

智能烟苗剪叶机控制系统的设计

陈为, 罗亚辉, 胡文武, 蒋蘋*, 彭凯, 谭德权

(湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 针对现有烟苗剪叶机操作复杂、成本高、效率低、自动化水平低等不足, 设计了 YJY-ZD 桥式烟苗剪叶机控制系统。该系统由执行元件、信息采集单元、信息处理单元和控制电路等组成, 可实现烟苗剪叶机一键启动, 自动完成往复机构横向往复运动与整机纵向行走自动交互变换, 运用往复运动控制算法控制往复机构往复运动, 实现往复机构换向时无冲击、残余动能回收。试验测得的剪苗机作业漏剪率为 0.55%, 伤苗率为 0.4%, 漏拾率为 0.4%, 平均工作效率可达 692 m²/h。

关键词: 烟苗剪叶机; 往复机构; 电控锁止; 动能回收; 短路制动

中图分类号: S224.9

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)05-0541-07

Design of a control system for intelligent tobacco seedling leaf-cutting machine

CHEN Wei, LUO Ya-hui, HU Wen-wu, JIANG Ping*, PENG Kai, TAN De-quan

(College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: During culture process of tobacco seedlings, manual leaf-cutting is labor intensive, thus a an intelligent control system for YJY-ZD bridge type leaf-cutting machine was designed to solve the problems like complex operation, high labor costs, less efficient, low automation level, etc as exhibited by the existing leaf-cutting machines have. This system is constituted by action element, information acquisition unit, information processing unit and control circuit, which can start the cutting machine by a key, during which motion of reciprocating mechanism in crosswise and motion of the whole machine longitudinally were alternated automatically, and the movement of reciprocating mechanism was controlled by control algorithm of alternate motion to realize no impact and recover residual kinetic energy when the reciprocating mechanism changed direction. Machine testing results indicated that the proportion of un-cutting leaves is 0.55%, injured seedlings 0.4%, un-picked leaves 0.4%, and the average efficiency is 692 m²/h.

Key words: tobacco seedling leaf-cutting machine; reciprocating mechanism; electronic control lock-up; kinetic energy recovery; short circuit braking

烟草的漂浮育苗现已成为烟区主要的育苗方法。漂浮育苗后期需多次剪叶, 绝大部分使用桥式烟苗剪叶机。电动桥式剪叶机、地毯式漂浮育苗剪叶机等除需要人工辅助往复机构在横梁上左右移动和整机沿着苗池过道的纵向行走外, 还需专人负责供电电缆随行, 作业效率与质量因人而异, 自动化水平较低, 很难全面达到湖南省农机鉴定站提出的烟苗剪叶机鉴定标准(漏剪率 5%, 伤苗率 5%,

漏拾率 5%, 工作效率 300 m²/h, 连续工作时长 4 h)。笔者运用无线遥控技术、传感器技术、单片机技术等, 对作业宽幅 2.5 m 的 YZY-ZD 桥式烟苗剪叶机设计了 1 种控制系统, 以期实现烟苗剪叶机的往复机构往复运动与整机纵向行走自动交互变换, 从而达到剪叶机自动运行的目的^[4-6], 并运用往复运动控制算法对往复机构进行速度控制, 使往复机构停止和换向时减少冲击, 利用横向往复电机能

收稿日期: 2014-03-13

基金项目: 中国烟草总公司科技重点项目(110200902074)

作者简介: 陈为(1984—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事农业电气化与自动化研究, ironman112@163.com; *通信作者, techer_jp@163.com

够充当发电机(往复电机为 24 V、60 W 直流永磁往复电机，在惯性冲击下会产生反向电动势，通过整流电路将电能回收给蓄电池充电。将往复电机的输入线短接后，电机转动产生的反向电动势阻碍电机运转，起到刹车作用)，吸收往复机构的动能发电，为蓄电池充电，实现动能回收，达到节能的目的。

