

Design and Implementation of Information Acquisition and Monitoring System of Deep Seafloor Observatory Network^{*}

LU Hanliang, LI Dejun, YANG Canjun, JIN Bo, CHEN Ying^{*}

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A suit of information acquisition and monitoring system of deep seafloor observatory network was designed. A sort of layered general architecture of the monitoring system was presented, which is composed of the control center layer, the transmission backbone network layer, and the acquisition subnet layer. The communication protocol and the control strategy for information acquisition were designed accordingly. Communication experiments were performed at high pressure, and the experiments results manifest that the monitoring system can work normally at 40 MPa. The test data of experiments show also that the system can be used for the real-time information acquisition and monitoring as a deep seafloor observatory network.

Key words: seafloor observatory network; junction box; information acquisition; monitoring system

EEACC: 7230;6150P;7210G;7710D

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2011.03.019

深海海底观测网络信息采集监测系统设计与实现^{*}

卢汉良, 李德骏, 杨灿军, 金波, 陈鹰^{*}

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要:设计了一套深海海底观测网络信息采集监测系统。提出了一种由监控中心层、传输主干网层和采集子网层构成的监测系统分层总体结构,并设计了相应的信息采集通信协议及控制策略。进行了高压环境下的通信实验,实验结果表明在 40MPa 的压力下,监测系统能够正常工作,实验测试数据亦表明系统能够用于深海海底观测网络的实时信息采集监测。

关键词:海底观测网络;接驳盒;信息采集;监测系统

中图分类号:TH766;TP393

文献标识码:A

文章编号:1004-1699(2011)03-0407-05

随着海底矿藏、深海热液、天然气水合物等现象的发现,海底观测的内容更加丰富,也更加迫切。海底观测的方法有二种:间接观测和直接观测。间接观测主要指采集海水、(微)生物和海底物质等样品,并在实验室进行样品分析。直接观测把观测器直接放到观测对象的附近,研究人员在线实时地获得观测数据。深海海底观测网络是海洋科学技术领域的最新研究热点,它提供了一种较好的直接观测手段^[1-4]。基于水下接驳技术来完成电能和信息集中、转换和处理的装置,称为接驳盒^[5]。深海海底观测网络信息采集监测系统布置了各种海底观测传感器(如 CTD 剖面仪、浊度仪等),用网络方式通过接驳盒连接这些传感器,能在海底实现长期连续的在线实时监测,它代表了海底观测技术的最新发展方向。

到目前为止,美国和日本等国家面向海底热液现

象、地震监测及全球气候变化等科学目标,分别建立了海底观测网络示范系统与实际应用系统,如美国的 H2O (Hawaii-2 Observatory) 海底观测网络和 NEPTUNE (North East Pacific Time-Integrated Undersea Networked Experiment)海底观测网络^[6-8]。我国在深海海底观测网络的研究方面刚刚起步,基础仍较为薄弱。鉴于此,本文研究设计了一套基于接驳盒的信息采集监测系统,较好地实现了对海底观测传感器的数据信息采集功能,为我国深海海底观测网络的建设提供了关键技术支撑。

1 信息采集监测系统总体设计

如图 1 所示,深海海底观测网络信息采集监测系统在总体结构上被设计为三个层次^[9-10]:监控中心层、传输主干网层和采集子网层。监控中心层主要由基站子系统组成,是监测系统的控制中心,将各个接驳盒通

项目来源:国家“863”高技术研究发展计划重点项目(2007AA091201);国家“985”工程 2 期浙江大学机电系统创新平台项目;浙江省自然科学基金项目(Y5090117);浙江省钱江人才计划项目(2009R10036)

收稿日期:2010-08-24 修改日期:2010-10-20

过深海海底观测网络传输来的传感器实时数据信息进行分析处理和存储,并完成各种控制指令的下发。基站子系统实时监测深海海底观测网络的运行状况,当出现问题时基站子系统会及时报警,并自动诊断给出系统的恢复方案。传输主干网层由多个接驳盒组成,采用以太网^[11]技术、TCP/IP技术和自定义协议(帧结构自定义的通信协议)技术构建,实现各个接驳盒和海岸基站之间的数据传输及通信控制。采集子网层主要由各种海底观测子系统的传感器组成,通过RS485/RS232等通信接口,实现海底观测传感器原始数据信息采集,以及和接驳盒之间的数据传输。

