

滑动窗口技术在智能仪表离线交易记录上传中的运用

王博文

(中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要: RS485 通信协议在工业数据通信领域中被广泛采用, 它具有组网简单、抗干扰能力强、传输距离远等诸多优势; 但 RS485 通信协议在传输层的实现没有统一标准, 需要各个工业厂商自己定义, 而大部分厂家采用的是单数据包的询问应答模式, 导致信道利用效率低; 当数据传输量小的时候, 时间成本的浪费并不突出, 然而随着数字智能设备的不断发展, 通信数据量的不断增大, RS485 协议在实际的应用中也凸现一些弊端, 如传输效率低, 信道利用率不高等问题; TCP 协议是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层通信协议; TCP 滑动窗口技术是一种成熟可靠的传输层通信协议, 它具有差错控制、流量控制、较高的数据传输效率等优势, 将 TCP 滑动窗口技术应用于 RS485 通信协议必将极大的改善目前工业领域数据通信的现状。

关键词: TCP 滑动窗口; RS485 通信; 数据通信; TCP 协议

Application of Sliding Window Technology in Uploading Offline Transaction Records of Intelligent Instruments

Wang Bowen

(Chongqing Jicheng Automotive Electronics Co. Ltd, Chongqing 400039, China)

Abstract: RS485 communication protocol is widely used in the field of industrial data communication. It has many advantages, such as simple network structure, strong anti-interference ability and long transmission distance. However, there is no unified standard for the implementation of RS485 communication protocol in the transmission layer, which requires the definition of each industry manufacturer, and most manufacturers use the query response mode of single data packet, which leads to the low efficiency of channel utilization. When the data transmission is small, the waste of time cost is not outstanding. However, with the continuous development of the digital intelligent equipment and the increase of the amount of communication data, the RS485 protocol also shows some drawbacks in the practical application, such as low transmission efficiency and low channel utilization. TCP protocol is a connection oriented, reliable, byte stream based transport layer communication protocol. TCP sliding window technology is a mature and reliable transmission layer communication protocol. It has the advantages of error control, flow control, high efficiency of data transmission and so on. The application of TCP sliding window technology to the RS485 communication protocol will greatly improve the current data communication in the industrial.

Keywords: tcp sliding window; RS485 communication; data communication; TCP protocol

0 引言

工业领域中, 设备仪器仪表采用 RS485 通信协议进行通信时, 报文大致可以分为三类, 通信握手类、指令类和数据类。通信握手报文一般用于诊断设备是否在线, 获取设备当前的状态等。而指令类报文则包含读、写两种指令, 一般通过上位机发出, 让设备完成相应的动作。数据类报文则包括关键的数据信息, 如加气机的加气交易等等信息。数据类报文在以上三种报文中长度最长, 优先级最高, 传输中所占用的资源也最多。

1.1 加气机离线交易的存储及上传

加气机完整的离线交易信息包括交易流水号、IC 卡卡号、气品种类 (CNG/LNG)、加气枪号、加气时长、加气气量、单价、金额、折扣等信息。离线状态下, 加气机加完一笔气将会存储以下信息如表 1 所示, 交易信息是消费、记账、扣款的唯一依据, 所以必须保证所有记录在加气机恢复通讯后立即上传至后台。

当链路恢复之后, 主机 PC 会下发索取离线交易的命令, 如表 2 所示。

由于交易流水号必须保证唯一性, 所以这里引入了交易计数器的概念, 是为了合理的利用存储区资源并且进行离线交易的管理。

以基于 STM32 处理器的加气机主板为例, 用铁电保存交易计数器的值, 将 W25 的存储区按照交易数据的大小等量划分为 1 万个存储区, 每个存储区存储 1 组如上表 2 中的交易信息, 编号从 0~9999, 用 NextRecord/SendRecord 标

收稿日期: 2019-04-23; 修回日期: 2019-05-14。

基金项目: 重庆市社会事业与民生保障专项一般项目 (cstc2017shmsA0603)。

作者简介: 王博文(1982-), 男, 河南巩义人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事有害气体检测仪器仪表方向的研究。

