

文章编号: 1000-8349(2008)02-0175-09



用于射电天文数字频谱仪的新进展

林镇辉¹, 姚骑均^{1,2}, 杨 戟¹

(1. 中国科学院 紫金山天文台, 南京 210008; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 根据在射电天文频谱观测中出现的新需求, 介绍了近年来数字技术的新进展。达到 GHz 采样速率的多位高速模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC)、海量数字处理芯片现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 以及运行在这些芯片上的并行快速傅里叶变换知识产权 (Fast Fourier Transform Intellectual Property, FFT IP) 内核, 结合高性能数据总线的系统集成, 为射电天文构建新型 FFT 频谱仪提供了可能的技术选择。与现有其他类型频谱仪相比, 集成了这些新技术的数字型 FFT 频谱仪有更大的带宽、更高的谱分辨率、更高的动态范围和整体稳定性, 此类频谱仪的出现显示了射电频谱技术已经进入了新一代数字技术应用的阶段。

关键词: 天文观测设备与技术; 射电频谱仪; 模数转换器; 现场可编程门阵列; IP 内核; 实时 FFT; PCI 总线

中图分类号: P161.4; P111.44 **文献标识码:** A

1 引 言

射电天文观测的主要内容之一是“频谱观测”。我国德令哈 13.7m 射电天文望远镜安装了由三台声光频谱仪构成的“3 毫米波段多谱线系统”。该系统自 2002 年提供开放观测, 为星际分子云、恒星形成区、超新星遗迹等各类天体观测研究提供了重要的手段。随着望远镜整体性能的提高, 该设备从 2005 年开始对一些高密度分子探针谱线如 HCO^+ 、 CS 、 N_2H^+ 等进行观测, 也陆续对河外星系进行 CO 分子谱线观测。这些技术措施提高了望远镜整体探测极限, 为拓展分子云核的内部结构、原恒星塌缩等一批前沿课题观测提供了可能的手段。

“3 毫米波段多谱线系统”能有效地探测气体密度在 $10^2 \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$ 区间的分子云的整体分布。在研究的课题中, 人们进一步通过探测 HCO^+ 、 CS 、 N_2H^+ 、 CN 、 HCN 等高密度

收稿日期: 2007-05-18; 修回日期: 2007-09-27

探针谱线, 获得分子云深层次结构与物理化学信息、研究其演化的多样性信息。在这些分子探针中, $\text{N}_2\text{H}^+(J=1-0)$ 分子谱线的超精细结构谱线用于探测气体密度在 $10^4\sim 10^6\text{ cm}^{-3}$ 之间的区域。该跃迁谱线有 7 条精细结构成分, 出现在 93.171~93.176 GHz 之间, 这些谱线间的最小频率间隔只有 137 kHz^[1], 并且谱线轮廓本身反映了分子云内部辐射转移过程和速度场分布。精确观测这样的超精细结构的分子谱线需要后端频谱仪具备高谱分辨率的性能。

一个典型的星系速度弥散在 $200\sim 500\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。要完整覆盖河外星系的谱线轮廓和速度场, 需要后端频谱仪具备宽带的性能。多普勒关系告诉我们, 对于给定的速度弥散 ΔV , 对应的频谱宽度 $\Delta f = (\Delta V/c) \times f_0$, 与射电谱线的静止频率 f_0 成正比。因此, 在射电高频段, 测量星系的射电谱线需要更宽的带宽, 如 $500\sim 1\,000\text{ MHz}$ 。

在恒星形成课题研究中, 恒星形成区的一些高密度分子探针的谱线 (CS 、 HCO^+) 及它们的同位素等, 可以有效地示踪分子云核的内部速度场, 如塌缩特征或外流。这些谱线的天线温度只有 $10\sim 100\text{ mK}$ ^[2]。对这些弱谱线的观测要取得足够的信噪比, 除了增加天线增益、提高接收机灵敏度以外, 还要求频谱接收设备具有更长的稳定性时标和更大的动态范围。

