

文章编号: 1000-8349(2007)04-0384-08



# 昆明 VLBI 观测站终端控制软件的设计

王 涛

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

**摘要:** 针对昆明 VLBI<sup>[1]</sup> 观测站终端设备 (S3 数据采集系统) 的特殊性, 设计在标准的终端控制计算机 (Field System) 上能够控制相应硬件设备的软件。S3 数据采集系统包括 SX 接收机、中频分配器、视频转换器、时延计数器、噪声控制开关和气象数据自动采集仪。设计过程中, 考虑到软件的可读性和可维护性, 各种设备分别用相应的子函数来完成具体功能, 各子函数由主程序调用。在完成程序安装后, 经测试能与 S3 数据采集系统进行良好的通讯, 达到控制各硬件设备的目的及满足实际测控工作的需要。

**关键词:** 天文观测设备与技术; 甚长基线干涉测量技术 (VLBI); S3 数据采集系统; 控制软件  
**中图分类号:** P228.6      **文献标识码:** A

## 1 引 言

根据我国“探月计划”发展规划, 云南天文台将建成口径 40 米的射电天文望远镜, 此望远镜将作为我国自己的 VLBI 网中的一员为“探月计划”服务。同时, 国家天文台新建成的口径 50 米的望远镜, 连同已有的上海和乌鲁木齐的 25 米望远镜, 组成我国自有的 VLBI 网, 完成 VLBI 测轨及数据接收任务。

昆明站的 40 米望远镜采用原流动站的终端系统, 即 S3 数据采集终端系统 (经过了适当的改造)。由于该系统之前应用独立的控制软件, 不能满足联测任务的要求。所以, 本设计的目标就是在标准设备控制软件 (FS 计算机的标准控制软件) 的基础上, 开发出满足要求的控制软件。通过对流动站硬件设备的了解, 掌握其一般原理, 将完成独立功能的各函数、程序结合在一起, 形成完整的本地站程序, 实现整个终端系统的自动化控制。

昆明观测站的终端设备之所以要用 FS 标准机来控制, 主要有以下好处:

1) 可以使用国际标准的 drudg 程序; 对于每一个实验的观测纲要文件, 都能自动生成标准的 snap 文件和 proc 文件。每次实验前不必编制专门的过程控制文件和 snap 文件。这样,

收稿日期: 2006-06-05; 修回日期: 2006-11-14

基金项目: 探月工程 -1-0-1 项目 (0384001002)

可最大程度地减少人工干预、显著降低出错的可能性,从而提高实验的成功率。

2) 在标准化方式下大部分功能函数采用独立的分支结构,所以在改动程序时不易出现影响严重的错误。

3) 整个终端系统运转的控制方式、输入输出参数按照标准化进行可以简化监管系统。

## 2 S3 数据采集系统及监控参数

S3 数据采集系统由 7 大部分组成(如图 1 所示): SX 波段接收机、中频(IF) 信号处理部分、MARK V 硬盘记录部分、延迟和相位校正设备、气象数据自动采集仪、控制计算机、台站钟与时延计数器。其中,控制计算机即为 FS 标准机,采用 Debian Linux 操作系统。由于昆明流动站设备的特殊性,本地站程序成为 FS 软件<sup>[2]</sup>的主体。所以,终端系统主要硬件设备实际由本地站程序监控,并自动生成 log 文件。MARK V 硬盘记录部分不受本地站程序控制,所以本文只介绍其他硬件设备及监控参数。