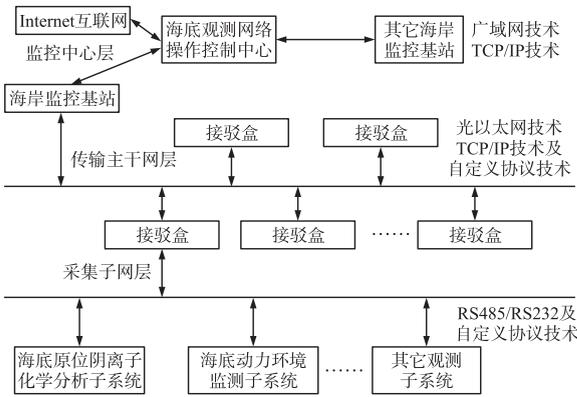


图 1 信息采集监测系统的分层总体结构

图 2 是按照上述总体结构设计实现的深海海底观测网络信息采集监测示范系统示意图^[12]。该系统由基站服务器、监控工作站、光网交换机、接驳盒、水密接插件、Datalogger 传感器、ADAM 传感器和水下摄像机等组成。监测系统实时采集的各种原始信号(如温度、深度等),首先经过 Datalogger 等传感器的信号调理电路,转化为适合 A/D 转换的电压信号,再经过 A/D 转换后,由 Datalogger 等传感器内部的单片机进行预处理,并保存到 FLASH 存储器中。然后,各个传感器把所采集的原始数据信息重新打包编码传送至接驳盒,这些数据均按照自定义协议格式组成数据帧。最后,

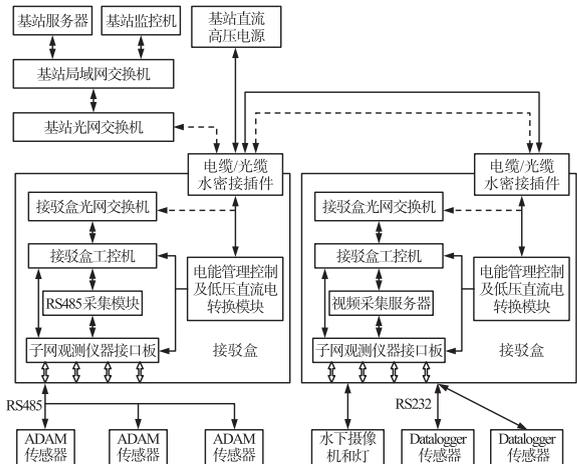


图 2 信息采集监测示范系统组成示意图

接驳盒的通信控制模块将这些数据帧再封装进 TCP/IP 报文中,传送到基站监控工作站并存储至数据服务器。基站的控制指令等信息可通过与上述反向的通路下发。这样,通过接驳盒对信息指令的上传下达,就实现了对各种海底观测传感器的采集监测及控制。

2 传输主干网和采集子网设计

2.1 传输主干网的接驳盒

接驳盒是传输主干网层的主要设备。如图 3 所示,接驳盒由控制腔和电源腔通过耐高压的水密接插件连接组成。接驳盒的控制腔连接多个海底观测传感器及水下摄像系统。控制腔内部配置有嵌入式工控机、以太网交换机、RS485 模块和视频服务器等仪器设备,通过子网采集各个海底观测传感器的原始数据信息,并把这些信息重新打包封装成主干网统一的数据格式,上传到基站海底观测网络操作控制中心。电源腔实现对深海海底观测网络电能的传输、转换和再分配。



图 3 信息采集监测示范系统及接驳盒实物照片

在 4 km 深海海底工作的接驳盒耐压腔体必须能够承受海水高达 40 MPa 的外部压力。接驳盒的耐压腔体材料选择 TC4 (Ti-6Al-4V) 钛合金,采用抗压能力较好的圆筒形腔体进行设计,接驳盒通过在耐压腔体两端端盖加 O 型圈的方式进行防水密封^[13]。图 4 是接驳盒的耐压腔体实物照片。



图 4 接驳盒的耐压腔体实物照片

2.2 传输主干网的通信协议

传输主干网为总线型网络拓扑结构。如图 5 所示,参照 ISO 的开放式通信系统互联参考模型 OSI/RM,采用分层结构化技术,设计了一种基于 TCP/IP

协议的传输主干网通信协议五层分层模型,这五层分别为:物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层。

