

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.04.010

电子式折边装置控制系统研究^{*}

胡 晨,袁嫣红^{*},吴跃成

(浙江理工大学 机械与自动控制学院,浙江 杭州 310018)

摘要:针对机械式折边装置存在灵活性差、更换成本高等问题,对电气驱动的剪刀、握持装置、折入装置等折边执行部件进行了研究,对纯电子式的折边装置的工作和步进电机跟随运动进行了归纳,提出了一种基于飞思卡尔 ARM Cortex-M0Plus 内核单片机以及步进电机跟随算法和自抗扰控制技术相结合的控制策略,结合控制策略设计了电子式折边装置的嵌入式硬件电路以及软件程序,并利用 Matlab 下的 Simulink 进行了仿真实验。研究表明,电子式的折边装置在使用步进电机跟随算法和自抗扰控制技术相结合的控制方法后,有效地提高了抗扰能力,解决了时滞问题,提高了电子式折边装置的控制精度。

关键词:折边装置;跟随算法;自抗扰

中图分类号:TH39; TS103

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)04-0371-05

Control system of electronic hemming device

HU Chen, YUAN Yan-hong, WU Yue-cheng

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor flexibility and high replacement cost, the actuators such as the electrically driven scissors, the gripping device and the folding device were studied, and the work of the pure electronic hemming device and the follow-up movement of the stepping motor were carried on. A control strategy based on Freescale's ARM Cortex-M0Plus core MCU and follower algorithm and auto-disturbance-rejection-control technology was proposed, the embedded hardware circuit and the software program of the electronic hemming device were designed with the control strategy, and the simulation experiment was carried out using simulink in Matlab. The research results show that the electronic hemming device can improve the anti-disturbance ability, solve the time-delay problem and improve the control precision of the electronic hemming device after using the motor follow-up algorithm and the auto-disturbance-rejection control technology.

Key words: folding device; following algorithm; ADRC

0 引 言

织机完成织物分为光边和毛边两种,不带折入边装置的织机织造的布是毛边的,纱线浪费大,剪下的边纱不能回用,而且在后面加工中会产生一些问题^[1],光边布布边紧密牢固、布面平整光洁,将其用于家纺的床品,不但可以降低制品的加工费,还节约原料^[2]。

目前织机的折边装置主要分为机械式和电子式两种。机械式的折边装置一般由凸轮机构控制的连杆机

构组成^[3],具有运动精度高、可靠性好的优点,但灵活性较差,当折边运动与主轴关系发生变化时需要重新设计凸轮,在改进设计上较不方便,而且一旦发生损坏情况需要更换核心零件甚至整套机构,在改进和维护方面极不方便;而电子式的折边装置便能有效地规避上述问题。目前仅有必佳乐、意达和津田驹等国外知名织机厂商的织机上使用全电子的布边处理系统,但主要以获得毛边织物的电子绞边为主,获得光边织物的折入边装置使用电子式的还比较少,而国内厂商基

收稿日期:2016-11-08

基金项目:公益技术研究国际合作项目(2016C34008);浙江省自然科学基金资助项目(LY13E050025)

作者简介:胡晨(1991-),男,浙江嘉兴人,硕士研究生,主要从事纺织机械控制系统的研究. E-mail:417597068@qq.com

通信联系人:袁嫣红,女,教授. E-mail:2501908518@qq.com

本都还在使用机械式的折入边方式。

因此,针对上述问题,本研究提出一种电子式折边装置控制系统的设计方案,意在充分发挥电子式折边装置灵活性强的特点,并能够在一定程度上弥补其精度以及可靠性上的不足。

1 系统整体方案设计

该系统以用户在人机界面中输入的参数为标准,通过绝对编码器读取主轴的位置信息,根据读取的位置信息,作出相应的动作。折边装置系统控制板通过驱动电磁阀完成握持和折入的动作,通过驱动电机带动剪刀完成剪断纱线的动作。该系统的工作时序以及每个动作的工作时长完全由用户控制,充分发挥了灵活性强的特点。

