

# 基于 Modbus 协议的终端通讯系统的开发

刘鑫<sup>1</sup>, 王学华<sup>1\*</sup>, 白志城<sup>1</sup>, 申楷赞<sup>1</sup>, 王刚<sup>2</sup>

(1. 武汉工程大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430205;

2. 纵横皆景(武汉)信息技术有限公司, 湖北 武汉 430204)

**摘要:**智能泊车系统选用可编程逻辑控制器(PLC)控制机械设备,系统设备参数存储在 PLC 的寄存器中,终端机通过读取 PLC 寄存器中的数据实现对系统的监控。为了解决智能泊车终端与 PLC 进行数据通讯过程中出现的数据量大且实时性要求较高的问题,设计了一种基于 Modbus 通讯协议的多功能智能终端通信系统。通过对智能终端系统整体架构的设计和功能的开发,对 Modbus 协议进行了解析,将不同类型的通讯数据封装成为 Json 数据结构中进行传输,实现了泊车终端机(上位机)与 PLC 的实时数据通讯。经过实际测试表明,当循环读写 PLC 中 DB 块地址位 0~149 位数据 50 次,时间间隔为 50 ms 时,平均单次读取时间为 10.9 ms,平均单次写入时间为 11.4 ms,读写数据成功率为 100%,占用系统内存不超过 50 MB,满足智能终端在停取车流程中的功能需求,且通讯过程稳定可靠。

**关键词:**Modbus 协议;Json;智能终端;PLC 通讯;泊车系统

中图分类号:TP274

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)01-0182-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.01.032

## Development of Terminal Communication System Based on Modbus Protocol

LIU Xin<sup>1</sup>, WANG Xue-hua<sup>1\*</sup>, BAI Zhi-cheng<sup>1</sup>, SHEN Kai-yun<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430205, China;

2. Zongheng Jiejing (Wuhan) Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430204, China)

**Abstract:** The intelligent parking system uses a programmable logic controller (PLC) to control mechanical equipment. The system equipment parameters are stored in the registers of the PLC. The terminal monitors the system by reading the data in the PLC registers. In order to solve the problems of large amount of data and high real-time requirements during the data communication between the intelligent parking terminal and the PLC, a multifunctional intelligent terminal communication system based on the Modbus communication protocol is designed. Through the design and function development of the overall architecture of the intelligent terminal system, the Modbus protocol is analyzed, and different types of communication data are encapsulated into a Json data structure for transmission, realizing the real-time data communication between parking terminal (upper computer) and PLC. The actual test shows that when the DB block address bits 0 to 149 in the PLC are read and written 50 times cyclically, and the time interval is 50 ms, the average single read time is 10.9 ms, and the average single write time is 11.4 ms. The data write success rate is 100%, and the system memory is not more than 50 MB, which meets the functional requirements of the smart terminal during the parking and retrieval process, and the communication process is stable and reliable.

**Key words:** Modbus protocol; Json; intelligent terminal; PLC communication; parking system

## 0 引言

智能泊车系统是将先进的图像识别技术与工业自动化技术相结合<sup>[1-2]</sup>,通过计算机的数据计算与图像处理,对进出智能车库车辆的存放、测量、收费、引导为一体的全方位管理系统<sup>[3]</sup>。该系统以用户个人信息作为车辆出入车库的凭证,用先进的激光雷达测距技术

和高清号牌机获取车辆信息<sup>[4]</sup>,再通过控制装置控制机械手将车辆抓取到托盘小车后引导至指定停车位,实现用户的停取车需求。智能泊车库因其稳定的通讯和强大的数据库管理每一个用户及其车辆的信息,解决了现有停车场存在的安全隐患<sup>[5]</sup>。

PLC 因具有灵活性好、通用性强和性价比高等优

收稿日期:2020-03-03

修回日期:2020-07-07

基金项目:国家自然科学基金(51575406)

作者简介:刘鑫(1995-),男,硕士研究生,研究方向为过程控制及其自动化;王学华,博士,教授,研究方向为过程控制及其自动化。

点使其在工业自动化工程中应用广泛<sup>[6]</sup>。在智能泊车库中选用 PLC 为核心建立运动控制系统可以有效提高系统的自动化程度和安全性,但由于 PLC 单独处理数据能力较差<sup>[7]</sup>,所以需要与上位机结合弥补这些缺陷<sup>[8]</sup>。如 PLC 在操控激光雷达对目标物体与周边信息进行感知与采集的过程中,PLC 无法对相关数据进行处理,所以通过与上位机结合,建立可以实现数据交互的通讯模块将数据传输到上位机进行处理。