表 1 加气机离线交易格式

名称	类型	长度	说明
交易流水号	HEX	4 字节	存储在加气机主板内部, 标识交易的唯一性。
IC 卡卡号	BCD	12 位	司机的消费卡卡号
气品种类	HEX	1 字节	1:CNG 2:LNG
加气枪号	HEX	1 字节	
加气时长	BCD	3 位	单位 MIN
加气气量	BCD	5 位	保留两位小数
单价	BCD	4 位	保留两位小数
金额	BCD	5 位	保留两位小数
折扣信息	BCD	2 位	代表小数点后两位例如 90 表示 9 折

表 2 PC 机获取加气机离线交易格式

枪号	命令(索取离线交易)	时间戳
----	------------	-----

识。NextRecord 的值表示下一条交易缓存区的编号, 而 SendRecord 的值表示未上传交易缓存区的位置。

未有交易产生时, NextRecord/SendRecord 初始化为 0。当第一条交易记录产生后, NextRecord 的值为 1, 当此条交易记录上传至加气机后, NoSdRecord 的值加 1 递增, 表示第 0 个缓存区的记录已经上传, 第 1 个缓冲区的记录还未上传。第二个交易产生后 NextRecord++, 上传 PC 成功后 NoSdRecord++, 以此类推, 待数值达到 10000 时归零, 以前的交易将被覆盖, 存储区循环利用。

这样当离线交易产生时, NextRecord 会持续累加, 而 NoSdRecord 会保持不变, 所以离线交易数目 N 可以用如下公式计算出来。

$$N = | \text{NextRecord} - \text{NoSdRecord} |$$

这里 $\text{NextRecord} + 1 \neq \text{NoSdRecord}$, 若相等表示缓存区已满, 必须停止加气交易, 待交易记录上传, 缓存区腾出空间后, 才能继续存储交易记录。

以一台加气机存储的最多离线交易记录条数 (2 万条) 为例, RS485 通信中常规的波特率是 9600 bps, 那么传输 2 万条离线交易的时间大约为 1 个小时。

以上是信道满负荷最优情况下理论计算出的数据传输时间, 最优是指单个设备与单个主机进行通讯, 设备持续发送, 主机持续接收, 无错误报文出现。

而实际设备与主机进行通信时, 为了保障数据的有效传输, 往往引入了应答机制。也就是主机每次正确接收设备传输来的数据后, 都要回复 ACK 应答包, 设备收到了主机传输来的 ACK 应答包后, 才开始下一个报文的发送。

按照上文所述加气机 2 万条交易记录为例, 传输所占的时长大约为 2 个小时, 信道的利用率 (不含 ACK 应答) 约为 50%。所以, 当批量传输数据的时候, RS485 的这种简单询问应答的传输机制会产生大量的时间成本, 严重影响系统的实时性和可靠性。然而, TCP 的滑动窗口技术能

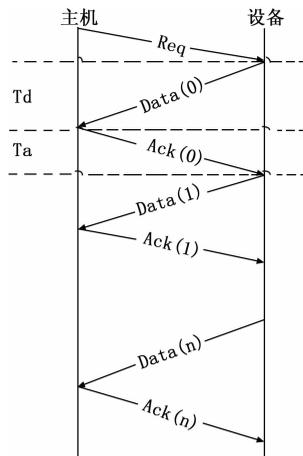


图 1 RS485 数据传输应答示例

有效的解决数据传输中的时间冗余, 提高信道的利用率。

2 TCP 滑动窗口技术

滑动窗口协议, 是 TCP 使用的一种流量控制方法。该协议允许发送方在停止并等待确认前可以连续发送多个分组。发送方不必每发一个分组就停下来等待确认^[1]。滑动窗口协议具有加速数据传输、纠错控制和流量控制功能。

