

文章编号 1004-924X(2015)增-0247-07

## 嵌入式平台下的船舰分布式变形测量

刘玉生<sup>1,2\*</sup>, 王志乾<sup>1</sup>, 苏宛新<sup>1</sup>

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 搭建了嵌入式平台下的分布式变形测量系统, 用于为大型测量船舰平台上各测量设备、武器设备提供实时变形角度同时提高中心计算机各变形测量点的控制与实时监控精度。研究了该系统的组成, 硬件电路, 软件实现和算法。首先, 对比以往图像分别采样, 集中获取、集中处理计算的方式, 提出了分布式测量的模式, 选择简单网络管理协议(SNMP)来实现设备的远程控制, 介绍了 SNMP 协议模型及组成。然后, 以 ARM+DSP+FPGA 的结构为基础, 设计了各分布式变形测量设备的硬件平台, 完成了嵌入式 WinCE 操作系统下的软件开发, 对变形测量和 SNMP 远程控制操作的软件过程进行了论述。最后进行了变形角度测量和运管代理功能的实验。结果表明, 该变形测量设备的变形角度测量精度在 5" 以内, 解决了以往变形测量系统由于图像采集所造成的网络阻塞问题, 增强了它的可扩展性和可管理性。

**关键词:** 船舰测量平台; 分布式变形测量(SNMP)协议; 嵌入式系统

**中图分类号:** TP216; TB92 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0247

## Measurement of ship distributed deformation based on embedded system

LIU Yu-sheng<sup>1,2\*</sup>, WANG Zhi-qian<sup>1</sup>, SU Wan-xin<sup>1</sup>

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
  2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*
- \* *Corresponding author, E-mail: lewisn@163.com*

**Abstract:** To detect distributed deformation angles in real-time for large measuring and weapon devices mounted on large ships, as well as to improve the ability of controlling and real-time monitoring to each measurement point, a measuring system for the distributed deformation was realized based on an embedded system. The hardware design, the realization of software and corresponding algorithm were explored. Firstly, comparing to the previous measurement method with distributed sampling, central obtaining data and calculating data, a new model of distributed measurement was proposed. And Simple Network Manegement Protocol(SNMP) was selected to realize the remote control of all devices. Then the structure of the protocol and its composition were introduced. A hardware platform was designed for the distributed deformation devices of each measurement point based on ARM+DSP+FP-

收稿日期: 2015-03-21; 修订日期: 2015-05-07.

基金项目: 吉林省科技攻关资助项目(No. 20150204013GX)

GA structure. After that, the software was developed on the WinCE operation system and the flow process was discussed. Finally, the experiment of system was executed both on deformation measurement and SNMP control. Experimental result shows that the device can obtain the precision within 5" without network congestion problems caused by image acquisition as the previous devices. And the capability of extending and administrating has been enhanced.

**Key words:** ship measuring platform; distributed deformation measurement(SNMP) protocol; embedded system

## 1 引言

在舰船大型测量平台中,雷达、光电经纬仪、导弹等系统分布在船体不同位置。这些设备之间的位置坐标、姿态角度都需要高精度标定。由于船体动基座变形将对上述参数的标定带来较大影响,必须对不同设备基座相对惯性坐标系之间的变形角度进行实时测量和补偿。为此,需要在船体各测量设备基座关键位置设置一系列变形测量点来实时获得变形角度。通常,变形测量角度测量有多种方式,其中以光学测量为基础的大钢管法具有明显优势<sup>[1-6]</sup>。

由于舰船测量设备较多,需要对每个测量点的纵摇、横摇、艏摇相关角度进行测量<sup>[7]</sup>,因此,需要数十台角度测量设备分布于甲板各个位置。在以往船体变形测量设备中,一个测量周期内,多台 CCD 相机在同步信号的触发下同时发起图像采集操作,并将该图像通过网络传送至舱室内的主控计算机计算各路变形角度值,供其他测量系统使用。该方法在同一时间间隔内主控计算机将接收来自网络的大量图像数据。对测量精度、分辨率、灵敏度的要求越高,在光学系统不变的情况下 CCD 分辨率也要求越高,图像数据量越大,帧频越高。从而容易引起网络拥堵和丢帧的情况<sup>[8]</sup>,影响测量任务的顺利进行。采用嵌入式系统的分布式变形角度测量方式,在测量点本地进行图像采集和角度计算,可以解决网络拥堵的问题,减轻主控计算机网络负担,提高系统运行效率。

