

虚拟 DPU 技术在机场桥载设备控制中的应用

熊小峰, 王鸿砾, 马睿, 方彪, 秦毓毅

(国网四川综合能源服务有限公司, 成都 610072)

摘要: 为打好蓝天保卫战, 落实民航节能减排工作, 提倡并推广在民用机场使用桥载设备代替飞机辅助动力系统, 桥载设备的安全可靠控制亦能够有效保障飞机的稳定运行; 文章基于 DCS 系统平台, 利用虚拟 DPU 技术设计实现了一个机场桥载设备控制系统, 减少了硬件 DPU、I/O 卡件的使用, 降低了控制系统成本; 系统利用工业级串口服务器作为中间设备与虚拟 DPU 进行数据通信, 实现对桥载设备的数据采集和生产控制, 同时利用 DCS 系统的控制算法实现了机场桥载设备的运行能效分析, 为运维管理提供了有效技术支撑; 控制系统的网络通讯负荷率不大于 20%, 虚拟 DPU 的平均负荷率测试不大于 40%, 整个系统的可利用率大于 99%; 该系统已在四川绵阳机场现场应用, 取得良好效果, 且各项指标满足生产需要, 为虚拟 DPU 技术在工业环境中的应用提供参考。

关键词: 桥载设备; DCS 系统; 虚拟 DPU 技术; 工业级串口服务器; 控制系统

Application of Virtual DPU Technology in Airport Bridge Equipment Control

XIONG Xiaofeng, WANG Hongli, MA Rui, FANG Biao, QIN Yuyi

(State Grid Sichuan Comprehensive Energy Service Co., Ltd., Chengdu 610072, China)

Abstract: In order to protect the blue sky and implement energy saving and emission reduction in civil aviation, we advocate and promote the use of bridging equipment instead of aircraft auxiliary power system in civil airports. The safe and reliable control of bridging equipment can also effectively guarantee the stable operation of aircraft. Based on DCS system platform, we design and implement a control system for airport bridge equipment by using virtual DPU technology, which reduces the use of hardware DPU and I/O cards and reduces the cost of the control system. The system uses industrial-grade serial port server as the intermediate equipment to carry out data communication with virtual DPU, and realizes the data acquisition and production control of the bridge equipment. At the same time, the control algorithm of DCS system realizes the operation energy efficiency analysis of the airport bridge equipment, which provides effective technical support for the operation and maintenance management. The network communication load rate of the control system is not more than 20%, the average load rate of the virtual DPU is not more than 40%, and the availability of the whole system is more than 99%. The system has been applied in Mianyang Airport, Sichuan Province, and achieved good results and the indicators meet the production needs, which provides a reference for the application of virtual DPU technology in industrial environment.

Keywords: bridge equipment; DCS system; virtual DPU technology; industrial serial server; control system

0 引言

随着航空工业的快速发展, 民用飞机的数量也越来越多。飞机在机场停靠时原本由飞机辅助动力设备 (APU) 提供动力, 但 APU 消耗航空燃油量巨大, 且二氧化碳的大量排放造成环境的严重污染^[1-4]。机场桥载设备的推广和应用和 APU 替代能够有效地缓解这一问题, 桥载设备主要包括飞机提供辅助动力的静变电源和专用空调设备^[5-7], 因此对该设备进行生产控制有着重要现实意义。

目前机场桥载设备的使用是由运维人员现场就地启动和停止, 并未实现设备的远程控制和数据采集分析, 而且

虚拟 DPU 在工业环境中的应用较少, 工业生产现场用的是硬件 DPU 来实现数据采集和设备控制的逻辑算法功能, 如电力发电厂中的 DCS 控制系统用的是硬件 DPU 设备, 而虚拟 DPU 常用于控制系统的仿真和实验^[9-11]。因此, 本系统以国电智深系统 EDPF-NT Plus 为平台, 研究虚拟 DPU 在实际工业生产控制中的原理及应用技术, 成功设计搭建了绵阳机场桥载空调及静变电源设备控制系统。

接下来将对虚拟 DPU 的工作原理以及控制系统的各个环节进行分析和实际工程设计。

1 虚拟 DPU 技术

DPU 是分散控制系统 (DCS) 的关键技术, 处于核心

收稿日期: 2021-03-08; 修回日期: 2021-04-14。

基金项目: 四川省重点研发项目 (2021YHG0026)。

作者简介: 熊小峰 (1992-), 男, 四川泸州人, 研究生, 工程师, 主要从事控制系统及控制策略算法方向的研究。

引用格式: 熊小峰, 王鸿砾, 马睿, 等. 虚拟 DPU 技术在机场桥载设备控制中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 88-92.

