

基于 ARM 的全自动封口旋盖机控制系统

张菁, 蔡锦达

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 研发一款新型全自动封口旋盖机的控制系统。**方法** 设计以 ARM9 S3C2416 微处理器为核心的工业触摸屏控制系统, 与伺服驱动器、变频器和继电器组成整体装置; 详细介绍封口旋盖机单管模式和双管模式的工作流程、控制时序方案和程序流程图以及工作时序。**结果** 提出了应用软件定时器实现多功能定时的方案, 解决了对电机转速和旋盖扭矩的实时通信卡顿等问题。**结论** 该控制系统采用 ARM9 嵌入式系统取代传统 PLC 控制, 性能稳定, 响应快, 控制精度高, 人机交互界面友好, 采用单双管模式使得生产速度加快。

关键词: 封口旋盖机; ARM; 软件定时器; HMI; 交流伺服; 自动控制

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0013-05

Control System of Automatic Sealing Capping Machine Based on ARM

ZHANG Jing, CAI Jin-da

(Shanghai University for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to develop a new control system of automatic sealing capping machine. An industrial touch-screen control system with ARM9 S3C2416 microprocessor as the core was designed and it constituted an integrated device in combination with servo driver, frequency converter and relay. The working process, control timing scheme and procedure flow chart, as well as working sequence of single-tube mode and dual-tube mode of the sealing capping machine were introduced in detail. The scheme in which software timer was used to achieve multi-functional timing was proposed. With such scheme, the real-time communication interruption and other problems of motor speed and capping torque were solved. After replacing the traditional PLC control with ARM9 embedded system, the control system is characterized by stable performance, fast response, high control accuracy and friendly man-machine interface. With single-tube/dual-tube modes, the production speed is accelerated.

KEY WORDS: sealing capping machine; ARM; software timer; HMI; AC servo; automatic control

旋盖机是自动灌装生产线的主要设备之一。我国传统旋盖机存在可靠性低、稳定性差、旋盖质量低、返工率高等问题, 严重制约了生产的稳定运行, 影响了整体的生产效率和生产质量^[1]。自动旋盖组装机作为一种能实现自动上盖和旋盖的自动化生产设备, 广泛应用于食品包装、日化用品及医药卫生等各个领域, 其生产质量和效率主要取决于控制方式。在广泛参考国内外先进机型的基础上, 现设计一款基于 ARM 的回转型封口旋盖机。该系统取代传统 PLC 控

