

无线遥控自动立木整枝机机载控制系统设计

张俊梅,柯秋红,李文彬,杨 锴

北京林业大学工学院,北京 100083

摘要 自动立木整枝机是人工林整枝抚育的重要设备,用于替代人工完成对树木的修剪和整枝工作。本文以自动立木整枝机为控制对象,设计了由复杂可编程逻辑器件和无线数据传输模块构成的无线遥控接收系统,通过接收模块接收控制命令、控制输出脉冲宽度调制信号驱动两路舵机,确保整枝机工作在所需的状态。本设计中所使用的复杂可编程逻辑器件芯片为 Altera 公司的低功耗芯片 EPM240ZM100,电路结构简单,功耗低,经实测,整个控制系统的正常工作电流仅为 50mA,可靠遥控距离为 45m。

关键词 自动立木整枝机;复杂可编程逻辑器件;无线遥控;舵机控制

中图分类号 S776.034

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.12.005

The Control System Design of the Wireless Remote Control Pruning Machine

ZHANG Junmei, KE Qiuhong, LI Wenbin, YANG Kai

School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract Automatic pruning machine is the important equipment for artificial forest pruning thinning replaced the artificial work to do the tree pruning and training. Taking the automatic pruning machine as the control object, a wireless remote control system, which is composed of the Complex Programmable Logic Device (CPLD) and a wireless data transmission module, is designed. The receiving module receives the control command, then CPLD control outputs pulse width modulation signal to drive the two servos, ensuring that the pruning machine works in the desired state. The CPLD chip used in the design is Altera Company's Zero power chip EPM240ZM100, and the receiving module used in the design is the low-power CZS-7B. The circuit has the advantages of simple structure, low power consumption. And after the actual measurement, it is found that the control system of the normal operating current is only 50mA.

Keywords automatic pruning machine; CPLD; wireless remote control; servo control

0 引言

自动立木整枝机是人工林整枝抚育的重要设备,由动力及传动系统、行走系统、树枝锯切系统和控制系统四大部分组成。对自动立木整枝机的控制包括方向控制和油门控制,通过驱动行走装置的行走轮向左或向右转动,使整枝机绕树干旋转上升或下降;通过驱动传动箱中离合器的位置,即改变油门的大小使整枝机的输出功率发生变化。故需要两个执行机构对整枝机进行控制,一个控制完成上升、中位、下降 3 种不同的方向状态;另一个控制完成作业、怠速、行走 3 种不同的功率状态。目前,随着遥控技术的发展,自动立木整枝机可以采用无线电遥控来发射和接收工作命令^[1-3],即可在远处

对整枝机进行操作,以此保证人身安全,提高工作效率。如发射系统以复杂可编程逻辑器件(CPLD)为核心控制器,通过读取按键操作命令,输出对应的 BCD 码,并利用通信编码电路 HS2262 将数据进行载波调制,通过天线发射出去^[4]。而接收系统是采用无线电接收芯片 RX3310A 将发射出的通信编码指令接收下来并用通信解码电路 HS2272 解调成原来的 BCD 码,并输入到 CPLD 进行读取和判断,使其输出不同的执行命令;其执行机构采用两路直流减速电动机,需在其外壳固定安装多位开关阵列作为位置传感器对其进行控制,控制逻辑复杂,且由于电机旋转时位置控制精度低,故增设反馈控制电路,加大了电路设计的复杂性^[5-6]。为简化电路,提高接收系

收稿日期:2012-02-17;修回日期:2012-03-30

基金项目:农业科技成果转化项目(2007BG23600468)

作者简介:张俊梅,副教授,研究方向为林业机械自动化,电子信箱:joyzhangjm@163.com

统的控制精度,现采用两路数字舵机作为执行机构,其角度旋转位置精度高,无需设置位置传感器和反馈电路;采用电路模块对数据进行接收和解码,电路设计更简单,接收距离更远;另外,为使整个系统的功耗更低,核心控制芯片采用 Altera 公司的零功耗复杂可编程逻辑器件产品 EPM240ZM100,对通信解码后的数据进行读取、做出判断,输出不同的 PWM(Pulse Width Modulation)控制信号,从而驱动舵机和继电器,带动整枝机的机械系统运动,使整枝机完成不同的动作任务,其原理框图如图 1 所示。本文主要阐述无线遥控自动立木整枝机机载控制系统的设计。

