



射电终端发展与110 m射电望远镜终端系统

聂俊^{1,2*}, 裴鑫^{1,2}, 王娜^{1,2}, 陈卯蒸^{1,2}, 张海龙^{1,2}

1. 中国科学院新疆天文台, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院射电天文重点实验室, 南京 210008

*联系人, E-mail: niejun@xao.ac.cn

收稿日期: 2016-12-02; 接受日期: 2017-01-16; 网络出版日期: 2017-03-17

国家重点基础研究发展计划(编号: 2015CB857103)、国家自然科学基金(编号: 11403091, U1531125, 11503075)、中国科学院西部之光项目(编号: XBBS201325)和中国科学院青年创新促进会资助项目

摘要 终端系统作为射电望远镜的组成部分, 将接收机放大的射电信号作为输入, 功能是实现射电信号的数字化和信号处理, 并将处理后的数据送入存储设备. 数字终端已替代模拟终端成为射电望远镜的标准配置, 多功能数字终端系统日趋完善. 硬件平台包括现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)、图形处理器(Graphics Processing Unit, GPU)、中央处理器(Central Processing Unit, CPU)和集成众核(Many Integrated Core, MIC)等, 为数字终端的研制提供了丰富选择. 计划在新疆奇台建设的110 m射电望远镜(QiTai Radia Telescope, QTT)设计了L, S, C, K波段宽带/超宽带单波束接收机, L波段相控阵馈源(Phased Array Feed, PAF)和Q, W波段传统多波束接收机, 需研制匹配的超宽带数字终端系统. 本文在综述了射电望远镜终端系统的发展和国内外现状基础上, 构思和讨论了采用开放FPGA平台+GPU集群为基础的QTT终端系统的设计方案和研制思路.

关键词 射电天文数字终端, 现场可编程门阵列(FPGA), 图形处理器(GPU)

PACS: 47.27.-i, 47.27.Eq, 47.27.Nz, 47.40.Ki, 47.85.Gj

1 引言

借助20世纪40年代发展起来的电磁波理论和微波处理技术, 射电观测手段成为地基非常重要的观测手段. 20世纪60年代中的4大天文发现: 类星体、脉冲星、星际分子和微波背景辐射, 都是利用射电天文手段获得的. 相比可见光, 射电天文为人类展示出宇宙的另一侧面: 无线电形象.

射电天文学观测的是波长在1 mm–30 m的电磁波,

采用射电望远镜进行观测. 电磁信号通过反射器汇聚到一点, 信号经过接收机放大和频率迁移后由终端系统处理, 最终输出到计算机和存储设备等待进一步分析处理. 在整个射电望远镜系统里, 终端是相对于接收机和微波信号路由等前端设备而言的. 终端子系统是射电望远镜系统的重要组成部分, 主要承担着信号数字化、信号处理和数据输出等功能. 目前与望远镜系统高度集成、高度匹配且可靠性高、稳定性好、可重复配置、配置简易的终端系统是射电望远镜的

引用格式: 聂俊, 裴鑫, 王娜, 等. 射电终端发展与110 m射电望远镜终端系统. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2017, 47: 059512
Nie J, Pei X, Wang N, et al. Development of radio backend and 110 m radio telescope backend system (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2017, 47: 059512, doi: [10.1360/SSPMA2016-00502](https://doi.org/10.1360/SSPMA2016-00502)

标准配置.

信号处理手段的进步不断推动射电终端系统的发展. 最原始的终端系统由模拟电路组成, 仅能完成积分、电平到绘图信号的转换等功能. 微波器件和电路的发展使得模拟终端系统可以做得越来越复杂, 功能也越来越强大, 可以完成一些复杂度较高的算法计算. 由于模拟终端的设计复杂度与算法复杂度成正比, 加之终端设计一旦定型就固定了功能, 很难再将其作为其他功能使用, 另外模拟终端的工作带宽受到微波电路器件工作带宽的限制无法满足宽带和超宽带接收系统的要求. 模拟终端的短板促使射电天文技术人员研制数字化的终端系统.

高速模数转换器、数字信号处理和计算机技术的飞速发展使射电天文终端系统带来了革命性的进步. 可编程逻辑器件的出现真正解决了终端系统对数字化采样、信号处理算法等对计算能力需求的瓶颈. 经过近20年的发展, 现代数字终端已经完全胜任射电天文观测的各种需求, 随着望远镜的工作带宽和信号处理复杂性的提高, 大多数场合下数字终端是唯一选择. 对比模拟终端, 数字终端在开发难度、可重复配置性、稳定性、性价比和维护难度等方面都具有较大优势.