2.1 滑动窗口原理分析

滑动窗口协议的基本原理就是在任意时刻, 发送方都维持了一个连续的允许发送的帧的序号, 称为发送窗口; 同时, 接收方也维持了一个连续的允许接收的帧的序号, 称为接收窗口^[2]。发送窗口和接收窗口的序号的上下界不一定要一样, 甚至大小也可以不同。不同的滑动窗口协议窗口大小一般不同。发送方窗口内的序列号代表了那些已经被发送, 但是还没有被确认的帧, 或者是那些可以被发送的帧^[6]。

TCP 是全双工协议, 发送方和接收方是对等的。对于 TCP 会话的发送方, 任何时候在其发送缓存内的数据都可以分为 4 类^[3]:

- (1) 已经发送并得到对方 ACK 的数据包;
- (2) 已经发送但还未收到对方 ACK 的数据包;
- (3) 未发送但对方允许发送的数据包;
- (4) 未发送且对方不允许发送的数据包。

已经发送但还未收到对方 ACK 的数据包和未发送但对方允许发送的数据包这两部分数据称之为发送窗口。

TCP 建立连接的初始, 接收方会告诉发送方自己接收窗口大小, 比如 10。

如图 3 所示, 滑动窗口包含已发送但未收到确认的字节和允许发送但尚未发送的字节^[4]。当上图中红色的区域数据都被接收到之后, 那么滑动窗口将会向右移动。窗口两个边沿的相对运动增加或减少窗口的大小从而让网络数据传输避免了拥堵。

数据的接收可以分为正序或者乱序, 正序是指接收方按发送方正常的发送序列接收到数据, 而乱序是指接收方

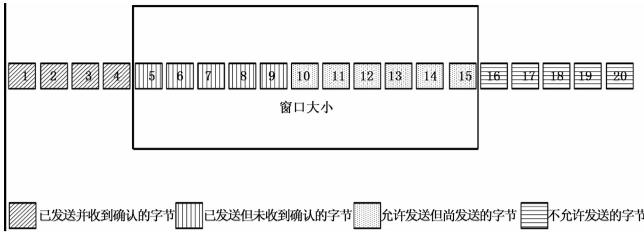


图 3 TCP 滑动窗口数据收到正序的数据

没有按照发送方正常的发送序列接收数据，也就是存在丢包^[5]。对于丢包的乱序数据，接收方暂时存储起来，避免网络重复传输。

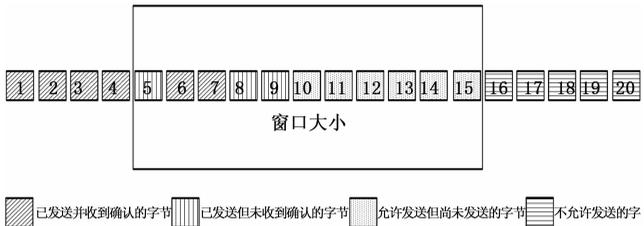


图 4 TCP 滑动窗口收到乱序的数据

如图 4 所示，字节（序号 6、7）比字节（序号 5）先收到接收方的确认，那么待字节 5 收到接收方的确认后，滑动窗口才会右移。

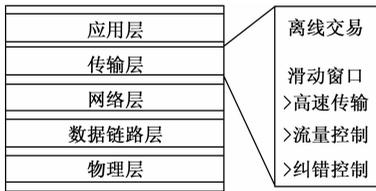


图 5 RS485 OSI 模型结构图

3 滑动窗口技术在 RS485 数据通信中的应用

RS485 协议的网络层和传输层是开放式的，没有统一的标准，需要根据实际的情况自定义。由于传输是 PC 和加气机点对点的通信，网络层和数据链路层比较简单。同时针对加气机离线交易数据量大，占用时间多的实际情况，将 TCP 滑动窗口的协议引入了 RS485 的传输层，主要是基于提高数据传输速率，保障数据传输可靠性的考虑。

在传统 RS485 通信协议中，物理层、数据链路层、网络层、传输层远没有 TCP 强大，因为没有强大的底层协议做支撑，RS485 一般在传输层实现简单的单次数据包发送的停等协议。

