

# 基于以太网和 RS485 总线的小型微网控制系统设计<sup>①</sup>

詹健东, 宗 容, 余 江, 施继红  
(云南大学 信息学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 为解决小型微电网中各元件之间数据实时通信的问题, 提出了一种基于以太网和 RS485 总线的小型微电网通信结构. 设计了配网代理、微网代理、元件代理的 3 层控制系统, 采用 Modbus/UDP 协议和 Modbus RTU 协议分别作为配网代理和微网代理、微网代理和元件代理之间的通信协议. 详细介绍了以太网和 RS485 串口通信的软硬件设计, 以及 Modbus/UDP 和 Modbus RTU 协议转换单元. 实验结果表明, 在小型微电网控制系统中采用以太网和 RS485 总线, 能够满足数据传输速率、实时性和可靠性的要求.

**关键词:** 微网; Modbus/UDP; Modbus RTU; ARM; QT; 多代理; 实时性

**中图分类号:** TM 73      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0258-7971(2015)05-0674-06

当前, 随着分布式发电的兴起, 太阳能、风能等可再生能源将大量接入低压配电网. 由于这些新能源具有不稳定性、控制困难等特点, 简单地接入大电网势必会对现有的电网造成较大影响. 为了协调大电网与分布式电源的矛盾, 微网概念由此产生. 微网是指将分布式电源 DER (Distributed Energy Resources)、储能装置、控制装置结合在一起, 采取相应的控制策略为负载供电<sup>[1]</sup>. 因此微网控制系统需要采集和传输大量的数据来管理这些分布式单元, 对通信的实时性和可靠性提出了更高的要求. 微网控制系统的通信系统设计, 在整个控制系统中占有重要地位<sup>[2-4]</sup>. 文献[5]采用 OPNET 进行仿真, 验证微网通信系统性能能否满足微网的要求, 文献[6]提出了将 CAN 总线应用在微网监控系统, 文献[7]提出了将 LonWorks 电力线载波应用在微网监控系统中, 文献[8]提出了在直流微网中采用 ZigBee 无线通信, 它们对微网的通信系统进行仿真和提出具体的通信方式, 但未针对微网控制方式和通信协议进行研究. 本文以基于多代理技术的微电网控制方式为模型<sup>[9]</sup>, 提出了基于以太网和 RS485 总线的小型微电网控制系统通信架构. 以太网通信具有传输速率高、传输容量大, 适合微电网控制系统远距离的数据传输. 并且采用

Modbus/UDP 协议作为以太网口的通信协议, 与 Modbus/TCP 相比, Modbus/UDP 的通信过程中不需要与对方建立连接, 应用在微电网控制系统中, 可进一步提高微电网控制的实时性和高效性. 同时 RS485 总线具有较强的抗干扰能力, 适合小型微电网系统结构简单、DER 数量相对较少、数据传输距离短的特点. 并且 RS485 总线价格低廉、布线简单、目前国内外众多智能电力仪器仪表厂商大多都支持 RS485 总线的 Modbus RTU 协议, 在微电网系统中采用 RS485 总线可以提高系统原有设备的利用率, 节约成本. 综上所述, 将以太网和 RS485 总线应用在小型微电网控制系统中将发挥越来越重要的作用.

## 1 微网控制系统结构

本文根据微网控制系统的特点, 构建了图 1 所示微网控制系统结构框图.

系统由配网代理、微网代理、元件代理组成 3 层控制结构. 配网代理采用 Modbus/UDP 协议通过以太网口接收微网代理发送的数据, 综合分析、做出决策, 向微网代理发送控制命令. 微网代理采用 Modbus RTU 协议通过 RS485 总线采集元件代理

<sup>①</sup> 收稿日期: 2015-03-11

基金项目: 国家自然科学基金(61162004).

作者简介: 詹健东(1987-), 男, 福建人, 硕士生, 主要研究领域为基于多代理技术的微电网控制系统. E-mail: aqdwj1987@163.com.

通信作者: 宗 容(1962-), 女, 云南人, 教授, 主要研究领域为网络通信、信道编码. E-mail: zongrong@ynu.edu.cn.

