云台40米射电脉冲星观测数据实时处理系统研究进展

戴伟、徐永华、王锋、汪敏
昆明理工大学 中科院云南天文台

提纲

- 项目介绍
- 主要工作
  - 数据采集DAQ
  - 数据处理DHS
  - 实时PIPELINE
- 测试结果
- 下一步工作

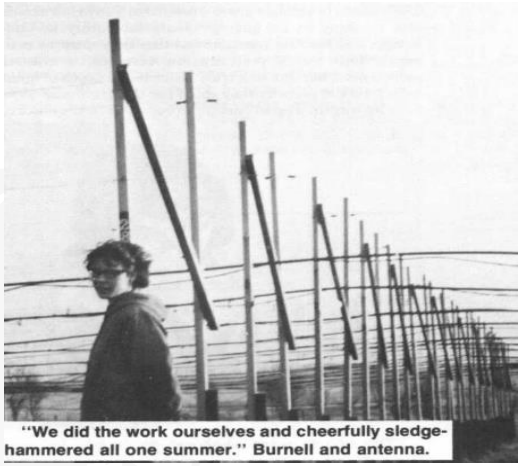
云台40米宽带数字化脉冲星观测系统

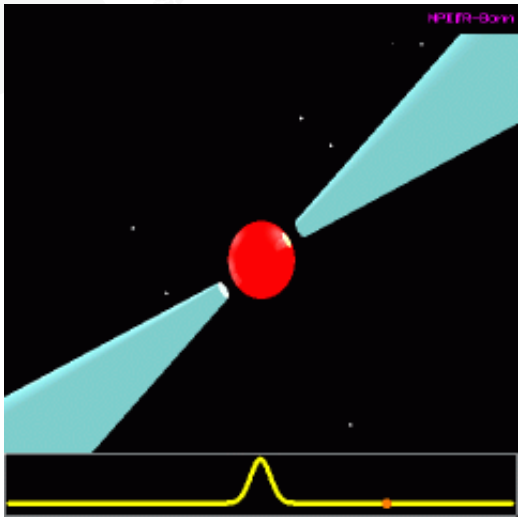
- 云南天文台射电天文研究团组基于美国伯克利大学FPGA平台 ROACH2，实现了512 MHz 输入带宽的基带数据采集终端。
- 已构建 ROACH2 为基带数据采集终端，DSPSR 软件为后端数据处理的脉冲星观测系统。

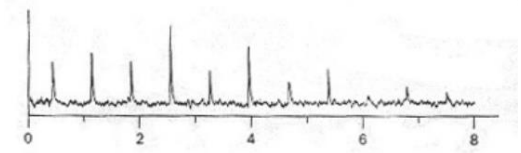
- 正在构建以 ROACH2 为基带数据采集终端，具有实时数据采集和相干消色散处理能力的脉冲星观测系统。目前基于C/C++语言，从头完整实现了数据的采集、解码、消色散、分通道、偏振计算和折叠以及PSRFITS格式输出的后端处理数据pipeline，实际处理能力约6-7Gb/s，满足并超出原定4Gb/s的处理速度要求，已在40m射电望远镜进行观测试验。

脉冲星观测

- 脉冲星是快速旋转的中子星，具有极强的磁场，其辐射束会周期性快速扫过地球，所以可以观测到一个个周期脉冲 。自1967年发现第一颗脉冲星以来射电脉冲星的研究是现代天文学的重要内容之一。
- 脉冲星观测，不仅能够研究脉冲星到达时间、辐射特性，还能对星际介质、银河系磁场、引力波等目标进行研究。脉冲星相关发现获得了两次诺贝尔物理学奖。
- FAST、 QTT110m、上海65米、云南40米、LOFAR、SKA等均以观测脉冲星为科研目标之一。对脉冲星观测设备技术指标提出了新的要求， 如输入带宽、观测模式、 采样比特、 消色散方式和数据处理能力等。

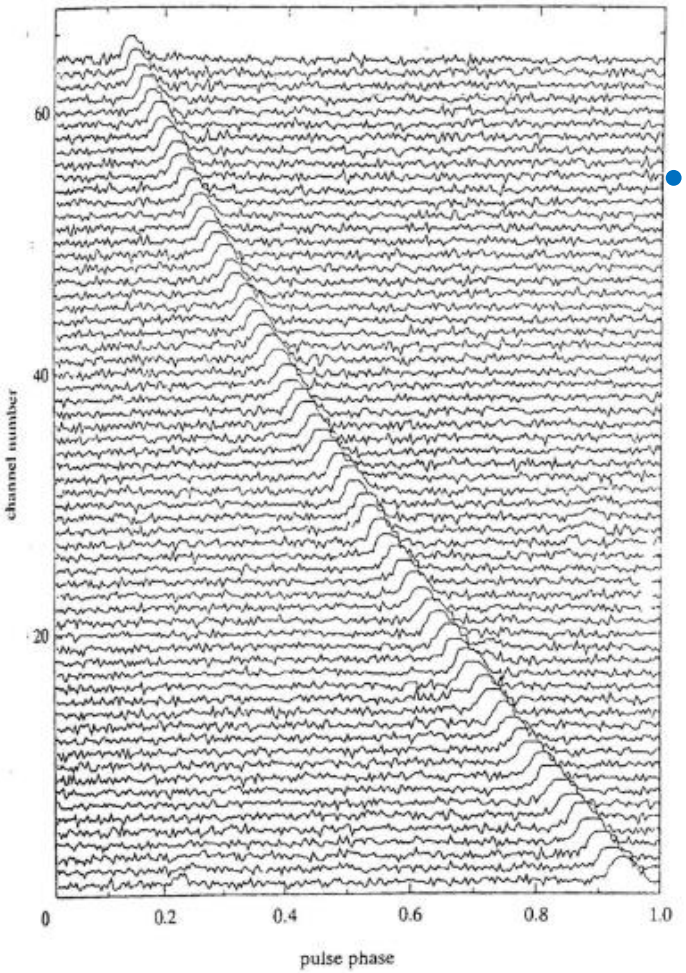

"We did the work ourselves and cheerfully sledge-hammered all one summer." Burnell and antenna.



