

采用 VC++ 的射电望远镜控制软件在 Windows XP 下的设计和实现*

赵融冰, 艾力·玉苏甫, 张晋, 余

(中国科学院国家天文台 乌鲁木齐天文站, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 射电望远镜控制软件的主要功能是控制射电望远镜精确、实时的跟踪指定目标, 本文介绍了 Windows XP 系统下基于 Visual C++ 的射电望远镜控制软件的设计, 重点叙述了软件的功能、通信方式、图形界面的实现^[1]。

关键词: 天线控制; ActiveX 控件; 网络通信; 图形界面

中图分类号: TP331.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7673(2007)01-0064-08

乌鲁木齐天文站的天线系统是由天线机械结构分系统、天线馈电分系统、天线伺服分系统、换馈机构及其控制装置、轴角编码器以及天线控制台等组成。天线控制系统原始装置采用计算机、单片机和许多分离元器件组成, 该系统十多年前研制, 体积庞大, 器件老化, 工作稳定性下降, 不能适应未来观测的需要。2005 年乌鲁木齐天文站对射电望远镜控制系统的硬件和软件进行了改造, 使天线有更高的运行速度和跟踪精度, 同时提高系统的工作稳定性和维护性。新系统完全基于数字化系统, 采用计算机控制方式, 用于射电望远镜运行的控制软件工作在主控制计算机上面, 该软件采用 VC++ 集成开发环境, XP 操作系统, 实现了快捷明了、美观、友好的可视化图形界面。本文详细论述了实现软件的具体方法和技术^[4]。

1 天线控制系统的原理

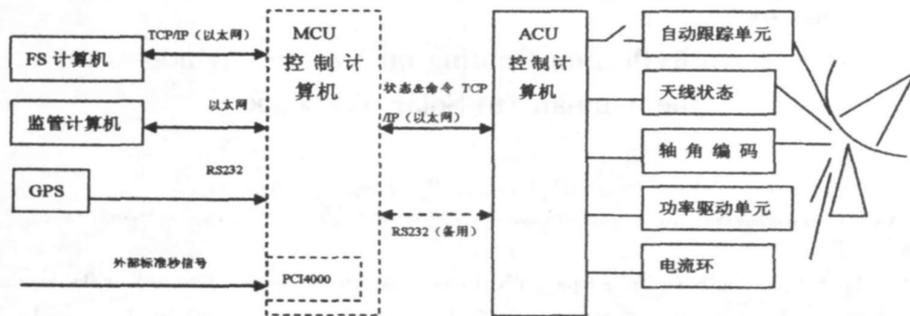


图 1 天线控制系统结构

Fig. 1 The structure of the system hardware

1.1 天线控制系统的描述

*收稿日期: 2006-03-13; 修定日期: 2006-05-08

作者简介: 赵融冰, 男, 硕士, 研究方向: 计算机技术在天文中的应用

由图 1 可见整个天线控制系统采用了两级控制方式，ACU 控制计算机的主要作用是通过天线控制计算机上面的数据 IO 卡，采集天线的状态信号，输出天线控制信号；采用 PID 和非线性的算法控制天线的平稳运行，通过电流、位置、电压等反馈环节来控制天线的运动，使其达到快速平稳的运行。

天线控制软件运行在 MCU 控制计算机上（如图 1 虚线框），主要作用是计算实时的天线位置并将位置指令发送给 ACU 控制计算机，将射电望远镜准确的指向目标。它采用基于 PCI 总线 PCD4000 时钟信号发生卡提供时钟中断信号，根据稳定的时钟脉冲信号（50ms）计时，同时通过外部 GPS 同步来提供准确的基准时间。天线控制主机可以接收 FS（Field system）计算机的命令实现自动观测任务，同时它将天线状态信息发送给远程监管系统。

2 软件的实现

2.1 设计思想

在设计天线控制软件时，充分考虑到软件要适应多种观测的需要，所以集成了多种功能，同时天线状态的监控和保护是它的重要功能，设计的时候充分考虑到天线状态要指示清晰、信息完备、容易监控，所以采用了图形和数字的方式清晰显示天线指向，并具有多种报警信息提示。通信方面考虑到可靠性和传输速度，采用了网络和串口两种方式连接。

