

实习报告

戴远哲 南京大学

这次实习主要学习了脉冲星的基础知识，如何使用 PSRCHIV 软件处理和分析脉冲星原始数据，还有幸去了佳木斯深空探测基地学习使用望远镜观测脉冲星。下面主要通过脉冲星基础知识，数据处理和观测三个方面简单介绍一下。

1. 脉冲星的基础知识

1.1 脉冲星的发现

1.1.1 脉冲星的观测历史

第一颗脉冲星是由 Jocelyn Bell Burnell 和 Antony Hewish 于 1967 年 11 月 28 日发现的。基于恒星时，他们发现了在同一天空位置有一个相隔 1.33 秒的脉冲。这种短周期的脉冲排除了绝大多数射电辐射源，比如恒星，因为恒星的自转周期通常都比较长。又由于这种观测是基于恒星时的，所以也就排除了人为射电干扰的可能性。因为如果是人为干扰通常基于平太阳时，平时和恒星时每天都会有些许的差别那么在观测上体现出来的话，间隔每天会变化而事实上没有，排除。那有没有可能是仪器本身的干扰呢？当他们使用另外的仪器观测到同样的信号时，也就排除了一切仪器可能造成的影响，这个信号应该是来自宇宙中的。两位发现者很兴奋，“我们不敢确定我们是否得到了来自其他文明的信号，这很有趣，因为我们无法确定这个信号是来自宇宙天体的。”因此他们把这一发现的源称为 LGM-1(little green man 的简写) 直到第二个脉冲信号源的发现，才摒弃了这种探测到外星人信号的解释。1974 年 Jocelyn Bell Burnell 和 Antony Hewish 成为历史上第一次获得诺贝尔物理学奖的天文学家。

1.1.2 脉冲星的基本特征

脉冲星是一种拥有强磁场、高速旋转和发射射电电磁辐射束的中子星。只有当这种辐射束的位置朝向地球时，我们才能够探测到信号，这与脉冲星脉冲周期性吻合。中子星的密度相当高，并且拥有非常短非常稳定的旋转周期。正是这样的特性造就了脉冲星相当精确的脉冲间隔。脉冲星周期的稳定不是说他的周期是一成不变的，而是说他的周期的变化率相当稳定，可以通过拟合的方法精确地得到他的周期变化情况，脉冲星可以说是宇宙中最稳定的时钟，其长期稳定性高于原子钟。也正因如此很多国家都在利用脉冲星周期稳定的特点，做脉冲星导航，其应用价值不可估量。

1.2 脉冲星搜寻

1.2.1 望远镜灵敏度问题

在脉冲星的搜寻工作中，除了希望发现有趣的脉冲星之外，搜寻最主要的目标是得到脉冲星数量关于一些参数的分布，比如关于周期、流量、光谱以及在星

系中的位置的分布。因此对于每一次搜寻灵敏度的限制一定要仔细划定。比如说，高灵敏度往往需要长时间的积分时间(观测时间)，而对于一些短周期的脉冲星源需要一个非常高的采样频率；这两者决定了在整个积分时间里脉冲的数目，由于观测需要对原始数据进行百万点的傅里叶变换，而这也限制了数据处理发现脉冲星的可能性。

在大的搜寻中，信噪比 S/N 必须设定的足够高，以避免一些失败的搜寻。因为如果信噪比特别低的话，不能分辨哪些是脉冲星的信号，哪些是噪声，得到的结果往往就不可靠。在一个系统中总的噪声温度 T_{sys} 以及天线增益 G ，使用 N_p 作为偏振的通道数(通常 N_p 取 1 或 2)，这样就给出了对于一个望远镜的最小可探测的流量密度 S_{min} 的公式：

$$S_{min} = \frac{\alpha\beta}{(N_p \Delta \nu t_{int})^{1/2}} \left(\frac{W}{P-W} \right)^{1/2} \frac{T_{sys}}{G} \quad (1.1)$$

这里 α 是信噪比 S/N 的临界值， β 是由于数字化和其他过程的损失的信号比率。 W 是有效的脉冲宽度， P 是脉冲星脉冲的周期(Dewey et al. 1985). 有效的脉冲宽度 W 一定要把星际介质对于脉冲的散射发散。下面是脉冲有效宽度的公式：

$$W^2 = W_0^2 + t_{smp}^2 + t_{DM}^2 + t_{scatt}^2 \quad (1.2)$$

上式中 W_0 指的是脉冲原始的本质的宽度(即没有受到过星际介质散射的宽度)， t_{smp} 是采样间隔， t_{DM} 是在一个频率通道内高频低频部分由于传播速度差异导致的时间间隔(即色散导致的时间差异)， t_{scatt} 是由于星际介质散射引起的脉冲轮廓变宽。

从上面的公式可以看出来，更低的系统温度 T_{sys} ，更高的天线增益效率 G ，更长的积分时间 t ，增加带宽，更短的有效脉冲的宽度都可以使得探测的灵敏度的提高。当然如果是对于完全不知道的脉冲星进行搜寻(盲搜)那么对于有效脉冲宽度就无能为力了，只能尽量控制其他的因素。

1.2.2 消色散

如果一个脉冲星观测使用了高带宽的接收机、高色散的观测方式，那么这个脉冲的轮廓就会被拉伸，峰值的流量也会有所降低。然而这种损失是完全可以弥补的，把高带宽分割成许多小的带宽，对于每一段小的带宽进行消色散的处理，即通过可能的色散延迟把这个延迟扣除，已得到最接近于真实的轮廓。由于色散带来的脉冲轮廓的变化通过以下的图片会有一个更加直观的认识(此图来自于脉冲星天文学 PULSAR ASTRONOMY fig. 3.2)

第一个使用的脉冲星消色散技术涉及机械驱动下的顺序采样，独立的接收机输出(Large & Vaughan 1971)。数字技术现在已经广泛应用，一种情况可以通过设定单独的延迟在背景搜寻中记录数据，另一种情况可以通过设定 DM 的域值来搜索最佳的能得到脉冲的 DM ，从而达到消色散的目的。

