

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.018

基于 RS485 和以太网的舞台控制系统

李 春, 高长水*

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

摘要:针对舞台的位置监测实时性和升降定位的精确性问题, 对上位机和 PLC 实时通信方式、FINS 命令协议、变频器通信指令等方面进行了研究, 设计并实现了一种以 RS485 串行通信和以太网通信为基础的舞台控制系统。以 VC++6.0 作为软件开发平台, 运用 Winsock 控件技术, 通过读取 PLC 采集的编码器脉冲数据来获得舞台的位置, 通过串口通信模块发送指令到变频器来控制舞台升降台独立或联动升降运行, 并提出了一种通过改写 PLC 内存数据来实现升降逻辑控制的方法。在实际调试阶段, 提出了一种修正停车位置设定值的方法以提高升降舞台定位精度。实际运行结果表明, 该系统满足设计要求, 并且可靠性高、灵活性好、经济成本较低。

关键词:舞台; VC++ ; PLC; FINS; 变频器; 以太网; RS485

中图分类号: TH39; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)03-0384-05

Stage control system based on RS485 and Ethernet

LI Chun, GAO Chang-Shui

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Aiming at realizing the monitoring of the stage position in real time and lifting with high accuracy, the communication between host-computer and PLC, the FINS protocol and the communication instructions of variable-frequency drive were introduced, and the stage control system based on RS485 serial communication and Ethernet was designed and implemented. Based on VC++6.0 software development platform and the Winsock ActiveX, the position of the stage can be obtained by reading the PLC's acquisition data of encoder pulse. The stage could be controlled to move independently or jointly by sending commands to the variable-frequency drive machines with the serial communication module. And a method of lifting control through writing the memory of PLC was presented. During the commissioning, a method of amending the stopping distance was presented to ensure the accuracy of stop position. The application results indicate that the system is stable, flexible and low cost, and can meet the design requirements.

Key words: stage; VC++ ; PLC; FINS; variable-frequency drive; Ethernet; RS485

0 引言

随着我国综合实力的增强和人们对文化艺术追求的热潮, 规模多样的舞台日益涌现于各大城市之中。舞台升降台作为应用最广泛的舞台机械设备之一, 可以快速切换场景、制造舞美效果, 具有满足剧目编导人员需求、随时改变舞台形式等作用^[1]。

随着计算机技术的发展, 以及液压传动、变频器、可编程控制器及现场总线等现代化技术的应用, 舞台

逐渐向自动化、智能化方向发展^[2]。目前, 国内舞台机械控制系统大量采用以 PLC 为核心控制器件^[3], 在自动控制系统组成模式方面多采取“上位机 + 可编程控制器 + 驱动单元”的方式; 国外多采取“上位机 + 服务器 + 轴控制器 + 驱动单元”的方式, 如 Waagner biro 公司的 AXIO II 轴控制器系统和 Parker 公司的 ACR9000 系列轴控制器系统^[4]。

现代舞台更侧重于艺术表现形式, 需求舞台的表现形式也越来越丰富。同时对舞台控制系统的性

收稿日期: 2014-10-29

作者简介: 李 春 (1991-), 男, 安徽宿州人, 主要从事机电一体化方面的研究。E-mail: lichun_lch@163.com

通信联系人: 高长水, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: meecsgao@nuaa.edu.cn

能和操作要求越来越严格,除了基本的安全稳定,配合演出以及灯光背景的切换等,还要达到演出装置运行位置准确、快速响应性高等要求^[5]。舞台控制系统作为舞台技术的核心,愈来愈成为行业内的研究热点。本研究根据设计要求开发一种既能满足舞台造型变化多样性、又具有可靠性和灵活性的舞台控制系统。