软件运行在高性能的工业控制计算机上，在 Visual C++ 平台上面开发，软件界面主要依托 MFC 类库、Measurement Studio 的 ActiveX 控件实现。

2.2 软件程序框架

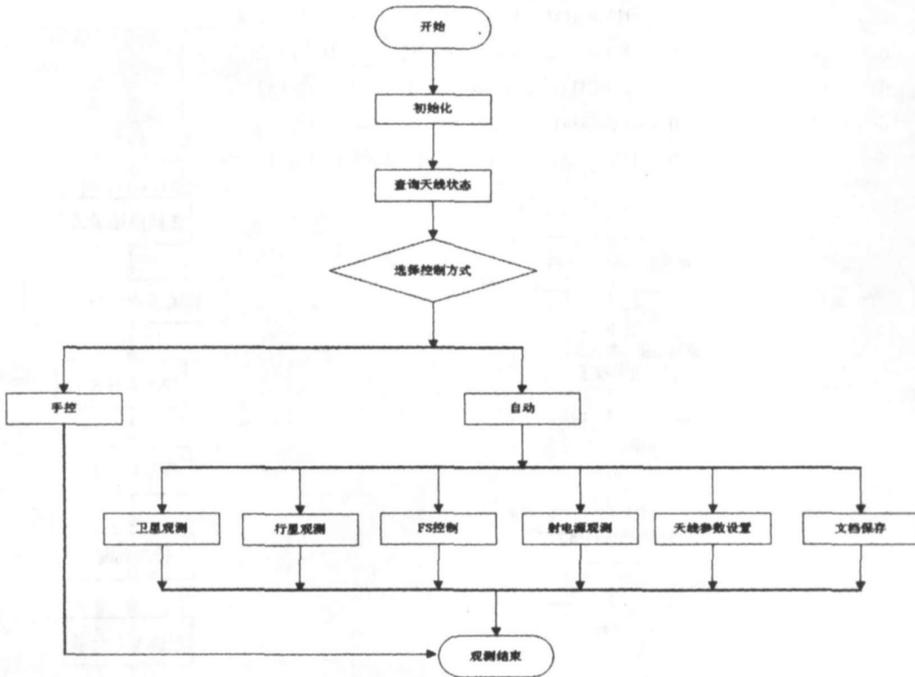


图 2 程序框架图

Fig. 2 The structure of the software

图 2 为程序框架图。

2.3 软件功能描述

▶参数设置功能：包括天线指向校正参数、通信参数等，同时将参数保存在系统信息文件（INI

文件) 中, 根据文件信息对系统进行重新配置。

▶模拟功能: 可在脱机的环境下模拟跟踪目标天线的运行, 方便软件调试。用户选择观测方式后, 点击模拟按钮就可以仿真天线的运行。

▶保护功能: 限位位置可以通过软件外部设定。当天线正常运行时该功能可自动判断天线转向, 防止天线进入限位; 当遇到紧急情况时, 可以通过软件使天线驱动电机停止供电, 中断天线运行。

▶状态记录及显示功能: 状态参数有天线方位俯仰、天线所在的范围 (内圈/外圈)、转动方向、天线运动速度、交流供电指示、驱动过流指示、俯仰轴人工锁定指示、驱动轴制动指示、天线跟踪状态等等, 这些参数以数字和图形两种方式显示, 同时被记录在文本文件中供天线维护人员参考。

▶射电源跟踪功能: 根据获取射电源位置参数信息方式的不同分为两种情况, 一种是位置参数通过读取本地计算机上的参数文件获取, 另一种是位置参数通过计算机接口接收获取, 当得到计算位置的相关信息后, 通过调用坐标转换等模块计算射电源位置, 实现跟踪功能。

▶根据 SNAP 纲要文件跟踪射电源的功能: SNAP (Standard Notation of Astronomical Procedure) 文件中记录了观测源的所需位置参数信息和观测时段, 程序可以直接读取 SNAP 纲要, 按照文件要求进行连续观测。

▶轨道卫星跟踪功能: 可自动加载卫星轨道预报文件进行跟踪。

在选择轨道卫星时, 程序将要求选取轨道卫星的预报文件, 该文件的格式如下:

A: azimuth; E: elevation; Time index; UTC

yyyy	mm	dd	hh	mm	ss							
2004	6	14	17	19	10	SHANGHAL	A+89;	6;	16	E+3;	10;	19
2004	6	14	17	19	20	SHANGHAL	A+89;	6;	52	E+3;	11;	55
2004	6	14	17	19	30	SHANGHAL	A+89;	7;	28	E+3;	13;	32
2004	6	14	17	19	40	SHANGHAL	A+89;	8;	05	E+3;	15;	08
2004	6	14	17	19	50	SHANGHAL	A+89;	8;	41	E+3;	16;	44

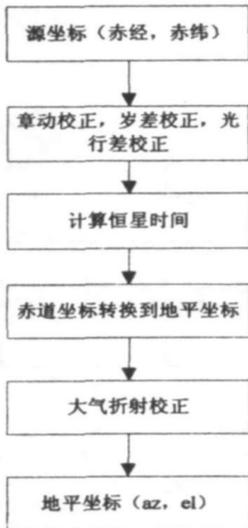


图 3 赤道坐标转换到地平坐标的流程图

Fig. 3 The flow chart of the conversion from the equatorial coordinates to horizontal coordinates

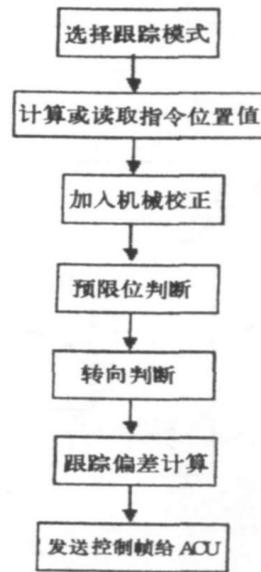


图 4 流程

Fig. 4 The flow chart

这是一个每隔 10s 的轨道预报文件, 方位和俯仰分别用时分秒表示。对于这样的一个文件, 程序将先读入 1200 行做每隔 50ms 更精细的线形插值处理。

► 同步卫星手动定位功能: 可以直接输入同步卫星的地平坐标, 实现同步定位。

► FS 远程控制功能: FS (Field System) 计算机通过串口和 MCU 控制计算机进行连接, MCU 接收不同的命令执行相应的观测。

对于所有的观测模式, 程序必须要实现 7 步基本流程 (图 4), 在具体某个模式时可能还要加入一些辅助处理的流程:

2.4 通信方式的设计及实现

天线控制软件在工作的过程中需要和多种外部设备通信, 主要应用到串口通信方式和网络通信方式^[1]。其中与 FS 计算机的通讯采用串口方式, 具体编程时采用了 MSCOMM 控件, 握手的信号有以下 3 种 (全由 FS 计算机发起):

ANTENN: 初始化主控计算机和 FS 计算机的串口通讯, 在主控计算机收到 ANTENN 后将返回给 FS 计算机 ACK, 表示通讯正常;

ONSOUR: 检查天线状态, 主控计算机回答赤道坐标值, 历元, 地平坐标值, 方位和俯仰偏离值, 内外圈表示, 年、月、日、时、分、秒;

SOURCE: 换源指令, 包括源名, 赤道坐标值, 历元, 方向。主控计算机在收到该指令后执行单点源或卫星跟踪模式, 驱动天线到指令位置。

与 GPS 通信采用串口方式, 程序中采用 MSCOMM 控件实现, 接收得时间信息格式为:

@@HamdyyhmsfffaaaooohhhmmmmaaaooohhhmmmmVVvvhddntimsidd(repeat insidd for remaining 11 channels)ssrrccooootTushmvvvvvc<CR><LF>, 依次是时间信息和 12 个通道的卫星状态信息。

软件与 ACU 通信采用 TCP/IP 网络协议的 CLIENT/SERVER 架构, 具体编程时候采用 Winsock 控件。Winsock 控件里面封装了许多通信函数, 用户不必关心内部的实现, 可以方便的调用函数实现网络通信。通信中信息项可以采用多种数据类型来表达各种信息, 为了尽可能的降低信息对通信信道、存储、运算设备的压力, 提高系统的实时性, 在协议中所用的信息项目数据类型统一采用二进制形式的的数据格式, 信息项出现在信息帧传输时, 低字节被先传送, 表 1 是信息帧的结构。

