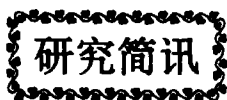


文章编号: 1000-8349(2004)03-0269-06



基于磁盘的新型 VLBI 终端系统

—— MK5A 终端系统

韦文仁, 薛祝和

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 阐述了国内外 VLBI 终端系统的发展历史; 介绍了 MK5A 终端系统的概况、工作原理、工作模式和数据模式; 展望了下一代 VLBI 终端系统 MK5B 和 e-VLBI。

关键词: 天文观测设备与技术; 数据系统; 甚长基线干涉测量 (VLBI); 终端系统

中图分类号: P111.44 **文献标识码:** A

1 国内外 VLBI 终端系统的研制历史

自从 1967 年加拿大研究人员用真正的独立时间频率标准做了第一个 VLBI 实验以来^[1], VLBI 数据系统 (含处理机系统) 已经从第一代 MK1 系统发展到第五代 MK5 系统。由美国国立射电天文台 (NRAO) 研制的 MK1 VLBI 数据系统在 1967 年开始启用, 它将观测数据记录在计算机磁带上, 记录带宽为 360 kHz, 每盘带只能记录 3 min, 是一个全数字式记录系统。1971 年 NRAO 又研制了第二代 VLBI 数据系统, 即 MK2 系统。该系统将数据记录在录像带上, 记录带宽为 2 MHz, 每盘磁带可记录 4 h。1975 年, Haystack 射电天文台在 Goddard 宇航中心的合作下开始研制第三代 VLBI 系统——MK3 VLBI 系统, 并于 1977 年研制成功。该系统将数据记录在 2.54 cm 宽的厚磁带上, 记录带宽为 125 kHz~56 MHz, 最高数据速率为 112 Mbps, 每盘磁带可连续记录 13 min。上世纪 80 年代, MK3A VLBI 终端系统投入使用。若以最高数据速率 112 Mbps 工作, 它可连续记录 2 h 36 min, 是 MK3 终端系统的 12 倍。90 年代, MK4 和 VLBA4 终端系统投入使用, 它们的最高数据速率可达 1 Gbps。

在 Whitney^[2] 领导下, Haystack 射电天文台于 2001 年研制成功演示型的 MK5P 终端系统。该系统将数据记录到计算机硬盘上, 数据速率高于 1 Gbps, 并可在 MK4 相关处理机上

进行处理。2002年,这一小组又研制成功实用型的MK5A终端系统(参见图1),它的价格约为1.63万美元,其中硬盘模块(带8个120GB硬盘)的价格为1750美元。

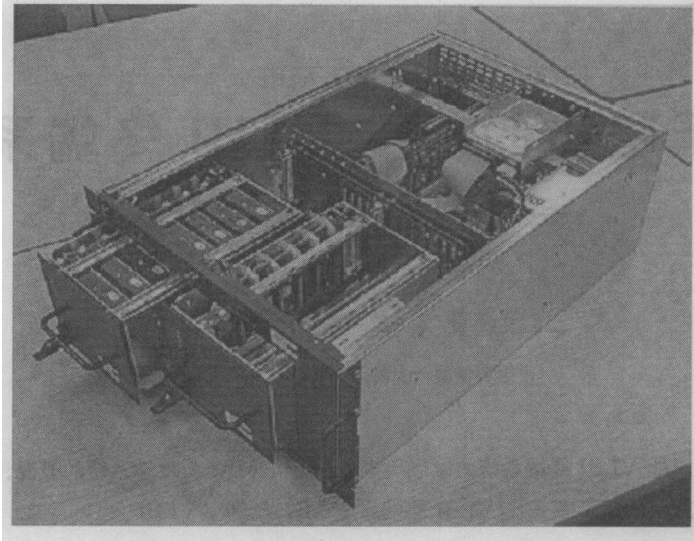


图1 MK5A系统^[2]

