

基于 CAN 总线的特种自动化立体仓库设计

吕 峰,王 恒,李建勇*

(北京交通大学 机械与电子控制工程学院,北京 100044)

摘要:随着各行业对自动化立体仓库功能的要求越来越高,以及某些特殊货物在存储时的特殊需求,设计并实现了一种特种自动化立体仓库。系统以直线运动单元为运动载体构建了整体机械架构;以 CAN 总线作为现场总线,构建系统局域网,实现了高安全级别的分布实时控制;最后,采用有限状态机(FSM)的方式对自动化立体仓库控制器进行了建模和设计,实现了一种低成本、高性能的特种自动化立体仓库。

关键词:自动化立体仓库;CAN 总线;有限状态机

中图分类号: TH12;TH6

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)09-1073-04

Design of special automated storage and retrieval system based on CAN bus

LV Feng, WANG Heng, LI Jian-yong

(School of Mechanical and Electronic Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: With the higher requirement of all the industry for the function of the automated storage and retrieval system, and some special requirement for storage of some goods, a special type of automated storage and retrieval system was designed and realized. Linear motion units was used as motion carrier to constitute the whole mechanical structure of the system, CAN bus was used as the field bus to constitute the local area network, the high safety distributed and real-time control was realized. And at last, finite state machine(FSM) was used to model and design the system controller. As a result, a sort of special automated storage and retrieval system with low cost and high performance is invented and put into application.

Key words: automated storage and retrieval system; CAN bus; finite state machine (FSM)

0 引 言

自动化立体仓库是现代物流技术领域内的一种新型物流存储设施,它能够在无人工干预的情况下实现自动存储和自动取料。自动化立体仓库可实现仓库高层合理化、存取自动化、操作简便化,而且占地面积小,存储容量大,可方便迅速的进行货物的出/入库作业,提高出/入库作业率和仓库的周转能力,提高存储的经济效益,是当前技术水平较高的一种存储形式^[1]。

由于现代物流技术的高速发展,城市用地日趋紧张和人类生活节奏的不断加快,使得自动化立体仓库在我国迅速发展,我国厂矿企业、百货商业、邮电、物

资、码头等对立体仓库功能的要求也越来越高。尤其很多特殊货物的存储需要在密闭的空间中进行特殊工序的处理,这就对立体仓库的功能提出了更高的要求。

鉴于这种特殊的要求,本研究设计了一种特殊的小型自动化立体仓库,实现了上述功能,满足了设计要求。

1 机械系统设计及其工作原理

1.1 系统组成

传统的自动化立体仓库从结构上主要由 4 个部分组成:货物储存系统、货物存取系统、货物输送系统、控制和管理系统^[2]。为满足特殊货物的需求,该设计还包含特殊处理系统。整体结构示意图如图 1 所示:

收稿日期:2011-04-22

作者简介:吕 峰(1987-),男,江苏句容人,主要从事机械设计、机械制造以及先进过程与控制方面的研究. E-mail:lvfiverson@gmail.com

通信联系人:李建勇,男,教授,博士生导师. E-mail: jlyli@bjtu.edu.cn

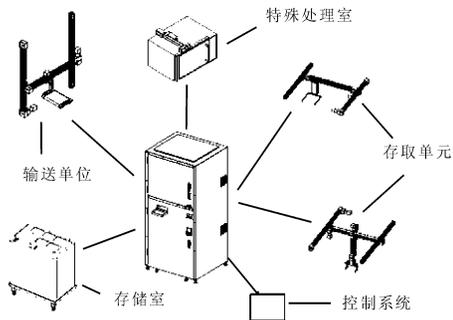


图1 自动化立体仓库整体结构示意图

(1) 货物存储系统。货物存储系统是自动化存储系统的基础,主要由立体货架构成,对于本设计的特殊要求,采用了推拉门式存储室,其内部空间配以立体货架。这样既节省了存储的占地空间,而且具备了冷却存储的功能。此外,存储系统还具备一定的自由度,可以随意地进行位置变化以适应不同的地理环境和其他要求。