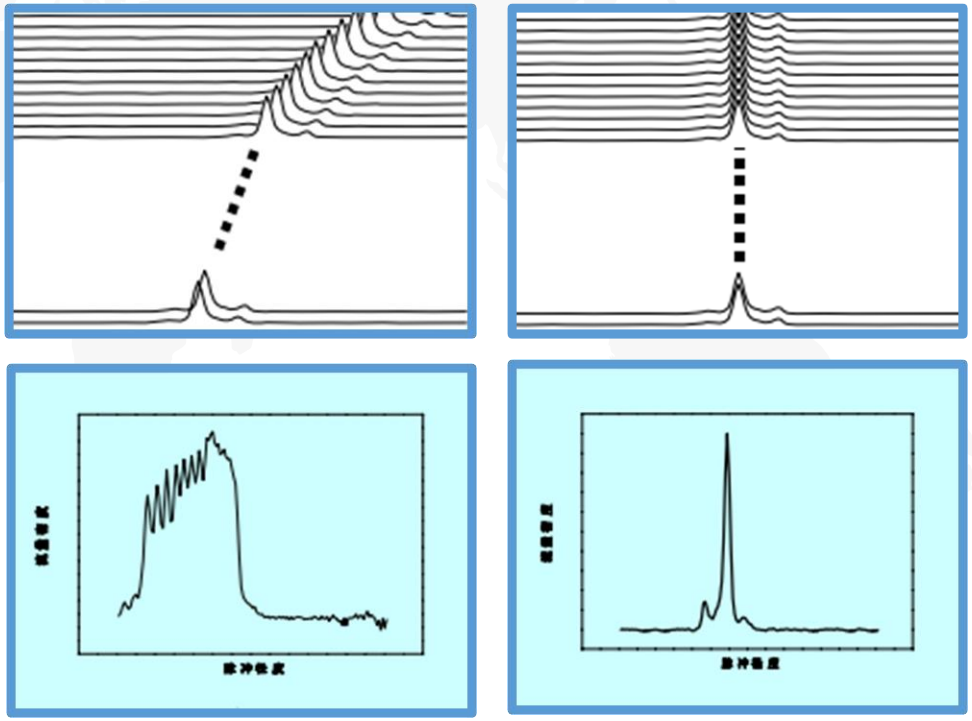


脉冲星观测中的消色散技术

PSR1641-45的观测结果

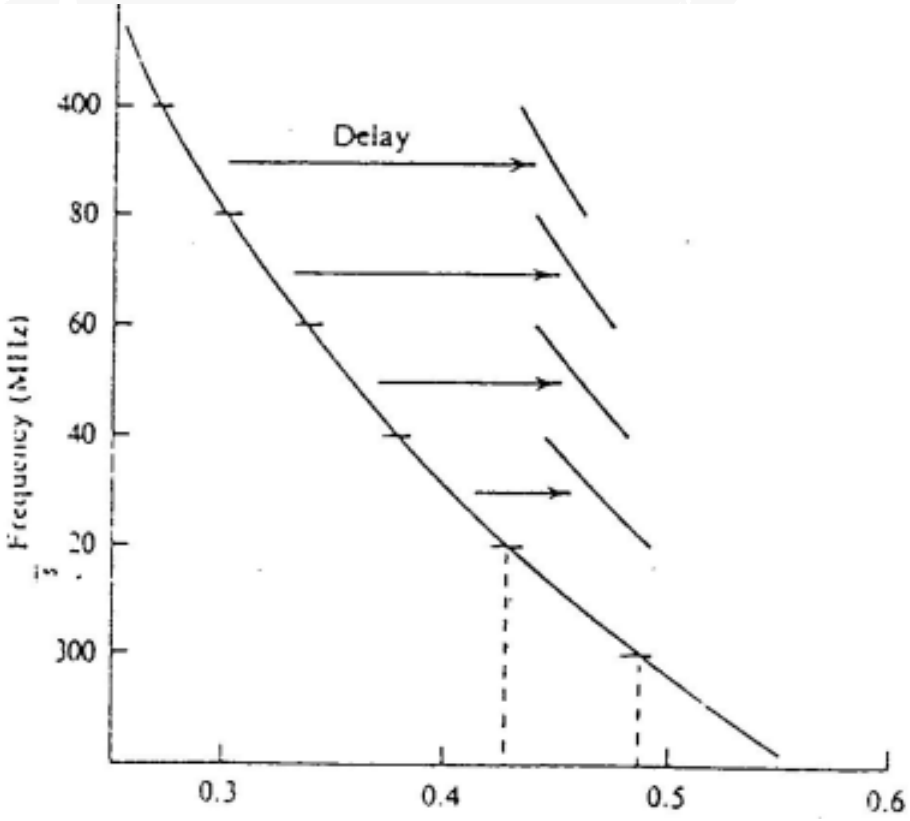


- 由于受到星际介质的干扰，不同频率的电磁波经过星际介质后产生的延迟不同，会引起观测的脉冲星轮廓展宽。需要进行消色散处理。
- 消色散分为两种方式，一种是相干消色散；一种是非相干消色散。

