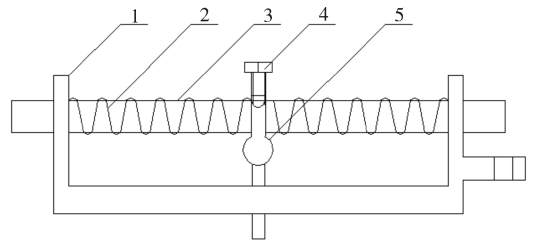
Fig. 4 Schematic diagram of clutch actuator

2) 换挡执行机构。根据拨叉换挡的原理,拨杆处于不同的位置表示不同的挡位,本设计中的挡位有前进挡、空挡和后退挡,共 3 个挡位。根据所选电动推杆的实际行程,确定电动推杆位于初始位置时为后退挡,位于中间位置(50 mm 处)时为空挡,位于最大伸长位置(100 mm 处)时为前进挡。

换挡执行机构的设计采用两端铰接的方式在原理上是可行的,但在实际试验中,由于啮合齿的齿面较大,换挡过程中容易发生撞齿,换挡不成功的几率很大,因此对换挡执行机构作了改进。新的换挡执

行机构由电动推杆、滑动连杆、销轴、压簧、锁紧螺杆和拨杆组成,其机构示意如图 5 所示。图 5 中省略了电动推杆,实际中处于图示的右边位置,电动推杆一端与机架铰接,另一端与滑动连杆铰接。

改进后的换挡执行机构在工作过程中也可能出现撞齿的情况,但是在离合器结合过程中,皮带轮的转动带动变速箱内从动齿轮转动,变速箱上的拨杆在压簧的作用下使得换挡花键齿轮紧贴从动齿轮,一旦发生轻微的转动,两齿轮将顺利啮合即可保证挂挡成功,换挡成功率达到 100%。



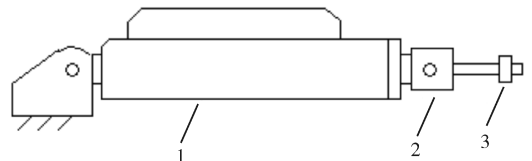
1. 滑动连杆 Sliding rod; 2. 压簧 Pressure spring; 3. 销轴 Pin shaft; 4. 锁紧螺杆 Locking screw; 5. 拨杆 Shift lever.

图 5 换挡执行机构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of shift actuator

人工换挡需要操作人员有一定的经验,在碰到挂挡不成功时通过调节离合使变速箱内部齿轮转动,需要离合和换挡操作的熟练配合才能准确换挡。改进后的换挡执行机构与人工换挡相比,稳定性好,可靠性高,不需要考虑各操作的同时配合,可为后续软件编程提供方便。

3) 油门执行机构。油门执行机构如图 6 所示,电动推杆一端与机架铰接,另一端与套筒连杆固定,套筒连杆通过油门锁紧螺杆与油门调节装置固定。在设计过程中也试过将另一端与油门调节装置铰接,但电动推杆的运行路线不唯一,无法完成油门近似直线调节的动作,试验效果不理想,因此采用一端铰接,另一端刚性固定的形式。



1. 电动推杆 Electromotive handspike; 2. 套筒连杆 Sleeve connecting rod; 3. 油门锁紧螺杆 Throttle locking screw.

图 6 油门执行机构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of throttle actuator

3 软件系统

本控制系统的软件设计即是对单片机 AT89S52 的程序设计。程序用 KeilC51 语言编写，采用模块化设计方法，包括主程序、查询遥控信号子程序等。控制系统的遥控器上有 7 个功能按钮，分别实现启动、前进、后退、停车、加速、减速、确认等功能，以实现单轨运输机前进为例，操作流程为按下启动按钮，等柴油机启动后，通过加速和减速按键调节油门到适当的位置（一般略大于怠速油门），然后按下前进按钮，看到挂挡执行机构动作到位后即可按下确认按钮，运输机前进，其中按下前进按钮后的程序流程如图 7 所示。

