

文章编号: 2095-2163(2019)06-0297-05

中图分类号: TM383.6

文献标志码: A

一种用于全自动核酸提取的步进电机驱动系统

李俊林, 秦襄培, 王洪娇, 陈林, 袁小龙

(武汉工程大学 机电工程学院, 武汉 430205)

摘要: 本文提出了一种用于全自动核酸提取的步进电机驱动系统。不同于一般的步进电机驱动系统, 本步进电机驱动系统在硬件方面通过步进电机控制模块控制步进电机带动移液泵上下移动, 通过移液泵控制阀开关模块控制阀门的开关并通过压力检测模块监测移液泵里面液体的压力; 在软件方面, 以位置要求为导向的步进电机增量式 PID 控制算法优化了步进电机带动移液泵上下移动的位置精度, 并且该算法控制精度高, 超调小, 调节时间短。步进电机的加减速过程采用逼近于 S 形运动曲线的梯形运动曲线作为加减速运动曲线。通过软硬件设计, 步进电机带动移液泵上下精确地移动, 移液泵控制阀得到了比较好的开关, 移液泵里面液体的压力得到了良好的监测。

关键词: 步进电机驱动系统; 增量式 PID; 移液泵

A Stepping Motor Driven System Used for Extracting Nucleic Acid Automatically

LI Junlin, QIN Xiangpei, WANG Hongjiao, CHEN Lin, YUAN Xiaolong

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

[Abstract] This paper presents a stepping motor driven system used for extracting nucleic acid automatically. Different from a general stepping motor driven system, the stepping motor driven system controls the up and down movement of the pipette pump by the control module of the stepping motor, controls the valve to switch by control valve switching module of the pipette pump and monitors liquid pressure in the pipette pump by the pressure detection module in hardware. In software, position-oriented incremental PID control algorithm for the stepping motor optimized location precision of the pipette pump driven by the stepping motor moving up and down and the algorithm is of high control precision, small overshoot and short setting time. In acceleration and deceleration process of the stepping motor a trapezoid movement curve was used as a movement curve of acceleration and deceleration which approximately approaches to a s-shaped movement curve. By designing software and hardware, the pipette pump was driven by the stepping motor to move up and down accurately, control valve of the pipette pump was well switched and liquid pressure in the pipette pump was well monitored.

[Key words] stepping motor driven system; incremental PID; pipette pump

0 引言

全自动核酸提取工作站可完全替代手工操作, 随着生命科学领域的发展, 有极大市场前景。全自动核酸提取工作站当前主要被国外厂商垄断, 诸如美国、瑞士、德国等国家在当前领域发展迅速, 并在检测自动化流水线方面有大的发展。反观国内在这一领域发展迟缓, 整体自动化程度偏低, 装备的落后, 严重制约了国内生命科学领域的发展。国内核酸检测相关仪器设备, 基本只能完成核酸提取、扩增到检测的部分过程, 实现全自动的核酸检测难度在于技术积累少^[1]。因此, 全自动核酸提取工作站的开发具有必要性、迫切性。

全自动核酸提取工作站中的移液管需要进行往

复运动, 步进电机是用于全自动核酸提取移液管移动执行机构的重要驱动元件, 通过预设步进电机的步长和步数来控制步进电机, 使得移液管移动执行机构被步进电机驱动到达预设位置, 但由于移液管移动执行机构和步进电机在长时间使用后, 会出现一定的机械移位或形变, 因此现有的核酸提取工作站存在高频率使用后, 步进电机无法准确驱动移液管移动执行机构到达预设位置。针对现有核酸提取工作站存在的不足, 本文设计了一种用于全自动核酸提取的步进电机驱动系统。