随着观测需求的不断提高, 在提升射电天线的性能、提高接收机的探测灵敏度的同时, 今后对后端频谱仪性能的要求也将不断提高, 主要体现在宽带、高谱分辨率、大动态范围和长时标稳定性等方面。这些新的观测需求已经超出了现有声光频谱设备所能提供的性能范围。随着半导体技术的发展, 宽带高速 ADC、高性能数字信号处理芯片, 以及高性能计算机总线的出现, 基于 FFT 原理的数字频谱技术近年来迅速发展起来。因此, 在新的科学发展需求背景下, 我们要根据频谱技术发展的前沿, 探索新的频谱技术在射电天文中的应用, 研发新型后端频谱仪^[3]。本文将简要介绍这些技术的发展以及在射电频谱分析中的应用前景。

2 数字频谱技术进展

2.1 射电天文频谱技术回顾

工业界商用的扫频频谱仪, 尽管其扫频带宽目前已经达到几十 GHz, 但因其积分效率差, 灵敏度不够, 并不适用于射电天文等领域对待检测的微弱信号进行频谱分析。在射电天文应用领域, 根据频谱技术的发展阶段, 可以将频谱仪分成四种基本类型^[4]: (1) 多通道滤波频谱仪 (Filter-Banks Spectrometer, FBS); (2) 声光频谱仪 (Acousto-Optical Spectrometer, AOS); (3) 啁啾变换频谱仪 (Chirp Transform Spectrometer, CTS); (4) 自相关频谱仪 (Auto-Correlation Spectrometer, ACS)。

早期的频谱仪是由模拟带通滤波器加上模拟检波器组成的所谓多通道频谱仪, 每一路检波器输出当作一个频谱通道。不过由于这种频谱仪每路的滤波器和检波器的特性表现不一、通道一致性差, 且相邻通道间往往存在比较严重的频率串扰等, 因此系统的可靠性不高, 目前这种多通道频谱仪在天文设备中已经较为少见。

后来出现的声光频谱仪, 很好地克服了多通道滤波频谱仪的缺点, 而且其瞬时带宽 (Instantaneous Bandwidth) 在几十 MHz 到 1 GHz 范围, 频谱通道为 1 000 量级, 因此这种中、宽带的频谱仪从 20 世纪 70 年代以来的相当长的一段时间内得到广泛应用。声光频谱仪本身集成了机、光、电三种技术, 其缺点是体积庞大、结构比较复杂、不易集成。再者, 声光频谱仪

对工作环境(如温度稳定性等因素)要求甚高,而这些因素对系统的稳定性有着较大的影响。

相对于声光频谱仪,基于声表面波技术的啁啾变换频谱仪,为在中等瞬时带宽情况下进行频谱分析,提供了一种新的解决方案。这种频谱仪瞬时带宽在几百 MHz 量级,通道数为几千。

随着数字技术的发展,1~2 bit 数字自相关频谱仪出现了,由于其具有抗干扰能力强、稳定可靠、体积小、灵活等优点,在 20 世纪 90 年代中后期成为射电天文望远镜上后端设备的发展主流。根据 Wiener-Khinchin 定理,信号的功率谱可以通过求信号的自相关函数的傅里叶变换获得,数字自相关频谱仪正是基于这个原理发展起来的。采用数字相关技术的优点在于:通过相对简单的数字电路实现相关运算,在时域上并对相关系数进行积分,能有效地解决因 FFT 计算速度带来的瓶颈问题,从而实现宽带频谱分析。再者,由于一个 2 bit 相关器的积分效率可达到理想相关器(无限多位)的 0.88,而多位自相关器在性能改善有限电路实现的复杂程度却大幅增加的情况下,并且在多位高速 ADC 技术还未成熟之前,2 bit 数字自相关频谱仪在射电天文应用中成为了自相关频谱仪的标准。2 bit 数字自相关频谱仪目前可以处理的信号带宽在 1~2 GHz,通道数为几千。