系统方案结构如图 1 所示。

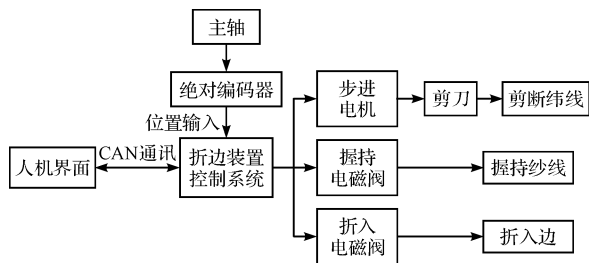


图 1 系统方案框图

用户在人机界面上通过进入设置模式设置各个动作起止分别所对应的主轴的角度值,并且通过人机界面控制织机辅助机构的运行以及停止。人机界面和折入装置系统控制板之间通过 CAN 总线的通讯方式接收和发送信息。当用户设置完成后,人机界面将用户设置好的参数发送给控制板;当控制板接收到参数后将其保存并用作判断动作时序和动作时长的标准参数。当控制板接收到人机界面的运行信息后,折边装置进入运行状态,控制板通过绝对编码器读取主轴的位置信息,将主轴的位置信息与用户所设置的参数进行比较,当主轴的位置信息符合电磁阀的动作条件时,电磁阀打开,完成握持和折入动作;当主轴的位置信息不符合电磁阀的动作条件时,电磁阀关闭。当主轴的位置信息符合电机的动作条件时,控制板驱动步进电机使电机带动剪刀在用户给的电机的工作角度之内完成剪断纱线的动作^[4]。

2 步进电机跟随运动控制方案

折边装置作为织机工作的重要一环,其工作状态

必须配合织机的其他运动一同完成工作,否则有可能导致功能无法实现甚至损坏织机。所以必须采用合适的控制策略来控制折边装置中电机。

从系统结构上分析,主轴输出的位置信息作为步进电机的参考值,属于主从同步控制^[5],这种控制方法的特点是主轴上的扰动会反映到步进电机上,而步进电机上的扰动不会反馈给主轴。主从同步控制方法可以使得步进电机更好地去配合主轴的运动,而不会影响到主轴的运动,是比较适合用于折边装置控制系统的一种方法。

在该系统中,剪刀完成一次动作的实际时间应该与主轴从剪刀开启的角度运动到剪刀关闭的角度所用的时间相同,即:

$$\frac{\alpha_{\text{close}} - \alpha_{\text{open}}}{\omega_{\text{主}}} = \frac{\beta}{\omega_s} \quad (1)$$

式中: α_{open} —剪刀开始工作时主轴的角度, α_{close} —剪刀完成工作时主轴的角度, $\omega_{\text{主}}$ —主轴的角速度, β —剪刀运动角度, ω_s —剪刀的角速度。

而在实际工作情况下,虽然主轴的速度是相对稳定的,但还是会存在一定的速度变化,故不能按照上述公式进行计算。若将整个运动过程分成若干个分段过程,则分成的分段过程数足够多,就可以把一个分段过程所走过的角度等效于瞬时速度与走过这个角度所用时间的乘积。

因此本研究提出这样一个控制思想:步进电机未走完的角度走完所用的时间与主轴还未走完的剪刀完成工作时主轴的角度需要走完的时间相等,即:

$$\frac{\beta'}{\omega_s} = \frac{\alpha'}{\omega_{\text{主}}} \quad (2)$$

式中: β' —步进电机未走完的角度, ω_s —步进电机的角速度, α' —主轴未走完的角度, $\omega_{\text{主}}$ —主轴的角速度。

通过不断地计算主轴的角速度可以将剩余的运动过程分为若干个分段过程,将检测主轴角度变化的周期设置的足够短,从而能够将每个分段的平均速度等效于瞬时速度。

故在工作的过程中需要实时计算主轴的瞬时速度,根据主轴的瞬时速度的变化,控制步进电机改变速度。本研究通过控制器对编码器进行定时读取,将本次获得的角度减去上一次读取获得的角度然后除以周期便可得到主轴的速度,即:

$$\omega_{\text{主}} = \frac{\alpha - \alpha_0}{T} \quad (3)$$

若周期设置的足够短,可以把计算所得的平均速度当做主轴瞬时速度。

而剪刀开始工作时以及完成工作时的角度是由用户通过人机界面设置的,故通过式(2)可得:

$$\omega_s = \begin{cases} \frac{\beta - \beta_0}{a_{\text{close}} - \alpha} \omega_{\text{主}} & ((\alpha_{\text{open}} < \alpha < \alpha_{\text{close}}), (\alpha < a_{\text{close}} < \alpha_{\text{open}})) \\ \frac{\beta - \beta_0}{360 + \alpha_{\text{close}} - \alpha} \omega_{\text{主}} & (\alpha_{\text{close}} < \alpha_{\text{open}} < \alpha) \end{cases} \quad (4)$$

在实际工程中不同的织机具有不同的工艺,而不同的工艺下剪刀动作的起始和完成角度存在差异,如果剪刀在主轴从零开始的一周之内完成动作,则剪刀运动的完成角度必定大于起始角度,即 $\alpha_{\text{close}} > \alpha_{\text{open}}$;如果剪刀运动动作不在主轴旋转的一周内完成,即剪刀动作开始在这一周的接近结束的某个角度而动作完成在下一周的开始的某个角度,而绝对值编码器只能反馈主轴一周之内当前所到达的角度,即 $\alpha_{\text{close}} < \alpha_{\text{open}}$;而剪刀运动如果超过主轴旋转一周以上的时间则会造成工艺上的混乱,无法连续工作,一般不会出现。将所有情况分析之后再合并之后得到剪刀速度的表达式(4)。

由于上述的电机跟随控制方式存在一定的误差而且有一定的滞后性,而自抗扰控制在自适应性、解决时滞问题的能力以及抗扰能力方面都非常优秀,本研究在原有控制基础上加入自抗扰控制技术对电机转速的误差进行修正以达到精确控制的目的。自抗扰控制器(ADRC)是中国科学院韩京清研究员提出的一种实用的非线性控制技术^[6-8]。由跟踪微器(Tracking Differential, TD)、扩张状态观测器(ESO)^[9]、非线性误差反馈控制律(NLSEF)组成。与PID控制思想相似,该控制技术不需要知道被控对象的内部机理和外扰规律,将未建模动态和未知外扰归结为对象的未知扰动,用输入输出数据估计补偿,从而实现了动态系统的反馈线性化^[10]。自抗扰控制器由微分跟踪器对输入信号进行处理生成过渡安排信号以及微分信号;由扩张状态观测器对对象变量以及系统模型和外扰的实时总和进行估计;由非线性误差反馈控制律通过非线性变换把非线性的系统转化为多个线性系统的积分串联结构。目前最常用的自抗扰控制系统为一阶以及二阶的ADRC^[11]。二阶系统的控制方程具体如下:

(1) 假设输入为 v , 安排过渡过程(TD)的表达式为:

$$\begin{cases} v_1(k+1) = v_1(k) + hv_2(k) \\ v_2(k+1) = v_2(k) + hfhan(v_1(k) - v(k), v_2(k), r, h_0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $fhan(x_1, x_2, r, h)$ —韩京清研究员提出的最速控制总和函数,其表达式为:

$$fhan(x_1, x_2, r, h) = \begin{cases} d = rh \\ d_0 = hd \\ y = x_1 + hx_2 \\ a_0 = \sqrt{d^2 + 8r|y|} \\ a = \begin{cases} x_2 + \frac{(a_0 - d)}{2} \text{sign}(y), |y| > d_0 \\ x_2 + \frac{y}{h}, |y| \leq d_0 \end{cases} \\ fhan = - \begin{cases} r \text{sign}(a), |a| > d \\ r \frac{a}{d}, |a| \leq d \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

式中: x_1 —期望速度与实际输入速度的差值; x_2 —过渡安排过程中速度的微分值用于预测速度的变化; h —积分步长; r —速度因子, r 决定了跟踪速度 v_2 , 值越大效果越好,但同时会减弱TD的滤噪能力。