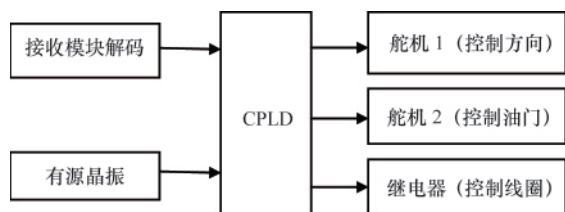


图 1 系统原理框图

Fig. 1 Block diagram of system principle

1 系统硬件设计

1.1 CPLD

Altera 公司零功耗 MAX IIZ 系列的 CPLD 具有低功耗、小体积、低成本的特点,可实现多种功能和应用^[7]。本系统采用 MAX IIZ 系列中的 EPM240ZM100C7N,它的静态电流只有 29 μ A,内核电压为 1.8V,具有 240 个逻辑宏单元。以往接收系

统所使用的 MAX7000 系列的 EPM7128SLC84-15^[5],其内核电压为 5V,只有 128 个宏单元。相比之下,本设计所使用的 CPLD 芯片功耗更低,逻辑资源更丰富。在设计中只需要向其提供一个全局时钟即可,选择 E1 端口接上 1M 的有源晶振;其外围电路接口还包括 JTAG 下载电路接口、供电电压接口和其他输入输出信号接口。由于该芯片的封装是 BGA 封装,芯片面积只有 6mm $\times$ 6mm,在布局布线中,只针对用到的引脚放置焊盘,减小了布局布线的难处。根据芯片焊球的大小,绘制的是直径为 0.27mm 的非阻焊性焊盘,焊盘与焊盘之间的间距是 0.5mm,内部布线间距为 0.15mm。

1.2 舵机

舵机主要由舵臂、控制电路板、直流电机、减速齿轮组、位置反馈电位计等组成。它有 3 个接线,正负电源线和信号线。在工作过程中,当向信号线输入 PWM 波时,控制电路板接收到信号,控制电机转动,并在反馈电位计的反馈作用下,带动舵臂转动到所需的目标角度^[8]。传统模拟舵机需要不断地向信号线输入 PWM 波,才能保证舵臂位置固定,由于供电电压不稳可能导致舵机抖舵,对控制系统造成影响。而数字舵机只需发送一个 PWM 波信号,就能保证舵机转动并锁定在目标角度,消除了抖舵的影响。舵机能动作的角度是 0—180°,对应于 PWM 波的高电平为 0.5—2ms,对数字舵机而言,低电平无要求^[9]。本系统需要用到两个舵机,通过驱动两个舵机转动不同的角度,带动整枝机的机械系统,从而控制其方向和输出功率,即方向和油门,以使整枝机完成所需的工作状态。

