

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.05.018

以太网技术在 ROV 通信系统中的应用研究*

綦声波¹, 苏志坤¹, 江文亮²

(1. 中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 青岛森科特智能仪器有限公司, 山东 青岛 266100)

摘要:为解决以往水下有缆机器人(ROV)通信系统中视频、数据、控制信号需要分不同线缆传输的问题,将以太网通信技术应用到 ROV 通信系统中,根据 ROV 通信系统的功能需求分析,在 ROV 控制系统中设计了一种星型拓扑结构的通信网络。在硬件方面,视频、数据、控制信号的传输共用同一信道,简化了通信系统的硬件结构;在软件方面,视频信号采用 TCP/IP 体系中的一个应用层协议—RTSP 进行了传输,数据和控制信号则直接采用 TCP/IP 进行了传输,实现了 3 种信号全双工并行传输。研究表明:该通信系统能够满足 ROV 通信的需求;与以往的 ROV 通信系统相比,该通信系统具有更高的通信速率和稳定性,而且硬件结构简单,能够直接内嵌在 ROV 控制系统中。

关键词:ROV;以太网;串口服务器;通信协议

中图分类号:TP242.3;TN913.8

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)05-0540-05

Application of Ethernet technology in ROV communication system

QI Sheng-bo¹, SU Zhi-kun¹, JIANG Wen-liang²

(1. College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Sencott Intelligent Instrument Co., Ltd., Qingdao 266100, China)

Abstract: In order to solve the problems that the signals of video, data and control were transmitted in different cables in traditional ROV communication system, Ethernet communication technology was applied in ROV communication system. According to the analysis of the functional requirements of ROV communication system, a kind of star topology communication network was designed in ROV control system. In terms of hardware, the signals of video, data and control were transmitted in the same channel, that simplified the hardware structure of the communication system. In terms of software, the signal of video was transmitted by RTSP, an application layer protocol in TCP/IP system and the signals of data and control were transmitted by TCP/IP, that achieved three kinds of signal full-duplex parallel transmitting. The experimental results show that this communication system can meet the needs of ROV communication. Compared with the traditional ROV communication system, this communication system had higher communication speed and better stability, as well as the simpler structure of hardware, so it can be directly embedded in the ROV control system.

Key words: remote operated vehicle (ROV); Ethernet; serial server; communication protocol

0 引 言

随着陆地资源的枯竭,海洋资源的开发利用对人

类的发展越趋重要^[1-3]。ROV 是一种水下有缆遥控机器人,因其具有安全、高效、灵活、能长时间在水下作业等特点,目前已经成为海洋资源勘探开发必不可少的

收稿日期:2017-10-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475197);国家重点研发计划课题(2016YFC1400803,2016YFC1400804)

作者简介:綦声波(1970-),男,山东平度人,副教授,硕士生导师,主要从事嵌入式技术、海洋智能仪器方面的研究。E-mail: qishengbo@ouc.

edu.cn

工具。ROV系统一般分为水面控制平台、脐带缆和 underwater 潜体3部分^[4]。脐带缆除了能给水下潜体供电外,还是水面控制平台和水下潜体间的通信信道,即两者之间视频、数据、控制信号交换都是经过脐带缆进行的。通信系统一旦工作失效,水下潜体将失去控制从而导致作业失败,所以ROV对通信系统的稳定性和可靠性有着极高的要求。

以往的ROV通信系统,多采用混合通道,即视频采用模拟信号单独传输,数据和控制命令采用另外的导线。这种方式存在着一些弊端:(1)多通道设计,占用了较多导线,容易导致脐带缆线径变粗,成本上升;(2)模拟视频信号易受干扰,特别是数据交换或供电电流发生变化时,往往会出现雪花、条纹、变色等失真现象。