4 场地试验系统

遥控单轨运输机的场地试验系统由受控单轨运输机和遥控器组成。受控车辆是在单轨运输机基础上经自动化操纵技术改造后研制而成。遥控驾驶员通过观察，操作遥控器，控制车辆的行驶速度和方向。为验证遥控系统效果，对研制的遥控单轨运输机在华中农业大学工科基地的试验线路上先后进行 10 次试验，运输机能以遥控方式实现启动、离合、换挡、加速、减速和制动。

分别在浙江省的临海和湖南省的宜章山地橘园进行遥控距离测试试验，前者轨道铺设 180 m，地势变化单一，有部分果树遮挡区，试验结果表明，在整个果园区域都能接收到遥控信号；后者轨道长 150 m，地形有一定变化，从坡底到坡顶 100 m 处为斜坡，接着地势平缓，这一段轨道长 50 m，在试验过程中在坡底测试遥控器，在轨道末端接收不到遥控信号，将接收装置前移 50 m 后才能收到遥控信号。由此可知，遥控距离与橘园的地形和果树的大小以及疏密程度有很大关系，相对空旷的环境下遥控距离较远，最远距离可达 300 m。

5 讨论

本试验设计了遥控器和电动推杆控制模块组成的遥控控制系统，通过人工驾驶和遥控驾驶对比，结果表明遥控驾驶操作更加安全方便，减少了对操作人员驾驶技术的依赖性，非专业人员经短期训练即可操作。此外，还设计了离合执行机构、换挡执行机构、油门执行机构和制动执行机构等，试验结果表明，控制系统能以遥控方式实现启动、离合、换挡、加

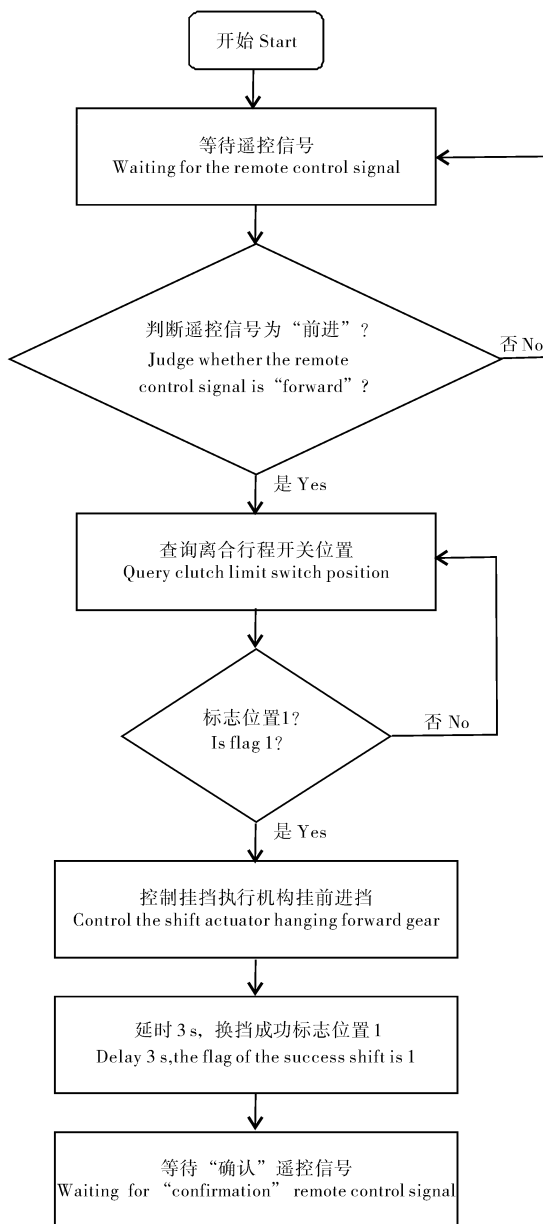


图 7 前进子程序流程图

Fig. 7 The program flow chart of forward

速、减速和制动，遥控距离可达 300 m，适合山地橘园运输作业。

考虑到运输机的运行安全以及更高的自动化程度，在硬件设计时可采用测速传感器做速度检测^[16]，通过闭环控制油门的开度，从而自动调节运输机的运行速度。通过加入自动加油提醒装置^[17]，防止因没有及时给柴油机补充燃油而导致气堵现象发生。另外，还可考虑安装避障装置^[18]，使运输机在碰到障碍物之前及时停车，避免发生事故。在软件设计程序中加入自动保护功能，可防止柴油机的非空挡启动、正常行驶中的启动等误操作行为。