设计中舵机的驱动电路如图 2 所示,输出端口通过驱动

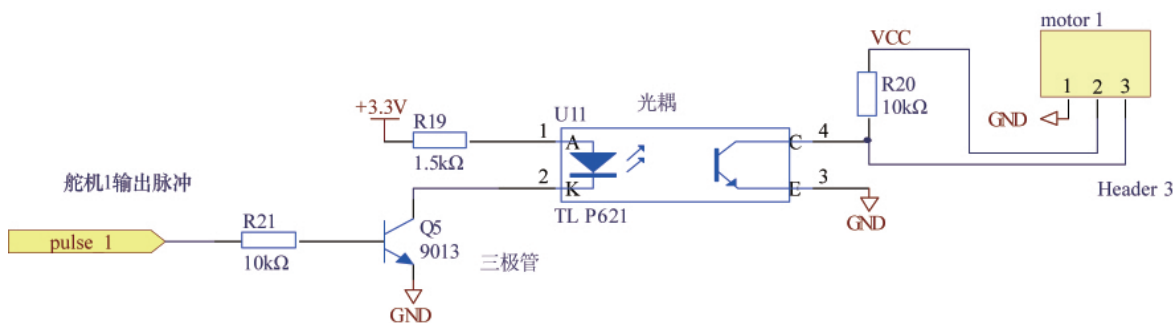


图 2 舵机驱动电路图

Fig. 2 Diagram of servo drive circuit

三极管和光耦,使舵机得到 PWM 驱动信号,防止舵机反馈对 CPLD 造成干扰。舵机的电源线和地线直接接到电池的两端,以获得较大的驱动电流。信号线由光耦的 4 脚输出,并接一个上拉电阻,由 CPLD 输出 PWM 波,当输出高电平时,三极管导通,光耦也导通,反之,光耦截止。当光耦导通时,信号线得到低电平,当光耦截止时,信号线得到高电平。不同的 PWM 波的占空比对应舵机不同的转动角度。无线遥控自动立木整枝机实物图如图 3 所示。



图 3 无线遥控自动立木整枝机实物图

Fig. 3 Outline of automatic pruning machine

1.3 其他硬件电路设计

1.3.1 供电电路

由于舵机的工作电压在 4.8—7V 之间,故本设计采用镍氢电池供电。通过稳压芯片产生 CPLD 工作所需要的 1.8,3.3V 的电压。采用的稳压芯片是德州仪器公司的

TPS76933 和 TPS76918,这两款芯片功耗小,是低压差稳压芯片,能够提高电能利用率。

系统设计了两个开关 ON 和 OFF 分别用于上电和断电,如图 4 所示,P3 为开关接口,设计 ON/OFF 的薄膜按键,接到 P3 接口。

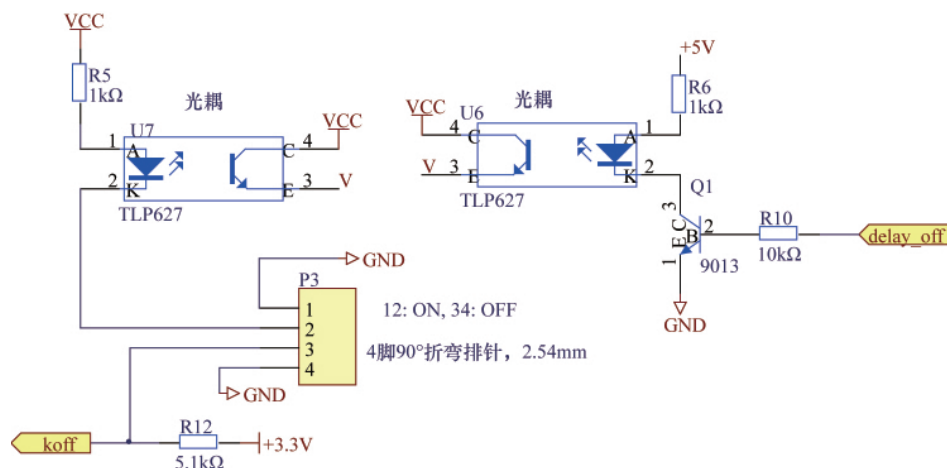


图 4 供电电路图

Fig. 4 Diagram of power supply circuit

按下 ON 时,P3 的 1、2 脚相连,光耦 U7 的 2 脚即接地,光耦导通;VCC 是电池的电压,光耦一导通,V 处就有电压,从而给整个系统供电。如图 4 所示,当 CPLD 得电后,输出 delay_off 管脚高电平,使三极管导通,从而使光耦 U8 也导通,以维持 V 处的电压。此时即使松开 ON,即 P3 的 1、2 脚不相连,光耦 U7 不导通,系统也仍旧有电,达到开关自锁目的。按下 OFF 时,3、4 脚导通,输入到 CPLD 的 koff 管脚从高电平变成低电平,CPLD 判断了此关断信号后,经过延时 2s,输出 delay_off 为低电平,三极管和光耦 U8 不再导通,系统的 V 不再有电压,系统断电。

1.3.2 接收电路

系统用基于 PT2272 的模块 CZS-7B 来接收命令数据码,此模块有 4 个数据输出口,可直接接到 CPLD,接收到不同的 4 位数据代表不同的工作命令。电路图如图 5 所示。