为了满足全船统一化运行管理要求,舰船大多使用 SNMP 协议(简单网络管理协议)来完成各设备的运行管理<sup>[9]</sup>。SNMP 协议简单且易实现,并具有较高的可靠性和安全性。目前大多数网络设备如交换机、打印机、工作站都支持该协议。以往的运管系统,管理的终端为各个分系统

主控计算机,由主控计算机汇集本地分系统或板级设备状态向上级运管系统发送。而将 SNMP 协议与嵌入式变形角度测量设备相结合,则可以将运管系统的管理模式由系统级向设备级和板级细化,无论设备安装在何位置,只要接入局域网络,则可进行集中管理。因此,开发具有 SNMP 代理功能的嵌入式图像设备对于舰船设备统一管理和前序决策有着积极的推动作用。

## 2 SNMP 协议的介绍

SNMP 在 TCP/IP 参考模型中属于应用层协议,用于进行网络设备的远程管理。大部分网络设备生产厂商都支持 SNMP 协议。SNMP 通过管理端(Manager)和代理端(Agent)通信来实现,典型的 SNMP 模型如图 1 所示。

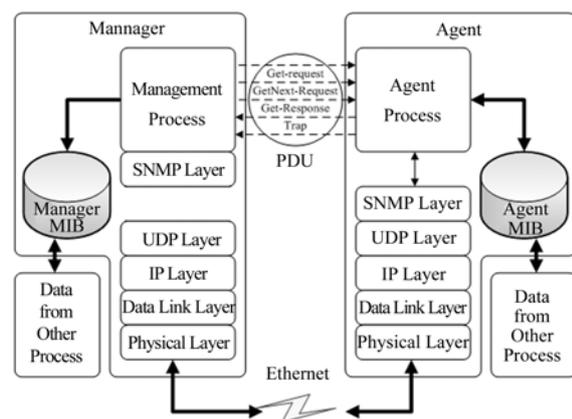


图 1 SNMP 协议模型

Fig. 1 Model of SNMP Protocol

在同一局域网或广域网内,系统管理员通过管理端负责对各个代理设备进行状态查询(以 GetRequest、GetNextRequest 报文的方式),操作命令控制(以 SetRequest 报文的方式);而代理端在完成本地任务的同时,需要更新、维护各种网络

管理数据信息所在的数据结构 MIB(管理信息库),反馈管理端的查询和操作命令(以 Get-Response 报文的方式),并在本地发生重大事件的时候发送 Trap 报文。

在舰船变形测量系统中,只要设备运行了 SNMP 代理,接入运管网络,便可接受来自上级运管系统的各种查询和操作命令。该网络管理模型具有较强的扩展性和灵活性。

### 3 嵌入式变形测量模块

分布式图像采集系统框图如 2 所示。由分布于船甲板上数十个变形测量模块提供各个测量点变形测量角度。在时码终端的驱动下,该模块通过网络交换机接收变形测量计算机的统一控制与配置,定时将测量数据提供给变形测量计算机。计算机接收到各测量角度后,经数据处理整理,以数据包的形式向远程运管计算机发送。远程运管计算机既可以通过变形测量计算机对各变形测量模块进行统一控制,也可分别对测量模块状态进行查询和设置。

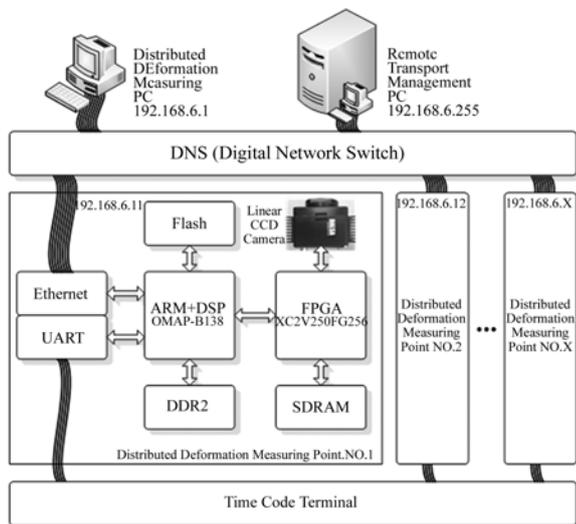


图 2 分布式变形测量框图

Fig. 2 Structure of distributed deformation measurement

由于船上各分布式变形测量点较多,应尽可能减小对设备空间的占用和功耗。因此,系统以 ARM+DSP+FPGA 为架构,选用了 OMAP-L138 双核处理器和 XC2V250FG256 型号的 FPGA 作为核心处理部分。OMAP 处理器用于完成