(2) 货物存取系统。自动化存储系统的货物如何存取,不仅关系到货物的周转效率,而且关系到整体结构的设计方案。传统的自动化立体仓库中不涉及货物的特殊处理过程,所以在传统的自动化立体仓库中,货物的存取方式比较单一,比较容易控制。而在一些应用场合,货物需要在密闭空间中进行特殊处理,这就使得存取过程变得复杂。

为了解决这一问题,笔者设计了两套机械手,分为一号机械手和二号机械手。货物存取主要靠机械手和机械手臂来完成,一号机械手主要负责从存储室中抓取货物,二号机械手主要负责从特殊处理室中抓取货物。

一号机械手由4个直线运动单元和1个手爪组成,两个直线单元完成机械手在存储室水平面内的动作,另外两个直线单元构成机械手臂完成竖直方向的运动。二号机械手由3个直线运动单元和1个手爪组成,两个直线单元完成机械手在特殊处理室水平面内的动作,另外一个直线单元完成机械手在室内竖直方向的运动。

(3) 特殊处理系统。货物特殊处理系统主要由处理室和室门机构组成。货物在被处理过程中,因有封闭的要求,每次货物在进出处理室时都会涉及室门的开合,室门的自动开合必须平稳可靠,为此笔者采用动力为电动推杆的四杆机构,实现了室门的平稳开合。

(4) 货物输送系统。货物输送系统是货物与存储室、特殊处理室以及出/入库的连接纽带。主要由两个直线运动单元和一个转动托盘构成,两个直线单元可以使转动托盘在竖直平面内任意移动,完成货物的输

送,转动托盘本身带有输送带,具备自动卸货的功能。

(5) 控制和管理系统。自动化立体存储系统采用分布式控制,即由管理计算机、中央控制计算机和直接控制机械手、出/入库输送车等现场设备的控制器组成控制系统。

管理计算机是自动存储系统的管理中心,承担着出/入库管理、查询、显示等功能。中央控制计算机是自动存储系统的控制中心,它沟通并协调管理计算机、机械手、出/入库、输送车之间的联系,控制和监视整个自动存储系统的运行,并根据管理计算机反馈的现场运行情况和设备状态进行故障检测及查询显示等功能。

1.2 系统工作原理

该系统工作原理如图2所示:

(1) 当有货物需要存储时,货物由入仓口输入,由传送带输送至位于位置一的输送车,输送车运送货物至存储间附近的位置二,此时存储间仓门自动打开,通过机械臂和一号机械手的联合动作从而把货物准确的存储到存储间的立体货架上。

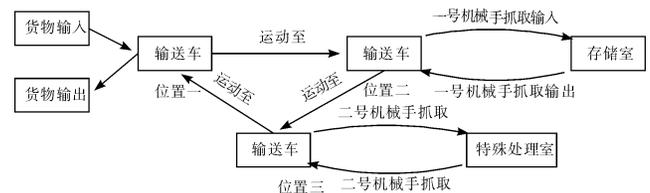


图2 系统工作原理图

(2) 当需要输出货物时,存储室的仓门打开,一号机械手抓取需要的货物至位于位置二的输送车,输送车得到货物后,运动至特殊处理室附近的位置三,室门打开,由二号机械手抓取货物运送至室内,室门关闭,进行货物的特殊处理。处理完成后,室门打开,二号机械手进入室内取出货物放至输送车上,输送车运送处理完的货物至出库位置,通过传送带输出货物,完成输出过程。

1.3 直线运动单元的设计应用

在许多现代化工业场合,需要点到点间的高速运动,这种运动又时常需要速度和距离间的变化,常规刚性直线运动器件由于结构和控制的柔性所限,上述要求往往受到制约^[3]。而直线运动单元在控制电机的驱动下,通过数字控制可以方便地满足上述需要,直线运动单元具有速度和距离可柔性变化,定位精度高、可形成闭环反馈控制及高速和大行程等特点,能够方便的拼成多维运动组合,适用于高速、轻载、精密的运动场合^[4]。