我国VLBI终端系统的研制主要集中在中国科学院上海天文台。早在上世纪70年代,上海天文台即开始研制VLBI系统。1978年,它与中国科技大学合作研制了类似MK1的实验VLBI终端系统。1981年,它又研制了使用家用录像机的MK2终端系统。1986年它从美国引进了MK3终端系统,并于1987年投入观测。1994年它又将MK3系统改进成MK3A终端系统,并安装在原乌鲁木齐天文站。2000年8月,它将1993年引进的VLBA终端系统改进成VLBA4系统。2003年,它又研制了类似于MK5A的基于硬盘的VLBI终端系统——“CVN硬盘阵列”,并进行了卫星和射电源试观测。

为与国际先进VLBI站保持同步,上海天文台于2004年引进了MK5A终端系统。国外MK5A系统与主控机、监控计算机是通过互联网相联的,由于上海天文台佘山VLBI站现在未与互联网相联,所以只能通过局域网将各个设备连接起来,其配置定义、软件升级等将与通常的标准方法不一样,需要根据具体情况重新制定。当然,在经费足够的情况下这一状况将得到改观,从而能以极高的速率通过互联网实现数据交换。

2 MK5A VLBI终端系统

MK5A终端系统(以下简称MK5A)是基于磁盘技术的新一代高数据速率的VLBI数据记录和回放系统,它选用硬盘作为记录介质是因为过去几年磁盘技术取得了巨大进展,以致硬盘存储变得比磁带存储更便宜。目前硬盘的价格约为1.00美元/GB,并还在下降;而MK4/VLBA磁带的价格为2美元/GB,并维持不变。预计到2005年左右,硬盘的价格将下降到0.5美元/GB,而其容量可达到500~1000GB。

配备有 16 个 700 GB 硬盘的 MK5A 以 1024 Mbps 速率可连续记录 24 h, 总数据量为 11 TB (太字节), 约相当于 22 盘 MK4/VLBA4 磁带的容量。若使用 MK4 终端系统, 几乎每小时就要人工更换一次磁带。MK5A 单个硬盘的重量约为 0.9 kg, 8 个硬盘相当于一盘 MK4/VLBA4 磁带的重量 (约 8 kg)。

除硬盘价格下降、容量增大外, MK5A 还有以下优点^[2,3]: 记录/回放的数据质量高, 几乎没有误码, 而磁带记录的误码率高, 一般为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$; 易获得价格低廉的商用产品; 可继续改善电气接口性价比; 磁盘本身带有盘驱动装置; 不需要昂贵的磁带机 (每台磁带机约 20 万美元), 因此整个系统价格低廉, 只需 2 万美元; 对任何数据均可快速随机存取, 且几乎同步回放放到相关处理机中 (在刚启动时, 无记录介质的浪费); 不再会有磁头磨损问题, 降低了运行费用。MK4 和 VLBA4 磁带机同时使用两个磁头堆, 每个磁头堆的价格为 0.8~1 万美元, 其寿命为 3000 h。这两个磁头堆的费用相当于一套 MK5A 的费用。

MK5A 主要由低成本、基于 PC 机的部件组成。其机架内含有计算机主板、硬盘; 机架后面板有接显示器、键盘、鼠标的接口; 操作系统为 Linux (Red Hat) 系统。另外, 它的机架还可装两个模块, 分别插入到任一个或两个“硬盘阵列 A”和“硬盘阵列 B”内。每个硬盘模块可以容纳 1~8 个硬盘, 具体硬盘数取决于所需的数据容量和记录/回放数据的速率。在标准的 MK5A“阵列模式”下, 可以任意选择硬盘阵列 A 或硬盘阵列 B 作为有效阵列, 用于记录或播放数据, 而另一个硬盘阵列为空闲或未安装状态。若空闲的硬盘阵列拆下, 换上另一个模块并重新安装, 不会干扰有效阵列的正常工作。当一个阵列记录或播放完时, 可经软件控制自动地将有效阵列切换到另一阵列。

MK5A 设计的目的是直接替代用于记录回放的 MK4 或 VLBA 磁带机。它使用 MK4 或 VLBA 格式编制器作为数据源, 支持以 8、16、32、64 磁道模式的记录。若用 MK4 格式编制器作为主机, MK5A 能够以 16 Mbps/磁道记录 64 条磁道, 最高的用户数据速率为 1024 Mbps; 若用 VLBA 格式编制器作为主机, MK5A 最多支持 8 Mbps/磁道的 64 条磁道, 最高用户数据速率为 512 Mbps。