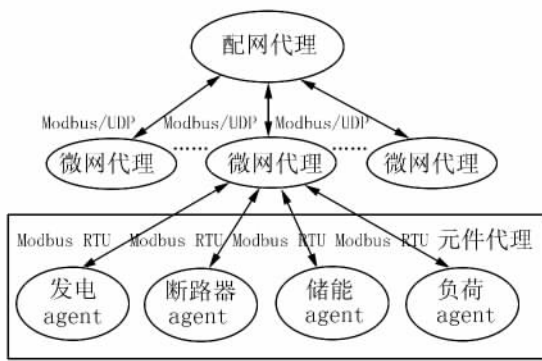


图1 微网控制系统结构框图

Fig. 1 Scheme of microgrid control system frame

的运行情况和状态信息,根据配网代理的命令和自身的运行情况,向元件代理发送控制命令,并将数据通过以太网发送给微网代理。元件代理中的发电 agent 通过采集电流、电压等传感器上的数据判断自身运行状态和电网是否出现故障,决策是否处在并网或孤岛状态。断路器 agent 接收微网代理的控制命令,控制发电 agent、储能 agent 和负荷 agent 之间闭合或断开;储能 agent 提供蓄电池储备的电量;负荷 agent 提供负荷的用电量。

## 2 微网控制平台设计

针对图1的系统构架,设计了包括工控机作为配网代理、ARM板作为微网代理、分布式电源(光伏发电、风力发电)作为发电 agent、蓄电池作为储能 agent、断路器板作为断路器 agent、智能电表作为负荷 agent 的微网控制系统。其中 ARM 板上带有 LCD 液晶触摸屏,用于显示微网代理采集到元件代理的运行参数、状态信息以及手动控制元件代理,在 ARM9 上运行嵌入式 linux 操作系统。

本文采用工控机自带的网口作为配网代理的以太网口,微网代理采用 S3C2440A 作为主控制器。由于 S3C2440A 没有自带以太网口,设计中通过外接 DM9000AEP 控制器来扩展以太网通信。而且 S3C2440A 的 IO 电平与 RS485 电平不一致,考虑到微电网中存在分布式电源、现场情况复杂,通信线路容易受到干扰。设计中选择 S3C2440A 的 UART1 与 ADM2483 芯片相连扩展一个 RS485 接口,连接方法见图2。

ADM2483 是一款隔离型 RS485 串口转换芯片,其中 RxD 和 TxD 引脚分别为接收输出和发送输入。当 RE(接收使能)为低时,RxD 有效;当 DE

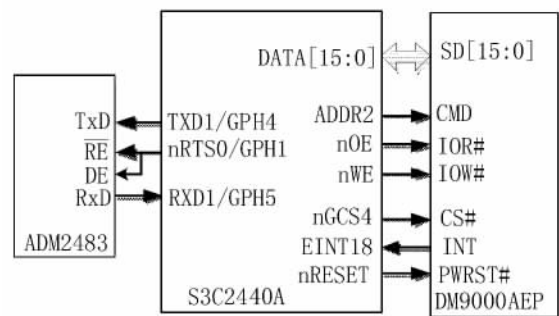


图2 S3C2440A 与 ADM2483 和 DM9000AEP 连接图

Fig. 2 Diagram of S3C2440A's connection with ADM2483 and DM9000AEP

(发送使能)为高时,TxD 有效。由于 ARM9 中的 UART1 工作在全双工模式,而 RS485 串口工作在半双工模式,故设计中将 S3C2440A 的 nRTS0 引脚当作 RS485 串口数据收发的方向控制信号。DM9000AEP 是一款低功耗和高性能的单芯片以太网控制器,集成 10/1000M 自适应收发器,可以与 CPU 直连<sup>[10]</sup>。S3C2440A 利用片选 nGCS4 和地址线 ADDR2 分别与 DM9000AEP 芯片的 CS 和 CMD 相连;S3C2440A 的数据线 DATA[15:0] 与 DM9000 的数据线 SD[15:0] 相连,S3C2440A 的 nOE、nWE 分别与 DM9000AEP 的 IOR#、IOW# 相连,实现 S3C2440 与 DM9000AEP 之间的数据传输。S3C2440A 的 EINT18 与 DM9000AEP 的 INT 相连,使得 S3C2440A 可以响应 DM9000AEP 的中断请求。

