

VLBI 数字基带转换器(DBBC)

洪晓瑜

曹凝*

(中国科学院上海天文台 上海 200030) (中国科学院计划财务局 北京 100864)

关键词 科研装备, VLBI, 数字基带转换器

1 科学背景

甚长基线干涉测量 (VLBI, Very Long Baseline Interferometry) 技术是现代天文观测中分辨率最高的观测手段。目前中科院的 VLBI 干涉测量系统由 4 个 VLBI 观测站 (上海佘山站、乌鲁木齐南山站、北京密云站、云南昆明站) 和 1 个 VLBI 相关处理中心 (上海) 构成, 是我国月球探测一期工程——绕月探测工程测控系统的重要组成部分, 承担绕月探测工程测轨任务。上海天文台是 VLBI 网的负责单位, 负责 VLBI 设备的研制和观测运行。

VLBI 网的上海站和乌鲁木齐站建于上世纪 80—90 年代, 在国际 VLBI 联测中发挥了重要作用, 是国际 VLBI 组织——欧洲 VLBI 网 (EVN, European VLBI Network)、国际天体测量 VLBI 网 (IVS, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) 和亚太 VLBI 网的正式成员。北京密云站的 50 米口径射电望远镜和昆明站的 40 米口径射电望远镜则承担着绕月探测工程的数据接收和 VLBI 测轨分系统的联测任务。

每个 VLBI 台站, 除了天线系统、接收机系统、时频系统以外, 还有非常重要的 VLBI 记录终端专用设备, 其核心部件是基

带转换器 (BBC, Base Band Converter)。目前国际上常规使用的是模拟基带转换器 (ABBC, Analog BBC), 通过分立元件, 从宽带中频信号中提取所需要的窄带信号, 并搬到基频。我国 4 个 VLBI 站的终端系统的关键设备都采用了 ABBC 方案, 上海和乌鲁木齐站各配备有 16 个 ABBC, 其中, 北京站借用了上海站 8 个 ABBC, 其余 8 个上海站留用, 昆明站借用了总参测绘局流动 VLBI 站的 8 个 ABBC。常规的国际 VLBI 联测需要使用 16 个 ABBC (标准配置), 所以中科院 VLBI 网的记录终端的配置还不完善, 只能暂时满足绕月探测工程需要。而且这些设备使用时间过久, 一些元器件已经停产, 使得设备维护极为困难, 维护成本很高。

随着超大规模集成电路和软件无线电技术的发展, 世界上正在发展宽带数字记录终端——数字基带转换器 (DBBC, Digital BBC) 以取代模拟记录终端。与模拟设备相比, DBBC 性价比高、带通特性好、稳定性和可靠性指标均优于模拟设备, 但技术难度比较大。为更好地完善中科院 VLBI 网, 执行我国探月工程任务和国际天文研究的联测任务, 必须为新建 VLBI 站配备自己的终端

* 中国科学院计划财务局副局长。E-mail: zbc@cashq.ac.cn
收稿日期: 2011 年 8 月 20 日

系统。另外,由于 ABBC 系统差,难以校正,且存在带通特性和 DBBC 不匹配等问题,所以发展 DBBC 是必然趋势。

为使我国 VLBI 网统一配备高性能的 VLBI 终端,在国家重大科研装备研制专项支持下,上海天文台于 2007 年 6 月启动开展了 4 套新的 DBBC 研制工作。设备研制成功后,将分别安装在北京密云站、上海佘山站、乌鲁木齐南山站和昆明站,不仅用于卫星观测,也应用于天文观测,有利于提升我国 VLBI 网在国际上的地位。

2 设备综述

DBBC 的研制瞄准国际前沿,发展 GHz 宽带数字下变频处理技术,实现 1 024Msps (Mega Sample Per Second) 高速实时数字信号处理技术和 DBBC 的高增益、高相位稳定、大动态范围的宽带 AGC 技术。设备于 2010 年 9 月通过验收,现已成功应用于天文观测和深空卫星的测定(探月二期工程中使用),成为国际上首先投入应用的 VLBI 数字基带转换器。