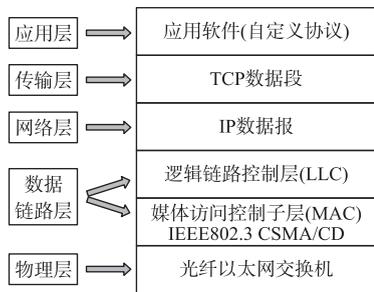


图 5 传输主干网的通信协议分层模型

海底观测传感器所采集的信号种类各不相同,使得采集到的原始信息数量众多,且内容格式各异,大大增加了后续数据传输和处理的难度。为此,本文设计了一种传输主干网应用层自定义通信协议,实现对接驳盒所采集的多个传感器数据的封装,把零散、无序的原始数据信息转换为格式统一的自定义协议帧。

如图 6 所示,该自定义协议帧包括七个部分:起始符、设备地址码、控制指令码、数据长度、数据信息、校验码和结束符,也可以具体表示为:5 AH, ADDR, CMD, LEN, Data(0), ..., Data(LEN-1), CHKSUM, 0DH。其中,起始符表示数据帧的开始,设备地址码表示由哪个接驳盒来接收基站发送来的信息,控制指令码是基站发送给接驳盒的操作指令,数据长度则表明整个数据信息部分的字节长度。数据信息区根据不同的控制指令码而有所不同;如果是基站发送命令,数据区可以是控制指令码所需的命令参数;如果是接驳盒响应,数据区可以是各个海底观测传感器的实际测量值(温度、盐度和浊度等)。校验码用于检查收发过程中信息是否发生错误,结束符表示数据帧的结束。

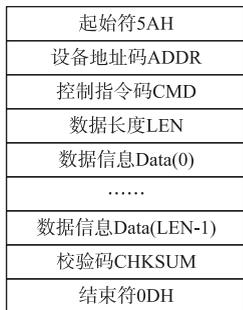


图 6 传输主干网的自定义通信协议帧结构

2.3 传输主干网的通信控制策略

为了保证监测系统的实时高可靠性数据传输,基站上位机与接驳盒下位机之间的通信控制策略设计如下:

(1)上位机首先向各个下位机发出连接请求,下位机收到请求后予以确认,并发回一个响应,上位机收

到该响应并确认正确后,完成握手操作建立连接;

(2)上位机广播发送数据帧,每个下位机都检查帧中的设备地址码是否与其一致。当地址一致时,才接收该数据帧进行相应的操作,并向上位机发回对该数据帧的响应帧;

(3)上位机等待超时后,仍未接收到响应帧,则重发该数据帧。重发 3 次仍未能接收到响应帧,则取消该帧操作;

(4)所有接收到的数据帧必须进行校验。对校验正确的帧进行相应操作;对校验失败的帧请求重发,重发 3 次仍未能正确接收,则取消该帧操作;

(5)发送遥控操作命令或系统工作状态异常时,为确保正常运行,这些帧可以优先插入传送。图 7 为传输主干网的通信控制腔实物照片。



图 7 传输主干网的通信控制腔

2.4 采集子网的设计

采集子网的拓扑结构根据不同的通信方式(RS485/RS232)而有所不同,可为总线型或星型结构。一个接驳盒主节点采用主从工作方式,同时与多个传感器从节点连接采集数据信息。主节点发出指令帧,从节点收到并处理指令帧请求之后,返回一个响应帧,完成一次信息发送接收过程。主节点收到响应帧并确认无误后,进入下一个指令帧的发送过程,并这样一直循环交替工作下去。子网的通信过程及自定义协议帧结构如图 8 所示。

