

文章编号: 2095-4980(2017)06-1050-05

## 综合分级控制系统的实现

蔡文斋, 程西娜, 章 秦

(中国电子科技集团公司 第39研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 该计算机监控系统为大型、综合类天文应用控制系统研制, 整个项目为科学院系统某深空探测工程, 整个监控系统由几十台计算机组成, 监控系统分4级控制, 其中站级2级, 控制中心2级。讨论了该大型监控系统的设计方法, 使用统一界面、统一服务的策略设计整个监控系统, 使用后台服务技术提供每级监控程序网络读的策略、统一发送函数网络写技术、INI文件存贮配置参数技术, 使用内存对齐完成协议级解码技术, 使用一机多屏显示技术展现多屏界面显示效果等。其结果可将所有各级监控程序设计为一个统一体, 在不同级别、不同地域只执行这个统一系统软件即可, 程序根据配置文件选择各自的业务需求。这样程序员开发工作量大减, 联试与正式任务执行既快捷又形式统一。

**关键词:** 分级控制; 航天测控; 射电天文学; 多屏显示; INI文件; Indy组件

**中图分类号:** TN820.4; TP29

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201706.1050

## Implementation of comprehensive hierarchical control system

CAI Wenzhai, CHENG Xina, ZHANG Qin

(The 39th Research Institute of CETC, Xi'an Shaanxi 710065, China)

**Abstract:** The project is designed for a large scale comprehensive astronomical application control system, which is part of the deep space exploration project in Academy of Sciences. The whole monitoring system, consisting of dozens of computers, is divided into four levels control. Two levels are station, other two levels are the control center. The station equipment computer system is developed by multiple institutes. The design technique of this large monitoring system is discussed. The strategies are utilized such as using background service technology to fulfill the network reading of each monitor application level, using INI files to realize saving configuration parameters, applying the memory alignment technique to accomplish the decoding of the protocol level, employing the multi screen display technology to fulfill the display of the interface. The monitoring program is designed as a whole, which means only needing to execute the unified system software in any level, any region. The programs select business requirements according to the configuration files respectively, which can reduce the workload of programming. The joint-test is quick and in a unified form.

**Keywords:** hierarchical control; aerospace measurement and control; radio astronomy; multi screen display; INI file; Indy

某航天天文类项目使用分布于全国各台套天线设备完成卫星及射电源探测任务, 其中监控系统为多台套、四级系统, 通信线路使用专线网络连接, 各监控子系统完成不同监控任务。要求作者团队研发出多级系统监控软件, 其中控制中心及各子系统在西安布局, 站级及设备级监控系统在全国多地布局, 每级监控内容不同, 设计界面亦不相同。作者分析了整个系统需求后, 提出了统一设计, 依据各级具体监控内容在界面上选择的方法, 将所有监控软件设计为一个统一体的方案<sup>[1]</sup>。

### 1 总体需求

控制中心(main control center)为信息处理中心, 监视联入系统的所有分系统及各分机设备, 可以直达设备级

的监视。分系统(sub system)完成对各站控设备的监视,对测轨、定轨和数据库等分系统的监视; $U_n$ 表示有多台。站级监控系统(station monitoring system)分布于全国不同地域,主要完成对各种天线设备、天文类记录设备、制冷设备、变频器设备、天文类其他监测设备的远程监控,不但要完成各设备的手工监控,而且要完成轨道文件的装载、天文纲要文件的解析、全自动控制任务执行, $S_n$ 表示有若干台。设备级监控系统(device monitoring system)分布于全国不同地域,主要完成对各种天线设备、公共气象设备、公共时频设备、公共 UPS 电源设备的监视及告警, $D_n$ 表示有若干台;其中站级监控与设备级监控是一一对应的关系。大系统结构见图 1。

## 2 系统硬件设计

整个系统基于网络运行,使用专用网络线路连接,专线使用路由器及网络交换机连接设备,该部分建设由总体单位负责,不在大监控系统工程项目之中,各级监控计算机全使用交换机连接。