为此,本文针对所设计的浅水ROV系统,利用工业以太网通信成熟稳定的特点^[5],设计基于以太网通信技术的ROV视频、数据、控制信号综合传输的通信系统。

1 通信系统需求及总体设计

1.1 通信系统功能需求分析

ROV在工作时,水下潜体除了要根据控制信号完成作业任务外,还需要不断地向水面控制平台传输视频信号和数据信号;而水面控制平台则需要实时播放视频和显示水下潜体返回的数据,并根据作业人员的操纵向水下潜体下发控制信号。这就要求通信系统必须具备视频、数据和控制信号全双工并行传输的功能。其次,为保证水下潜体的作业质量,作业人员必须要能够实时地观测水下周围环境的视频,即在水下潜体上会安装多个摄像头从不同的角度对水下环境进行观测,这就要求通信系统必须具备在短时间内完成多路模拟视频信号或网络视频信号的远距离有线传输的功能。最后,由于水下潜体的密封舱空间大小有限,只能使用小型的通信设备来进行信息的高速率传输。

1.2 通信系统总体结构

在以往的ROV通信系统中,数据和控制信号通常是采用两线制的RS485进行传输,视频信号则是以模拟视频信号的形式进行传输^[6-7]。在这种情况下,数据和控制信号只能实现远距离半双工传输;对于模拟视频信号传输,当需要传输多路视频信号时,需要增加脐带缆的芯数或在电路中增加视频信号选通电路,增加通信系统的硬件成本和复

杂度。

基于以太网通信的ROV通信系统如图1所示。

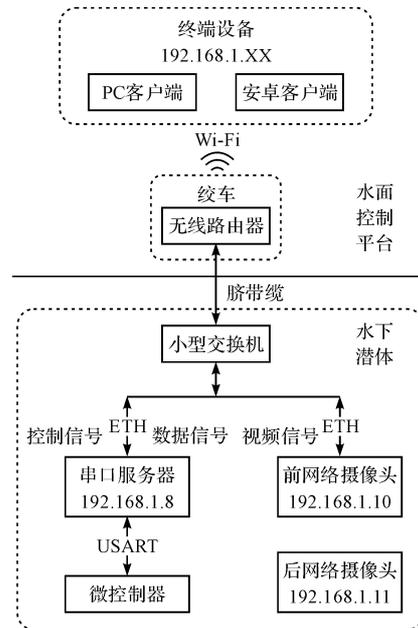


图1 ROV通信系统结构

对于视频信号,本研究对前、后摄像头均采用网络摄像头直接与小型交换机连接,将网络视频信号经过小型交换机和无线路由器传输至终端设备;对于数据信号,本研究采用串口服务器将微控制器输出串口量转化为以太网信号,经过小型交换机和无线路由器传输至终端设备;对于控制信号,作业人员输入的控制命令经过无线路由器和小型交换机传输至串口服务器,串口服务器再将控制信号(以太网信号)转化为串口量给微控制器控制水下潜体的运动。终端设备只需与水下潜体各个设备的IP地址建立连接,即可与该设备进行信号交换。该通信系统本质是在水面控制平台和水下潜体之间搭建一个星型拓扑结构的局域网,视频、数据、控制信号可共用小型交换机到无线路由器这一链路,即脐带缆中无需增加其他导线,电路中无需增加视频信号选通电路,水面控制平台就可以和水下潜体同时传输这3种信号。

作业人员只需要通过终端设备接入无线路由器的Wi-Fi,登录客户端软件,即可获取水下潜体的视频和数据信号,对水下潜体进行操控。

2 通信系统硬件设计

水面控制平台的硬件结构简单,主要由无线路由器、显示器、键盘和终端设备组成,系统硬件结构如图2所示。

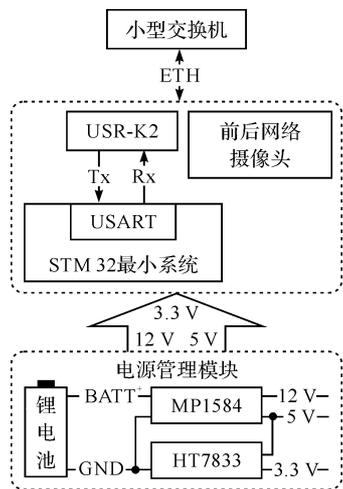


图 2 水下潜体通信系统硬件结构

该硬件结构主要由电源管理模块、前/后网络摄像头和 STM32 最小系统 3 部分组成。电源管理模块通过 DC-DC 降压稳压芯片 MP1584 和 HT7833 将锂电池的输出电压(即图中 2 中的 BATT+)分别转为 12 V、5 V 和 3.3 V,为水下潜体内的各种设备器件进行供电。网络摄像头以 T568B 接线标准通过 RJ45 与小型交换机连接,接入到局域网内,以实现终端设备直接读取网络视频信号。前后网络摄像头均采用 1 920 × 1 080 的分辨率,一共需要 8 Mbps 的通频带宽。无线路由器和小型交换机所采用的带宽均为 100 Mbps。微控制器采用 STM32F103RCT6。微控制器通过串口服务器 USR-K2 接入到局域网内。

