

# 基于 Modbus 协议的声学多普勒流速剖面仪软件实现

刘征宇<sup>1</sup>, 陈允锋<sup>1</sup>, 陈梦英<sup>2</sup>

(1. 海军驻上海地区水声导航军事代表室, 上海 201108; 2. 中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

**摘要:** 为了配合各地水情中心或预警预报系统的建设, 研制了一款多普勒测流剖面仪, 它具有真实反映流场, 并且一次可以测量一个剖面上的若干层水流速度等优点。首先对这款多普勒测流剖面仪的系统功能进行了描述, 结合 Modbus 协议特点, 给出了本系统的读写数据的 Modbus 通信实例; 在 TI 的 OMAPL137 硬件和嵌入式 Linux 操作系统的基础上, 给出了实现 Modbus RTU 协议从站的设计方案; 通过将从站采集到的水流速度传输至主站实时显示验证了该方案。实验证明该方案有效地实现了多普勒流速剖面仪在水利系统的现场数据传输。

**关键词:** 多普勒流速剖面仪; Modbus 协议; RTU 传输模式; 嵌入式 Linux

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-03-0260-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2015.03.014

## Implementation of acoustic Doppler profilers based on Modbus protocol

LIU Zheng-yu<sup>1</sup>, CHEN Yun-feng<sup>1</sup>, CHEN Meng-ying<sup>2</sup>

(1. Military Representatives Office of Underwater Sound & Navigation System in Shanghai Area, Shanghai 201108, China;  
2. Shanghai Acoustic Laboratory, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200032, China)

**Abstract:** In order to fit the construction of hydrologic information center or the early warning and forecasting system, an acoustic Doppler current profiler is developed, it can truly reflect the flow field, and get a current profilers through once measurement. In this paper firstly the system function of Doppler current profiler is described; and then secondly, combining the characteristic of Modbus protocol, an example of sending and receiving data is presented. Based on the OMAPL137 hardware and the embedded Linux operating system, a scheme of implementing of Modbus RTU protocol is realized. The scheme is verified by communication experiments. The experimental results show that this method can effectively carry out data transmission for acoustic Doppler current Profiler in data transmission of hydraulic system.

**Key words:** Acoustic Doppler Current profilers; Modbus protocol; RTU transmission mode; Embedded Linux

## 0 引言

声学多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP), 是 20 世纪 80 年代初发展起来的一种新型测流设备。它根据多普勒原理, 应用矢量合成法, 遥测流速的垂直剖面分布, 对流场不产生任何扰动, 不存在机械惯性和机械磨损, 可以真实反映流场, 并且一次可以测量一个剖面上若干层水流速度的三维分量和绝对方向。由于 ADCP 具有诸多优点, 所以它的出现立即引起了海洋界的高度重视。近年来 ADCP 测流技术发展很快, 产品具有多种频率, 多种规格, 多种测量方式<sup>[1]</sup>。本文介

绍的一款 ADCP 测流及遥测系统, 可以配合水情中心或预警预报系统的建设, 使得流速、流量的实时监测数据的超远程传输成为可能, 便于有关部门更为及时、多层面地了解水文情势并作出数据的及时处理和分析。

随着现代工业的发展, 如今的工业控制已从单机控制走向集散控制、集中控制、集中监控和网络集约管理的时代, 而工业控制器联网也为网络管理提供了方便。Modbus 协议是一种通用通信协议。通过该协议, 控制器相互之间、控制器经由网络和其它设备之间可以实现数据通信。有了它, 控制设备可以连成工业网络, 进行集中监控, 成为现代网络式集中制造、管理的主流趋势<sup>[2]</sup>。因此, 研究基于 Modbus 协议的 ADCP 系统十分有必要。

结合现代水声设备小型化的要求, 该设备的处理器采用 TI 公司的新款双核 OMAPL137 芯片<sup>[3]</sup>。设备是遵循 Modbus 协议的从机, 与远程终端控制

收稿日期: 2015-03-01; 修回日期: 2015-06-03

作者简介: 刘征宇(1981—), 男, 安徽铜陵人, 工程师, 研究方向为数字信号处理。

通讯作者: 陈梦英, E-mail: chen03051302@126.com

系统(Remote Terminal Unit, RTU)进行串口通信。物理层采用了 RS485 串口通信标准。本文将首先介绍 ADCP 要实现的整体功能,再介绍如何通过 Modbus 协议与 RTU 主机进行通信,最后给出了从机设计实现流程图。