市场上有很多直线运动单元的成品,经过调研发现,当应用到该设计中时,由于系统运动空间的限制,普通的直线运动单元产品往往在尺寸上和承受载荷上有很大的限制和矛盾,而且零行程长度较大,影响系统整体尺寸的控制。为此,本研究以 40 mm × 40 mm 的中空铝型材为基体,设计了两种直线运动单元。

第 1 种设计如图 3 所示,铝型材作为直线单元的基架,为了控制成本,使用两根 $\Phi 8$ 的钢制光轴作为滑道,再配以两个 $\Phi 8$ 的直线轴承作为滑块的载体。传动方式采用同步带、同步带轮传动。在试验过程中发现,当电机带动同步带轮运转时,如果负载较大,容易出现运动不平稳,噪音变大,稳定性欠佳。分析原因,是由于钢制光轴被支座两端固定,当距离较大,负载加大时,钢制光轴出现刚性不足,以致以上现象发生。

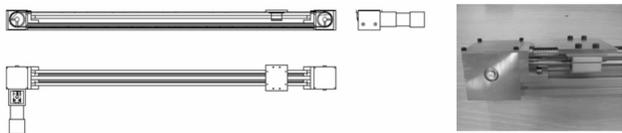


图 3 双直线轴承直线运动单元

第 2 种设计如图 4 所示,基架以及传动方式同第 1 种设计,由于第 1 种设计中主要原因是钢制光轴刚性不足所致,所以重点解决刚性的问题。借鉴大多数公司的设计方式,综合价格、性能等因素,本研究选用了一款国产微型导轨 CF12MN 及其滑块,由于直线导轨可以平整的安装在基架上,刚性大大增加。试运行后发现,整个直线单元虽然在成本上稍高于第 1 种设计,但其平稳性、可承受载荷量都远大于第 1 种,故系统中采用第 2 种设计。

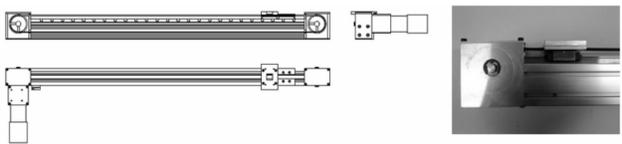


图 4 直线导轨直线运动单元

本研究设计的直线运动单元,具有重量轻、零行程长度短、安装灵活,并且能够方便的拼成各种多维运动组合,极大地满足了系统的设计要求。

2 控制系统的硬件设计

控制系统硬件功能框图如图 5 所示。整个控制系统通过以太网和人机交互界面通讯,中央控制单元通过 CAN 总线实现各个驱动器的控制,通过 Bluetooth 实现特殊处理室的控制。

传统自动立体仓库的中央控制单元通常采用工控

机或者 PLC,成本较高。本研究选用低成本、低功耗、高性能的 LPC1768 作为中央控制器。LPC1768^[5] 是一款基于第二代 ARM Cortex-M3 内核的微控制器,适用于仪器仪表、工业通讯、电机控制、灯光控制等领域。包含高达 515 KB 的 Flash 存储器、以太网 MAC 模块、USB 接口、4 个 UART、2 个 CAN 通道、2 个 SSP 控制器、SPI 接口等,可在高至 100 MHz 的频率下运行,并包含一个支持 8 个区的存储器保护单元(MPU)。

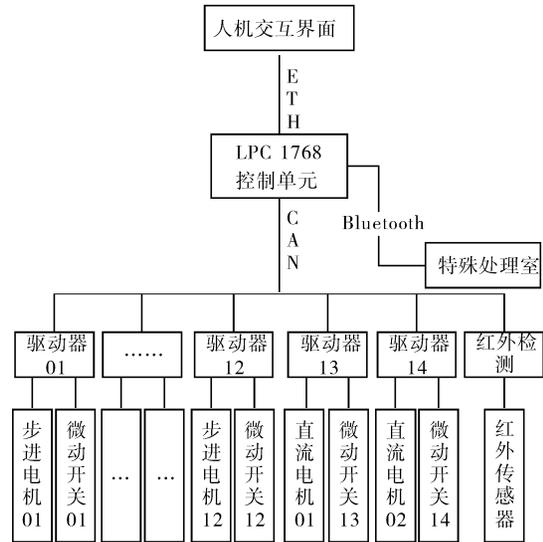


图 5 控制系统硬件功能框图

CAN 总线是国际上应用最广泛的现场总线之一,是串行数据通信的一种高性能通信协议。CAN 控制器提供了一个完整的 CAN 协议实现方案。微控制器包含该片内 CAN 控制器,用来构建功能强大的局域网,支持极高安全级别的分布式实时控制^[6-8]。

