DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)07-0110-05

自动贩卖机虚拟仿真系统设计

黄 冲, 吴文贤, 章洺泷

(浙江纺织服装职业技术学院 机电与轨道交通学院,浙江 宁波 315211)

摘 要:近年来,自动贩卖机在人们的日常生活中越来越普及,为降低贩卖机的升级更新成本与缩短设计开发周期,基于数字化虚拟在环仿真技术,设计一个自动贩卖机虚拟仿真系统,将实体自动贩卖机系统映射于虚拟的环境中,通过虚拟在环的方式调试并验证系统功能。在该数字化的自动贩卖机系统中,通过Siemens NX软件设计设备的三维模型,使用PLCSIM创建虚拟PLC作为系统的控制器,使用TIA PORTAL软件设计人机交互界面与PLC SCL程序,通过通信协作的方式实现了自动贩卖机系统的虚拟调试,验证了虚拟仿真技术在机电产品设计过程中的应用可行性。相较于传统的设备研发方式,数字化系统先行开发或产品升级这种方式,可有效降低设备试错成本与缩短升级开发周期,以提高市场竞争力,具有良好的市场应用前景。

关键词:虚拟仿真;自动贩卖机;人机交互;PLC;SCL;数字化

中图分类号:TP278;TP391.98 **文献标志码**:A **文章编号**:1003-7241(2026)07-0110-05

Virtual simulation system design of vending machine

Huang Chong, Wu Wenxian, Zhang Minglong

(Mechanical & Electrical Engineering School, Zhejiang Fashion Institute of Technology, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract: In recent years, vending machines have become increasingly popular in people's daily lives. In order to reduce the cost of upgrading vending machines and shorten the development cycle. In this paper, a vending machine system is designed based on digital virtual simulation technology, which maps the physical vending machine system into a virtual environment, and debugs and verifies the system functions through virtual loop. In this digital vending machine system, the three-dimensional model of the equipment is designed using Siemens NX software, a virtual PLC is created in PLCSIM as the system controller, Human Machine Interface configuration and PLC SCL program are designed in TIA PORTAL software, and finally the virtual debugging of the digital vending machine is realized by multi-platform cooperation, which verifies the feasibility virtual simulation technology in the advanced development stage for mechanical and electrical products. Compared with the traditional way of equipment research and development , the equipment development based on virtual simulation technology can effectively reduce the cost of trial and shorten the development cycle, so as to improve market competitiveness ,which has a good application prospect.

Keywords: virtual simulation; vending machine; human machine; PLC; SCL; digitalization

随着无人售货技术的发展,自动贩卖机由于其占地空间小、人工成本低和灵活便捷等特点,逐渐在客运站、学校和办公大楼等场所普及,使得我们在日常生活中能够更加便捷地购买零食和饮品。而在自动贩卖机使用过程中,有时会出现扣费却未出商品,或者是商品信息未及时更新等问题,因此自动贩卖机设计厂商需要不断优化系统设计,实时更新商品信息并进行个性化定制。为进一步提高市场竞争力,可在自动贩卖机设计开发阶段引入数字化虚拟仿真[1-2]技术,将自动贩卖机信息映射于虚拟环境中,通过虚拟在环的仿真方法对系统进行设计、调试与改进,相较于传统的产品设计与制造方法,无需将实物制造出来后进行操作系统设计与调试,可有效降低产品设备成本与研发周期。

许多研究人员基于虚拟仿真技术,对产品设备进行数字化研究与设计,以实现对传统研发方式的过程优化与成本节约。张泽坤等[3]基于NX平台,设计了采球机虚拟设备,并实现了系统虚拟运行仿真,以解决采球机调试阶段高成本与高风险的问题,验证了基于虚拟数字化平台对机电产品开发的可行性;乔阳等[4]通过云端PLC设计了基于虚拟仿真技术的生产线自动控制系统,结合YOLOv5算法进行目标检测,提高了生产线的目标检测效率;陈志澜等[5]通过Process Simulate平台搭建了机床上下料的数字化虚拟系统,通过虚拟调试的方式,不断优化改进了系统布局与上下料路径,将工作效率提高了约15%;邓飞等[6]通过PLCSIM Advanced与NX软件实现了火炮轴类零件检测的虚拟仿真实验,以解决爆震轴类零件维修检测中存在的成本高与风险大等问题。