1 设计要求及系统整体结构

舞台整体由升降台构成,中间 N9 和 N10 是旋转升降台,外围均布 8 个升降台,共计 12 个升降舞台(舞台布局示意图如图 1 所示)。每个升降台均可单独升降至指定高度,亦可以全部联动运行,形成特定的舞台形状。N9 和 N10 可以在升降运动的同时进行旋转运动。升降台是链条式结构,一个电机拖动一个升降台。N9 和 N10 的旋转运动分别通过两个额外的电机通过齿轮齿条结构实现。升降台的升降幅度为 $-2\text{ m} \sim 1.5\text{ m}$,其主要作用是将道具或演出人员运送至舞台面参与演出,以及使舞台呈现多样化的造型舞美效果。

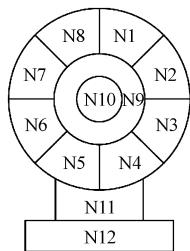


图 1 舞台布局示意图

控制系统结构如图 2 所示。其设计要求为在计算机的人机界面上对所有升降台的高度位置进行实时监控;所有升降台均可以独立或联动运行至设定高度;单升降台定位停车误差 1 mm ,多升降台联动定位停车误差 2 mm 之内;保证所有升降台定位运动到同一高度时,整体形成一个平面,不会形成明显的阶梯平面。一般情况下,升降台面越多,越难以保证所有台面在同一高度平面^[6];对舞台的控制精度要求非常高。如果有个别升降台面凸起或凹陷,舞台整体没有形成一个大平面,不仅在视觉上影响舞美效果,而且有可能会使演员演出时绊倒或磕脚,严重影响人身安全。

计算机端采用 VC++6.0 软件设计开发控制系统人机界面,通过工业以太网通信方式控制 PLC,不断地读取 PLC 采集的编码器脉冲计数值,并在界面上实时监控每个升降台的高度位置。采用以太网通讯的好处是传输数据量大,可以实现远距离控制;甚至可以联网组成自动化网络^[7]。

PLC 作为控制系统的核心部分,具有编程简单、使用方便、可靠性高、抗干扰能力强等优点,适用于电气设备较多、电磁干扰强的舞台现场^[8]。PLC 采用欧姆龙 CJ2M 型 CPU 和 CJ1W-CT021 高速计数器单元,模块式结构易于扩展功能单元,也有利于维护方便性以及快速修复故障。CJ2M 型 CPU 具有很高的速度和更大的容量,以及各种通信接口,内置标准 Ethernet 端口,选配 RS485 串口扩展单元。每个 CT021 能够监测 2 路编码器脉冲信号,共要 6 个。PLC 通过 RS485 串行通信控制所有变频器,变频器输出驱动电机。编码器安装在电机变速箱输出轴上,通过 PLC 的计数器模块采集脉冲数值,反馈舞台的高度位置。

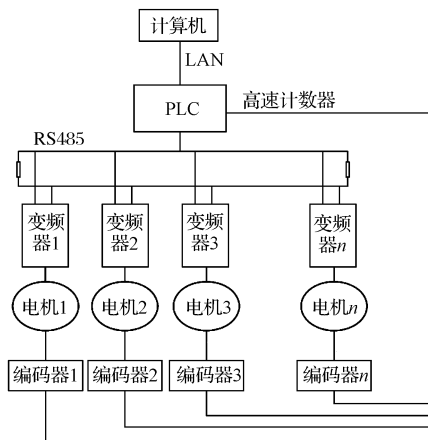


图 2 控制系统结构

变频器采用的是 EV100 型变频器。实际的加减速时间 = 设定的加减速时间 $\times$ (设定频率/最高频率)。变频器默认最大频率是 50 Hz ,当设定频率等于最大频率时,实际加减速时间和设定的加减速时间一致。变频器接收到运行指令后,继电器输出控制电磁抱闸电路导通,解开电机刹车状态。因为舞台经常挂载灯光等设备,重量较重;变频器启动加速时间过慢会导致电磁抱闸一打开,升降台因自重而下坠,带动电机反转可能会烧毁电机,影响演出安全。实际运行时升降台的速度不快,通过变频器的控制面板设定运行频率是 25 Hz ,加速时间 2 s ,减速时间 1 s ;实际的加减速时间分别为 1 s 和 0.5 s 。在升降台导轨的上下限物理位置安装行程开关,并连接到变频器输入控制端子,一旦升降台运行到限位位置时,变频器立即停机,起到硬件保护作用。

