

文章编号: 1672-2892(2010)03-0360-04

## 大型系留气球测控系统软件设计

林回祥, 朱 弘

(中国电子科技集团 第38研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 大型系留气球长时间滞空的特点, 决定测控系统的稳定和可靠工作非常重要。根据大型系留气球测控系统的组成与软件体系结构, 提出球上测控软件(包括初始化、通信处理、数据处理、气球控制、通信电台控制和应急处理)、地面显控软件的设计要点。工程实践表明, 双路冗余设计是增强大型系留气球测控系统可靠性的有效手段。

**关键词:** 大型系留气球; 测控系统; VxWorks 操作系统; Flash; OpenGL 技术

**中图分类号:** TN306; TP399

**文献标识码:** A

## Software design of measure-control system for large tethered balloons

LIN Hui-xiang, ZHU Hong

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei Anhui 230031, China)

**Abstract:** A distinct characteristic of large tethered balloons is floating for a long time in the sky, which determines that the measure-control system working steadily and reliably is especially important. Based on the makeup of measure-control system of large tethered balloons and software architecture, some design considerations and engineering realization methods for measure-control software on balloon (including initialization, communication process, data process, balloon control, communication station control and emergency treatment) and display-control software on ground were presented. It is proved that dual redundant design is one effective way to improve the reliability of measure-control systems of tethered balloons by engineering practice.

**Key words:** large tethered balloons; measure-control system; VxWorks; Flash; OpenGL

系留气球气囊中的氦气, 其密度小于空气密度, 可使浮力大于自身和任务系统的重力并有一定剩余, 在牵引绞盘、系留缆绳的牵引下, 可实现系留气球升空、下降及空中停泊等技术动作, 满足任务系统在空滞空工作的需要。

相比其他浮空载体, 系留气球的优势在于研发周期短, 维护成本低<sup>[1]</sup>, 更重要的是系留气球可以长时间滞空, 只要气象条件允许, 根据气球大小及负载轻重, 其滞空时间可以从几天到几十天不等。在美国, 系留气球已经被广泛应用于军用及民用的各个领域<sup>[2]</sup>。

大型系留气球的系留方式为阵地式, 载重大, 滞空时间长, 抗风能力强。测控系统作为系留气球系统正常工作的核心, 主要作用是提供智能的状态检测与自动控制手段, 保障气球安全、稳定地运行。

### 1 测控系统组成

大型系留气球具备较强的抗风能力, 其系留方式为阵地式, 整个系留气球系统主要由系留气球、控制舱、地面控制中心 3 大部分组成。相应地, 测控设备可以分为球上测控设备、控制舱监控设备、地面控制中心显控台 3 部分。球上测控设备的主要任务是控制各传感器单元采集气球环境、压力、姿态等状态参数, 并根据球上各个状态参数的变化发出必要的控制命令, 球上的所有状态参数和命令信息要通过无线数传电台传到地面; 控制舱监控设备主要是采集地面系留设施及供电系统的各种状态参数; 地面控制中心的显控软件综合球上状态数据、地面系留设施参数、地面环境参数等, 为操作员提供人机交互接口。

## 2 测控系统软件设计

### 2.1 软件体系结构及模块划分

提高测控系统的安全性和可靠性是测控系统设计的重点与难点,在关键设备上采用了二余度<sup>[3]</sup>冗余设计。热冗余的 2 套设备协同工作,以一方为主,另一方作为热备份,作为热备份的设备在必要时能够实时完成切换以接管所有工作。如图 1 所示,冗余设计主要包括地面显控台、无线数传通信电台、球上测控计算机、空气压力采集、执行机构双路控制板等。

根据系统布局及计算机硬件平台不同,整个测控系统可分为球上测控软件、地面显控软件、控制舱监控 3 个模块。其中球上测控软件和地面显控软件是整个气球测控系统的核心部件,而控制舱监控主要采用 PLC 控制,因此功能相对简单。球上测控软件要求具备很高的可靠性及稳定性,并具有多任务实时处理的能力,因此采用 VxWorks 操作系统。地面显控软件设计遵循人性化、友好性原则,采用最通用的 Windows 平台。球上球下的通信设备使用高速数传电台,接口为 RS422,波特率为 512 kps。