USR-K2 可实现单片机串口到局域网间的数据双向透明传输^[7]。USR-K2 对数据流进行了格式转换,使之可以在以太网中传输的数据帧;同时 USR-K2 对数据帧进行判断,并解析成串行数据发送至单片机串口。

3 通信系统程序设计

本文将通信系统程序分为水面控制平台和水下潜体两部分来设计,水面控制平台选择工作在客户端模式,水下潜体选择工作在服务器端模式。

对于多路的视频信号,上位机采用实时流传输协议(RTSP)直接读取各个摄像头的视频信号^[8-9];对于数据和控制信号,上位机采用 TCP/IP 通过串口服务器与水下潜体的微控制器进行信息交换。上位机采用多线程编程技术以实现同时传输这 3 种信号。

3.1 数据(控制)信号通信协议设计

由于微控制器和局域网之间使用串口服务器进

行通信,串口服务器实际的通信方式和串口通信一样,在设计通信协议时,可以参考串口通信协议来进行设计。

在 ROV 通信系统中,数据信号是一帧一帧进行发送的,每帧数据有 8 位数据位,即每帧数据仅能发送一个字节的的数据。而 ROV 所要传输的数据中存在超过一个字节的的情况(例如浮点型数据),所以在设计通信协议时,发送端首先会通过指针读取每个数据在内存中所实际存放的值,即把每个数据转换为若干个字节的数据,然后再打包发送出去;接收端则利用 C 语言中的 memcpy() 函数将若干个字节的数据重新转换为原来的数据^[9-10]。

为提高数据发送效率,降低收发双方程序复杂度,所有的数据(控制)信号都是打包后再发送,而终端设备和 STM32F103RCT6 则使用相同的通信协议,对数据(控制)信号进行打包或解析。

ROV 通信协议数据包如表 1 所示。

表 1 ROV 通信协议数据包

功能	字节数	数值
起始标志	Byte0	0x55
	Byte1	0x7F
	Byte2	0x00 ~ 0xFF
数据(控制)信号
	Byte i-4	0x00 ~ 0xFF
求和校验	Byte i-3	0x00 ~ 0xFF
	Byte i-2	0x00 ~ 0xFF
结束标志	Byte i-1	0x0D
	Byte i	0x0A

数据包由起始标志、数据(控制)信号、求和校验和结束标志 4 部分组成,各部分的功能如下:

(1)起始标志。占 2 个字节,表示开始发送一个新的数据包,本协议中规定为 0x55 和 0x7F;

(2)数据(控制)信号。存放所要发送的数据或控制信号。在该协议中,每个控制信号占 1 个字节,用 0 至 255 表示不同的含义,每个数据信号占 4 个字节,存放不用类型的数据;

(3)求和校验。占 2 个字节,存放所有数据或控制信号求和后的值;

(4)结束标志。占 2 个字节,表示一个数据包发送结束,本协议中规定为 0x0D 和 0x0A。

3.2 上位机设计

上位机是在 Windows 10 环境下,利用 Visual Studio 2010 窗体应用程序开发和 C#编程语言进行开发的。上位机可以划分为视频信号处理和与 USR-K2 建立连接并进行数据和控制信号收发两个线程。

对于数据和控制信号的收发,上位机是在 Microsoft .NET Framework 3.5 组件下进行开发的,该组件提供了 TcpClient 类,可为上位机提供客户端连接和数据的收发^[11-12]。在该组件下,上位机与 USR-K2 通信流程如图 3 所示。