环节, 通过数据通信与上位机工程师站和操作员站进行交互。同时 DPU 完成控制逻辑和算法的组态、下装及运行, 并利用硬件 I/O 卡件向下与实际控制对象或者执行机构进行数据传输, 实现对整个工业对象的数据采集和生产控制, 其框图如图 1 所示。

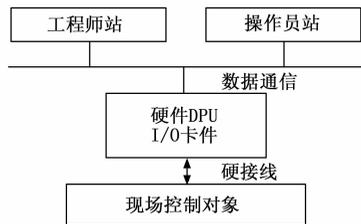


图 1 DPU 工作框图

虚拟 DPU (VDPU) 就是利用软件仿真在计算机上模拟出一个分布式控制单元, 能够实现与真实 DPU 相同的功能^[12-14]。VDPU 具有逻辑处理、点记录处理、接受和响应指令和发送源点等功能, 并且能够通过网络通信方式替代硬接线, 与现场控制对象进行数据交互^[15-18], 向上向下都能够很好地协同工作, 其框图如图 2 所示。

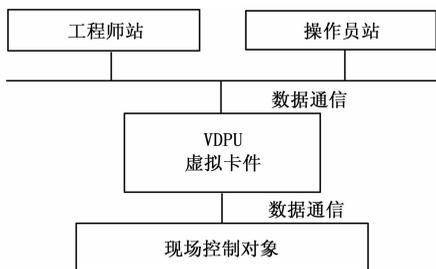


图 2 VDPU 工作框图

通过使用虚拟 DPU 技术可以减少硬件 DPU 设备及大量的接线工作, 极大地降低系统成本。

2 系统框架设计

本控制系统设计采用虚拟 DPU+串口服务器模式下的 Modbus rtu 通讯方式^[14], 此通信模式主要进行虚拟 DPU 侧和串口服务器侧两大部分的配置。系统框架设计如图 3 所示。



图 3 系统框架图

现场桥载设备运行送过来的信号是通过 2 芯带屏蔽线缆与串口服务器的通信接口相连接。串口服务器的作用是将现场桥载设备送过来的信号通过串口服务器转换成虚拟 DPU 适用的以太网信号, 并将其送入工控机中。串口服

器此时映射为工控机虚拟的串口, 虚拟 DPU 跟对应的虚拟串口进行通信, 从而实现了虚拟 DPU 作为主站与作为从站^[8]的桥载设备进行了数据交互的功能。

3 系统搭建及组态设计

3.1 串口服务器的参数设计

串口服务器的参数配置至关重要, 直接影响系统运行数据的正常通信。首先需要将上位机的 IP 地址设置和串口服务器的 IP 地址在同一网段, 利用 Telnet ip 命令登录到串口服务器中进行参数设置。然后对数据送到串口服务器的端口进行波特率、数据位、停止位和校验方式的串口配置, 与通讯方的参数设置为一致, 如图 4 所示。



图 4 串口服务器串口配置图

接下来在模式中将相应端口的工作方式配置为 TCP/UDP Socket 模式, 将通信协议设置为 UDP 协议, 设置好本地的通信端口和对端主机的地址及端口。其中本地端口指的是串口服务的端口, 也就是通过这个端口号和虚拟 DPU 之间进行数据通讯的, 串口服务器的参数配置如图 5 所示。



图 5 串口服务器模式配置图

3.2 虚拟 I/O 卡件的设计

通过 DCS 系统建立虚拟 DPU 的虚拟 I/O 卡件布置图, 然后进行虚拟卡件布置图中的虚拟 AI、AO、DI 以及 DO 卡件相关参数的设置。首先需要根据设备厂家提供的通信