1 设计原则

YJY-ZD 型桥式烟苗剪叶机如图 1 所示。以 2 个边架支撑 2 根横梁，往复机构在横梁上作往复运动，剪叶器固定在往复机构下端，为了使剪叶器以

“弓”字形的轨迹覆盖整个烟苗池，需要整机纵向行走与往复机构横向往复运动交替进行。在控制系统的设计过程中，确定 5 个设计原则：①烟苗剪叶机在单人操作下作业，无需人工牵引或控制；②保证烟苗剪叶机的作业效率不变或有所提高；③基于单片机作为中央处理器来处理和控制信号，同一套系统能快速适应多种幅宽的苗池，保证通用性和操作简便；④采用系列抗干扰措施，使整机工作稳定可靠；⑤采用逻辑控制算法，避免误操作和保证安全。



1 横向往复电机；2 控制系统；3 边架；4 纵向行走电机；5 往复机构；6 横梁；7 剪叶器。

图 1 YJY-ZD 型桥式烟苗剪叶机

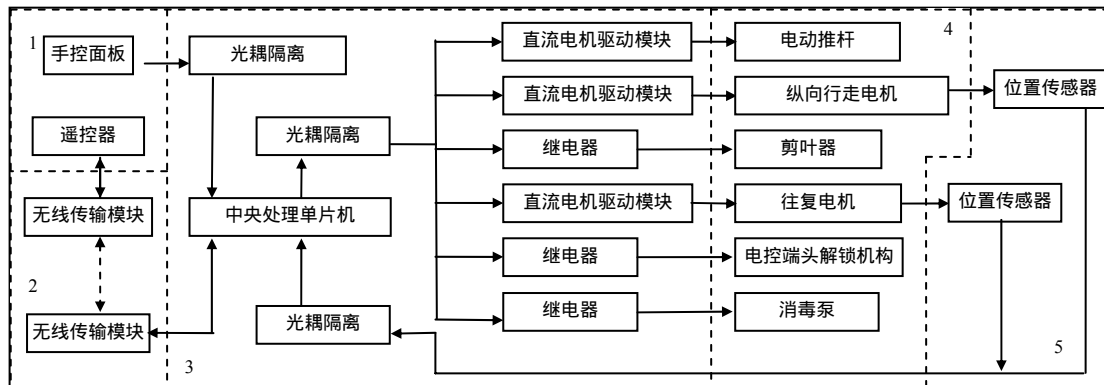
Fig.1 YJY-ZD bridge type leaf-cutting machine

2 控制系统的设计

2.1 控制系统的结构

控制系统需要执行的动作包括：剪叶器电机开与关、横向往复电机双向动作、电控端头解锁机构启停(电磁铁通断)、纵向行走电机双向动作、消毒

泵开与关、电动推杆伸缩(直流电机正反转)。执行元件为直流电机和电磁铁。电磁铁直接用继电器控制，直流电机分 2 种：对于需要双向动作的，采用直流电机驱动板控制；对于只需要启停的采用继电器控制。系统控制框图如图 2 所示。



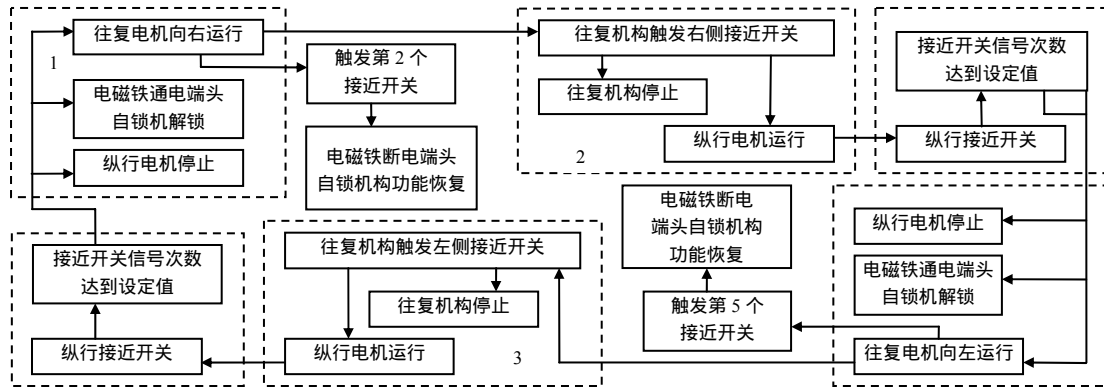
1 上位机控制单元；2 无线传输单元；3 中央处理单元；4 电控执行机构；5 传感器检测单元。