大型射电望远镜由于信号收集能力强, 配置宽带/超宽带接收机后灵敏度极高, 为满足望远镜系统的最高观测效率, 需要采用当前最先进的技术研制整合与望远镜系统指标匹配的数字终端系统.

2 数字终端发展历史

数字终端经历了30多年的发展, 信号处理硬件和技术经过了不断更新, 主要包括以下几个方面.

以中央处理器(Central Processing Unit, CPU)为核心. 采用传统CPU对数据进行处理, 由于单个CPU核心只能做串行计算, 计算效率不高, 只能满足计算量小和对实时性要求低的信号处理环境, 如脉冲星离线搜寻、甚长基线干涉测量(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)相关、基带数据处理等, 以CPU为计算单元作为最基本的计算架构已经积累了大量的处理程序.

以数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)芯片为核心. DSP芯片具有一定的并行计算特性, 集成了专用信号处理算法指令, 比较适合于特定用途的数

字信号处理环境, DSP芯片的出现从一定程度上缓解了终端设备信号处理能力不足的矛盾. 由于DSP芯片并没有太多的并行度且仍然需要执行软件指令的特性使得DSP成为过渡计算平台, 未能在射电天文数字终端领域得到大的发展.

以现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)为核心. FPGA器件内部由数以百万计的逻辑门组成, 这些逻辑门通过可编程信号路由设备连接起来, 对FPGA器件进行编程即是配置这些信号路由设备, 从而将散列的逻辑门按照要求组合起来形成需要的功能. FPGA的特性使得可以将其配置为延时固定且计算并行度高的信号处理中心. 以FPGA为核心的数字终端曾一度垄断了终端的研制方向. 随着技术的发展, FPGA在未来仍扮演重要的角色, 特别是在数字采样和预处理方面发挥不可替代的作用.

以FPGA, GPU和CPU联合处理. 多波束技术让射电望远镜能同时观测指向区域中多个相邻的天区, 特别是近段时间快速发展的相控阵馈源技术, 让射电相机成为可能; 除了单个的射电望远镜形式, 多个射电望远镜之间还能组成阵列, 如Atacama大型毫米波/亚毫米波天线阵(Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array, ALMA)、平方公里射电阵(Square Kilometre Array, SKA)等通过将各个望远镜之间的数据相关得出天体更加精确的信息. 多波束和望远镜阵列技术的需求和发展都为终端系统带来更大的复杂度和计算量, 仅仅只靠FPGA已经较难满足系统复杂性的要求. 作为消费类计算机附件的GPU由于具有极好的信号处理框架和廉价的成本很快受到了终端技术人员的青睐. 现在国际上流行的终端设计思想即采用FPGA与GPU配合的方法进行设计, FPGA主要用于数字采样控制、数据预处理和数据分配, GPU用于实时复杂数据处理^[1], CPU负责控制数据流及各种简单外围计算. FPGA和GPU通过高速网络连接. 这样的设计模式各取FPGA和GPU所长, 在性能、设计难度和性价比之间找到了很好的平衡点.

以FPGA和集成众核(Many Integrated Core, MIC)处理. 鉴于GPU的快速发展和其在超级计算中的巨大作用, 作为CPU行业巨头的Intel公司开始推出MIC作为应对. MIC在一块接口为PCI-E、类似于GPU图形卡上集成了超过50个CPU核心, 每个核心运行4个线程, 拥有512 KB的高速缓存, 整个MIC具有16 GB的内存,

可以说每个MIC都是一台小型超级计算机, 计算速度达到了1.2 TFLOPS. 对比GPU, MIC具有不少优势: 可运行普通的基于×64的并行计算程序、对逻辑的控制远远超过GPU. 虽然MIC的并行计算能力与GPU相比还有较大的差距, 但在将来或可与GPU并肩为射电天文信号处理带来更强大的处理能力和更灵活的体系结构^[2].

大规模并行计算处理. 并行计算一直是强有力的计算架构, 但运行在并行计算系统上的并行算法和程序一直是开发的难点. 射电信号的多路相关处理、脉冲星搜寻中色散空间的遍历等都适合于并行的计算架构.