图 2 为 MK5A 的简化框图。MK5A 的心脏部分是移动硬盘接口 StreamStor 接口卡, 它专门设计用于高速实时数据采集和回放, 可支持速率超过 1024 Mbps 的 16 个硬盘。系统记录时, 该硬盘接口接收从 MK4 或 VLBA 格式编制器来的 32 路平行比特流, 供硬盘驱动器记录; 系统回放时, 该硬盘接口重新转换硬盘回放的 32 路平行比特流, 以重建格式编制器的输出 (为了更有效地存储, 记录时消除来自 MK4 或 VLBA 格式编制器数据流中的奇偶位, 回放时再恢复奇偶位)。StreamStor 接口卡还可将数据输出到 PC 机或网络上, 也可将来自 PC 机或网络的数据送到硬盘或相关处理机中。

为了记录或回放数据, 必须要由定制的 PCI 板, 即“I/O 板”来实现“标准”VLBI 数据接口 (格式编制器、相关器、VLBI 标准硬件接口^[4]) 和 32 比特面板数据接口 (FPDP) 总线之间的传输。该板经过 FPDP 总线连接到 StreamStor 卡。如图 2 所示, I/O 板接收来自 MK4 或 VLBA 格式编制器的数据, 并将数据转换为 FPDP 总线格式。反之, I/O 板也可接收来自 FPDP 总线 (从 StreamStor 来) 的数据, 并将数据转换成现存的 MK4/VLBA 相关处理机所用的格式。

数据记录到硬盘时, 硬盘组将按与磁带相同的方式记录数据, 即顺序地, 一个接一个地记

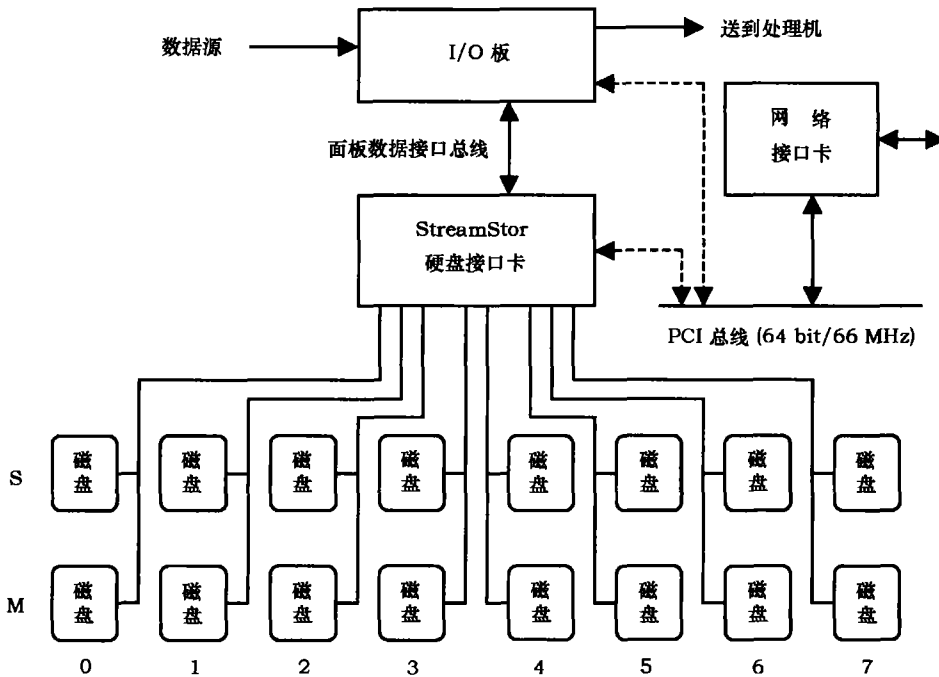


图 2 MK5A 终端系统的简化框图

录 scan。硬盘的切换由软件自动进行。

MK5A 有 3 种基本的工作模式 (见图 3~5) [5]：

(1) 空闲模式。当系统在该模式，即未记录或回放数据时，数据经过 FPDP 总线进入输入部分，并在输出部分重新输出数据。这一模式也称旁路模式或穿过模式。

(2) 记录模式。除了硬盘记录 FPDP 总线上的数据外，这种模式与空闲模式相同。记录时不影响 FPDP 总线上的数据。有时也称这一模式为记录 / 旁路模式，因为在记录数据时，旁路功能和穿过功能均有效。