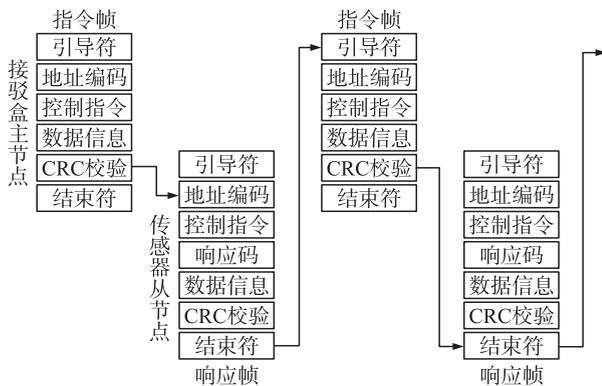


图 8 采集子网的自定义协议通信过程及其帧结构

Datalogger 海底观测传感器的硬件结构如图 9 所示^[5],图 10 为该传感器的电路板。选用 TI 公司

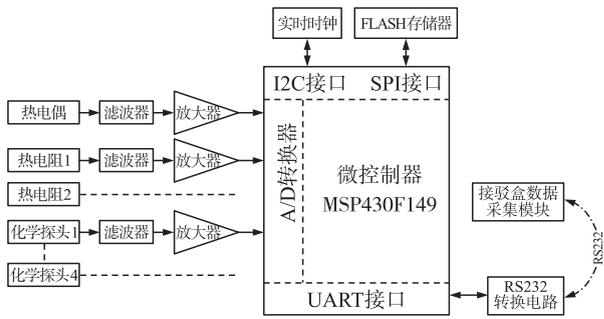


图 9 Datalogger 海底观测传感器的硬件结构框图

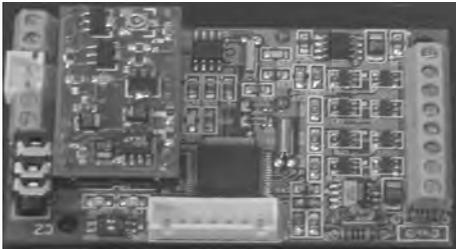


图 10 Datalogger 海底观测传感器的电路板

的 16 bit 低功耗单片机 MSP430F149 作为主控制器^[14],它包含 8 个 12 bit A/D 转换通道,2 个 UART/SPI 接口,48 个 P 口。海底各种传感器探头传来的信号经过调理电路滤波放大后,进入 A/D 转换器得到原始数据信息,然后由 MSP430F149 负责将这些数据通过 UART 接口和 RS232 转换电路,传送到接驳盒的数据采集模块处理。由于该单片机具有睡眠状态功耗极低并且各外围模块可根据需要被关断的特点,在系统待机时,采集电路处于睡眠状态,工作电流仅为 7 μA ,采集信号时电流为 270

μA ,默认设置为每隔 5 s 采集一次数据。

3 系统测试与实验

在压力实验中,监测系统各子模块的耐压腔体均在密闭的高压舱内长时间承受了 40 MPa 的外部压力,这时系统各模块均能正常工作,数据信息采集也准确可靠。在 RS485 通信实验中,使用两个 ADAM 传感器采集 Pt100 热电阻探头阻值,并把采集到的数据信息通过 RS485 总线,用自定义协议帧发送给接驳盒再打包传送给基站。监测系统的压力实验和子网 RS485 通信实验如图 11 所示。



图 11 监测系统的压力实验和子网 RS485 通信实验

在监测系统联调实验中,使用了一个 Datalogger 传感器、两个 ADAM 传感器、一个深海摄像机和多个热电阻热电偶温度探头。实验进行时,首先由基站上位机启动主干网接驳盒的信息采集,接着由接驳盒的通信控制模块启动子网的各种海底观测传感器,实现对整个海底观测网络的信息采集监测。图 12 是监测系统联调实验的基站远程监控界面。在联调实验中,图像信息采集传输实时稳定,采集到的