制, 实现吸嘴与螺盖上盖、旋盖、检测和下料全过程的自动化控制^[2-3]。

1 控制结构原理

1.1 控制方案

旋盖主体和旋盖头是旋盖机的主要部件, 该控制系统选用机型为十工位循环机型。从 1 号管开始上管, 经过一次封口、二次封口、封口检测、一次旋盖、

收稿日期: 2016-10-20

作者简介: 张菁 (1992—), 女, 上海理工大学硕士生, 主攻机械自动控制。

通讯作者: 蔡锦达 (1963—), 男, 硕士, 上海理工大学教授, 主要研究方向为机械电子及自动化。

二次旋盖等工序,在9号工位处进行退管,10号工位对退管结果进行检测。该封口旋盖机各工位的工作流程见图1。

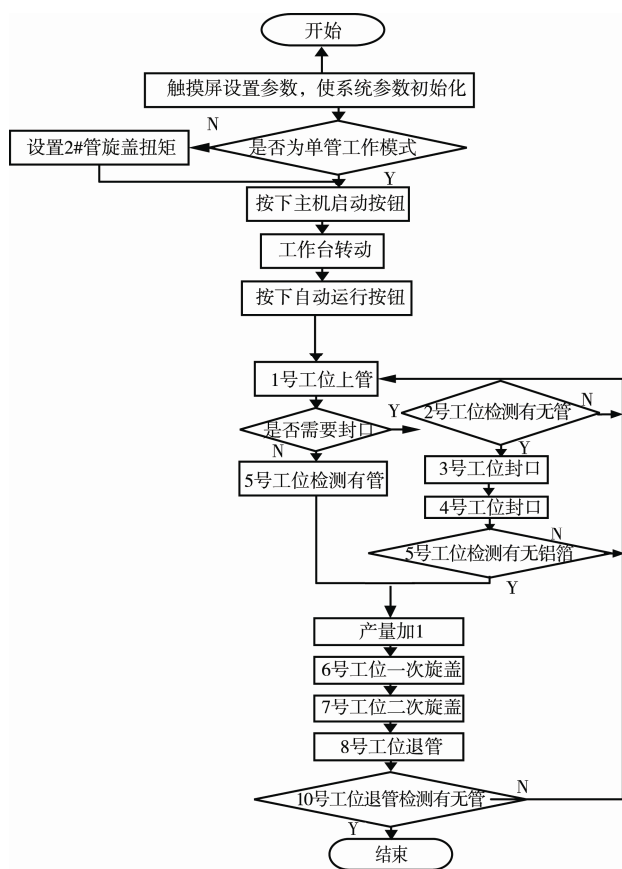


图1 旋盖机工作流程

Fig.1 The work process of sealing capping machine

1.2 控制工位分析

文中所用制管机机型实物见图2a,制管机机型的工位分为3个模块组成:上管检测模块包含1号、2号工位,1号为自动上管工位,主要完成对待加工软管的自动上管工作,2号为有管检测工位,对上一工位结果进行检测,检测结果决定是否进行下一工位的运行;自动封口旋盖模块包含3—7号工位,3号为一次封口工位,4号为二次封口工位,防止因一次封口不牢固使铝箔脱落,5号为封口检测工位,对加工产量进行计数,6号为一次旋盖工位,对软管上盖并进行初旋,7号为二次旋盖工位,由伺服电机在扭矩控制模式下完成,旋盖扭矩由RS485通信在人机交互式界面中进行设置;退管模块包含8—10号工位,8号为退管工位,完成旋盖动作后的软管到达该工位时,退管气缸向上顶出压紧软管,并向后移动,将软管从芯轴上拔出,9号为空工位,无任何动作,10号为退管检测工位^[4]。文中所用双管模式下的制管机机型实物见图2b。双管模式的工位与单管模式的工位相同,但是每个工位都有2个加工位置,检测模

块的检测方法稍微调整,但主流程不变,故双管模式大大增强了工作效率。因单双管模式的工作流程和时序基本相同,所以文中主要围绕单管模式的控制方案展开。

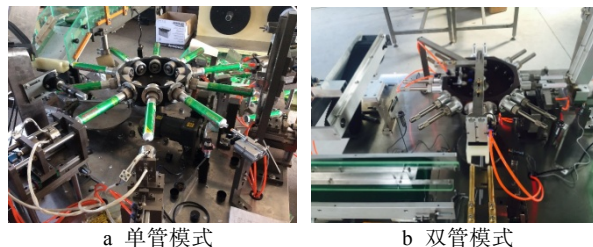


图2 旋盖机实物

Fig.2 The real sealing capping machine

2 控制系统硬件设计

文中所设计的封口旋盖机的控制系统主要是以ARM9 S3C2416型嵌入式触摸屏为核心^[5],其特点是功耗低、处理速度快、成本低,现场设备发出的各种反馈信号(光电开关等传感器),通过I/O输入控制器,其输入输出(I/O)分配见表1。触摸屏将封口旋盖机各工位机构的速度、扭矩等设定参数值通过RS485通信端口输出到伺服驱动器、变频器中,继电器、电磁阀等相应的机构动作也通过触摸屏的输出口进行控制^[6]。

表1 I/O分配

Tab.1 I/O allocation

输入编号	工位及信号	输出编号	作用对象
X1	大盘信号	Y1	1#旋盖伺服
X2	小盘信号	Y2	2#旋盖伺服
X3	退管检测	Y3	变频启动
X4	封口电眼	Y4	同步电磁阀
X5	旋盖电眼	Y5	封口加热
X6	封口检测	Y6	一封电磁阀
X7	一旋零位	Y7	二封电磁阀
X8	二旋接近	Y8	挡盖电磁阀
X9	扭力零速	Y9	夹盖电磁阀
		Y10	一旋电磁阀
		Y11	二旋电磁阀