## 3 软件设计

软件设计主要包括 5 个部分,Modbus/UDP 协议、RS485 串口通信设计、Modbus/UDP 以太网通信设计、Modbus/UDP 与 Modbus RTU 协议转换、Modbus/UDP 性能测试。工控机和 ARM 板上的通信程序、人机界面均使用 QT 软件编写完成。

**3.1 Modbus/UDP 协议** Modbus/UDP 协议是指在 UDP/IP 协议的基础上应用层使用 Modbus 数据,传输层采用 UDP 协议。UDP 协议相比于 TCP 协议少了 3 次握手,传输效率高、实时性强。由于 UDP/IP 协议提供的数据传输是不可靠的,可靠性由应用层协议实现<sup>[11]</sup>。Modbus 协议是带确认的数据传输协议,在实际应用中通过引入超时重传机制来保证通信的可靠性。将 Modbus 协议和 UDP/IP

协议组合成 Modbus/UDP 协议,使其在实时性和可靠性有了双重保证,符合微电网控制系统的应用需求。

**3.2 RS485 串口通信设计** 系统采用 ARM 板作为主机,分布式电源、蓄电池、负荷、断路器板作为从机。微网代理与元件代理之间通过 RS485 串口采用标准的 Modbus RTU 协议进行通信,根据实际应用情况,主机定义 01 读线圈、04 读输入寄存器、05 写单个线圈、06 写单个寄存器 4 个功能码对从机进行数据读取和控制。

ARM 板上电后,调用 open() 函数打开串口设备文件/dev/ttyS1,接着定义一个 struct termios 变量 option,通过设置 option 变量的成员值,完成串口设置。本文将波特率设置为 9600,8 个数据位,无校验位,1 位停止位。通过调用 write()、read() 函数读写串口设备文件/dev/ttyS1 实现 RS485 串口数据收发。数据串口初始化完成后,ARM 通过 RS485 总线发送数据采集命令,采集发电 agent、储能 agent、负荷 agent 的运行参数和状态信息,并将数据存储在针对嵌入式设计的轻型数据库 SQLite 中,以供工控机读取。

**3.3 Modbus/UDP 以太网通信设计** 基于 Modbus/UDP 的以太网通信程序分为客户端程序和服务器应用程序,系统采用工控机作为客户端/主站,ARM 板作为服务器/从站。

工控机通过调用 QUdpSocket 类建立一个 QUdpSocket 对象,使用 UdpSocket 类中的 writeDatagram() 函数来发送 UDP 数据报。该函数有 4 个参数,分别为数据报的内容,数据报的大小,主机地址和端口号,其中数据报内容为需要发送的 Modbus 数据帧,端口号设置为 502。参数设置完成后,首先将主机地址设置为 QHostAddress::Broadcast,广播给局域网的各 ARM,通知它们更新工控机的 IP 地址。然后将主机地址更改为相应的 ARM 的 IP 地址,采用一问一答的形式,发送命令给对应的 ARM。工控机发送的命令分为数据采集命令和控制命令。为了确保控制命令的安全到达,设置超时重传机制。即发出命令 1 000 ms 后没有数据返回,重新发送该帧,重复 2 次后仍没有收到数据,发送命令失败。

ARM 板采用信号和槽机制监听工控机的请求数据。一旦有数据到来,就会发出 readyRead() 信号,触发 receive() 槽函数接收数据。并利用 Udp-

Socket 类中的 hasPendingDatagrams() 函数提取 Modbus 应用数据单元 ADU 进行解析,解析出具体命令执行对应动作。如果是控制命令,ARM 将命令转换成 Modbus RTU 协议数据格式,调用 RS485 串口函数将命令发送给相应的元件代理,并将元件代理返回的数据封装成 Modbus/UDP 协议数据报发送给工控机;如果是数据采集命令,ARM 从 SQLite 数据库中取出最新的数据封装成 Modbus/UDP 协议数据包通过以太网发送给工控机。服务端和客户端数据收发流程如图 3 所示。