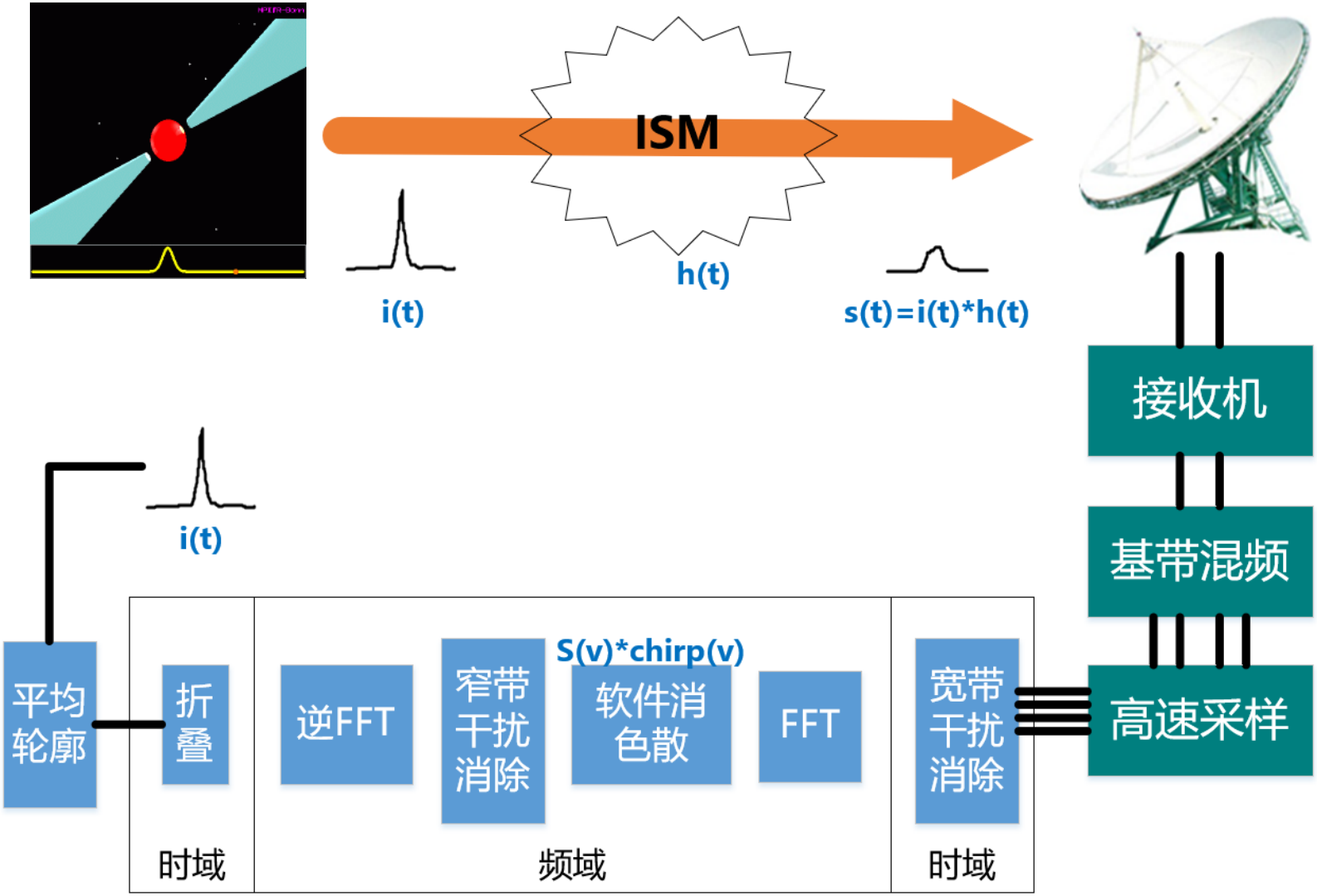


脉冲星观测中的消色散技术

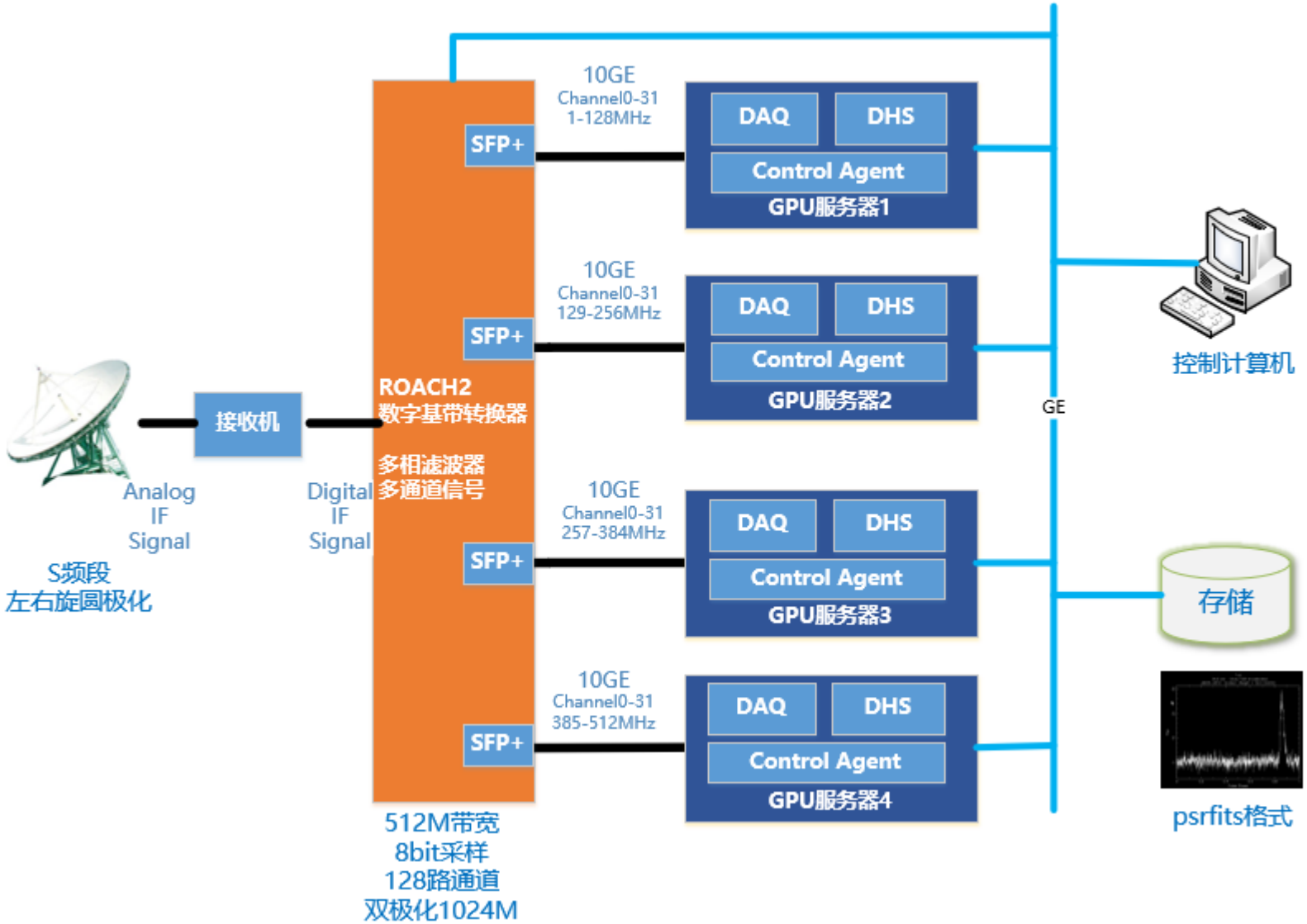
- 非相干消色散，即通过选择一个时间/相位起点作为基准点，将子通道（带宽）内的时 延计算出来，并对齐到同一相位，最后按周期折叠。