3 数字终端国际前沿

目前国际上有两个数字终端的发展方向.

密集型FPGA处理阵列. 密集型FPGA处理阵列即采用多片FPGA协同处理数据. FPGA之间通过I/O总线或高速以太网络进行数据通信. FPGA阵列可以爆发出巨大的实时计算能力, 而且FPGA之间可以直接通过I/O进行连接, 保证FPGA之间的带宽可以不受任何限制. 这样的阵列方式虽然设计难度较大、成本较高, 但对于算法实时性却有很好的保障, 适用于如脉冲星消色散、相控阵馈源(Phased Array Feed, PAF)波束形成和多天线相关等会产生大量数据而又需要实时处理的应用场景.

FPGA+GPU处理阵列. 如前所述, GPU的多核架构也是非常适合数字信号处理算法的, 而且GPU具有FPGA无法比拟的设计灵活性和性价比, 已经越来越成为终端技术人员的首选. 但GPU无法单独工作, 数据还

需要从FPGA和模数转换器(Analog to Digital Converter, ADC)得到. FPGA和GPU之间通过高速以太网连接, 但10 GbE已经快不能满足传输带宽的要求, 因为FPGA和GPU的发展速度比以太网快, 瓶颈已经在传输界面出现. FPGA+GPU阵列模式主要适用于后期具有更复杂计算的环境, 如脉冲星搜寻、PAF波束校准和相关器等.

国内外射电天文主流的数字终端的指标为: 采样率: 1–2 GHz; 采样精度: 8–12 bit; DSP单元: FPGA (Xilinx Virtex 6), GPU (Geforce 580GTX), CPU; 交换网络: 10 GbE

以下介绍了世界上主要射电天文数字终端(基于FPGA)研制国家和地区的设备、指标及开放性等(表1).

美国. 美国加利福尼亚大学伯克利分校的Werthimer^[3]研究组(网站: casper.berkeley.edu)一直倡导开放、合作的精神, 先后开发了iBOB, BEE2, ROACH和ROACH2等基于FPGA的硬件终端平台和与之配套的软件开发套件. 得益于良好的架构和开放合作的精神, CASPER终端设备已经在全球很多天文台使用, 包括Parkes脉冲星终端CASPSR^[4], BPSR^[5], GBT脉冲星终端GUPPI^[6], VEGAS^[7], 和射电望远镜阵列ATA^[8]和MeerKAT^[9], 甚至美国下一代数字VLBI终端RDBE^[10]亦是基于ROACH进行开发的. CASPER终端可以实现多种形式的互联, FPGA与FPGA, FPGA与GPU可通过10 GbE连接, 组织设计形式灵活. CASPER还提供良好的设计软件和模组库供开发人员使用.

澳大利亚. 澳大利亚国立射电天文台(Australia Telescope National Facility, ATNF)具有很强的数字终端研制实力, 特别是数字脉冲星消色散终端. ATNF更倾向于采用密集型FPGA来设计终端系统, 如新疆天文

表1 数字终端国际前沿平台性能指标

Table 1 The specifications of top ranking for digital backend in the world

指标	ROACH2	PDFB3	Uniboard	CDAS	SNAP2
FPGA	Xilinx Virtex-6	Xilinx Virtex-2 pro	Altera Stratix 7	Xilinx Virtex-4	Xilinx Kintex 7 Ultra Scale
采样器	10 GSps@4 bits/5 GSps@8 bits ×2	2 GSps@10 bits ×4	–	1.024 GSps@8 bits ×4	26 GSps@3 bits ×2
内存支持	DDR3	DDR2	DDR3	–	DDR3
网络交换接口	10 GbE ×8	10 GbE ×8	10 GbE ×16	–	10 GbE ×16
设计软件	Matlab/Simulink/System Generator/EDK	system generator (未公开)	DSP Builder/HDL (小范围公开)	–	Matlab/Simulink/System Generator/EDK

台南山观测站脉冲星消色散系统PDFB3^[11](www.atnf.csiro.au/news/newsletter/oct05/Pulsar_Digital_Filter_Bank.htm)采用了20余片FPGA. 但ATNF并不开放其终端的设计套件, 导致ATNF的终端只能供天文台站使用, 不能进行二次开发, 降低了终端系统的使用率和使用广泛性.