图 2 控制系统

Fig.2 Block program for the control system

根据烟苗剪叶机的控制系统框图，控制系统包括：上位机控制单元、无线传输单元、中央处理单元、电控执行机构、传感器检测单元。传感器检测单元^[3-5]主要是往复机构横向往复运动位置检测和纵向行走步长的检测。横向往复电机的位置传感器是在其中 1 根横梁内侧相应位置安装 6 个接近开关，用于感应往复机构在横梁上的位置，其中靠近两端的接近开关是在往复机构运动到接触边架时

才触发，其余 4 个以横梁中间对称安装。纵向行走的位置传感器是在纵向行走传动机构中安装 1 个接近开关，用于采集纵向行走实际的步长信号次数。为了达到设计目标，控制系统准确判断执行控制程序，控制往复机构在横梁上横向往复与整机纵向行走的准确及时切换，以使剪叶器顺利完成“弓”字形运动轨迹，对剪叶机剪叶效率和质量至关重要。系统控制逻辑循环如图 3 所示。



1 往复机构起始位置(横梁左端); 2 往复机构被锁止在横梁右端; 3 往复机构被锁止在横梁左端。

图 3 联合控制循环

Fig.3 Logic diagrams of the combination control

1) 以 STC12C5A60S2 单片机作为中央处理单元，通过 NRF905 无线接收模块接收遥控指令信号，或者按照电控盒上的按键选择作业模式。

2) 通过多路霍尔接近开关，获得往复机构在横梁的位置和时间参数，从而计算出往复机构的运行速度，单片机运用控制算法产生控制信号，综合运用控制往复机构的加速度，达到控制往复机构高效平稳作业的要求，判断往复运动到纵向行走的切换时间，并以此标定为往复运动的“时间终点”和纵向行走的“时间起点”，控制往复运动到纵向行走的准确切换。

3) 通过单路霍尔接近开关传感器，获得纵向行走步数参数和时间，单片机根据传感器传回的信号，计算出纵向行走的运行速度，并发送控制信号，控制纵向行走的平稳变速启停。判断纵向行走走到往复运动的切换时间，并以此作为往复运动的“时间起点”和纵向行走的“时间终点”，控制纵向行走走到往复运动的准确切换。

4) 霍尔接近开关的开关量信号通过 T1P521 - M4 进行光耦隔离，再传给中央处理单片机，中央处理单片机发出的控制信号同样通过 T1P521 - M4

进行光耦隔离，再输出控制各继电器或者直流电机驱动模块，由继电器或者直流电机驱动模块直接控制驱动马达等，同时将改变后的状态通过传感器反馈至中央处理单元进行比较，实现对纵向行走和往复运动的闭环控制。

5) 控制过程中，电控端头解锁机构中的棘轮自锁装置能使往复机构在每次完成横向往复运动后都能紧靠边架，在整机纵向行进中，保障剪叶器能覆盖苗池边沿的烟苗，只有在其电磁铁通电解锁后，才能解除棘轮的锁止，使横向往复机构完成下一往复过程。