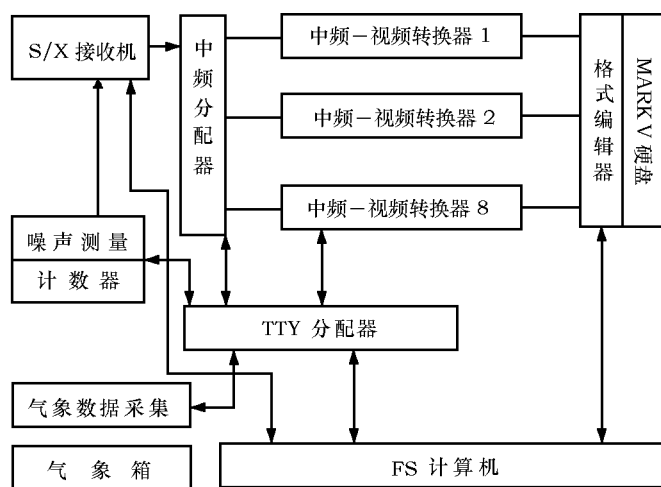


图 1 S3 数据采集系统示意图

### 2.1 中频 (IF) 信号处理部分

该部分主要由中频分配器 (IFD)、中频-视频转换器 (BBC) 部件组成。

S/X 波段的射电源信号经过接收机变为两路对应 (X 和 S 波段) 500~1 000 MHz 中频信号,送入数据采集系统的中频分配器。经过一个可控 20 dB 衰减器,隔离放大器后,每一路中频信号被分为 6 路输出,其中 1 路接至机箱面板上作为监视测试用,1 路接到内部的一个平方律检波器及 A/D 变换器,用于总功率检测,其余则通过高频接插件送往各 BBC。所以,中频分配器的可监控参数包括:衰减值 (0 dB 或 20 dB) 与总功率读数。

BBC 部件分为 BBCI 和 BBCII 两个相同的部分,每个部分包含有 4 个 BBC。每个 BBC 接受 IF 分配器输出的 1 路 IF 信号,通过隔离放大后送至单边带混频器 (SSB)。本振信号由内部一个 500~1 000 MHz 合成器 (最小步阶为 10 kHz) 提供,这两个信号经 SSB 混频后,输出上边带视频信号,通过带宽可变的滤波器,获得 1,2,4, 或 8 MHz 带宽的视频信号。后经带宽增

益补偿器,以 3 dB 步阶,以求不同带宽时总功率电平的平衡。再经增益自动控制器 (AGC), 可以保持输出信号电平的稳定性。所以, BBC 的可监控参数包括本振频率、IF 信号源、带宽、AGC 模式、AGC 增益值、频率锁定判断、BBC 控制状态及总功率读数。

## 2.2 气象数据自动采集仪

气象仪在 VLBI 观测时自动采集观测站地面气压、温度及湿度等气象数据,以便在数据处理时进行大气延迟的改正。它主要由气压、温度和湿度传感器、A/D 转换及微处理器等组成。采集的气压、温度和湿度数据从 RS232 接口送入终端控制计算机。所以,气象仪的可监控参数包括气压、温度和湿度。

## 2.3 台站钟与时延计数器

该设备是将 VLBI 站中原来分散于好几台设备的功能集中于一台设备上,从而使系统更简洁。除该设备名称上已标明的台站钟、时延计数器两个功能外,还有噪声遥控开关、串口通讯缓冲器 (MK3 中称之为 TTY 分配器) 等。

时延计数器接收从地面单元 (延迟和相位校正设备) 来的 A (起始) 和 B (停止) 信号,使计数器计数输出 LED 的段码和 BCD 码两种数据。段码数据送至时延显示器 (LED); BCD 码数据送至数据锁存器锁存,以便 FS 计算机监控电缆延迟数据。其显示分辨率为  $0.1 \mu\text{m}$ 。噪声遥控开关用于控制前端接收机注入定标噪声。可以本地 (人工开关) 控制,也可由 FS 计算机自动控制定标噪声的注入。串口通讯缓冲器 (TTY) 用于计算机 (一个 RS232 口) 与多台 (串口通讯的) 设备之间实施通讯控制。

综上所述,对于台站钟与时延计数器部分,FS 计算机可监控的参数包括电缆延迟数据与噪声定标。

以上可监控参数皆为与硬件设备直接通讯所得。在实际工作中,FS 计算机需要自动根据直接参数计算间接参数,如系统温度、相位校正。

系统温度的计算需要已知各个 BBC 在不同条件 (定标噪声注入、定标噪声没有注入、衰减最大、没有衰减) 下的总功率读数。相位校正需要已知 log 文件中各个总功率读数。具体计算公式将在 3.2 节给出。