1 总体设计

本系统不同于一般的步进电机驱动系统, 集原创硬件设计与软件设计于一身, 结合全自动核酸提

基金项目: 武汉工程大学研究生教育创新基金项目(CX2018191)。

作者简介: 李俊林(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 自动化控制。

通讯作者: 秦襄培 Email: alexqxp@126.com

收稿日期: 2019-09-26

取实际应用需求并且采用了以位置要求为导向的增量式 PID 控制算法,优化控制步进电机的转动。系统总体框图如图 1 所示。由 STM32、光电耦合器、THB6128、步进电机、位置检测光耦、电源、移液泵控制阀、液体压力检测模块等部分组成。STM32 通过输出 PWM 波脉冲信号,控制步进电机驱动芯片 THB6128 驱动步进电机^[2-3],并由位置检测光耦反馈控制步进电机的位置;STM32 通过控制 MOS 管的开关,进而控制移液泵控制阀的开关,液体压力检测模块通过传感器检测液体压力,进而由 ADC 芯片转换为电压值。

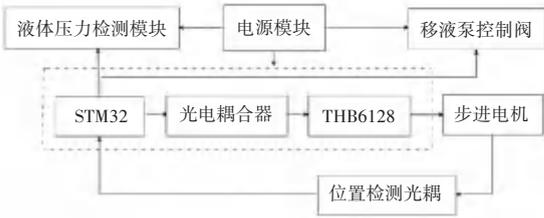


图 1 系统总体框图

Fig. 1 General block diagram of system

2 硬件设计

步进电机驱动系统硬件电路包括 STM32 控制模块、电源电路模块、步进电机控制模块、移液泵控制阀开关模块、液体压力检测模块。

2.1 STM32 控制模块

步进电机驱动系统采用 STM32 作为下位机的微控制器,STM32 的型号选用 STM32F103C8T6。通过 STM32 控制模块控制电源电路模块、步进电机控制、移液泵控制阀开关、液体压力检测模块。

2.2 电源电路模块

步进电机驱动系统电源电路模块采用 TPS54331 芯片,用于电源管理/DC-DC 转换电路;同时采用了 SPX1117 芯片,它是一个低功耗正向电压调节器。电源电路接入 24 V 直流电源,最后输出 3.3 V 的直流电压。

2.3 步进电机控制模块

微控制器输出 PWM 波脉冲信号,经过光耦离合器 PC817、TLP2631 直接控制步进电机驱动芯片 THB6128,进而驱动步进电机。2 路电机极限位置检测接口,分别与步进电机两个转动极限位置各对应的移液泵移动执行机构的上移极限位置(圆点)检测光耦 1、下移极限位置检测光耦 2 连接。光耦离合器 PC817 分别用于细分驱动设置的光耦离合

器电路如图 2 所示;光耦离合器 TLP2631 所在电路用于步进电机脉冲信号的控制,如图 3 所示;步进电机驱动芯片电路原理图为图 4 所示。

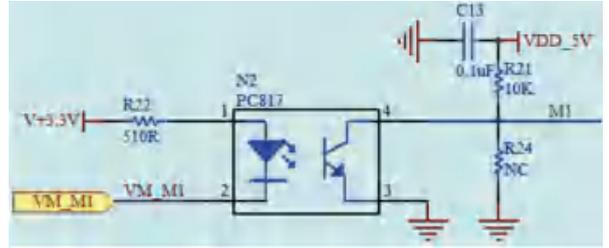


图 2 用于细分驱动设置的光耦离合器电路 (M2、M3、DIR 和 EN 同 M1)

Fig. 2 Optical coupling clutch circuit for divided drive setting (M2, M3, DIR and EN are the same as M1)

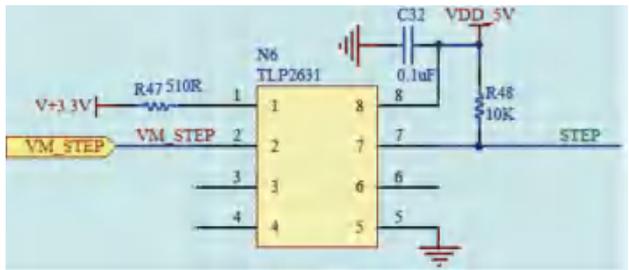


图 3 用于步进电机脉冲信号控制的光耦离合器电路

Fig. 3 Optical coupling clutch circuit for controlling the pulse signal driving stepping motor