欧洲. 欧洲一直是国际VLBI联测的相关中心, 也具有较强的数字终端设计能力, 目前欧洲正在设计用于未来e-VLBI的数字相关中心采用的相关器, 该相关器基于正在研制的Uniboard平台^[12](www.radionet-eu.org/uniboard), Uniboard基于密集型FPGA设计, 采用8片Altera最先进的Stratix 7 FPGA. Uniboard主要为VLBI数据实时相关开发, 计算能力巨大, 但不具有模数转换器接口, 若作为观测终端使用需要和其他的FPGA平台配合.

中国. 中国科学院上海天文台承担了组织和建设中国VLBI网络的任务, 是CVN数据的相关中心, CVN已成功完成我国嫦娥探月卫星的测轨和定轨任务. 由于CVN的站点数不多, 采用了国际先进的e-VLBI网络结构, 每个台站通过100 Mbps网络连入上海相关中心. 中国VLBI数据采集系统(Chinese VLBI Data Acquisition System, CDAS)^[13]是为VLBI数据相关开发的相关器, 经过重新配置也能够成为通用的观测终端

系统. 中国科学院自动化研究所自主研制了SNAP2(casper.berkeley.edu/wiki/SNAP2)信号处理平台, 并纳入了CASPER协作范围, 目前该平台已经完成样品装配和测试, 成为我国首个射电信号处理平台.

4 110 m 射电望远镜终端系统展望

根据QTT^[14]项目的整体方案及前端接收机的方案, 制定了QTT终端的初步方案, 为各种观测和测量任务研制4套终端系统.

4.1 多功能数字终端

基于FPGA, GPU等器件的终端系统可以通过不同的配置文件将终端配置为不同的功能, 实现一套终端多种观测模式的多功能终端. 该多功能终端采用混合设计模式, 拥有很强的扩展能力, 主要有脉冲星、谱线和总功率三种工作模式, 终端系统总体框架见图1.

系统的主要指标. 输入: 初期2路子频带, 后期为与多波束配合 n 路子频带, 每频带2路极化; 工作频带宽度: 8 MHz–4 GHz; 最高采样率: 8 GSps; 采样精度: 12 bit; 数据交换速率: 10, 40或100 GbE.

脉冲星终端. 脉冲星终端主要用于脉冲星离线搜寻和脉冲星到达时间观测. 其中搜寻模式将一定积分

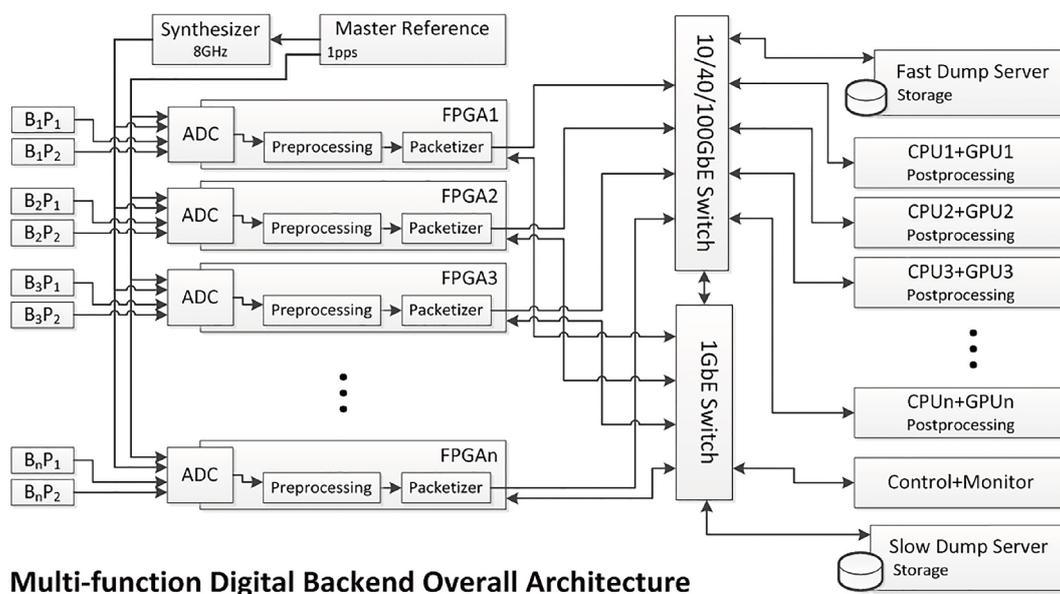


图1 QTT终端系统总体框架
Figure 1 QTT backend overall architecture.