近年来随着微波工艺、技术的发展,模拟自相关频谱技术也取得了新的进展,一种由微带线,商用晶体管和二极管组成的模拟相关器可以实现 3~4 GHz 的瞬时带宽^[5,6]。这种基于模拟器件实现的相关频谱仪,相比于数字相关频谱仪,因为模拟信号没有通过采样、量化过程,因而其工作带宽不受 Nyquist 带宽的限制,积分效率也不受损失。所以在宽带高灵敏度的信号检测方面,此类模拟相关频谱仪有着很好的应用前景。由于受模拟器件的影响,模拟相关频谱仪的系统稳定性并不高,Allan 方差时标在几十秒量级,通道数只有 $10^2\sim 10^3$ 量级,限制了其在高频谱分析方面的应用。

2.2 基于高速 ADC 和高速海量 FPGA 的架构的数字频谱技术

频谱仪数字化,其带宽和频率分辨率主要受到 ADC 的工作带宽和数字信号处理速率这两方面因素的制约。从 2000 年来,工业界数字技术的发展为数字频谱仪提供了快速发展的机遇,相关的核心技术进步主要表现在:(1)高速多位 ADC 的发展;(2)数字运算芯片的发展;(3)高速总线技术的发展。

近年来半导体 ADC 器件发展迅速,这为开发宽带、高分辨率的数字采集提供了技术基础,也使得有别于低位数字自相关的另一条技术路线成为天文实际应用的可能。图 1 显示了各类 ADC 器件的发展趋势,其中粗圆圈指 Maxim、Atmel 等公司 ADC 器件性能目前达到的指标。表 1 列出这几家公司的 ADC 器件主要的技术指标。至目前高端半导体 ADC 器件可以处理的带宽为 1~3 GHz,分辨率为 8~10 bit,解决了宽带数字信号处理带宽的瓶颈问题。

表 1 多位高速 ADC 主要技术指标

时间	公司	ADC	采样速率	分辨率 /bit
2002	Maxim	MAX 104	1 GS/s	8
		MAX 108	1.5 GS/s	8
2004	Linear	LTC 2220	185 MS/s	12
2004	Analog Device	AD 6645	105 MS/s	14
2005	National	ADC08D1500	1.5 GS/s	8
2005	Atmel	AT84AS008GL	2.2 GS/s	10
2005	Acqiris	JetSpeed II	4~8 GS/s	8

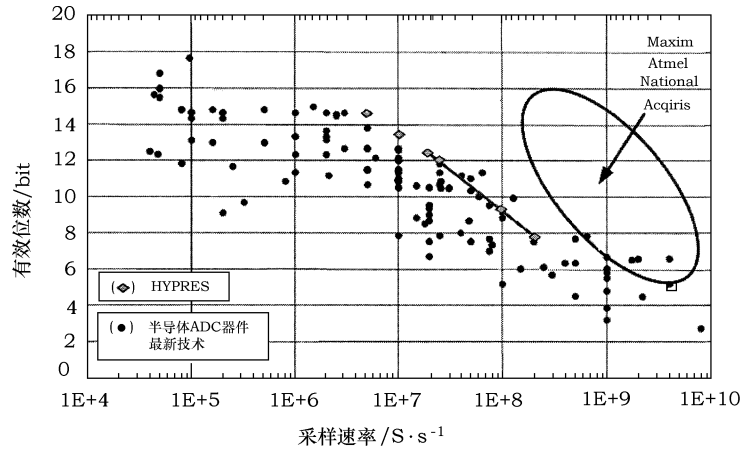


图1 各类 ADC 器件的发展趋势图

图片基于 Hypres 公司资料 + 新数据

随着 DSP(Digital Signal Processor, 数字处理芯片)、FPGA 等新一代数字信号处理芯片的迅速发展, 这些芯片使人们可以在单一的芯片上实现海量的数字信号处理, 实现宽带或高的谱分辨率的信号分析。Altera、Xilinx 等公司的 FPGA 性能在业界表现尤为突出, 这类器件包含的逻辑单元达到 5~8 百万门, 时钟工作速率也高达 400~500 MHz。图 2 是 StratixII(Altera 公司) 和 Virtex-4(Xilinx 公司) 系列的高端 FPGA 容量的比较。横坐标中, 以 ‘E’ 开头的是 Stratix II 系列产品, 以 ‘X’ 开头的是 Virtex-4 系列产品。2006 年, Altera 公司的 Stratix III 系列和 Xilinx 公司的 Virtex-5 系列的 FPGA 也开始投入批量生产, 这将为数字处理技术的快速发展提供更为强大的平台。

