

射电望远镜接收机的时间同步与数据传输

俞欣颖^{1,2} 张夏² 段然² 李葭² 张荣芬¹

(1.贵州大学大数据与信息工程学院 贵州贵阳 550025;2.中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘要:接收机系统是射电望远镜的重要组成部分,是决定射电望远镜性能的关键因素之一。接收机的设计需要前后仪器及模拟和数字系统之间精确的同步,准确的时间戳对天文观测,以及接收机系统的稳定性都具有重要的影响。射电望远镜实时数据量大,高速数据传输是接收机重要环节,数据传输率在理想情况下可达到9.5Gbps。本研究主要包括时间戳的建立与系统同步、数据打包与高速传输。本文研究内容作为接收机的重要组成部分,是实现高性能接收机必不可少的工作,并且具有广泛的通用性,为其他望远镜的研究提供参考,节省望远镜开发的人力物力成本。

关键词:接收机 同步 时间戳 高速传输

中图分类号:TP274

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2016)01-0049-02

1 引言

我们对宇宙的所有认识几乎都来自于观测者接收到的电磁辐射,在数千年的时间里,人类的测量都被限制在可见光波段,直到二战结束后,借助于新的接收机,人们才打开了地球大气的新窗口——射电窗口^[1]。随着我国射电天文学的发展,高灵敏度的射电望远镜成为射电观测的重要设备。例如我国正在建设中的500 m口径球面射电望远镜(FAST)将成为世界上最大、最灵敏的单口径射电望远镜,它有望在中性氢巡视、脉冲星搜索、国际VLBI网联测及地外生命搜寻等重要前沿领域取得突破^[2]。不同于光学望远镜,需要镜筒、目镜以及物镜,射电望远镜是由天线和接收系统组成的,天线接收面积越大,接收机的性能越好,望远镜的灵敏度就越高。接收机需要可靠地提取有用信息,输出到后端供科学分析,如1964年Gordon Pettengill团队发现了水星的自转周期不是88天而是59天^[3],1968年Lovelace和其他天文学家发现了蟹状星云脉冲星的周期为33毫秒,成为第一个证明中子星存在的证据^[4],1972年Hulse和Taylor发现了脉冲双星PSR B1913+16^[5],并因此获得了1982年的诺贝尔物理学奖等等,这些都是在Arecibo的ASP(Arecibo Signal Processor)接收机上产生的,在已有天线固定的情况下,接收机的指标决定着望远镜的指标,接收机的升级也是望远镜的升级,一个高性能接收机的升级换代,意味着更高的望远镜灵敏度,提供更多的可能等待人类去发现和探索。

2 研究内容

望远镜的接收系统从馈源开始输出,经多级放大器、衰减器、混频器和滤波器,高性能ADC模块采样量化编码,分为多通道送至FPGA主控板,做并行FFT处理,存储到FPGA板上存储单元,存储单元采用两个缓冲模块(FIFO)交替存储。接收机整个系统内,1PPS秒脉冲信号贯穿始终,GPS接收机接收的秒脉冲信号,在GPS端校准脉冲上升沿,输入Frequency Standard仪器,调整并形成整齐的秒

脉冲信号,经过ADC,FPGA板的同步信号端口,借助高速FPGA的自身稳定性,形成具有准确上升沿的同步时钟信号,达到模块之间的同步目的。时间系统选用Unix Timestamp网络时钟,提供可靠地绝对时间信息。精确的时钟信号的作用不仅可以实现整个系统的同步,还能为数据打包提供可靠的时间戳,为天文数据获取的时间提供参考,方便与望远镜的观测日志对接,明确望远镜工作时所扫描的天区,防止丢数、乱序等现象。

2.1 时间戳与系统同步

时间戳的建立主要有GPS、Frequency Standard仪器与网络时间Unix Timestamp构成,从GPS接收器得到1PPS信号,送给Frequency Standard仪器(该仪器选择型号SRS-FS725)调整脉冲,得到严格的脉冲上升沿,同时在FPGA上的Linux系统里获取网络时间,触发FPGA上时间戳程序,开始计时,当数据输出时就可得到稳定而且准确的时间戳打包。采用MATLAB的Simulink软件对时间戳仿真,其主要结构如图1所示,Unix时间就是我们当天实时时间,通过FPGA上一个精简Linux系统输入指令从网络获取,Unix Timestamp是从1970年1月1日(UTC/GMT的午夜)开始所经过的秒数,如2015年5月20日20时20分20秒所对应的秒数为1432124420。GPS产生的1PPS通知FPGA从网络上获取Unix Timestamp和启动小数秒的计数器。小数秒的计数器计算FPGA的时间周期,例如FPGA的工作频率在200 MHz,则时钟周期为5 ns,当时钟周期的计数器计数达到1s,整数秒的计数器加一,同时复位小数秒计数器,使其重新计数。整数秒计数器的值加上Unix Timestamp最新秒数,可获取最新整数秒数,同时获取小数秒计数值,并与整数秒求和,可获取每个数据包的最准确的时间戳,精度可达纳秒级。FPGA的时钟是从ADC上获取的,因此可以保证ADC和FPGA的同步^[6]。