## 2.4 S/X 波段接收机

S/X 波段接收机接收天线输出端的信号。总体指标如表 1 所示。

表 1 S/X 波段接收机总体指标

型号	带宽 /MHz	增益 /dB	噪声温度 /K	回波损耗 /dB
X 波段	8 200~8 600	65~70	$\leq 15$	$\leq -15$
S 波段	2 150~2 450	65~70	$\leq 10$	$\leq -15$

技术规范如下:

工作温度:  $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

射频带外抑制: 偏离中心频率 1.5 带宽处好于  $-30 \text{ dB}$

中频输出: 600~1 000 MHz(X 波段)

(供 VLBI) 550~850 MHz(S 波段) N-50KF 连接器

射频输出: 2 150~2 450MHz(S 波段)

(供数传) N-50KF 连接器 7 600(X 波段)/ 1 600 MHz(S 波段)

本振频率: 7 600(X 波段)/1 600 MHz(S 波段)

本振相位噪声:  $< -90$  dBc/Hz@10kHz

本振杂波电平:  $< -65$  dBc

参考频率输入: 100 MHz, 0 dBm+/- 3 dBm N-50KF 连接器

中频输出增益控制范围: 25 dB, 分 0, 5, 10, 25 dB 四档, 线性相位

中频输出增益控制方式: 手动或程控

注入噪声: 系统温度的 2%~50%

注入方式: 手控或程控

计算机接口: RS-232 或 RS-422, 9 600 波特率

通讯协议: 自定义

传送参数: 各级电流电压值、本振锁相电压、低温温度、杜瓦真空度、总功率

检测口: 中频、本振、N-50KF 连接器

输入法兰: BJ22FDP22(S 波段)、BJ84FDP84(X 波段)

### 3 设计分析与处理流程<sup>[4,6]</sup>

本设计主要完成 FS 终端输入的 SNAP 命令由本地站程序来执行, 以便与 S3 数据采集终端系统的硬件更好地配合使用。主要设计要求如下:

- 1) 能自动执行标准的 SNAP 命令文件和过程控制文件。
- 2) 能执行手工输入的 SNAP 命令和过程名命令。
- 3) 能将各种途径输入的命令和执行结果显示在屏幕上并以标准格式记入 log 文件。
- 4) 绝大部分命令的执行应该在 1~2 s 内完成。控制执行观测纲要的 FS 时钟其精度误差应在 1 s 以内。

输入: 1) SNAP 命令文件, 过程控制文件; 2) 手工输入的 SNAP 命令和过程名命令。

输出: 1) 将各种途径输入的命令和执行结果以标准格式记入 log 文件; 2) 将各种途径输入的命令和执行结果显示在屏幕上。

#### 3.1 基本设计概念

根据需求分析, 提出了用本地站程序的方式来实现昆明 VLBI 终端系统的控制, 以解决基于 FS 软件的标准化控制。这样, 整个终端系统的控制就主要落在了本地站程序里, 而不像各国 VLBI 终端系统的控制主要由 FS 软件来承担。本地站程序采用分支结构, 在进入本地站主程序后, 转入各个子函数进行。各个子程序又调用共同的通讯程序 bbccn 与硬件通讯, 从而完成各自的功能。同时, 各子函数之间也存在通讯要求。利用 FS 软件的强大功能, 自定义本地站的共享内存块 (share memory), 将共享变量存放当中, 子函数之间可通过在 stcom.h 中定义的这些共享变量实现通讯要求。另外, 为防止各设备争抢通讯接口资源, 先采用信号量加以限制。