2 系统通信控制方式

2.1 上位计算机与 PLC 的通信

上位机采用 VC++6.0 进行编程,通过 WinSock 控件提供的方便途径,按照 FINS 协议格式与 PLC 进行网

络通信。CJ2M 单元标配 Ethernet/IP 开放式网络,可通过连接外部设备实现 PLC 间数据链接、PLC 间报文通信及 FTP 传送等常规的以太网通信功能。FINS 通信协议是欧姆龙公司为自己的自动化网络开发的,可以用于 SYSMAC NET、Ethernet 等网络及网络之间的通信。

在实际调试中发现,采用 TCP 协议可能会出现数据粘包现象,影响实时监控性能。UDP 协议虽然是无连接的、不可靠的传输协议;但是实时性较高。上位机使用 UDP Socket 向 PLC 发出 FINS 命令,需要对 FINS 报头信息解码以实现网络节点的寻址。FINS 通信帧格式如图 3 所示。图 3 中,DAI(目标节点号)使用 PLC 的 IP 地址尾节;SAI(源节点号)使用计算机的 IP 地址尾节。SID 是服务标志号,可以用来识别数据出自何处,响应帧会返回和命令帧同样的 SID 标志号。当 VC++ 程序接收到返回数据,需要判断是哪条 FINS 指令的响应帧时,SID 就非常有有用^[9]。

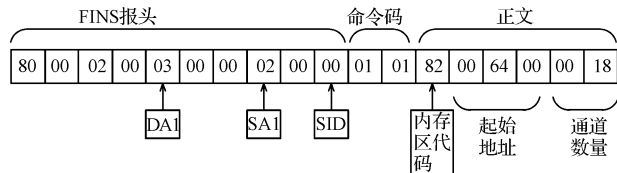


图 3 FINS 通信帧格式

上位机的 IP 地址设置为 192.168.0.2,PLC 的 IP 地址设置为 192.168.0.3,同时 PLC 的 CPU 节点号开关也必须设置为 3。由于 CT021 计数器值 32 位(2 个字)存储器位置不连续,需要通过梯形图程序将所有计数器值复制到一块连续的存储区域 D100 ~ D124,方便一次性读取。上位机不断地定时发送 FINS 读取指令;接收到响应帧后,进行数据提取处理,计算出每个升降台的高度位置,显示在人机界面上。VC++ 程序端读取计数器值的部分代码如下:

```
void SendFins(char n)
```

```
{
    SAFEARRAY * psa; //安全数组
    SAFEARRAYBOUND rgsabound[1];
    rgsabound[0].lLbound = 0;
    switch(n)
    {
        case â: //读取编码器脉冲计数值
        { //FINS 报头结构
            senddata[0] = 0x80; senddata[1] = 0x00;
            senddata[2] = 0x02; senddata[3] = 0x00;
            senddata[4] = 0x03; senddata[5] = 0x00;
            senddata[6] = 0x00; senddata[7] = 0x02;
            senddata[8] = 0x00; senddata[9] = 0x00;
            send_data_buf[10] = 0x01; send_data_buf[11] = 0x01; //
```

命令码 0101 表示内存区读取

```
send_data_buf[12] = 0x82; //PLC 的 D 区代码(0x82)
send_data_buf[13] = 0x00;
send_data_buf[14] = 0x64; send_data_buf[15] = 0x00; //起
始地址 D100
send_data_buf[16] = 0x00; send_data_buf[17] = 0x18; //
读 12 路计数器的值(每路 2 个字)
rgsabound[0].cElements = 18; //发送字节的数量,不同的
命令字节数量不同
psa = SafeArrayCreate(VT_UI1, 1, rgsabound);
for(int len = 0; len < 18; len++)
{ //将需要发送的数据放入安全数组
    SafeArrayPutElement(psa, &len, &send_data_buf[len]);
}
break;
}
case î: //将 PLC 状态切换到编程状态
{ .....
break;
}
..... //其他 FINS 通信指令
VARIANT send_var;
send_var.vt = VT_ARRAY | VT_UI1;
send_var.parray = psa;
m_client1.SendData(send_var); //发送 FINS 指令
}
```