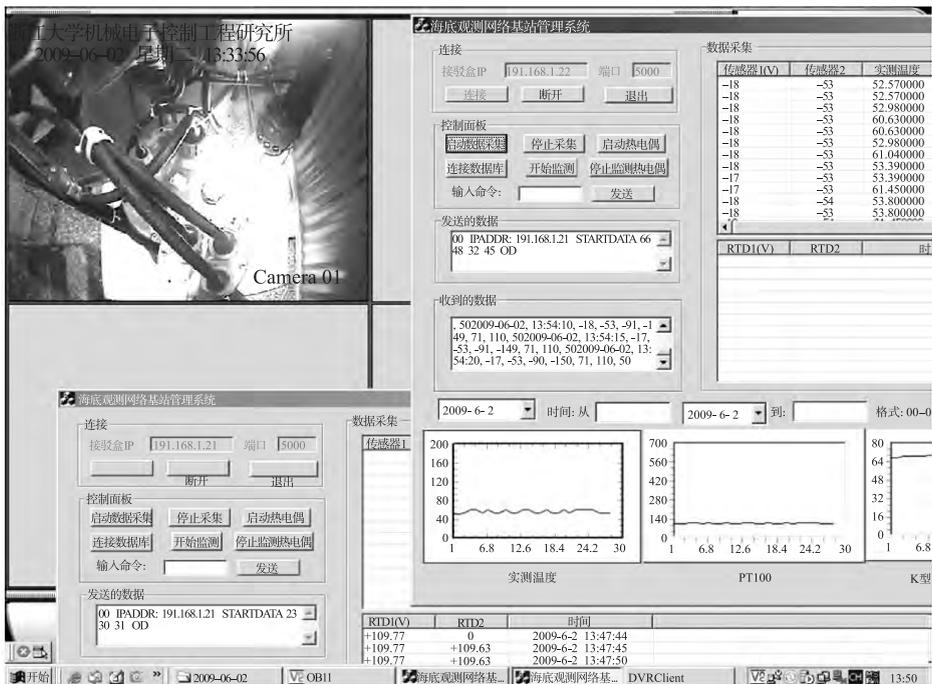


图 12 监测系统联调实验的基站远程监控界面

Pt100 热电阻温度探头阻值及热电偶温度探头电压值等实验测试数据,与同时使用万用表测得的实际测量值保持一致。联调实验结果表明:该监测系统能够完成各种海底观测数据信息的实时采集,并实现对各个海底观测传感器的管理控制。

4 结束语

本文提出了一种基于接驳盒的深海海底观测网络信息采集监测系统,详细设计了系统总体结构及其各个重要组成部分。该系统由监控中心层、传输主干网层和采集子网层构成,具有完整的信息采集、传输和通信控制单元。经实验验证,该监测系统实时性强,可靠性高,能够较好地解决海底现场大量信息的实时采集监测问题,为实现深海海底环境的长期连续观测提供了一种有效的方法。

参考文献:

- [1] Isern A R, Clark H L. The Ocean Observatories Initiative: A Continued Presence for Interactive Ocean Research [J]. Marine Technology Society Journal, 2003, 37: 26-41.
- [2] Kawaguchi K, Hirata K, Mikada H. An Expandable Deep Seafloor Monitoring System [J]. Sea Technology, 2001, 42: 49-54.
- [3] Clark H L. New Seafloor Observatory Networks in Support of Ocean Science Research [C]//Oceans 2001 MTS/IEEE-An Ocean Odyssey Honolulu; IEEE, 2001, 1: 245-250.

- [4] Shirasaki Y, Nishida T, Yoshida M, et al. Proposal of Next-Generation Real-Time Seafloor Globe Monitoring Cable-Network [C]//Ocean's 2002 Conference and Exhibition. Mississippi: IEEE, 2002, 3: 1688-1694.
- [5] 陈鹰, 杨灿军, 陶春辉, 等. 海底观测系统 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [6] Suyehiro K, Mikada H, Asakawa K. Japanese Seafloor Observing Systems: Present and Future [J]. Marine Technology Society Journal, 2003, 37: 102-114.
- [7] Duennebler F K, Harris D W, Jolly J, et al. The Hawaii-2 Observatory Seismic System [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2002, 27(2): 212-217.
- [8] Rodgers D H, Maffei A, Beauchamp P M, et al. NEPTUNE Regional Observatory System Design [C]//Oceans 2001 MTS/IEEE-An Ocean Odyssey Honolulu; IEEE, 2001, 3: 1356-1365.
- [9] 张杰, 石为人, 涂巧玲, 等. 基于无线传感器网络的信息采集监测系统设计 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(6): 861-864.
- [10] 李春杰, 刘瑞霞, 王继志. 基于无线传感器网络的监控平台设计 [J]. 传感技术学报, 2006, 19(1): 13-15, 73.
- [11] Maffei A R, Massion G, Bailey J, et al. NEPTUNE Gigabit Ethernet Submarine Cable System [C]//Oceans 2001 MTS/IEEE-An Ocean Odyssey Honolulu; IEEE, 2001, 2: 1303-1310.
- [12] 虞伟乔. 深海观测网络结构及其协议研究 [D]. 浙江大学硕士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [13] 卢汉良, 李德骏, 杨灿军, 等. 深海海底观测网络水下接驳盒原型系统设计与实现 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2010, 44(1): 8-13.
- [14] 赵伟, 杨灿军, 张佳帆, 等. 新型赤潮监测系统设计研究 [J]. 传感技术学报, 2008, 21(5): 744-747.



卢汉良(1975-),男,博士研究生,主要研究方向为深海机电装备技术和海底观测技术等, lxl1945@163.com;



陈鹰(1962-),男,教授,博士生导师,国家“十一五”863计划海洋领域专家组成员,主要研究方向为深海资源勘探中的机电集成技术、人机智能系统等, ychen@zju.edu.cn.