2.4 移液泵控制阀开关模块

当位置检测光耦检测到步进电机带动移液泵向下移动到极限位置时,通过 MOS 管控制电路和软件程序来控制移液泵控制阀的开关。移液泵控制阀开关电路原理图如图 5 所示。

2.5 液体压力检测模块

液体压力检测模块利用液体压力传感器,检测移液泵里液体的压力并通过 ADC 芯片 ADS8328IBPWR 转换为电压值。液体压力检测电路如图 6 所示,ADC 芯片所在电路原理图如图 7 所示。

3 软件设计

3.1 步进电机控制算法设计

步进电机驱动系统软件设计,采用了以位置要求为导向的增量式 PID 控制算法^[4],即: $\Delta u(k) = K_p(E(k) - E(k-1)) + K_i E(k) + K_d(E(k) - 2E(k-1) + E(k-2))$ 。其中 K_p 为比例系数, K_i 为积分系数, K_d 为微分系数, $E(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值, $E(k-1)$ 为第 $(k-1)$ 次采样时刻输入

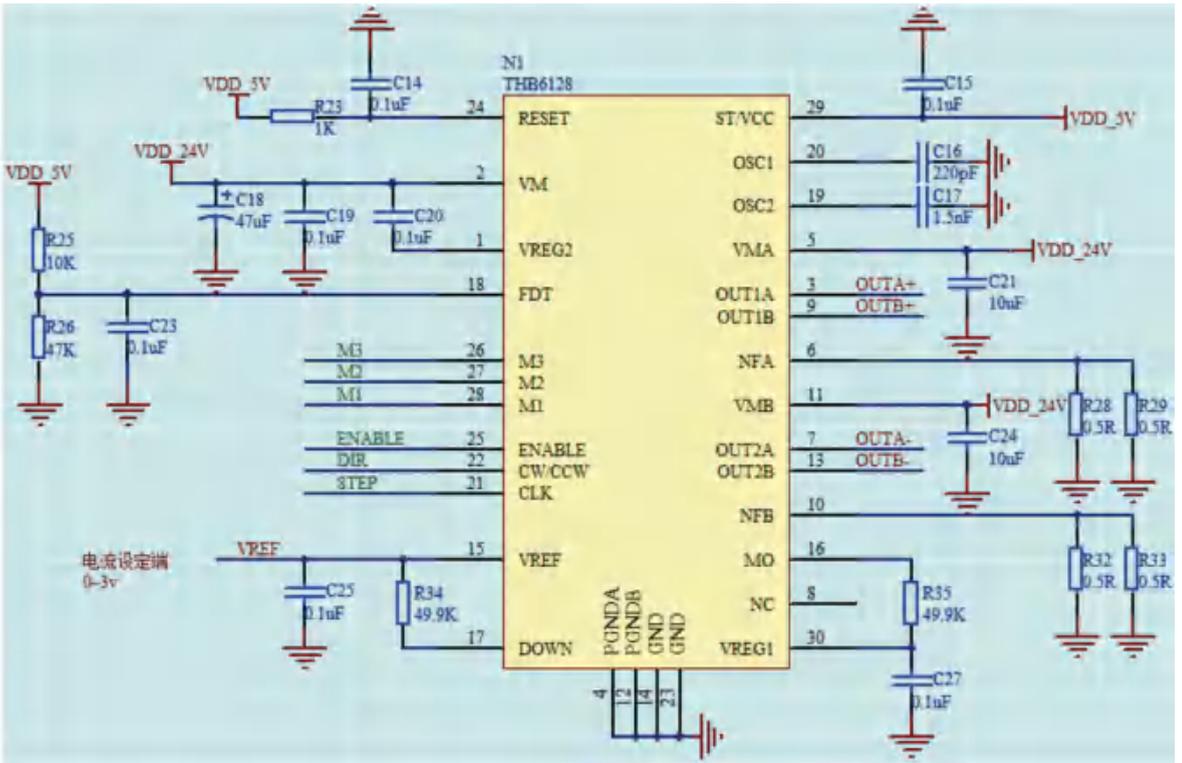