设备控制级计算机及站级分系统分别布局于外站,分布于我国多地,为了论述方便,分别简称为:设备控制机  $DevNi$ 、站级控制机  $StaNi$ 、子系统  $SubNi$ 、总控  $MainALL$ 。 $Ni$  代表有多台电脑。

a)  $DevNi$  监控对象为公共设备、时钟设备、气象信息设备、UPS 设备(不间断电源系统)。

b)  $StaNi$  站级分系统布局在各测量站,每站一台设备,负责监控天线系统信息、变频器设备信息、制冷系统设备信息、天文测量设备信息,通信为双向,既要监视,又要控制。

c)  $SubNi$  为多台套电脑,该计算机部署于西安总控中心,该子系统连接全国多个不同站、不同种类的站级监控系统。主要监控功能为收集各站从远端传来的各种信息,完成处理、监视、数据存贮并上报给总站。

d)  $MainALL$  为一机四屏显示系统,该计算机部署于西安总控中心,其中有 1 个大屏显示墙,主要功能为:完成对系统所有设备的监视并可上报给上一级总站。

项目总目标:建立一个大型监控中心及在全国其他多地建立一系列监控分机,完成对全国相关几十台深空天文类探测天线的统一设备管理及监控,完成对各种其他相关设备的管理及监控。作者团队负责系统开发并实现对系统内大部分监控系统的实现,其中部分站级和设备级监控系统由其他研究所人员设计,整个监控系统为 4 层,各层实现功能各不相同。项目启动于 2013 年 10 月,要求 2014 年 12 月前完成出所验收,2015 年开始逐步布局于我国多处并逐步完成大系统联试。

分析了各级监控对象业务要求后,将这些监控系统设计为一个统一体,由主图形界面图形按钮点击进入各自的监控系统。整个系统软件分为 2 大部分,由内核层及业务逻辑层构成。内核层完成功能为:Windows 内核对象管理,线程及调度,通信管理,异常机制,存贮机制实现。业务逻辑层完成功能为:界面设计,交互操作,具体的数据存贮实现,具体业务逻辑实现。整个监控系统设计的难点主要为:整个软件体系架构设计,网络通信系统的灵活配置,全站仿真调试及实现,一机多屏控制显示的实现。

## 3 系统软件设计

整个监控系统使用 Delphi 开发,将整个监控系统软件设计为一个统一体软件,使用单进程多线程方式建立应用软件,软件系统由一个统一初始界面加载,进入后依据配置点击各自图标进入自己的监控系统,二级界面即变为自己的真正界面。

这 4 层监控软件从任一计算机接口观察(无论它处于哪一层中),形式化的接口应该为:由  $Mi$  路输入,  $Ni$  路输出,每路为网络用户数据包协议(User Datagram Program, UDP)通信。设计了后台 48 路网络服务器用于整个监控工程网络数据读取,对某台监控软件,在软件开始执行后,首先配置该监控程序读地址及端口。配置该监控系统需要的网络服务端口,使用 Delphi 开发工具中的属性页编辑器技术编写这部分代码,见图 2。系统中每台电脑输入、输出路数是不同的,统一的网络地址配置定义了各台电脑的这种连接关系。该层服务器读函数一旦收到网络数据,首先判断来自哪个地址,这样在分派函数中可以有效完成信息正确分配。

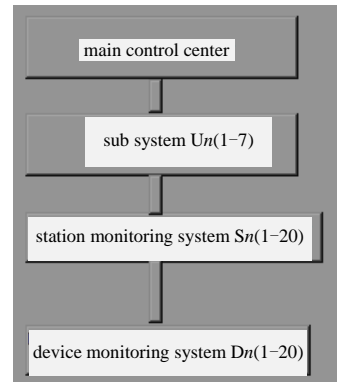


Fig.1 System structure  
图 1 大系统结构图

硬件相关处理机	192.168.2.205
后相关处理机	127.0.0.1
西安数据管理上位读地址	
服务器 1---IP1	192.168.2.205
服务器 1---IP2	192.168.2.205
服务器 2---IP1	192.168.2.125