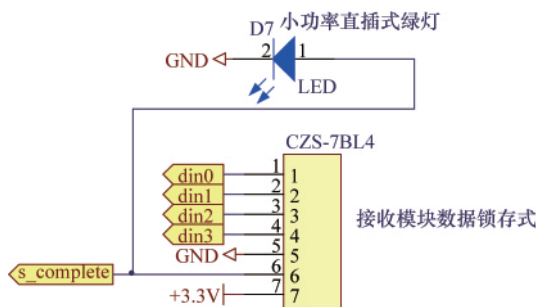


图 5 接收电路图

Fig. 5 Diagram of receiving circuit

1.3.3 继电器驱动电路

在整枝机的工作过程中,可能因为紧急情况,需要整枝机

立即熄火。采用继电器的常闭触点到机器的点火线圈两端,机器无法启动;当继电器得电,常闭触点断开,机器才能点火工作。正常工作情况下,CPLD 输出高电平,使三极管导通,继电器得电;反之,当接收到急停命令的数据码时,CPLD 将输出高阻态,使继电器失电,整枝机熄火。电路图如图 6 所示。

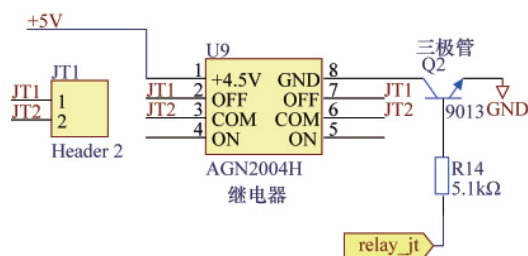


图 6 急停电路图

Fig. 6 Diagram of emergency stop circuit

2 系统软件设计

通过在开发平台 Quartus II 软件上编写 VHDL 语言,编译、仿真,观察波形。设计中,CPLD 的主要输入接口包括断电信号 koff 和解码后的四位命令数据编码 din;输出接口包括开关自锁信号 delay_off、继电器控制信号 relay_jt 和两路舵机的 PWM 波驱动信号 pulse_1 和 pulse_2。如图 7 所示,假设此时外部已经按下了 ON 按键,此时设置 koff 为高,即外部没有按下 OFF 按键,无关断信号,CPLD 输出 delay_off 为高电平,使得整个系统处于上电自锁状态,并使 relay_jt 输出高电平,即没有急停信号,保持继电器线圈得电,整枝机处于正常工作状态;CPLD 通过读取输入的四位数据码,输出不同占空比的 PWM 波,使两路舵机转动不同的角度;当系统没有接收到信

号数据码,即 din 为“0000”,此时 pulse_1 和 pulse_2 均没有输出,舵机没有工作;当 din 为“0010”,pulse_1 输出相应宽度的脉冲,驱动舵机 1 工作;当 din 为“1100”,pulse_2 输出相应宽度的脉冲,驱动舵机 2 工作。若接收到急停信号,即 din 为“1111”时,relay_jt 由高电平变成高阻态,从而使继电器线圈失电,整枝机熄火,同时 pulse_1 和 pulse_2 均输出相应宽度的脉冲使两路舵机复位。当系统又接收到工作信号,即 din 为“0001”“0100”时,relay_jt 又输出高电平,pulse_1 和 pulse_2 又输出相应宽度的脉冲;当 koff 为低电平时,即外部按下 OFF 按键,pulse_1 和 pulse_2 亦输出脉冲使两路舵机复位, delay_off 在延时 3s 之后输出低电平,使整个系统断电。图中 clk 为输入的晶振;s_complete 为判断是否有接收到信号数据码的中间变量,即 din 每变化一次,s_complete 就输出一个脉冲;light_power 在没有接收到信号数据码、接收到急停信号和最后断电过程中输出周期 1s 占空比为 0.5s 的脉冲,用于驱动指示灯闪烁,否则输出低电平,指示灯不工作。