系统复杂数学计算、控制和显示,FPGA 用于图像采集及预处理,同时 FPGA 连接 SDRAM 用于图像缓存。该变形测量模块的主要接口包括:

(1)线阵 CCD 相机接口。

系统使用 Dalsa 公司的工业线阵 CCD 相机 P2-20-04K30 来采集来自准直光源的狭缝光斑图像,该相机通过 Cameralink 接口输出 10 bit 灰度图像数据,硬件系统由 FPGA 来完成图像信号的接收串并转换,缓存和预处理全部由 FPGA 完成,OMAP 处理器从 FPGA 中读取预处理后的图像数据,计算变形测量角。

(2)以太网网络接口。

系统使用 LAN8710A 网络收发器,完成单个测量点变形测量设备与主控计算机和远程中心计算机之间的数据通讯。

(3)时码终端接口。

系统使用 OMAP-L138 的 UART 接口获得时码中端提供 100 Hz 的时间码信号,由于时码终端通常使用 RS422 串行方式,因此通过 MAX3491 将 RS422 信号转换为 3.3V TTL 电平的 UART 信号供系统读取。在时间码的驱动下,软件系统产生相应的时间事件,发起角度测量、网络收发等任务。

### 4 分布式变形测量系统软件

分布式变形测量系统的软件开发主要包括 Bootloader 引导程序的开发、嵌入式 WinCE 操作系统的移植,WinCE 应用程序实现。变形测量应用程序在 Embedded Visual C++ 4.0 平台下开发,软件流程如图 3 所示,主要分为变形测量和 SNMP 代理两部分。

#### 4.1 变形角度测量部分

该部分主要分为初始化、时间同步、数据采集、数据计算、网络收发等 5 个模块。软件初始化部分主要完成配置文件读取加载,各种环境参数的设置,各类线程初始化;初始化完成后,时间同步线程启动,通过对时间码的读取产生各类定时事件来驱动系统各部分运行。系统测量频率为 20 Hz,在每个测量周期内开始时,发起图像捕获命令,通过线阵 CCD 得到光斑图像;图像预处理完成后,进行角度计算;接着将计算得到的角度向主控计算机发送,最后将计算结果和图像存储,为

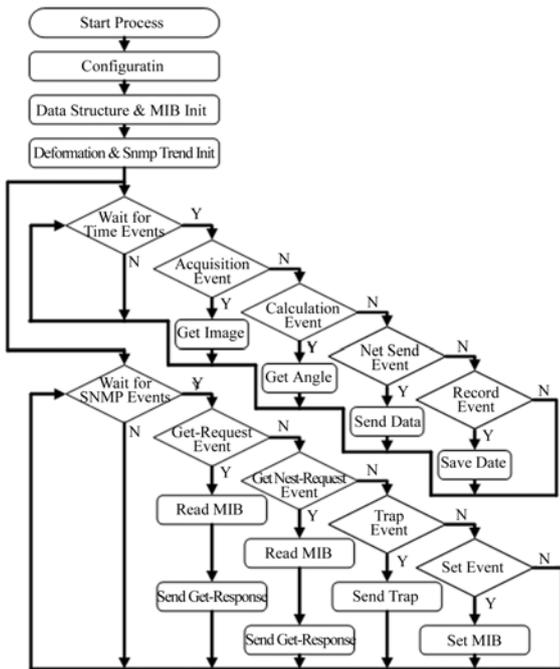


图 3 变形测量系统软件流程

Fig. 3 Flowchart of distributed deformation measurement

事后处理提供参考。

### 4.2 SNMP 代理部分

SNMP 代理软件使用 SNMP API 函数开发, 主要分为初始化代理、MIB 访问、消息处理分配、事件处理等模块。初始化代理模块主要负责网络初始化, 包括 IP、端口设置, 同时建立基本 MIB 变量; MIB 访问模块负责维护和查询 MIB 树; 消息处理分配负责将接收到的 SNMP 报文分类, 推送 set、get、trap 等消息; 事件处理模块接收到不同消息后, 访问、修改 MIB 变量, 完成响应网络管理端的命令。