CAN 总线驱动器电路如图 6 所示。两块 6N137 芯片用于控制隔离器与外部总线上的信号,采用独立供电,避免干扰信号影响控制系统功能,从而提高了控制系统的可靠性。CAN 控制器的 RX 与 TX 引脚分别与起隔离作用的光耦器 K 引脚和 VO 引脚相连,系统需要发送的数据通过 TX 输入到 CAN 驱动器中,继而传输到 CAN 总线上;总线上的数据则通过驱动器 TJA1040 的 RX 引脚输入到控制器中,实现数据的发送与接收。CANL 和 CANH 分别是低电平 CAN 总线输入/输出引脚和高电平 CAN 总线输入/输出引脚,与两线接口相连,接入 CAN 物理总线,实现 CAN 节点的挂靠。

步进电机控制单元在整个系统中应用最广,传统的步进电机控制线路复杂,成本较高。本研究设计采用的 THB7128 是一款高细分、大功率两相混合式步进电机驱动芯片,电机控制电路如图 7 所示。它具有双

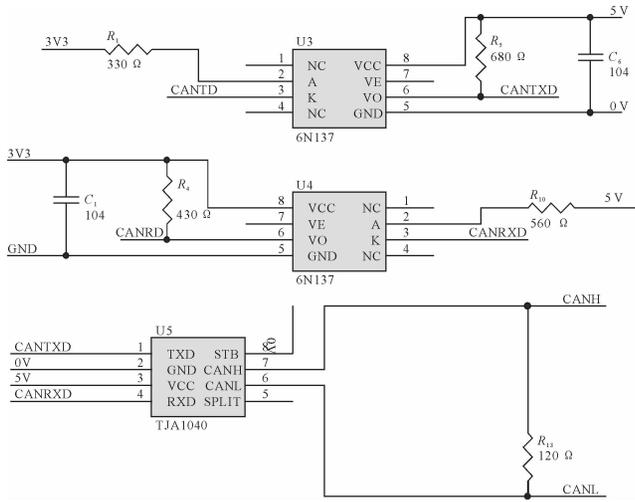


图 6 CAN 总线驱动器电路原理图

全桥 MOSFET 驱动,低导通电阻 $R_{on} = 0.53 \Omega$,最高耐压 40 VDC,大电流 3.3 A(峰值),多种细分可选(1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128),自动半流锁定功能,内置混合式衰减模式,内置输入下拉电阻,内置温度保护及过流保护。本研究采用这种专用的电机控制芯片,不仅结构简单,而且价格便宜、开发周期短、稳定性高,非常适合小型自动化设备对步进电机的驱动要求。

