

面向超低功耗传感器的 Modbus 协议研究与实现^{*}

姜 飞¹, 童海明¹, 赵玉薇², 董刘同¹, 张 瀚³

(1. 杭州浅海科技有限责任公司, 浙江 杭州 310052; 2. 纳晶科技股份有限公司, 浙江 杭州 300450;
3. 航天长征火箭技术有限公司, 北京 100076)

摘要: 当前众多传感器、设备终端、仪器仪表需要具备超低功耗特性, 同时又需要连入 Modbus 工业现场总线, 而传统的 Modbus 通信机制无法适应低功耗模式, 导致超低功耗特性器件在工业应用中的局限性。为解决此问题, 提出了一种可用于 Modbus 总线协议的超低功耗信息处理机制。通过对传统 Modbus 协议和常用设备的低功耗处理机制分析, 重新搭建了 Modbus 协议信息处理机制, 在通信处理过程中对寄存器进行显式和隐式抽象, 将寄存器操作与仪器功能动作紧密联系起来, 提高任务执行效率和仪器整体的实时性。搭建 Modbus 主机到低功耗传感器的测试系统, 结果表明, 该 Modbus 协议处理机制可以在传感器保持超低功耗特性运行的同时, 实现与主机稳定可靠的通信。

关键词: Modbus; 超低功耗; 传感器; 总线通信

中图分类号: TN915 文献标识码: A DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.08.013

引用格式: 姜飞, 童海明, 赵玉薇, 等. 面向超低功耗传感器的 Modbus 协议研究与实现[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(8): 67-71.

Research and implementation of Modbus protocol for ultra-low power sensor

Jiang Fei¹, Tong Haiming¹, Zhao Yuwei², Dong Liutong¹, Zhang Han³

(1. Hangzhou Shallow-Sea Technology Co., Ltd., Hangzhou 310052, China;

2. Nanjing Technology Co., Ltd., Hangzhou 300450, China;

3. Aerospace Long March Launch Vehicle Technology Co., Ltd., Beijing 100076, China)

Abstract: Many sensors, terminal equipment and instruments need ultra-low power characteristics and the ability to be connected to the Modbus industrial bus. However, the traditional Modbus communication mechanism is unable to adapt with the low-power mode, resulting in limitation and applicability of ultra-low-power feature devices in industrial field. To solve this problem, a new Modbus protocol processing method was proposed. Through the analysis of the traditional Modbus protocol and the low-power processing mechanism of commonly used device, the information processing mechanism of Modbus protocol was reestablished and modified. Registers were abstracted explicitly and implicitly and were to be linked tightly with the functions and actions of instrument in the communication process, which improved the execution efficiency and the real-time performance of entire device. Test system was built with Modbus host and ultra-low power sensor, and the result shows that the proposed Modbus protocol processing mechanism is able to achieve communication with the host reliably and steadily while maintaining the ultra-low power mode of the sensor.

Key words: Modbus; ultra-low power; sensor; bus communication

0 引言

随着物联网技术的高速发展, 众多种类的传感器、仪器设备在工业、民用领域被广泛应用。与此

同时, 为降低传感器使用过程中的运营、维护成本, 特别是应对特殊地理条件下能源供应匮乏的现状, 具有超低功耗特性的传感器应用需求强烈^[1-2], 超低功耗特性已成为传感器未来发展趋势。

Modbus 协议由于在通信过程中具有带宽节省、

* 基金项目: 国家重点研发计划—重大科学仪器设备开发重点专项
(2018YFF01014100)

安全性和可靠性等方面显著优势,成为传感器在工业控制和自动化应用中常被采用的通信协议^[3]。然而,传统的Modbus协议信息处理方式不适用于超低功耗应用环境,在一定程度上限制了Modbus协议的应用范围。最近一段时间,虽然在此方面出现了一些研究成果,不过更多的是针对硬件设计方面的考虑^[4]。本文通过对Modbus协议和超低功耗设备设计理念进行分析和改进,重新规划寄存器数据实时响应机制,建立分层式的Modbus通信模型,可以实现超低功耗特性传感器与Modbus通信协议的兼容。

1 传统Modbus协议及机理分析

1.1 Modbus拓扑结构

Modbus是一种总线结构,如图1所示。通信线路由一台主机扩充到多台设备,是一种单主站的主/从通信模式。通信过程由主机发起,从机被动接受指令并做出响应,执行相关动作或者返回数据^[5]。