(3) 回放模式。这一模式是将记录的数据回放到 FPDP 总线，然后送到输出部分，其中回放速率由输出部分提供的时钟控制 (板上或外部时钟)，而不依赖于记录时钟速率。

MK5A 的数据模式有 4 种：

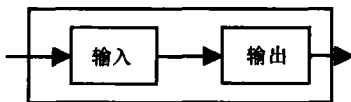


图 3 MK5A 空闲模式 [5]

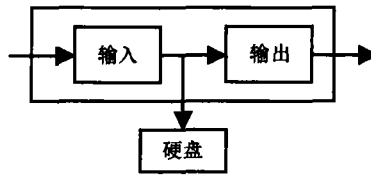


图 4 MK5A 记录模式 [5]

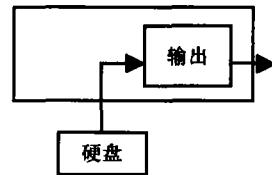


图 5 MK5A 回放模式 [5]

(1) tvg 模式。记录和回放测试数据。

(2) st 模式。直接记录和回放 MK4 或 VLBA 数据。

(3) MK4 模式。消除来自 MK4 格式编制器的数据中的奇偶位, 将它转换为无奇偶位的 MK4 格式数据, 然后再将数据放到 32 比特 FPDP 总线上。其 4 种 MK4 子模式相应于不同的有效 MK4 磁道数。

(4) vlba 模式。转换数据为无奇偶位的 VLBA 格式。除数据格式不同, 其余均与 MK4 模式相同。

另外, MK5A 通过网络有多种数据传输方式: 可以将数据从一个 MK5A 送到另一个 MK5A 的硬盘, 也可将数据从一 MK5A 经由另一个 MK5A 送到相关处理中心; 可以将数据从一 MK5A 以文件的方式送到别的计算机中, 或将数据从某台计算机以文件的方式经由 MK5A 送到相关处理中心; 在 MK5A 内部, 数据可从 MK5A 硬盘以文件的方式传到控制计算机的硬盘, 也可以从计算机硬盘传到 MK5A 硬盘。

MK5A 可以由本地计算机控制, 也可通过网络来控制。每个 MK5A 带有安装好的 Red Hat Linux 和当前版本的 MK5A 软件, 并必须配置由系统管理员提供的 IP 地址和域名。

MK5A 配有许多控制软件。其中包括主控程序“Mark5A”^[6], 它需要定期更新以最佳地运行 MK5A; 实用和测试程序“tstMark5A”, 它是带有简单操作界面的一個小型独立程序, 允许发送命令以及从 MK5A 接收响应, 并能接收标准的 MK5A 命令; StreamStor 卡的初始化程序“ssopen”; 独立的 StreamStor 复位程序“SSReset”; 独立的磁盘消磁程序“SSErase”等。有关辅助和测试程序更详细的信息请参阅文献 [7]。

有些观测站, 如 Westford 等已于 2002 年开始使用 MK5A 做一些正式观测。鉴于这一系统的许多优点, MK5A 将很快在各国 VLBI 站得到普及。美国测地网即将停止对磁带记录系统的支持, 欧洲 VLBI 网也将在 2004 年度停止对磁带记录系统的支持。

3 VLBI 数据系统的展望

多年来, 各国甚至同一国家的各个天文台研制了各种类型的 VLBI 数据系统, 比如美国的 MK 系列和 VLBA 系列、加拿大的 S 系列^[8]、日本的 K 系列^[9]等, 这些系统均存在相互不兼容问题, 极大地妨碍了 VLBI 潜能的开发。为此, VLBI 标准接口技术协调组在国际测地界和天文界的支持下广泛采纳有关专家的建议, 分别于 2000 年 8 月制定了第一版 VLBI 数据系统的硬件国际标准接口 VSI-H^[4], 2003 年 2 月制定了第一版 VLBI 数据系统的软件国际标准接口 VSI-S^[10]。VSI-H 能使 VLBI 各种不同类型的数据传输系统 (DTS) 对接到统一的数据采集系统或数据处理系统。该接口包括电器特性和时序逻辑的定义, 兼容传统的录 / 放系统、网络数据传送甚至直接连接系统。记录这些数据的介质可以是传统的磁带, 也可以是磁盘、光盘、光纤或网络。VSI-S 则定义了控制 DTS 用的通讯结构和协议, 规定了 DTS 使用的命令和响应模式, 以及配置和操作一般 DTS 所用的基本命令集。按 VSI-H 和 VSI-S 标准, 在各种 VLBI 终端系统上记录的数据都能用一种相关处理机进行处理。