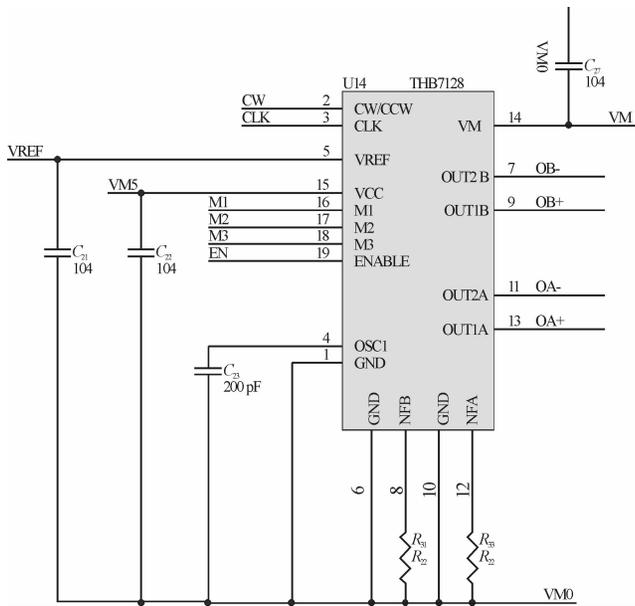


图 7 步进电机控制电路原理图

3 控制系统的软件设计

有限状态机(Finite State Machine, FSM)^[9-10]是离散事件系统的一种表达方式。由于它易于操作和表达直观,常用来描述离散事件控制器的状态空间。这些状态是有限的、不重叠的。有限状态机 FSM 是一个 5

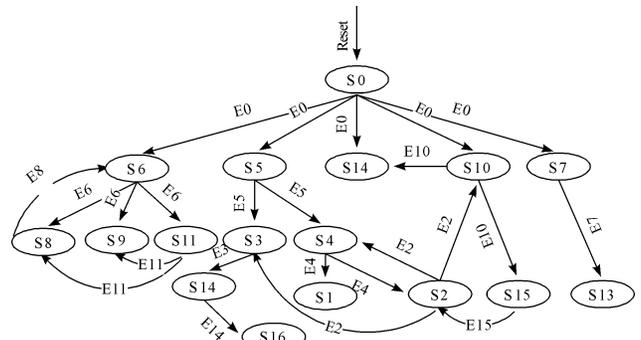


图 8 控制器的有限状态机

元组,即:

$$FSM = (S, G, E, A, T) \quad (1)$$

式中:S—State(状态),就是一个系统在其生命周期中某一时刻的运行情况,此时,系统会执行一些动作,或者等待一些外部输入;G—Guard(条件),状态机对外部消息进行响应的时候,除了要判断当前的状态,还要判断跟这个状态相关的一些条件是否成立,这种判断称为 guard,guard 通过允许或者禁止某些操作来影响状态机的行为;E—Event(事件),就是在一定的时间和空间上发生的对系统有意义的事情;A—Action(动作),当一个 Event 被状态机系统分发的时候,状态机用 Action 来进行响应,比如修改一下变量的值、进行输入输出、产生另外一个 Event 或者迁移到另外一个状态等等;T—Transition(迁移),从一个状态切换到另一个状态被称为 Transition,引起状态迁移的事件被称为 triggering event(“触发事件”),或者被简称为 trigger(“触发”)。

在该系统中,控制器存在的状态数量比较多,彼此之间又存在很多的关联,使得系统程序复杂。有限状态机的运用大大简化了这一过程,状态机用有向图来表示,圆圈表示节点,代表某个特定的状态,有向线表示状态的转移,线上的文字代表的是状态的转移条件。利用有限状态机构建了整个控制器的状态图,如图 8 所示,其中 S0 为等待状态,S1 ~ S14 为货物存取过程的各个主要步骤,S15 为正在进行特殊处理状态,S16 为停止状态,E0 ~ E15 分别代表各个状态的转移条件。对照图 8,系统状态变换关系描述如下:

(1)系统上电初始化后进入等待状态,等待开始指令。

(2)在等到开始指令后,6号、5号、14号、10号及7号运动单元同时动作,实现货物运送准备工作(存储室门打开,特殊处理室门打开等)。

(3)对于6节点,当检测到6号运动单元完成动作后,8号、9号及11号运动单元开始动作,当检测到

(下转第 1085 页)

与存储,在以后的研究可集成更多通道的数据采集,上位机加入一些曲线显示和控制功能,进一步完善上位机参数设定、储存等功能,也可增加一些其他设计功能,更加便于用户使用。

参考文献 (References):