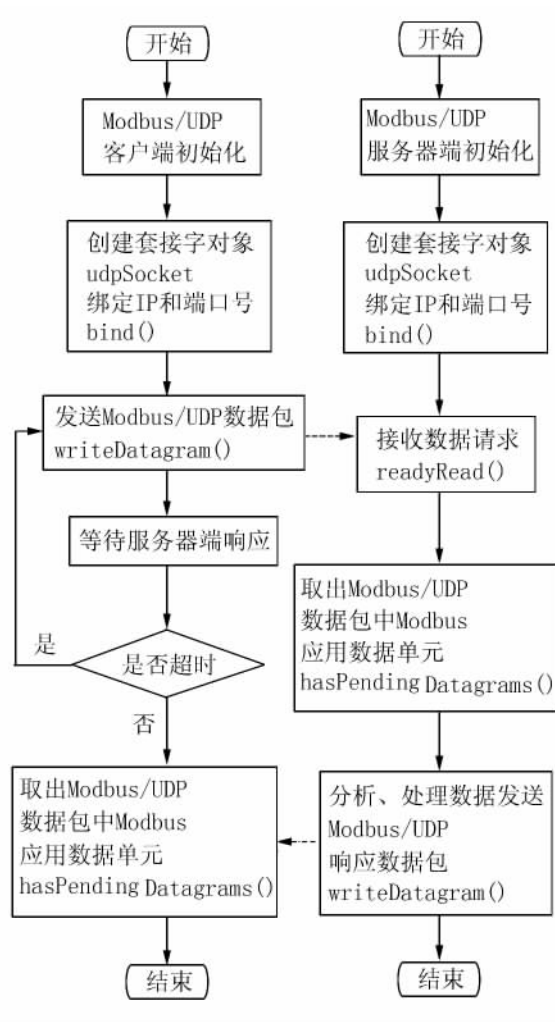


图 3 服务端和客户端数据收发流程

Fig. 3 Transmitting and receiving flow chart between service and client

### 3.4 Modbus/UDP 与 Modbus RTU 协议转换

首先,在 ARM9 中开辟 2 个数据缓冲区 A 和 B。在 Modbus/UDP 转 Modbus RTU 协议过程时,A 用来存放从以太网接收到的 Modbus/UDP 数据报。并取出 Modbus/UDP 数据报中的 Modbus 应用数据单元

ADU,然后取出 ADU 中协议数据单元 PDU. 最后,在 PDU 中添加相应的地址码和 CRC 校验码后存入 B 缓冲区中,通过 RS485 总线发送给对应的元件代理. 反之,A 用来存放来自 RS485 总线的 Modbus RTU 数据,取出其中的 Modbus 简单协议数据单元 PDU,去除 CRC 校验码后,添加 MBAP 后存入 B 缓冲区中,通过以太网发送给配网代理.

**3.5 Modbus/UDP 性能测试** 为了测试 Modbus/UDP 协议的性能,分别编写了 Modbus/UDP 协议通信程序和 Modbus/TCP 协议通信程序进行实验. 在学院内网中,通过交换机搭建了如图 4 所示的网络实验环境.

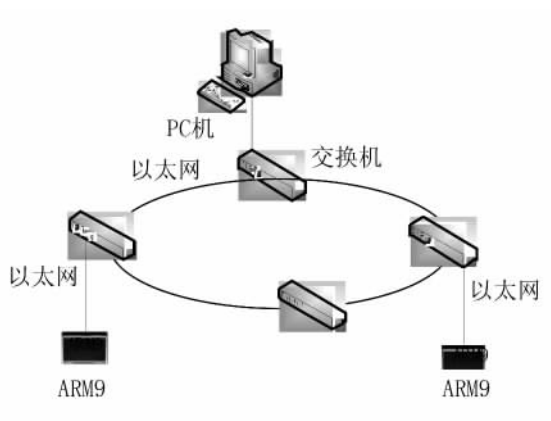


图 4 实验网络拓扑图

Fig. 4 Diagram of experimental network topology

本实验通过设定不同的采样周期对 2 种通信协议进行测试. 首先,PC 机自动发送控制命令给 ARM9,然后,接收 ARM9 响应的数据帧来统计丢包数,以此计算丢包率. 这里分别对各个采样周期进行 10 000 次的数据采集.