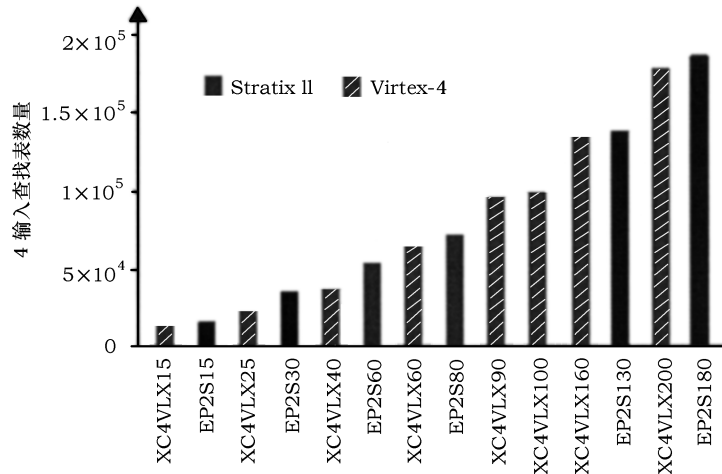


图2 Altera、Xilinx 公司高端 FPGA 的容量比较 [7]

IP 内核是运行在 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit) 和 FPGA 上具有知识产权的软件功能模块, 以实现数据通讯、宽带滤波、频谱分析等复杂的数字运算。IP 内核的出现和它的可复用性, 使得设计在系统集成度、可靠性、稳定性、开发周期和成本以及硬件升级等

多方面实现了最优化。近年来, 随着深亚微米及超深亚微米工艺技术的飞速发展, FPGA 的容量和速度的提高, 使各种功能更为复杂的 IP 内核在 FPGA 上运行成为可能。多家公司和研究单位(如 Xilinx、Altera、RF Engineering、ETH)利用 Altera 公司 Stratix 系列和 Xilinx 公司 Virtex 系列海量高速的 FPGA 平台正在开发超高速、超宽带 FFT IP 内核引擎。其中, RF Engineering 在 FFT IP 内核的开发方面处在业界领先地位。图 3 为该公司开发的几种典型

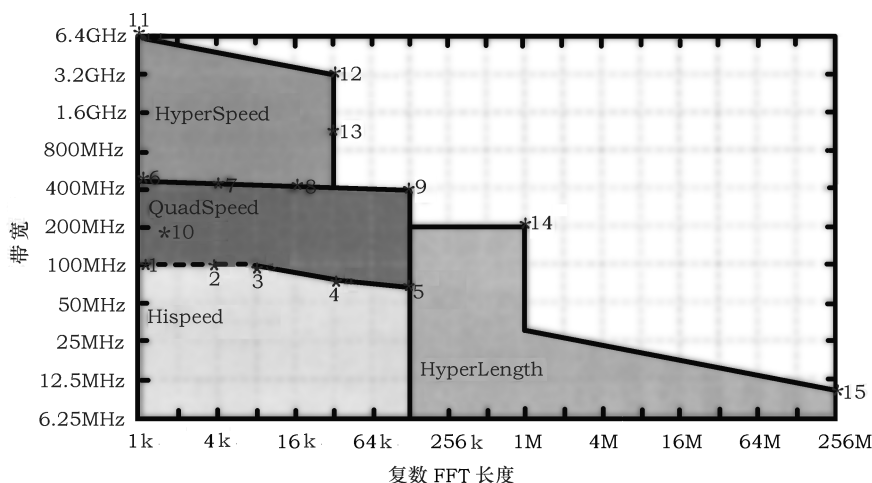


图 3 几种典型 FFT IP 内核的性能比较^[8]