这种消色散的方法是通过在相邻的带宽内添加信号得到一个最好的延迟，而这种延迟就被认为是色散而被扣除。

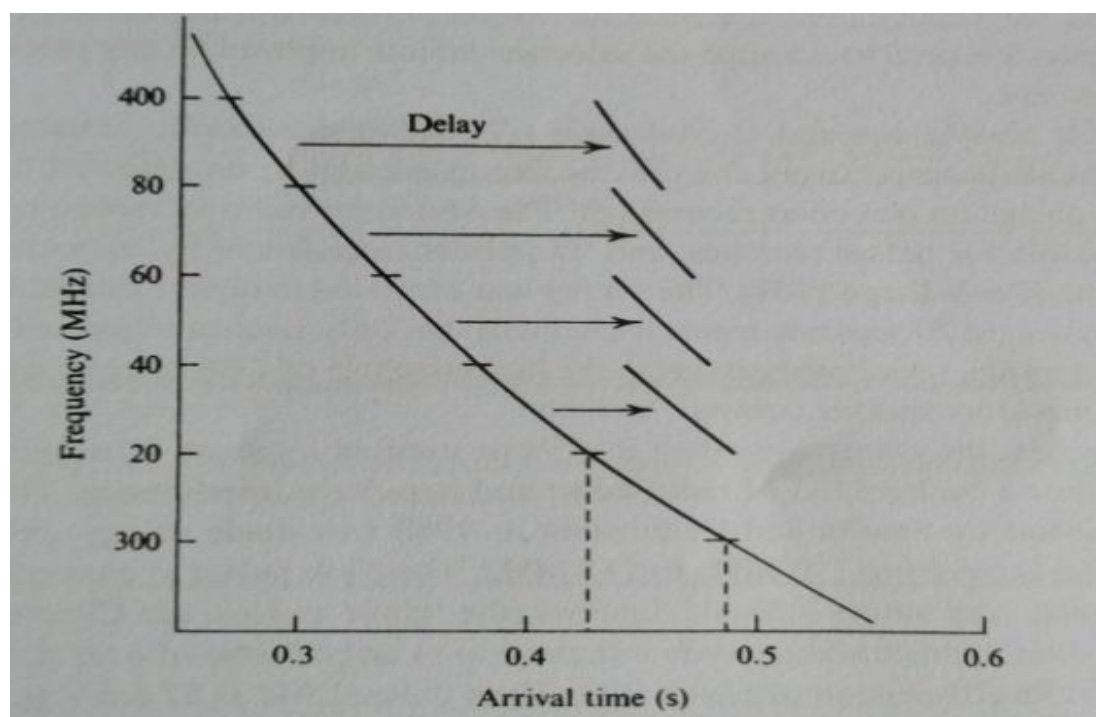


图 1.1 通过相邻频率通道延迟以及顺序采样 来消色散

在另外一种更加尖端的相干消色散技术中，整个带宽内的信号在探测前已经处理过了，已经完整的把星际介质散射的影响去除，可以参照以下的文献(Hankins & Rickett 1975 ; Stairs et al. 2000b; Stairs 2002)。为了得到这样的信号需要经过滤波器，这种滤波器使得信号在不同的频率上相位延迟。这样的滤波器在雷达技术中被称为‘chirp’滤波器。这种技术第一次被运用到脉冲星的信号处理是在 1971 年 Hankins 为了了解这种滤波器，信号现在都会经过傅里叶变换，并且保存频谱的每个独立成分的相位；通过计算得到的相位延迟被应用到每一个成分中，最后通过逆傅里叶变换还原信号，此时的信号就是没有色散延迟的信号。这项技术现在被广泛应用于高分辨率的单脉冲测量中

1.2.3 干扰

在脉冲星的观测过程中信号的干扰是不可避免的，我们只能尽量选择那些相对信号比较少的地区建造望远镜，这样才能使信号更加干净。通常来说干扰是多种多样的，比如说卫星、月球、汽车、高压电线、手机信号等等。对于月球太阳这类辐射特别强的天体观测的时候肯定是要避免的，因为他们的辐射太强了，脉冲星的信号淹没在他们的强辐射中，无法探测。对于高压电线，手机信号这样的干扰也可以通过选择地址来达到要求。而对于卫星或者汽车开过这类随机的事件造成的干扰是不可避免的，在观测过程中或多或少会有那么一些干扰，对于这些讨人厌的该如何去除呢？主要是通过后期软件处理把一些突然增强的信号扔掉，保留相对干净的信号，主要对应于频域和时域的干扰去除，具体的过程将会在后面的数据处理的章节中详细说明。

1.3 脉冲星测时

天体物理提供了很多自转和相互绕转天体的例子，他们旋转周期和周期的演化都可以通过精确计算决定。在太阳系中，这些公转的行星的运动可以精确到秒量级，除此以外地球的自转同样非常精确，每天的误差不超过一亿分之一。然而一旦脱离了太阳系，任何钟表的稳定性和精确性都比不上脉冲星。所以说脉冲星是宇宙中最好的时钟。

射电脉冲到达地球的时间非常容易测得的，而且我们能从这个时间中发现很多，学到很多有用的知识。他们不仅能够提供脉冲射电源的特性特点，还可以得到这个源精确的位置，除此以外利用脉冲信号在宇宙介质中的传播，我们可以利用这个信号作为探针，从而了解更多关于星际介质的信息。由于脉冲星测时能给我们带来如此多的信息，所以为了精确测量这个到达时间，必须考虑影响到达时间的因素有哪些。

下面是影响到达时间的因素：

(1) 地球自转导致一个变化的时间延迟(上限是 21ms)

(2) 地球的轨道是椭圆的，而不是标准的圆

(3) 太阳的运动是和太阳系质心密切相关的，太阳系质心在空间运动很均匀，因此很方便建立一个内在的参考系。太阳的运动是由其他行星的运动决定的，当然主要是由于大质量行星--木星，木星足够大以以至于是太阳系质心移动到太阳的表面上。

(4) 在地球上的引力势能和在离太阳十分远的地方的引力势能的差别是很大的；除此以外由于地球的公转运动是椭圆运动使得这种势能变化带有一年的周期性。广义相对论预示着以地球为基准的钟相对于以圆轨道基准的钟会有有一个小的周年的变化。

(5) 二阶的多普勒延迟效应，是基于狭义相对论，这一影响随着地球运动速度的平方变化而变化；这种同样也是由于椭圆轨道引起的效应和(4)中的效应是不可区分的。

(6) 还有一种变化的延迟，基于广义相对论。由于脉冲在经过太阳的引力势阱产生的时间延迟--Shapiro 延迟。这种效应是由于大质量物体周围时空发生弯曲引起的。

(7) 射电接收机接收到的有效频率由于地球运动引起的多普勒效应有一个周年性的变化。因为脉冲星到达时间是由脉冲辐射的频率决定的，这就是星际介质的色散，正确地得到到达时间的方法还需要消色散的处理。

脉冲准确的到达时间 t 和其到达太阳系质心的时间 t_b 差四个效应的延迟：

$$t_b = t + DM/\nu^2 + \Delta_{R\oplus} + \Delta_{E\oplus} + \Delta_{S\oplus} \quad (1.3)$$

上式中 DM/ν^2 是在某一给定频率的色散延迟。 $\Delta_{R\oplus}$ 是总的几何效应的项，

他包括了太阳系中所有的经典几何效应。 $\Delta_{E\oplus}$ 是爱因斯坦延迟，这是由引力红移

和时间膨胀引起的。 $\Delta_{S\oplus}$ 是 Shapiro 延迟，是由太阳系时空弯曲造成的。

1.3.1 Roemer 修正

为了得到 Roemer 修正正确的表达式我们需要使用一对假定的位置 α, β 以及一个能给定观察者到太阳系质心向量 r_{ob} 的星历表。 r_{ob} 是由三个分量构成的， r_{oe} 观察者到地心的向量； r_{es} 地心到太阳中心的向量； r_{sb} 太阳中心到太阳系质心的向量。

r_{ob} 的表达式为：

$$r_{ob} = r_{oe} + r_{es} + r_{sb} \quad (1.4)$$

那么改正时间 t_c 需要加到太阳系质心到达时间上，这样就得到了真实的到达时间 t ：

$$t_c = -\frac{r_{ob} \cdot \hat{s}}{c} \quad (1.5)$$

上式中 \hat{s} 是单位位置向量， c 是光速。

1.3.2 广义相对论效应修正

广义相对论效应的修正包括两个方面：第一是指时间变慢效应，影响地球上的时钟的速率，第二就是 Shapiro delay $\Delta_{S\oplus}$ 这是由于辐射信号在传播过程中受到太阳系时空弯曲的影响。

原子钟时间周年的变化是由于地球绕太阳作椭圆运动造成的。(Clemence & Szebehely 1967) 地球上时钟时间 S 的时间差和标准时钟的时间差的比值与地球到太阳的距离有关，具体的关系式如下：

$$\frac{dt}{dS} = 1 + \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{4a}\right) \frac{2GM_{\oplus}}{c^2} \quad (1.6)$$

上式中 r 是地球到太阳的距离， a 是地球轨道的半长径， G 是万有引力常数， M_{\oplus} 是太阳的质量。常数 $2GM_{\oplus}/c^2 = 2.95338 \text{ km}$ 。这个等式考虑了由于地球轨道速度引起的基于狭义相对论的时间膨胀效应和广义相对论预示的引力红移；这两个影响都与地球到太阳的距离有关

太阳附近时空弯曲效应的影响首先是由 Shapiro 在 1964 年提出的，当光线经过巨大质量的天体时，由于其附近的时空弯曲，导致光线不再沿直线传播而是沿有一定角偏差的曲线传播。下面是由于 Shapiro 效应引起的时间延迟的表达式：

$$\Delta_{S\oplus} = -\frac{2GM_{\oplus}}{c^3} \ln(1 + \cos \theta) \quad (1.7)$$

上式中 θ 是脉冲星太阳地球三者的夹角。这一种时间延迟，即 Shapiro 效应，当光线靠近太阳表面的时候最多可以达到 120ms 的延迟(Hellings 1986)。对于行

星来说这种效应可以忽略不计，比如当光线靠近木星时产生的时间延迟仅仅只有 200ns。Shapiro 延迟对于双星系统尤为重要，在 Backer & Hellings (1986) 的文章中有非常详细的关于其他在脉冲星测时方面的相对论效应的讨论。

