

山地果园钢丝绳牵引货运机超声波避障系统^{*}

李震¹ 卢加纳² 洪添胜¹ 宋淑然¹ 黄家洋² 陈辉鑫²

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

【摘要】 为避免山地果园钢丝绳牵引式货运机运行时碰撞穿越轨道的行人或其他障碍物,提高果园轨道货运系统的安全性和稳定性,开发了山地果园钢丝绳牵引式货运机避障系统,包括STC单片机、超声波测距、红外光电检测、无线通信、语音报警及手动控制等模块。系统设计指标为:障碍物检测距离不小于150 cm,避障成功率达到100%。系统应用试验结果表明:使用静态障碍物,上坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为100 cm,下坡避障完成后该间距为90 cm;使用动态障碍物,上坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为98 cm,最小延时为0.64 s;下坡避障完成后该间距为66 cm,最小延时为1.30 s。

关键词: 货运机 山地果园 避障系统 超声波

中图分类号: S229^{+.1} **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)10-0116-05

Obstacle Avoiding System of Mountain Orchard Steel Wire Rope Traction Cargo Vehicle Based on Ultra-sonic Sensing

Li Zhen¹ Lu Jia'na² Hong Tiansheng¹ Song Shuran¹ Huang Jiayang² Chen Huixin²

(1. Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract

To avoid crashing into people going through the rail or other obstacles and improving the system's safety and stability, an obstacle avoiding system of mountain orchard steel wire rope traction cargo vehicle was designed. The system was composed of STC single-chip micro-controller, ultra-sonic range measurement modules, infrared detection unit, wireless communication module, voice alarm and manual control module. The system was designed to achieve an obstacle detection distance of no less than 150 cm and a 100% successful braking rate. System verification test results indicated that: when using static obstacle, the minimum vehicle-to-obstacle distance was 100 cm after uphill brake and the minimum vehicle-to-obstacle distance was 90 cm after downhill brake. When using motion obstacle, the minimum vehicle-to-obstacle distance and time delay were 98 cm and 0.64 s, respectively after uphill brake. The minimum vehicle-to-obstacle distance and time delay were 66 cm and 1.30 s after downhill brake.

Key words Cargo vehicle, Mountain orchard, Obstacle avoiding system, Ultra-sonic

引言

我国南方水果生产的立地条件多为山地和丘

陵,随着劳动力日益紧缺,果园生产机械化的作用日趋体现^[1-2]。钢丝绳牵引式货运机采用钢丝绳作为牵引机构,运输机构为轨道和载货货运机,轨道可弯

收稿日期: 2011-05-05 修回日期: 2011-05-21

^{*} 国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903023)、国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(农科教发[2011]3号)和华南农业大学校长基金资助项目(4500-K10056)

作者简介: 李震,讲师,博士,主要从事电子信息技术应用研究,E-mail: lizhen@scau.edu.cn

通讯作者: 洪添胜,教授,博士生导师,主要从事机电一体化和信息技术应用研究,E-mail: tshong@scau.edu.cn

曲和起伏铺设以适应山地果园的地形地貌,实现物品的有效运送^[3]。牵引式货运机的电动机及其控制装置通常安装于果园所处山地的顶端,而轨道沿山路铺设。受地形地貌及果树的影响,作业人员无法迅速发现货运机运行前端的障碍物并及时控制电动机使其停止运行,存在较大的安全隐患。

为实现货运机行进中自动检测障碍物及快速有效地实施避障,保障果园作业人员安全、降低货运机作业安全隐患,本文根据山地果园作业的特点及需求研制一种钢丝绳牵引货运机避障系统。该系统采用在车检测超声波渡越时间的方法测量货运机与障碍物间距离实现障碍物检测,以无线通信的方式传输控制信息,货运机在任何作业点发现障碍物时都能迅速停止运行。

1 避障系统硬件设计及安装

安装在货运机上的避障系统主要包括核心微处理器、行车检测单元、2 个超声波测距模块、无线遥控模块、行车警示单元及手动控制器等,其系统结构如图 1 所示。

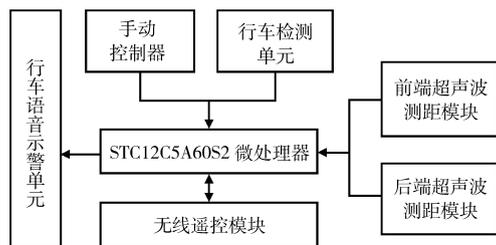


图 1 货运机避障系统结构图

Fig. 1 Principle structure diagram of cargo vehicle obstacle avoiding system

1.1 超声波测距模块

农用车辆障碍物检测常用的方法包括机器视觉法、激光雷达法、超声波测距法、红外测距法、接近传感器法及声纳测距法等^[4-8]。其中,超声波测距法具有检测速度快、分辨率较高、受外界环境影响较小、安装及维护成本较低等特点,适合作为果园钢丝绳牵引货运机避障系统中障碍物检测的手段。常用的超声波测距方法有相位检测法、声波幅值检测法和渡越时间法^[9-10]。