周期的频谱直接输出, 并采用成熟的脉冲星搜寻算法进行后续寻找. 脉冲星到达时间观测将已经色散的脉冲星信号还原消除色散现象, 从而得到精确的脉冲信号. 达到时间观测模式输出4路Stokes参量, 用以测量脉冲星的磁场信息. 脉冲星终端的两种主要观测模式: 脉冲星搜寻模式, 脉冲星到达时间观测模式.

脉冲星搜寻模式下只是用FPGA对频谱进行导出, 记录到磁盘上, 再用软件进行参数空间搜寻. 到达时间观测模式使用FPGA切分子频带, 并通过GPU实现高性能的相干或非相干消色散算法.

谱线终端. 谱线终端主要用于观测宇宙空间分子云的分布, 具有低频谱分辨率和高频谱分辨率两种观测模式. 低频谱分辨率模式用于谱线巡天等不需要太高频谱精度的观测, 高频谱分辨率模式用于研究谱线精细结构、高精度速度场分布等. 低频谱分辨率模式使用FPGA做快速傅里叶变换(Fast Fourier Transformation, FFT)计算直接输出, 高频谱分辨率模式使用FPGA做子频带切分, 使用GPU做高精度FFT.

4.2 连续谱总功率终端

根据国际上通行的做法, 对于功率测量为主要功能的连续谱终端, 使用模拟电路的精确度比数字电路更高, 对于采用数字电路进行总功率终端的测试工作将在后续开展, 如果数字电路, 特别是高速模数转换器的精确度与模拟电路的精度相媲美, 则可将总功率终端设计并入多功能数字终端. 鉴于此, 多功能数字终端的连续谱总功率终端将是研究和测试的重点, 而总功率的观测以天线测量终端为主.

4.3 VLBI终端

VLBI终端将用于国际VLBI联测和CVN联测, QTT的VLBI终端计划以CDAS+DBBC/DBE+Mark 6的模式进行配置, 兼顾国际联测和国内联测的需要. CDAS是上海天文台自行研制的VLBI终端, DBBC是欧洲研制的下一代数字VLBI终端, DBE是美国研制的下一代VLBI数字终端, Mark 6记录仪是下一代的VLBI记录系统, 完全兼容e-VLBI的要求. VLBI终端的指标为: 输入频率范围: 10–512 MHz或512–1024 MHz; 基带转换器通道: 16; 带宽: 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 或 32 MHz; 量化精度: 1, 2, 4或8 bits.

4.4 多波束终端

由于大口径射电望远镜的观测时间非常宝贵, 类似于光学照相机, 现在国际上纷纷开展基于多波束的接收系统研究, 与多波束接收系统配合的是多波束终端系统, 所以多波束终端系统将是QTT未来重要的研制设备. 多波束接收系统有两种主要形式: 传统多波束和相控阵(PAF), 而两种多波束的终端系统完全不一样. 传统多波束的接收机是对单波束接收机的扩展以同时观测更多的天区点, 终端系统是单波束终端系统的复制和校准. PAF终端需要强大的终端系统来实现波束合成和波束校准等任务, 较传统多波束系统更复杂, 但可以得到更多的像素点, 提高望远镜的利用率. 目前国际传统多波束系统已比较成熟, 而更有潜力的PAF系统尚处于研究热点时期, 我们也将一直紧密关注国际研究的前沿动态.

4.5 共生观测

国际上大口径射电望远镜数量少, 观测时间异常珍贵, 为了提高望远镜的观测效率, 将两个或多个科学目标同时进行观测, 采用双路或多路终端系统进行处理, 共生观测越来越多计划或出现在大口径望远镜的观测系统中^[15,16]. 如, 在谱线巡天观测的同时进行快速射电暴(Fast Radio Burst, FRB)的实时搜索, 在所有常规观测过程的同时进行地外文明(Search for Extraterrestrial Intelligence, SETI)搜寻. 随着QTT科学目标的逐步明确, 共生观测将使望远镜使用效率成倍增长.