PLC 常用的通信协议有 MPI、PROFIBUS、工业以太网以及串口通信等<sup>[9]</sup>,其中基于工业以太网的 Modbus 通讯协议具有诊断能力强、数据传输量大、成本低等特点<sup>[10]</sup>,主要用于对 PLC 寄存器中数据读写等操作,现已被众多机械设备产品支持并使用<sup>[11]</sup>,所以选用 Modbus 协议作为系统的通讯协议。而在 PLC 与终端机数据交互过程中,传统的 XML 技术在 Modbus 数据解析上效率较低,因此在数据传输应用开发中引用 Json 技术将 Modbus 数据封装成为 Json 对象,通过以太网传输可以有效提高传输效率。该文通过对 Modbus 协议和 Json 技术的解析,设计了一种以 Modbus 通信协议与 Json 技术为纽带,利用上位机(终端机)与 PLC 进行数据传输实现车库停车取车功能的系统。

## 1 智能终端系统架构

### 1.1 系统架构

智能终端系统主要分为数据处理模块、数据传输模块和数据采集模块。数据处理模块主要是终端机,它的主要功能是发送和接收指令以及对系统信息进行处理。数据采集层主要有号牌机、激光雷达、地感线圈、光电传感器等,它的主要功能是采集外部信息如车辆位置坐标、号牌等。数据传输模块是数据采集模块与数据处理模块进行数据交互的重要媒介。在实际应用中由于用户可以操作多台终端机,所以 PLC 需要通过以太网接入交换机,通过交换机可同时与多台终端机进行数据传输且互不干扰。通讯流程为用户在终端机上输入指令,指令通过数据交互模块发送至 PLC,PLC 对指令进行分析处理后,操控数据采集层开始数据采集并将数据传送至终端机,实现了终端机与 PLC 之间的数据传输。系统数据传输的架构如图 1 所示。

### 1.2 智能终端功能

自助终端机是用户在智能泊车库中完成车辆停放的主要操作设备。作为无人值守的自动泊车终端系统需具备以下主要功能:停车功能、取车功能和支付功能。

停车功能主要包括用户信息认证、车辆信息读取与数据库数据同步等。用户将车辆驶进停车场后,在

终端机上选择停车操作,输入账户信息,终端机系统进行用户和车辆信息验证,验证通过后打印停车凭条,发出停车动作指令,泊车系统自动完成停车操作。

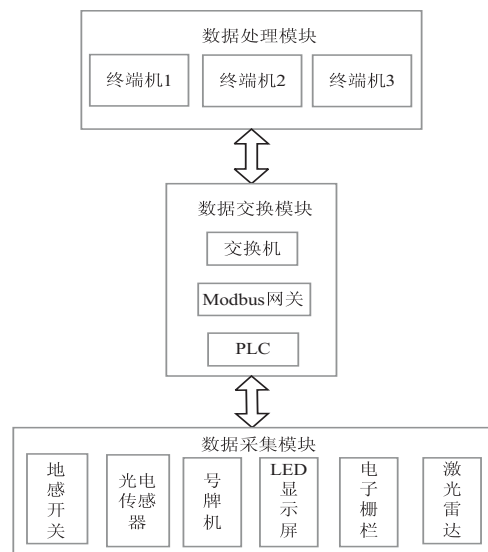


图1 智能终端数据传输系统架构

取车功能主要是验证用户信息以取出车辆。用户只需将停车凭条放在终端机上的扫描设备进行识别<sup>[12]</sup>,终端系统根据扫码信息进行身份认证,认证通过则可以取出车辆,并显示停车时长和费用。

支付功能主要用于完成取车费用的支付和发送道闸动作指令。取车信息验证通过后,终端显示支付界面,用户完成支付后,终端发送支付完成信息和道闸动作指令,泊车系统随即会将车辆取至待取区域,用户即可将车辆驶出车库,完成取车过程。