如上图 1 所示，PC 机索取加气机离线交易，加气机上传单条离线交易后随即进入等待 PC 机发回确认 ACK 包的状态。

对比 TCP 协议中的滑动窗口，RS485 发送方和接收方同时维护了一个发送缓存和接收缓存，窗口大小可以看作作为 1，代表 1 个数据包。由于发送方接收到第 N 个数据包的响应后，才开始第 N+1 个数据包的发送，那么接收方接收

到的数据包必定是正序的。为了提高数据的传输速率，减少停止等待的时间浪费，有必要提高窗口的大小。

3.1 RS485 采用滑动窗口模式传输离线交易

假设 RS485 应用层的数据传输协议采用 TCP 滑动窗口的方式，窗口的大小调整为 N，与 TCP 不同的是这里的 N 指的是 N 个数据包，而非字节数。

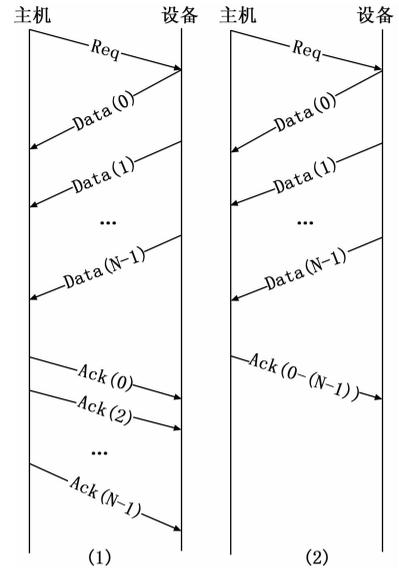


图 6 RS485 数据传输采用 TCP 滑动窗口模式

还以加气机离线交易数据上传为例，假设在通信效率很高的情况下，也就是主机发出的数据包，设备都能够有效响应，并且响应一次主机就能收到 ACK。

图 6 (1) 中是设备连续收到 N 包数据后，回复 N 个 ACK 的示例。由于 RS485 常用的是半双工的通信方式，所以图 6 (1) 中，主机在收到设备的离线交易数据之后，设备线程必须停止发送数据等待主机下发的 ACK 响应，这种模式与图 2 提到的发送应答模式在效率上并无多大区别。

实际的 ACK 应答包很短，有效数据很少，所以完全可以用一个 ACK 应答包来涵盖 Data (0) 至 Data (N-1) N 包数据的应答响应，如图 5 中 (2) 所示。这种模式下 ACK 响应的数量从 N 个减为 1 个，效率大大提高了^[8]。

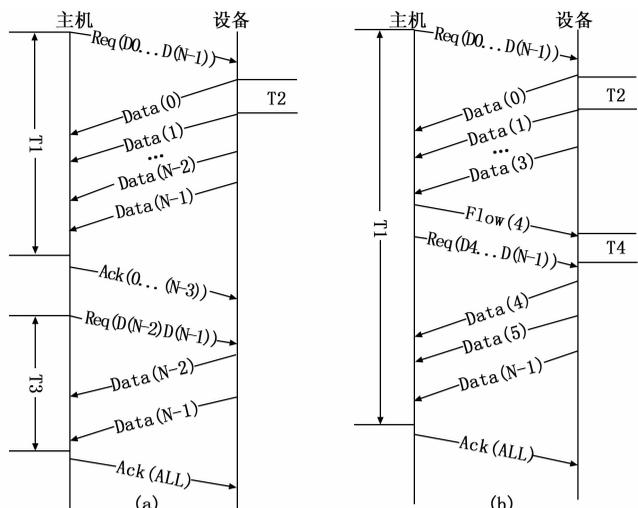
表 1 RS485 采用 TCP 滑动窗口模式 ACK 报文格式包头主机 ID 设备 ID ACK (0), ACK (1), ..., ACK (8) ACK (N-1) 包尾。

设备在发送 N 个数据包至主机后，立即启动定时器等待主机返回的 ACK，在定时器超时之前接收到 ACK 组合后便对 ACK 包进行解析。假设 N 个数据包的 ACK 全部收到，则滑动窗口右移，进行下一组数据包的发送。如果 N 个数据包中，有个别数据包没有收到，则发送相应的数据包，并启动定时器接收主机发送的下一个 ACK 组合。