### 1 ADCP 系统功能

本文研制的这款 ADCP 最大的特点是可以独立工作,无人看守,并通过 Modbus 协议的方式进行远距离控制和传输数据。ADCP 的系统结构如图 1 所示。它的核心处理器是一款具有 ARM 和 DSP 双核的 OMAPL137 芯片。其中 DSP 核负责 AD 采集、信号处理,将流速计算结果传给 ARM 核。而 ARM 核中安装了嵌入式 Linux 操作系统,是整个设备的核心,它负责控制 DSP 运算,接收计算结果,数据保存以及与远程监控主机进行 Modbus 通信等。

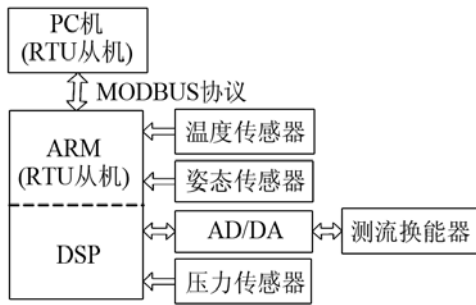


图 1 系统框图  
Fig.1 ADCP system chart

RTU 主机通过 Modbus 协议控制 ADCP,实现工作状态切换、参数设置以及数据传输。该系统的工作状态包括自动测量、单次测量、自检、预布设和待机。测量参数设置包括盲区大小、测量单元大小和个数以及测流范围等;测量数据需要保存、传输与管理;另外,还可以设置系统时间。数据传输是指远程监控主机通过发送读取命令选择读取的层数和流速结果的形式,ADCP 将流速数据结果上传。具体功能框图如图 2 所示。

### 2 ADCP 中 Modbus 通信协议设计

本节首先介绍 Modbus 通信协议的特点,结合协议的特殊性和 ADCP 的具体功能,设计了本设备的 Modbus 通信协议,并给出了读取流速结果和同步系统时间的两个通信实例。

#### 2.1 Modbus 通信协议特点

Modbus 协议有 ASCII 和 RTU 两种。RTU 方

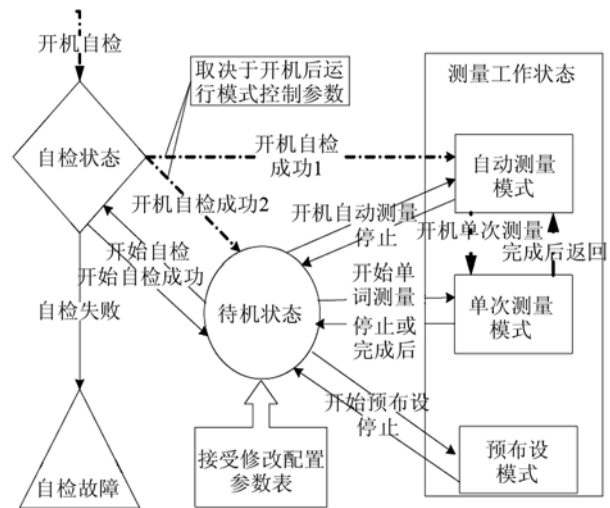


图 2 ADCP 功能图  
Fig.2 ADCP function chart

式在同样的波特率下可比 ASCII 方式传送更多的数据,本文采用 Modbus RTU 传输方式<sup>[4]</sup>。

RTU 模式下消息发送至少要以 3.5 个字符时间的停顿间隔开始。传输的第一个域是设备地址。可以使用的传输字符是十六进制的 0...9, A...F。网络设备不断侦测网络总线,包括停顿间隔时间内。当第一个域(地址域)接收到消息时,每个设备都进行解码以判断消息是否是发往自己的。在最后一个传输字符之后,一个至少 3.5 个字符时间的停顿标定了消息的结束。一个新的消息可在此停顿后开始。

#### 2.2 ADCP 的通信协议设计

表 1 给出了 Modbus RTU 帧格式。其中起始位和结束符代表与前后帧的间隔不小于 3.5 个字符;CRC(Cyclic Redundancy Check, 循环冗余校验)是校验码。

表 1 RTU 帧格式  
Table 1 RTU frame format

起始位	设备地址	功能代码	数据	CRC 校验	结束符
T1-T2-T3-T4	8bit	8bit	n 个 8bit	16bit	T1-T2-T3-T4

表 1 中设备地址是通讯传送的第一个字节。这个字节表示由用户设定地址码的从机将接收由主机发送来的消息。每个从机都有唯一的地址码,并且响应均以各自的地址码开始。即主机发送的地址码表明将发送到的从机地址,而从机发送的地址码表明回送的从机地址。