目前, 新一代 VLBI 终端系统 —— MK5B 系统和 e-VLBI 已在研制中。

(1) MK5B 系统

该系统将完全按照 VSI 标准, 不再需要外部格式编制器, 数据速率达 1024 Mbps; 兼容已有的 MK4/VLBA 相关处理机系统; 与现有 VLBI 系统有广泛的兼容性。例如, 可用 VSI 兼容接口记录数据, 并回放到 MK4/VLBA 相关处理机。相反地, 也可从 MK4/VLBA 终端系统记录数据, 并回放到任何 VSI 兼容的相关处理机。另外, 可以容易地修改 S2 系统的接口, 使其数据能够记录在 MK5B 系统上, 然后回放到 VSI 兼容的或 MK4/VLBA 相关处理机。预计 MK5B 将于 2004 年完工^[2]。

(2) e-VLBI^[11]

e-VLBI 通过数据通讯网络将各观测站的数据实时 (或准实时, 即先记录在本地硬盘上, 后进入因特网) 传输到处理中心, 用于实时处理或存储到相关处理机硬盘中待稍后再处理。它允许同时将数据记录在硬盘和传输到网络, 数据速率约达 800 Mbps^[12]。

e-VLBI 的优点在于不需拥有记录介质库, 从而不存在运输费用和介质损耗; 可以接收更多的数据, 增加带宽与系统的灵敏度; 能捕获瞬时现象; 能够实时诊断观测站的性能和存在的问题, 提高观测成功率; 能快速得到结果, 而传统的系统从观测结束到给出结果通常需要数天至数月。

美国、日本等国已用 e-VLBI 做了些正式观测, 但网络数据传输的效率和可靠性以及在一些国家间的传输成本使得它要在各国 VLBI 站得到普及尚需时日。

参考文献:

- [1] Broten N W, Legg T H, Locke J L et al. *Science*, 1967, 156: 1592
- [2] Whitney A R. 会议资料, Second IVS TOW (Technical Operation Workshop), MK5 System Overview, 2003
- [3] Whitney A R. 会议资料, Second IVS TOW, Mark 5 Disk_Base Gbps VLBI Data System, 2003
- [4] Whitney A R. In: Vandenberg N R, Bayer K D eds. *IVS Annual Report*, Washington: IVS, 2000: 18
- [5] Whitney A R. 会议资料, Second IVS TOW, Mark 5 System User's Manual, 2003
- [6] John B. 会议资料, Second IVS TOW, Mark5A Software and Red Hat Linux Maintenance, 2003
- [7] John B. 会议资料, Second IVS TOW, Mark-5 Auxiliary Programs, 2003
- [8] Mario B. 会议资料, Second IVS TOW, Using S2 System, 2003
- [9] Yasuhiro K. 会议资料, Second IVS TOW, Introduction to the K5 System, 2003
- [10] Whitney A R. 会议资料, Second IVS TOW, VLBI Standard Software Interface Specification—VSI-S, 2003
- [11] David L. 会议资料, Second IVS TOW, e-VLBI Overview, 2003
- [12] Whitney A R. In: Vandenberg N R, Bayer K D eds. *IVS 2002 General Meeting Proceedings*, Washington: IVS, 2002: 137

The Disk-Based VLBI Terminal System: MK5A Terminal System

WEI Wen-ren, XUE Zhu-he

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

Abstract: The history and the current status of VLBI data system is reviewed. The introduction, theory of operation, operating mode and data mode of MK5 are described in this paper. Future VLBI data system—MK5B and e-VLBI are presented.

Key words: astronomical facilities and technique; data system; VLBI; terminal system