## 2 Modbus 协议的 Json 格式

Modbus 通讯协议是一种应用层协议,连接在不同网络设备之间提供服务器与客户端通信,其具有支持串口(主要是 RS-485 总线)和以太网的功能,协议包括 Modbus RTU, Modbus ASCII 和 Modbus TCP 三种<sup>[13]</sup>。该系统采用基于以太网的 Modbus TCP 协议,属于客户端/服务器模式进行通信,客户端发出数据请求消息,服务端收到消息后就发送数据到客户端以响应请求,客户端确定了服务端响应后表示连接已建立。

Modbus TCP 数据结构如图 2 所示,基于 TCP/IP 协议的 Modbus 数据格式包含通信报头和协议数据单元。通信报头包含事务标识符(2 字节)、协议标识符(2 字节)、长度(2 字节)和单元标识(1 字节),事务标识符在每次通信完成会进行累加以区别不同的通信报文;由于该文采用的是 Modbus TCP 协议,所以协议标识为 0x0000;长度表示数据长度,单位为字节;单元标识符代表设备地址,该文拟用 0x02 作为终端标识。而协议数据单元包括功能码(1 字节)和数据集(n 字

节),功能码用于指出要求进行的操作,该文主要运用功能码 0×03 和 0×04,0×03 代表读取寄存器数据,0×04 代表在指定地址寄存器中写入数据;数据集即传输数据是一个可变字段,每个字节 8 bit,字段长短根据数据大小决定。

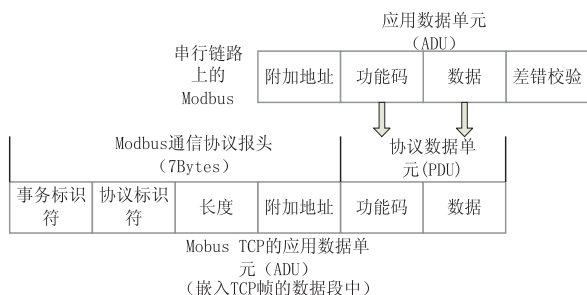


图 2 Modbus TCP 消息帧的数据结构

Json 对象的数据结构为键值对结构,即“key/value”集合。key 为对象的属性,可以是数据类型,也可以是一个数组,而 value 表示其对应的值,该文采用的 Json 格式表示为:

```
{ "terminal": "0001",
  "status": "0001",
  "Parking allowed": "0002",
  "Voucher number": "1423",
  "Parking fee": "0034" }
```

从以上结构可以看出,Json 格式适用于本系统 Modbus 协议指令的数据格式,合理地使用 Json 处理终端机与 PLC 之间传输的数据,可以有效提高 Modbus 协议的通讯效率,并且可以简化应用程序的开发。

### 3 通讯程序设计

终端机上的通讯程序主要完成以下任务:初始化通讯程序、发送通讯请求、检验数据帧是否正确、执行读写指令、接收返回结果。程序流程为:终端机主动联络 PLC,首先初始化通信模块,然后发送握手信号,其中包括 IP 地址、端口号等,PLC 接收到地址后会先与本身 IP 比较,如果地址无误则回应终端机确认连接,当终端机接收到 PLC 确认信息后,则表示通信已经建立,同时可以读写 PLC 寄存器中的数据,通讯流程如图 3 所示。

#### 3.1 终端机通讯程序

##### 3.1.1 连接 PLC

因为泊车库设备采用以太网互联,所以需要根据 PLC 配置设置参数。在连接程序中,网关的 IP 参数设为 127.0.0.1,端口号为 502,同时回调函数返回连接状态值,程序如下:

```
IPAddress[] IpAdd = Dns.GetHostAddresses("127.0.0.1"); // IP 地址
```

```
EndPoint joint = new EndPoint(IpAdd[1], 502); // 端口号
```

```
AsyncCallback Value = new AsyncCallback(ConnectCallback1); // 回调函数
```

```
AsyncResult connResult = s1.BeginConnect(joint, callback, s1);
```

```
connResult.AsyncWaitHandle.WaitOne(50, true);
```

该网关可以自动诊断与 PLC 的连接,终端程序会定时发送报文至 PLC,PLC 则会发送返回值以确定连接正常。设定时间为 50 ms,如果终端程序没有接收到检测数据,则表示通信连接异常。如果连接正常,便可以进行读写操作。