结构 FFT IP 内核, 它们可以运行于 Altera 公司、Xilinx 公司的 FPGA 平台。其中 HyperLength FFT IP 内核可实现 10 MHz 带宽、高达 256M 点 (points) 实时 FFT 运算^[8], 用于需要超高谱分辨率分析的场合; 而 HyperSpeed FFT IP 内核专门为满足超高速采样需求的应用场合如电子对抗、雷达、宽带通讯和射电天文等而设计, 它可接受 3.2 GS/s 高速数据流, 采用流水线 (pipeline) 模式实现 32k 点实时 FFT 运算^[8]。图 4 为这种超高速、宽带 FFT IP 内核模型。

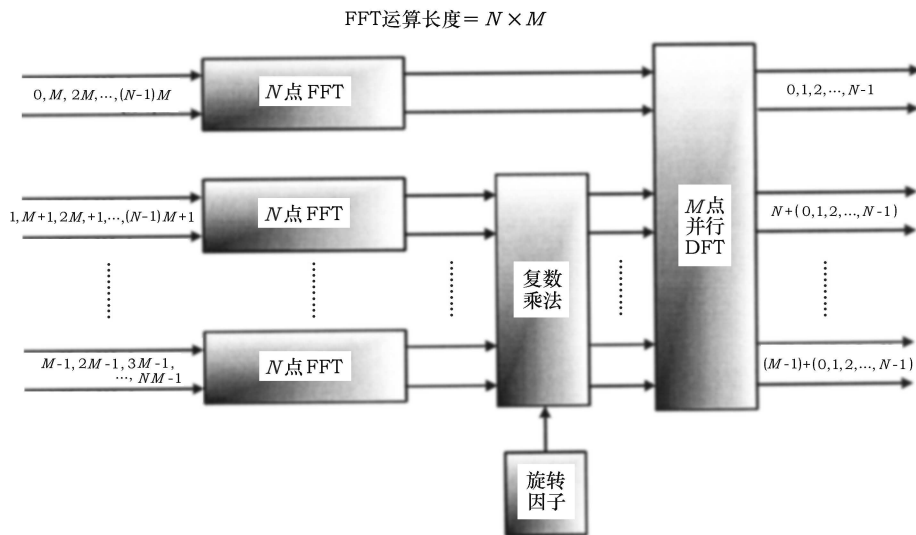


图 4 HyperSpeed FFT 模型^[8]

源于仪器仪表的测控技术发展起来的计算机接口总线技术, 从 20 世纪 70 年代的 GPIB 技术总线到现在的广泛使用的高速 PXI、PCI 技术总线, 经历了 30 多年的不断发展, 使得传输速率和测控性能不断提高, 也为其他的应用提供更为便捷的技术路线。表 2 列举了各种常用总线及其数据传输速率, 其中 cPCI(PXI) 总线可处理的数据宽度为 64 bit, 传输速率为 100 Mb/s, 成为目前快速并广泛应用的技术总线之一。

表 2 各种总线及其数据传输速率

时间	总线类型	速率 /Mb·s ⁻¹
1970'	GPIB	1
1981'	VME	0.1~1
1987'	VXI	< 40
1981-1995'	IPC, 16~32 bit	10
1997'-	cPCI(PXI) 32 bit	100

结合高速多位 ADC, 高速海量 FPGA 和运行于 FPGA 平台的 FFT IP 内核, 基于成熟的高速 PCI/PXI 总线技术, 使得在单个板卡上构架性能强大的数字频谱分析或其他软件无线电 (Software Defined Radio) 产品已变为现实。构架这种频谱分析产品有 ICS、NI、Acqiris 等多家, 表 3 列举了这些公司频谱设备, 其中目前以 Acqiris 的产品 AC240 的性能表现最为优越, 其瞬时带宽为 1 GHz, 通道数可达 16 384^[9]。

表 3 频谱分析产品举例

生产厂商	ADC	带宽 / 分辨率	功能	Bus 类型
ICS-Ltd	AD6645	105 MHz/14 bit	2~4 ch, 8 k-pt FFT	PMC
ICS-554				
Beam Ltd	-	25 MHz/14 bit	2ch, 4 k-pt FFT	PCI
Astro-FFTS				
DSP Research	AD9430	105 MHz/12 bit	2 ch, 3 M FPGA	PCI
Hunt Engineering	AD9430	210 MHz/12 bit	2 ch, 1.5 M FPGA	PCI
NI PXI-5660	Maxim	60 MHz/14 bit	9 kHz~ 2.7 GHz, FFT	PXI
Acqiris	JetSpeed	1 GHz/8 bit	2 ch, 32 k-pt FFT	cPCI
AC-240				