1.3.3 周期和周期变化

下面是一张关于脉冲星的周期周期导数图：

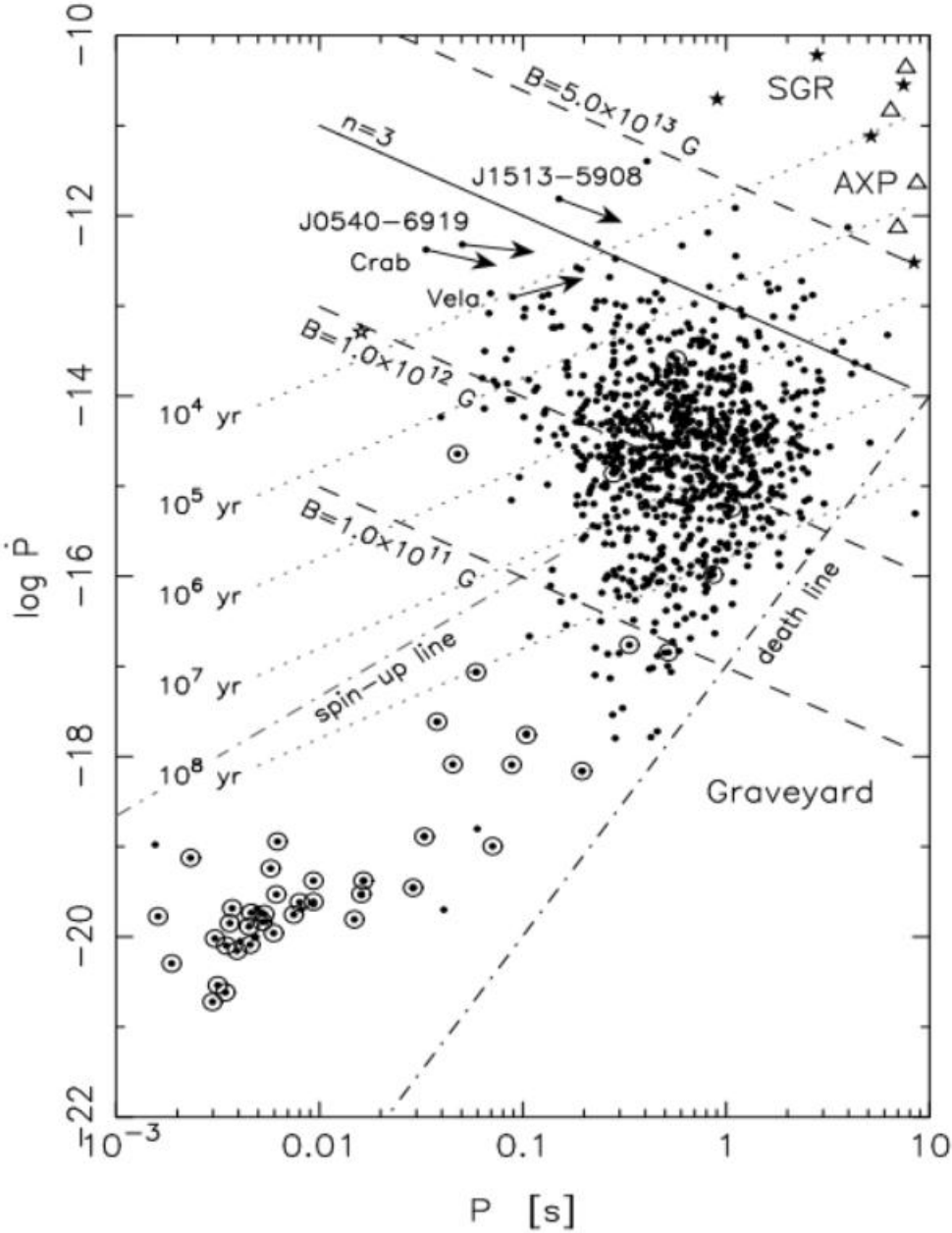


图 1.2 947 颗观测到的脉冲星在 (P, \dot{P}) 图上的分布情况。双星系统中的脉冲星用带点的圆圈表示。实线当 $n=3$ 时的脉冲星演化轨迹。点虚线指的是在固定的磁场强度下脉冲星的特征年龄，相应的如果射电脉冲星穿过了这一根“死亡之线”，他们的辐射随着极冠区电势电位的下降将逐渐停止。在图中右上角的位置，是一些软伽玛射线源和不规则的 X 射线脉冲星

从上面的(p,p dot)图我们可以得到不同脉冲星的不同特性。对于普通脉冲星，他们的周期通常是 0.1-1s，他们的寿命通常是百万年到千万年的量级，就是图中实心黑点所在的位置，他们通常就处在图中央，除此以外他们的表面磁场在 $10^{11} - 10^{13}$ G。毫秒脉冲星(MSP)，他们的脉冲周期通常在 1-30ms，他们的寿命通常要达到 10^9 年的量级。AXP 和 SGR 是磁星，顾名思义，磁星即充满磁场的星，这些脉冲星表面磁场的强度通常可以达到 10^{14} G，非常惊人的强度啊！

上述提到的三种脉冲星都是中子星，然而他们观测到的特点和本质的物理规律还是有很大差别的。当然也有非常多的联系。例如 X-ray 脉冲星很可能是由旋转供能的脉冲星在逐渐失去能量后慢慢演变过来的，他们通常存在于双星系统，当其伴星达到红巨星阶段时，通过吸积伴星的物质使得他们变得在可见光范围内探测到。这种吸积的过程会把大量的角动量从伴星转移到中子星上，从而使得中子星的旋转加快。这种角动量的再次增加的方式被认为是毫秒脉冲星形成的主要方式(毫秒脉冲星主要是在双星系统中发现的)。当这种吸积的物质掉落到中子星的表面时，它们会“掩盖”中子星的强磁场(虽然具体的物理过程还有待研究)，这样也就使得毫秒脉冲星的表面磁场强度比正常脉冲星的强度小 1,000-10,000 倍。磁场强度的降低使得毫秒脉冲星的自转减慢的速率减小，所以通常观测到的毫秒脉冲星都十分年老。

1.4 积分脉冲轮廓和单脉冲

1.4.1 积分的脉冲宽度

对于所有已知的脉冲星它们的积分脉冲轮廓都是可以得到的。虽然对于每一个单脉冲的轮廓会有比较明显的变化，但是这些总的积分轮廓都相当稳定。对于不同的脉冲星它们的轮廓都各不相同，各有各的特点，可以说脉冲轮廓是每个脉冲星的标签，千人千面，一个轮廓就对应一个脉冲星。脉冲轮廓通常占据一个脉冲周期中的 10 度到 20 度，有一些很小只有 1 度，有一些脉冲则会占据整个脉冲周期达到 360 度。每一个轮廓中还有许许多多不同的小成分，通常 1 到 5 个成分但也会有极端情况会更多。当然这些成分是需要信噪比十分高的情况下才是可信的，所以精确测量得到的脉冲轮廓可以看到有趣的多成分(Kramer et al. 1994)如下图(1.3)展示的就是脉冲的多成分。

在主脉冲外的流量强度很快会降到探测不到的水平，然而对于一些比较特殊的脉冲星，在主脉冲之外还可以看到脉冲，我们把这种脉冲星叫做中间脉冲星。为什么会有这种中间脉冲的出现呢？根据脉冲探测的基本原理可以了解到，我们探测的基本条件是脉冲辐射的方向正好与我们观测的方向一致，如果辐射的方向与观测方向垂直或偏离较大，那么就看不到这类脉冲星，如果说脉冲方向对准观测方向，且脉冲星的自转轴与脉冲方向基本成 90 度，那么在一个周期中出现两次脉冲的情况也就顺理成章了。