功能码是通讯传送的第二个字节。本设备使用了其中的两个功能码:读取码 03H 和写命令码 10H。作为主机请求发送,通过功能码告诉从机执行什么动作。作为从机响应,从机发送的功能码与从主机

发送来的功能码一样, 并表明从机已响应主机进行操作。

数据域是可变长的字段, 具体格式和功能码密切相关。表 2 给出了 ADCP 的部分 RTU 帧格式中数据域的定义。其中各寄存器首址是参数命令的起始地址, 寄存器个数表示该参数所占字节数, 即字节数等于寄存器个数乘以 2。

表 2 ADCP 关于 RTU 帧格式的数据域定义  
Table 2 The data region definition of ADCP's RTU frame

参数命令名称	寄存器首址	寄存器个数	含义
时间	0x0000	3	可读取和写入系统时间
模式切换	0x3000	1	测量、预布设、自检和待机模式之间切换
测流平均次数	0x0010	1	系统工作参数
盲区距离	0x0012	2	系统工作参数
分层单元大小	0x0014	1	系统工作参数
分层单元数	0x0015	1	系统工作参数
流速计算结果	0x2049	1*2*128	系统数据结果

### 2.3 读取 ADCP 流速结果实例

多个寄存器数据读取使用 03H(读取保持寄存器)功能码。数据读取时可以单独读取某一参数, 也可以读多个连续地址的参数。可以通过 0x03 命令读取设备参数、测量数据等值。具体格式定义如下:

主机发送帧:[仪表地址][功能码 03][寄存器起始地址高字节][寄存器起始地址低字节][读取的寄存器数高字节][读取的寄存器数低字节][CRC 高字节][CRC 低字节]。

从机接收数据帧后进行分析判断, 如数据有效则向主机发送相应帧, 如无效则返回错误回应帧。

从机响应帧:[仪表地址][功能码 03][返回的字节个数][数据 1][数据 2]...[数据 n][CRC 高字节][CRC 低字节]。其中, 返回的字节个数是读取的寄存器数的 2 倍。

错误回应帧:[设备地址][功能码+0x80][错误码][CRC 高字节][CRC 低字节]。错误码: 0x01 表示无效功能, 0x02 表示无效寄存器地址, 0x03 表示无效的数据。

下面给出读取第一层流速数据的实例。RTU 主机发送帧格式如表 3 所示, 数据域中包括寄存器首址和寄存器个数, 分别代表要读取的第一层流速存储地址和寄存器个数。ADCP 响应帧格式如表 4 所

表 3 主机发送帧格式(功能码 03H)  
Table 3 Master send data format(Function code 03H)

发送帧	字节数	实例	含义
从机地址	1	01	ADCP 地址
功能码	1	03	读多个寄存器数据
寄存器首址	2	20 49	第一层流速的存储地址
寄存器数	2	00 02	读的寄存器个数为 2
CRC	2	1E AD	前 6 个字节的 CRC 校验码

表 4 ADCP 响应帧格式(功能码 03H)  
Table 4 ADCP reply data format(Function code 03H)

响应帧	字节数	实例	含义
从机地址	1	01	ADCP 地址
功能码	1	03	读多个寄存器数据
数据字节数	1	04	返回字节数
数据 1	2	01 A5	X 方向流速, 大小为 0.421 m/s
数据 2	2	00 23	Y 方向流速, 大小为 0.035 m/s
CRC	2	AA 75	前 7 个字节的 CRC 校验码

示, 数据域中数据字节数表示返回数据大小, 数据 1 表示第一层 X 方向流速, 数据 2 表示第一层 Y 方向流速。

### 2.4 同步 ADCP 系统时间实例

使用 10H 命令, 每次允许写一个或多个寄存器的值, 设置多个寄存器时, 设置的寄存器地址必须是连续的。可以通过 10H 命令设置设备参数, 同步时间等。具体格式定义如下:

主机发送帧:[仪表地址][功能码 10][寄存器起始地址高字节][寄存器起始地址低字节][需写的寄存器数高字节][需写的寄存器数低字节][要写的数据总的字节数][数据 1][数据 2]...[数据 n][CRC 高字节][CRC 低字节]。

从机接收数据帧后进行分析判断, 如数据有效向主机发送相应帧, 如无效则返回错误回应帧。

从机响应帧:[仪表地址][功能码 10][寄存器起始地址高字节][寄存器起始地址低字节][寄存器数高字节][寄存器数低字节][CRC 高字节][CRC 低字节]。