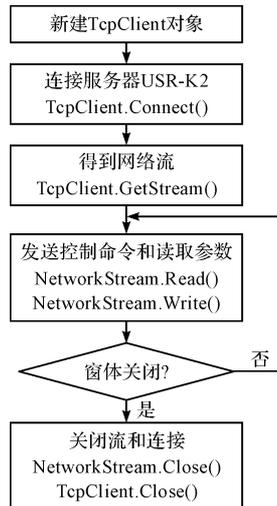


图3 上位机与 USR-K2 通信流程

在程序中,上位机先创建 TcpClient 类的实例,然后使用 TcpClient 类的 Connect() 方法与服务器 USR-K2 建立连接,一旦连接成功,则说明上位机与 USR-K2 的通信信道建立完成,上位机可利用网络流 NetworkStream 类的 Write() 方法来发送控制信号和 Read() 方法来读取水下潜体返回的数据信号。当上位机窗体关闭时,上位机则调用 NetworkStream 类的 Close() 方法和 TcpClient 类的 Close() 方法与 USR-K2 断开连接。

对于视频信号,上位机是利用 RTSP 进行传输的。RTSP 是一个多媒体流控制协议,在 Visual Studio 2010 窗体应用程序开发环境下无法对 RTSP 进行直接解析从而播放 ROV 的实时视频,所以在开发环境中内嵌一个 VLC 多媒体播放器。VLC 多媒体播放器支持 RTSP,可调用 VLC 相应的函数。在程序的实际操作中,首先对 VLC 和与其对应的 pictureBox 控件进行初始化,然后调用 VLC 的视频播放或存储函数并传递需要操作的网络摄像头的 RTSP 地址,即可读取或存储该网络摄像头的视频信号。

3.3 单片机程序设计

STM32F103RCT6 是数据和控制信号收发的核心控制部件。为了保证 ROV 操纵的实时性,控制信号利用中断来接收,而控制信号的解析和 underwater data 的打包发送则在主函数中完成,程序架构采用典型的单片机前后台系统,该架构如图 4 所示。

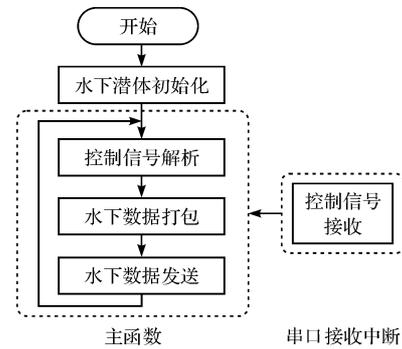


图4 水下潜体程序架构

前台是串口接收中断,每当上位机将控制信号发送过来时,程序就会自动进入中断开始接收控制信号;后台是一个无限的循环,程序会根据数据(控制)信号通信协议对接收到的控制信号进行解析进而对水下潜体的运动进行控制,水下数据则根据数据(控制)信号通信协议进行打包然后发送到上位机。

对于串口接收中断,当 STM32F103RCT6 接收到一个字节的的数据时,就会自动触发一次串口接收中断服务函数,其处理流程如图 5 所示。

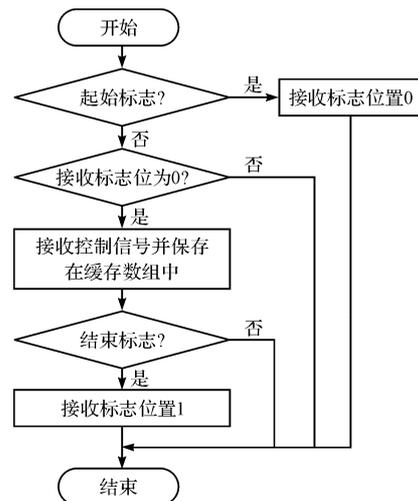


图5 串口接收中断处理流程

在串口接收中断服务函数中,首先会判断是否接收到起始标志,若连续接收到的两个字节数据分别为 0x55 和 0x7F,即起始标志,单片机就会开始接收控制命令并将其保存在数组中;当单片机在接收的数据中判断到有两个连续的字节分别为 0x0D 和 0x0A 时,即结束标志,则认为一个数据包已经接收完成,接收完成的数据包交由后台程序进行处理。