收稿日期:2024-11-08;**录用日期**:2025-01-22

基金项目:2025-2026年度全国高等职业院校人工智能专业建设暨数字教材建设研究课题(KT2601123);宁波市2024年度产教融合"五个一批"产学协同育人项目(ZJFFZB2025-cj1)

作者简介:黄 冲(1990—),男,硕士,讲师,研究方向为机电一体化技术。

引用本文:黄冲, 吴文贤, 章洺泷. 自动贩卖机虚拟仿真系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(7):110-113,138. (Huang Chong, Wu Wenxian, Zhang Minglong. Virtual simulation system design of vending machine[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(7):110-113,138.)

本文基于数字化虚拟在环仿真技术,拟对自动贩卖机进行虚拟仿真设计与研究。通过 Siemens NX 软件对自动贩卖机进行机械结构设计,并对饮品模型进行布局;在 TIA PORTAL 中进行人机交互界面(human machine interface, HMI)设计,对自动贩卖机组态画面与按键函数进行添加;同时在 TIA PORTAL 中进行 PLC 结构化控制语言(structured control language,SCL)程序设计,调试自动贩卖机功能程序。经过对自动贩卖机的虚拟仿真研究,以验证系统工作流程、PLC SCL 程序和 HMI 人机交互组态等的功能可行性。

1 自动贩卖机机械模型

本系统中自动贩卖机机械模型采用 NX 软件进行图形设计,NX 系列软件[7]是 SIEMENS 公司为产品数字化研发所提供的设计软件,其功能支持产品的概念设计、结构设计、数据分析和生产制造等[8],可为完整的产品开发过程提供支持,是数字化虚拟系统机械产品开发的基础。

本实验平台中,虚拟贩卖机机械模型框架采用与实物比例 1:1 进行测绘,并对部件机构(余额显示屏、商品选购按钮、取料仓、硬币投币孔、纸币投币孔和退币按钮等)进行设计与装配,得到虚拟的实验模型,如图 1 所示,各部件结构会在后期通过 HMI 按键函数赋予对应的操作功能;同时在模型设计过程中,通过对各部件的正确装配以及对商品状态变化的设计,以实现对实体设备的高度还原,例如在商品购买完成后,商品可掉落并显示于取料仓中。



图 1 自动贩卖机三维建模

Fig. 1 3D modeling of vending machines

2 PLC 环境设置

2.1 建立虚拟 PLC

本设备控制系统采用虚拟在环的调试方式,通过 PLCSIM ADVANCED 软件环境建立虚拟 PLC 控制器[9],可在没有实体 PLC 的情况下完成程序下载与调试,并仿真 PLC 的 I/O 信号与通讯功能,以实现对 PLC 的综合仿真调试。在 PLCSIM ADVANCED 软件中,在线访问模式选择 PLCSIM,PLC 案例名称设定为 ZJFF_PLC,设置 IP 地址为 192.168.0.1,如图 2 所示。

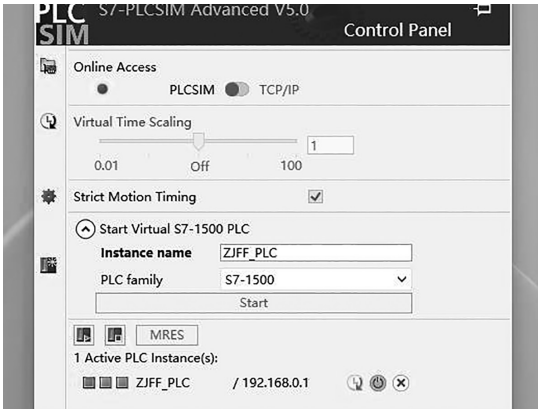


图 2 虚拟 PLC 控制器

Fig. 2 Virtual PLC controller

2.2 PLC 硬件组态与 I/O 分配

本实验平台中 PLC 控制器在 TIA PORTAL 软件中完成硬件组态[10]。在工程项目中,选择“设备与网络”栏并添加系统控制器型号 CPU1513-1PN,选择固件版本为 V3.0,设置 PLC 组态地址与 PLCSIM ADVANCED 中虚拟 PLC 的 IP 地址一致,为 192.168.0.1。