从表 1 可以看出,在不同的采样周期系统的丢包率不同. 当采样周期为 100 ms 时,Modbus/UDP 协议的请求丢包率约为 0,数据传输的准确性好. 而 Modbus/TCP 协议在采样周期为 100 ms 时,丢包率约为 10%,丢包较为严重;当采样周期为 300 ms 时,Modbus/TCP 协议的丢包率约为 0,数据传输的准确性好. 故通过表 1 可以得出结论,Modbus/UDP 协议的实时性好于 Modbus/TCP.

表 1 不同采样周期下的丢包数

Tab. 1 Number of loss under different sampling period

采样周期/ms	Modbus/UDP 下的丢包数	Modbus/TCP 下的丢包数
30	2 341	—
50	15	3 668
100	1	1 502
150	0	807
200	0	204
300	0	0

## 4 系统功能可靠性测试

根据上述设计,在实验室搭建了小型微电网实验平台,连接方法见图 5.

测试分为 2 个步骤,一是工控机采用轮询的方式,每隔 200 ms 通过以太网分别给 ARM 板发送修改相应断路器开关状态的控制命令. 二是 ARM 板按照工控机的控制命令,通过 RS485 串口发送控

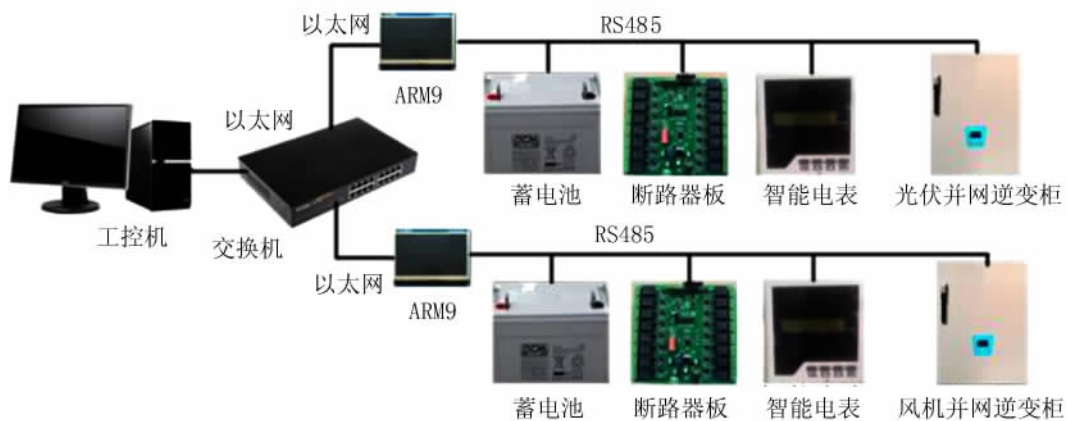


图 5 微网实验平台

Fig. 5 Microgrid experimental platform

制指令给断路器板修改相应断路器的开关状态. 配网代理和微网代理的通信测试界面均使用 QT 编写,如图 6,7 所示.

系统经过长时间的测试,工控机连续发送了 100 000 个数据帧给 ARM 板,并且全部发送成功. 同时 ARM 板接收到控制指令,执行相应动作后也响应了 100 000 个数据帧给工控机,丢包率为 0. 测试结果表明,在以太网和 RS485 总线上采用 Modbus/UDP 协议和 Modbus RTU 协议可靠性好.

若小型微电网中存在较多的分布式元件,系统可以根据实际情况,将分布式元件划归多个微网代理管理. 使得每个微网代理需要采集和管理的分布

式元件较少,以保证系统数据传输实时性和可靠性的要求.

## 5 结 论

本文所设计的基于以太网和 RS485 总线的小型微电网控制系统,实现了配网代理、微网代理、元件代理之间的相互通信. 测试结果表明,系统数据传输实时性和可靠性好. 而且在 ARM9 中设计的 Modbus/UDP 与 Modbus RTU 协议转换单元,系统只需简单的连线,就可以实现配网代理和远程元件代理的相互通讯,方便微网的灵活组网,在微网控制系统具有较高的实用价值.