Fig.2 Network address configuration  
图 2 网络地址配置界面

从业务逻辑层来看,业务逻辑层软件模块不涉及任何有关的网络通信内容,核心层将数据读到,将用户需要读入的缓冲区内容放置好,发用户定制的消息给前台<sup>[2]</sup>,这样前台和后台就实现了脱离。

用户层从读消息中得到通知及数据,剩下的工作就是对数据的加工处理、交互操作等内容,不再赘述。

各级监控系统使用网络点对点的 UDP 通信方式,对某 1 台控制计算机而言,从链路上观察就是几对网络逻辑链路,1 对网络逻辑链路关联到 2 个数:IP 地址与端口。图 1 中各系统每级联接的设备各不相同,设备数量也不相同,这样任一款控制计算机可能的连接方式为  $N(1$  到多个)个 Socket 套接字,每级连接的逻辑线路都各不相同,有些只有几路,有些有几十路之多,各级信息都是统一组包后再传给上一级,凡上一级监控系统均可监控到每个相关的下一级设备。网络信息读取使用服务器开发思路设计,首先设计一组抽象的网络读服务器,该服务器为整个系统提供网络读服务支持,使用 Indy(internet direct)组件设计了一个 48 路服务器(48 路 Socket)。Indy 组件包是由国际开源组织开发的全套网络组件库,已经内置在 Delphi 开发环境中。使用 IdUDPServer 组件完成网络读,配置完 IdUDPServer 组件后,重载服务器读消息函数方法,得到从网络传来的数据,该方法是后台线程自动激活的,只要网络开放的端口有数据传来,则函数自动调用,这样开发者重载该方法后就自动读到了数据,不需要再写网络读函数。这是一种回调函数机制,不同于一般的网络读函数,开发者无需再写专用的网络读语句。使用 Indy 的 IdUDPClient 组件完成网络发送。服务器及客户端组件均与具体通信协议无关,与控制工程无关。这 48 路服务器设计为独立的调试界面,可以在联试或者开发时帮助程序员或者维护工程师监测网络收发方的通信状况。Indy 的网络 UDP 通信方法不同于一般的 windows 网络通信函数,该组件库使用极少的代码就实现了网络通信。对开发者而言,这样减少了许多工作量。

服务器解码函数是网络通信中的关键,该函数在每个 UDPServer 组件的网络读消息中调用<sup>[3]</sup>。该函数功能为:依据服务器号、监控程序索引号,将网络中读到的缓冲区内容分发给具体监控程序内容结构。函数实现部分太长,仅给出实现要点:调另一个内联函数完成调试器部分的显示(与具体控制工程无关部分),依据服务器号,控制工程号分发定制的用户消息给不同的业务逻辑窗口。

#### 4 业务逻辑设计与调试

上述服务方法解决了任一台网络设备计算机网络数据读的问题( $M_i$  路输入,这个  $M_i$  是个变量),每台电脑开放  $M_i$  路端口,一旦读到数据,首先由内联函数完成调试器窗口的显示及处理,然后调分派函数完成对具体业务逻辑窗口的用户消息发送。

在各业务逻辑窗口内,编写网络读用户消息处理函数,该函数是自动调用的,一旦消息调用,表示网络通知已经到达,网络读的所有数据已经准备就绪,业务逻辑用户界面仅对这些数据进行处理,不关心这些数据是怎样读来的,内核与业务逻辑部分的联系就是这个用户消息,这样团队开发时各开发者仅编写好自己的部分代码即可。

各级监控系统的控制部分就是网络发送,该部分写为统一的写网络函数,形式函数为 WriteNet(IP:ip 地址;PORT:端口;Buffer:发送缓冲区指针;Length:发送长度);在调用之前,调缓冲区填写函数完成协议级数据填写,这样虽然各级的控制命令不同,每台电脑写的网络路数不同,但只要写为函数形式,将使得编写代码工作量减小。