完成 PLC 硬件组态后,为 PLC 添加系统所需的变量信息,以完成 I/O 分配。在 PLC 项目树中选择“PLC 变量”,根据变量使用场景的特点与功能,设定相应的变量名称、数据类型与地址等信息,如 1 号商品选购按钮,对应的变量名称为 Select_C1,数据类型为布尔型(Bool),地址为 M20.1;如 3 号商品的价格,对应的变量名称为 Price_C3,数据类型为实数型(Real),地址为 MD108;如 5 号商品的库存量,对应的变量名称为 Stock_C6,数据类型为整数型(Int),地址为 MW50。

3 HMI 人机交互界面组态

HMI 是操作用户与应用设备之间的媒介[11],本系统采用 SIMATIC KTP700 PN 用于 HMI 人机交互界面设计,可在 TIA PORTAL 软件中进行集成化组态,以实现操作员控制与设备监视[12]。

在 TIA PORTAL 软件中设定 KTP700 的 IP 地址为 192.168.0.11,与 PLC 的 IP 地址设置于同一网段[13-15],通过 PROFINET 网络组态连接 HMI 与 PLC,设定网络名称为 ZJFF_PN/IE,如图 3 所示。

在 HMI 根画面中,添加图形视图,设定图形为自动贩卖机整机,拉升尺寸作为系统背景图;在自动贩卖机的退币按键处,添加“退币按钮”,该按钮背景属性设置为透明,同时为该“按钮”添加“事件”,即按下时为“置位”位,释放时为“复位”位,并关联 PLC 变量表中的“退币”(COIN RETURN BUTTON)变量,并以同样的方法设置各通道的“商品选购按钮”;在各商品陈列处,添加 I/O 域组件,设定相应的关联变量,如 1 号商品的 I/O 域关联的变量为“Price_C1”,应用

于显示商品价格,并以同样的方法设定“余额显示”I/O 域。如图 4 所示。

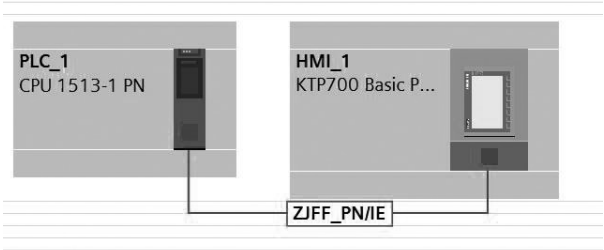


图 3 设备与网络

Fig. 3 Devices and the network

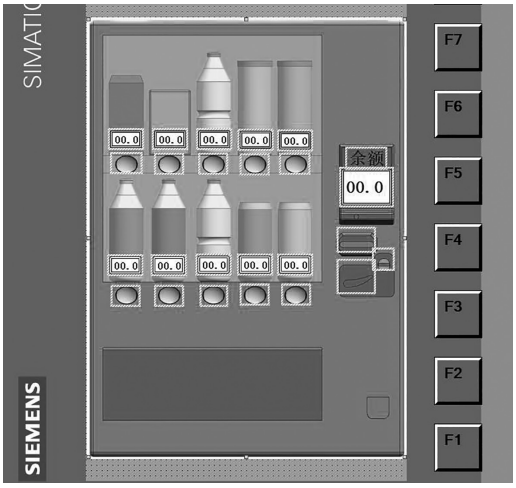


图 4 贩卖机交互界面设计

Fig. 4 HMI design of the vending machine

自动贩卖机的面向群体分为维护管理人员与客户,需分别为 2 种用户设定使用权限,如图 5 所示。在 HMI 状态栏中的用户管理界面中添加维护管理人员账户“Administrator”,设置密码为“Admin123”,归属于“Administrator group”组,具有所有系统权限(Administration、Monitor 和 Operate),设定自动注销时间为 5 min;为客户添加消费者账户“Consumer”,归属于“Consumer group”组,具有系统“Operate”权限。