3 控制系统软件设计

控制系统的软件部分由画面程序和控制程序组成。画面程序由HMI软件编辑完成,控制程序主要完成I/O口控制以及与伺服驱动器、变频器、传感器等外部设备通信。同时,针对工业中对控制系统实时响应的高要求,提出一种利用硬件定时器的特性完成软件定时器的设计和实现方法,解决旋盖机在高速运作时,交互式输入和修改通信参数(如

主机转速、旋盖扭矩等)导致出现的运动卡顿以及触摸不灵敏等问题。这里针对控制机器人界面的设计及基于 ARM 的软件定时器在控制系统中的实现进行介绍。

3.1 人机界面的设计及实现

HMI 是机械与工作人员进行交互的媒介,它一方面可以把旋盖机工作时的各种信息显示出来,供工作人员查看,另一方面可以通过获取、给予工作人员操作指令的许可来执行相应的操作。HMI 应用程序分为底层控制程序设计和上层界面程序设计 2 部分^[7]。

根据控制要求,人机界面实现的功能有单管模式下的各参数设置、双管模式下的各参数设置、自动运行界面中的状态监控及启动按钮^[8]。人机交互式界面见图 3。



图 3 全自动封口旋盖机人机交互式界面

Fig.3 Human computer interactive interface of automatic sealing capping machine

3.2 软件定时器的设计

在文中所设计的控制系统中,3 号和 4 号工位进行封口动作时有 2 个延时,即封口 1 延时 t_1 和封口 2 延时 t_2 ,除此之外,整个控制系统底层程序中还用到了多个延时控制,以实现对旋盖机各工位的协调控制。需要在控制程序的不同之处同时使用定时功能,而以 ARM 为内核的工业触摸屏仅有 5 个相互独立的定时器 0—4,且这完全不能满足控制系统的多点同时或分时的定时要求^[9]。当延时、定时要求较多时,工业控制中通常采用的解决方案是在需要延时的地

方添加 for 函数实现一定次数的空循环,来达到延时或定时的目的^[10]。这种方法不但定时精度不高,且在延时时间未达到时,控制器 CPU 始终被延时占用,无法跳出循环处理其他响应,这就造成了当设备运行时,通过触摸屏修改通信参数会出现的运动卡顿和触摸不灵敏,因此提出一种基于 ARM 的软件定时器的设计方法。首先由 ARM 硬件定时器为软件定时器提供时钟频率信号,然后基于 ADS1.2 编译器,创建软件定时器调用函数,读取定时初始值和当前值,最后运用差值比较原理设计时间长度算法,若计算结果满足设定的定时时长,则将相应软件定时器定时结束信号输出,供用户调用。

3.2.1 方案设计

软件定时器指的是在硬件定时器的基础上,利用定时器中断来实现定时功能的可编程定时系统。以三星公司的 ARM9 S3C2416 嵌入式微处理器为例,其内部共有 5 个相互独立、可编程操作的 PWM 定时器 0—4,其中,定时器 0—1 共用一个 8 位预分频器,定时器 2—4 共用另一个 8 位预分频器,每个定时器都有可以生成 5 种不同分频信号(1/2, 1/4, 1/8, 1/16 和 TCLK)的时钟分频器,各定时器的输入时钟频率的计算为:

$$f = \frac{f_{PCLK}}{(f_{TCFG0} + 1)f_{TCFG1}} \quad (1)$$

式中: f_{PCLK} 是提供给 APB 总线外设的时钟频率,其值可由嵌入式系统中提供给内核的主频时钟信号 f_{CLK} 按照一定的分频比例计算而得; f_{TCFG0} 为定时器配制寄存器 0 的分频值,定时器配制寄存器 0 的前 8 位数据决定定时器 0—1 的预分频值,取值范围为 0 ~ 255,后 8 位决定定时器 2—4 的预分频值,取值范围为 0 ~ 255; f_{TCFG1} 为定时器配制寄存器 1 的分频值,定时器配制寄存器 1 的相应数据位决定相应定时器的分频值。