数据地址表进行虚拟卡件的设计和布局，原理是将相同数据类型且数据长度一致的地址连续的数据分配到一个虚拟卡件上，如果数据类型不同或者数据长度不一样分配到了同一卡件，将会出现通信错误。值得注意的是，如果一个卡件上的数据点不足，那么需要依次分配到下一个虚拟卡件上，直到所有的通信数据都在虚拟卡件上分配完毕且每个虚拟卡件上的数据类型和长度均一致。

需要为虚拟卡件设置一个设备编号，同时需要设置一个与此卡件上数据任务进行通信的从站地址，用于建立一一对应的通信通道。最后配置此虚拟卡件上的通信数据类型及数据的起始寄存器地址，虚拟 DPU 的虚拟卡件的配置如图 6 所示。

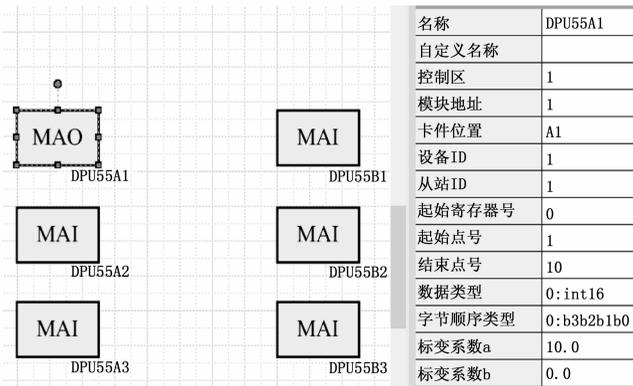


图 6 虚拟卡件设计图

3.3 虚拟 DPU 的参数设计

虚拟 DPU 的配置主要是通过配置文件来实现的，主要参数包括通信设备标识码，本地、远方的通信地址与通信端口、从站设备的地址，通信数据功能码以及通信数据的寄存器地址，这些参数的配置都需要和串口服务器以及虚拟卡件的参数相对应起来，否则将会出现通信不成功的情况。同时值得注意的是我们需要将虚拟 DPU 的通信地址设置到工控机的第三块网卡地址上，以建立起通信的通道，这样就完成了虚拟 DPU 的配置，部分配置代码如下：

```
[General]
IoDeviceCnt=1
[IoDevice1]
DeviceId=1
protocol=modbus
master=1
LocalIp=192.168.0.201
LocalPort=4000
RemoteIp=192.168.0.10
RemotePort=10003
Timeout=2000
Delay=100
Period=100
bufcnt=1
```

```
SubTask=3
[IoDevice1_buf1]
SlaveId=101
type=3
unitCnt=4000
startAddr=250
[IoDevice1_SubTask1]
SlaveId=101
FuncCode=3
StartReg=256
RegCnt=35
PeriodNo=A
```

需要注意的是，在虚拟 DPU 的配置文件中，通信是以一个独立设备为单元的，与此同时每一个设备下面又可以建立多个缓冲区和任务区。一个缓冲区域可以建立多个任务区，但是同一个任务区不能跨越多个缓冲区。缓冲区内也需要设置起止协议地址和数据长度，不同缓冲区间可以定义相同的数据类型和单元个数，但是缓冲区间的协议地址空间不能出现交叉。而且缓冲区的协议地址是包含该缓冲区内任务地址范围的，该缓冲区内任务数据单元个数不能超过缓冲区的通信数据单元个数，每一个任务区内配置的数据地址是连续的。每一个任务区内的功能码必须是一致的，只能和一个从站设备进行通信。

3.4 系统组态设计

最后对控制对象进行程序组态，通过发送启动指令去启动现场的桥载设备，以及采集现场设备的运行状态来实现设备运行状态的反馈。对于廊桥专用空调设备而言，就地没有单独的运行状态信号，但是有空调左风机和右风机的运行状态信号，那么就需要对廊桥的空调运行状态进行逻辑组态设计。将其左风机和右风机的运行状态进行取或运算，只要任意一个风机在运行，此时我们判断该空调设备在运行。与此同时，我们对取或之后的综合信号进行延时 2 s 的信号处理，防止信号的误动作，提高信号的可靠性，其逻辑组态设计如图 7 所示。