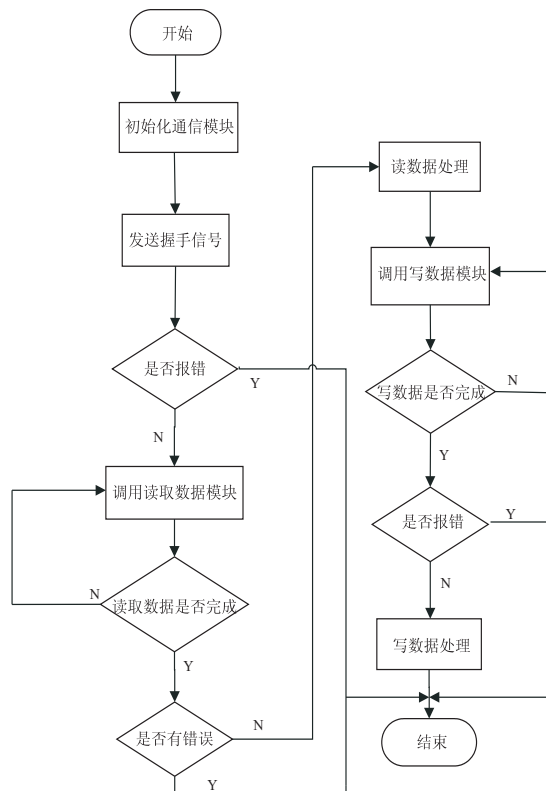


图 3 通讯流程

##### 3.1.2 读取寄存器

对 PLC 寄存器中指定地址的 DB 块进行数据读写需要指定地址和读取数据长度,根据通信协议发送和读取指定格式数据,并转成文本格式保存在本地。

```
OperateResult<byte[]> read = busTcpClient.ReadRegister(DBAddress, Length); 读取数据
```

```
if (read.IsSuccess)
```

```
{
```

```
Value_List.Text = "";
```

```
String returned_value = ByteToHexString(read.Content);
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
toolStripStatusLabel1.Text = "读取失败:" + read.ToMessageShowString(); }
```

### 3.1.3 写入寄存器

```
PLC _ Write _ value Retured _ value _ write =
DeserializeJsonObject<PLC_Write_value> ( Str );
writeResultRender ( busTcpClient. WriteRegister ( ushort. Parse
( Retured_value_write. Address ), short. Parse ( Retured_value_write.
Value ) );
Retured_value_write. Address );写入数据
```

### 3.1.4 转 Json 格式

```
ArrayList array = GetSeparateSubString ( str , 4 );
int Read_address = Convert. ToInt32 ( addr ss );
Retured_v. Clear ( );
foreach ( string arr in array )
{
    PLC_Retured_value Retured_value = new PLC_Retured_
value ( );
    Value_List. Text += "DB 地址" + Read_address + " : " +
arr + " \r\n";
    Retured_value. Address = Read_address. ToStri ng ( );
    Retured_value. Value = arr; //实体集合序列化和反序列化
    Retured_v. Add ( Retured_value );
    Read_address++;
}
```

## 3.2 PLC 通信程序

该系统 PLC 选用西门子 S7-1200 系列, S7-1200 系列 PLC 采用模块化结构, 各模块都具有很好的可扩展性, 可搭载中央处理器 (CPU)、电源、I/O 模块以及通讯模块<sup>[14]</sup>。博途 (TIA) 是西门子工业常用的集成自动化软件, 可对 PLC 进行组态、编程和调试。以太网连接设备后, 使用 TIA V14 软件找寻到 PLC 设备, 选中 PLC 点击下载硬件和软件信息, PG/PC 接口类型选择 PN/IE<sup>[15]</sup>。初始化 PLC, 在通信模块中选择 MODBUS\_SERVER 功能块, 并添加至 PLC 程序集, 并按图 4 所示的方式设置通讯参数和数据块。