4.6 终端控制软件

终端控制软件作为望远镜软件集中的一员, 主要负责实时将观测软件发出的指令传递到终端系统, 监视终端系统的运行状态, 并记录数据, 将观测结果状态反馈给观测软件. 终端控制软件将整合各个终端自有的控制软件, 形成一套界面友好、使用灵活的实时软件系统. 终端控制软件见图2.

4.7 终端研制思路

QTT终端的研制具有不小的挑战性, 在综合考虑各方面现状和资源情况下, 一方面为了减小风险, 保

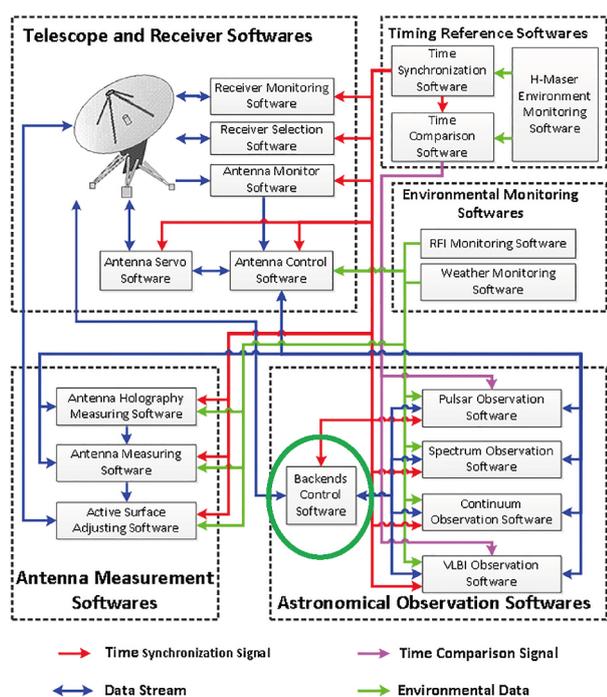


图2 (网络版彩图)QTT软件架构
Figure 2 (Color online) QTT software architecture.

障整个望远镜系统的成功运行,另一方面为了培养终端技术人才,建立终端研发、维护团队,对于能自主

致谢 感谢中华人民共和国科学技术部、国家自然科学基金委、中国科学院等机构对本研究的资助,感谢美国加州大学伯克利分校Dan Werthimer教授、澳大利亚联邦科学与工业研究组织Richard Manchester教授和斯文本科技大学Matthew Bailes教授等支持帮助本研究的专家学者。

参考文献

- 1 Chennamangalam J, Scott S, Jones G, et al. A GPU-based wide-band radio spectrometer. *Publ Astron Soc Aust*, 2014, 31: e048, arXiv: 1411.0436
- 2 Malladi R, Dodson R, Kitaev V. Intel® many integrated core (MIC) architecture: Portability and performance efficiency study of radio astronomy algorithms. In: *Proceedings of the 2012 Work on High-Performance Computing for Astronomy Date*. New York: Association for Computing Machinery, 2012
- 3 Werthimer D. The CASPER collaboration for high-performance open source digital radio astronomy instrumentation. In: *Proceedings of General Assembly and Scientific Symposium*. Istanbul: IEEE, 2011
- 4 Hobbs G. The parkes pulsar timing array. *Class Quantum Grav*, 2013, 30: 224007, arXiv: 1307.2629
- 5 Keith M J, Jameson A, van Straten W, et al. The high time resolution universe pulsar survey-I. System configuration and initial discoveries. *Mon Not R Astron Soc*, 2010, 409: 619–627, arXiv: 1006.5744
- 6 Ransom S M, Demorest P, Ford J, et al. GUPPI: Green bank ultimate pulsar processing instrument. In: *Proceedings of American Astronomical Society Meeting*. Pasadena: American Astronomical Society, 2009
- 7 Bussa S, et al. (VEGAS Collaboration). VEGAS: VEratile GBT astronomical spectrometer. In: *Proceedings of American Astronomical Society Meeting*. Austin: American Astronomical Society, 2012
- 8 Siemion A P V, Bower G C, Foster G, et al. The Allen telescope array Fly’s eye survey for fast radio transients. *Astrophys J*, 2012, 744: 109,