DBBC 主要由模拟单元、数字单元两部分组成,对输入的 512MHz 宽带信号进行处理,可以输出 8 路基带信号,并可以扩展至 16 路基带信号。

模拟单元有 5MHz 频标信号输入和中频信号输入,其中 5MHz 频标由氢原子钟产生,经频率综合器

后,采用锁相技术生成

1 024MHz 正弦信号,作为数字单元 ADC (Analog-to-Digital Converter) 的采样时钟。中频信号经中频 AGC (Auto Gain Control) 处理

后,提供给数字单元,作为样本信号,在中频 AGC 单元内,还整合了抗混叠滤波器。

1 个模拟单元和 1 个数字单元共同构成 1 路中频处理单元,整个系统目前最多可同时对 4 路中频信号进行处理,每路中频处理单元可产生多个不同的基带信号数据流,由通道分配模块选择所需的基带信号输出,最多可输出 16 个基带信号 (16 个基带信号 \times 1bit),或 32 位数据流 (16 个基带信号 \times 2bit)。

模拟单元和数字单元通过各自的控制模块和计算机通信,计算机将设置的参数传递给相应模块,并监视各模块的状态。

(1) 模拟单元。模拟单元由中频 AGC、AGC 控制器和频率综合器 3 个模块组成。频率综合器模块的输入使用由氢原子钟产生的 5MHz 频标,输出高稳定 1 024MHz 正弦波信号,作为数字单元高速 ADC 的采样时钟。

中频 AGC 模块由中频电路与控制电路组成,输入信号为接收机输出的中频信号,输出信号可为频率范围 10—512MHz 的低中频信号,也可是频率范围 512—1 024MHz 的高中频信号,信号功率为 -34dBm@512 MHz 带宽。来自接收机的中频信号首先进入第一个微波开关,该结构用于功率校准,当开关转换至 50 Ω 匹配负载时,可测量射



已安装的 4 套 VLBI 数字基带转换器

频 AGC 模块在零电平信号输入时的功率值。零电平功率值是计算 VLBI 系统温度的一个参数。然后信号进入第一个中频放大器,该放大器主要作用是降低系统噪声,因此采用低噪声放大器。经过放大的信号进入到由两个微波开关和两个滤波器组成的选通结构,可以根据需要,对输出进行高中频/低中频的选择。

在中频 AGC 模块中设置了可变衰减器组,范围 0—60dB,步长 0.25dB,以适应卫星信号电平变动大的特点,并满足 ADC 采样器输入信号电平变化 $\pm 0.5\text{dB}$ 的要求。第二个中频放大器的作用是对信号进行放大,并具有较宽的动态范围,避免强信号引起饱和。经过选通和放大的中频信号最后由功分器分为 3 路:1 路连接到面板的监视端口;1 路直接连接到数字单元的 ADC;1 路连接到射频功率检测器。控制模块对射频功率检测器进行功率数据采集并与预先设定功率阈值进行比较,通过控制可变衰减器组,最终形成自动增益控制的环路。

(2) 数字单元。数字单元由信号处理模块和通道分配模块以及接口电路组成,采用高速 ADC 和超大规模 FPGA (Field Programmable Gate Array) 结合软件无线电技术,进行数字混频和数字滤波,实现由中频到基带的转换,再送至通道分配模块,按实际需要选择所需的通道输出。在输出端还配有电平转换电路,以适应不同的接口电平标准。电平转换接口提供了两种接口形式,分别适用于 MARK5A 记录终端和 MARK5B 记录终端。

3 组织与管理

按照《国家重大科研装备研制项目管理办法(试行)》要求,项目实行牵头单位法定代表人责任制,建立了项

目管理工作组,项目研制组。

项目管理工作组由上海天文台的管理人员和技术专家组成。上海天文台台长任组长,小组成员包括科技处处长、质量管理中心主任、财务处处长和研究室主任。主要职责是协调相关单位的人员、设备、房屋、水电等资源条件为研制项目提供支撑;掌握项目进展情况,及时帮助项目负责人解决项目执行过程中出现的问题;检查和督促项目负责人履行职责;协助项目负责人对实施过程重要的技术细节进行方案论证,对研制过程中遇到的技术问题提出解决措施。