### 2.2 软件数据流程

两路通信电台构成了地面控制中心和球上测控系统之间正常通信和备用通信 2 条链路。由于通信电台收发频率是一样的,因此其数据传输模式为半双工。为了保证上传控制命令与下传的状态数据不发生冲突,必须对双向的数据进行合理的调度,这里球上球下的数据传送采用询问应答模式来解决数据冲突问题。工作时,正常通信和备用通信两路通信链路在同一时刻只有一路处于饱和收发状态,而另一路则处于空闲状态,只收发少量的链路维护信息。当处于工作状态的通信链路发生故障时,软件则自动切换到另一通信链路继续工作。图 2 所示为使用正常通信电台的情形,地面主显控台(图中简称为主控台)向球上计算机 1 发出状态请求询问命令,随即进入等待回馈数据状态;球上计算机 1 收到询问命令后立即把当前各种状态参数打包作为应答信息通过通信电台传到地面主显控台。这样 1 个往返周期大概需要 200 ms,因此显控台上传数据包间的时间间隔不能小于 200 ms,否则就会发生数据冲突,软件实际设定值为 300 ms,同时备用通信以 1 Hz 的频率来进行球上球下的链路维护检查。除了球上、球下无线数据交互外,球上计算机 1 和计算机 2 及地面主控台和辅控台之间也必须实时地交换各种状态参数及控制命令表,以保证所有的备份设备始终保持最新的气球状态信息。

### 2.3 球上测控软件设计

球上测控软件采用 VxWorks 操作系统,其中主要内容包括板级支持包 BSP(Board Support Package)的定制、软件任务的划分。BSP 是介于主板硬件和操作系统之间的一层,是属于操作系统的一部分,主要目的是为了支持操作系统,使之能够更好地运行于硬件主板<sup>[4]</sup>。BSP 主要是用于在操作系统、上层应用程序与底层硬件之间提供访问接口。球上所用的计算机是基于 PC104 总线的 MSM586SEV,存储介质为 32 MB 的固态电子盘(Disk-On-Chips, DOC)。选择支持该处理器架构 BSP 后,根据需要修改 config.h 文件,改变缺省配置,主要包括内存配置、启动设备及参数配置、外围设备驱动及参数配置、文件系统配置等。