2.2 PLC 与变频器的通信

PLC 和变频器都安装在电器柜里,通信距离较近。PLC 的 CP1W-CIF12 扩展串口单元提供隔离式的 RS485 通信,支持通信距离 500 m。EV100 变频器提供 485 通信端口,并可以通过按键面板设置本机地址和通讯波特率等参数。通信协议为 Modbus-RTU,数据在串行异步通信过程中,是以报文形式,一帧一帧地发送。每帧之间至少要有 3.5 个字节的时间静默,才能保证每帧数据完整。

本研究在 PLC 的梯形图程序中使用无协议通讯的 TXD 指令,方便发送各种各样的协议指令。梯形图发送停机指令如图 4 所示。图 4 中,PLC 判断 3 号升降台在上升时是否到达设定位置,当对应计数器值超过设定高度对应的脉冲数值时,发送指令控制 3 号升降台相对应的变频器停机。由于电机较多,如果同时启动,则电流冲击过大。而且在实际调试中发现,如果要同时发送几台变频器运行命令,串口发送的每帧通信时间间隔太短,导致有些通信帧解析错误,不能正确运行。通过延时发送运动指令,控制多台电机联动,不仅减轻了对供电线路的冲击压力,而且也保障了在视觉上不会出现明显的运动延时。

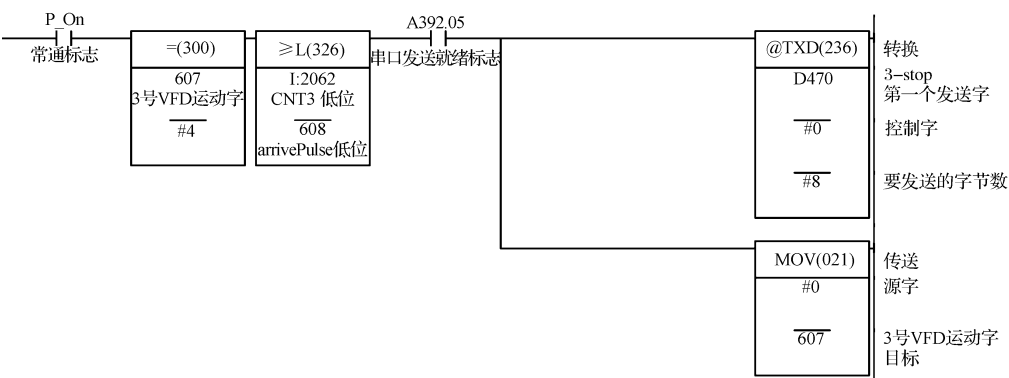


图4 梯形图发送停机指令

RS485 协议具有很强的抑制干扰的能力,适用于传输数据量不大的工业自动化控制网络^[10-11]。EV100 型变频器通信帧格式:从机地址 + 操作命令码 + 数据 + CRC 校验字。如,“0106100000014CCA”表示向从机地址为 01H 的变频器的内存地址 1000H 中写入 0001H(正转运行),4CCA 是 CRC 校验码,变频器输出正转运行。再如“0006100000060CD9”,当从机地址为 0 时,即为广播通信地址,所有从机都会接受该帧,向变频器内存地址 1000H 中写入 0006H(自由停机),所有变频器输出自由停机。由于在 PLC 中计算 CRC 校验码比较麻烦,而且总共需要发送的命令数量有限;为了优化程序速度,笔者先将校验码计算后和命令码一起存入 PLC 数据存储区,发送时使用 TXD 指令指向相应地址处即可。