2.2 数据打包

自定义打包格式,能有效提高天文数据的可读性,加强天文数据的准确性,在目前的接收机系统中是必不可少的一步设计,针对

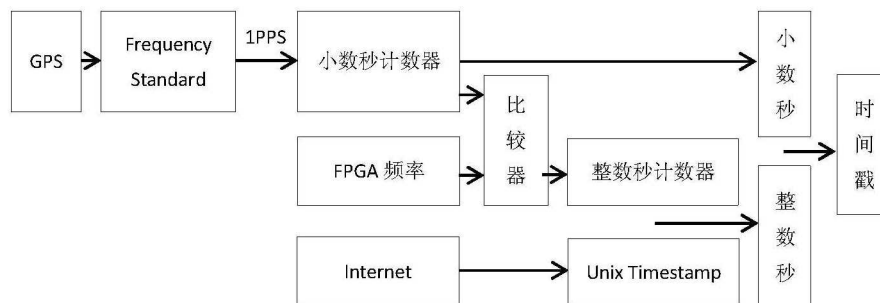


图1 时间戳

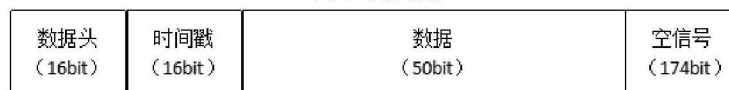


图2 打包格式

收稿日期:2015-11-18

作者简介:俞欣颖(1991—),女,汉族,江苏扬州人,硕士研究生,电路与系统专业。

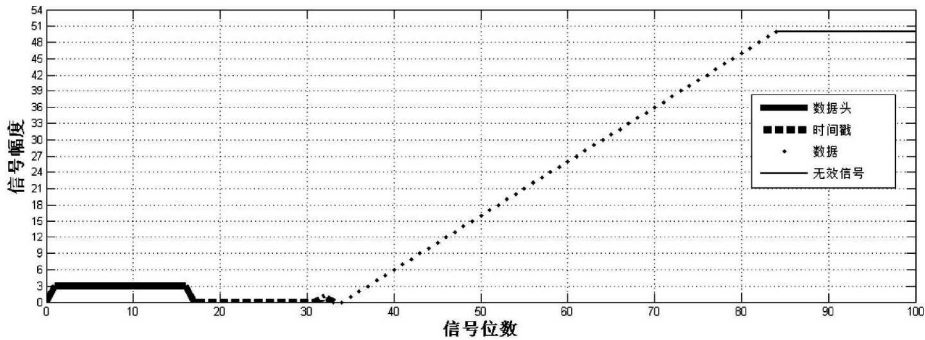


图3 打包信号仿真图

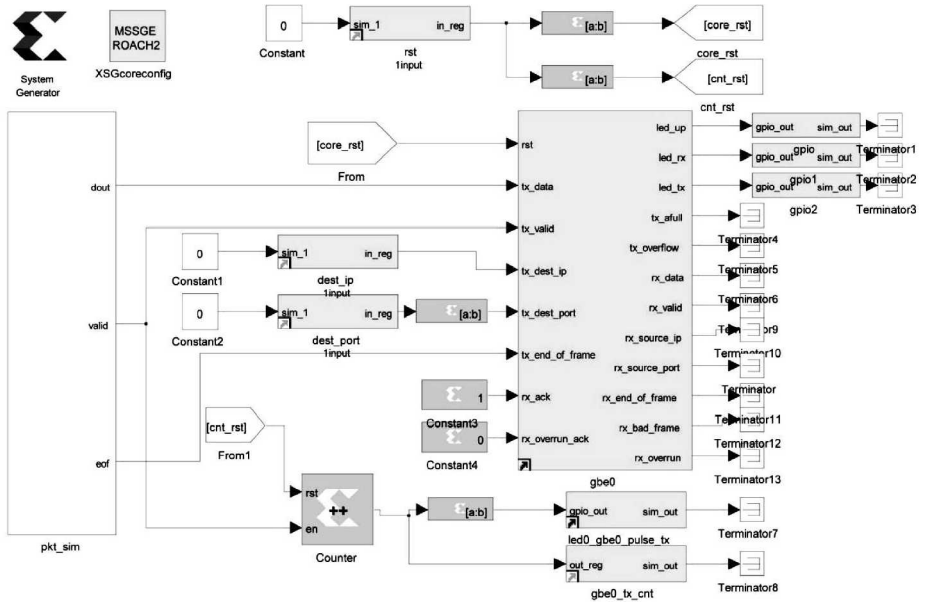


图4 数据传输

天文数据在接收机处理中的特点,在打包数据的同时加上时间戳和数据头,保证每个数据包附加有绝对时间信息。数据头表征一个数据包的开始,用以区分数据包,由可识别性较高的字符串组成。数据打包格式如图2所示,采用MATLAB里的Simulink软件,利用CASPER和Xilinx公司提供的库,对数据打包进行仿真,数据包位宽设置为:数据头16位,时间戳16位,数据50位,有效信号共82位,一个数据包长度设置256位,其余为非有效信号,仿真结果如图3所示,打包部分属于一个子系统,为数据传输的一部分。

2.3 高速传输

数据以自定义格式打包后,选用10G高速以太网传输,8b/10b编码方式,156.25MHz时钟工作,UDP协议传送,IPv4格式传输,以太网帧格式,因此以太网传输,需要额外添加38个字节的以太网数据头、20字节的IPv4数据头以及16字节的UDP数据头。整个数据传输系统采用MATLAB/Simulink仿真,如图4所示,数据打包封装,以64bit位宽输出,上位机配置目的IP地址与目的端口(port)及以太网模块复位信号,选择FPGA板上自带的sfp+端口的1号以太网卡,端口号为0;因为FPGA工作在系统时钟(200MHz)下,而以太网工作在板上晶振时钟(156.25MHz),两者处于异步工作模式,须配置两个FIFO缓存有效数据,当第一个缓冲模块存满,FPGA选择第二个缓冲模块存储,同时将第一个缓冲模块已存数据输出10G以太网缓冲区,传输至后端数据采集系统进行存储与处理。Simulink仿真通过后,利用MATLAB和Xilinx公司联合开发的System Generator^[7]工具可将生成的mdl文件转化成硬件语言,上位机通过Python编译执行。

3 结语