项目研制组是开展 DBBC 研制工作的科研团队,主要职责是按照 DBBC 项目的目标、任务和内容,负责实施 DBBC 的设计、加工、订货、安装、调试、测试和验收工作,成员包括项目负责人、总设计师、副总设计师、质量管理工程师及各分系统的研制人员。其中,项目负责人是项目的组织者、指挥者和协调者,是重大行政和技术问题的决策者,质量第一责任人,主要负责对研制项目进行任务分解并制定相应工作计划,负责各



VLBI 数字基带转换器模拟部分(上)和数字部分(下)



中国科学院

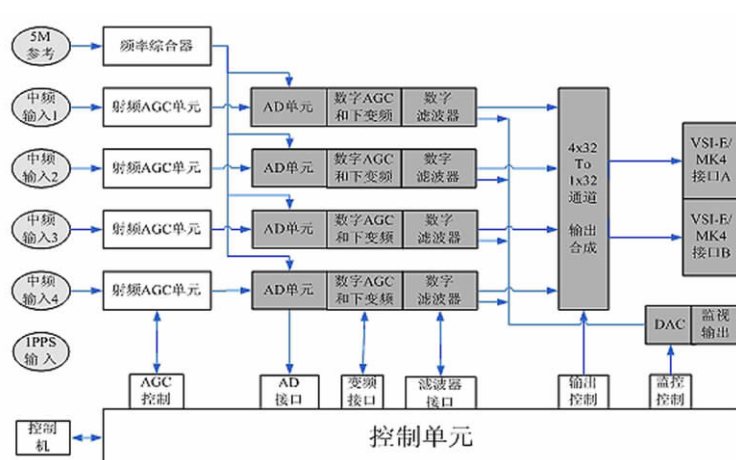
分系统之间的组织协调,计划进度协调,经费管理及项目目标节点的监督、检查和验收,监督各分系统的实施过程,保证按时、按既定要求实现分系统研制目标。总设计师是设备研制过程的总体策划者,是系统工程研制技术方面的组织者、指挥者,重大技术问题的决策者,重大资源问题的协调者。副总设计师主要负

责与总设计师密切配合,主动承担并完成总设计师安排的技术工作。质量管理工程师负责设备研制的全面质量管理,包括材料、部件、设计、加工、测试等内容。各分系统研制人员主要是根据系统设计方案的技术指标,组织分系统和单元的研制工作,完成各研制阶段任务,保证总体方案的实施。

4 应用及发展展望

DBBC 自 2010 年初在我国 VLBI 台站安装、运行以来,设备运行稳定可靠,已进行了大量的天文观测和空间目标跟踪观测,取得了一批宝贵的观测资料。在 2010 年 10 月的嫦娥二号奔月过程中,该设备作为嫦娥二号 VLBI 实时测轨任务中的主用设备,顺利完成了观测任务,并提高了观测精度,成为国际上首先投入应用的 VLBI 数字基带转换器。

我国的 VLBI 网自上世纪 90 年代建成后,其观测结果就已广泛应用于天文观测、航天器的导航定位等领域。DBBC 的研制成功,使我国 VLBI 网的 4 个台站具有完整的终端记录系统,可以更好地参加我国探月工



VLBI 数字基带转换器系统框架图

程任务与未来深空探测的测轨工作,同时可供国内外天文学家开展天文观测研究。DBBC 是国际上 VLBI 新兴技术,研制成功后不仅可以提高我国在该领域的国际地位,同时也将对国际天文设备研制做出贡献。应用到国际上其它 VLBI 站。

终端记录系统升级更新后,我国的 VLBI 网将继续对国内外开放,自由申请使用时间。在中科院的重点射电天文实验室的框架上,成立中国 VLBI 网观测时间分配委员会,讨论安排我国 VLBI 网使用时间和观测目标。每年的观测成果将向射电重点实验室报告,其中上海和乌鲁木齐两个观测站还是欧洲 VLBI 网和国际 VLBI 服务组织成员,他们的望远镜使用时间和观测目标也是由全球天文学家自由申请,经专门的评审委员会评选安排,其观测成果实现国际共享,提供给国内外天文学家开展天文观测研究。观测数据在观测实施后 1 年内归申请者所有,1 年后向全球天文学家开放。4 台望远镜的观测时间除设备维修时间外,全年对外开放。