

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，目前世界范围内发现的十几个 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)

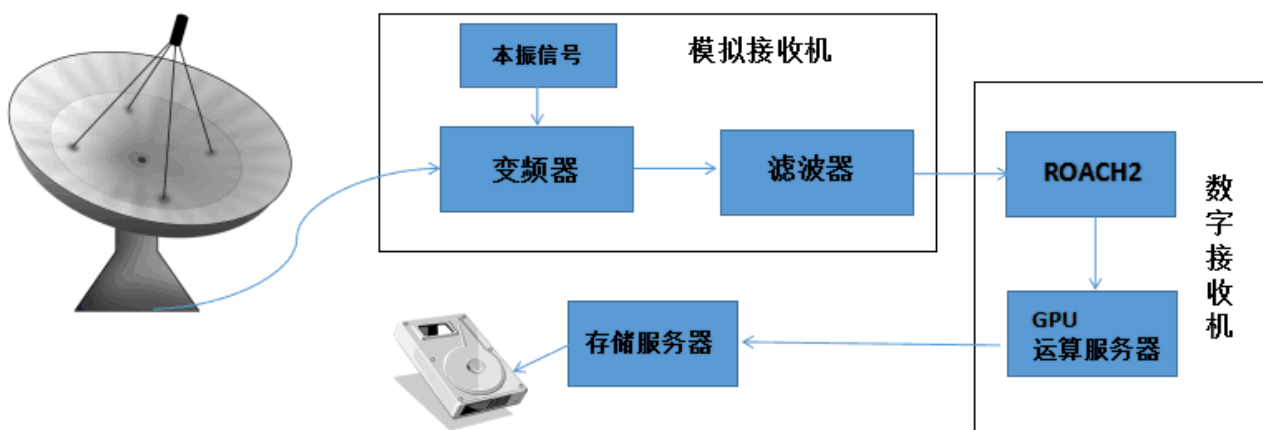
模拟接收机设计：

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(0.125 Mhz) 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:

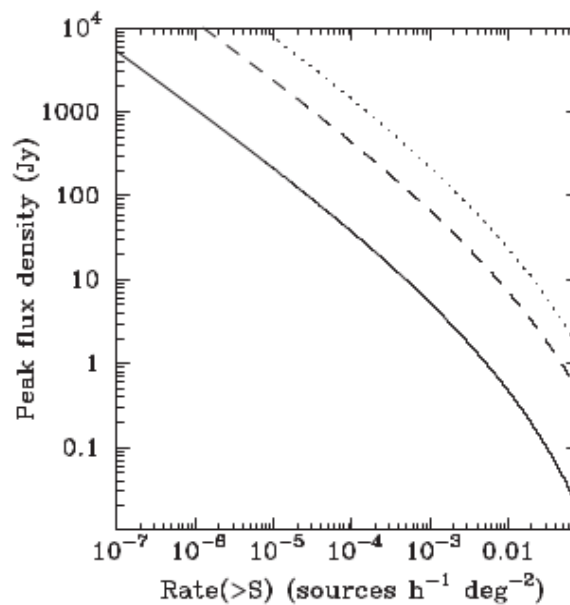
设备名称	数量	单价(单位:万元)	价格(单位:万元)
滤波器	2	0.5	1
变频器	1	4	4
本振时钟	1	2	2
ROACH2 板	2	6	12
运算服务器	1	6	6
存储服务器	1	6	6
GPU	2	1	2
万兆网络	-	-	5
数据硬盘	-	-	10
总价:			48

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:

$$\sigma(v; \Delta v, \Delta t_s) = \frac{SEFD}{\sqrt{2 * \Delta v * \Delta t_s}} = \frac{296 \text{ Jy}}{\sqrt{2 * 500 \text{ Mhz} * 0.1 \text{ ms}}} = 0.936 \text{ Jy}$$

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 $5 \times 10^{-3} h^{-1} \text{deg}^{-2}$ 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).