- [1] ELT Inc. . B-530 CO₂ Sensor Module Data Sheet Revision 1.0 [M] ELT Inc. ,2008.
- [2] 黄维通. Visual C++ 面向对象与可视化程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 深圳新世联科技有限公司. KE-25/KE-50 GS Oxygen Sensors Data Sheet [M]. 深圳:深圳新世联科技有限公司,2009.
- [4] 西安力敏传感测控技术有限公司. ND-1 通用压力变送器产品说明[M]. 西安:西安力敏传感测控技术有限公司,2008.
- [5] 武汉力源电子股份有限公司. TLC2543 模数转换器数据手册及应用笔记[M]. 武汉:武汉力源电子股份有限公司,1999.
- [6] 郭天祥. 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

- [7] [作者不详]. USB-HOST 芯片 CH375 的 U 盘文件级子程序库说明 [EB/OL]. [2010-12-30]. <http://wenku.baidu.com/view/e47b879466eco975f465e23e.html>.
- [8] 宏晶科技. STC89C51RC/RD + 系列单片机器件手册 [EB/OL]. [2011-03-19]. <http://mcu-memory.com/>.
- [9] 南京沁恒公司. USB 芯片 CH375 的评估板说明及应用参考[M]. 南京:南京沁恒公司,2004.
- [10] 邓清涛,杨鹏. 基于 CH375 的单片机 U 盘控制器的设计与实现[J]. 自动化与仪器仪表,2007(4):15-18.
- [11] 王幸之. 单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [12] 马忠梅. 单片机的 C 语言应用程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [13] 深圳市骏显电子科技有限公司. JM12864M-2 中文字库说明书[M]. 深圳:深圳市骏显电子科技有限公司,2010.
- [14] 广州周立功单片机发展有限公司. PCF8563 使用指南[M]. 广州:广州周立功单片机发展有限公司,2004.

[编辑:张翔]

(上接第 1076 页)

11 号运动单元完成动作后,8 号,9 号继续执行另外的动作,实现货物的抓取(其他节点运动与此类同,不作赘述)。

(4) 当所有动作完成后,从仓口输出货物,系统恢复停止状态。

经试验验证,原来串行设计的整个系统单次货物存取所需的时间为 150 s,而采用基于有限状态机的设计方法,调试之后,单次运行的时间缩减为 80 s,效率提高了将近一倍,大大节省了货物的存取时间。经过研究,采用有限状态机进行软件设计,构建程序架构,将各工艺流程划分为不同状态,大大降低了程序的复杂性,使程序的开发与维护更容易,提高了控制系统的稳定性。

4 结束语

新型的自动化立体仓库的发展对于现在以及未来物流技术和特殊货物的存储具有重要的意义。本研究设计的自动化立体仓库集存储、特殊处理等功能于一身,各运动单元能有序、协作、高效的完成整个货物的存取过程,为一些特殊货物的自动化存储提供了载体,同时也为以后开发出应用面更广的自动化立体化仓库提供了设计参考。

参考文献 (References):

- [1] 肖生苓. 现代物流装备[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 刘伟钦. 自动化立体仓库的发展与展望[J]. 中国科技博览,2008(23):38-39.
- [3] 刘浏,高红琴. 基于直线运动单元的大型数控火焰切割机的设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2004(9):74-74.
- [4] Amart. Linear Motion Units Flyer[EB/OL]. [2008-08-16]. http://www.amart.com.cn/zDocument/Linear_Motion_Units_Flyer_C.pdf.
- [5] NXP Semiconductors. LPC176X User Manual [EB/OL]. [2010-06-07]. http://www.zlgmcu.com/nxp/lpc1000/ds/lpc1764_lpc1765_lpc1766_lpc1768_ds_en.pdf.
- [6] 舒志兵,袁佑新,周玮,等. 现场总线运动控制系统[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [7] DAVENPORT D M,HOCTOR R T. A physical layer for the CAN bus using modulated PLC [C]//2005 International Symposium on Power Line communications and Its Applications,2005:176-180.
- [8] 周志文,吴韬,马安仁. 基于 CAN 总线的存储管理系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2010(1):75-77.
- [9] 林凯宏,游林儒,阳如坤. 基于有限状态机的专用盖章机设计与实现[J]. 机械设计与制造,2010(6):18-19.
- [10] 胡庆华,游林儒. 基于有限状态机的卷绕机系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2009(11):56-59

[编辑:张翔]