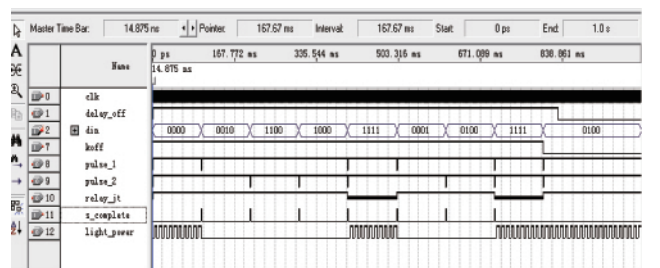


图 7 程序仿真波形

Fig. 7 Simulation waveform

3 实验

仿真后观察波形,发现程序能满足所需功能,将其在 Quartus II 软件上生成目标代码,并下载到 CPLD 中,接上舵机,进行实验观察发现。测试本系统的功耗数据如表 1 所示,系统的工作电压为 6V,当按下 ON 按键,系统上电,指示灯闪烁,继电器得电,此时若没有接收到信号数据码,舵机不工作,工作电流为 50mA;当接收到信号数据码,舵机工作,转动过程中系统最大电流为 500mA,当舵臂转到对应的角度时,

表 1 系统功率消耗情况

Table 1 System power consumption

舵机状态	系统工作电压/V	系统最大工作电流/mA
舵机未转动	6	50
舵臂转动过程中	6	500
舵臂到达位置	6	50

表 2 无线电信号接收距离

Table 2 Radio signal receiving distance

装盒与天线情况	距离/m
无装盒无焊接天线	50
装盒无焊接天线	3
装盒焊接天线	45

系统的工作电流降低到 50mA。实验中还发现,由于本系统安装在金属盒中,对接收信号造成屏蔽干扰,为增加接收信号的距离,在接收模块上焊上天线,从而使接收信号的距离大大增加,实验数据见表 2。

4 结论

本系统在芯片选择、电路设计上都尽量使功耗达到最低,其中 CPLD 和接收模块都采用低功耗的产品;供电电路用镍氢电池组提供 6V 电压,直接供给舵机工作,与以往设计的接收系统相比,无使用 DC/DC 模块,从而降低功耗;稳压模块采用低压差的稳压芯片,相比以往接收系统设计中使用 78L05CN,功耗更低;以舵机作为执行机构,电路设计更为简单,位置的控制精度更高。综上所述,整个系统控制过程快速有效,且功耗较小,能满足控制要求。

参考文献 (References)

[1] 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, 2003, 31(9): 7-9.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Forestry Machinery and Woodworking Equipment*, 2003, 31(9): 7-9.

[2] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 遥控技术及其在林业机械中的应用 [J]. 森林工程, 2003, 19(5): 19-20.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Forest Engineering*, 2003, 19(5): 19-20.

[3] 张玲莉. 基于 PT2262/2272 四路遥控接收发射模块设计[J]. 电子技术, 2010, 47(3): 81-82.
Zhang Lingli. *Electronic Technology*, 2010, 47(3): 81-82.

[4] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 基于 EDA 技术的自动立木整枝机无线遥控发射系统[J]. 林业机械与木工, 2006, 34(10): 23-25.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Forestry Machinery and Woodworking Equipment*, 2006, 34(10): 23-25.

[5] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 基于 EDA 技术的自动立木整枝机无线遥控接收系统[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 19-21.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(4): 19-21.

[6] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 遥控自动立木整枝机运动控制系统 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 33-36.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(4): 33-36.

[7] Santarini M. Altera CPLD targets portable -system applications [J]. *Electrical Design News*, 2008, 53(1): 16.

[8] 冯伟,龚振邦,罗均,等. 新型超小型无人飞行器舵机控制系统设计[J]. 微特电机, 2008(7): 53-55.
Feng Wei, Gong Zhenbang, Luo Jun, et al. *Small and Special Electrical Machines*, 2008(7): 53-55.

[9] 胡永红,段鹏,薛敏彪. 小型飞行器数字舵机的设计及应用[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(9): 1178-1179.
Hu Yonghong, Duan Peng, Xue Minbiao. *Computer Measurement and Control*, 2006, 14(9): 1178-1179.

[10] 张俊梅,李文彬,撒潮,等. 遥控自动立木整枝机电源控制系统[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(4): 22-26.
Zhang Junmei, Li Wenbin, Sa Chao, et al. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(4): 22-26.

(责任编辑 代丽)