脉冲星观测中的消色散技术

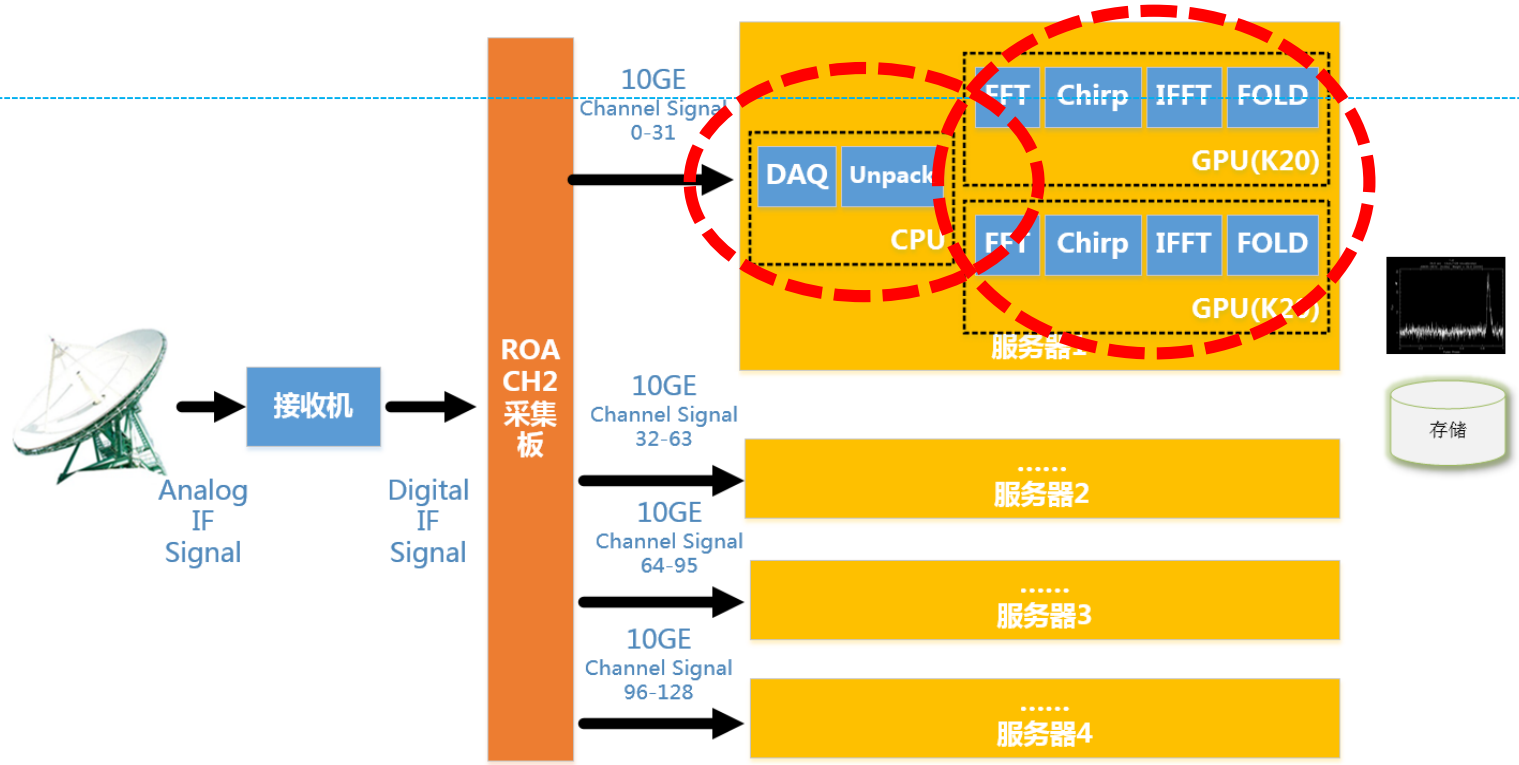


云台40米宽带数字化脉冲星观测系统



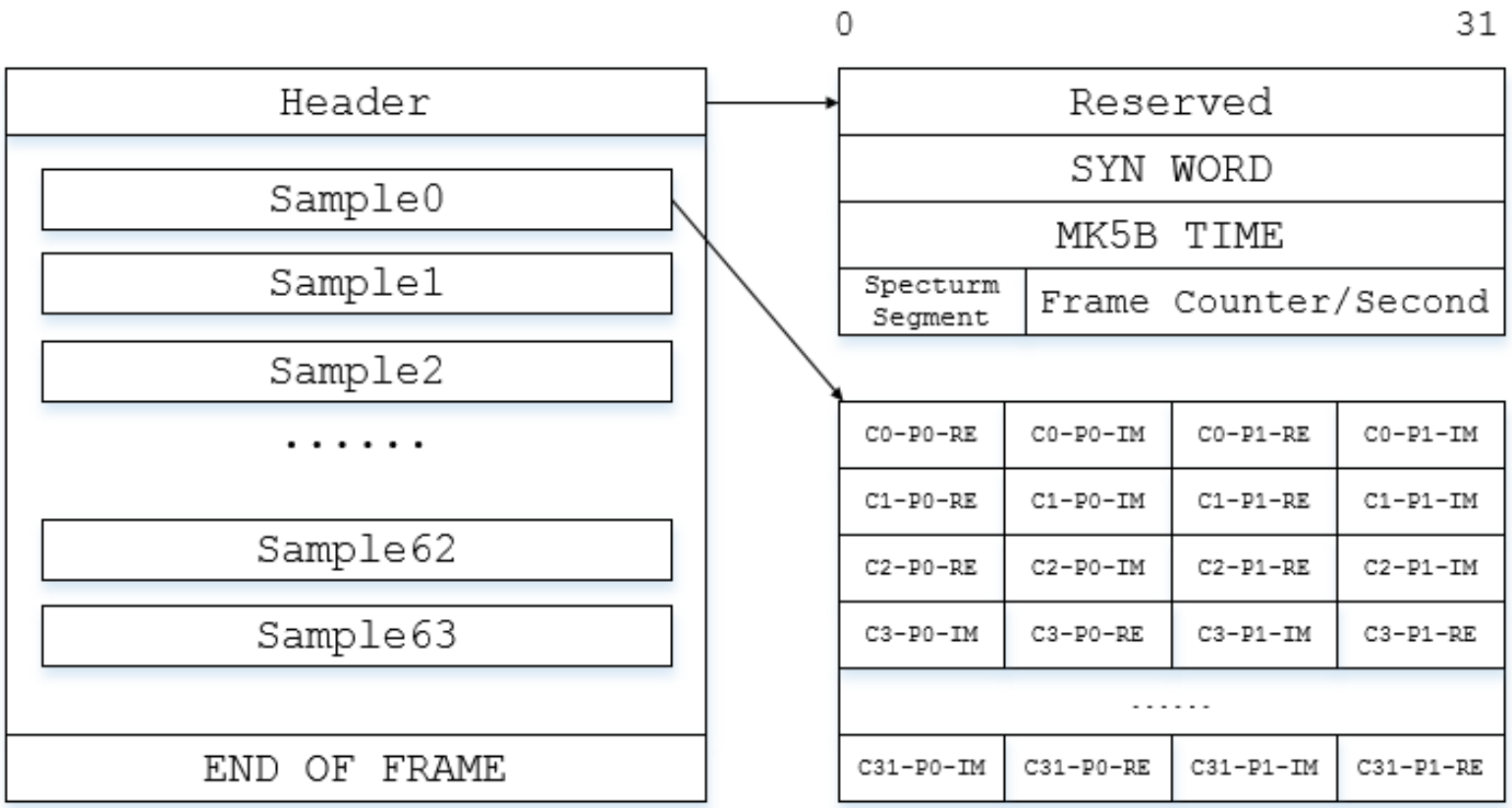
要解决的数据采集和处理问题

- 采样频率是2048M, 8bit采样后2048M*8=16Gbps，分4个万兆网卡输出，每路4Gbps数据量（不计开销）4Gb/s=512MB,1分钟30GB，1小时1.8T
- 数据解码过程1字节的采样数据解码为1个单精度浮点数，处理实时数据量为16Gbps。



通道化数据（UDP报文）

- 数据包大小8216
- 62500p/s



C = Channel （ or Frequency BIN ） Number; P = Polarization Number; Re = Real Part; Im = Imaginary Part

当前的工作进展

- 数据采集Data Acquisition System
  - 对psrdada、guppy_daq进行分析
  - 基于Socket的UDP采集端程序，可采集短时的数据文件（C）
  - 格式转换程序，生成dspsr兼容的数据格式（Python）
  - 基于dpdk的高性能采集端程序（C），实现约10Gb/s UDP数据的无丢失接收，解决了基于万兆网络数据接收的性能问题。

高速UDP报文实时接收