站级监控系统中自动化流程的实现是系统开发中较困难的一部分。根据天文的纲要文件,首先解析出一天或者几天的任务计划,要求软件按照该文件自动完成各相关天线设备对射电源或者卫星信号的自动跟踪,在站监控软件界面上点击开始按钮后,软件进入全自动模式工作,界面上显示出本次任务号、任务执行时间、下次任务倒计时等信息。每到任务开始执行时间,自动程序设置各硬件传感器物理参数,转动天线到轨道所指向的位置,开放一系列相关传感器开关等动作。作者团队使用 NiceGrid 组件及一系列函数实现了该部分<sup>[4]</sup>,执行自动流程时,界面表现清晰明了。图 3 为效果图。

为保证软件系统的安全和可靠性,要求各程序员务必使用 Try 结构技术,使用多种异常处理代码内嵌在程序多处,使用多个状态指示灯显示异常信息,这样程序执行后可直观显示各异常,用户可以随时掌握软件动态<sup>[5]</sup>。

为使各监控系统编程风格一致,设计了统一的数据结构定义,写为 INC 文件(include 文件,在 pascal 语言中简称为 INC 文件),这几十个 INC 文件分别对应不同的监控系统软件,在联调时一目了然,使用这样的方法,不再为通信协议更改后需要更改软件本身发愁了,因为只更改该 INC 文件中定义的文件具体位置的元素定义,

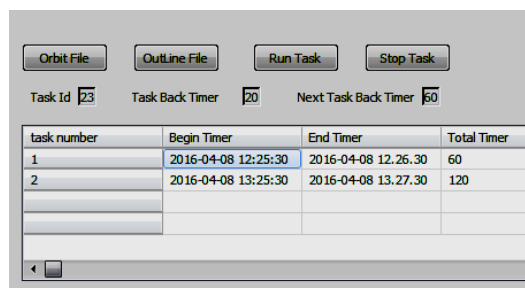


Fig.3 Automatic running  
图 3 自动流程执行效果图

对软件其他部分的更改极小,采用这样的技术,各级程序员修改程序时不影响软件其他部分。

每个监控系统的显示也统一设计为同一显示函数名称, `displayValue`(界面显示组件指针,显示值指针,显示参数数量)函数为该 `FORM` 类的私有函数,形式一样,但内容各异。函数在调用前,具体业务逻辑块将自己的界面元素值赋给函数的界面显示组件指针数组,变动的值赋给值指针,需要显示的参数数量赋给显示参数数量,这样整个软件系统书写风格一致,虽然看起来调用代码一样,但显示效果却不同,这个统一的显示函数解决了所有界面的显示问题,界面开发者只负责设计界面元素,诸如底色、字体大小颜色、组件布局等等,不需要管理动态数据显示,在集成开发者这里,通过调用 `displayValue` 函数就自动驱动了数据显示,这使得各级监控程序代码简洁明了。

为了快速调试出这些各级监控程序,团队开发了专业级的调试工具软件,具有接口协议定制功能,这样大系统就可以在实验室快速调出,在联试阶段节约了大量时间。调试工具研发略之。

## 5 关键技术之一:一机多屏控制显示的实现

对总监控系统而言,需要显示的信息很多,1个物理屏远不能满足要求。系统使用1个控制计算机,4个显示屏显示的策略,其中4个显示屏中有1个为大屏幕显示墙,系统设计完成后,希望达到若干逻辑显示界面可分别投在这几个不同物理显示屏上的目的。作者团队原计划在市面上购买一款硬件切换显示装置来完成此功能,经调研均不能实现灵活切换的目标。后来采用软件方法解决了此专题。