表 1 信息帧的结构规定

Table 1 The structure of information form

帧头	帧体					帧尾
帧始标志	帧长度	设备编码	帧类别编码	帧功能编码	信息内容	校验码
2 BYTE	2 BYTE	1 BYTE	1 BYTE	1 BYTE	n BYTE	2 BYTE

表 1 中:

设备编码: 采用字节型格式, 用于标志系统中信源设备的编码。MCU (ACU 的上位机) 设备编码: 01H; ACU 设备编码: 02H;

帧类别编码: 采用字节型格式, 用于标志本信息帧的类别。00H: 表示本帧为控制帧, 总是由 MCU 发送给 ACU, ACU 接收到控制帧后要根据约定的协议解析帧中的数含义, 按照约定执行控制操作; 02H: 表示本帧为汇报帧, 总是由 ACU 发送给 MCU, ACU 在成功完成 MCU 控制指令后或在指令执行的过程中出现异常, 要把执行结果上报给 MUC, 以便 MCU 了解 ACU 的运行情况并根据执行的结果安排下一步工作。10H: 表示本帧为查询帧, 总是由 MCU 发送给 ACU, 由 MCU 查询 ACU 状态; 11H: 表示本帧为状态帧, 总是由 ACU 发送给 MCU, ACU 在接收到查询帧后将自身状态上报给 MCU。

与监管计算机的通信采用了以太网 UDP 协议, 软件中采用 CAsyncSocket 类实现网络通信。天线控制软件发送到监管计算机的信息是: 当前时刻, 馈源状态, 卫星跟踪修正值 (方位), 卫星跟踪修正值 (俯仰), 天线方位改正值 (该改正值指观测前做完指向检测后得出的方位零点改正), 天线俯仰改正值 (该改正值指观测前做完指向检测后得出的俯仰零点改正), 天线方位 (当前实际位置, 地平坐标), 天线俯仰 (当前实际位置, 地平坐标), 天线方位理论值 (当前理论位置, 地平坐标, 单位: 度小数), 天线俯仰理论值 (当前理论位置, 地平坐标, 单位: 度小数), 实际方位偏差 (度小数), 实

际俯仰偏差 (度小数), 天线方向 (0° —外圈, -270° . 1° —圈, $+270^{\circ}$), 天线异常状态信息字, 共有 14 种参数, 各参数间用一个逗号隔开。

2.5 图形界面的实现

主要依托 MFC 类库, Measurement Studio 的 ActiveX 控件, 和自己编写的 ActiveX 控件, 来实现软件的图形界面。ActiveX 是 Microsoft 提出的一组使用 COM (Component Object Model, 部件对象模型) 使得软件部件在网络环境中进行交互的技术集, 它与具体的编程语言无关, 所以很容易进行移植。作为针对 Internet 应用开发的技术, ActiveX 技术也被广泛用于方便地创建普通的桌面应用程序。采用这种技术的优势是大大方便了开发, 降低了程序的耦合, 提高了功能的复用性。