$$f_{CLK} : f_{HCLK} : f_{PCLK} = 1 : N : K \quad (2)$$

式中: f_{CLK} 为 CPU 内核的时钟频率; f_{HCLK} 为 AHB 总线时钟频率。

ARM 微处理器的每一个硬件定时器都有它自己的由定时器时钟驱动的 16 位递减计数器,当定时器使能时,存储在定时计数缓冲寄存器(TCNTBn)中的初始值会被加载到相应递减计数器 n 中,并开始递减,当计数器的值减为 0 时,相应 TCNTBn 中的初始值会自动被加载到递减计数器中继续下一次递减操作,该过程称为定时器的自动重载。与此同时,系统会向 CPU 发出一个定时器中断请求,通知 CPU 当前定时器操作已完成。PWM 定时器功能原理见图 4^[11],其中 TCMPnK 和 TCNTnK 都为内部寄存器的名称, TOUTnK 为逻辑电平的状态。

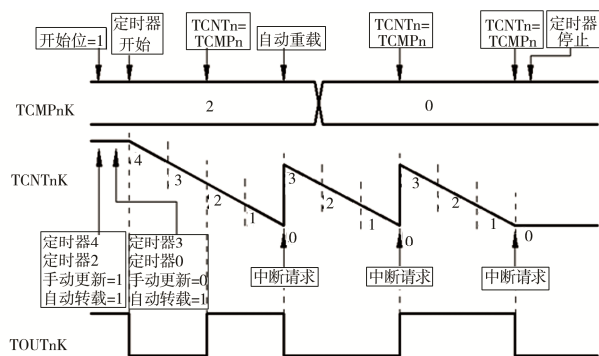


图4 PWM定时器功能原理

Fig.4 The theory of PWM timer function

3.2.2 工作原理

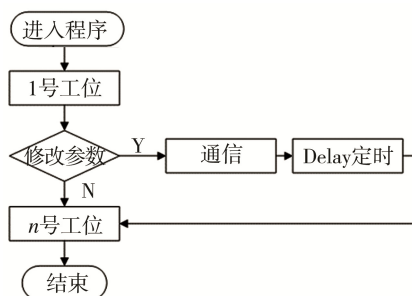
文中所提出的基于嵌入式系统的软件定时系统，其工作原理是在嵌入式微处理器硬件定时器的基础上，利用处理器内部 PWM 定时器为软件定时系统提供时钟频率信号，利用 PWM 定时数据自动重载和中断功能，结合嵌入式处理器控制程序编译器，根据所述功能模块编写 API 函数，实现基于一个硬件定时器，构造任意多个标准相同、相互独立的软定时器。用户可根据不同的控制要求进行调用，不同的软件定时器不但可以同时使用，且彼此之间不会因为定时起始时间、定时时长等参数的不同而产生影响。该定时系统不仅可使用的定时器数量多、容量大，且定时时间灵活性强、定时精准^[12]。

3.3 控制系统中的应用

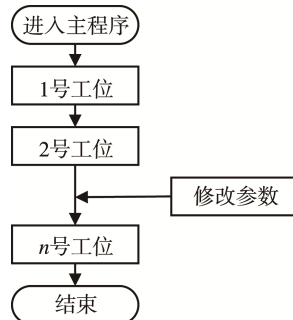
控制系统通过输入输出实现信号采集和对伺服电机的控制等，RS-485 通信口实现伺服控制器及变频器的通信，其中伺服驱动器采用扭矩模式^[13]。在工业控制中，如要想进行延时操作，一般要执行 Delay 语句，由 1 个 for 循环语句组成。在该机器运行时，若要在循环内修改参数，则要进入通信延时环节，在用 Delay 语句时，主线程将会中断，等待该语句运行完成后，通过连续通信，最终判断是否继续运行主线程。当延时语句运行时，该延时方式会导致触摸不灵及通讯延时，致使工位卡顿，在机器高速运转时容易发生撞机行为。为了解决该问题，课题组设计 ARM 软件定时器的中断来实现修改参数等任务。旋盖机改进前后的工作流程见图 5。