如图 7 所示，电能表采集的是总的空调耗电量情况，但是我们对设备进行能效分析，需要计算出空调每一次运行的用电情况。那么我们用设备的运行状态为触发条件，保持住瞬间的电能表数据，然后实时记录设备运行的耗电量数据，当设备再次启动时进行刷新，记录下实时电能数据与保持的数据之差，则计算出空调设备单次运行的耗电量。对空调进行能效分析，需要计算空调设备的制冷能力，本系统用空气焓差法^[19-20]计算制冷量，计算公式如下：

$$Q = \frac{L \cdot (I_1 - I_2)}{v \cdot (1 + X)} \quad (1)$$

其中：Q 为空调的制冷量， I_1 、 I_2 分别为空调回风、送风空气焓值，L 为风量，v 为湿空气比容，X 为空气的湿度，这 5 个量均不能直接通过测量得出，需要间接计算得出，那么

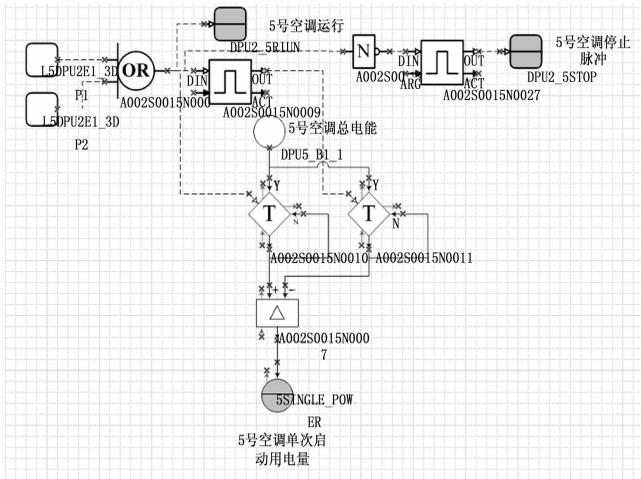


图 7 空调运行及单次耗电量组态逻辑图

首先对空调设备进风温度、出风温度、环境湿度以及风量进行测量, 然后根据原理计算出空调的制冷量, 其部分逻辑组态设计如图 8 所示。

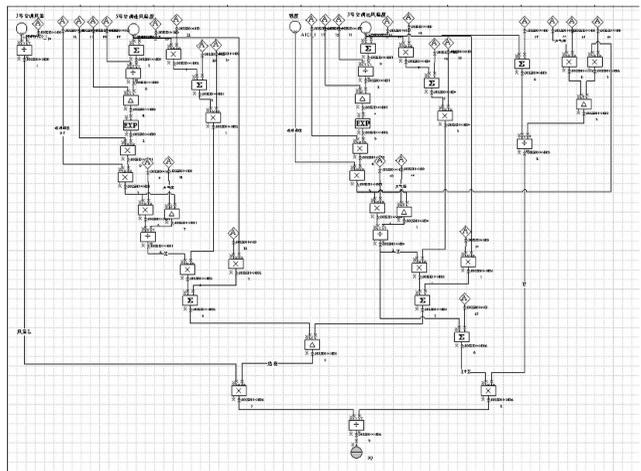


图 8 空调制冷量计算组态逻辑图

4 系统运行与测试

4.1 虚拟 DPU 的启动

一台工控机上可以安装和运行多个虚拟 DPU, 通过国电智深系统的工程管理器可以设置虚拟 DPU 的域号和站号, 以及该 DPU 对应的工程师站的编号。点击将虚拟 DPU 运行起来, 可以在桌面看到虚拟 DPU 的状态颜色由黄色变成了绿色。同时可以在系统状态图上看到其运行状态, 这样就可以用工程管理器对该虚拟 DPU 上传下载组态程序, 发送指令或者采集现场数据, 虚拟 DPU 的运行结果如图 9 所示。