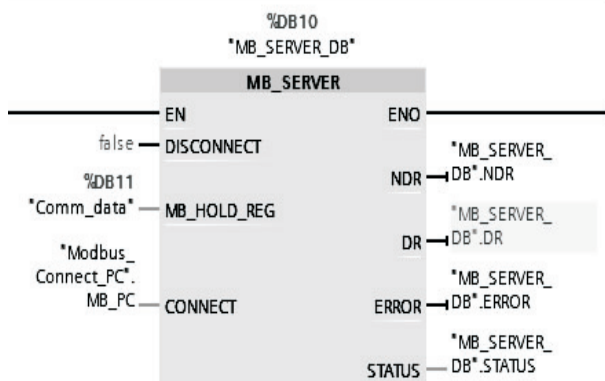


图 4 Modbus 通信模块

在 PLC 程序中添加 DB 块, 定义了终端机与 PLC 需要传输的数据, 其中数据名称、数据类型和偏移量等如表 1 所示, 终端机程序可以通过地址和偏移量读写这些数据值。

表 1 PLC 中 DB 块的数据结构

| 名称     | 数据类型  | 地址偏移 | 初始值  |
|--------|-------|------|------|
| 终端号    | Int   | 0.0  |      |
| X 轴坐标  | DInt  | 2.0  | 0    |
| Y 轴坐标  | DInt  | 6.0  | 0    |
| 功能状态   | Int   | 10.0 | 0    |
| 按钮状态   | Int   | 12.0 | 0    |
| 停取指令   | Int   | 14.0 | 0    |
| 允许停车   | Int   | 16.0 | 0    |
| 车辆串码-0 | DWord | 18.0 | 16#0 |
| 车辆串码-1 | DWord | 18.0 | 16#0 |
| 车辆串码-2 | DWord | 18.0 | 16#0 |
| 车辆串码-3 | DWord | 18.0 | 16#0 |
| 凭证号    | Int   | 34.0 | 16#0 |
| 号牌机启动  | Int   | 38.0 | 0    |
| 号牌比对结果 | Int   | 40.0 | 0    |
| 用户类型   | Int   | 42.0 | 0    |
| 停车费用   | Int   | 44.0 | 0    |
| 支付结果   | Int   | 46.0 | 0    |
| 地感信号   | Int   | 48.0 | 0    |
| 心跳信号   | Int   | 50.0 | 0    |

## 4 数据通讯测试

### 4.1 单组数据通讯测试

在搭载 Windows 64 位操作系统的计算机上进行开发与通讯测试, 系统测试在无干扰的环境下进行。在测试过程中, 使用 Modbus Slave 软件模拟现场 PLC 情况, 在 Modbus Slave 上添加数据内容, 根据表 1 定义的数据名称及大小如图 5 所示, 同时选择连接方式为 Modbus TCP/IP, 设定 IP 地址为 127.0.0.1, 端口号为 502。终端程序通过与 Modbus Slave 软件连接, 通过读写表中数据测试通讯程序性能。

|   | Alias  | 00000 | Alias  | 00010 |
|---|--------|-------|--------|-------|
| 0 | x坐标    | 4252  | 凭证号    | 7567  |
| 1 | y坐标    | 5345  | 号牌机启动  | 1     |
| 2 | 功能状态   | 1     | 号牌比对结果 | 1     |
| 3 | 按钮状态   | 1     | 用户类型   | 1     |
| 4 | 停取指令   | 1     | 停车费用   | 1     |
| 5 | 允许停车   | 1     | 支付结果   | 1     |
| 6 | 车辆串码-0 | 3434  | 地感信号   | 1     |
| 7 | 车辆串码-1 | 4324  | 心跳信号   | 1     |
| 8 | 车辆串码-2 | 5455  |        |       |
| 9 | 车辆串码-3 | 7546  |        |       |

图 5 Modbus Slave 数据界面

在通讯程序上输入 IP 地址和端口号, 运行程序后与 Modbus Slave 建立连接, 由于有 18 个模拟数据, 所



以在程序上设定 DB 块地址为 0 ~ 17 位,设定读取时间间隔为 100 ms,得出读写数据结果。通讯程序中,利用 Stopwatch 函数计算出读写数据时间,通过多次反复测试,测试结果如表 2 所示。

表 2 单组数据通讯测试结果

| 测试内容     | 结果数据    | 备注         |
|----------|---------|------------|
| 读数据      | 读取正常    | 读取正确率 100% |
| 写数据      | 写入正常    | 写入正确率 100% |
| 单次读取数据时间 | 10.8 ms | 正常         |
| 单次写入数据时间 | 11.3 ms | 正常         |
| 误码率测试    | 0.24%   | 正常         |
| 内存占用     | 18.4 MB | 正常         |