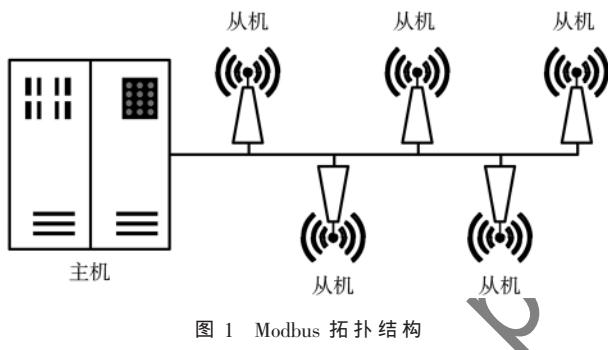


图1 Modbus拓扑结构

1.2 Modbus通信方式

Modbus协议将设备中的各种数据、状态、控制端口等所有的功能,全部抽象成4种数据类型概念,分别是离散输入、线圈、数据寄存器、保持寄存器,表1展示了它们的常用功能。通过对这些数据类型的读写,实现了设备的各种功能。

表1 Modbus数据类型

数据名称	类型	读写性	常用意义
线圈状态	位	读写	开关、使能禁止功能
离散输入状态	位	只读	工作状态、功能指示
保持寄存器	字	读写	输入系数、运行参数
输入寄存器	字	只读	传感器数值、时间

1.3 Modbus工作机制分析

传统的Modbus处理机制比较简单,线圈和寄存器都是显式存在,即寄存器真实地排布在存储空间

的某个位置。Modbus通信接口和设备内部运行程序,都独立地面向寄存器(或线圈)操作。

对于读取过程,内部寄存器通过自身独立的一套逻辑进行工作,并在特定的时间更新这些寄存器^[6]。例如设备具有测量温度的功能,那么内部的温度测量模块会以一定的周期不断重复工作,并更新温度寄存器,过程展示如图2所示。当设备收到Modbus主机读取温度寄存器指令时,会将当前寄存器中的内容打包发送出去,而不考虑该数据的时效性。

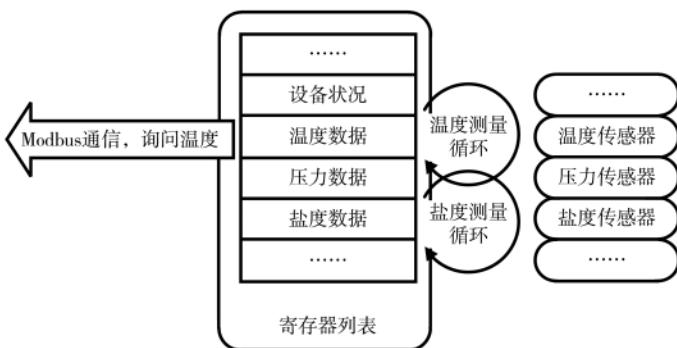


图2 传统寄存器读取与任务执行过程

对于写入操作过程,主机通过Modbus协议对相应的寄存器进行修改就可以实现对设备的控制^[7],例如向一个指示灯寄存器写入一个特定数值表示打开设备指示灯。通信过程仅仅代表该寄存器被成功写入,指示灯并不会立即打开,设备内部会有一个以一定周期不断扫描寄存器的进程,当这个进程读取到寄存器时,灯才会打开,这会造成通信过程和动作执行之间有一定时差。过程展示如图3所示。

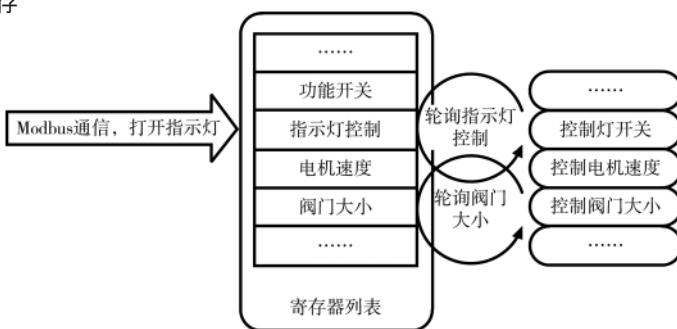


图3 传统寄存器写入与任务执行过程

由此可见,传统的Modbus是一个简单的分层结构,层级功能操作相互独立,层与层之间通过一个真实存在的寄存器(或者线圈)间接联系起来。其优

点是设计思路清晰,独立性好,可靠性强^[8]。但是缺点也是显而易见的。首先,通信指令与获取数据、执行动作之间的实时性问题将造成响应周期的存在,更为重要的是,因为数据更新和动作执行是一个不断重复的过程,这种设计无法实现低功耗特征。