本系统采用渡越时间法(time of flight,简称 TOF)作为障碍物检测的手段。超声传感器发射超声波,在空气中传播至被测物,经反射后由超声传感器接收反射波,并转换为电信号,测量出发射和接收信号之间的时间差即为渡越时间,传感器与反射点间的距离为

$$d = \frac{1}{2}ct \quad (1)$$

式中 d ——超声波发射器到被测物体之间距离
 c ——超声波在媒体中传播的速度
 t ——从发射超声波到接收到超声波之间的时间差

系统采用基于渡越时间法的超声波测距模块 SRF04 实现障碍物检测^[11]。SRF04 超声波测距模块的主要参数为:检测距离 3 ~ 300 cm,平均电流损耗小于 50 mA。经测量,其超声波探头水平测量角度为 48°,测量范围小于 150 cm 时相对误差小于 1%。该模块提供 Trigger 和 Echo 2 个引脚与微处理器相连,Trigger 引脚接收来自微处理器的启动信号,Echo 引脚向微处理器输出持续时间与检测距离呈正比的脉冲。该模块超声波探头与障碍物间距离的计算式为

$$D = \frac{T}{58} \quad (2)$$

式中 D ——超声波探头到障碍物间的距离,cm

T ——Echo 引脚上的脉冲宽度, μs

系统设定的货运机避障阈值距离为 150 cm。当检测到 D 小于 150 cm 时,通过无线遥控模块发送控制信息停止货运机运行。

1.2 行车检测单元

行车检测单元的作用为:①微处理器根据货运机的当前状态控制语音警示单元产生相应的语音提示信息。②货运机启停时,微处理器通过此单元判断运行状态是否改变。

系统选取货运机下坡方向前端的一个车轮并将其喷涂为黑白相间,在该轮上方安装红外反射式传感器 TCRT5000(百纳信达公司,北京),安装结构如图 2 所示。从 TCRT5000 发射端发出的红外线经车轮表面反射后到达接收端,传感器接收端的红外线强度由于车轮表面油漆对红外线的吸收和反射率不同而有所差异。货运机运行时车轮转动,TCRT5000 的输出信号为高、低变化的脉冲;货运机静止时,其输出信号为接近恒定的电压。微处理器根据传感器输出信号的形式可判断货运机的当前运行状态。

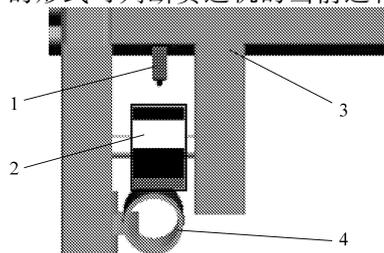


图 2 行车检测单元传感器安装示意图

Fig. 2 Sensor installation schematic of vehicle motion detection unit

1. TCRT5000 传感器 2. 车轮 3. 货运机支架 4. 轨道

车轮-轨道间摩擦力矩与车轮内摩擦力矩比值 K 计算式为^[12]

$$K = \frac{0.5RF}{M} = \frac{R\mu_2 G \cos\theta}{\mu_1 rP} \quad (3)$$

其中 $G = (m_1 + m_2)g$ (4)

$$P = \frac{G}{4} \quad (5)$$

式中 M ——摩擦力矩, $N \cdot mm$

μ_1 ——轴承滚动摩擦因数

P ——轴承负荷, kN

r ——轴承公称内径, mm R ——轴承外径, mm

F ——静摩擦力, N

μ_2 ——轴承外圈与轨道之间的摩擦因数

G ——货运机重力, kN

θ ——轨道坡度, ($^\circ$)

m_1 ——货运机质量, 60 kg

m_2 ——货运机试验载重, 200 kg

g ——重力加速度, 9.8 m/s^2

式(3)中,轴承公称内径 r 及轴承外径 R 由测量获得,分别为 25 mm 和 57 mm ;深沟球轴承滚动摩擦因数 μ_1 取 0.002 ,滑动摩擦因数 μ_2 取 0.01 ;轨道坡度 θ 取货运机安装山地的最普遍坡度 30° 。