经过实验室软件模拟仿真,时间戳精度达到了接收机的需要精度,打包格式具有一定创新性,为数据添加上准确的绝对时间信息,

符合望远镜的观测需要,ADC、FPGA和10G以太网之间实现高度同步,数据有效传输送到后端,本文具有广泛的应用范围和一定的研究价值。本文的研究是整个接收系统的一部分,未来的工作中,我们将继续完善本研究内容,在数据输出后端需要搭建数据采集监控软件,对接收机前后端的数据监测控制,保证接收机的正常运行能力。并在接收机的输出端添加大数据中心,采用CPU和GPU等多核处理器加速数据处理能力,建立服务器集群,配置多个计算节点与存储节点,将接收机送出来的数据进行存储和计算。

参考文献

[1] Rohlf K, Wilson T L, 姜碧涛.射电天文工具[M].北京师范大学出版社,2008.
[2] 南仁东,李会贤.FAST 的进展——科学、技术与设备[J].中国科学:物理学,力学,天文学,2014(010):1063–1074.
[3] Dyce B R, Pettengill G H, Shapiro I I. Radar determination of the rotations of Venus and Mercury[J].The Astronomical Journal, 1967,72:351.
[4] Richard V.E. Lovelace. "Discovery of the Period of the Crab Nebula Pulsar" (PDF).Cornell University.Archived (PDF) from the original on September 12,2008.Retrieved 2008–09–02.
[5] Hulse R A,Taylor J H.Discovery of a pulsar in a binary system [J].The Astrophysical Journal,1975,195:L51–L53.
[6] Duan R,McHugh S,Serfass B,et al.An open-source readout for MKIDS[C]//SPIE Astronomical Telescopes+ Instrumentation. International Society for Optics and Photonics,2010: 77411V–77411V–10.
[7] https://casper.berkeley.edu/wiki/10GbE_Interface.