## 5 系统实验

### 5.1 变形测量任务的执行

系统上电后自动运行变形测量线程, 在时码终端的驱动下, 各测量点每秒采集 20 帧变形图像数据。单台线阵 CCD 相机采集到的图像如图 4 所示。得到该图像数据后, 通过加权光斑中心定位法<sup>[10]</sup>得到变形测量角度。该结果以数据包的形式向主控计算机发送, 以提供给其他测量分系统。并将滤波后的变形测量角度值以及测量点设备工作状态以每秒 1 帧的速度通过 trap 报文的

形式主动上报给运营系统。这样将角度计算在各个测量点本地完成的方式, 与将采集图像通过网络直接发送给主控计算机的方式相比, 网络负担较小, 避免了同一触发时刻网络拥堵的可能性, 减轻了主控计算机的负担。



图 4 相机采样图像

Fig. 4 Sampling image of camera

### 5.3 SNMP 远程管理任务的执行

系统初始化将建立本地 MIB 库, 变形测量线程启动完成后, SNMP 代理程序开始运行, 从变形角度测量的数据结构中获取实时测量数据, 更新本地 MIB 变量, 在整秒的时刻向运营系统发送, 并接受运营系统的查询和设置命令。SNMP 代理运行后, 使用网络管理端控制台对代理端 MIB 变量进行访问, 结果如图 5 所示。



图 5 代理服务运行结果

Fig. 5 Result of agent service

从运行结果可以看出, 系统实现了本地测量结果和状态的定期上报, 能够响应网络管理端的查询和设置命令, 实现了代理功能, 结合变形测量软件部分, 实现了分布式变形角度测量系统的测量和 SNMP 代理服务功能。

### 5.3 系统测量结果

为了测量各变形测量设备角度测量精度, 搭建实验平台如图 6 所示。将狭缝光斑发射光管放置于多齿分度台上, 在其后方附加平面反射镜, 使用精度为 0.2" 的自准直仪对准。使发射光管光斑位于 16 m 外变形测量接收光管测量范围内。调整接收光管和自准直仪的相对位置, 使两者测

量读位于 0" 附近。以 9" 为间隔从正负 2 个方向转动多齿分度台,读取两者读数。将 0.2" 自准直

表 1 变形角度测量结果

Tab.1 Result of Deformation Angle Measuring

NO.	Reference Angle	Measuring Angles	NO.	Reference Angle	Measuring Angles
	$\varphi_+$	$\varphi$		$\varphi_-$	$\varphi$
1	0"	0"	16	-9"	-8"
2	9"	11"	17	-18"	-16"
3	18"	20"	18	-27"	-26"
4	27"	28"	19	-36"	-34"
5	36"	39"	20	-45"	-45"
6	45"	47"	21	-54"	-55"
7	54"	55"	22	-1'3"	-1'01"
8	1'03"	1'04"	23	-1'12"	-1'16"
9	1'12"	1'15"	24	-1'21"	-1'22"
10	1'21"	1'22"	25	-1'30"	-1'26"
11	1'30"	1'33"	26	-1'39"	-1'35"
12	1'39"	1'39"	27	-1'48"	-1'49"
13	1'48"	1'51"	28	-1'57"	-1'56"
14	1'57"	2'00"	29	-2'06"	-2'02"
15	2'06"	2'10"	Standard eviation (") 2.25"		

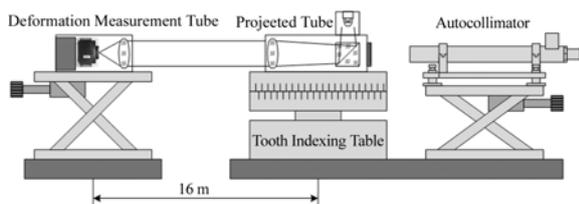


图 6 系统测试平台

Fig. 6 Experimental Platform

仪测量结果视为发射光管角度真实偏差角度,从接收光管获得的测量结果如表 1 所示。

从实验结果可以看出,系统标准差为 2.25",最大误差在 5" 以内,满足高精度船体变形测量的要求。

### 5 结 论

本文实现了 OMAP 嵌入式平台下的船舰分布式变形角度测量系统,角度测量精度在 5" 以内,减小了网络负担且具有较高的运行效率。并结合 SNMP 协议的应用,扩展了运管系统对船舰各测量设备的监控与控制能力,为船舰设备统一管理和前序决策提供了保证。