图 1.4 展示的就是中间脉冲的情况

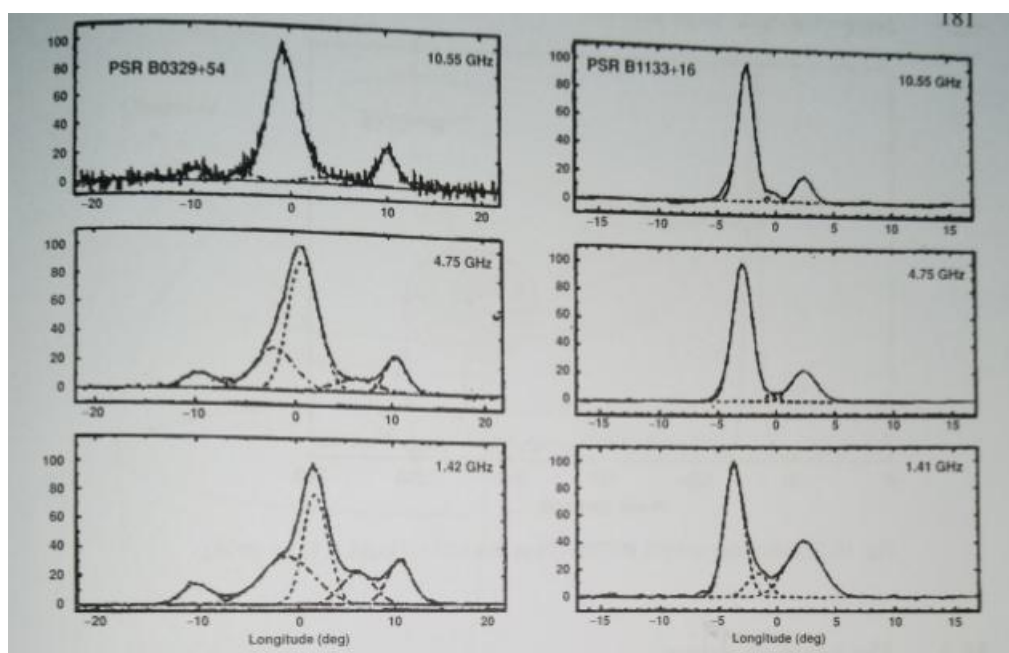


图 1.3 分别展示了 PSRB039+54 PSRB1133+16 的三个不同频率下的脉冲积分轮廓以及模拟的其三个子成分的形状。(Kramer et al. 1994)

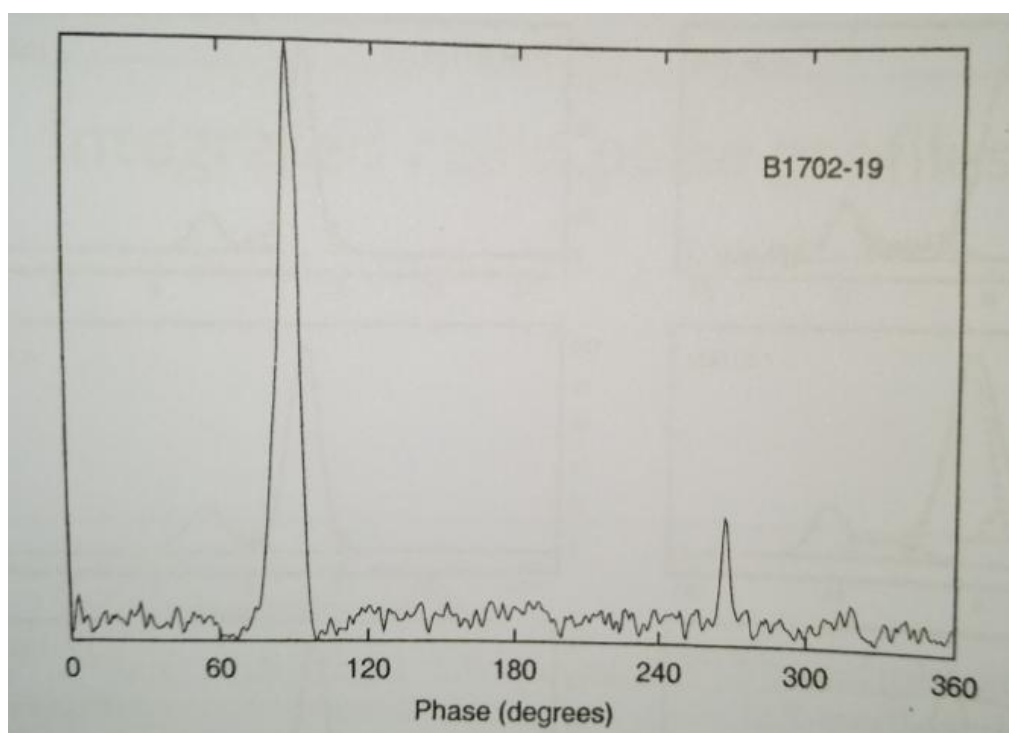


图 1.4 PSRB1702-19 在 408MHz 时的中间脉冲的情况(Kramer et al. 1994)

1.4.2 辐射束成分

从上面的图 1.4 可以看到脉冲星 PSRB0329+55 和 PSRB1133+16 的脉冲子成分是对称分布的, 这样的观测现象很容易让人得出这样的一种分类情况: 中心得成

分对应于辐射束的中央，子成分对应于辐射束边缘的，中心成分拥有更大的宽度和更加抖得光谱。(Lyne & Manchester 1988)

已经在前面的内容中提到过了，多个成对出现的成分很容易让人联想的除了中心的辐射部分，在外围肯定是有锥形的辐射区域，这样对于脉冲成分 1、3、5 的情况就很容易解释了。(Komesaroff et al. 1970; Backer 1976) 这个模型几经发展 Rankin (1993) 提出对于一个拥有五个成分的脉冲就需要两个辐射束圆锥来解释，甚至对于 7 个，9 个的情况也可以解释了，对于那些偶数个成分的情况可以看成是由于观测方向的原因，视线且过圆锥的方向没有经过核心。图 1.6 更为直观的：

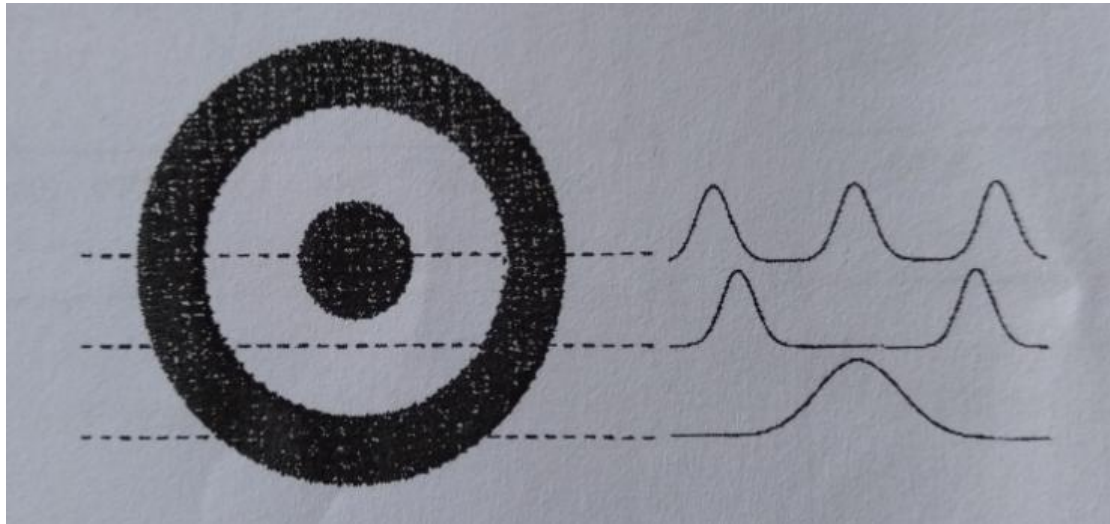


图 1.5 一个辐射束核与锥形结合模型，各种不同种类的对称的轮廓是由于不同参数决定的。

要使得成分的辐射束在总的辐射束中需要一些关于影响因子 β 的了解，这是辐射束范围内一点到辐射束中心的角距， α 自转轴与磁轴的夹角。Lyne & Manchester (1988) 使用这两个参数估计了上百颗脉冲星，并没有发现辐射束成分主要是在核心的这种分布特性。核心和锥形辐射还没有得到较好的区别。

1.4.3 单脉冲辐射的强度以及脉冲消零

一个稳定的脉冲星轮廓往往是有成千上百的单脉冲组合而成的，这种积分得到的轮廓虽然稳定且重复出现，但是它们掩盖了单脉冲应有的变化的特点。(图 1.6 对脉冲星总积分轮廓和单脉冲的显现)

许多脉冲星，例如 PSR B1642-03 在图 1.7 中显示了类似于平均值正态分布的总脉冲能量分布。其他的例如 PSR B0950+08 同样显示了脉冲能量值得分布。零值得出现代表某些时刻脉冲能量很低甚至小于平均脉冲能量的 1%，这种特殊的情况被称为脉冲消零。