市面上有多款一机四屏专业显示卡,控制显示逻辑需要软件完成。将此专业卡配置为  $4 \times 1\ 280 \times 1\ 024$  显示模式,其中第1部分显示区作为主控界面,界面显示信息及控制切换全在第1部分,其他3个界面部分设计为可变部分。作者对该类问题进行了深入分析后,编制了  $m \times n$  矩阵控制逻辑,主要体现为2个函数:第1个函数用于构造  $m \times n$  单位矩阵,第2个函数用于分派定位显示区。使用 `BergSoft Suite` 组件中 `NextGrid` 作出如图4所示的控制界面<sup>[6]</sup>(这里以3个可变屏、7个逻辑界面为例说明,函数值按  $m \times n$  式矩阵操作,已经做了统一扩展处理),从任一行某列选中后,其他行对应其他列全不能选中,这样才能保证一一对应关系(逻辑界面与物理显示屏之间)。这2个函数书写代码太长,仅给出实现功能的思路。

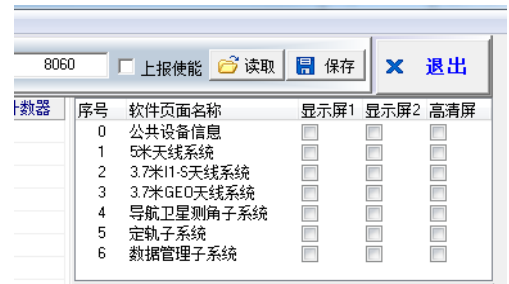


Fig.4 Control interface of multi-screen display  
图4 多屏控制界面

## 6 结论

作者将此大型、分级监控系统进行了统一设计,首先从方法上提出了抽象后台服务加灵活业务逻辑配置化管理策略,解决了所有网络读问题;使用通信公用化数据结构到具体监控专业结构内存复制技术,解决了协议解析问题;使用用户消息技术,完成后台网络通信与前台界面交互部分的通信问题<sup>[7]</sup>;使用一机多屏技术,解决了多种监控信息统一灵活显示问题。为了快速研发出该系统工程,作者在该系统内特殊设计了仿真调试器,帮助程序员及测试员调试到通信的位级。文中略去了各具体业务逻辑实现部分,仅从开发方法上论述了设计,目前系统中部分监控系统已陆续运行,部分监控系统仍待整个系统其他各分机制作完成后联试,已初步移交给用户使用。整个监控系统执行时开始界面相同,点击各自的监控系统图标即变为各自的监控系统,虽然从软件配置项上分为几十套监控系统,但统一设计后代码量大减,易于维护。希望该文对读者诸友有益。

### 参考文献:

- [1] (美)斯宾耐立思,(美)郭西奥斯. 架构之美[M]. 王海鹏,蔡黄辉,徐锋,译. 北京:机械工业出版社,2010. (DIOMIDIS Spinellis, GEORGIOS Gousios. The beauty of the structure[M]. Translated by WANG Haipeng, CAI Huanghui, XU Feng. Beijing:China Machine Press, 2010.)
- [2] MARK Russinovich, DAVID Solomon. 深入解析 Windows 操作系统[M]. 4版. 潘爱民,译. 北京:人民邮电出版社,2014. (MARK Russinovich, DAVID Solomon. In-depth analysis the windows operating system[M]. 4th ed. Translated by PAN Aimin. Beijing:Posts and Telecom Press, 2014.)
- [3] 王艳平. Windows 网络与通信程序设计[M]. 2版. 北京:人民邮电出版社,2009. (WANG Yanping. Network and communication program design[M]. 2nd ed. Beijing:Posts and Telecom Press, 2009.)



- [4] 郑阿奇. Delphi 实用教程[M]. 北京:电子工业出版社, 2008. (ZHEN Aqi. Delphi practical tutorial[M]. Beijing:Electronic Industry Press, 2008.)
- [5] 赵晓玲. 可视化程序设计—Delphi[M]. 北京:机械工业出版社, 2005. (ZHAO Xiaoling. Visual programming—Delphi[M]. Beijing:China Machine Press, 2005.)
- [6] 周爱民. Delphi 源代码分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2004. (ZHOU Aimin. Delphi source code analysis[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2004.)
- [7] 朱汉民. Delphi7 高级应用开发教程[M]. 北京:科学出版社, 2006. (ZHU Hanmin. Delphi7 advanced application development tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2006.)