图 5 用户设置界面

Fig. 5 User configuration interface

完成系统用户信息录入后,设置自定义用户登录界面,该界面常态时为隐藏,通过商品选择按键组合点击的方法,激活并显示登录画面。用户名与密码的输入区域为 HMI 的 I/O 域组件,分别关联 HMI 内部变量“Username”与“Password”,数据类型均为 WString,设置显示格式为字符串,域长度为 11。登录与注销按钮为 HMI 按钮组件,设定按钮事件均为单击,分别为其添加函数指令“登录”与“注销”,关联变量名称为“Username”与“Password”,如图 6 所示。



图 6 用户登录界面

Fig. 6 User login interface

在自动贩卖机的登陆界面中,“管理员操作界面”按钮用于单击激活管理员操作画面。在“系统安全运行性”中该按钮操作权限为“Administration”,即仅在管理员已登录状态下,可对按钮进行操作。管理员操作界面下,可查看与修改商品货号,显示区为 I/O 域组件,类型模式为输入/输出,显示格式为字符串;可查看各货道商品库存量,库存量显示区为 I/O 域组件,类型模式为输出,显示格式为十进制;可修改商品价格,库存量显示区为 I/O 域组件,类型模式为输入,显示格式为十进制,如图 7 所示。

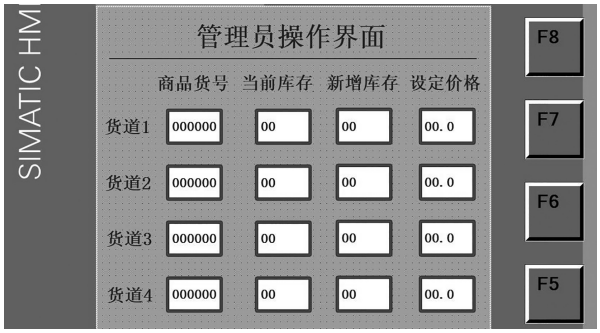


图 7 管理员界面设计

Fig. 7 Administrator interface design

4 PLCSCL 程序设计

PLC 程序采用模块化设计方式,如图 8 所示,在系统主程序 Main(OB1)中,设计有用户管理数据函数(UserInformation)、启停按钮程序段和数据还原函数(SystemRestore),同时根据自动贩卖机的面向群体分为客户与维护管理人员,将程序的运行模式分为普通客户模式与管理员模式,采用不带背景数据块的函数 FC 进行运行模式划分,分别将 2 个运行模式的函数命名为 M1_CONSUMER 与 M2_ADMINISTRATOR。在两个运行模式

的函数模块中,继续设计有多个嵌套函数模块,如按键操作 FB 程序块(BUTTON),自带有背景数据块,用于记录系统中的按钮操作与产生按钮操作所对应的上升沿信号;余额运算程序块(BALANCE),用于投币、消费和退币等的算术运算;商品信息设定程序块(SETTING),用于管理员对商品信息的设定。通过模块化的设计方式,可使得程序段所对应的功能更加清晰化,便于日后的程序改进与维护,同时可缩短程序扫描周期,提高控制器工作效率。

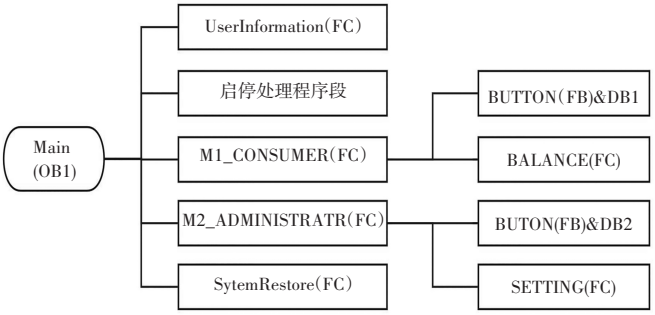


图 8　程序框架

Fig. 8　Program framework

本系统程序使用结构化编程语言 SCL,该语言是西门子 PLC 设备编程的高级语言[16],相较于其他 PLC 语言,SCL 语言以其接近高级计算机语言的结构与语法,为涉及算法的程序设计提供了巨大的便利[17]。如在余额运算程序块(BALANCE)中,以各按钮的上升沿为信号,通过 IF 指令与四则运算,分条件快速计算得出投币、消费和退币命令所对应的客户余额值,如图 9 所示。