1.4.4 模式变换

在模式变换的情况下，积分轮廓在两种不同的形状下互相转化；每一种模式都在一段时间内是稳定的，即一系列单脉冲折叠得到的脉冲轮廓没有变化。在图 1.8 中两种脉冲轮廓子成分在两种模式下分别出现，只是他们的强度各不相同。模式变换和脉冲消零是紧密相关的，可以把脉冲消零看作是特殊的模式变换，脉

冲为零只不过是模式变换以后流量太小，难以探测到脉冲轮廓。

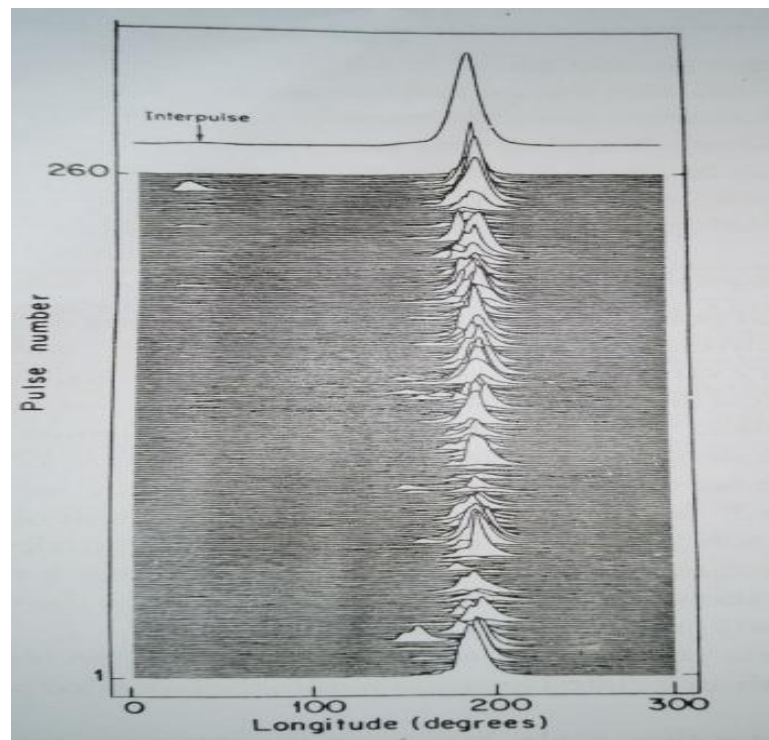


图 1.6 脉冲星 PSR B0950+08 一系列单脉冲单独显示以及叠加起来最后得到的总的脉冲轮廓图(Hankins & Cordes 1981)

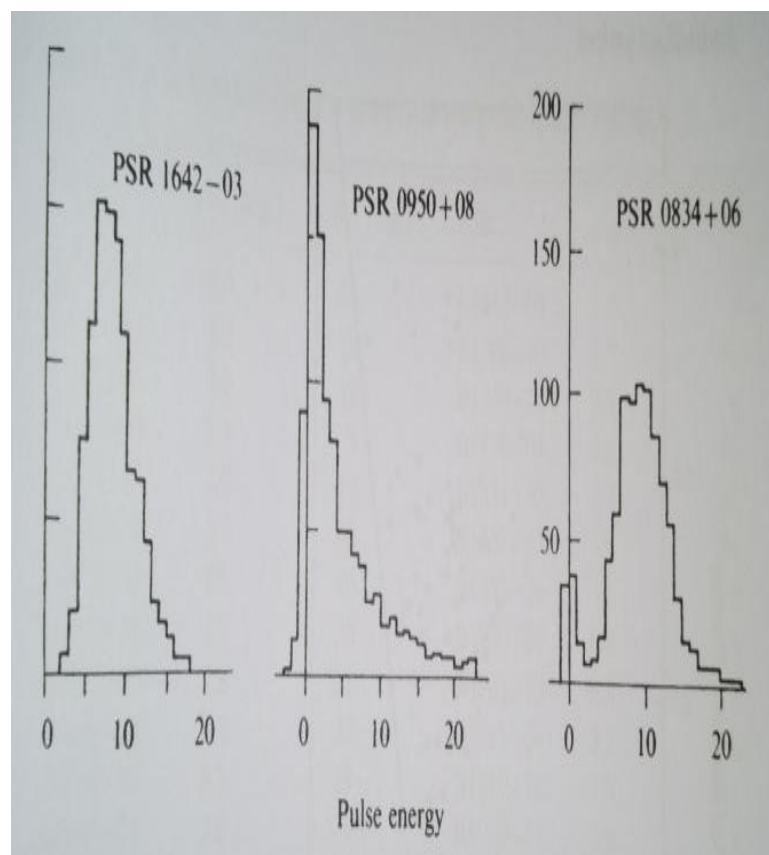


图 1.7 三颗脉冲星在 408MHz 频率的脉冲能量的分布图.PSR B1042-03`没有

脉冲缺失的情况。PSR B0950+08 展示了一个平滑的高斯分布。PSR B0834+06 在零能量的地方出现了小的峰(暗示了缺失的脉冲，即脉冲消零)

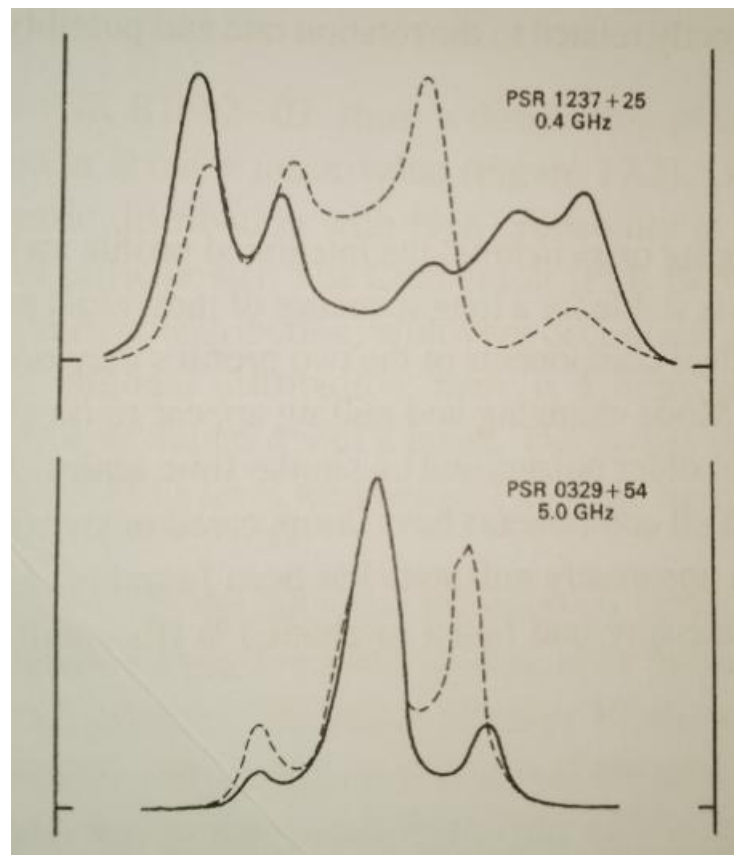


图 1.8 脉冲积分轮廓图因为模式变化产生的变化 PSR B1237+25, PSR B0329+54 (Bartel et al. 1982)

1.4.5 脉冲漂移和调制

在许多长周期的脉冲星中，如 PSR B0809+74 和 PSR B0031-07 它们连续脉冲的观测过程中可以发现子脉冲出现相位的逐步改变。子脉冲在积分脉冲轮廓图中的移动(图 1.9)一个周期内子脉冲之间的距离记作 P_2 ，子脉冲漂移到同一相位经过的时间记作 P_3 ，漂移速率为 $D = P_2 / P_3$ ，漂移周期 P_3 通常通过脉冲周期 P_1 表示出来。

在漂移周期 P_3 重复出现的时候可以看到积分脉冲功率的调制以及集成以傅里叶变换的单脉冲流的脉冲频谱显示。如果是在限定一定范围的脉冲相位中观测，这种调制往往会更加明显。

周期调制还会出现在一些脉冲星的外围成分中，而往往这些成分没有明显的脉冲漂移。最著名的例子就是 PSR B1237+25，这颗脉冲星的现象可以通过在前面提到的辐射束圆锥模型的已解释。如果子脉冲产生的位置与辐射束圆锥的外边相吻合，那么这些区域显然由于圆锥绕核心的旋转从而产生一个子脉冲漂移的周期。对于像 PSR B1237+25 这样的脉冲星，视线方向的切割几乎沿着光束的直径方向，发射区域没有观察到在脉冲周期内的漂移，有调制但是没有漂移。