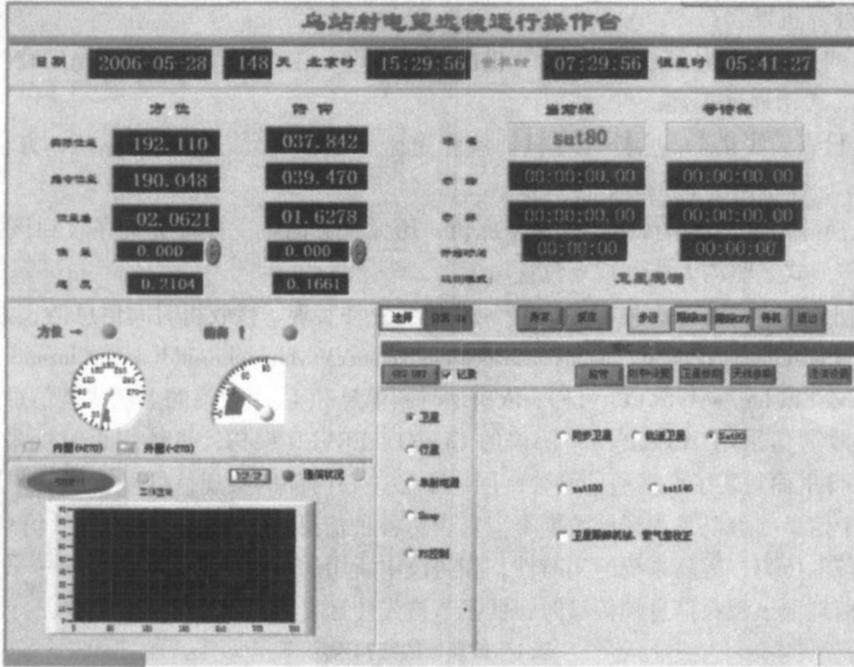


图 5 软件程序界面
Fig. 5 The software interface

软件的一个重要功能就是提供给用户一个非常明快简洁的监控界面, 使用户很容易观察天线的状态。软件采用了 Measurement Studio 的 ActiveX 图形控件, 用仪表盘来动态指示天线的状态, 采用自己开发的码盘控件来动态显示天线机械链条的卷绕, 清晰直观的显示了天线的运动状态, 同时采用多窗口的方式, 使操作非常方便, 图 5 显示了软件的主程序界面。软件功能选择的切换通过操作模式选择窗口来进行, 如图 6 所示。

程序启动以后, 软件的界面显示出天线的状态信息和时间信息, 观测人员首先选择相应的观测方式然后点击“跟踪 ON”按钮, 这时天线被驱动, 如果想停止天线运行点击“跟踪 OFF”。

2.6 基于消息模式的多线程实现

由于软件中 50ms 中断的时间非常的短, 而且在 50ms 中还要处理大量计算, 同时还有多方面的通信和数据采集, 如果有一个通信没有及时响应, 会导致这个通信占用大量的系统资源, 从而会影响整个软件的运行。为了解决这个问题, 软件采用了基于消息模式的多线程处理技术, 使主线程能够得到足够的 CPU 时

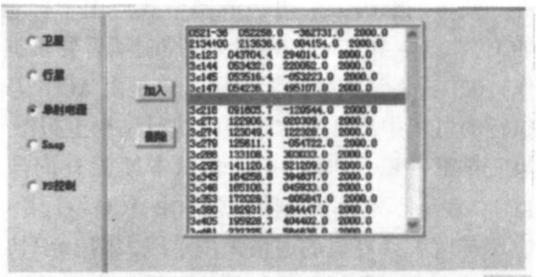


图 6 模式设置对话框
Fig. 6 Model Setting Dialog

间片,从而达到准实时的响应。软件分为 50ms 中断模块、ACU 网络通信模块、GPS 接收模块、FS 数据采集模块,对于多线程模块设置不同的优先级从而使程序达到准实时的运行工作。软件主要的工作是在 50ms 中断模块中完成,在这个模块中软件完成时间的计算、目标位置的计算和指令发送的任务,ACU 网络通信模块完成天线状态的采集,GPS 接收模块主要完成的是 GPS 数据的采集及从中提取时间信息,FS 数据采集模块主要完成了 FS 数据接收。图 7 是软件的控制流和数据流。