对于 S3 数据采集系统, 每一硬件部分都有对应的 SNAP 命令来控制。本地站程序处理流程如图 2 所示, 本地站程序的各子函数分别完成 SNAP 命令的分析及与硬件的通讯, 达到控制硬件的目的。另外, 还有一些 SNAP 命令不是直接控制硬件的, 它们只是获取一系列的参数 (如系统温度)。针对这些 SNAP 命令, 本地站程序也有相应的子函数来处理。通过已获得的硬件参数, 这些子函数可以计算出需要的系统参数。

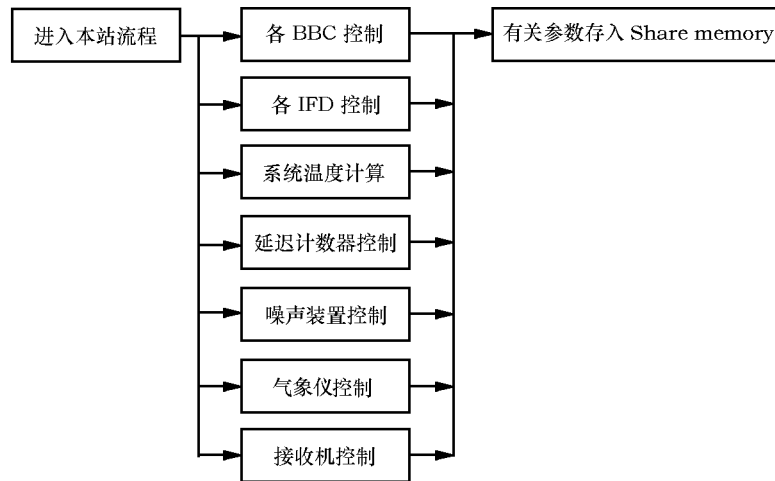


图 2 本地站程序处理框图

### 3.2 程序流程

本地站主程序为 `stqkr`，它通过调用子函数完成具体功能，各主要子函数名称及功能如表 2 所示。子函数通过调用专门的通讯程序 `bbccn` 与硬件设备通讯。程序之间的调用关系如图 3 所示。

表 2 系统元素 (各层模块、子程序、公用程序等) 表

系统元素标识符	功 能
<code>bbc</code>	设置 <code>bbc</code> 各参数
<code>bbc_all</code>	清除 <code>bbc</code> 报警信号
<code>bbc_dec</code>	分析设置的 <code>bbc</code> 各参数是否符合标准
<code>bbc_dis</code>	读取并分析 <code>bbc</code> 返回各参数
<code>bbc_num</code>	获得需要总功率读数的 <code>bbc</code> 序号
<code>cable</code>	读取相位校准电缆延迟数据
<code>calonoff</code>	设置噪声控制装置
<code>caltemp</code>	读取噪声源定标温度
<code>caltempx</code>	读取 X 波段的噪声源定标温度
<code>caltemps</code>	读取 S 波段的噪声源定标温度
<code>check_com</code>	分析 <code>check</code> 命令，确定检查对象
<code>chekr</code>	检查 <code>bbc</code> 与 <code>ifd</code> 各参数
<code>dist</code>	设置并读取 <code>ifd</code> 的各参数
<code>bbccn</code>	MAT 通讯程序
<code>stqkr</code>	本地站主程序
<code>tpi</code>	读取 <code>cal=off</code> 时的总功率读数
<code>tpical</code>	读取 <code>cal=on</code> 时的总功率读数
<code>tpzero</code>	读取衰减达到最大时的 <code>bbc</code> 总功率读数
<code>tsys</code>	计算各个系统温度值
<code>wx</code>	读取气象仪数据
<code>rcv</code>	完成软件呼叫启动与读取通道状态值
<code>power</code>	智能电源开关控制
<code>sdb</code>	S 波段的中频输出增益控制
<code>xdb</code>	X 波段的中频输出增益控制

表 2 中没有调用 bbccn 通讯程序与硬件通讯的一些子函数没有出现在图 3 中。各个 BBC 的系统温度由式 (1) 计算:

$$tsys = (t_{pi} - t_{pzero}) \times (c_{temp} / (t_{pical} - t_{pi})) \quad (1)$$