2.3 多位数字频谱技术在射电天文领域的应用

在 2.1 节中我们介绍了在射电天文领域中应用的几种频谱仪, 它们多数为模拟类型或者是低位的数字类型的频谱仪。近年来由于工业界数字技术的发展, 使得新型的多位数字频谱仪在带宽、分辨率和小型化等性能方面取得新的突破, 并快速地得到了应用。

早在 2002—2003 年期间, 一种窄带高分辨率的数字频谱仪就已应用于射电天文和大气检测研究。英国 Coldrick 天文台 6m 射电望远镜上采用了 Beam Ltd 公司 (英国 Bristol) 的 AstroFFT 频谱仪做水脉泽谱线观测研究^[10]; 瑞士 Berne 大学应用物理研究所也用它做大气臭氧含量的检测^[11]。

随着 ADC 的采样速率取得不断突破和成熟的高速海量 FPGA 产品不断推出, 中、宽带高分辨率的数字频谱仪迅速在射电天文望远镜上得到应用。

2004 年, 马普射电所 (MPIfR)、ICS 公司和 RF Engineering 三家研究单位共同合作完成的 ICS-554C 数字频谱仪于同年 8 月安装在 Effelsberg 100m 射电望远镜上, 首次成功观测到 21cm HI 和 OH 脉泽谱线^[12]。

瑞士联邦工学院 (ETH) 为 Acqiris 公司的产品 AC240 独立开发了进行频谱分析、积分的 16k FFT 内核, 该数字频谱仪安装在 KOSMA 3m 射电望远镜上, 于 2005 年 3 月首次成功观测到 IRC+10216 源中的 CO 分子谱线^[13]。2005 年 7 月, 瑞士 Berne 大学应用物理研究所也开始采用了 AC240 这种宽带高分辨率的频谱仪替代原先的 AstroFFT 频谱仪, 进行大气成分的检测研究^[10]。

2005 年 5 月, 马普射电所 (MPIfR) 瞄准了 Acqiris 公司的 AC240, 继续联合 RF Engineering 共同开发了 1 GHz 带宽, 32 768 通道新一代的数字频谱仪, 也很快地安装到 APEX 12m 射电望远镜上, 并于同年 7 月份成功观测到 SgrA* 源中的 CO($J=4-3$) 分子谱线^[14]。2005 年后, 在 Effelsberg 100 m 射电望远镜上也安装了与此相同的数字频谱仪, 并投入使用。

基于这种架构的设备, 有 QinetiQ 公司 Quixilica 产品系列之一的 Neptune 2 VXS 板卡^[15]和 Pentek 公司的 Model 6826 板卡^[16]等。虽然在射电天文方面的应用还没有报道, 但这类板卡只要加载合适的 FFT IP 内核引擎, 便可构成宽带、高分辨率的性能强大的频谱分析设备。