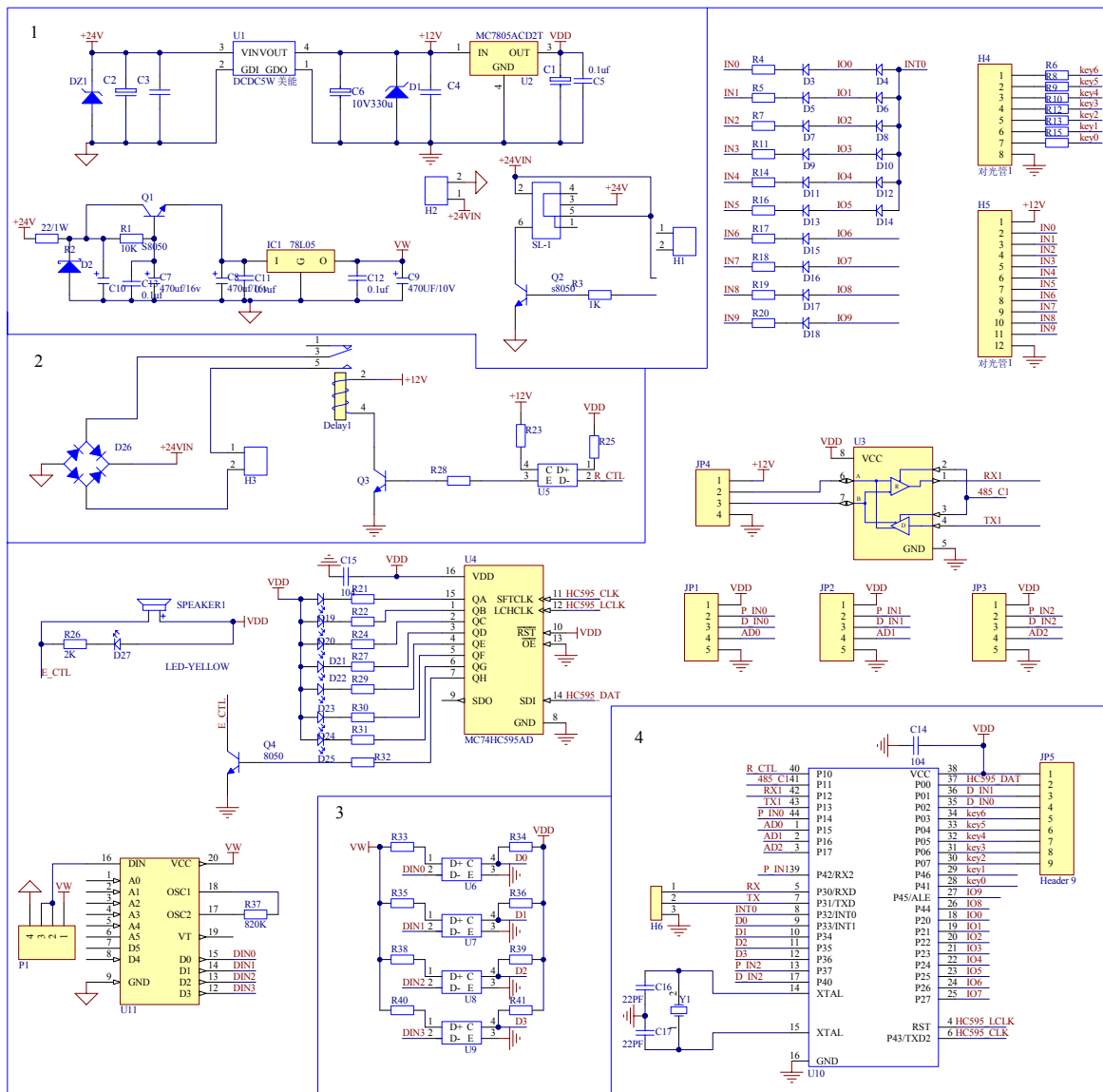
2.2 下位机硬件电路的设计

为了维修方便并降低维修成本，对控制电路进行了模块化设计，将控制电路分为 3 部分：中央控制单元、继电器电路、直流电机驱动电路。

中央处理单元电路如图 4。主控芯片采用 STC12C5A60S2 单片机，该单片机具有 8 个 ADC 转换通道，2 路可编程 PWM 和 4 个 16 位定时器，能够实现多传感器的信号采集处理。该单元通过 2.4 GHz 的无线通讯模块与上位机进行数据通讯，主要包括直流稳压电源、晶振电路和其他外围扩展电

路。图 4 中区域 1 为电源电路，剪叶机由 24 V 蓄电池供电，接近开关、继电器线圈和电磁铁电压为 12 V，单机电压 5 V。电源电路将 24 V 电压经过 DC-DC 转换为 12 V，再经过 7805 芯片转换为 5 V，得到 3 种电压，因此，外部 24 V 供电的电气启停时的电压冲击不影响电路后面 12 V 和 5 V 电压源供电传感器的数据采集，5 V 为中央处理单片机供电。由于 7805 芯片降压后的带载能力有限，增加 1 路 24 V 直接经过 7805 降压成 5 V 的电路，用于其他