研制的终端立足于自主研制,不能自主研制的通过合作研究引进。

硬件开发成本高、周期长,基于FPGA的终端硬件平台将采取国际(美国、澳大利亚、欧洲等)合作研制的方式解决,选择满足需求、灵活、稳定、易维护升级的系统,同时具有可供自主开发工具包、类库等。信号处理算法是天文数据处理的核心竞争力,终端软件的开发将立足于自主研制,从而建立终端固件、软件开发和维护的团队。基于硬件和软件的研制思路,终端研制倾向于选择开放性和合作性更强的研究机构,从而满足对终端核心的掌握和人才的培养。可以在望远镜建设阶段进行各种终端的原型机开发,等到开始测试和试观测再采购硬件设备,以达到最大的性价比。

5 结果与讨论

本文系统综述了射电天文终端和数字终端系统,讨论了各种信号处理硬件平台的特性,为满足QTT高带宽、高动态范围和多波束等实际需求,构思了采用开放FPGA平台+GPU集群为基础的QTT终端系统的研制方案,确立以FPGA和GPU信号处理核心算法为研究重点的终端开发思路,已有的国内外终端设备经验可保障QTT终端的研制。

- arXiv: [1109.2659](https://arxiv.org/abs/1109.2659)
- 9 Davidson D B. MeerKAT and SKA phase 1. In: Proceedings of 10th International Symposium on Antennas Propagation EM Theory. Xi'an: IEEE, 2012
 - 10 Niell A, Bark M, Beaudoin C, et al. RDBE development and progress. In: Proceedings of the Sixth General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry. Westford: NASA Technical Reports Server, 2010
 - 11 Yuan J P, Wang N, Liu Z Y, et al. Pulsar timing with the DFB at Nanshan. *Proc IAU*, 2012, 8: 574–576
 - 12 Hargreaves J E. UniBoard: Generic hardware for radio astronomy signal processing. In: Proceedings of Millimeter Submillimeter and Far-Infrared Detectors and Instrumentation for Astronomy. Amsterdam: SPIE, 2012
 - 13 Zhu R J, Zhang X Z, Wei W R, et al. The progress of modern Chinese data acquisition system (in Chinese). *Prog Astron*, 2011, 29: 207–217 [朱人杰, 张秀忠, 韦文仁, 等. 我国新一代VLBI数字基带转换器研制进展. *天文学进展*, 2011, 29: 207–217]
 - 14 Wang N. Xinjiang Qitai 110 m radio telescope (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2014, 44: 783–794 [王娜. 新疆奇台110 m射电望远镜. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2014, 44: 783–794]
 - 15 Macquart J P, Bailes M, Bhat N D R, et al. The commensal real-time ASKAP fast-transients (CRAFT) survey. *Publ Astron Soc Aust*, 2010, 27: 272–282, arXiv: [1001.2958](https://arxiv.org/abs/1001.2958)
 - 16 Siemion A, Armour W, Chennamangalam J, et al. Commensal searches for extraterrestrial intelligence with Arecibo observatory and the green bank telescope. In: Proceedings of General Assembly and Scientific Symposium. Beijing: IEEE, 2014

Development of radio backend and 110 m radio telescope backend system

NIE Jun^{1,2*}, PEI Xin^{1,2}, WANG Na^{1,2}, CHEN MaoZheng^{1,2} & ZHANG HaiLong^{1,2}

¹ *Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;*

² *Key Laboratory of Radio Astronomy, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*

Backend system, as a part of the radio telescope, receives the radio signal which is amplified by the receiver, lays its emphasis on signal digitization and processing, and sends the processed data into storage system. Digital backend as a standard facility of radio telescope takes the place of analog backend, and multi-functional backend system is on its way to perfection. The backend hardware platforms, such as FPGA, GPU, CPU, and MIC, and they can be chosen when designing radio telescope backend system. The 110 m radio telescope (QTT), which is proposed to be built in Xinjiang Qitai, is planned with L, S, C, K wide/ultrawide band single pixel receivers, L band PAF and Q, W band conventional multibeam receivers, and the adaptive ultrawide band digital backend system will also be designed. Based on development of radio telescope backend system and introduction of worldwide research frontiers, we discussed and designed the digital backend plan and roadmap for QTT.

radio astronomy digital backend, FPGA, GPU

PACS: 47.27.-i, 47.27.Eq, 47.27.Nz, 47.40.Ki, 47.85.Gj

doi: [10.1360/SSPMA2016-00502](https://doi.org/10.1360/SSPMA2016-00502)