## 4.2 多组数据通讯测试

多组数据通讯测试是在单组数据通讯测试基础上,在 Modbus Slave 上更改数据类型与数据值,同时更改通讯数据量,在相同的环境下进行测试。设定五组数据,每组测试数据取 50 次测试的平均值,测试结果如表 3 所示。从统计结果可以看出,在通讯数据不同的情况下,通讯程序的读写操作误差为 0,单次读写时间误差不超过 1 ms,并且程序运行过程中占用计算机内存不超过 40 MB。

表 3 多组数据通讯测试统计

| 序号  | 数据量<br>/个 | 读数据<br>/% | 写数据<br>/% | 单次读<br>取/ms | 单次写<br>入/ms | 误码<br>率 | 内存占<br>用/MB |
|-----|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|---------|-------------|
| 1   | 10        | 100       | 100       | 10.6        | 11.3        | 0.02    | 18.2        |
| 2   | 30        | 100       | 100       | 10.9        | 11.2        | 0.01    | 19.4        |
| 3   | 50        | 100       | 100       | 10.9        | 11.1        | 0.02    | 28.6        |
| 4   | 100       | 100       | 100       | 10.8        | 11.3        | 0.02    | 31.8        |
| 5   | 150       | 100       | 100       | 10.9        | 11.4        | 0.03    | 40.0        |
| 平均值 | 68        | 100       | 100       | 10.82       | 11.26       | 0.02    | 20.6        |

## 5 结束语

通过对 ModbusTCP 协议的解析,采用 C#编程语言开发了基于 ModbusTCP 通信协议的终端通讯系统,并对 ModbusTCP 通讯数据封装成 Json 格式传输,实现了终端机与 PLC 之间的实时通讯和数据传输。该系统在与 Modbus Slave 软件测试结果表明,数据量在 150 个以内终端通讯系统通信正常、运行稳定,验证了

系统的可行性,达到了技术指标。

### 参考文献:

- [1] 杨 瞳,倪晋平,马元锋,等. 停车场智能泊车综合系统的优化设计[J]. 测试技术学报,2019,33(2):104-109.
- [2] 江浩斌,沈峥楠,马世典,等. 基于信息融合的自动泊车系统车位智能识别[J]. 机械工程学报,2017,53(22):125-133.
- [3] 马志强,张希铭,张 明,等. 基于无线通信的智能泊车系统设计[J]. 测控技术,2013,32(1):104-108.
- [4] 江浩斌,叶 浩,马世典,等. 基于多传感器数据融合的自动泊车系统高精度辨识车位的方法[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版,2019,33(4):1-10.
- [5] SAM B B, REDDY A L, PRABHAKAR A. A survey paper on smart parking system[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 590: 012008.
- [6] 李湘伟. 一种基于 PLC 控制的双层升降横移式立体停车库的设计[J]. 机床与液压, 2019, 47(10): 64-66.
- [7] 刘 旋,宋广军. 智能堆垛式电动自行车车库[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(10): 25-28.
- [8] 常红梅,杨永平. 机电一体化立体停车库的 PLC 控制[J]. 起重运输机械, 2007(8): 52-54.
- [9] MENG Fanwen, ZHANG Yuxiang, YANG Dongkai. Design of communication among vision system, PLC and industrial robot based on Modbus-TCP protocol[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1288: 012083.
- [10] 董青青. 基于 TCP 协议的 PC 与西门子 S7-1200PLC 通信研究[J]. 电子测试, 2019(19): 76-77.
- [11] WAN Ming, SHANG Wenli, KONG Linghe, et al. Content-based deep communication control for networked control system[J]. Telecommunication Systems, 2017, 65(1): 155-168.
- [12] AZSHWANTH D, KOSHY M T. Automated car parking system[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1362: 012059.
- [13] 闫秀芳,王志国,高晓辉. PLC 基于 Modbus 通讯的控制系统研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(2): 127-130.
- [14] 党 媚. 基于 S7-1200PLC 的某型飞机舱门踩踏试验平台控制系统设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(22): 29-33.
- [15] 陈 哲,李德英,刘卫兵,等. 基于 S7-1200 PLC 与触摸屏的西瓜温室大棚智能控制[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(7): 35-38.