3 系统控制流程与实现

上位计算机是通过 FINS 指令读/写 PLC 内存数据来达到控制 PLC 的目的。对 CIO 区写数据,一个升降台通过 3 个字来控制,第一个字为运动字,第二个和第三个字是设定脉冲计数值 arrivePulse。PLC 控制逻辑流程图如图 5 所示。控制字表示对应变频器运行状态,0 表示停机,1 表示启动正转,2 表示启动反转。写控制数据到 CIO 区的好处是 CIO 区数据不保存,而 D 区或 H 区数据保存;系统异常断电后又恢复供电时需要保证舞台不会运动。系统控制逻辑主要放在 PLC 的梯形图里,因为 PLC 扫描周期时间很短,计数器值不用传送给上位机来判断是否到达设定位置,上位机软件端主要起监控作用。同时,上位机软件端有可能因为操作失误或系统崩溃等问题,导致舞台失控;而 PLC 性能稳定,并且有故障保护措施。

设定脉冲计数值 arrivePulse = 上升或下降提前量 + 计数器初始值 + (指定高度 - 0 平面高度)/单位脉冲对应高度值。当 PLC 在某一扫描周期中检测到计数器值达到或超过设定高度对应的脉冲数,立即发送停机指令。

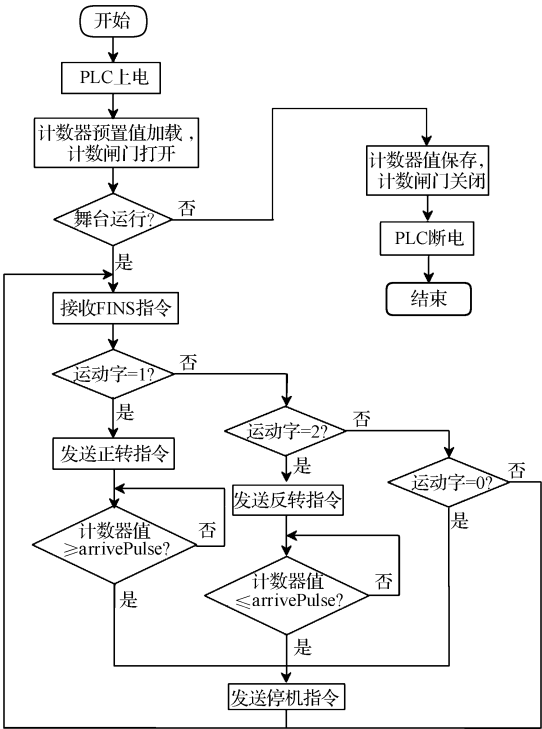


图5 PLC 控制逻辑流程图

每个升降台的传动链在理论上是一样的,但实际中单位脉冲对应高度值需要现场测试得出。变频器接收到停止指令后有一定的减速停机时间,停机位置超过设定值,需要通过提前量来修正。上升和下降过程的提前量是不一样的,每个升降台的提前量也是不一样的,需要通过现场测试计算得出。这种实际测试的方法简单,又能够提高电机停车定位精度。在变频器频率输出值固定并且负载不变的情况下,提前脉冲量是基本不变的,实际运行可以保证电机停车定位精度在 1 mm 之内。

高速计数器模块 CT021 采用循环计数模式,4 倍差分相位输入。E6B2 型编码器每转一圈产生 2 000 个脉冲,经 4 倍分频后识别为 8 000 个脉冲,大大提高了分辨率。高度位置和脉冲计数值一一对应,将高度位置以编码器脉冲计数值保存在 PLC 中,而不是上传

保存在上位机中,有利于避免高度信息丢失。计数器断电或重启时会导致复位清零,需要保存计数值,在系统重新上电运行时,把上次保存的计数值加载,开始继续计数,才能保证高度信息不丢失。