- 传统的UDP编程无法满足性能要求，表现为CPU占用高、中断频繁、容易丢包，通过内核网卡参数调优改善有限,非常不利于后期Pipeline的处理。
  - guppy_daq
  - psrdada
  - ynpulsar-udprecv（存盘4-6秒，建议接收后对离线文件校验）
- 用户态（Kernel-bypass），高性能
  - 轮询模式取代中断模式
  - 使用物理内存代替虚拟内存
  - 零拷贝
  - 线程和CPU核心绑定亲和性调度

Data Acquisition System性能测试

- 源主机 CPU E5-2620 v3 @ 2.40GHz 64G Intel 82599ES
- 宿主机 CPU E5-2620 v3 @ 2.40GHz 64G Intel 82599ES
- 交换机 H3C S6300-42QT(XGE1/0/33 XGE1/0/37)

- 测试回放60秒的ROACH2的采集数据，发送端基于DPDK开发
- 数据大小=60s*62500p/s*(8216+8+20+18)Bytes/p≈240Gb

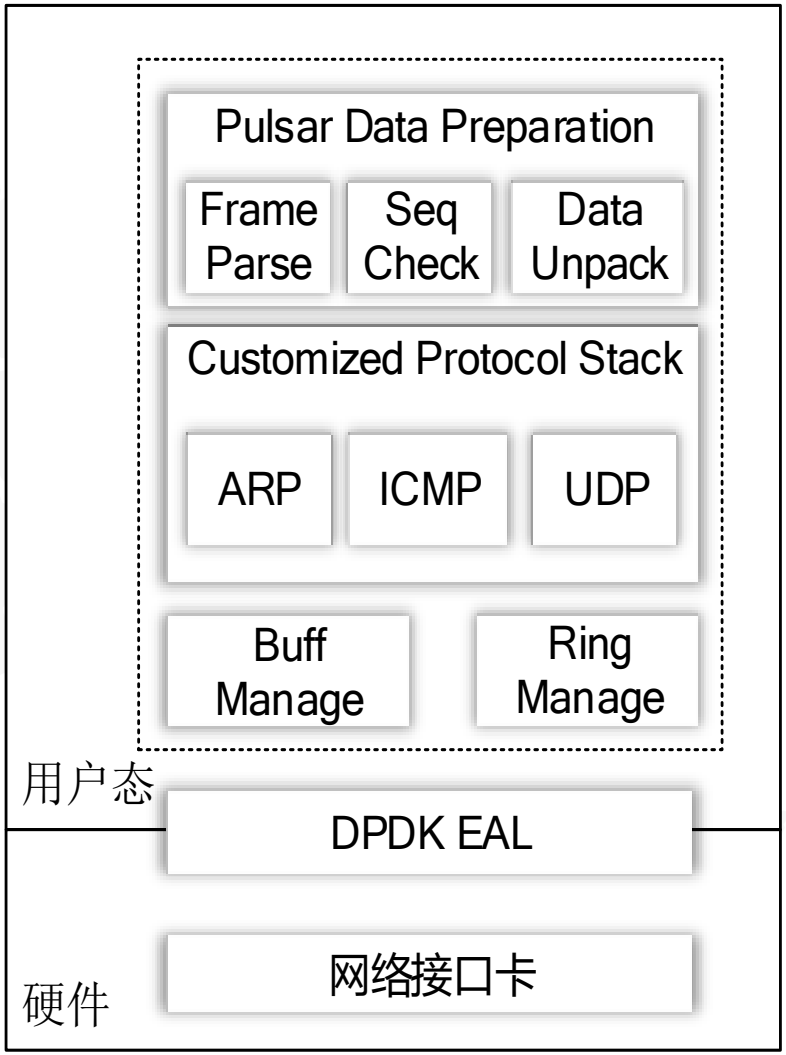
- 测试结果
- 接收时间=24.8195s
- 平均速率= 9,986,502,548b/s（万兆约100%利用率）
- 丢包率=0
- CPU占用率=4.17%（约为1/24，单核占用100%）