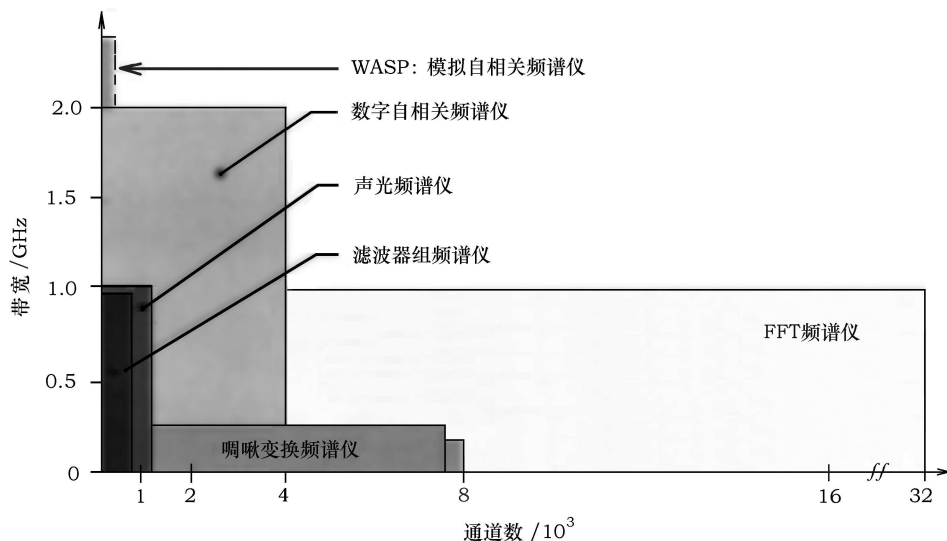


图 5 各种频谱仪的工作带宽和谱分辨率的比较^[4]

以目前在射电天文领域逐渐使用的 Acqiris 公司的 AC240 为例, 这种高速多位 ADC、高速海量 FPGA 和高速 cPCI 技术总线架构的频谱仪的主要特点: (1) 采用全数字的方式进行频谱分析, 系统稳定性和抗干扰能力有突出的表现; (2) 对不同带宽, 可以通过软件设置实时进行配置, 选择不同的处理带宽, 可以实时实现不同带宽和 (或) 分辨率的频谱分析, 这种可以实时重构的特点为节约成本、提高使用中的灵活性提供了选择。

紫金山天文台从 2005 年起开始将 AC240 应用于毫米波射电分子谱线观测, 研制了一套数字 FFT 频谱和配套中频设备。经过实验室测试和天文试观测表明, AC240 数字频谱仪可以为天文望远镜提供其所要求的宽带、高分辨率, 并具备积分频谱仪所需要的所有特征, 并且

在带宽、分辨率等几何指标方面都达到和超过了声光频谱仪和传统的自相关频谱仪。更为重要的是,在动态范围、Allan 方差稳定性、积分效率等性能指标上都不同程度地超越了声光频谱仪或传统的自相关频谱仪,其中 Allan 方差稳定时标达到 1 000 s 量级,相比较于声光频谱仪的几百秒的记录,在深度积分方面得到了很大的改善。由于采用多位 ADC 采样,相比 2 bit 的数字相关的情形,积分效率也明显提高。图 5 总结了各种频谱仪的工作带宽和谱分辨率,从图中可见,这种多位数字频谱仪整体性能优于其他类型的频谱仪,特别在谱分辨率等方面更是其他频谱仪所不能相比的。

3 总结和展望

为了实现新的天文科学目标,对后端频谱设备的带宽、分辨率和稳定性等指标的要求不断提升,本文在此基础上,总结了数字技术进展对射电频谱技术的影响。目前,高分辨率数字频谱技术的发展,已经为射电频谱处理提供了良好的硬件条件,其关键技术进步表现在:

(1) 高速多位 ADC 实现了宽带、高分辨率、高动态范围的射频的数字化;

(2) 高速海量 FPGA 芯片和 FFT IP 内核实现了宽带、高分辨率、高动态范围的高速数字信号处理和可重构;

(3) 高速总线技术提供高的数据传输率、高的使用可靠性以及高的系统集成能力。

与传统的频谱技术相比较,新型的多位数字频谱仪在带宽、分辨率、动态范围、稳定性和可靠性、频谱重构的多样性选择、系统硬件集成度等各个方面显示出明显的优越性。这种新型的数字频谱仪的核心技术在最近两年又有新的进展,Acqiris 公司于 2005 年发布了 8 GS/s、10 bit 可以实现处理 3 GHz 的瞬时带宽的 JetSpeed II ADC 器件。RF Engineering 也着手研究开发基于 Xilinx 高端 FPGA 芯片的 FFT IP 内核引擎,它可以实现接收处理 4 GS/s 数据流,并完成 65 536 通道的频谱分析。可以预见,多位数字 FFT 频谱技术的发展将突破射电天文后端的瓶颈,在综合性能以及系统集成方面的优势使得这类频谱仪可以用于构建下一代毫米波多波束接收系统。在未来大型射电设备(例如 FAST)的建设项目中应用这些技术将从量级上提升射电频谱仪接收的能力。由于多位数字频谱仪具有超强的可重构能力,因此为数字 IF 系统的多样性和灵活性提供了新的技术路线。更广义地看,从基于宽带多位 ADC 和高速 FPGA 现场处理的软件无线电硬件系统不仅可以满足我们在频谱分析和天文观测方面的多样性要求,只要发展适当的 IP 内核,也可以用于脉冲星消色散接收、相关乘法运算等。后者在使用“互相关(Cross-correlation)”的射电干涉仪(综合孔径干涉仪、VLBI)等领域存在很广的应用可能性。