图 4 步进电机驱动芯片电路

Fig. 4 Chip circuit driving the stepping motor

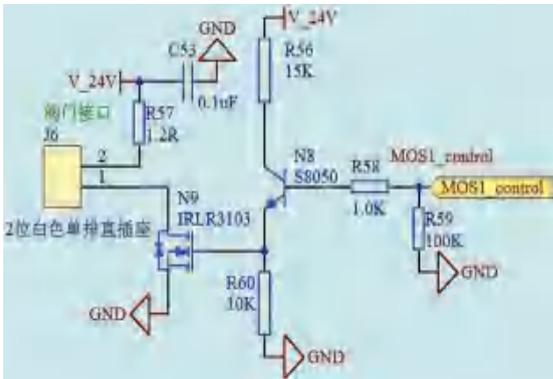


图 5 移液泵控制阀开关电路

Fig. 5 Control valve switching circuit of pipette pump

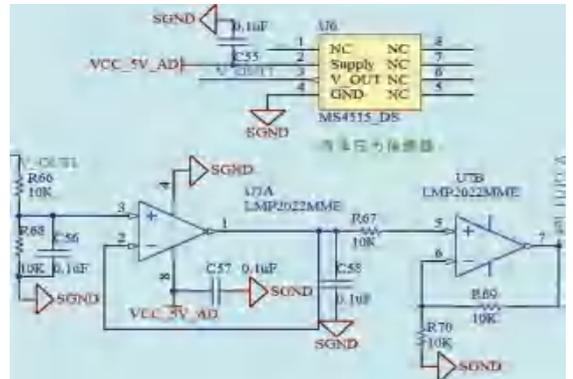


图 6 液体压力检测电路

Fig. 6 Detection circuit of liquid pressure

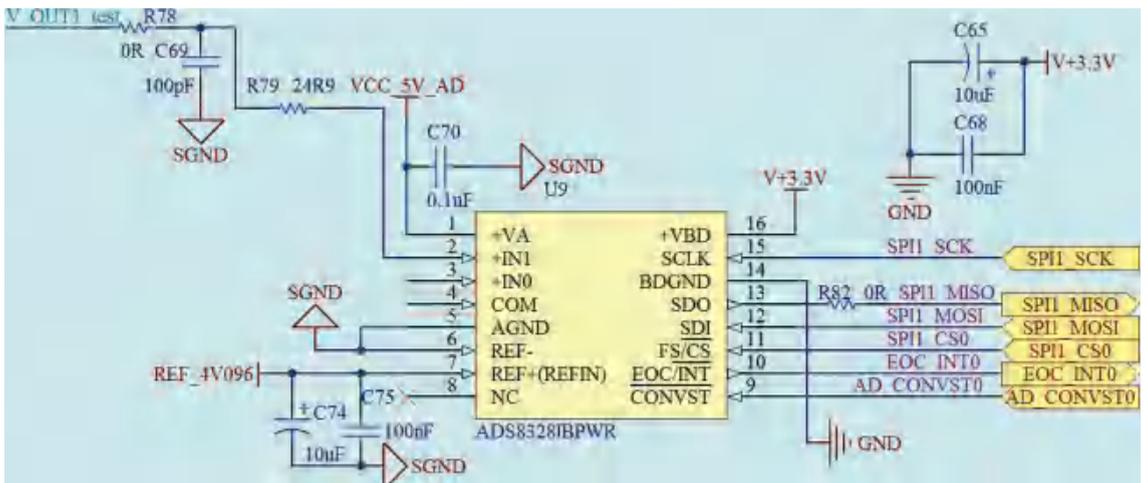


图 7 ADC 电路

Fig. 7 ADC circuit

的偏差值, $E(k-2)$ 为第 $(k-2)$ 次采样时刻输入的偏差值。增量式 PID 的计算量相对绝对式 PID 的较小^[5], 因为计算的是增量, 所以对执行部件的扰动较小, 一般采用带死区的控制。步进电机的控制需求是以位置要求为导向的, 相应增量式 PID 控制算法流程图如图 8 所示。