4.2 控制系统的运行

将控制系统运行起来, 就可以实现机场就地现场廊桥静变电源和专用空调设备的生产控制和数据采集, 也可以



图 9 虚拟 DPU 运行图

采集变压器高低压侧开关及电能计量的相关运行参数, 同时还可以对设备的运行数据进行分析 and 处理, 便于监控现场设备的运行状态和运行情况, 其运行的过程画面概况如图 10 所示。

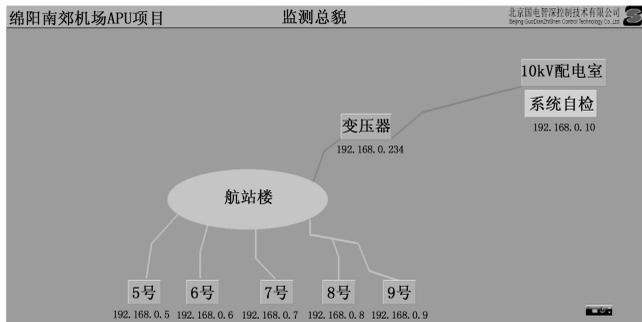


图 10 控制系统监控画面图

通过对 5 号廊桥的专用空调和静变电源进行数据监控, 可以直观知道设备的运行状态, 并且可以将设备的故障状态显示到监控画面上, 如果就地设备出现故障, 运行人员可以第一时间发现问题并及时处理。其中 5 号廊桥的专用空调和静变电源的运行画面如图 11 所示。

通过能效分析可以得出设备的耗能情况, 及时判断出设备是否处于最优运行状态, 运行人员主动判断和采取有效的措施保障机场廊桥设备的安全稳定运行, 其中 5 号廊桥专用空调的能效分析运行画面如图 12 所示。

4.3 系统的测试

对设计的控制系统进行了运行测试, 测试表明设计的桥载设备控制系统具有可靠性和实时性。可靠性表现控制系统中的任一设备对象发生故障不会影响整个控制系统以及其他控制对象的正常运行。控制系统的网络通讯负荷率



图 11 5号廊桥设备的运行画面图

序号	启动时间	停止时间	耗电量	制冷量	能效比
1	2021/1/8 10:20	2021/1/9 11:1	24.00	99.36	4.1
2	2021/1/9 9:14	2021/1/9 9:14	7.80	40.95	5.2
3	2021/1/8 19:31	2021/1/8 19:33	13.80	86.25	6.2
4	2021/1/7 17:59	2021/1/7 18:17	11.40	64.98	5.7
5	2021/1/6 20:46	2021/1/6 21:13	16.20	69.10	5.5
6	2021/1/6 15:23	2021/1/6 15:52	17.39	97.44	5.6
7	2021/1/6 10:15	2021/1/6 10:59	10.79	52.90	4.9
8	2021/1/3 17:59	2021/1/3 18:20	12.59	66.78	5.3

图 12 能效分析画面

不大于 20%，虚拟 DPU 的平均负荷率测试不大于 40%，整个系统的可利用率大于 99%。由于虚拟 DPU 是在工控机上虚拟出来的分布式控制单元，那么其负荷率的大小取决于工控机的计算性能，其虚拟 DPU 的运算速度依赖于工控机的运算速度^[21-22]。

实时性表现为从就地设备数据变化到控制系统采集并存入数据库中且显示到画面上的时间小于 1 s。系统应用层调用一个常用画面时，从接受指令到读取数据库中的数据，再到数据输出的时间小于 1 s，满足对现场设备的生产控制和运行信息数据采集的需求和要求。

5 结束语

本文对航空工业环境下飞机运行的桥载设备进行了分析，阐明了机场桥载设备控制系统的价值和意义。本文基于国电智深系统和虚拟 DPU 技术设计搭建了机场桥载设备控制系统并在绵阳机场落地应用，相关技术指标满足要求。该控制系统利用工业级串口服务器实现了串口数据到以太网数据的转换传输，建立起 DCS 系统虚拟 DPU 与设备之间的运行数据通信，满足了数据的长距离传输要求且减少了大量硬接线及现场布线工作，减少了硬件 DPU 的使用，有效的降低了系统成本。对机场现场的桥载设备实现了远程控制和数据信息采集，极大地方便了运行人员，提高了运维人员的工作效率。最后利用 DCS 控制系统的数据处理和分析能力，实现了对机场桥载设备的运行能耗分析，为管理者的决策和节能工作提供有效的数据支撑。