3.2 RS485 采用滑动窗口纠错与流控机制

同时为了保证 RS485 数据传输的可靠性，引入流控、纠错的机制。

RS485 数据传输受环境因素（闪电、电磁干扰）等的



T_1 : 主机接收N个数据包等待超时时间
 T_2 : 设备上送数据的间隔时间
 T_3 : 主机接收2个数据包等待超时时间
 T_4 : 流控帧发出后设备的等待时间

图 7 RS485 数据传输采用的纠错和流控机

影响，传输过程中会出现错包、丢包现象，为了保障数据的完整性引入错误重传机制即纠错机制。如果窗口较大，同时有多个加气机上传离线交易，PC 机疲于应付的情况下，则有必要进行流量的控制。

图 7 (a) 为本文所阐述的 RS485 数据传输的纠错原理图，主机和设备同时维护一个数据包为 N 的窗口。

(1) 主机请求设备上送数据，发出 Req (Req 包含当前窗口序列号 Q ，窗口大小 N ，需要设备发送的数据包序列号 $0 \cdots N-1$ 等)，当 Req 发出后立即启动数据接收超时定时器，当定时器超时时触发数据包接收机制，接收机制用来统计接收到的有效数据包的个数^[7]。

(2) 主机接收机制判断当前的窗口 Q 未接收到完整的数据包，丢失了其中 $D(N-2)$ 、 $D(N-1)$ 两个数据包，立即启动重传机制再次发出 Req (此时的 Req 仅包含需要重传的数据包 $D(N-2)$ 、 $D(N-1)$)。

(3) 当主机收到当前窗口 Q 所有的数据包后，发出 Ack (ALL) 指令，表明当前的数据包全部被有效接收，此时当前的窗口传输完成。

PC 端和 DEVICE 同时维护一个值相同的 Receive_map 和 Send_map^[9]，PC 端不断查询 Receive_map 并把值发给 DEVICE 端，DEVICE 端查询接收到的 Receive_map (这里等于 Send_map)，并发送给 DEVICE 端^[10]。当所有 bitmap 里面代表的当前窗口的数据包发送完成后，当次数据传输完成。为了方便起见，本例的 bitmap 设置为 0xFFFFFFFF，每位代表一个数据包，共标志 32 个数据包的发送接收状态。此时的窗口大小也为 32。

图 7 (b) 为流量控制机制，当主机收到加气机发送的三个离线数据包后，出现了网络拥堵的紧急情况，主机立即发出 Flow (4) 流控包让对应的加气机停止上传离线交易数据，待网络恢复之后，重新发送请求报 Req 恢复离线交易的上传。

为了更好地阐述 RS485 应用滑动窗口的思想，用状态机表示以上的算法如图 8 所示。

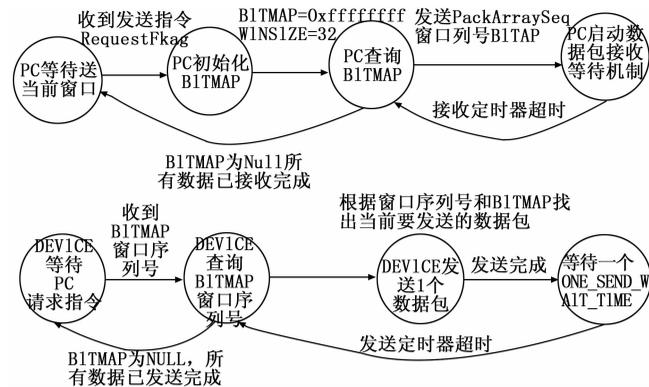


图 8 状态机表示 RS485 滑动窗口技术

这样传输 N 个数据包，只有 1 个 ACK 总应答包，在通信良好的情况下，信道的利用率大大提高了^[11]。主机接收从机发送数据等待的时间大大减少了。并且该机制引入了纠错以及流控机制，有效避免了差错引起的拥堵以及冗余时间成本的浪费^[12]。