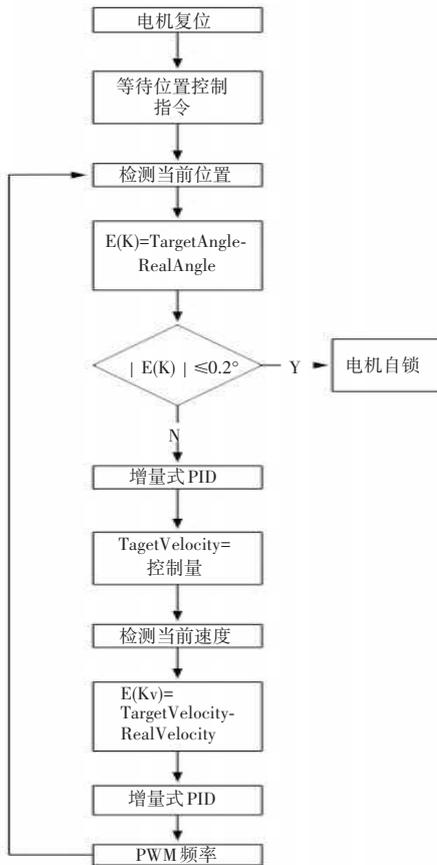


图 8 以位置要求为导向的步进电机增量式 PID 控制算法流程

Fig. 8 Flow chart of position-oriented incremental PID control algorithm for the stepping motor

3.2 步进电机转速控制程序设计

控制步进电机转速源程序的设计: 首先定义步进电机参数结构体 `srd`, 然后编写步进电机参数设置的函数, 分别设置步进电机的步数、加速阶段的加速度、减速阶段的加速度、转速, 定义了达到最大速度时的步数和如果加速没有达到最大速度但是必须要开始减速的步数, 通过对步进电机的步数进行讨论来确定步进电机的转速及加减速相关情况, 步进电机的极限步数是 5 000。步进电机的加减速过程采用梯形曲线作为加减速运动曲线^[6], 所采用的梯形加减速运动曲线逼近于 S 形加减速运动曲线, 实现这一加减速运动过程的主要程序如下:

```

if(step != 0) // Only move if number of steps to
move is not zero.
{
srd.min_delay = 400000 / speed;//最大速度运行时间
628318/speed
//if(srd.min_delay>65534)
// srd.min_delay = 65534;
srd.step_delay = (T5_FREQ_148 * sqrt1(A_SQ /
accel))/100;//定时周期 2704 * 314159000/acc
//if(srd.step_delay>65534)
//srd.min_delay = 65534;
max_s_lim = (long) speed * speed / ((long)
((long) A_x20000 * accel) / 4);
if(max_s_lim == 0)
{
max_s_lim = 1;
}
accel_lim = ((long) step * decel) / (accel +
decel);
if(accel_lim == 0)
{
accel_lim = 1;
}
// Use the limit we hit first to calculate decel.
if(accel_lim <= max_s_lim)
{
srd.decel_val = accel_lim - step;//负值
}
else
{
srd.decel_val = -((max_s_lim * accel) / decel); //
负值
}
// We must decelerate at least 1 step to stop.
if(srd.decel_val == 0)
{
srd.decel_val = -1;
}
srd.deceleration_start = step + srd.decel_val;//
Find step to start deceleration.
// If the maximum speed is so low that we don't
need to go via acceleration state.
if(srd.step_delay <= srd.min_delay)
{

```

```

srd.step_delay = srd.min_delay;
srd.run_state = RUN;
}
else
{
srd.run_state = ACCEL;
}
// Reset counter.
srd.accel_count = 0;
status.running = TRUE;
//OCR1A = 10;
//Set Timer/Counter to divide clock by 8
//TCCR1B |= ((0<<CS12) | (1<<CS11) | (0<<
CS10));
}

```

4 系统安装调试及分析

完成系统软硬件之后,开始将步进电机驱动板、步进电机、移液泵、液体压力检测传感器、位置检测光耦、电源、通信总线等部分连接起来。然后调试软件程序,下载软件程序到硬件电路。