CT021 单元通电或重新启动时,闸门是关闭的,为使能计数脉冲,需要设定“开门”位为“1”,将闸门打开并开始计数。循环计数器模式满计数范围为 32 位,在 0 和计数上限之间的正计数值范围内进行增量或减量计数。计数器值超过最大计数值时会跳变为 0,取中间值 2 000 000 000 作为计数器初始值便于计算。

自动运行操作界面如图 6 所示。系统的手动运行操作以及位置清零等其他功能的界面,在此不述。笔者使用 VC++ 的 MFC 属性页编程实现的人机界面,在界面中选择要运行的升降台号码,勾选后控件颜色由绿色变成红色,在设定高度编辑框内输入高度数值,点击运行按钮后舞台自动运行至设定位置。界面左下部是为舞台中间的两个旋转升降台设置的独立操作按钮,舞台旋转的同时不影响升降。



图 6 舞台控制系统人机界面

在舞台演出过程中,切换造型的过程时间有可能比较短,为避免操作人员慌乱失误,本研究在程序界面上固化了 9 种最常用的造型模式,可以直接选择并运行,方便快速切换舞台造型。同时,为了实现舞台造型的多种多样,本研究将想要表演的舞台造型的高度位置保存成造型配置文件;下次使用时通过导入模式按钮读取该配置文件,可以快速实现该造型模式。

4 结束语

本研究设计了一种以 RS485 串行通信和以太网通信为基础的舞台控制系统。

实际调试并运行一段时间后,本研究验证了该系统功能达到既定目的,满足演出剧组的要求。PLC 采集编码器计数器值并通过以太网传送给上位机,实时反馈高度位置。上位机可以控制升降台独立或联动运行至设定高度位置,并满足精度要求。系统控制停车的逻辑由 PLC 实现,可保证停车定位的精度;并且提供优越的安全性和稳定性。人机界面提供固化的造型模式,方便演出过程中操作人员快速切换常用舞台造型。

本研究主要采用通信控制方式,结构简单、经济成本低,适合于同步要求性不高,但定位精度高的舞台。

参考文献 (References):

- [1] 马卫难. 升降舞台同步控制方法研究与实现[D]. 兰州: 兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 2012.
- [2] SUGDEN W H. Computer controlled stage lighting system: US 08/180,298 [P]. US:5406176. 1994-01-12.
- [3] 程志华,朱卫贤,孙建飞,等. 一种基于 CPLD 的舞台吊杆操作台设计[J]. 自动化仪表, 2013, 34(11): 43-45.
- [4] 刘基顺,田广军,陆乐,等. PLC 运动控制器在舞台机械系统中的设计与研究[J]. 自动化仪表, 2013, 34(1): 83-86.
- [5] 刘锦剑,罗红霞,董伟亮. WAGO 蓝牙技术在舞台机械设备中的应用[J]. 机电工程, 2010, 27(2): 79-82.
- [6] 李炜,公茂利,毛海杰,等. 升降舞台系统中多电机同步控制方法[J]. 兰州理工大学学报, 2014, 40(2): 81-85.
- [7] 李旭宁,彭思远,吴润彤,等. 舞台自动化控制系统设计及冗余技术研究[J]. 电气传动, 2009, 39(8): 58-61.
- [8] 刘基顺,田广军,陆乐,等. PLC 运动控制器在舞台机械系统中的设计与研究[J]. 自动化仪表, 2013, 34(1): 83-86.
- [9] 徐世许,朱妙其,王毓顺. 可编程序控制器: 原理·应用·网络[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- [10] 刘国文,徐意. 基于 RS485 总线的中央空调冷量计系统[J]. 轻工机械, 2013, 31(2): 64-66.
- [11] 吴鑫,俞建定,赵鹏飞,等. 基于以太网和 RS485 的服装吊挂生产线控制系统[J]. 机电工程, 2013, 30(10): 1280-1283.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

李春,高长水. 基于 RS485 和以太网的舞台控制系统[J]. 机电工程, 2015, 32(3): 384-388.

LI Chun, GAO Chang-Shui. Stage control system based on RS485 and Ethernet[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(3): 384-388.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>