图 6 配网代理通信测试界面

Fig. 6 Distribution agent communications test interface



图 7 微网代理通信测试界面

Fig. 7 Microgrid agent communications test interface

## 参考文献:

- [1] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):100-107.  
LU Z X, WANG C X, MIN Y, et al. Overview on smart Micro-grid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19):100-107.
- [2] 张佳斌,杨欢,赵荣祥,等. 微电网通信系统研究综述[J]. 华东电力,2011,39(10):1519-1625.  
ZHANG J B, YANG H, ZHAO R X, et al. A review of microgrid communication system research [J]. East China Electric Power, 2011, 39(10):1519-1625.
- [3] BANI-AHMED A, WEBER L, NASIRI A, et al. Micro-grid communications: State of the art and future trends [C]//Renewable Energy Research and Application (ICRERA), 2014 International Conference on IEEE, 2014: 780-785.
- [4] 薛金,余江,常俊,等. 智能配电网的通信隔离方案研究[J]. 云南大学学报:自然科学版,2013,35(4):480-484.  
XUE J, YU J, CHANG J, et al. Research on scheme of smart distribution grid communication isolation [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2013, 35(4):480-484.
- [5] 韦幸幸,张有兵,谢路耀,等. OPNET 在微网通信系统仿真中的应用[J]. 机电工程,2014,31(3):404-408.  
WEI X X, ZHANG Y B, XIE L Y, et al. Application of OPNET in microgrid communication systems simulation [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(3):404-408.
- [6] 王宁,黄梅,马添翼,等. 基于 CAN 总线的微电网监控系统设计[J]. 电测与仪表,2011,48(545):37-40.  
WANG N, HUANG M, MA T Y, et al. Design of monitor system of Micro-grid based on CAN bus [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2011, 48(545):37-40.
- [7] 徐瑞,邓勇,刘卫亮,等. 基于 Lon Works 电力线载波

- 通信的微电网监控系统[J]. 信息安全与技术, 2012, 3(7): 71-74.
- XU R, DENG Y, LIU W L, et al. Micro-grid monitoring system based on LonWorks power line carrier communication[J]. Information Security and Technology, 2012, 3(7): 71-74.
- [8] 沈楚焱, 杨鹏, 史旺旺. 直流微网中的 ZigBee 通信及以太网网关设计[J]. 测控技术, 2013, 32(8): 103-106.
- SHEN C Y, YANG P, SHI W W. Design of ZigBee wireless communication and ethernet gateway[J]. Measurement & Control Technology, 2013, 32(8): 103-106.
- [9] 章健, 艾芊, 王新刚. 多代理系统在微电网中的应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(24): 80-87.
- ZHANG J, AI Q, WANG X G. Multi-agent system in the application of the micro-grid[J]. Automation of Electric Power, 2008, 32(24): 80-87.
- [10] 龙新辉, 陈俊杰. 基于嵌入式 Linux 的以太网卡驱动设计与实现[J]. 舰船电子工程, 2011, 3(201): 142-146.
- LONG X H, CHEN J J. Design and Implementation of ethernet driver based on embedded Linux[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 3(201): 142-146.
- [11] 刘振华, 朱明富. UDP/IP 协议下 Modbus 协议的研究与实现[J]. 微计算机应用, 2010, 31(12): 20-27.
- LIU Z H, ZHU M F. Research and Implementation of modbus protocol Over UDP/IP[J]. Microcomputer Applications, 2010, 31(12): 20-27.

## Design of control system of small microgrid based on ethernet and RS485 bus

ZHAN Jian-dong, ZONG Rong, YU Jiang, SHI Ji-hong

(School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of real-time data communication among various components in the small microgrid, this paper proposes a small microgrid communication framework based on Ethernet and RS485 bus. A three-layer control system consisting of distribution agent, microgrid agent and component agent is designed using the Modbus/UDP protocol between distribution and microgrid agent and Modbus RTU protocol between microgrid and component agent. This work presents both the software and hardware design of the Ethernet and RS485 serial communication, as well as the Modbus/UDP and Modbus RTU protocol conversion unit. The experimental results show that the small microgrid control system which uses Ethernet and RS485 bus, can meet the requirements of data transmission rate, real-time and reliability.

**Key words:** microgrid; Modbus/UDP; Modbus RTU; ARM; QT; Multi-agent; real-time