芯片的供电，使整体供电可靠性有保障。区域 2 为发电整流充电电路，将往复机构所发出的不稳定的电转换成稳定的 30 V 电压，为蓄电池充电。区域 3 为光耦隔离电路，采用的是 5 kHz 以上的光耦，能有效保障通信通畅，转换不失真。区域 4 为中央处理器单片机和附属电路，单片机的 I/O 口与无线通信模块之间采用光耦隔离，且采用不同的 5 V 供电彻底隔离，可有效避免无线通信与单片机之间的相互干扰。



1 电源电路；2 发电整流充电电路；3 光耦隔离电路；4 中央单片机和附属电路。

图 4 中央处理单元电路

Fig.4 Scheme of central processed unit circuit

直流电机驱动电路(图 5)直接与中央控制单元连接，继电器电路(图 6)通过 485 通信将信号传输给中央处理单元。控制电路中的直流电机驱动电路和

继电器驱动电路容易发生过热失效，单个直流电机驱动模块相对独立，可以单独更换。所有的继电器控制集中在 1 块独立的电路板上，这样能最大程度

消除继电器吸合带来的干扰。全部模块置于控制盒 头，以便安装。
中，在控制盒外只留有不同型号的标准的航空接

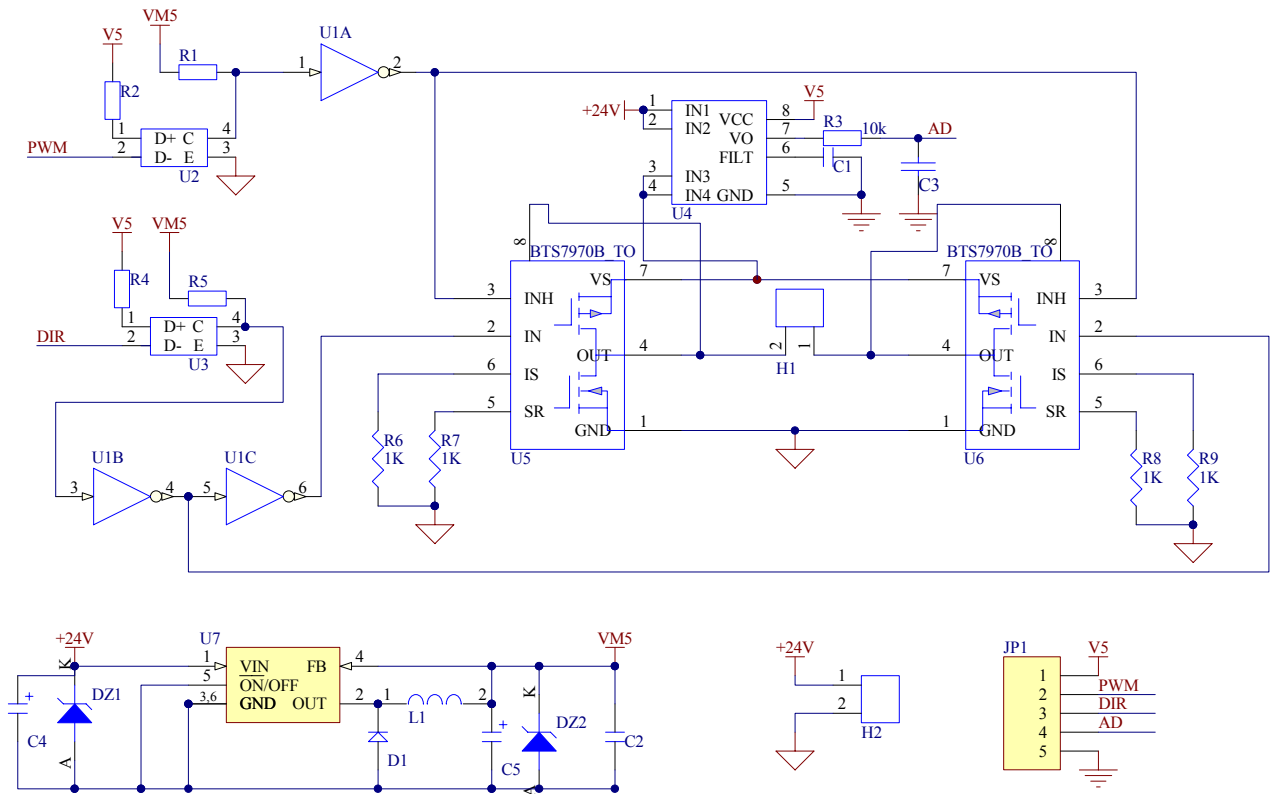


图 5 直流电机驱动电路

Fig.5 Scheme of DC motor driven circuit

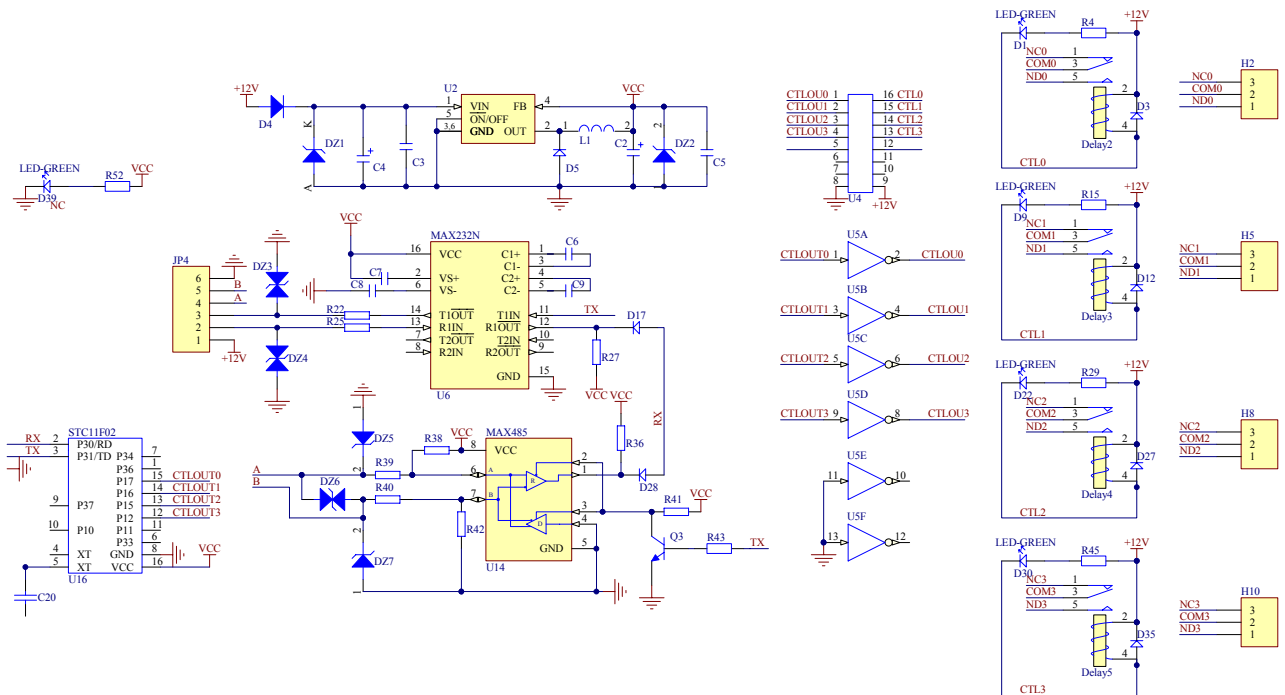


图 6 继电器电路

Fig.6 Scheme of relay circuit

2.3 往复运动控制算法

控制系统核心是控制算法^[12-13],烟苗剪叶机控制系统的核心是往复运动控制算法。往复运动控制算法是控制往复电机的加速、动能回收、刹车制动、端头自锁电控解锁、横向行走与纵向行走切换,再反复循环。以横向往复机构从左向右运动为例,对往复电机的控制逻辑参数设定见表 1。

表 1 单片机信号的采集与控制

接近开关 序号	触发时刻	往复电机 状态	持续时长	纵行电机 状态
1	$T1_n^0$	全速	$T1_n'$	停止
2	$T1_n^1$			
3	$T1_n^2$	动能回收	$T1_n''$	
4	$T1_n^3$			
5	$T1_n^4$	短路制动	$T1_n'''$	
6	$T1_n^5$	停止		启动