由式(4)、(5)算得 G 、 P 分别为 2.548 kN 和 0.637 kN ,将各参数代入式(3)可得 $K \approx 43$,车轮打滑可能性很低,可采用此方法检测货运机的运行状态。

1.3 远程无线遥控模块

本系统通过配对使用基于 PT2262 (普城公司,台湾)的无线发射模块和基于 PT2272 (普城公司,台湾)的无线接收模块实现货运机牵引电动机的远程无线遥控。PT2262/2272 模块均工作在 433 MHz 频段,通过焊接地址编码引脚使两个模块具有相同的地址码。

PT2262 无线发射模块位于货运机端,其数据引脚与单片机 I/O 口相连。单片机根据货运机的期望运行状态改变加载在 PT2262 无线发射模块数据输入引脚的控制值,通过该无线模块发送控制信息。PT2272 无线接收模块位于果园山顶的电动机控制端,其数据输出引脚与控制端微处理器相连,微处理器根据 PT2272 模块的输出控制电动机。

1.4 核心微处理器

核心微处理器选用 STC12C5A60S2 单片机(宏晶公司,深圳)。该处理器兼容 8051 指令集,系统工作电压为 $3.5 \sim 5.5 \text{ V}$,可达到相当于普通 8051 单片机 420 MHz 的工作频率,片上集成 1280 字节的 RAM。

1.5 行车语音示警单元及手动控制器

行车语音示警单元由语音模块、放大电路及扩音器组成。微处理器根据货运机当前运行状态控制语音模块输出相应的提示信息,经放大电路放大后由扩音器播出。手动控制器包括“上行”、“停止”和“下行”,3个按键与单片机相连,实现手动改变货运机的运行状态。

1.6 系统安装

本系统在货运机上的安装如图3所示。前、后超声波测距模块分别安装于货运机承货台的前、后护栏上。手动控制器安装在货运机承货台前护栏以方便用户随时取用。包括单片机、无线发射模块、语音芯片及放大电路等核心部件均置于保护盒内,保护盒与扩音器均安装在货运机承货台下方的支架处。将货运机下坡端其中一侧(本研究选取右侧)的2个轨道支撑轮中位于轨道上方的支撑轮喷涂为黑白相间,并在其上方的货运机支架处安装行车检测单元。

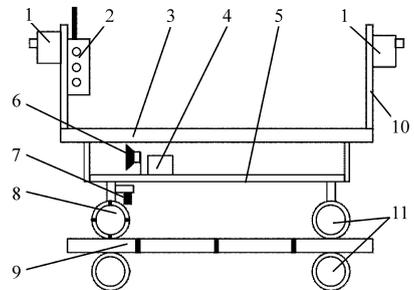


图3 避障系统在货运机安装示意图

Fig.3 On-vehicle installation schematic of obstacle avoiding system

1. 超声波测距模块 2. 手动控制器 3. 承货台 4. 保护盒 5. 货运机支架 6. 扩音器 7. 行车检测单元 8. 经特殊油漆处理车轮 9. 轨道 10. 承货台护栏 11. 其他车轮

2 软件设计

该避障系统的应用程序在结构上与硬件配置相适应,采用模块化结构。主程序根据现场具体情况协调不同硬件配置系统子程序以实现确定功能的系统测控。所有程序使用 C 语言在 KeilC51 平台开发。超声波测距及货运机停车子程序流程图如图4所示。

图4中,微处理器按式(2)计算货运机运行前端与障碍物间距离,由于所采用超声波探头灵敏度比较高,除人、树枝等直接的实体外还可识别大雪、体积较大的雨滴及粉尘等微粒并误判为障碍物从而进行停车操作。为减少误停车,当连续2次算得的货运机运行前端与障碍物间距离小于 150 cm 时,微处理器才进行停车操作,2次检测间延时为 50 ms 。