结合全自动分口旋盖机的控制流程，定义软件定时器读取所需的初值为 t_0 和当前值 t ，然后按照时间长度算法计算时间流逝的长度，并与请求定时长度相比较^[7]，到达定时时间后则构造定时结束信号，并发送给控制系统。 t_0 和 t 主要包括计时器 0 递减计数器的当前值 TCNT00 和 TCONTO0 到达 0 的次数 c 以及 c 到达溢出的次数 c_0 。其中 TCNT00 的值在递减计数器中自动递减，一旦该值为 0，则向 CPU 发出

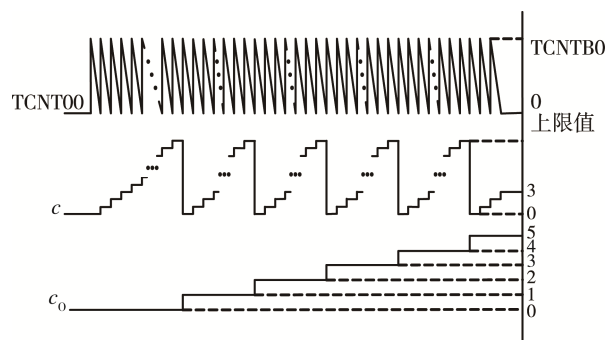
次中断请求，对 c 和 c_0 值的操作则在对应的中断服务程序中完成，基本逻辑关系见图 6^[14-15]。



a 改进前



b 改进后

图5 旋盖机工作流程
Fig.5 The flow chart of capping machine图6 软件定时器数据时间变化关系
Fig.6 Data-time change relation of timer data

软件定时器的设计中，为软件定时器提供时钟频率的硬件定时器 0 一旦控制器得电，即被配置成中断使能状态，以 TCNTB0 的长度为间隔，定期向 CPU 发出定时中断请求，且在定时器中断服务程序中对时间数据进行赋值操作。当加工过程中需修改参数时，加工动作不需要停止和等待修改参数的时间，而是进入中断定时功能，此时加工动作依旧在执行，不会受到影响。

4 结语

针对封口旋盖机的不同生产流程及要求，设计了基于 ARM9 2416 微处理器的封口旋盖机控制系统，用输入输出分别控制各工位的气缸、伺服电机和变

频电机等设备进行逻辑控制,工作中转速和旋盖扭矩通过 RS485 实现触摸屏与驱动器、变频器之间的实时通讯,运用文中提出的基于 ARM 的软件定时器对封口时间进行控制,解决了触摸不灵及卡顿等现象,可以达到生产要求,保证封口旋盖生产的质量。该系统代替了传统的 PLC 控制,提高了控制系统的可靠性及生产效率。经生产测试,该控制系统稳定、界面友好、实时性强、可满足生产要求,在实际生产中的产品合格率达到 95%以上。

参考文献:

- [1] 李诗龙. FX12 型旋盖机的设计[J]. 包装工程, 2000, 21(3): 24—26.
LI Shi-long. Design of Screw-closure Capper of Model FX12[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(3): 24—26.
- [2] 蔡锦达, 秦绪祥, 王亮, 等. 全自动封口旋盖机控制系统的设计[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 5—9.
CAI Jin-da, QIN Xu-xiang, WANG Liang, et al. Design of Control System of Automatic Sealing Capping Machine[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 5—9.
- [3] 龚肖新, 张卫国. 自动旋盖组装机气动系统设计[J]. 液压与气动, 2016(1): 130—133.
GONG Xiao-xin, ZHANG Wei-guo. Design of Pneumatic System for Automatic Screw Cap Assembly Machine[J]. Hydraulic and Pneumatic, 2016(1): 130—133.
- [4] 储茂兵, 石恩琪, 蔡锦达. 高速注肩机自动控制系统的设计[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 113—115.
CHU Mao-bing, SHI En-qi, CAI Jin-da. Design of Auto-control System of High-speed Tube Heading Machine[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 113—115.
- [5] 蔡锦达, 齐建虹, 顾豪. 基于 ARM9 的滚筒式生物芯片点样仪的研发[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(10): 2178—2204.
CAI Jin-da, QI Jian-hong, GU Hao. Research and Development of Roller Biochip Microarrayer Based on ARM9[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(10): 2178—2204.
- [6] 蔡锦达, 齐建虹. 基于 ARM9 的自适应模糊 PID 定长切割控制系统[J]. 控制工程, 2014, 21(3): 315—320.
CAI Jin-da, QI Jian-hong. Adaptive Fuzzy PID Algorithm Fixed-length Cutting Control System Based on ARM9[J]. Control Engineering of China, 2014, 21(3): 315—320.
- [7] 杨宝山, 蔡锦达, 刘劲阳. 基于 ARM 的纸护角定长剪切控制系统设计[J]. 包装工程, 2015, 36(11): 18—26.
YANG Bao-shan, CAI Jin-da, LIU Jin-yang. Design on Control System of Rotary Paper Angle Bead Machine Based on ARM[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(11): 18—26.
- [8] 蔡锦达, 王亮, 秦绪祥, 等. 基于工业触摸屏的多点数据通信系统的设计[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(11): 299—301.
CAI Jin-da, WANG Liang, QIN Xu-xiang, et al. Design of Multipoint Data Communication System Industry Based on Touch Screen[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(11): 299—301.
- [9] 程瑶. 基于 ARM7 PWM 定时器的图像传感器时序信号设计[J]. 微型机与应用, 2011, 30(11): 25—27.
CHENG Yao. Design of the Timing Signals of Image Sensor Based on ARM7 PWM Timer[J]. Microcomputer and Applications, 2011, 30(11): 25—27.
- [10] 吴林平, 胡仁杰. 软件定时器的实现[J]. 工业控制计算机, 2002, 15(11): 46—48.
WU Lin-ping, HU Ren-jie. Realization of Soft Timer[J]. Industrial Control Computer, 2002, 15(11): 46—48.
- [11] 代路伟. 基于 ARM 嵌入式长时间高精度的定时器设计[D]. 上海: 东华大学, 2015.
DAI Lu-wei. Long Time and High Precision Design of The Timer Based on ARM[D]. Shanghai: Donghua University, 2015.
- [12] 丁群, 陈海娃, 洪娜佳. 基于 C 语言的计算机软件编程分析[J]. 科技创新与应用, 2016(9): 88.
DING Qun, CHEN Hai-wa, HONG Na-jia. Programming Analysis of Computer Software Based on C Language[J]. Science and Technology Innovation Application, 2016(9): 88.
- [13] 陟俊杰, 蔡锦达, 唐静. 基于 ARM9 的多功能贴标控制系统研发[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 133—139.
ZHI Jun-jie, CAI Jin-da, TANG Jing. Development of Control System for Multi-function Labeling Based on ARM9[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 133—139.
- [14] 喻诗祥, 顾乃杰, 张旭, 等. 一种多核 ARM 平台下用户态定时器的实现[J]. 计算机工程, 2015, 41(1): 19—30.
YU Shi-xiang, GU Nai-jie, ZHANG Xu, et al. Implementation of a User-mode Timer in Multi-core ARM Platform[J]. Computer Engineering, 2015, 41(1): 19—30.
- [15] 秦玉蒙, 王娅男, 邱春玲. 一种高效软件定时器的设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(9): 94—106.
QIN Yu-meng, WANG Ya-nan, QIU Chun-ling. Design and Implementation of an Efficient Software Timer[J]. Laboratory Research and Exploration, 2015, 34(9): 94—106.