参考文献:

- [1] 陈 军. 桥载设备替代飞机 APU 的节能减排成效 [J]. 节能与环保, 2012 (10): 54-56.
- [2] 朱晓波. 枢纽机场的桥载设备运行现状研究 [J]. 科技风, 2016 (18): 3-4.
- [3] 林美娜, 赵 薰, 林运龄. 某国际机场飞机地面空调机组的研制及其关键技术 [J]. 制冷与空调, 2014, 14 (10): 75-78, 82.
- [4] 李龙海, 张积洪. 民用航空器机载 APU 污染排放及节能运行研究 [J]. 环境科学与技术, 2013, 36 (10): 34-38.
- [5] 夏正洪. 民航机场桥载设备投资回收期计算模型 [J]. 中国科技论文, 2016, 11 (19): 2193-2197.
- [6] 周 东. 机场飞机地面空调设备选型及其推广意义 [J]. 现代商贸工业, 2014, 26 (20): 196-198.
- [7] 林美娜. 飞机地面空调机组的应用 [J]. 科技资讯, 2014, 12 (6): 67-68.
- [8] 田华艳. 基于 Modbus RTU 协议实现 DCS 系统主站通讯与从站通讯 [J]. 自动化与仪器仪表, 2016 (7): 48-49.
- [9] 王秀霞, 马 进, 刘 伟, 等. 基于虚拟 DPU 的热工控制实验系统研究 [J]. 电力科学与工程, 2009, 25 (11): 62-66.
- [10] 段新会, 姜 萍. 基于虚拟 DCS 仿真的控制系统试验验证平台开发 [J]. 电力科学与工程, 2008 (8): 56-59.
- [11] 冷 杉, 郝青松. 600 MW 机组仿真机的虚拟 DCS 系统开发 [J]. 工业控制计算机, 2005 (11): 29-31.
- [12] 林永君, 张 婧. 火电厂集散控制系统仿真中虚拟 DPU 的实现 [J]. 微计算机信息, 2008 (31): 253-254, 223.
- [13] 杨 萍, 高龙军, 王晓刚, 等. FCS165 现场总线控制系统虚拟 DPU 软件研发 [J]. 热力发电, 2015, 44 (7): 118-120, 124.
- [14] 栗继魁, 金广进, 苑香丽, 等. 基于 ModbusRTU 协议多功能表与 DCS 系统通信的实现 [J]. 自动化技术与应用, 2020, 39 (11): 71-75.
- [15] 周旭战. 基于 Virtual DPU 的电厂仿真系统研究与应用 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [16] 张 婧, 杜荣华. 基于虚拟 DPU 技术的 DCS 仿真软件设计开发 [J]. 计算机与现代化, 2007 (9): 20-21, 33.
- [17] 张 婧. 基于虚拟 DPU 技术的仿真软件设计开发 [D]. 保定: 华北电力大学 (河北), 2007.
- [18] 林 桦, 王云伟, 韩秋业, 等. 基于虚拟 DPU 技术的 DCS 仿真系统开发及应用 [J]. 工业控制计算机, 2019, 32 (12): 23-25.
- [19] 夏 玲, 王 雷, 武亚伟, 等. 基于空气焓差法的全自动空调性能测试系统的研究与实现 [J]. 发电与空调, 2013, 34 (1): 52-54.
- [20] 吴晓磊. 空气焓差法测试空调器性能的影响因素 [J]. 现代制造技术与装备, 2018 (7): 180, 182.
- [21] 李仁刚, 徐楠楠. 探讨 DCS 控制系统在工业自动化中的应用 [J]. 中国设备工程, 2020 (23): 184-186.
- [22] 张志刚. DCS 控制系统在工业自动化中的应用 [J]. 中国设备工程, 2019 (13): 187-188.