为保证发现障碍物后货运机停车,微处理器每次发送停机信号后均读取行车检测单元的输出,如货运机未停车,则继续发送停机命令,直至货运机停车为止。

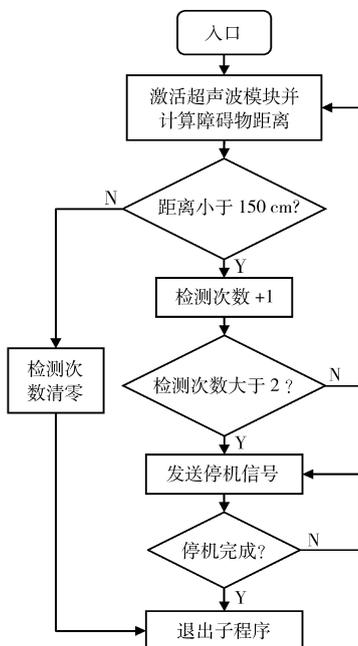


图 4 超声波测距及货运机停车子程序流程图

Fig. 4 Flow chart of main program

3 系统应用试验

为检验系统运行效果,对安装避障系统的货运机进行了实地测试,在货运机上坡和下坡行驶时分别进行静态和动态障碍物避障试验,试验覆盖了货运机工作中可能遇到的各种障碍物状态,测量停机后货运机运行前端到障碍物间的距离并计算系统避障延时。试验场所为江西省安远县车头镇山地橘园钢丝绳牵引货运轨道。立地条件、轨道及货运机设计参数为:果园山地坡度 $13^{\circ} \sim 40^{\circ}$,轨道长度 93 m、宽度 60 cm、离地高度 20 ~ 30 cm。货运机结构及运行参数为:车长 197 cm、车宽 87 cm、平均运行速度 0.33 m/s。超声波传感器的安装方式为:下坡方向,超声波波束中线与承货台平面呈 24.4° 俯角;上坡方向,超声波波束中线与承货台平面呈 24.4° 仰角。

上坡避障试验选取所在山地坡度较平坦段,货运机空载以实现最高的上坡行驶速度;下坡避障试验选取所在山地的普遍坡度,货运机载货量接近满载以试验系统在较大惯性条件下的运行情况。试验参数如表 1 所示。

系统避障延时的计算式为

$$t_d = \frac{150 - L}{10v} \quad (6)$$

式中 t_d ——系统避障延时, s

L ——停车后货运机运行前端到障碍物距离, cm

v ——货运机运行速度, m/s

表 1 避障距离试验参数

Tab. 1 Parameters of braking distance test

试验内容	轨道坡度 / ($^{\circ}$)	货运机承重 / kg	货运机行驶速度 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
上坡避障距离	10	0	0.28
下坡避障距离	30	200	0.39

3.1 静态障碍物避障试验

试验中选取轨道上一点记为停车原点,在两轨之间沿货运机运行方向距停车原点直线距离 150 cm 处放置横截面宽度为 0.5 m,高度为 1.0 m 的静态障碍物。货运机发现障碍物并停止运行后,测量其运行前端到障碍物之间的距离。上、下坡避障距离试验各进行 100 次,结果如表 2 所示。

表 2 静态障碍物避障距离试验结果

Tab. 2 Braking distance tests with static obstacles

货运机前端到障碍物 距离区间/cm	进入距离区间次数	
	上坡避障	下坡避障
140 ~ 149	5	2
130 ~ 139	24	6
120 ~ 129	41	18
110 ~ 119	23	32
100 ~ 109	7	30
90 ~ 99	0	12

由表 2 可得,100 次上、下坡静态障碍物避障试验货运机停车率均达到 100%;上坡避障时,100 次停车完成后货运机前端到障碍物间距离均不小于 100 cm;下坡避障时,88 次停车完成后货运机前端到障碍物间距离不小于 100 cm,停车后货运机前端与障碍物间最小距离不小于 90 cm。试验中发现受轨道两旁果树枝叶的影响,货运机会发生误停。通过修剪轨道两旁果树枝叶消除了该影响。

3.2 动态障碍物避障试验

试验中选取相同障碍物置于轨道边缘,当货运机沿轨道运动且距障碍物 150 cm 时,以 0.5 m/s 的速度使障碍物向轨道中央移动,测量货运机停机后运行前端与障碍物间距离。上、下坡避障距离试验各进行 10 次。试验结果如表 3 所示。

由表 3 可得:上、下坡各 10 次试验货运机停车率均为 100%。上坡避障时,货运机停车后运行前端与障碍物最大间距 132 cm,最小间距 98 cm,平均间距 111 cm;最大延时 1.78 s,最小延时 0.64 s,平均延时 1.37 s。下坡避障时,货运机停车后运行前

端与障碍物最大间距 99 cm,最小间距 66 cm,平均间距 80 cm;最大延时 2.15 s,最小延时 1.30 s,平均延时 1.78 s。

表 3 动态障碍物避障距离试验结果

Tab. 3 Braking distance tests with moving obstacles

试验 序号	上坡避障		下坡避障	
	到障碍物 距离/cm	避障延时 /s	到障碍物 距离/cm	避障延时 /s
1	109	1.46	82	1.74
2	110	1.42	79	1.82
3	104	1.64	85	1.66
4	100	1.78	92	1.48
5	121	1.03	67	2.12
6	132	0.64	99	1.30
7	98	1.85	78	1.84
8	113	1.32	82	1.74
9	110	1.42	66	2.15
10	117	1.17	73	1.97