3.3 RS485 采用滑动窗口上传离线交易效率分析

RS485 采用滑动窗口模式上传离线交易的协议与传统单数据包的停等协议相比，在效率上具有较大的优势，且滑动窗口越大效率愈发明显。

滑动窗口大小为 Wn ，数据包大小为 S (字节)，波特率为 $Boud$ (字节/秒)。如图 9 所示：

- T_1 : 主机发送数据包的等待时间
- T_2 : 数据包的传输时间
- T_3 : 数据包 ACK 的发送准备时间
- T_4 : 设备应答 ACK 的传输时间

按照图 9 (a) 传统停等协议下，发送 N 个数据包，所需要的时间为：

$$T_L = N * (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \quad (1)$$

其中： T_1 远小于 T_2 ，而 T_3 又远小于 T_4 。 T_2 和 T_4 按照实际传输的字节数计算时间。9 600 bps 波特率下，1 秒钟传输 1200 字节数据。

按照图 9 (b) 滑动窗口模式下，发送 N 个数据包所需要的时间为：

$$T_H = N * (T_1 + T_2) + T_3 + T_4 \quad (2)$$

其中： T_1 远小于 T_2 ，而 T_3 又远小于 T_4 ；随着窗口的增大，由于 T_4 包含了窗口所有数据包的 ACK，所以 T_4 将会远大于 T_2 。

RS485 信道优良的理想情况下 (传输无错包或者丢包)，滑动窗口模式与传统停等应答模式对比，节省的时间大约 $T = T_H - T_L$ ：

$$T = N * (T_3 + T_4) - (T_3 + T_4) \quad (3)$$

单片机一个 while (1) 大循环约为 12 ms，每次大循环都发送一次离线交易 (数据通过 DMA 传送) 且系统其他部件需要占用的时间至少为 10 ms，等待 ACK 占用的时间大

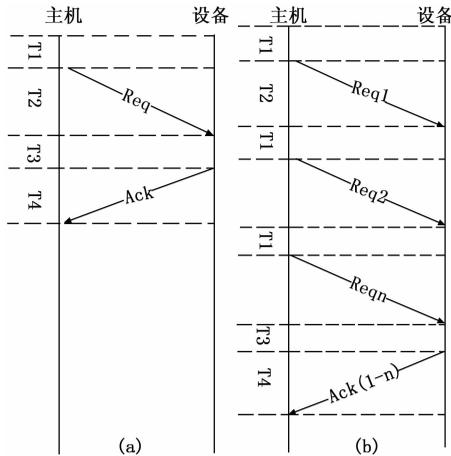


图 9 两种模式离线交易上传时间统计

约为 10 ms。那么 T_3 至少应该为 20 ms。

在滑动窗口模式下，无需等待 ACK 响应，系统可以以最快的速度发送数据包，省去了中间 ACK 的响应时间，最后一个 ACK 响应包包含了之前所有的数据包的响应。

由于波特率较低，RS485 的数据包一般不易过长，过长在传输中势必影响整个系统的可靠性，离线交易每条大约 120 字节，传输时间为 100 ms。传输数据包的个数 N 与节省的时间 T 函数曲线如图 10 所示。

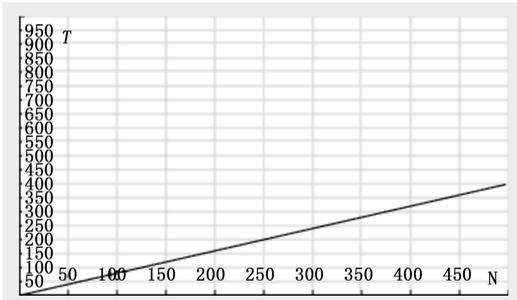


图 10 传输数据包个数 N 与节省时间 T 坐标图

如图 10 所示， $T \approx 0.8 N$ ，每发送一个数据包节省大概 8 ms 的时间（DMA 缓存开的足够大），可见数据包个数越多系统的效率就越高。

4 结束语

综上所述，可见工业设备数据通信领域，特别是 RS485 协议上层应用借鉴 TCP 滑动窗口协议可以极大地提

（上接第 211 页）

参考文献：

[1] 石章松, 刘 忠. 目标跟踪与数据融合理论及方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

[2] 张伯彦, 罗兴旺, 蔺宏江, 等. 多平台雷达点迹数据融合技术 [J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37 (7).