参考文献:

- [1] Caseli P, Myers P C, Thaddeus P. ApJ, 1995, 455: 77
- [2] Lee C W, Myers P C, Tafalla M. ApJ, 1999, 526: 788
- [3] 杨戟. 紫金山天文台青海观测站技术报告, 2005
- [4] Klein B, Philipp S, Güsten R, et al. Proceedings of the SPIE, 2006, 6275: 627
- [5] Harris A I. Proceedings of the SPIE, 2003, 4855: 279

- [6] Harris A. Spectrometers for Heterodyne Detection. <http://www.astro.umd.edu/~harris/docs/harris4-04.pdf>, 2002
- [7] Stratix II vs. Virtex-4 Density Comparison. <http://www.altera.com/products/devices/stratix2/features/density/st2-vir-density-compare.html>, 2007
- [8] FFT Cores for FPGA Product Information Sheet. http://www.rfel.com/download/D04026_FFT_Product_Sheet.pdf, 2007
- [9] AC240 Signal Analyzer Platforms. <http://www.acqiris.com/products/analyzers/cpci-signal-analyzers/ac240-platform.html>, 2007
- [10] AstroFFT:Astronomical Digital Spectrometer. <http://portal.beam.ltd.uk/products/astrofft/astrofft.html>, 2006
- [11] Müller S C, Kämpfer N, Monstein C, et al. Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere X, 2005, 5979: 280
- [12] Stanko S, Klein B, Kerp J. A&A, 2005, 436: 391
- [13] Benz A O, Grigis P C, Hungerbühler V, et al. A&A, 2005, 442: 767
- [14] Klein B, Krämer I, Wielebinski R. A New Generation of Spectrometers for Radio Astronomy. <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/staff/bklein/FFTS/URSI-FFTS.pdf>, 2005
- [15] Quixilica NEPTUNE 2 VX. http://www.tekmicro.com/PDFs/Neptune2_datasheet.pdf, 2007
- [16] Model 6826 Dual 2 GHz, 10-bit A/D with Virtex-II Pro FPGA-VME/VXS. <http://www.pentek.com/deliver/GetDS.cfm/6826.PDF?Filename=6826%20Update%20Rev%20C>. pdf, 2007

New Progress on Digital Spectrometer for Radio Astronomy

LIN Zhen-hui^{1,2}, YAO Qi-jun^{1,2}, YANG Ji¹

(1. Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Spectrometers for radio astronomy have provided an important tool for observations of interstellar molecular clouds, star forming regions, supernova remnants and other targets. The new scientific demands on astronomical observation include wider bandwidth, higher spectral resolution and capability for deep integration. These new technical aspects cannot be fulfilled by traditional analog backends such as acousto-optical spectrometer (AOS), so enhancing performance of backend is highly demanded. A new progress on the key technological features of radio spectroscopy is investigated and summarized in this paper. Based on the system integration of multi-bit ADC (capable of GHz sampling rate), parallel FFT IP cores running on large capacity FPGA, high-performance BUS technology, a novel FFT spectrometer for radio astronomy becomes possible. Digital FFT spectrometer which integrates these new technologies has wider bandwidth, finer spectral resolution, higher dynamic range and system stability in comparison with other types of spectrometer. Limited efforts show that this kind of digital technology may help us in developing sophisticated spectroscopes for radio astronomy. The same architecture can also be used for other applications in radio astronomy, such as the de-dispersion backend in pulsar observation as well as cross correlation in radio interferometers.

Key words: astronomical facilities and technique; radio spectrometer; ADC; FPGA; IP Core; real-time FFT; PCI bus