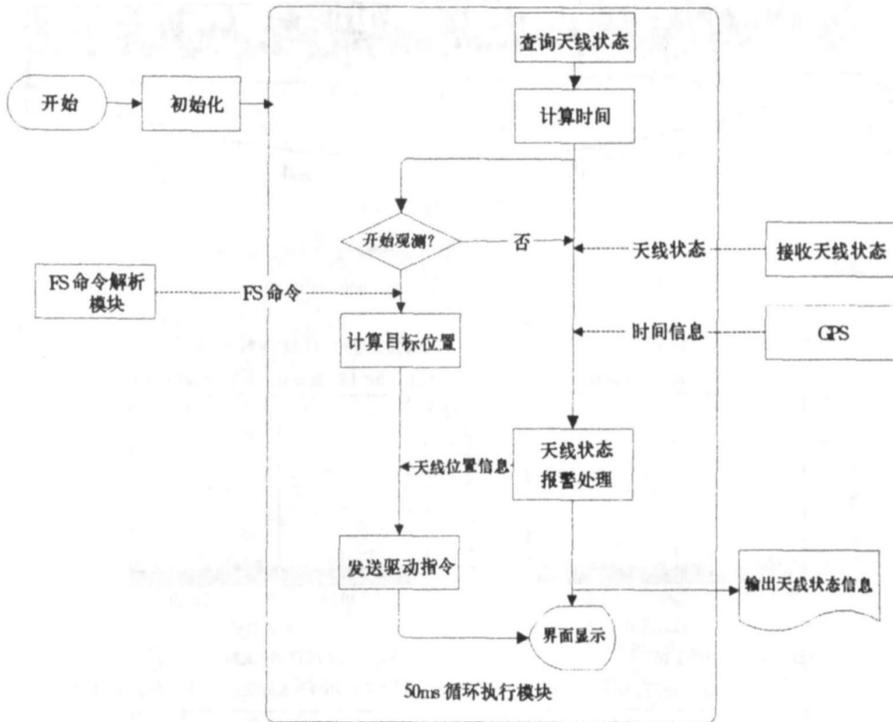


图 7 控制流及数据流图

Fig.7 The control and data flow chart

2.7 时间系统设计

时间系统是射电源观测的重要保证,只有提供精确的时间才能保证射电源的跟踪精度。采用 PCD4000 高速时钟信号发生卡自动产生 50ms 中断达到同步计时,在 PCD4000 的外部中断端口输入标准秒信号(来自氢原子钟),采用 GPS 提供基准的时间(RS232 通讯方式)保证时间的准确性和精度。

2.8 软件测试和验证

软件中的两个主要功能是射电源跟踪和轨道卫星跟踪,采用观测方法来验证软件的正确性。

对乌站 25m 射电望远镜做的一个跟踪扫描测试,将天线的指令位置和天线的运行过程中的实际位置记录下来,图 8 是由天线运行的数据生成的图,天线运行过程中指令方位减去实际方位的平均偏差为 $-1.5''$,指令俯仰减去实际俯仰的平均偏差为 $-1.3''$,对于厘米波天线来说,完全满足跟踪精度要求。

乌鲁木齐天文站的 25m 射电望远镜是 EVN (The European VLBI Network) 的成员,2006 年 2 月乌鲁木齐天文站和 EVN 进行了 VLBI 联合试验得到的结果如下:

N06C1 (试验名称);

Session: Feb 2006 (session 1);

Wavelength: 6cm;

Experiment Feedback: Urumqi (Zhang Hua at Thu Feb 16 23: 50: 28 2006) Success (试验结果来自 EVN 网站)。