计算系统温度的具体操作过程如图 4 所示。

子函数  $t_{pi}$ 、 $t_{pical}$ 、 $t_{pzero}$  分别读取噪声关闭、噪声打开、没有衰减时的各 BBC 总功率读数。噪声源定标温度 ( $c_{temp}$ ) 由操作员实验前设定。子函数  $bbc\_num$  判断需要计算系统温度的 BBC 序号。最后, 将各参数代入式 (1) 进行计算, 得到系统温度。

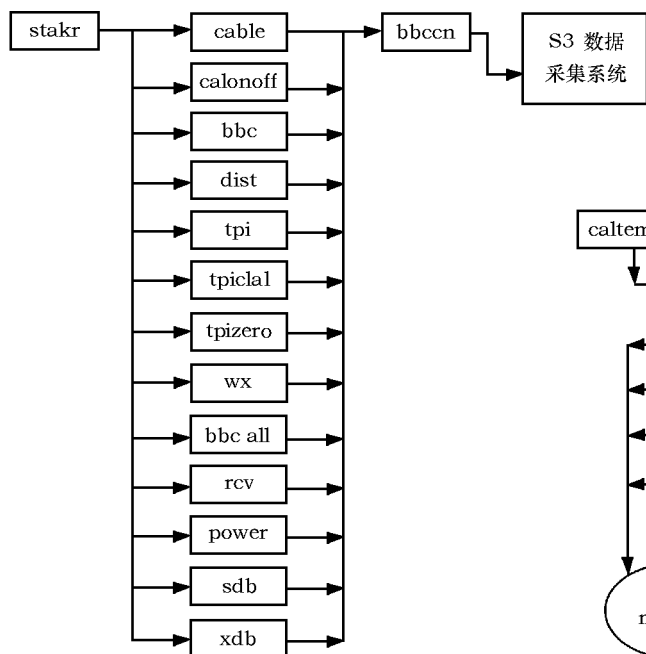


图 3 程序之间调用关系

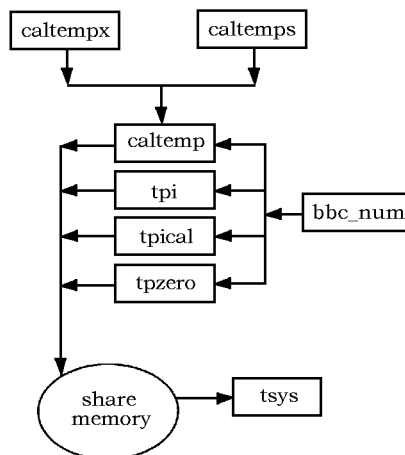


图 4 获取系统温度的过程

### 3.3 本地站 share memory [3]

share memory 是 FS 软件为方便程序员利用共享内存 [5] 完成函数间通讯而预定义的共享内存块。FS 软件的标准 share memory 是不可改变的。在头文件 `fscom.h` 中已经定义了固定的共享变量的标识符及数据类型。通过 FS 软件已有的程序, 子函数可以利用这些共享变量相互通讯。FS 软件也支持针对本地站的 share memory, 程序员可以自定义共享变量, 只要写入 `stcom.h` 文件中即可。这样, 本地站的子函数也可以利用共享变量通讯。

本地站共享变量主要用于存储通讯程序完成与硬件通讯所需的各种参数与标志; 相互有关联的函数间传递信息的参数, 如命令字符串、衰减值、总功率值和各波段的定标温度等。

## 4 实验观测

使用以上设计方法研制的昆明站终端控制软件经初步测试, 能够正确地控制与监视终端

系统的各个设备; 设置与读取参数的过程能在计算机屏幕上、log 文件中正常显示; 能完全按照国际 VLBI 标准化观测的方式控制整个终端系统运转。除更换记满数据的硬盘, 以及监测到设备有故障报警后需要操作员干预外, 观测期间所有操作完全自动化, 从而降低了出错的可能性, 提高观测的成功率。