$T1_n^x$ 表示往复机构从左向右运动的时刻(ms); x 表示触发接近开关的序号, 1~6; n 表示第 n 次单向运动, n 从 0 到 99, $n=0$ 表示初始值。

$T1_n'$ 表示往复机构第 $n+1$ 次从左向右全速运行状态的持续时间, $T1_0' = 1300$ 。

$T1_n''$ 表示往复机构第 $n+1$ 次从左向右动能回收状态的持续时间(往复机构动能回收是指利用往复机构的高速惯性带动往复电机转动,使往复电机变成发电机发电,电量由单片机控制经升压后给蓄电池充电), $T1_0'' = 600$ ms。

$T1_n'''$ 表示往复机构第 $n+1$ 次从左向右短路制动状态下的持续时间(往复机构短路制动是指单片机控制往复电机的双线处于短接状态,在往复电机运行过程中,往复电机的绕组中产生反向电动势,对往复电机运行形成阻力), $T1_0''' = 400$ ms。

算法是通过调整全速运行持续时间 $T1_n'$ 、动能回收状态持续时间 $T1_n''$ 和短路制动状态持续时间 $T1_n'''$ 及其占空比的调整,达到设定的高速往复作业速度,同时为避免往复机构运动到端头时速度太大造

成冲击,将往复机构的惯性动能带动往复电机发电,为蓄电池充电,实现动能回收。如果靠近端头末端的速度仍然过快,则使用短路制动,避免冲击。

T_n 表示往复机构第 n 次从左向右运行的实时的时长(ms), $T_0 = T_0' = 2400$ ms。

T_n' 表示往复机构第 n 次从右向左运行的实时的时长(ms)。

$D1_n$ 表示往复机构第 $n+1$ 次从左向右运行的占空比(%)。

$F1_n$ 表示往复机构第 n 次从左向右运行,接近开关 4 触发到接近开关 5 触发的时间长参数(ms), $F1_n = T1_n^4 - T1_n^3$ 。

数组 $A1_i = \{T_i, F1_i, T1_i', T1_i'', T1_i''', D1_i\}$ 数据存储到 STC12C5A60S2 单片机的 EEPROM 中,随时调用。以 $F1_{i+1}$ (表示往复机构第 $i+1$ 次从左向右运行,接近开关 4 触发到接近开关 5 触发的时间长参数)为对比参数,往复机构的运动控制算法中前 99 次是经验的积累,第 100 次以后是继续累计经验和经验判断的过程,剔除误差最大的经验值,用新的经验值取代,达到逐渐逼近最优效果。控制流程如图 7 所示。

3 剪叶试验

2013 年 3 月,在湖南省桂阳县正和烟草站育苗大棚进行了剪叶试验。漂浮苗池宽 2.5 m,长度分别为 30 和 60 m,苗盘为 10×20 穴泡沫苗盘,烟苗平均高度 130 mm,修剪高度 100 mm。任意抽取其中 10 盘。剪叶结果表明,伤苗率为 0.4%,远低于设计要求的 1%,说明剪叶机高速往复运动时对烟苗没有伤害;漏剪率为 0.55%,远低于设计要求的 5%,说明剪叶机的漏剪率很低;漏拾率为 0.4%,远低于设计要求的 5%,说明集叶效果很好,基本没有残叶。随机选取 30 m 长苗池,完成剪叶所用时间约 6.5 min,剪叶效率达 692 m²/h。