2 超低功耗 Modbus 设计

在分析传统 Modbus 协议及通信机理基础上,对常用设备的低功耗处理机制进行分析研究,明确了处理机制存在的缺点,对数据更新和动作响应机制做出设计改进,以实现 Modbus 设备的低功耗特性。

2.1 低功耗设备的工作机理

一个设备的功耗特性受限于多种因素,包括:工作原理、机械结构、运行状态、电源设计、芯片选择等,但在嵌入式软件系统对设备控制的层面上讲,有一条重要原则,即减少无意义的能源消耗^[9]。当某个功能不被使用时,与其相关的模块应被关闭,包括:硬件断电、软件功能停止以及宏观连续但微观间歇性工作等状态。由于电子器件速度非常快,可以微观上实施间歇性的工作^[10-11],例如一些慢速通信接口。

2.2 读取过程改进设计

一个低功耗设备,如温度传感器,在主机未索要温度数据的时候,温度传感器部分不应自主工作(且此时工作产生的数据也无任何意义)。当主机索要温度数据的时候,才会开启温度传感器模块,并立即工作一次,得到最新的温度数据,然后立即关闭温度传感器模块,最后设备将数据结果按照 Modbus 协议格式反馈给主机。可以看出,此读取过程改进设计,能够实现传感器动作与通信过程的紧密联系与同步操作,中间的寄存器已经变成隐式。即主机发起通信,寄存器中的数据尚未准备好(或者这个寄存器尚不存在),对这个寄存器的读取要求将演变成一个温度测量需求,并导致后面一系列的测量动作。当温度测量完成后,寄存器才显现出来。信息处理与动作过程见图 4。但从主机角度来看,从机仍然严格遵循着 Modbus 协议。同时,由于传感器数据是最新生成的,这种过程比传统方式带来了更高的实时性。

2.3 写入过程改进设计

对寄存器的写入行为,表现在仪器设备上,一般

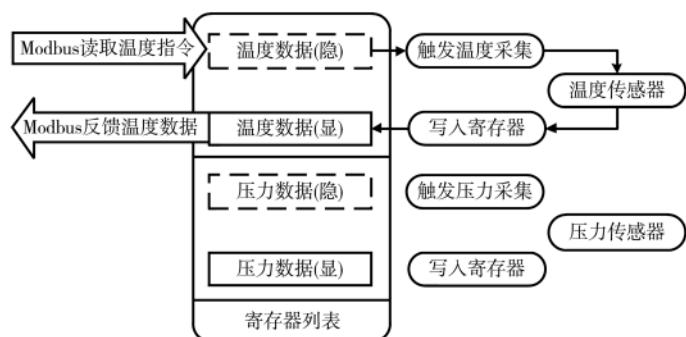


图 4 改进后寄存器读取与任务触发过程

是参数设定、功能的打开或者关闭等控制动作。以设备上受控的信号指示灯为例,当主机未对设备的信号进行设定时,设备不应频繁查看该寄存器内容,只有在主机对该寄存器发生写入动作时,设备再去检查该寄存器内容,从而控制信号灯变化。可以看出,此写入过程改进设计,能够实现设备指示灯变化与通信紧密联系,中间的寄存器变为隐式,即当这个过程完成后,寄存器的作用又会消失。数据写入与触发动作过程见图 5。从主机角度来看,从机仍然严格遵循着 Modbus 协议。同时,由于从机对寄存器改变进行了立即响应,这种过程比传统的控制方式带来了更高的实时性。

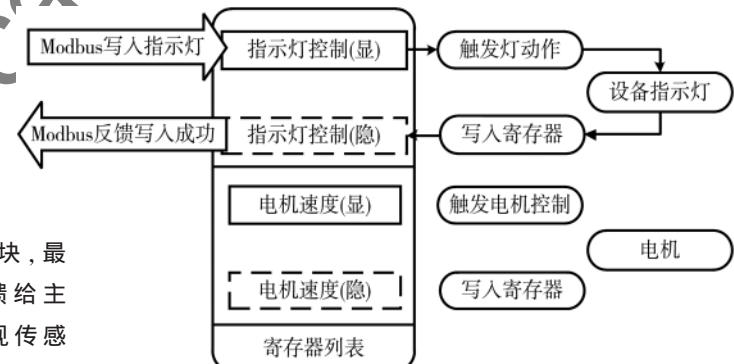


图 5 改进后寄存器写入与任务触发过程

2.4 协议运行框架改进

Modbus 标准通信过程并没有限定对寄存器操作的数量和范围,也就是说,主机可以使用一条指令对多个连续的寄存器进行读取或写入操作,可能涉及多个功能和参数的访问或改变。在传统的工作机理中,由于寄存器是真实存在的,并且与设备实际动作分离,多寄存器的操作不存在任何问题。但是,在低功耗特性设备的工作模式下,为了应对多寄存器的批量操作,在寄存器和设备实际动作执行