在此基础上, 本软件正式应用始于 2005 年 12 月下旬的 3 台站卫星实时 VLBI 联测试验。在三次试验中, 本软件都能够根据标准的观测纲要文件控制终端系统, 满足 VLBI 对终端系统的各项要求。

为了完成探月工程 5、6 月份的 SMART-1 大型综合测轨试验任务, VLBI 分系统组织了检查组, 对北京和昆明观测站进行测试。并且, 在 2006 年组织了多批次 4 台站准实时卫星观测试验。5 月 18 日, 4 台站的相关试验终于获得成功, 北京站和昆明站具备了 VLBI 任务能力。2006 年 5 月 29 日—6 月 2 日昆明站和上海、北京、乌鲁木齐齐观测站一起圆满地完成了 SMART-1 的大型综合测轨试验任务。昆明站终端控制软件在这些试验中的运行情况表明其各项指标都达到了任务规定的要求。

## 5 小 结

本文在分析了终端系统 (S3 数据采集系统) 的各部分组成的基础上, 针对 VLBI 昆明流动站的硬件改造, 通过分析设计要求、形成设计概念、画出程序流程, 最终完成终端控制软件的设计。一系列 VLBI 试验的实战结果表明该软件能够良好地运行, 达到对终端系统的正确控制要求。

**致 谢** 衷心感谢薛祝和研究员与韦文仁研究员对完成本文所给予的帮助和支持。

### 参考文献:

- [1] 林克雄. 甚长基线干涉测量技术, 北京: 宇航出版社, 1985
- [2] Himwich W E. NVI, Inc./GSFC, Programmer Reference Manual: Field System Architecture, NASA/Goddard Space Flight Center: Space Geodesy Project, 1993
- [3] Himwich W E. NVI, Inc./GSFC, Programmer Reference Manual: Station Programs, NASA/Goddard Space Flight Center: Space Geodesy Project, 1993
- [4] 任永铮. Linux C 程序员指南, 北京: 国防工业出版社, 2000: 253
- [5] 徐千洋. Linux 函数库参考手册, 北京: 中国青年出版社, 2002
- [6] Jack T, David G, Lance B. 即学即用 linux, 刘向宇译. 北京: 电子工业出版社, 1996: 195-299

## Software Design for Kunming VLBI Station Terminal Control System

WANG Tao

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** A new software design for Kunming VLBI station terminal control system is discussed in this paper. The software can operate on the standard computer (Field System Computer) to control the terminal device (S3 Data Acquisition System) without considering its particularity.

S3 Data Acquisition System includes Receiver, Intermediate Frequency Distributor, Base Band Converter, Cable Delay Counter, Calibration Signal Switch and Weather Data Auto-acquisition device. Each device is controlled by corresponding sub-function in order to meet the demand of readability and maintainability. The sub-functions can be called by main function. The software can communicate with the S3 Data Acquisition System efficiently and control the terminal device effectively after being installed and tested. Recent observation experiments have validated that the software satisfied the real-time requirement.

**Key words:** astronomical facilities and technique; Very Long Baseline Interferometry(VLBI); S3 Data Acquisition System; control software

\* \* \* \* \*

## 《天文学进展》关键词的选用规则

关键词是学术论文进入流通和引用的窗口。规范关键词的选择有利于检索和引用。按中国科协学会学术部《关于在中国科协系统科技期刊中规范关键词选择的决定》，《天文学进展》要求发表在本刊的所有学术论文，必须在摘要后列出不少于 3 个关键词，但不应多于 8 个。其顺序如下：

第一个关键词为该文主要工作或内容所属二级学科名称。

第二个关键词为该文研究得到的成果名称或文内若干个成果的总类别名称。

第三个及以后的关键词为在前两个关键词中没有出现的，但被该文作为主要研究对象的事或物质的名称，或者在题目中出现的作者认为重要的有利于检索和文献利用的名词。

例如《核纪年法确定银河系年龄的研究进展》论文的关键词可选为：天体物理学；银河系年龄；核纪年法；恒星；中子俘获元素；丰度。

《天文学进展》编辑部

2007 年 12 月