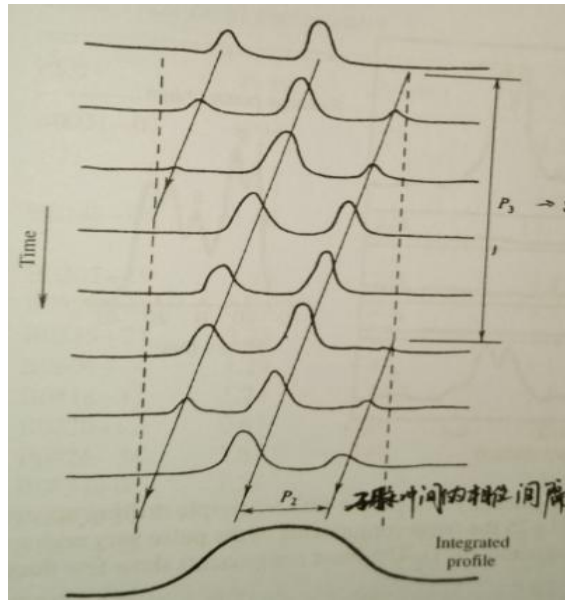


图 1.9 一个理想的子脉冲漂移的示意图，在脉冲周期 P_1 内有多个子脉冲，同样的结构在间隔 P_3 后再次出现，子脉冲之间的间隔是 P_2

1.5 辐射机制

能量的来源主要是巨大的感生电场以及使得诱导的正电子达到拥有高相对论能量。这种来源主要来自于两个独立的辐射区域，包括在极冠区域附近开放的电场线和外围间隙。从极冠区域辐射出去的高能光子是由于初始的相对论性粒子的曲率辐射引起的；与之相对应的射电波段的辐射是由于这两个区域的原始高能粒子流产生的等离子体的持续不断的辐射。

1.5.1 外间隙：曲率辐射

在拥有从可见光到伽玛射线的高能辐射区域--外间隙中，没有证据表明这种辐射是连续的。这种单粒子流被认为和通过现有的曲率辐射原理和观测得到的流量强度有关。对于一个相对论系数为 γ ，在曲率半径为 ρ 的磁力线上运动的电子，它的光谱的峰值出现在接近特征频率 ν_c 的时候：

$$\nu_c = \frac{3c}{4\pi\rho} \gamma^3 \quad (1.7)$$

曲线曲率半径 ρ 在外场线附近 $\sim c/2\omega$ 。把蟹状星云脉冲星 $\omega \sim 200$ 作为一个例子，其在伽玛射线的光谱能量达到 10^4 MeV ，从等式 1.7 可以得到要达到这样高的能量值就需要粒子的能量达到 $\gamma \sim 10^7$ ，这个能量是在延伸的外间隙加速极限范围内的。

Romani(1996) 展示了全波段的高能光谱图，从可见光到伽玛射线波段。这解释了拥有伽玛射线能量的单粒子在穿越外间隙时各不相同。在前面的内容中已经提到了伽玛射线粒子的产生是被初始的磁场所限制的，最大能量和磁场强度是成正比关系的。所以能量最高的伽玛射线粒子就可以在外间隙中跑的最远。

在外间隙内的粒子能谱以及能谱与已观测到的伽玛射线，X 射线，可见光红外光谱的分析于 2002 年 Crusius-Watzel & Lesch 的工作中已有详细的描述。假定粒子数 N 与能量 γ 是成一个幂率分布的关系

$$N(\gamma) \sim \gamma^{-s} \quad (1.8)$$

这个幂率的系数是与伽玛射线光谱流量有关系的：

$$F(\nu) \propto \nu^{-(s-2)/3} \quad (1.9)$$

对于 PSR B1706-44 幂率系数 $s=2.75$ 。

高能光度 L_γ 和基础参数 B_0 ，周期 P 的关系，可以通过分析外间隙的体积，粒子的数密度以及单粒子辐射的能量联系起来。

尽管在外间隙的辐射物理机制非常复杂，我们还是认为这种高能的辐射机制是正确的，由于脉冲轮廓在高能和射电波段很相似，虽然射电波段的辐射主要来源于低能量等离子体，但通过这种相似性可以推断出射电辐射的等离子体也应该在辐射束的外间隙的边缘。

1.5.2 极冠区的射电辐射

极冠区和外间隙区的射电辐射强度都很高，相应的高的亮温度就需要连续的辐射束粒子这样的解释。极冠区的射电辐射的机制很可能是连续的曲率辐射。但是存在一个几何的问题，既然射电辐射在整个极冠区域包括核心区域都出现了，而核心区域的磁力线是直的，这样就不能解释射电辐射的亮度。因此理论工作的主要方向转为研究等离子体的产生发展最后得到射电辐射的过程。

在极区的粒子流的物理参数，不论是初始的粒子流还是经过加速的粒子流在很多文中都提到过 Hirschman & Arons (2001b)。在后续的粒子流中有两个重要的参数

辐射强度和粒子能量分布(Arendt & Eilek 2002)。

2. 处理数据的方法

2.1 校准源的数据处理

校准源数据处理的步骤

2.1.1 把二进制数据格式转成 PSRFITS 格式

1.进入到转换数据格式的程序的文件中

```
% cd /home/username/PSR-Tool_zmtt/Raw2FITS
```

2.检查并写入相邻计数器的差值

```
% ./readRawDataHead /home/username/data/jms0809/3C138_201508100245.dat  
(记下相邻计数器的差值即 delt_count)
```

3.修正数据格式转换程序

```
% emacs Raw2FITS_V2.c &  
(follow the delt_count had wrote modify the delt_count in the file Raw2FITS_V2.c in  
line 499)
```

4.编译程序

```
% ./make R2FRaw2FITS_V2
```

5.数据格式转换

```
% ./Raw2FITS_V2/home/username/data/jms0809/3C138_201508100245.dat  
(this will get file of 3C138_201508100245.dat.right)
```

2.1.2 使用软件 PSRCHIVE 对数据进一步处理

1.把 PSRFITS 格式的文件转换成 FILTERBANK 的形式

```
% filterbank 3C138_201508100245.dat.right > 3C138_201508100245.fil  
(get filterbank file 3C138_201508100245.fil)
```

2.检查数据的头文件

```
% readfile 3C138_201508100245.fil  
Look at the two values at the header file of the .fil, write down these two values Time  
per file(sec); start time --MJD start time
```

3.继续转换 FILTERBANK 数据格式

```
% dspsr -A -c 450 -cePOCH 57284.44601851851621 -O 3C138_201508100245  
3C138_201508100245.fil  
(get the data file 3C138_201508100245.ar  
-c 450 , 450 is the time per file i.e. The length of the data file  
-cePOCH 57284.44601851851621, 57284.44601851851621 is the start time)
```

4.去除干扰

```
% pazi 3C138_201508100245.ar  
具体的去除详见 pazi -h 以及 psrzap -h 中的帮助文件
```