错误回应帧:[仪表地址][功能码+0x80][错误码][CRC 高字节][CRC 低字节]。错误码: 0x01 表示无效功能, 0x02 表示无效寄存器地址, 0x03 表示无效的数据。

下面给出 RTU 主机对 ADCP 设备进行时间同步的实例。主机发送帧如表 5 所示, 数据域给出了需要写入的时间, 13 年 10 月 16 日 13 时 17 分 19 秒, 当 ADCP 收到该帧, 将立即修改系统时间, 并回复响应帧如表 6 所示。

表 5 主机发送帧格式(功能码 10H)

Table 5 Master-sent data format(Function code 10H)

发送帧	字节数	实例	含义
从机地址	1	01	ADCP 地址
功能码	1	10	写多个寄存器数据
寄存器首址	2	00 00	时间的存储地址
寄存器数	2	00 03	写的寄存器个数为 3
写数据总字节数	1	06	写的数据总字节数为 6
数据 1	2	0D 0A	0D(13)表示年; 0A(10)表示月
数据 2	2	10 0D	10(16)表示日; 0D(13)表示时
数据 3	2	17 19	17(23)表示分; 19(25)表示秒
CRC	2	24 A5	前 13 个字节的 CRC 校验码

表 6 从机响应帧格式(功能码 10H)

Table 6 Slave-replied data format(Function code 10H)

响应帧	字节数	实例	含义
从机地址	1	01	ADCP 地址
功能码	1	10	写多个寄存器数据
寄存器首址	2	00 00	时间的存储地址
寄存器数	2	00 03	写的寄存器个数为 3
CRC	2	80 08	前 6 个字节的 CRC 校验码

### 3 ADCP 中 Modbus 通信软件的实现

ADCP 作为整个水情预报系统的一个观测节点，是 Modbus RTU 从机，主要实现消息帧的接收和存储，并根据接收到的消息帧执行相应的行为，将响应帧反馈给主设备<sup>[5]</sup>。下面对本设备接收帧的超时检测和接收帧处理流程分别进行阐述。

#### 3.1 Modbus 帧的超时检测

ADCP 通过超时检测的方法来判断每个帧的开始和结束。当串口接收到第一个字节时，精确的 Linux 系统计时器开始计时，若在 3.5 个字符时间内还没有新的字节到达，则认为接收到一个 Modbus 协议 RTU 模式的消息帧，于是调用接收帧处理程序工作。其中 3.5 个字符所需时间与串口波特率有关。当波特率为 9600 时，对应时间为  $3.5 \times 11 / 9600 = 4 \text{ ms}$ 。超时检测软件流程图如图 3 所示。

#### 3.2 Modbus RTU 从机接收帧处理流程

当 ADCP 通过超时检测程序检测出一帧信号后，进入接收帧处理流程，流程图如图 4 所示。Modbus RTU 从机对收到的数据进行分析，如果地址位是本机地址的话，证明此次接收的数据是发送给本机的符合 Modbus 协议 RTU 模式的数据，则对接收的数据进行 CRC 校验。如果数据能够通过