### 参考文献:

[1] 朱昫焯,汪顺亭,缪玲娟,等. 船体变形测量技术综述[J]. 船舶工程, 2007,29(6):58-61.  
ZHU J SH, WANG SH T, MIAO L J, et al.. Review of measuring technique for ship deformation [J]. *Ship Engineering*, 2007, 29(6): 58-61. (in Chinese)

[2] 鲍海阁. 舰船船体变形及其测量方法[J]. 船舶工程, 2013,35(5):72-74.  
BAO H G. Ship Body Deformations and Measurement Method [J]. *Ship Engineering*, 2013,35(5): 72-74. (in Chinese)

[3] 王小明,张尧禹,乔彦峰. 用动态水平基准测量系统实时测量船体横扭角和纵挠角[J]. 光学精密工程, 2013,21(2):294-300.  
WANG X M, ZHANG Y Y, QIAO Y F. Real-time measurement of ship's transverse and vertical twist angles by dynamic horizontal datum measuring system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013,21(2): 294-300. (in Chinese)

[4] 张尧禹,李岷,于萍,等. 测量船船体变形测量系统的研究 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 1505-1506.  
ZHANG Y Y, LI M, YU P, et al.. Research on angle diatortion for the measuring ship [J]. *Chinese Journal of Science Instrument*, 2006, 27(6): 1505-1506. (in Chinese)

[5] 李向荣. 基于莫尔条纹法的扭转测量技术研究 [D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2006.  
LI X R. The research on roll measurement based on moiré fringle [D]. Changchun:Changchun Institute Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, China.

[6] 王建军,王颖. 光栅法在船体横扭角测量中的应用 [J]. 光学精密工程, 2005,13(3):371-375.  
WANG J J, WANG Y. Application of raster metering to hull transverse twist measurement [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(3): 371-375. (in Chinese)

[7] 李晓勇,张忠华,朱伟康,等. 航天测量船船体变形

- 的数据处理[J]. *光学 精密工程*, 2009, 17(2): 445-452.
- LI X Y, ZHANG ZH H, ZHU W K, *et al.*. Data Processing of hull deformation for spacecraft TT&C ship [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(2): 445-452. (in Chinese)
- [8] 李岩, 张尧禹, 岳俊华. 船体变形测量的新技术[J]. *光学 精密工程*, 2008, 16(11): 2235-2238.
- LI Y, ZHANG Y Y, YUE J H. New technology of ship distortion measurement [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11): 2235-2238. (in Chinese)
- [9] 余健, 窦丽华, 陈杰. 基于 SNMP 协议的网络主机综合监控方法研究[J]. *北京理工大学学报*, 2002, 22(3): 368-372.
- SHE J, DOU L H, CHEN J. A Study on Integrated Monitor and Control of the Network Host Based on the Simple Network Management Protocol [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2002, 22(3): 3684-372. (in Chinese)
- [10] LIU Y SH, SU W X, WANG C X, *et al.*. Application of linear CCD image processing on self-collimation measurement of angle[J]. *Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, *IEEE*, 2012: 558-561.

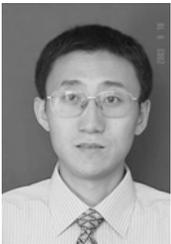
#### 作者简介:



刘玉生(1986—),男,四川内江人,博士研究生,助理研究员,2011年于中国科学院大学获得硕士学位,主要从事光电测量、嵌入式系统等方面的研究。E-mail: lewisn@163.com



苏宛新(1962—),男,河南新野人,研究员,硕士生导师,1985年于长春光机学院获得学士学位,主要从事光电瞄准、嵌入式系统等方面的研究。E-mail: ccswx@163.com



王志乾(1969—),男,吉林省吉林市人,博士,研究员,博士生导师,2009年于吉林大学获得博士学位,主要从事光电瞄准、数字信号处理等方面的研究。E-mail: zhiqianwang@sina.com