之间需要独立出一层,用于负责对寄存器操作进行监视,分辨对寄存器读取或写入,明确指令波及的寄存器范围,以及影响到的功能模块区间,并根据影响的区间,将这些读写操作转换为一个或多个相关功能模块的动作,而后将这些动作结构整合起来,表现在寄存器层面上,最后再统一转换为 Modbus 协议格式,对主机进行反馈。图 6 展示了多寄存器操作与多动作触发的处理机制。

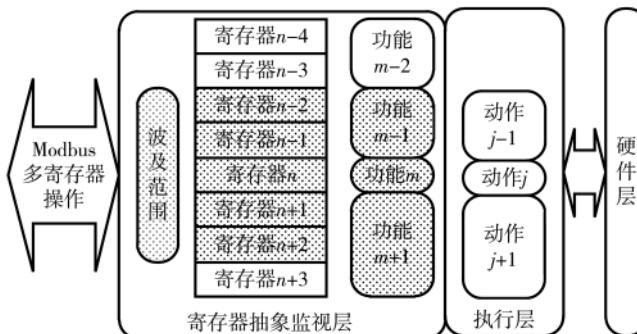


图 6 多寄存器、多动作触发运行框架

3 低功耗 Modbus 通信测试

搭建测试系统,结构如图 7 所示。系统的传感器是应用于物理海洋观测的高精度 CTD 传感器(测量温度、盐度、深度)。其实际工作环境位于 1 000 m 深度的海洋中,通过科考船部署在制定区域,依赖自身的电池或者上位机(浮标系统)有限的电源工作^[12],安装和维护成本非常高,因此必须具备超低功耗特性。整个系统的各个传感器与浮标系统主机之间均使用 Modbus 协议进行通信。

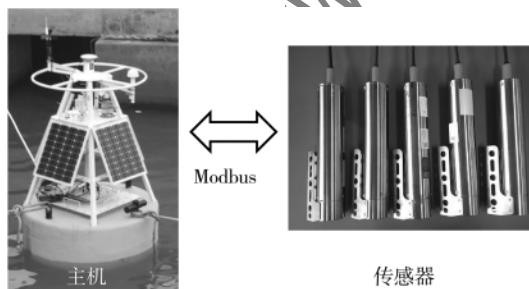


图 7 低功耗 Modbus 通信测试系统

测试系统中使用 RS485 作为 Modbus 的通信物理层,使用海洋物性参数监测浮标的的数据采集系统,开启标准 Modbus 通信接口作为主站发送控制指令至 CTD 传感器,波特率为 9 600 b/s。经过 RS485 电平转化芯片后,进入单片机的 UART 接口。CTD 传

感器内部采用 STM32L462 超低功耗单片机作为主控芯片,平时整个系统处于低功耗休眠模式,运行时钟关闭,串口模块功能处于打开状态,能够随时监听指令。

系统测试包含了传感器在休眠状态下的功耗、休眠唤醒功能、Modbus 指令处理功能、数据反馈功能、丢包率、响应速度、指令执行完后的功耗状态^[13]。关键测试数据见表 2,单次通信的电流消耗动态过程见图 8。可以看出,在传感器中运行的低功耗模式 Modbus 协议,实现了数据的准确、有效通信,同时相对于传统协议,能够保持传感器长时间处于超低功耗状态。

表 2 通信过程测试数据

测试内容	数据 长度/B	10 000 包	待机电流/μA	
		丢包率/%	传统协议	低功耗协议
读取温度	4	0.0	118.3	7.9
读取压力	4	0.0	120.4	7.6
读取盐度	8	0.0	122.0	8.1
设置时间	6	0.0	119.8	7.9
设置系数	52	0.0	121.3	8.2
开启存储	1	0.0	119.5	7.8