5.数据可视化并进一步检查

```
% pav -dDFT 3C286_201506251850.ar.pazi
```

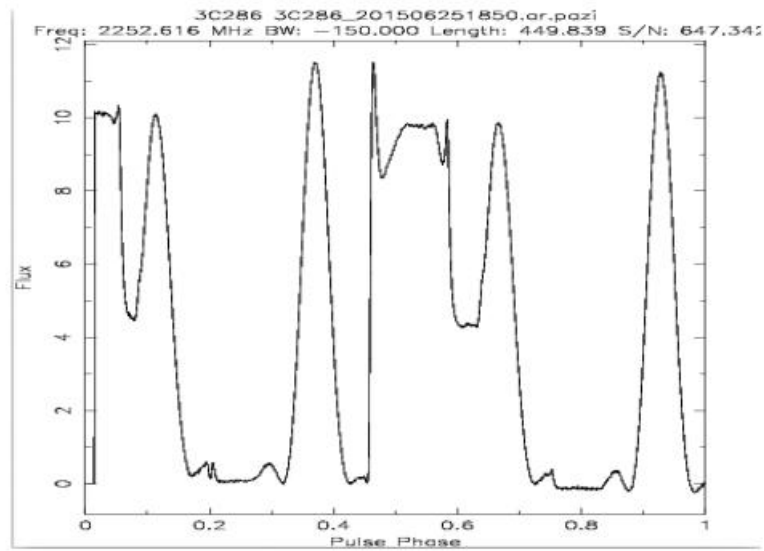



图2.1 3C286 轮廓

```
% pav -dGT 3C286_201506251850.ar.pazi
```

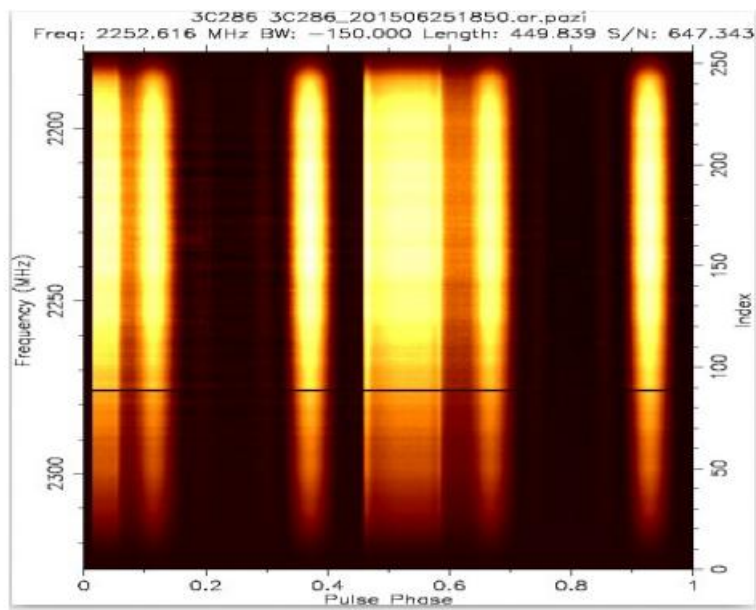


图2.2 频率相位图

```
%pav -YFd 3C286_201506251850.ar.pazi
```

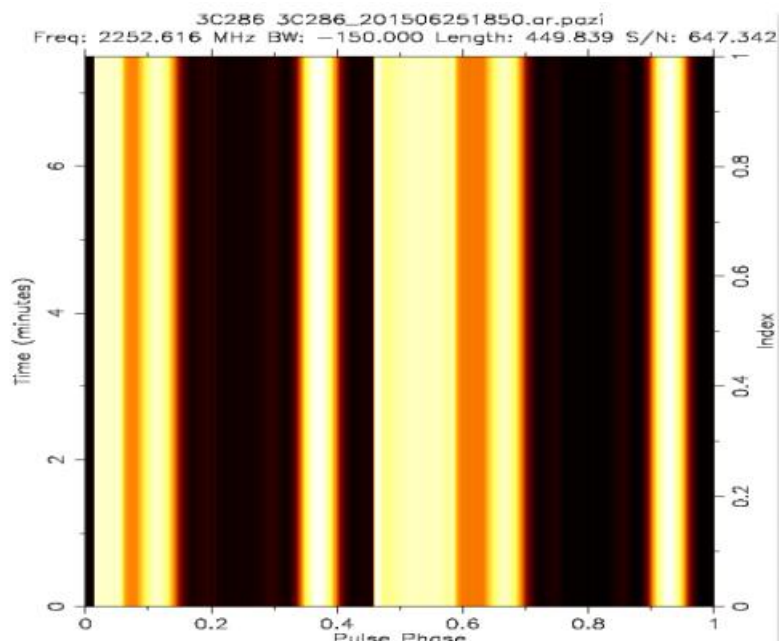



图2.3 时间相位图

2.2 脉冲星数据处理

脉冲星数据处理步骤:

2.2.1 把二进制数据转成 PSRFITS 格式

1.进入转换程序所在的目录

```
% cd /home/username/PSR-Tool_zmtt/Raw2FITS
```

2.检查并记录相邻计数器的差值

```
% ./readRawDataHead
```

```
/home/username/data/jms0809/psrB0329+54_201506160329 .dat
```

(write down the difference of the adjacent counter , i.e. delt_count)

3.修正数据转换格式的程序

```
% emacs Raw2FITS_V2.c &
```

(follow the delt_count had wrote modify the delt_count in the file Raw2FITS_V2.c in line 499)

4.编译程序

```
% ./makeR2F Raw2FITS_V2
```

5.数据格式转换

```
% ./Raw2FITS_V2/home/username/data/jms0809/psrB0329+54_201506160329 .dat
```

(this will get file of psrB0329+54_201506160329 .dat.right)

2.2.2 使用软件 PSRCHIVE 处理数据

1.把数据格式从 PSRFITS 转成 FILTERBANK

```
% filterbank psrB0329+54_201506160329.dat.right >  
psrB0329+54_201506160329.fil  
(get filterbank file psrB0329+54_201506160329.fil)
```

2.查看头文件检查通道数目以及时间分辨率

```
%header psrB0329+54_201506160329.fil
```

3.得到新的 PSR 的星表

```
%psrcat -e 0329+54 > psrB0329+54.par
```

4.使用星表文件折叠 filterbank 文件使其变为更加容易处理的文件

```
%dpsr -A -L 20 -E psrB0329+54.par -O psrB0329+54 psrB0329+54_201506160329.fil
```

5.自动去干扰

```
% paz -r -E 1 -e zap psrB0329+54.ar  
(-r removing the interference of channel  
-L removing the interference of phasebin;  
-E 1 removing 1% channel edge
```