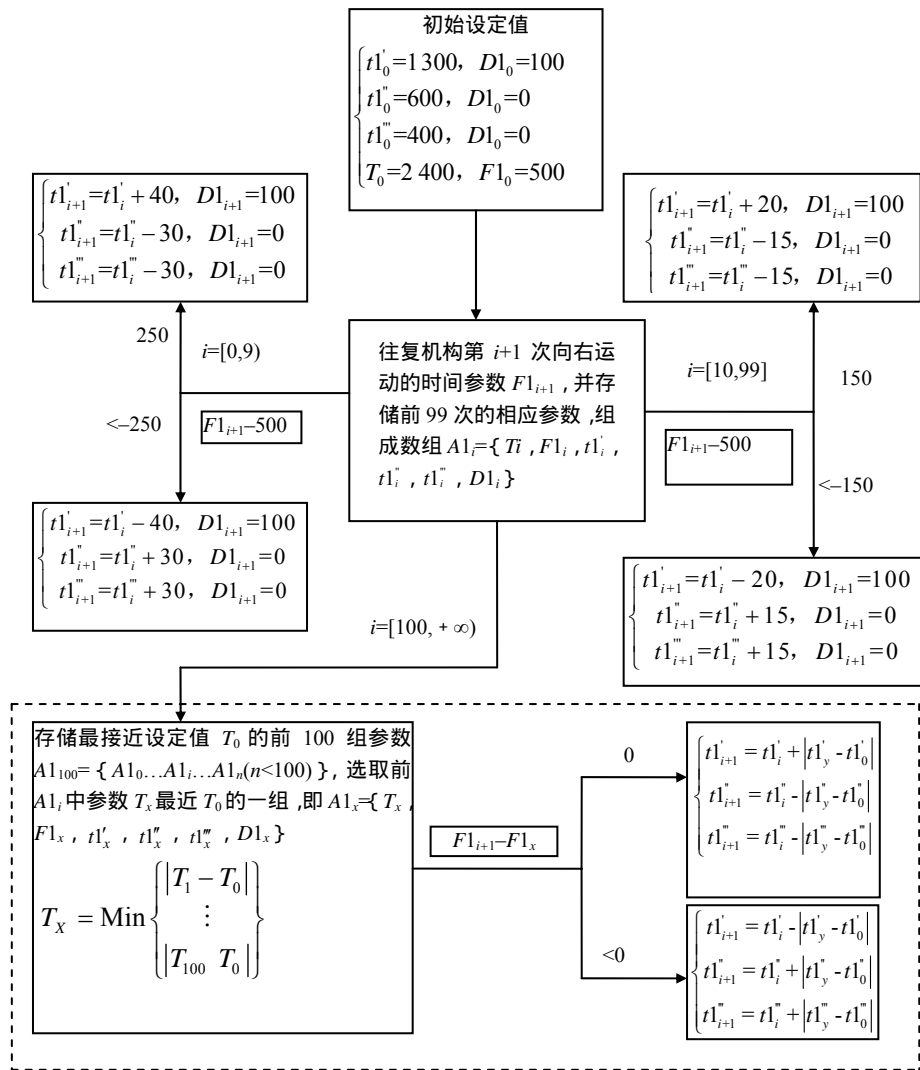


图 7 算法流程

Fig.7 Algorithm flowchart

参考文献:

[1] 张广智. 全自动烟苗剪叶消毒机的设计与研究[D]. 长沙: 湖南农业大学工学院, 2012.

[2] 卢秀萍. 中国烟草品种现状及育种对策[J]. 西南农业学报, 2006, 19: 400-404.

[3] 李福明. 烤烟小棚漂浮育苗关键技术研究[D]. 北京: 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 2005.

[4] 蒋蘋, 胡文武, 罗亚辉. 机滚船遥控驾驶系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 120-124.

[5] 蒋蘋, 胡文武, 罗亚辉. 多通道学习型遥控器研究[J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2009, 18(2): 67-70.

[6] 胡文武, 蒋蘋, 艾卫中, 等. 基于自学习机制的无线农用水塔控制系统研究[J]. 电子设计工程, 2010(4): 3-6.

[7] 郭天祥. 新概念 51 单片机 C 语言教程——入门、提高、开发、拓展全攻略[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.

[8] 李进, 蔡延贵. 软启动技术在电机控制中的应用[J]. 化工设备与防腐蚀, 2002, 5(5): 331-333, 310.

[9] 张卫丰, 王瑞春, 刘德新. 直流马达软启动电路研究[J]. 通信电源技术, 2011, 28(1): 42-43.

[10] 李洪珠. 直流电机的 PWM 控制系统设计[J]. 集成电路应用, 2005(10): 49-51.

[11] 宫芳. 无线遥控系统的模块化设计方案[J]. 中国科技信息, 2005(24): 53.

[12] 郑宗汉, 郑晓明. 算法设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 340-353.

[13] 禹建丽, Kroumov V, 孙增圻, 等. 一种快速神经网络路径规划算法[J]. 机器人, 2001, 23(3): 201-205.