经过上述操作后,硬件电路可以实现调试的功能。软件程序通过以位置要求为导向的步进电机增量式 PID 控制算法,控制了步进电机的转动从而带动移液泵上下移动,位移曲线的仿真结果如图 9 所示。

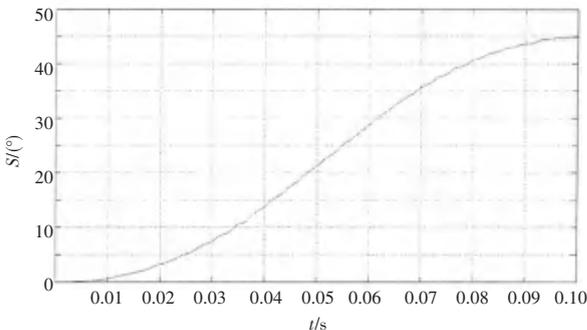


图 9 位移曲线的仿真结果

Fig. 9 Simulation result of displacement curve

电机刚开始做加速运动,然后进行一段时间匀速运动,最后做减速运动,转速平稳,仿真结果表明所采用的步进电机控制算法符合设计要求。对步进电机采用的梯形加减速曲线进行仿真,结果如图 10 所示。仿真结果曲线近似于梯形加减速曲线,符合要求。在步进电机带动移液泵向下移动到极限位置

时,通过 MOS 管控制电路和软件程序,使移液泵控制阀得到了较好的开关。液体压力检测模块通过液体压力检测传感器检测了移液泵里液体的压力,并由 ADC 芯片转换为电压值,最后换算为压力值,通过监测这个电压值后发现移液泵里液体的压力值没有超限。

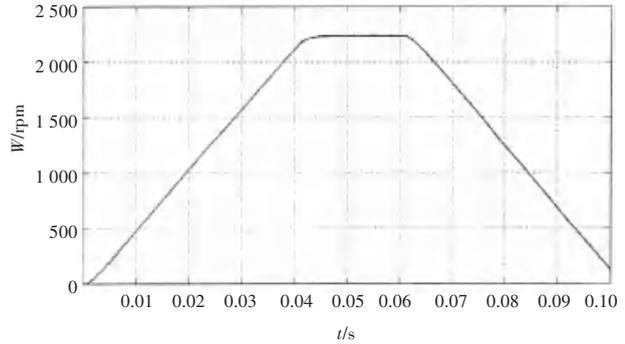


图 10 加减速曲线的仿真结果

Fig. 10 Simulation result of an acceleration and deceleration curve

5 结束语

本文提出的一种用于全自动核酸提取的步进电机驱动系统不同于一般的步进电机驱动系统,设计的步进电机驱动系统结合了全自动核酸提取实际应用需求,在硬件上设计有移液泵控制阀开关模块、液体压力检测模块,在软件上设计了以位置要求为导向的步进电机增量式 PID 控制算法,优化了步进电机的转动以带动移液泵上下移动。步进电机的加减速过程采用梯形曲线作为加减速运动曲线,转速调节平稳。移液泵控制阀得到了较好的开关,移液泵里面液体的压力得到了良好的监测。本系统步进电机的位置控制精度还有改善的空间,后期准备进行几组不同 PID 算法系数的实验。

参考文献

- [1] 王超. 全自动核酸检测系统中耗材精确移取技术研究[D]. 东南大学,2017.
- [2] 刘必旺,陆晓昌. 基于 STM32 和 THB6064H 的步进电机运动控制系统设计[J]. 江苏理工学院学报,2017,23(4):84-90.
- [3] 成果,冉全,叶惠娇,等. 基于 FPGA 的步进电机细分控制系统的设计[J]. 武汉工程大学学报,2018,40(6):701-705.
- [4] 吴恩来. 以 PID 算法为基础的步进电机位置控制探究[J]. 自动化应用,2019(2):5-6,19.
- [5] 李敬一,王会彬. 基于 PID 算法的步进电机位置控制[J]. 军民两用技术与产品,2015(7):55-57.
- [6] 周一飞. 基于 Simulink 的步进电机控制系统仿真[D]. 西南交通大学,2014.