#### 作者简介:



蔡文斋(1962-), 男, 安徽省宿州市人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 航天测控工程开发研究、工程控制类应用开发研究、软件测试、新技术在工程化中的应用研究. email:122790435@qq.com.

程西娜(1983-), 女, 湖南省湘潭市人, 硕士, 工程师, 研究方向: 航天测控工程开发研究、应用软件开发、软件测试.

章 秦(1978-), 女, 福建省莆田市人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 航天测控工程开发研究、应用软件开发、天线类测控项目实施.

\*\*\*\*\*

### “第十四届卫星通信学术年会”征文通知

第十四届卫星通信学术年会拟定于 2018 年 3 月 22 日在北京召开。本届年会将由中国通信学会卫星通信委员会和中国宇航学会卫星应用专业委员会共同主办, 年会面向各界公开征集论文, 现将有关事项通知如下:

#### 一、征文范围 (包括但不限于):

- 1、卫星通信和通信卫星新理论、新技术及发展前沿;
- 2、卫星通信、卫星广播融合卫星导航及卫星遥感技术在各领域中的应用;
- 3、卫星移动通信新技术发展及与陆地移动 4G、5G 系统的融合互联;
- 4、卫星通信在大数据、云计算、互联网+和移动互联网时代的技术应用及技术特点;
- 5、S 波段移动卫星通信和 Ka 波段 HTS 卫星通信技术与发展;
- 6、量子通信和激光通信卫星等新技术和新业务;
- 7、卫星通信在航空、航海、极地科考、深空探测和其它领域的应用;
- 8、小卫星及星座技术的新发展和应用;
- 9、软件定义的卫星通信系统及终端;
- 10、卫星通信系统中的天线、功放、变频、调制解调器新技术及应用;
- 11、卫星轨道频谱资源的研究和有效利用;
- 12、卫星通信的标准化及互联互通;
- 13、先进的卫星通信系统、地球站设备及技术 (包括全 IP 等各类协议及灵活的网络拓扑结构和管理形式);
- 14、卫星通信信号分析/处理新技术;
- 15、卫星通信的军民融合应用与发展;
- 16、卫星通信产业化发展及创新。

#### 二、来稿要求:

- 1、内容新颖具体, 突出作者的创新与成果, 具有较高的学术价值与应用推广价值, 体现学术和应用上的前瞻性, 且未在国内公开发行的刊物或会议上发表或宣读过。文稿应通过保密安全审查, 文责自负。
- 2、应征论文应在 3000-6000 字, 要求主题明确、文字通顺; 图中符号与文章中的一致; 文章内的名词术语、公式符号统一; 文章字体字号: 题目为黑体小二, 正文为宋体五号。
- 3、论文投稿为中文全文投稿方式, 投稿稿件请用 Word 排版。
- 4、论文需按如下顺序撰写: 题目、作者姓名、作者所在单位、城市、邮编、摘要、关键词、正文、参考文献、作者简介(姓名、性别、职称、职务、研究领域); 中文论文需提交其对应英文题目、作者姓名、单位、摘要和关键词。
- 5、所有论文必须提供至少一个可靠的 E-mail 地址, 并在稿件最后注明联系人详细的联系方式, 包括详细的通信地址、邮编、联系电话、手机、电子邮箱等。

三、重要日期: 论文截稿日期: 2018 年 2 月 23 日 出版日期: 2018 年 3 月 21 日 会议日期: 2018 年 3 月 22 日

#### 四、论文出版:

- 1、编印“第十四届卫星通信学术年会论文集”, 所有收录文章将被 CNKI 重要学术会议论文数据库全文检索;
- 2、年会将评选优秀论文并向相关核心期刊推荐, 包括已获 SCI 检索的《China Communications》英文刊及其它出版机构 (需同时提交英文文稿)。

五、联系方式: 翟峰 手机: 13901128671 电子邮箱: csatcc@126.com

中国通信学会卫星通信委员会  
中国宇航学会卫星应用专业委员会