基于用户态数据采集系统

主要功能：

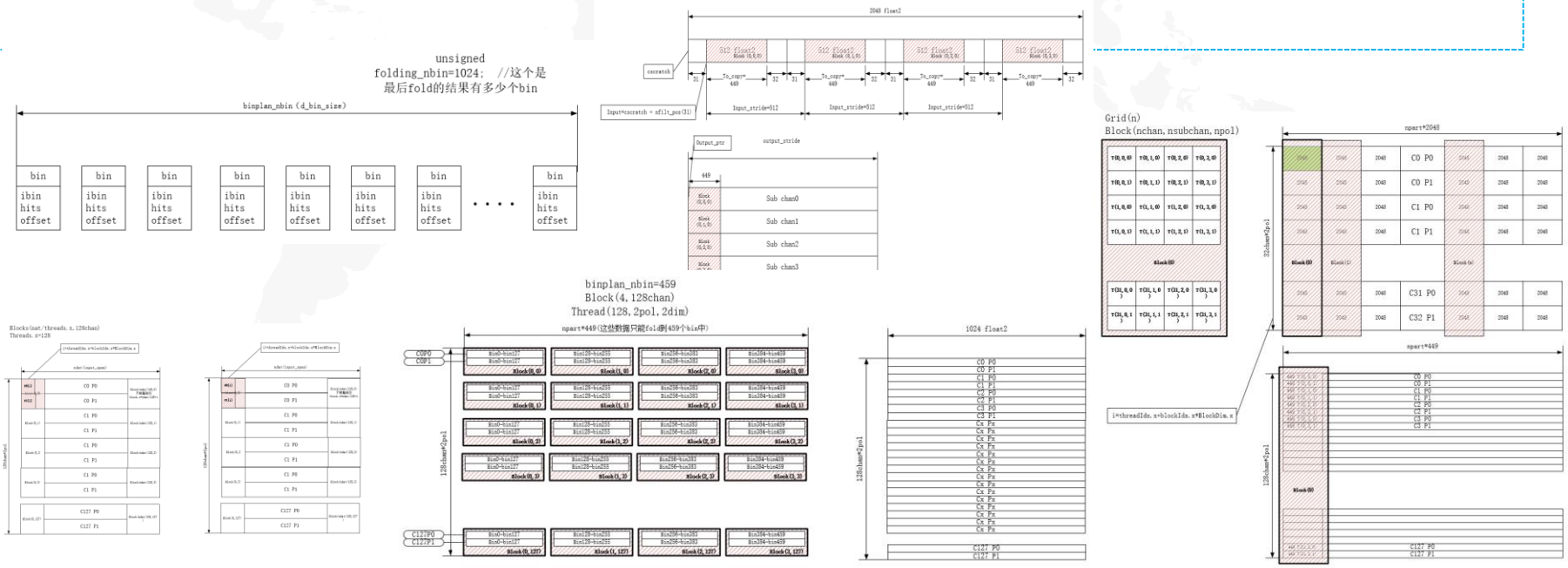
- 协议栈ARP，ICMP，UDP
- 数据帧格式解析
- MK5B时间计时
- 丢帧检测，帧内序号检测
- flag无效数据
- 数据存盘

- 可应用于其他基于FPGA + CPU/GPU的数据采集和处理系统
- 高吞吐低延迟的分布式文件系统，消息中间件等



当前的工作

- 数据处理
  - 与dspsr、PDFB等观测设备进行运行结果比对
  - 基于C/C++/nvcc，完全源码级实现数据处理程序ynpulsar，在GPU上的实现了脉冲星相干消色散的解码、消色散、偏振检测、折叠等算法的并行，做了大量的测试和优化工作。



Data Handle System 性能测试

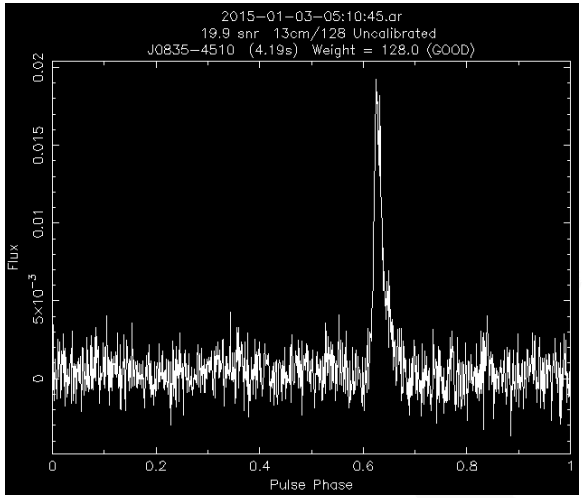
- 处理器：2*Intel E5-2698 v3 @ 2.30GHz(共64 cores)
- 内存：256 GB (DDR4-1866)
- 网卡：2*Intel 82599ES 10-Gigabit ports
- GPU卡：2*GeForce GTX TITAN X（12207M，24MP*128=3072core）
- 测试数据：时长200秒的采集数据（102.4GB，内存文件系统）

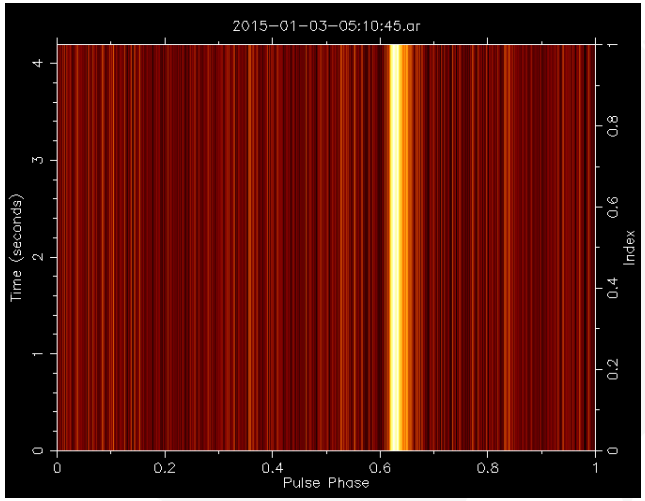
脉冲星	色散	nfft/overlap	耗时(秒)	dspsr(GPU+CPU)耗时(秒)
1136+1151	4.864	128/24	104.571	269.217
0332+5434	26.833	512/104	109.771	270.1192
1645-0317	35.727	1024/136	105.762	240.5559
0835-4510	67.99	2048/252	109.771	235.4911
0837-4135	147.29	4096/544	125.036	225.6293
1544-4559	478.8	16384/1752	133.029	117.3692