球上测控软件按功能及处理流程可划分为:初始化单元、通信处理单元、数据处理单元、气球控制输出单元、通信电台控制单元、应急处理单元。

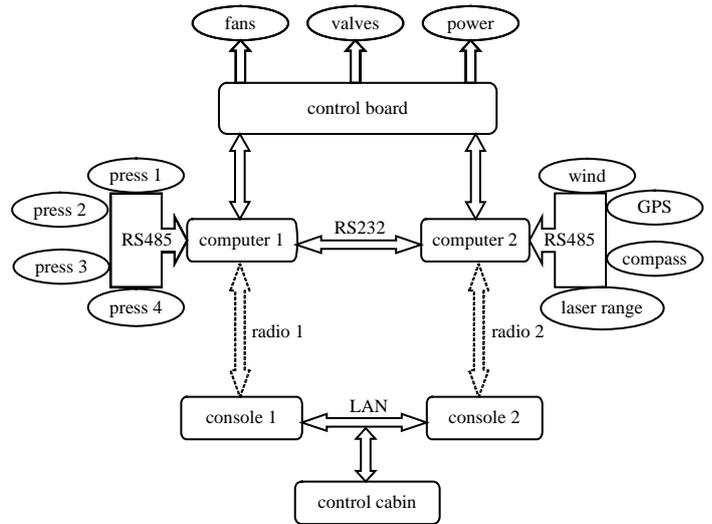


Fig.1 Configuration of measure-control system  
图 1 测控系统组成

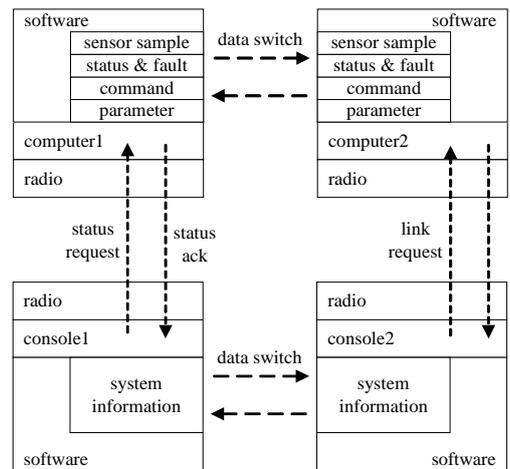


Fig.2 Data flow of normal communication  
图 2 正常通信状态数据流

初始化单元：各个通信串口的初始化，网络的初始化，风速风向仪、GPS、电子罗盘、差压传感器等参数采集初始化，控制参数的初始化等。

通信处理单元：485/422 串口收发控制、网络收发控制、通信数据报文检测处理。

数据处理单元：数据解析及分发处理，球上重要参数的存储等。

气球控制单元：执行地面显控台发出的控制命令，及在自控模式下根据气球状态参数的变化对执行机构发出控制命令。

通信电台控制单元：电台工作频率控制、抗干扰模式设置、故障自检及恢复控制。

应急处理单元：实时判断气球状态参数的安全边界，对极端情况按设定的应急处理原则进行自动控制处理。

## 2.4 地面显控软件设计

### 2.4.1 人机界面设计

人机交互界面设计原则是：控制操作方便，友好；状态显示直观，易懂；信息表示层次清晰，主次分明。为此，显控软件以 Flash 技术来表示出气球各个状态参数，同时对气球姿态等关键参数通过 OpenGL 技术来实时输出三维姿态变化。Flash 与 Visual C++6.0 的通信是通过 Shockwave Flash Object 控件来实现的<sup>[5]</sup>，Flash 中使用函数 fscommand(command:String, parameters:String)发出消息给 Visual C++6.0 程序；而 Visual C++6.0 使用 OnFSCCommandMonitorFlash(LPCTSTR command, LPCTSTR args)函数来响应 Flash 所发出的消息。Visual C++6.0 程序使用 SetVariable(LPCTSTR name, LPCTSTR value)及 TSetProperty(LPCTSTR target, long property, LPCTSTR value)函数来改变 Flash 里各个影片剪辑<sup>[6]</sup>的属性及变量，从而改变 Flash 的动画显示状态，以实时反映出气球实时的状态信息。

气球状态三维显示的信息主要包括气球三维姿态信息，风机、阀门等执行机构控制信号的执行情况，以及系统重要故障检测信息。考虑到系留气球系统模型的复杂性，项目中采用 3DS MAX 建立系留气球模型。3DS MAX 的特点是可以根据对象方便、直观地构造模型，模型的外观很精细，同时可以保留很多细节。但是利用它建模也有一个弱点，模型的运动过程只能预先设定而不能交互控制。因此一种较好的解决办法是先用 3DS MAX 专业三维建模软件建立模型，然后通过 OpenGL 来控制系留气球的三维模型。这样做的优点是既利用 3DS MAX 建立模型方便快捷的特点，又利用了 OpenGL 容易实现交互性的特点，趋利避害，达成直观可靠的气球三维动态模型。其原理流程如图 3 所示，首先用 3DS MAX 软件建立气球模型，再把模型转换为 OpenGL 能处理的 3ds 格式文件<sup>[7]</sup>，然后 OpenGL 以气球姿态角、风机阀门动作等状态参数作为输入实时处理气球模型，最后通过双缓存交换输出显示<sup>[8]</sup>。