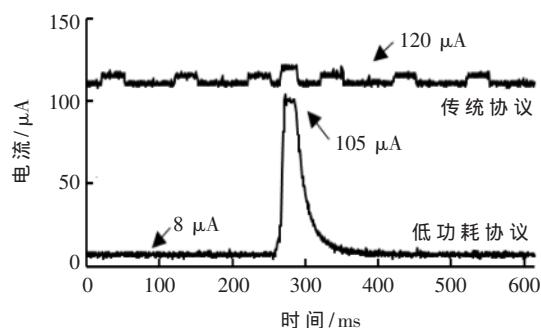


图 8 单次 Modbus 通信过程电流消耗

4 结束语

本文针对具有超低功耗特性需求的 Modbus 设备,设计了新的信息处理过程和动作触发机制,抽象了传统的寄存器概念,使得设备在兼容传统的 Modbus 协议基础上,能够适应超低功耗休眠状态,最大程度上降低系统整体功耗。实验测试表明,应用该设计思想的嵌入式系统,能够正确响应主站指令,丢包率极低,响应速度快,可靠性高,设备在线时的功耗电流低于 10 μA。此外,该设计思想基于分层结构,可以面向多种设备的多种用途,具备可扩展性和可复制性,可以很好地应用在科学观测、工

业测量、物联网等对功耗要求高的多种场合。

参考文献

- [1] 吴立新,陈朝辉.物理海洋观测研究的进展与挑战[J].地球科学进展,2013,28(5):542-551.
- [2] SÁNCHEZ A ,BLANC S ,YUSTE P ,et al.An ultra-low power and flexible acoustic modem design to develop energy-efficient underwater sensor networks[J].Sensors,2012,12(6):6837-6856.
- [3] 华镕.从 Modbus 到透明就绪:施耐德电气工业网络的协议、设计、安装和应用[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [4] 郑建广,李宝营,李仁庆.超低功耗水质 pH 检测仪设计[J].仪表技术与传感器,2017(3):118-120.
- [5] 祝木田,师勇.ModBUS 协议通讯的应用[J].微计算机信息,2004,20(6):9-11.
- [6] Modbus Association.Modbus application specification V1.1b3[Z].2012.
- [7] 彭道刚,张浩,李辉,等.基于 Modbus 协议的 ARM 嵌入式监测平台设计与实现[J].电力自动化设备,2009,29(1):115-119.
- [8] 王佩.面向物联网的 Modbus 协议栈设计与应用[D].成都:成都理工大学,2018.
- [9] 伍卫国,钱德沛.电子系统设计的低功耗技术[J].
- [10] WANG A , CALHOUN B H , CHANDRAKASAN A P . Sub-threshold design for ultra low-power systems[M]. USA : Springer , 2006.
- [11] OSTA M , IBRAHIM A , SEMINARA L , et al.Low power approximate multipliers for energy efficient data processing[J].Journal of Low Power Electronics , 2018 , 14(1):110-117.
- [12] 张兆英.高精度 CTD 剖面仪研制中的问题和对策——SZC15CTD 系统[J].海洋技术学报,2001,20(1):130-139.
- [13] 杨宇慧.Modbus 协议测试规范国家标准草案的制定及测试系统的开发[D].北京:北京交通大学,2008.

(收稿日期:2020-04-03)

作者简介:

- 姜飞(1984-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:物理海洋观测、传感器系统。
童海明(1980-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:气象、海洋观测设备。
赵玉薇(1945-),女,硕士,工程师,主要研究方向:通信、系统测试。

电子技术应用“射频微波主题宣传季”帷幕正式拉开

为了全面系统地介绍微波射频领域的最新研究成果,展示射频微波领域的最新技术与产品,促进射频微波领域产学研用各界的交流,《电子技术应用》杂志、《信息技术与网络安全》杂志、ChinaAET 网站拟于 2020 年 7 月~9 月共同举办“射频微波主题宣传季”活动。

作为国内射频微波领域重要的媒体平台,《电子技术应用》杂志及网站聚集了一大批优秀的射频与微波技术工程师及研发人员,影响力贯穿整个射频微波产业链。本次活动,旨在搭建射频微波电路、模块与通信系统的企业及科研院所的研究人员探讨新技术的交流平台。

活动期间,围绕“5G 通信”、“低小慢飞行器设计与防御”、“高精度室内定位”等射频与微波领域的热点方向,主办方将推出形式多样、内容丰富的系列活动,全面介绍射频微波领域的学术研究成果、最新技术及产业动向、新产品及应用。活动内容包括期刊“射频与微波”特约技术专栏、ChinaAET.com 网站“射频微波”专题、“RFMW 论坛”系列线上直播等,并将于 8 月在成都举办“2020 中国西部射频微波技术研讨会”。

活动主站:<http://ec.chinaaet.com/show/rf2020/>,期待射频微波领域的从业人员大力关注与参与!

活动联系人:王伟(电话 010-62311179;Email: wangw@chinaaet.com)。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所