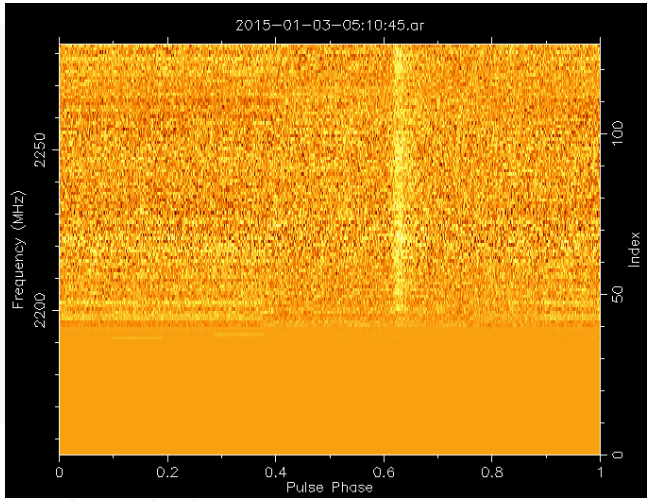
ynpulsar dspsr PSR J0835-4510轮廓图 结果比较

双极化 中心频率2219MHZ 带宽128HZ 32通道 8bit采样

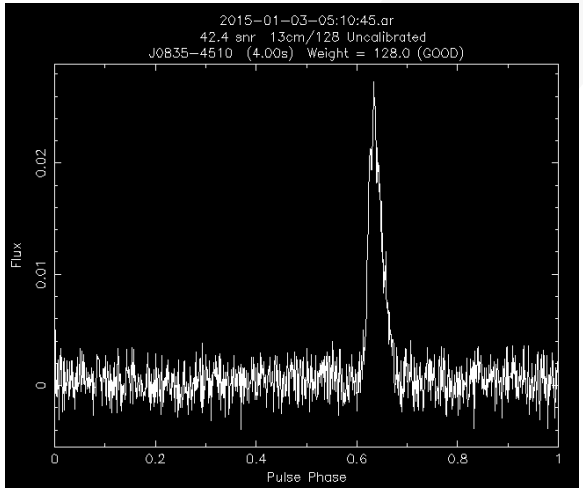
ynpulsar

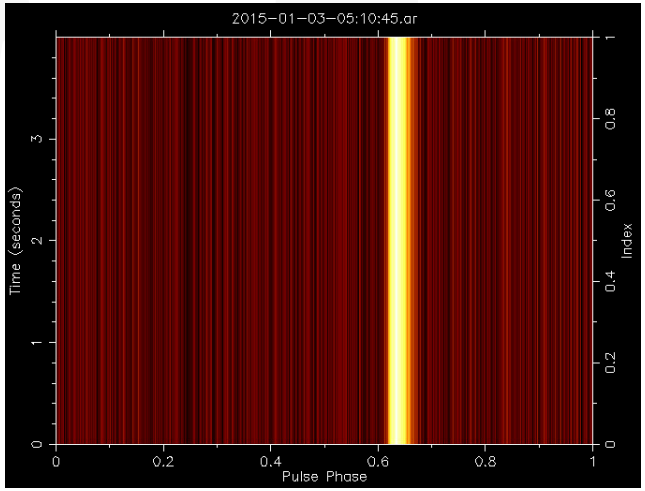


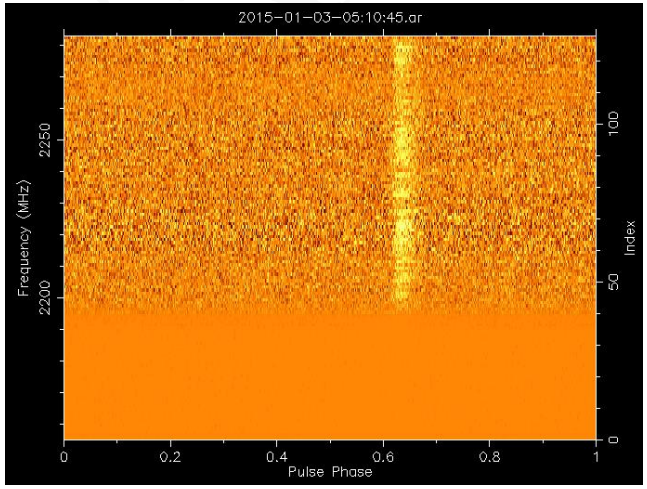




dspsr

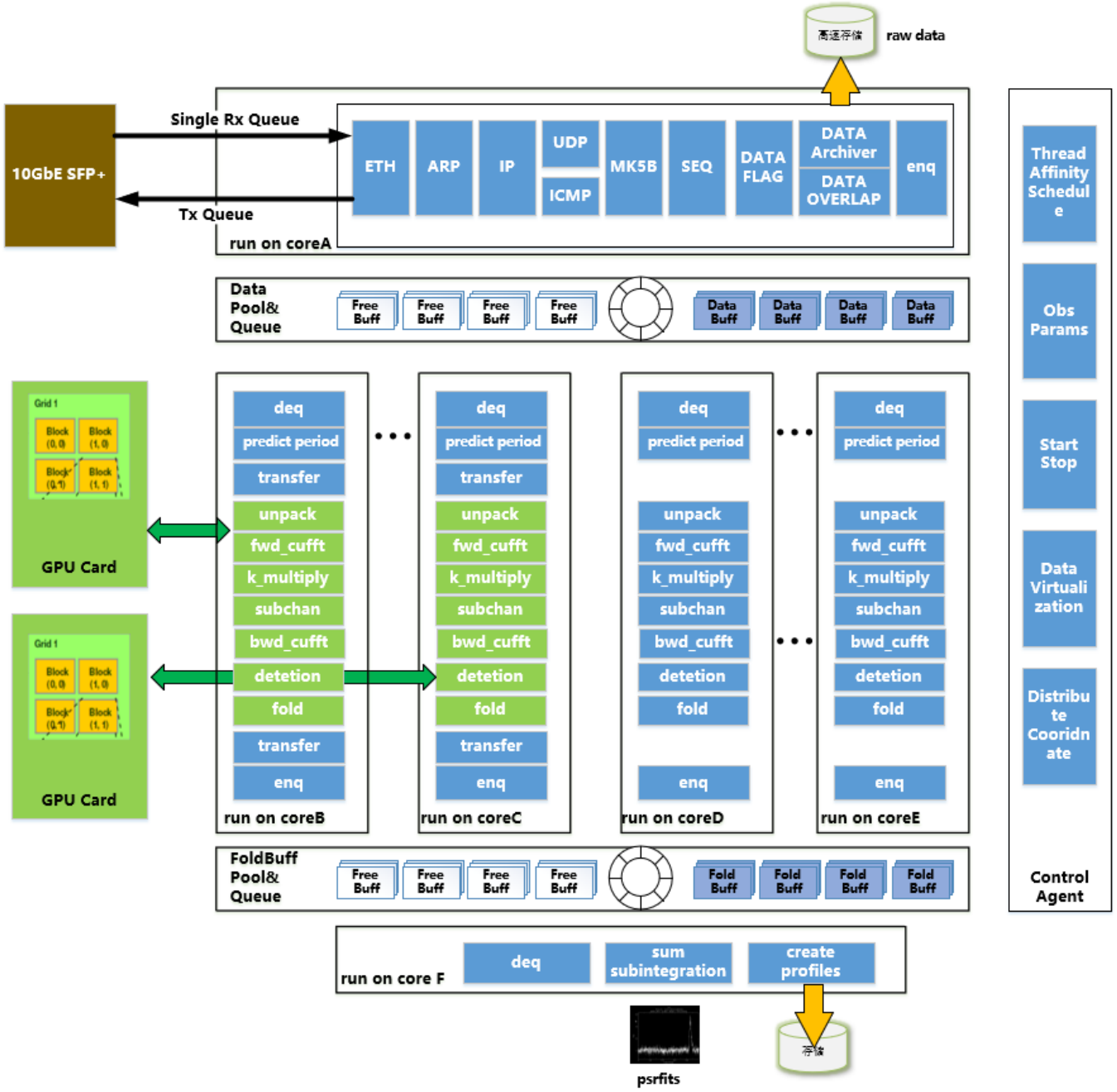






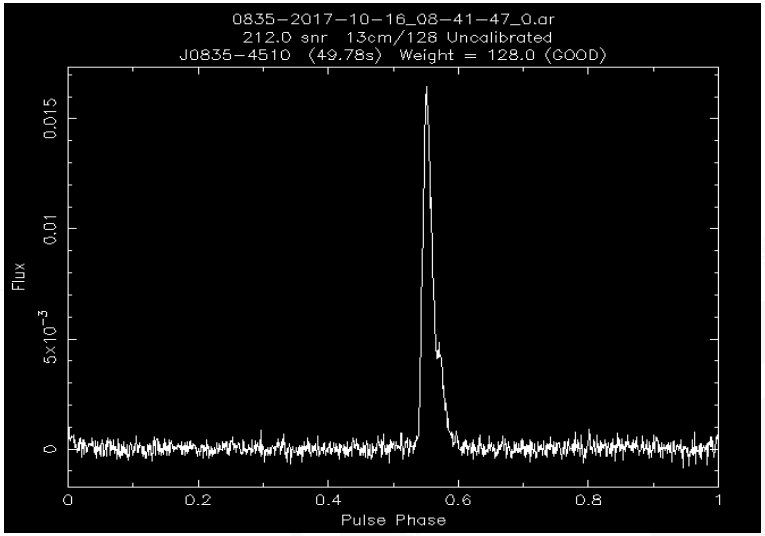
PIPELINE

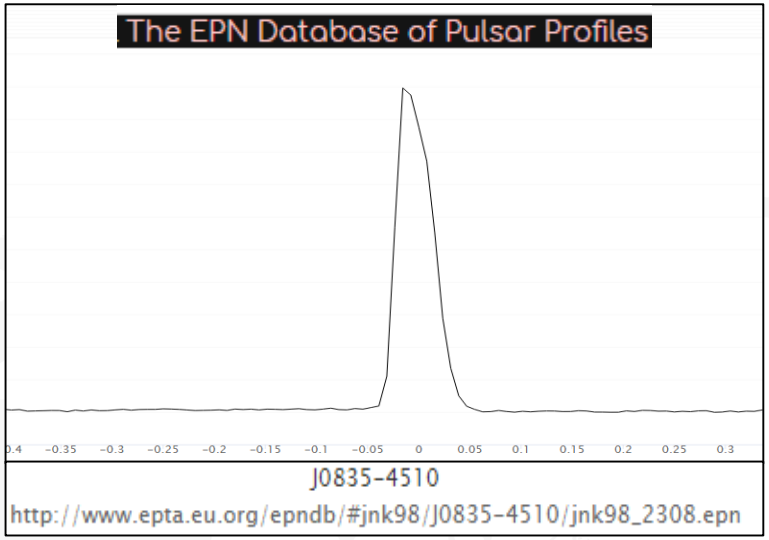
- DAQ(CPU)
- DHS(GPU*m，CPU*n)
- 无锁循环队列
- 亲和性调度（10Gb、GPU）