6.数据可视化和读图

```
%pav -CGDT psrB0329+54.zap
```

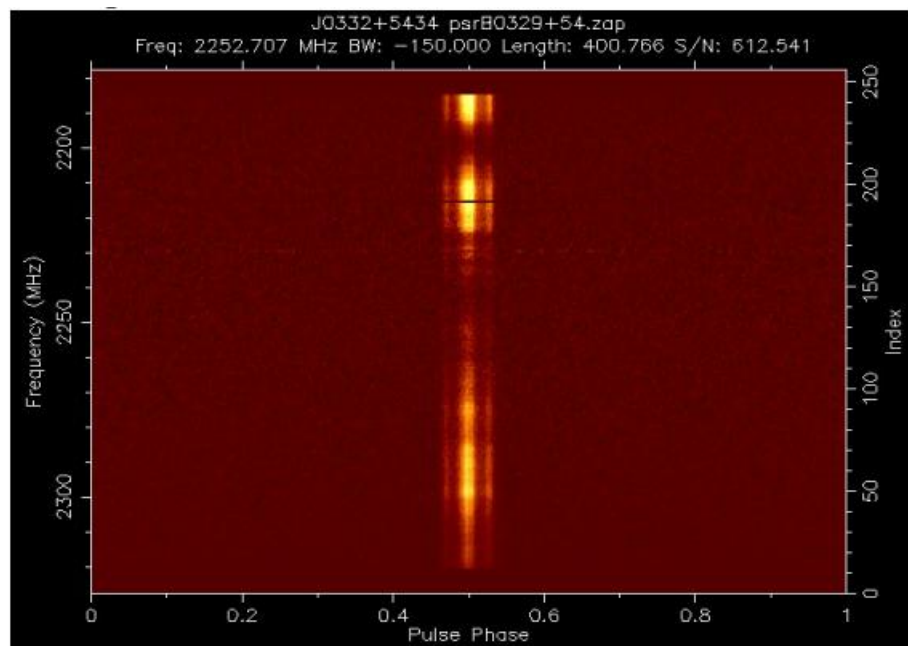


图 2.4 B0329+54 的频率相位图

```
% pav -CDdFT psrB0329+54.zap
```

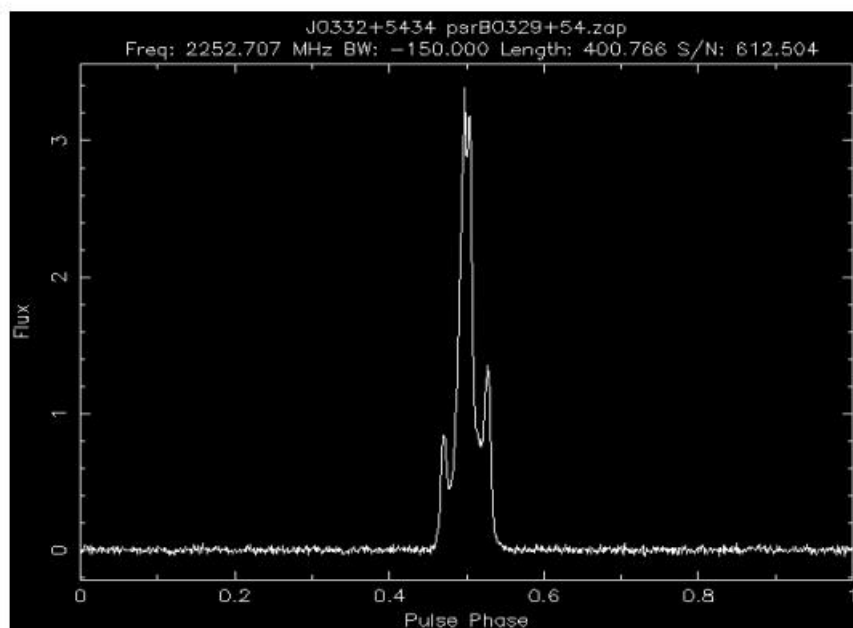


图 2.5 B0329+54 的脉冲轮廓图

%pav -CYFd psrB0329+54.zap

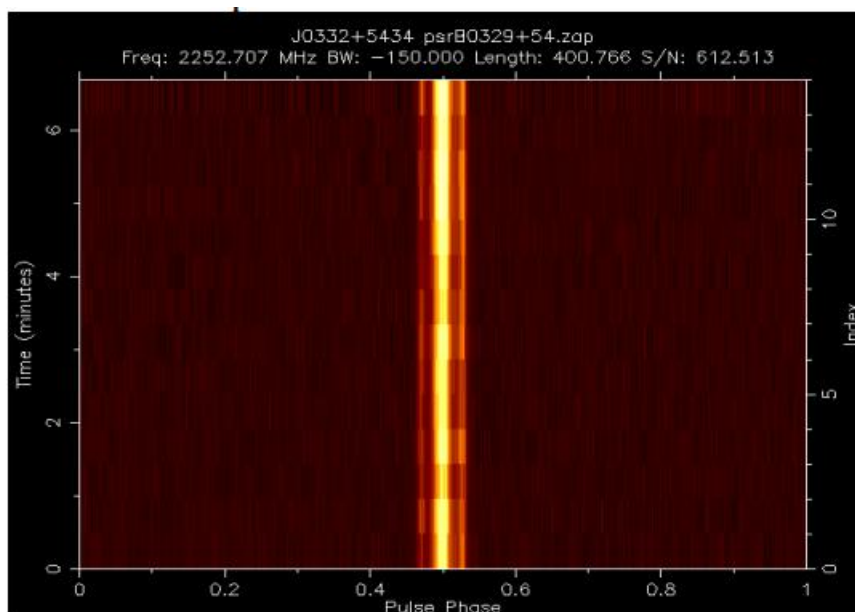


图 2.6 B0329+54 的时间相位图

3. 使用佳木斯 66 米望远镜进行脉冲星观测

3.1 如何制定一个观测计划

首先需要初步确定那些源使我们可以观测到的，这受到观测地理纬度，脉冲星本身的流量强度，还有望远镜本身灵敏度决定的。

接着需要把这样一张能够观测的表格导入到软件中,利用软件 **radiosky** 得到不同时刻所有可以观测到的源的位置(包括其方位角度以及高度角)还需要一些天空中稳定的校准源的信息,在每一次观测脉冲星前都要对校准源做一次观测,一方面这便于后面流量的定标,另一方面也是对望远镜性能的测试。

最后就是制定观测计划了,确定要观察哪些脉冲星,之后确定观测的顺序。脉冲星的位置在天球上会有一个周日运动的轨迹,确定观测顺序呢要基于这个天球图,一、对于比较高的天体或者说能够观测的时间比较充足的天体,可以先放一下,优先考虑那些在天球上位置较低的天体 二、两个观察顺序相邻的天体要注意望远镜的绕转角,尽量靠的近一些避免绕转角超过 **270** 度,而且近一点也会节省很多换源的时间。

3.2 使用电脑上的后端软件得到原始的二进制数据

下面是一些软件上的参数

PSR name :脉冲星的名称

RAJ DEC :脉冲星在天球上的赤经赤纬

First channel frequency : 第一通道频率 **2178MHz**

Center channel frequency : 中心频率 **2253MHz**

Bandwidth : 带宽 **150MHz**

Nequist sampling frequency : 尼奎斯特采样频率 **300MHz**

ADC:digital signal and the analog signal percentage 数字信号和模拟信号的比例

DDC:down digital signal percentage 下行信号的比率

Digital gain:数字增益,调整这个参数使得 **ADC** 和 **DDC** 在 **50%-60%**,因为如果这两个参数过大就会导致数据溢出,信息损耗。**50%-60%**保证在某些突发情况下数据不会溢出。

VGA gain : 是调节左右旋增益的参数,原理和 **Digital gain** 类似

主要使用两种观测模式:

1. **128** 通道采样频率为 **0.1ms** 的模式
2. **256** 通道采样频率为 **0.2ms** 的模式

3.3 一些需要在观测室注意的问题

- 1.当观测强源是需要是在观测之前再进行一次校准源的观测,并且如果后续观测正常源时,需要在进行一次校准源的观测,因为强源和正常源参数不同,需要提前校准。如 **Crab pulsar**
- 2.观察脉冲前以及观察完毕后需要在进行一次校准源的观测。
- 3.当制定计划时要尽量避免一些强干扰源,如太阳月亮,因为他们的信号太强以至于脉冲星的信号淹没其中
- 4.要避免两个相邻顺序观测的源距离太远,这样会浪费换源的时间
- 5.在观测完一个目标源以后,要及时地处理数据,因为这样在能发现一些问题(不能抱有侥幸的心理,认为没有问题) 如果事后再处理数据时发现数据出现问题,这样就浪费观测时间白忙活一场。及时发现并处理问题
- 6.注意望远镜的卷绕角,尽量避免跟踪时卷绕角接近 **270** 度,如果卷绕角超过 **270** 度会扯断电缆,造成不必要的麻烦。

致谢

首先,非常感谢韩老师能给我这次宝贵的实习机会,他给予了我非常多的帮助,帮我安排了住宿,学习上也给了我很多意见,我学到了很多的东西。除此以外,王陈,王鹏飞,高旭阳三位副研究员,李东悦,杨辉,杨帆,单素素四位师兄师姐在生活和学习上都给予了我很大的帮助,真的非常感谢你们为我做的一切!

Reference

1. A search for low-luminosity pulsars. Dewey et al. 1985 [10.1086/184502](#)
[1985ApJ...294L..25D](#)
2. A search of the galactic plane for high dispersion pulsars [Large, M. L.](#);
[Vaughan, A. E.](#) [10.1093/mnras/151.3.277](#) [1971MNRAS.151..277L](#)
3. Pulsar signal processing. [Hankins, T. H.](#); [Rickett, B. J.](#) [1975MComP..14...55H](#)
4. Studies of the Relativistic Binary Pulsar PSR B1534+12. I. Timing Analysis [Stairs, I. H.](#);
[Thorsett, S. E.](#); [Taylor, J. H.](#); [Wolszczan, A.](#) [10.1086/344157](#)
[2002ApJ...581..501S](#)
5. Microsecond Intensity Variations in the Radio Emissions from CP 0950 [Hankins, T. H.](#)
[10.1086/151164](#) [1971ApJ...169..487H](#)
6. Relativistic effects in astronomical timing measurements [Hellings, R. W.](#)
[10.1086/114048](#) [1986AJ.....91..650H](#)
7. Multifrequency polarimetry of 300 radio pulsars [Gould, D. M.](#); [Lyne, A. G.](#)
[10.1046/j.1365-8711.1998.02018.x](#) [1998MNRAS.301..235G](#)
8. The shape of pulsar radio beams [Lyne, A. G.](#); [Manchester, R. N.](#)
[10.1093/mnras/234.3.477](#) [1988MNRAS.234..477L](#)
9. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pulsar>
10. Possible Mechanism for the Pulsar Radio Emission [Komesaroff, M. M.](#)
[10.1038/225612a0](#)
11. Pulsar average wave forms and hollow-cone beam models [Backer, D. C.](#)
[10.1086/154788](#)
12. pulsar astronomy ANDREW G. LYNE & FRANCIS GRAHAM-SMITH