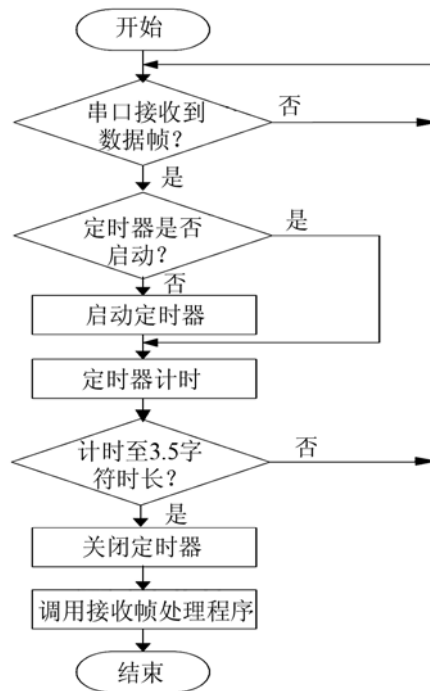


图 3 Modbus 帧超时检测流程图  
Fig.3 Procedure of Modbus overtime-detection

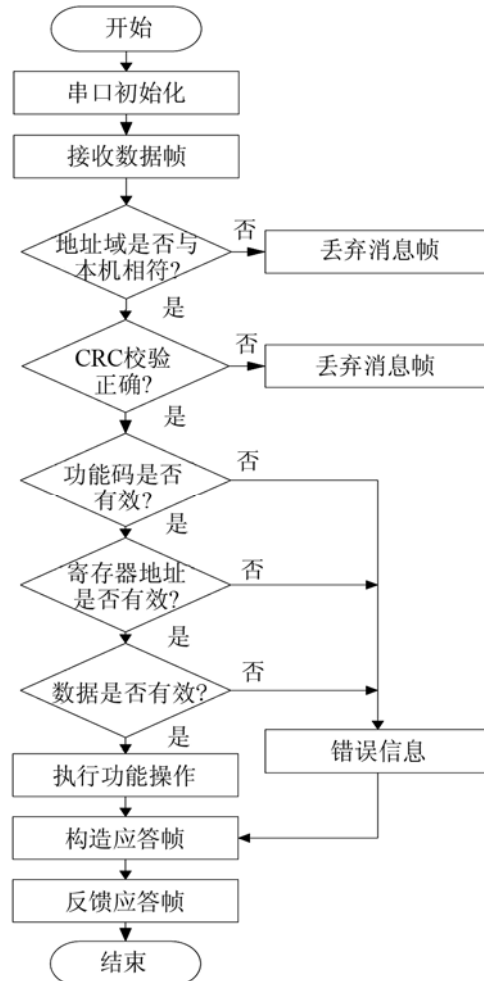


图 4 Modbus RTU 从机的接收帧处理流程图  
Fig.4 Procedure of received-frame processing in Modbus RTU slave

CRC 校验,则证明此次接收的数据是一个完整的消息帧,可以对功能码、寄存器地址、数据进行判断,完成数据读取、数据分析及数据处理的过程,并反馈响应帧给主机。其中执行功能操作主要是完成以下几点:解析消息帧,读取功能代码,跳转执行相应操作,并构造响应帧,将响应帧反馈至 RTU 主机。如果是错误信息,则根据错误码构造错误回应帧,并将含有错误码的消息帧发送给 RTU 主机。

本系统在 RTU 传输模式下与主站进行了数据通信,测试结果正确无误,能够成功地完成 Modbus 通信中对数据的采集、处理和um控制操作等要求。

## 4 结 论

本文设计的这款多普勒流速剖面仪,采用 Modbus 协议的 RS485 总线进行通信传输,上位机控制中心实现远程实时监控。测试结果表明,本系统工作稳定、可靠性强、操作方便。另外,该 ADCP 还可以多台设备组网,这样使得远程监控各地区的水文情势成为可能。本文设计软件不仅仅针对水文监控,只需要对系统进行较少的改动就能很好地适

用于对大型设备进行通信的要求,具有很强的技术适应性。

## 参 考 文 献

- [1] 朱昊. 嵌入式数字 ADCP 信号处理系统的研究[D]. 天津: 天津大学工学硕士学位论文, 2003: 2-6.  
ZHU Hao. Study on embedded signal processing system of digital ADCP[D]. Tianjin: The Degree of Master of Tian Jin University, 2003: 2-6.
- [2] 王军霞, 赵金龙, 程秀竹. MODBUS RTU 通讯协议在 S7-200 PLC 中的应用[J]. 系统集成与工程应用, 2013, 144(4): 53-55.  
WANG Junxia, ZHAO Jinlong, CHENG Xiuzhu. Application of Modbus RTU communication protocol in S7-200 PLC[J]. System Integration and Engineering Application, 2013, 144(4): 53-55.
- [3] Texas Instruments. OMAP-L137 Low power applications processor data sheet[Z]. SPRS563C, 2009.12.
- [4] 翁建年, 史春华, 张浩. 基于 ARM7 微处理器的 Modbus 通信协议的实现[J]. 机电一体化, 2009, 13(6): 69-83.  
WENG Jiannian, SHI Chunhua, ZHANG Hao. Based on ARM7 realization of Modbus communication protocol[J]. Mechanical and Electrical Integration, 2009, 13(6): 69-83.
- [5] 张桂, 金国强, 李辉. 基于 ARM 平台 Modbus RTU 协议的研究与实现[J]. 电力科学与工程, 2011, 27(1): 23-27.  
ZHANG Gui, JIN Guoqiang, LI Hui. Research and implementation of Modbus RTU protocol based on ARM[J]. Electric Power Science and Engineering Power Science and Engineering, 2011, 27(1): 23-27.