通过 EVN 的试验反馈信息,证明了这个软件完全可以完成射电源跟踪任务。

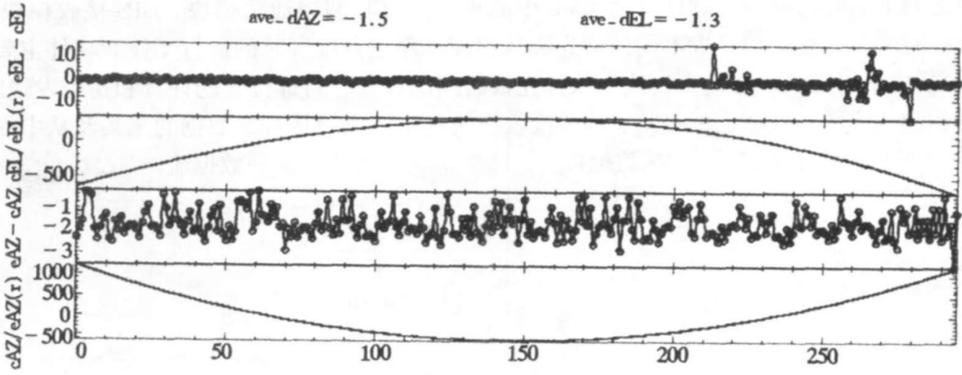


图 8 射电望远镜运行数据曲线

Fig. 8 The data curve of the telescope operation

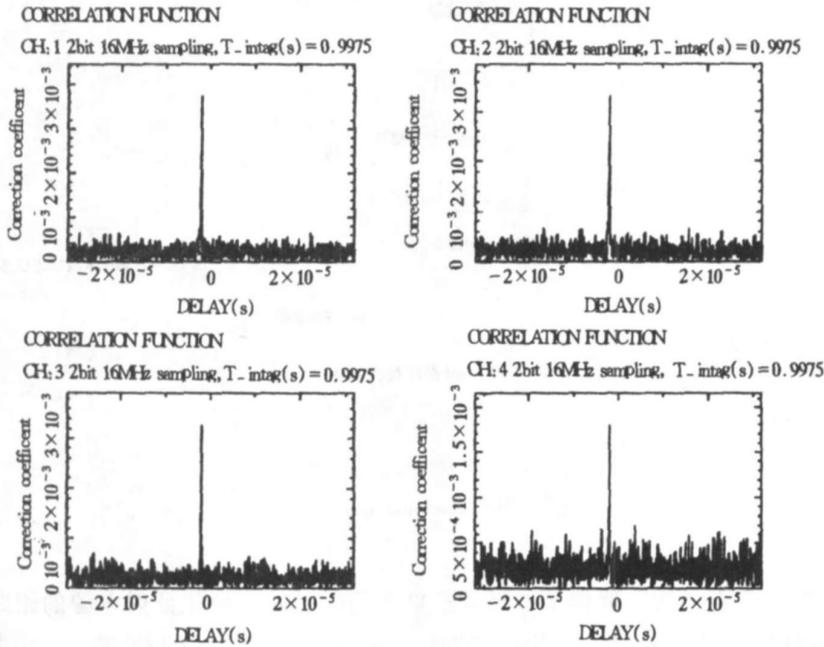


图 9 Wb (Wettzell) - ur (urumqi) 相关条纹, 通道 1-4

Fig. 9 Wb(Wettzell)-ur(urumqi) fringes, channel 1-4

2006年5月21日乌鲁木齐天文站参加了中国VLBI网对轨道卫星Smart1进行的观测,按照卫星预报轨道在整个观测过程中从频谱仪上面看到卫星频谱的信号(如图10),从结果来看达到了预期目标。

3 进一步研究和展望

程序中有一些成熟的软件模块,例如坐标转换(将赤道坐标转换成地平坐标)模块,这种模块属于重复开发,可以将这些模块封装成为动态连接库,以提高它的复用性;另外无人台站也是未来射电望远镜的发展方向,因此需要制定统一的数据接口模块,适应各种观测需要,使其它观测任务很容易融合到目前的天线控制软件中,以便在此基础上开发更加成熟的控制软件。

4 结 论

天线控制软件目前应用在南山站、佘山站、昆明站的射电望远镜控制系统上面,自 2005 年 9 月以来经过多次 VLBI 联测试验,情况良好,达到预期目的。事实证明软件大大的方便了观测人员的工作,系统稳定性加强。在这个软件的基础上,作者同时编写了南山站 3 个用于单天线观测的天线控制软件和用于天线测量的控制软件,目前处在良好的工作之中。

致谢:在工作过程中得到了王锦清、王相锋、陈晨雨、艾力·伊沙木 丁王娜及其他科研工程人员的大力支持和热情帮助,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 马明建,周长城. 数据采集与处理技术 [M]. 西安:西安交通大学出版社,2000.
- [2] 唐克. MFC 程序设计 Using Visual C++6.0 [M]. 北京:希望电子出版社,2002.
- [3] 李现勇. Visual C++ 串口通信技术与工程实践 [M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
- [4] 王娜. 乌鲁木齐 25 米射电望远镜天线控制计算机操作说明. 中科院乌鲁木齐天文站,1999.

The Design and Realization of Radio Telescope Control Software in Windows XP System with VC++

ZHAO Rong-bing, Aili yu, ZHANG Jin, YU yun

(National Astronomical Observatories/ Urumqi Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: The main function of the radio telescope control software is to drive the radio telescope to track the target accurately; The design of radio telescope control software is based on Windows XP system with the VC++. The functions of the software, communication mode and the user interface is introduced in this article.

Key words: telescope control; ActiveX control; network communication; graphic interface

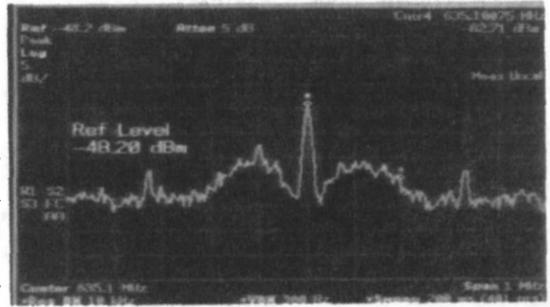


图 10 Smart1 信号

Fig. 10 The Smart1 signal