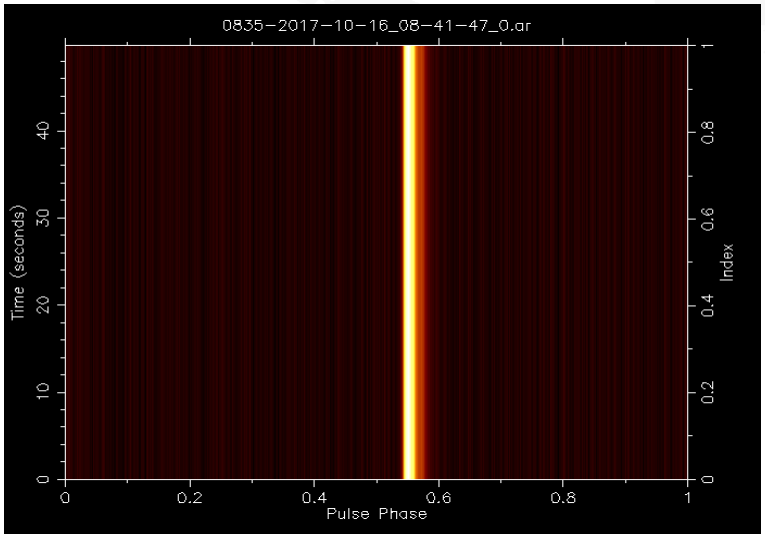


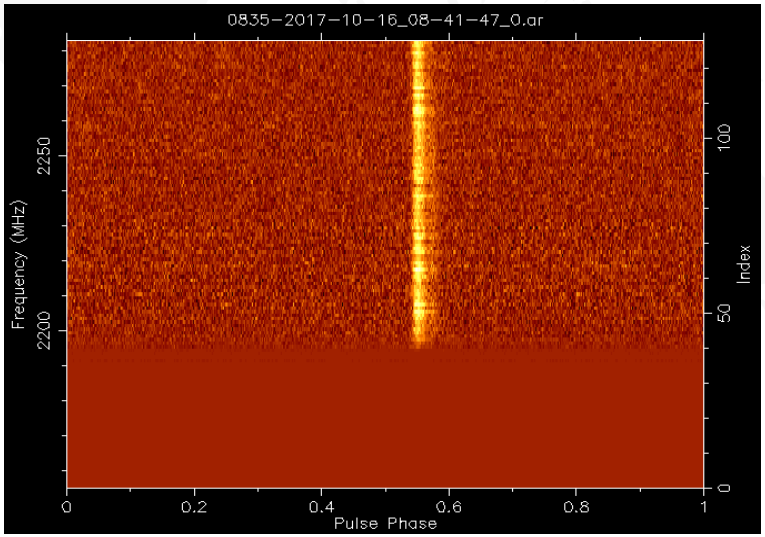
0835-4510和1136+1151上线观测结果

- J0835-4150 观测时间2017-10-16 08:41 观测时长50s



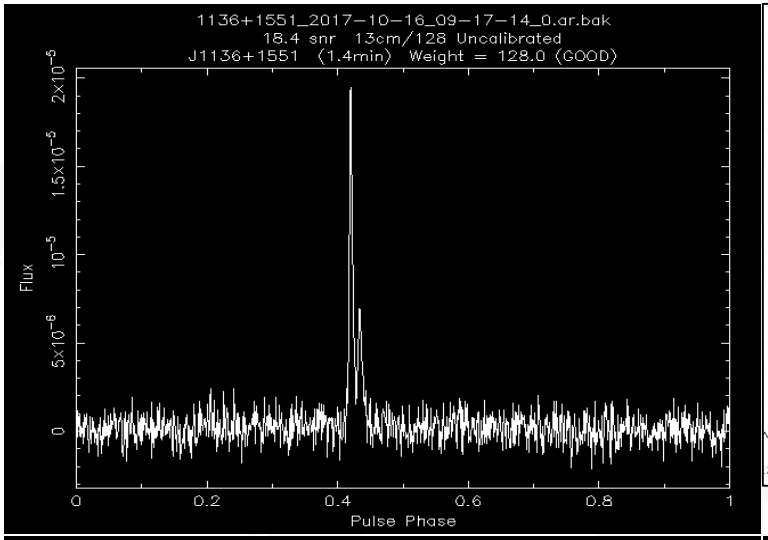


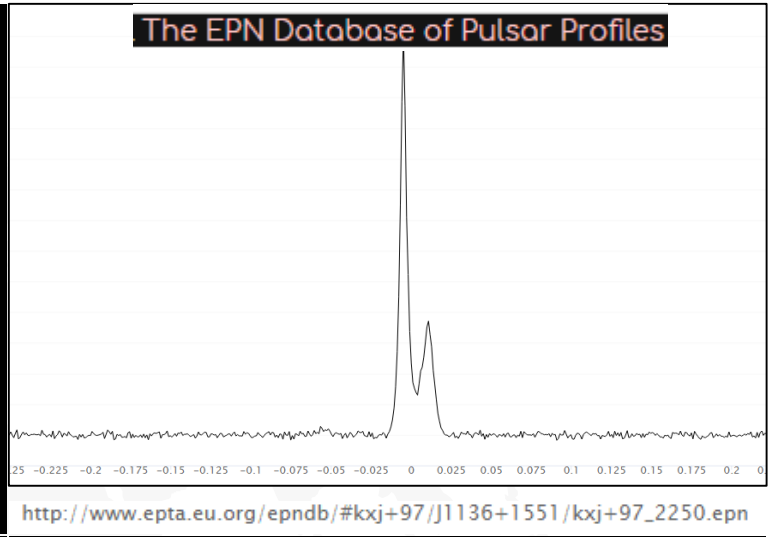


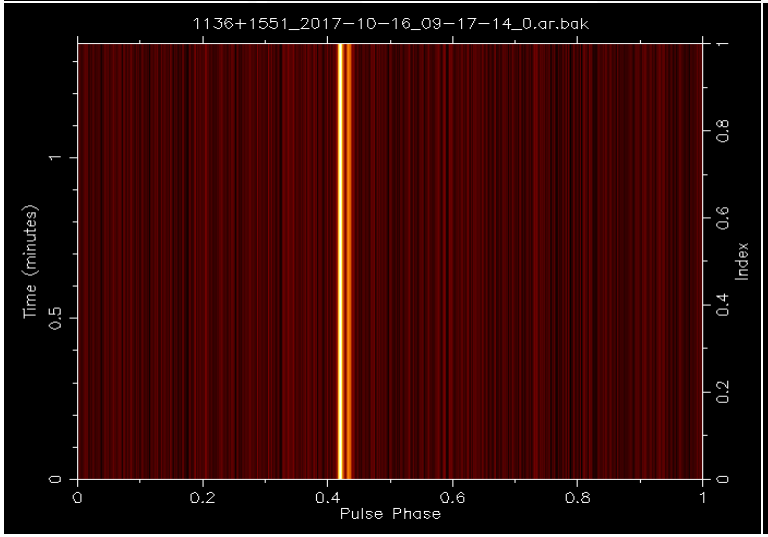


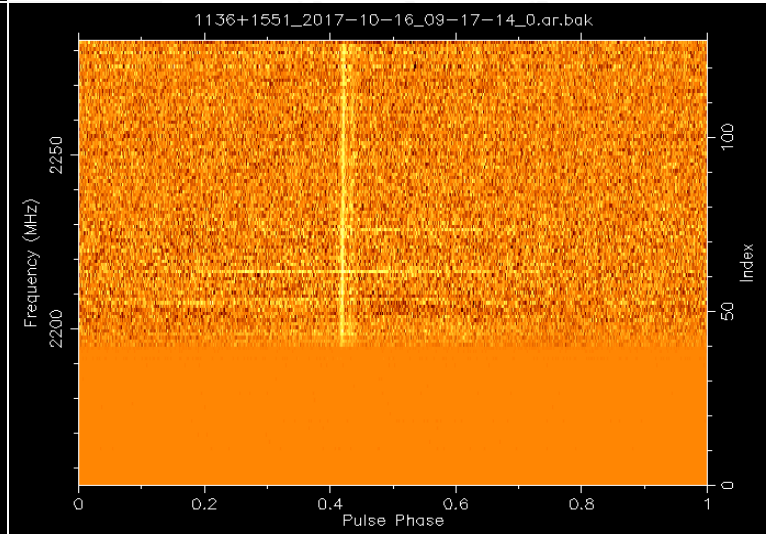
0835-4510和1136+1151上线观测结果

- J1136+1551 观测时间2017-10-16 09:17 观测时长1.4m









下一步工作

- DAQ系统在40Gbe下的性能测试和优化，如CASPER最新SNAP2（4*40GbE|16*10GbE、SKARAB（4*40GbE）
- 消色散在CPU上的并行实现，预计优化后的CPU+GPU混合Pipeline可以在现有硬件基础上满足两路4G输入的数据处理需求；
- 控制和监测软件和数据实时可视化；
- 数据采集系统支持Lustre或Ceph等高性能分布式存储，支持大容量归档数据存储；

谢谢！

相关软件

- DSPSR

DSPSR

Ask a Question Search DSPSR: Find

powered by FreeFind

Home

Install

Use

The DSPSR Project

DSPSR is an Open Source C++ development library for digital signal processing of pulsar astronomical timeseries. It implements an extensive range of algorithms for use in coherent dedispersion, filterbank formation, pulse folding, etc. These tools are utilized by a powerful suite of user-end programs that come with the library.

- PSRDADA

PSRDADA

Home

Install

The PSRDADA Project

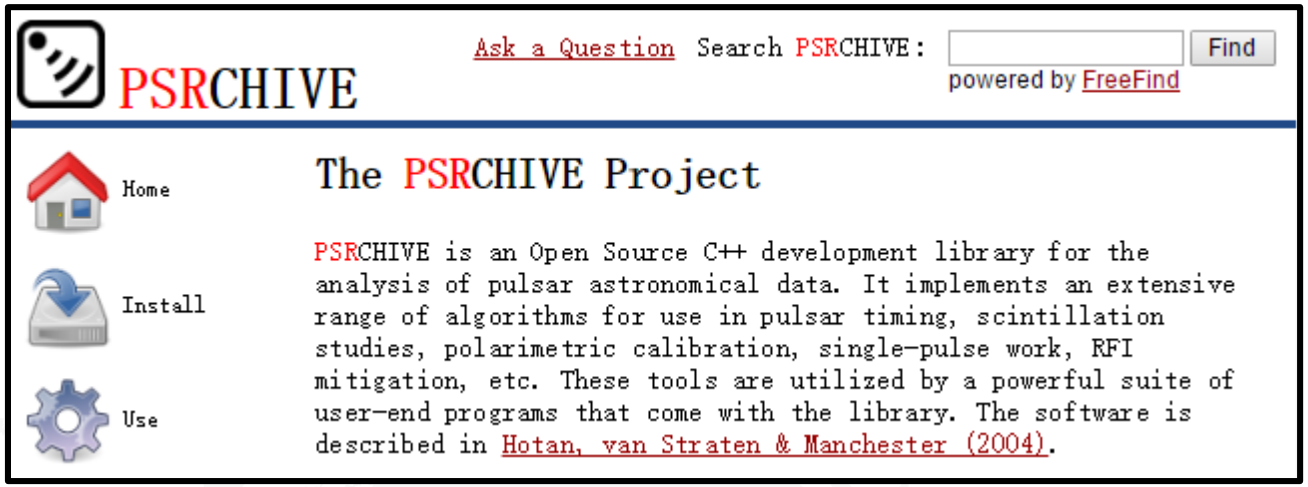
PSRDADA is an Open Source software project to support the development of data acquisition and distributed analysis systems. The authors of the code use it primarily in the implementation of baseband recording and processing instrumentation for pulsar astronomy.

- guppi_daq

demorest / **guppi_daq**

Code | Issues 0 | Pull requests 0 | Projects 0 | Pulse | Graphs

Data acquisition software primarily for the GUPPI pulsar backend. http://www.cv.nrao.edu/

相关软件

- psrchive
- tempo2