(2) 非线性误差反馈控制技术(NLSEF)的表达式为:

$$\begin{cases} e_1 = v_1(k) - z_1(k) \\ e_2 = v_2(k) - z_2(k) \\ u_0 = k_p \text{fal}(e_1, \alpha_1, \delta) + k_d \text{fal}(e_2, \alpha_2, \delta) \\ u = u_0 - z_3(k)/b_0 \end{cases} \quad (7)$$

其中 $\text{fal}(e, \alpha, \delta)$ 为:

$$\text{fal}(e, \alpha, \delta) = \begin{cases} |e|^{\alpha} \text{sign}(e), |e| > \delta \\ e/\delta^{1-\alpha}, |e| \leq \delta \end{cases}, \delta > 0 \quad (8)$$

式中: e_1, e_2 —TD中速度的误差; z_1, z_2, z_3 —ESO中对输出、输出变化以及位置扰动的估计值,选择合适的 α, δ 和参数 k_p, k_d 实现控制目标。

(3) 扩张状态观测器(ESO)的表达式为:

$$\begin{cases} e(k) = z_1(k) - y(k) \\ z_1(k+1) = z_1(k) + h(z_2(k) - \beta_{01} \text{fal}(e(k), \alpha_{01}, \delta_0)) \\ z_2(k+1) = z_2(k) + h(z_3(k) - \beta_{02} \text{fal}(e(k), \alpha_{02}, \delta_0) + b_0 u) \\ z_3(k+1) = z_3(k) - h\beta_{03} \text{fal}(e(k), \alpha_{03}, \delta_0) \end{cases} \quad (9)$$

通过 z_1, z_2, z_3 对输出、输出变化以及对象扰动进行估计并反馈到NLSEF中。

3 控制系统设计

电子式折边控制装置系统的硬件系统采用嵌入式的印制电路板,设计方案如图2所示。

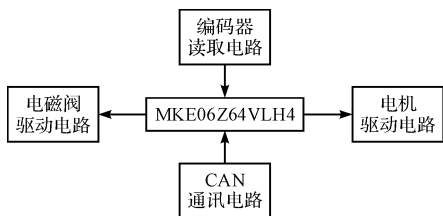


图2 硬件系统设计方案

主控芯片采用飞思卡尔的 ARM cortex-M0plus 架构的 MKE06 系列芯片,功耗低,稳定性强;将东芝 TB6600 作为电机驱动控制芯片并搭建其外围电路构成电机驱动电路,主控芯片通过发送 PWM 波来控制电机运动的角度和速度;编码器读取电路用 74HC245 作为线路驱动器,提高编码器读取时的稳定性;电磁阀驱动电路利用光耦将电磁阀与主控芯片隔离,并且通过 NMOS 管进行驱动;由于 MKE06 系列已集成了 CAN 通讯,故在设计 CAN 通讯电路时,不需要使用 CAN 总线控制器,以 TJA1050 作为收发器,连接其外围电路即可。

软件系统分为调试、设置、运行、停止 4 个模式,由用户在人机界面选择进入不同的模式。①在调试模式下,系统通过人机界面对各个电磁阀以及电机进行单独操作,用于检测各个执行机构是否出现故障;②设置模式下,折边装置控制系统通过 CAN 总线接收人机界面发送的电磁阀以及电机的开关角度,并将其保存;③在运行模式下,系统通过轮询的方式读取主轴的角度,根据不同的主轴角度值去完成相应的电磁阀开关或者电机运动动作;④在停止模式下,所有的执行机构都将停止工作。

电机跟随主轴的运动过程中,需要根据主轴的当前速度实时调整电机自身的速度,而编码器只能读取主轴的角度值,故需要利用读取的角度值来计算主轴的速度。本研究通过设置定时器的值,周期性读取主轴的角度值,再通过式(3)计算出主轴的平均速度,当周期足够小时,便可将计算得出的平均速度当做瞬时速度。得到主轴的瞬时速度之后便可通过公式(4)计算出步进电机的瞬时速度。而控制系统通过发送 PWM 波来控制步进电机的运动,通过改变 PWM 波的周期调节步进电机走一个步距的时间,从而改变步进电机的速度。公式(4)加上公式(7)的输出 u 便可以将步进电机所需达到的速度转化为程序所需的控制 PWM 波周期的参数:

$$n = \frac{\gamma}{c * \omega_s} M \quad (10)$$

式中: n —控制 PWM 波周期的参数, γ —一步距角, c —步

进电机的细分数, M —MCU 的工作频率。

通过上述的系统控制程序,以折边装置控制板为硬件基础,便能配合主轴,完成跟随运动,从而完成折边的功能。而且具体的工艺流程完全由用户通过人机界面进行设定,充分发挥了电子式的折边装置灵活性强的特点,能够适用于不同工艺、不同主轴转速情况下的折边工作。