参 考 文 献

- [1] 张衍林,樊启洲,邓在京,等.一种山地单轨道果园运输机:中国,CN101544235 [P].2009-09-30.
- [2] 张俊峰,李敬亚,张衍林,等.山地果园遥控单轨运输机设计[J].农业机械学报,2012,43(2):90-95.
- [3] TAKAHIRO S,KENJI K.Remote control of backhoe at construction site with a pneumatic robot system [J].Automation in Construction,2008,17(8):907-914.
- [4] 蒋苹,胡文武,罗亚辉,等.机滚船遥控驾驶系统设计[J].农业工程学报,2009,25(6):120-124.
- [5] 何金伊,杨福增,徐秀栋.山地履带式遥控微耕机控制系统设计[J].拖拉机与农用运输车,2011,38(2):19-22.
- [6] 王京凤,杨福增,刘世.微型遥控果园开沟机的研究与设计[J].农机化研究,2010(4):40-42.
- [7] 罗亚辉,蒋苹,孙松林,等.机滚船遥控驾驶系统电路设计[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2008,34(4):490-494.
- [8] 何忠波,陈慧岩,陶刚,等.履带式遥控车辆自动驾驶控制系统的研制[J].工程机械,2003(10):3-8.
- [9] LEONHARD E, BERNOLD. Control schemes for tele-robotic pipe installation [J]. Automation in Construction, 2007, 16(4):518-524.
- [10] DARYOUSH S, SHAMSUDDIN S, FAIEZA A A, et al. The design process of a self-propelled floor crane [J]. Journal of Terramechanics, 2011, 48(2):157-168.
- [11] SONG T L, ZAO L, SHEN X X. The research on remote control robot snake driving by servo [J]. Procedia Engineering, 2011, 15:762-766.
- [12] 汪刘一,吕有界,唐艳芹,等.遥控蔗叶切断还田机设计研究[J].农机化研究,2006(9):87-89.
- [13] 张俊梅,李文彬,撒潮,等.人工工业用材林整枝机器人无线电遥控系统的研制[J].林业机械与木工设备,2003,31(9):7-10.
- [14] 蒋蕻,胡文武,孙松林,等.水田作业机械无线遥控系统设计[J].农机化研究,2009(6):62-68.
- [15] 汪友祥.遥控机滚船的研究[J].农业机械学报,2005,36(3):152-154.
- [16] 高林,薛慧霞,李文彬,等.基于 GPRS 的单轨林果运输车无线定位测速方法[J].北京林业大学学报,2011,33(2):110-114.
- [17] 冯涛,陈军,王耀成,等.农用柴油机自动提醒加油装置设计[J].中国制造业信息化,2010,39(13):71-73.
- [18] 李震,卢加纳,洪添胜,等.山地果园钢丝绳牵引货运机超声波避障系统[J].农业机械学报,2011,42(10):116-120.

Design of the remote control system for self-propelled mountainous monorail transporter

ZHANG Jun-feng ZHANG Yan-lin ZHANG Tang-juan LI Shan-jun MENG Liang

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In order to reduce labor intensity and ensure safe operation a remote control system based on MCU AT89S52 was designed by using the self-propelled monorail transporter 7YGD-35 as the research object. The system is composed of the remote controller, the central processing unit and the electromotive handspike, etc. The clutch actuator, shift actuator, throttle actuator and brake actuator are designed to make accurate control, which all use the electromotive handspike as the core. The experimental results show that the control distance is as far as 300 m, and it is perfectly suitable for the transportation of mountainous citrus orchard. Therefore, there is a good prospect for the application of the system for monorail transporter.

Key words mountainous citrus orchard; self-propelled; monorail transporter; remote control system; electromotive handspike

(责任编辑:陈红叶)