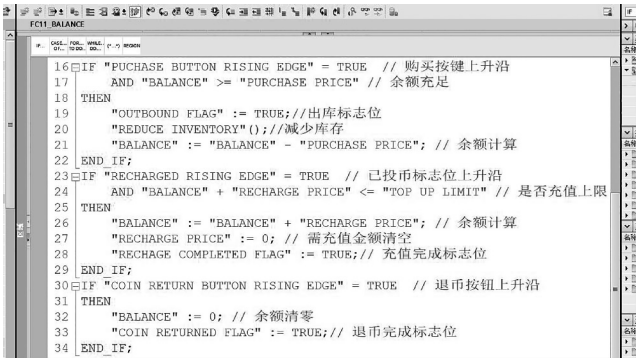


图 9　程序设计

Fig. 9　Program design

5　系统调试

在完成 PLC 环境设置、HMI 组态和 PLC 程序设计后,将程序编译下载入 PLC 设备,并启动 HMI 虚拟仿真;HMI 与 PLC 转入在线状态后,确认 PROFINET 通信状态,并将 PLC 切换至“RUN”状态;打开程序窗口监视功能,通过对照按键命令与画面显示,并实时观察 PLC 变量信息,以确认程序功能。

程序启动后默认进入普通客户模式,该模式下可进行投币、退币、购买等操作,并根据命令动作计算当前余额值,以还原真实的自动贩卖机工作场景,如图 10 所示。



图 10　用户模式调试

Fig. 10　User-mode debugging

在普通客户模式下,按下“商品 1”按钮、“商品 2”按钮和“退币”按钮,通过组合按键的方式激活管理员登录窗口,输入正确的管理员密码后可进入操作模式,该模式下可查看总营收金额、各商品库存数量和购买数量等报表信息。在组态界面设定系统参数的同时,PLC 变量表数据也会根据输入值进行实时更新,监视效果如图 11 所示。

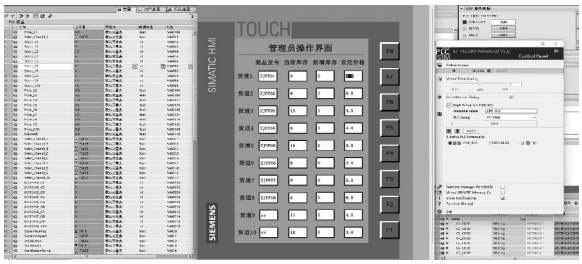


图 11　管理员模式调试

Fig. 11　Debugging in administrator mode

自动贩卖机通过 HMI 虚拟化显示,可直观地监测虚拟设备的动作状态,同时对设备的参数信息组态数字化显示画面,在调试过程中也可较为容易地根据动画效果与数据显示,来判断程序设计中的异常点。在未有自动贩卖机实体设备的情况下,通过虚拟在环调试的方式,设计改进 PLC 程序,优化了设备功能,验证了产品开发的可行性。

6　结论

本文基于数字化虚拟在环仿真技术,在 NX 软件上设计了自动贩卖机三维显示模型,并在 TIA PORTAL 软件上设计了交互系统 HMI 画面与 PLC 程序,通过虚拟在环的调试方式验证系统功能,并逐步增加交互界面功能与改进 PLC 程序。通过自动贩卖机系统的虚拟调试,验证了虚拟仿真技术在自动化产品先行开发阶段的应用可行性。在系统开发阶段,通过虚拟在环的方式验证系统功能,无需实体设备搭建和场地,可有效避免因开发设计错误所导致的产品返工,有效降低设备的人工搭建成本与制造材料浪费,而且通过扩展数字化实验平台数量,可使多人团队同时在线参与系统开发,以多模块同步推进的产品开发模式,可有效地缩短系统开发或升级的周期,从而提高市场竞争力,具有良好的市场应用前景。

(下转第 138 页)