4 仿真实验及结果分析

为了验证上述电机跟随算法的同步性,本研究利用 Matlab 下的 SIMULINK 进行仿真实验,并对结果进行分析。

仿真方案如图 3 所示。

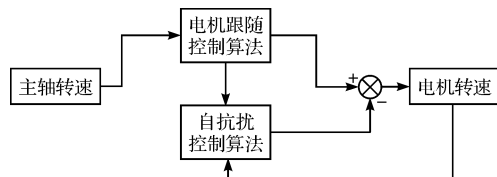


图3 仿真方案图

主轴速度作为输入,通过电机跟随控制算法计算出电机运动的理论转速,然后将理论电机运动的转速与当前电机实际的运动转速进行比较得到理论速度与当前速度之间的误差,通过自抗扰控制算法式(5~9)对误差进行处理,计算出调整的电机转速以实现主轴转速变化的快速响应。

仿真过程中,对自抗扰控制算法的参数良好的整定能够提高控制精度。速度因子 r 影响 TD 中的跟踪速度,增大可以加快跟踪但也会产生振荡,一般取 10~50,因此本研究取 $r = 50$, δ 为线性区间,一般为 0.01~1,越小过渡越快,但是小于 0.01 之后的收益不大而且会产生波动,因此取 $\delta = 0.01$,在 NLSEF 中 k_p 与 k_d 的调整和 PID 中比例和微分系数的调整相似, α_1 与 α_2 以 1:2 的比例进行调节,最终发现 $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 1$, $k_p = 0.6$, $k_d = 0.8$ 时控制效果最好;在 ESO 中, $0 < \alpha_1 < \alpha_2 < 1$, $\beta_{01} * \beta_{02} > \beta_{03}$,经整定之后取 $\alpha_1 = 0.6$, $\alpha_2 = 0.8$, $\beta_{01} = 1$, $\beta_{02} = 3/8$, $\beta_{03} = 1/32$,而参数 b_0 为系统对总扰动的估计值,不同的系统其 b_0 的值也存在差异,在该系统中 $b_0 = 3$ 时其控制效果最好。

本研究通过现场测试获得了实际过程中织机主轴的运动过程,将该运动过程用做仿真的输入,以确保仿真结果的真实性。步进电机带动的剪刀以织机主轴速度为基准做跟随运动,而由于剪刀在工艺上的特殊要求,需要在一定的角度内做往复运动。