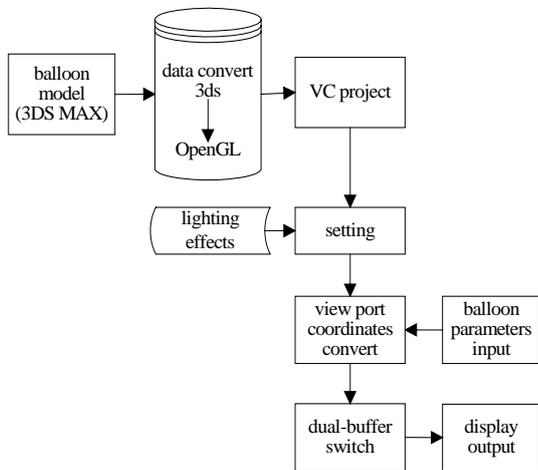


Fig.3 Design flow of 3-D display  
图3 三维显示设计流程

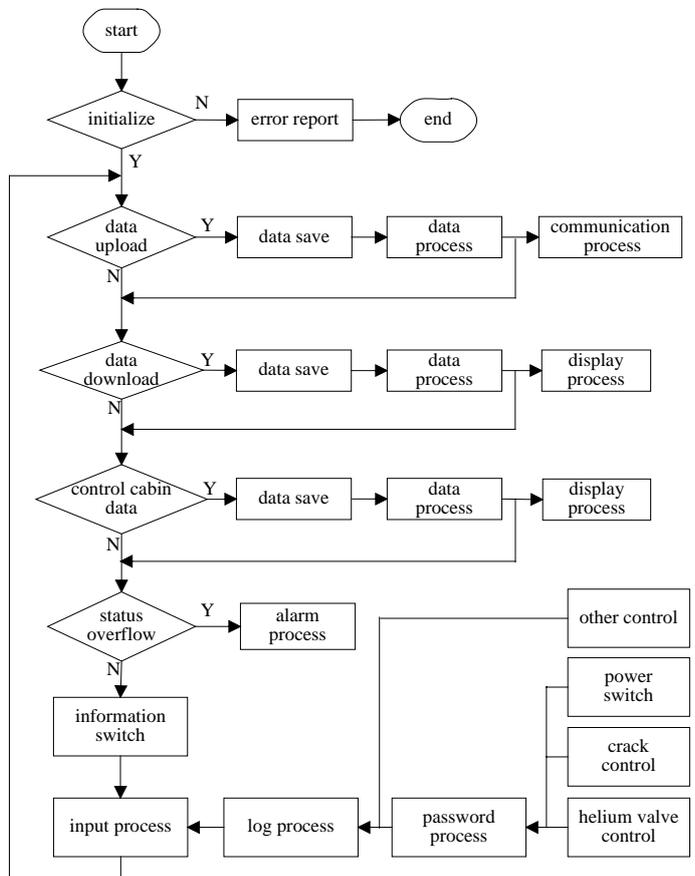


Fig.4 Flow of display-control software  
图4 显控软件运行流程图

### 2.4.2 软件运行流程

如图4所示,程序开始运行后首先是系统初始化,包括数据库初始化、通信串口初始化、通信模式初始化、Flash显示及三维模型的初始化。

如果初始化失败,则给出错误报告,程序退出执行。初始化成功后,系统进入了正常的工作模式,此后主程序分别处理上传数据、下传数据、控制舱数据的通信、存储、显示功能,其中显示处理就包括之前所描述的Flash处理及三维显示处理。

为了便于操纵员使用及设备维护,显控软件必须对接收到的关键状态参数进行安全性判定,如果气球姿态、气球压力、缆绳倾角、大气风场等关键参数超出安全告警门限,则必须触发声光报警器,以提醒值班人员采取必要的应对措施。显控台信息交换是为了保持多个显控台之间信息数据的一致性。显控软件除了接收外部数据进行状态指示外,还有一个很重要的功能是接收操作员的人工干预命令,其中氦气阀门控制、供电切换控制、撕裂幅开关控制等与气球安全相关,因此此类操作需要进行密码验证处理,而其他阀门、风机等常用执行机构则可直接发送处理。所有的操作命令都入库保存,以备查询。整个测控系统的状态数据的更新率不小于1 Hz,控制命令的延迟不超过300 ms。

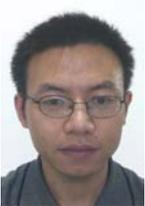
## 3 结论

本文根据大型系留气球的特点及工程需求分析了测控系统软件设计关键技术及要求,提出了一些大型气球测控软件的设计方法及工程实现技术,这些方法和技术很好地满足了大型系留气球对测控系统高可靠性、高安全性的要求,而据此开发的测控系统软件具备人机交互性强、简单易用等特点,这对于大型系留气球的推广应用具有一定的促进作用。

### 参考文献:

- [1] 贾重任. 浮空器在武器装备信息化中的优势分析[J]. 飞机设计, 2004(3):25-26.
- [2] 王鑫. 浮空器再度演绎经典传奇[J]. 现代军事, 2003(2):27-28.
- [3] 杨伟, 章卫国, 杨朝旭. 容错飞行控制系统[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2007.
- [4] WIND RIVER. VxWorks BSP User Guide:Tornado2.2[R]. Alameda:Wind River Systems, Inc., 2002.
- [5] 武新华, 段玲华, 翟长霖. Flash 8 ActionScript 交互特效设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [6] 李东博, 张亿东, 宋智玲. 中文版Flash MX 基础与实例教程[M]. 上海:上海科学普及出版社, 2004.
- [7] 和平鸽工作室著. OpenGL 高级编程与可视化系统开发(高级编程篇)[M]. 北京:中国水利出版社, 2006.
- [8] 黄广正. 可视化OpenGL程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.

### 作者简介:



林回祥(1978-),男,福建大田人,硕士,工程师,主要从事浮空器控制系统、雷达监控系统、雷达数据处理等软件开发设计.email:xiangzilin@163.com.

朱弘(1974-),男,安徽安庆人,硕士,工程师,主要从事浮空器控制系统、军用地面雷达监控系统的设计开发。