新疆天文台25米碟形天线用于搜寻FRB信号的可行性分析

快速射电爆（Fast Radio Burst,FRB）是宇宙中发现的短暂但强度很高的天文信号.FRB信号没有周期性，目前世界范内围发现的十几个ＦＲＢ信号中均未被重复观测到．其发生地点非常遥远，一般发生在银河系外．FRB的物理发生机制目前有很多推论，但尚未形成广泛认可的理论,对于FRB的探索可能会对宇宙中物理机制带来新的理解．

虽然目前已搜集到的FRB信号并不多，但按照目前发现的FRB数目以及观测时间推算，每天会产生几千甚至上万次。所以大面积巡天工作对FRB的发现将会非常重要．位于新疆天文台的２５米大口径碟形射电天线具备良好的巡天能力，这将很有利于FRB的搜寻工作．

接收系统设计:

馈源设计：

（待定:？～？）个双极化馈源

该天线可配备多个馈源，进行多波束观测．这样可以增大天区观测面积，提高发现效率．

（具体情况不是很清楚，待补充）

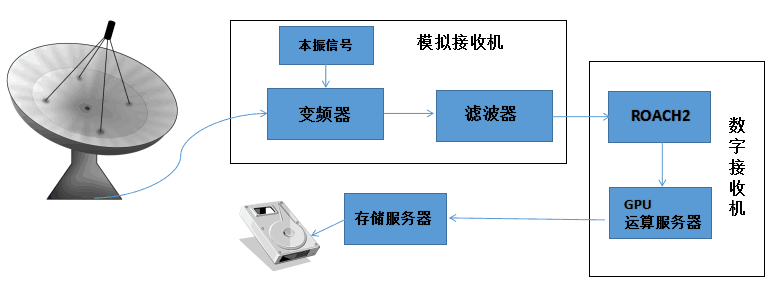
模拟接收机设计：

馈源接收到的信号经过低噪声放大器，多波束合成后接入接收机．FRB是全频段信号，大的观测带宽会有助于信号的发现．接收机拟采用 500 Mhz(1Ghz)的带宽，8192个观测频点，这样可达到0.0625 Mhz(0.125Ｍhz)的频率分辨率．通过本振时钟产生1400Mhz为中心频率,　采用下变频器调制,最终实际观测带宽为900~1900Mhz.

FRB信号持续时间较短，一般为几毫秒，所以需要接收机有很高的时间分辨率，我们拟采用0.１毫秒时间分辨率(GBT为1.02毫秒)．

数字接收机设计：

由于不同频率的射电信号在星际介质中有不同的传播速度，在接收到的FRB信号频谱中将会出现散射现象(Dispersion)．即同一条频谱中高频部分先接收到，而低频部分后接收到．这种现象将会随着传播距离的增大越来越明显．由于FRB信号来自遥远的宇宙，其频谱较脉冲星有相当大的散射．为了筛选出FRB信号，我们需要在信号处理中将其退散射．这个过程可以在数字接收机中实现．

在色散中每个传播距离值对应于一个DM参数．由于事先并不知道FRB的传播距离，我们需要对一定DM范围的距离进行尝试性的退色散，然后沿频率方向求和，如果FRB信号存在，在某一个尝试DM处就会有一个峰值，在DM－时间的二维图中将会出现一个亮斑．数字接收机中增加一套预警装置，若退散射后出现大于某一个阈值的值就将该段数据存下来，进行后期的离线处理．

ROACH2(Reconfigurable Open Architecture Computing Hardware)是CASPER（Collaboration for Astronomy Signal Processing and Electronics Research）为射电信号领域设计的FPGA板。该套设备具有完备的外设接口来满足不同射电领域的需求.数字接收机可以在ROACH2-GPU架构中实现. ROACH2采集预处理后的数据可通过10GBE传输到GPU中,进行数据筛选,并最终将有信号的数据进行存盘操作.

设备报价估计:

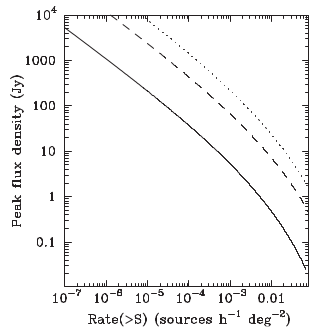
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设备名称 | 数量 | 单价(单位:万元) | 价格(单位:万元) |
| 滤波器 | 2 | 0.5 | 1 |
| 变频器 | 1 | 4 | 4 |
| 本振时钟 | 1 | 2 | 2 |
| ROACH2板 | 2 | 6 | 12 |
| 运算服务器 | 1 | 6 | 6 |
| 存储服务器 | 1 | 6 | 6 |
| GPU | 2 | 1 | 2 |
| 万兆网络 | - | - | 5 |
| 数据硬盘 | - | - | 10 |
| 总价: | | | 48 |

可行性分析:

按照VLA25米天线的系统等效流量在中心频率为1.4Ghz 左右的等效系统流量密度(System Equivalent Flux Density, SEFD)为296Jy [1]. 考虑到双计划,在500Mhz的频段内,积分时间为0.1ms时, 该套系统噪声为:

已发现的FRB由于积分时间和观测频段不同,所得到的峰值流量也不同[2],第一个被观测到的FRB 010724(Lorimer Burst)峰值流量达到30Jy, 若用该天线观测可得到信噪比为32.

根据Lorimer等人推断的FRB根据流量的发生概率[3]如下图所示:

流量密度阈值与发生率对应关系,实线,虚线,点分别为1.4Ghz,350Mhz,150Mhz

若用该天线做巡天观测,可得有约为的观测几率. (待定:巡天面积和观测时间不知该如何取定,有了观测时间和巡天面积后可以大致估算一下可观测到的FRB数.)

参考文献:

[1] Cathryn M. Trott, etc. A framework for interpreting fast radio transient search experiments: application to the V-FASTR experiments. The Astrophysical Journal, 767:4 (9pp), 2013 April 10.

[2] D. Thornton,A Population of Fast Radio Bursts at Cosmological Distances. SCIENCE

VOL 341 ,5 July 2013.

[3] D. R. Lorimer On the detectability of extragalactic fast radio transients. MNRASL 436, L5–L9 (2013).