4 通信系统测试

完成通信系统的硬件和软件设计后,需要对通信系统的可行性和工作性能进行测试。对于硬件部分,

本研究通过 DOS 窗口利用 Ping 命令(Ping + 空格 + IP 地址)可检查到前后摄像头和 USB-K2 的网路已经接通,即设备都已接入了 ROV 通信系统的局域网内。

对于视频和数据信号,可通过上位机界面来观察传输情况,ROV 上位机如图 6 所示。



图 6 上位机界面

在传输距离超过 60 m 的情况下,上位机界面能够正常显示实时视频和水下潜体返回的数据,视频没有出现卡顿和乱码的现象,网络传输流畅。

对于控制信号,首先,水下潜体通过 STM32 开发工具 IAR Embedded Workbench 进行在线调试,通过在线调试窗口可观察到控制信号传输正确。然后,将水下潜体放入水中对运动姿态进行测试,进一步验证控制命令传输的正确性。

本研究通过上位机对水下潜体进行控制,水下潜体能够按照作业人员的操纵完成前进和后退、左转和右转、上升和下潜、前倾和后倾 4 个自由度的运动,反应灵敏、响应速率快。测试结果表明:控制信号传输正常,网络传输稳定可靠,延迟较小。

5 结束语

本文采用以太网通信技术设计了一套 ROV 通信系统,并通过实验测试验证了该通信系统的可行性。

整个通信系统的设计过程表明:基于以太网的 ROV 通信系统硬件结构简单,通信系统只需搭建一个星型拓扑结构的局域网即可完成 ROV 的通信任务。与以往的 ROV 通信系统相比,该通信系统的大部分功能都可通过软件来实现,大大减少了硬件的开发成本和难度。测试结果证明了该通信系统具有较强的稳定性和实时性,能满足 ROV 控制系统的需求,而且通信质量良好,具有较强的抗干扰能力。

参考文献 (References):

- [1] 许竞克,王佑君,侯宝科,等. ROV 的研发现状及发展趋势[J]. 四川兵工学报,2011,32(4):71-74.
- [2] 王新海,李首富,张 宴,等. 水下探测机器人的研发与测试[J]. 兵工自动化,2016,35(5):88-91,96.
- [3] 魏晓霞,蒲小琼,冯 常. 基于水下爬行机器人的机器人手结构设计[J]. 机械,2015(4):77-80.
- [4] 甘 永,王丽荣,刘建成,等. 水下机器人嵌入式基础运动控制系统[J]. 机器人,2004,26(3):246-249,255.
- [5] 冯冬芹,金建祥,褚 健. Ethernet 与工业控制网络[J]. 仪器仪表学报,2003,24(1):23-26,35.
- [6] 朱大奇,余 剑. Seamor300 水下机器人的通信与控制系统[J]. 系统仿真技术,2012,8(1):46-50.
- [7] 张玮康,王冠学,徐国华,等. 腹部作业型水下机器人控制系统研制[J]. 中国舰船研究,2017,12(2):124-132.
- [8] 郭 威,崔胜国,赵 洋,等. 一种遥控水下机器人通信系统[J]. 电气自动化,2008,30(5):34-35,40.
- [9] 方 群,王 敏,吉 逸. 基于 RTSP/RTP 的媒体点播服务器的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2006,27(1):4-6,108.
- [10] 王宇雷,朱大奇. 基于 JAVA 的新型 ARV 水下机器人通信及控制系统的实现[J]. 中南大学学报:自然科学版,2013,44(S2):7-11.
- [11] 张 雷,徐 方,曲道奎. 基于千兆以太网的机器人远程控制[J]. 计算机应用,2003,23(S2):209-211.
- [12] 许真珍,徐红丽,封锡盛. 基于 C/S 模式的多水下机器人仿真平台网络通信研究[J]. 微电子学与计算机,2006,23(5):97-101.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

綦声波,苏志坤,江文亮. 以太网技术在 ROV 通信系统中的应用研究[J]. 机电工程,2018,35(5):540-544.

QI Sheng-bo, SU Zhi-kun, JIANG Wen-liang. Application of Ethernet technology in ROV communication system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(5):540-544.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>