[3] 陈 霞. 复杂环境下多雷达点迹融合 [J]. 指挥控制与仿真, 2013 (6)

[4] 陈永光, 李修和, 沈 阳. 组网雷达作战能力分析 with 评估 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

高数据传输效率，有效的解决因通信速率低引起的数据堵塞，数据冗余，以及传输时间成本过高的问题。本文在 TCP 滑动窗口协议的基础上将纠错流控机制加入到 RS485 的传输协议当中，可以有效的提高数据传输的可靠性以及实时性。

参考文献：

[1] 束长宝, 于 照, 张继勇. 基于 TCP/IP 的网络通信及其应用 [J]. 微计算机信息, 2016, 30 (12): 12-15.

[2] 赵国锋, 邱作雨, 张 毅. 基于单片机的嵌入式 TCP/IP 协议栈的设计与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2009, 31 (3): 20-22.

[3] 赵甫哲. 高速 TCP/IP 网络拥塞控制算法研究 [J]. 华中科技大学学报, 2009, 32 (5): 37-39.

[4] 潘文婵, 章 韵. Wireshark 在 TCP/IP 网络协议教学中的应用 [J]. 计算机教育, 2017, 31 (3): 7-8.

[5] 刘 爽, 史国友, 张远强. 基于 TCP/IP 协议和多线程的通信软件的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2010, 30 (4): 50-52.

[6] 孟 蕾, 陈文艺, 宋焕生. 嵌入式 TCP/IP 实现的研究和分析 [J]. 微计算机信息, 2016, 30 (6): 31-33.

[7] 徐海军, 刘金刚, 王益华. 基于 ARM 核的嵌入式 TCP/IP 协议栈简化实现 [J]. 计算机应用研究, 2009, 30 (9): 21-23.

[8] 郭传雄, 郑少仁. 嵌入式 TCP/IP 实现的研究和分析 [J]. 计算机工程与设计, 2015, 31 (6): 17-19.

[9] 韦 安, 刘国平. 对 Linux 操作系统中 TCP/IP 网络协议的 IP 层排队分析 [J]. 西安邮电学院学报, 2013, 31 (3): 6-8.

[10] 王晓鹏. TCP/IP 下的 Socket 及 Winsock 通信机制 [J]. 航空计算技术, 2011, 30 (7): 16-19.

[11] 王海燕, 魏洪波. 嵌入式 WEB 中 TCP/IP 协议栈的设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2009, 31 (9): 41-42.

[12] 赵 亮, 张吉礼. 提高 RS485 总线通信可靠性的优化设计方法 [J]. 大连理工大学学报, 2015 (04).

[13] 朱 彬. 计量自动化终端无线通信测试技术的分析 [J]. 科技风, 2017 (23).

[14] 刘小斌, 徐立平, 路建强. 基于 Siemens 通信模块的 MODBUS RTU 免驱动通信 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2015 (04).

[15] 刘 勇. RS-485 总线在变电所数据采集和状态监测的应用 [J]. 中国水运 (下半月), 2015 (02).

[5] 陈志杰, 饶 彬, 李永祯, 等. 雷达组网数据融合系统仿真实现 [J]. 系统仿真学报, 2016 (1).

[6] 郭 明, 许录平. 集中式多雷达系统的数据融合 [J]. 雷达与对抗, 2003 (1).

[7] 王 乾. 组网雷达的集中式融合技术研究 [J]. 电子测试, 2016 (9).

[8] 李军侠, 杨 森, 王 力, 等. 多雷达典型条件下串行数据融合算法性能分析 [J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017 (9).