4 结论

(1)系统采用基于渡越时间法的超声波测距模块实现货运机运行中障碍物实时检测,检测距离不小于 150 cm。采用无线通信的方式传递控制信息,有效地解决了无法通过有线方式传递控制信息至位于山顶牵引电动机的问题;添加行车检测单元,货运机转换运行状态时根据该单元的输出保证转换完成。

(2)静态障碍物避障试验结果表明,货运机停车率达到 100%,上坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为 100 cm,下坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为 90 cm。

(3)动态障碍物避障试验结果表明,货运机停车率达到 100%,上坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为 98 cm,最小延时为 0.64 s;下坡避障完成后货运机前端与障碍物间最小距离为 66 cm,最小延时为 1.30 s。

参 考 文 献

- 刘滨凡,王立海.单轨车的发展及在我国林业中的应用[J].森林工程,2008,24(1):25~27.
Liu B F, Wang L H. Development of monorail and its application in forestry in China[J]. Forest Engineering, 2008, 24(1): 25~27. (in Chinese)
- 陈世林.夷陵区标准柑橘园建设技术路线[J].中国果业信息,2010,27(5):22~23.
- 洪添胜,苏建,朱余清,等.山地橘园链式循环货运索道设计[J].农业机械学报,2011,42(6):108~111.
Hong Tiansheng, Su Jian, Zhu Yuqing, et al. Circular chain ropeway for cargo transportation in mountain citrus orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6):108~111. (in Chinese)
- Kise M, Zhang Q, Noguchi N. An obstacle identification algorithm for a laser range finder-based obstacle detector [J]. Transactions of the ASABE, 2005, 48(3): 1 269~1 278.
- Guo L, Zhang Q, Han S. Agricultural machinery safety alert system using ultrasonic sensors [J]. Journal of Agricultural Safety and Health, 2002, 8(4): 385~396.
- 张磊,王书茂,陈兵旗,等.基于双目视觉的农田障碍物检测[J].中国农业大学学报,2007,12(4):70~74.
Zhang Lei, Wang Shumao, Chen Bingqi, et al. Detection of obstacles in farmland based on binocular vision[J]. Journal of China Agricultural University, 2007, 12(4): 70~74. (in Chinese)
- 赵一兵,王荣本,李琳辉,等.基于多传感器信息的前方障碍物检测[J].计算机工程与应用,2007,43(26):174~177.
Zhao Yibing, Wang Rongben, Li Linhui, et al. Approach of obstacle detection based on laser sensor and single camera[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(26): 174~177. (in Chinese)
- 蔡健荣,周小军,王锋,等.柑橘采摘机器人障碍物识别技术[J].农业机械学报,2009,40(11):171~175.
Cai Jianrong, Zhou Xiaojun, Wang Feng, et al. Obstacle identification of citrus harvesting robot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(11): 171~175. (in Chinese)
- 高晶敏,杜洪超,李邓化.基于超声测距的障碍物形状识别[J].北京信息科技大学学报,2009,24(4):16~20.
Gao Jingmin, Du Hongchao, Li Denghua. Obstacle's shape recognition based on ultrasonic ranging [J]. Journal of Beijing Information Science and Technology University, 2009, 24(4): 16~20. (in Chinese)
- 俞龙,洪添胜,赵祚喜,等.基于超声波的果树冠层三维重构与体积测量[J].农业工程学报,2010,26(11):204~208.
Yu Long, Hong Tiansheng, Zhao Zuoxi, et al. 3D-reconstruction and volume measurement of fruit tree canopy based on ultrasonic sensors [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 204~208. (in Chinese)
- 单承刚.嵌入式Linux下超声波避障系统设计[J].计算机技术与发展,2009,19(6):29~32.
Shan Chenggang. Design of ultrasonic obstacle avoidance system in embedded Linux system[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(6): 29~32. (in Chinese)
- 朱爱华,朱成九,张卫华.滚动轴承摩擦力矩的计算分析[J].轴承,2008(7):1~3.
Zhu Aihua, Zhu Chengjiu, Zhang Weihua. Analysis on calculation of friction torque of rolling bearing [J]. Bearing, 2008(7):1~3. (in Chinese)