织机主轴的速度曲线如图 4 所示。

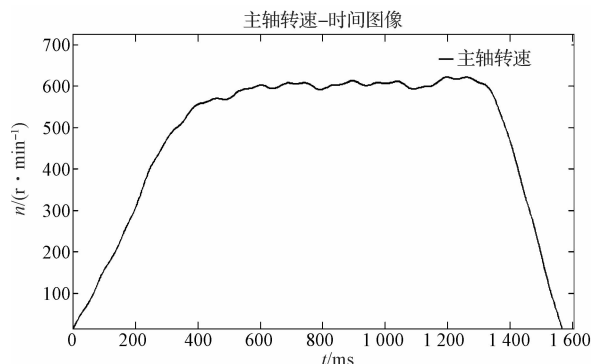


图4 织机主轴速度曲线

主轴与剪刀同时运动的仿真结果图如图5所示。

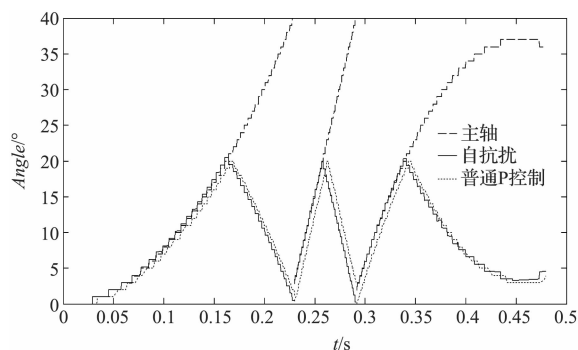


图5 仿真结果图

图5中虚线为织机主轴的实际运动过程中的当前所在的位置,实线为通过电机跟随算法和ADRC算法计算得出的剪刀往复运动过程中剪刀所在位置的实时信息,而点线为采取比例调节的方法来使剪刀跟随主轴运动过程中的位置的实时细腻。图5中分别显示主轴启动、平稳运行、制动时主轴运动、自抗扰控制算法下电机的跟随主轴运动以及采用普通比例控制的电机跟随主轴运动的运动规律,由于系统响应存在延时,普通的比例调节方法跟随主轴存在一定的延时,而采用自抗扰控制策略仿真得出的曲线跟随主轴运动的效果良好,充分证明了其能够有效地解决时滞性的问题。

5 结束语

机械式的折边装置大多需要用到凸轮作为传动元件,而凸轮一旦成型之后再也无法改变,从动件的运动规律也由此决定^[12]。机械式装置还存在易磨损且更换麻烦的缺点,使得在实际生产中需要经常更换而且

更换成本高。而电子式的折边装置去掉了机械凸轮这种高副传动元件,用电机取代了一系列复杂的机构,简化了机构设计,节省了更换成本;而且电机可以根据实际需要产生多种运动规律,大大提高了折边装置的灵活性。

本研究所设计的电子式折边装置控制系统由用户设计具体工艺流程,进一步增强了折边装置的灵活性;通过实现电机跟随运动以及自抗扰控制算法,增强了自适应能力,而电机跟随算法的实现又能在其灵活性强的基础上保证工作精度。

参考文献(References):

- [1] 秦贞俊,梁 峰. 喷气织机的技术进步[J]. 棉纺织技术, 2002,30(3):35-38.
- [2] 郭岭岭,李国强,朱银慧. 喷气织机生产高密光边织物[J]. 国际纺织导报,2014(2):31-34.
- [3] 武继松,肖 军,夏玄安. 毕佳诺 OMNI-280 型喷气织机折入织边浅[J]. 北京纺织,1997(2):50-51.
- [4] 李相东,金玉珍,王 健. 喷气织机主喷嘴引纬特性实验研究[J]. 轻工机械,2015,33(5):10-14.
- [5] TOMIZUKA M, HU J S, CHIU T. Synchronization of two motion control axes under adaptive feedforward control[J]. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 1992,114(2):3234-3245.
- [6] 韩京清. 自抗扰控制器及其应用[J]. 控制与决策,1998,13(1):19-23.
- [7] SILVA G J, DATTA A, BHATTACHARYYA S P. New result on the synthesis of PID controllers[J]. *Automatic Control IEEE Transaction on*, 2002,47(2):241-252.
- [8] HUANG Y, LUO Z, HOSOE S. Active disturbance rejection control of robot systems based extended state observer[M]. Japan: The 19th Conference of robot society, 2001.
- [9] 韩京清. 一类不确定对象的扩张状态观测器[J]. 控制与决策,1995,10(1):85-88.
- [10] 管志敏. 自抗扰控制技术在大型火电机组控制系统中的应用研究[D]. 北京:华北电力大学控制科学与工程学院,2009.
- [11] 黄焕袍. 自抗扰控制技术及其在大型火电机组控制中的应用[D]. 北京:中科院数学与系统科学院,2004.
- [12] 高 琨,张森林. 基于 PLC 控制的电子凸轮系统设计[J]. 机电工程,2014,31(11):1419-1422.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

胡 晨,袁嫣红,吴跃成. 电子式折边装置控制系统研究[J]. 机电工程,2017,34(4):371-375.

HU Chen, YUAN Yan-hong, WU Yue-cheng. Control system of electronic hemming device[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017,34(4): 371-375.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>