

实验一 脉冲星轮廓信号的处理和分析

一、实验目的

1. 了解和认识脉冲星及脉冲星导航的基本概念；
2. 学会用 MATLAB 进行脉冲星信号的处理的基本方法；
3. 掌握基于 MATLAB 工具的脉冲星信号的脉冲轮廓分析方法；
4. 探索脉冲星信号的轮廓特性，研究实际探测器接收到的脉冲星信号中脉冲星信号到达速率和宇宙背景噪声到达速率对累积脉冲轮廓的影响，并探索和分析其中的现象和规律。

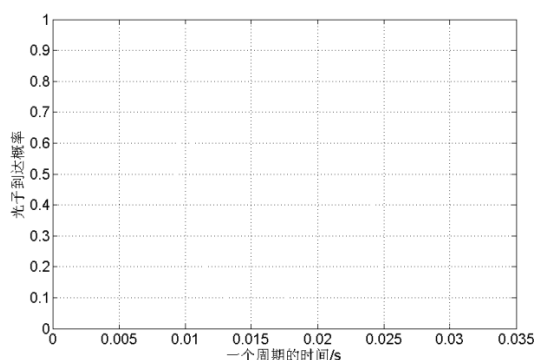
二、实验内容

2.1、脉冲星光子到达概率密度函数的获取

- 1) 已知 Crab 脉冲星一个周期内光子到达的概率密度，如附件 1 (“data.txt”)：
 - (1) 利用 MATLAB 设计一个拟合程序或者采用某种工具，获取 Crab 脉冲星辐射的光子到达的概率密度函数 $h(t)$ ；
 - (2) 其中，Crab 脉冲星周期为 0.0335s；
 - (3) 拟合 RMSE ≤ 0.01 。

要求：

- (1) 写出 Crab 脉冲星光子到达的概率密度函数 $h(t)$ 和分析过程；
- (2) 贴出保存好的概率密度函数图形，要求保存格式为.tiff，横坐标为一个周期内的时间，纵坐标为每个时间内的光子到达概率；
- (3) 附程序+自己一卡通照片。



2.2、脉冲星信号脉冲轮廓的产生及影响因素分析

1) 设计 MATLAB 程序，产生不同探测器面积 A (Aera)、不同脉冲星辐射流率 (rate_pulsar) 下的脉冲星信号轮廓波形，其中：

- (1) 一定面积下的脉冲星信号的辐射速率 $\lambda_a=A \times rate_pulsar$;
- (2) 不带噪声，仅考虑脉冲星辐射的信号的累积脉冲星轮廓波形为：

$$f(t)=\lambda_a \times h(t);$$

(3) 产生探测器面积分别为 100cm²、150cm²、200cm² 下、脉冲星辐射流率分别为 rate_pulsar=15 ph/s/cm²、rate_pulsar=30 ph/s/cm² 的脉冲轮廓；

要求：

- (1) 分别以.txt 和.mat 格式保存生成的脉冲星轮廓数据；并分别绘制脉冲星轮廓图形，规范绘图，贴出保存好的图形，要求保存格式为.tiff；
- (2) 仔细观察上述结果，你发现了什么规律？
- (3) 思考并探讨一下，实际脉冲星导航中，脉冲星信号探测器接收到的脉冲星信号受哪些因素影响？最后的脉冲轮廓受哪些因素影响？

<div> <div>探测器面积/ cm²</div> <div>轮廓峰值</div> <div>rate_pulsar / ph/s/cm²</div> </div>	100	150	200
	15		
	30		

2) 设计 MATLAB 程序，产生不同探测器面积 A(Aera)、不同脉冲星辐射流率 (rate_pulsa)和不同噪声辐射流率(rate_noise)下的带噪声脉冲星信号轮廓波形；

- (1) 一定面积下的宇宙背景噪声信号的辐射速率 $\lambda_b=A \times rate_noise$;
- (2) 带噪声脉冲星轮廓波为： $f(t)=\lambda_a \times h(t)+ \lambda_b$;
- (3) 编写 MATLAB 程序，分析和绘制至少六组探测器面积属于(100~600)cm²、脉冲星信号辐射流率属于(rate_pulsar:15~150)ph/s/cm²、宇宙背景噪声信号辐射流率属于(rate_noise:30~300)ph/s/cm² 下的带噪声脉冲星信号轮廓图形；

要求：

- (1) 分别以.txt 和.mat 格式保存生成的带噪声脉冲星轮廓数据；
- (2) 探究、计算带噪脉冲星信号轮廓的信号比 SNR，绘制信噪比随脉冲星辐射流率(rate_pulsa)和噪声辐射流率(rate_noise)变化的三维趋势图；
- (3) 由上述实验你发现了什么现象，并对现象进行分析和思考；

- (4) 撰写实验报告,详细论述实验原理及过程,规范绘图,贴出保存好的图形,要求保存格式为.tiff。
- 3) 设计 MATLAB 程序,给上一步中带噪脉冲轮廓加不同信噪比的高斯白噪声,观测脉冲轮廓的变化,探究高斯白噪声对轮廓的影响 :

(1) 由上述实验你发现了什么现象和规律?

(2) 探讨实际探测器接收到的脉冲星信号的构成成分,思考一下,实际导中,该如何处理带噪声的脉冲星信号,提高脉冲星轮廓质量,进而提高导航精度;

要求:

- (1) 以.txt 和.mat 格式保存生成的带噪声脉冲星轮廓数据;
- (2) 撰写实验报告,详细论述实验原理及过程,规范绘图,贴出保存好的图形,要求保存格式为.tiff。
- (3) 实验报告末尾附自己一卡通照片。

注意事项:

(1) MATLAB 是矩阵实验室 (Matrix Laboratory) 的缩写,是一个非常强大的计算工具,主要用于矩阵的存取、通用数值计算、算法设计等,其含有的信号处理工具箱中,具有大量基本信号处理的封装函数,查阅上述函数功能及使用方法可在 MATLAB 命令窗口输入“**fhhelp *****”进行查阅。

(2) MATLAB 开发环境是一个友好的界面,如下图所示。主要有工作空间 (查阅程序中调入、产生和保存的数据、及类型)、程序编辑区 (进行程序的编写)、命令输入区 (进行命令的输入)、历史命令区 (查阅历史命令) 等组成。不同的操作应该在不同的区域进行。

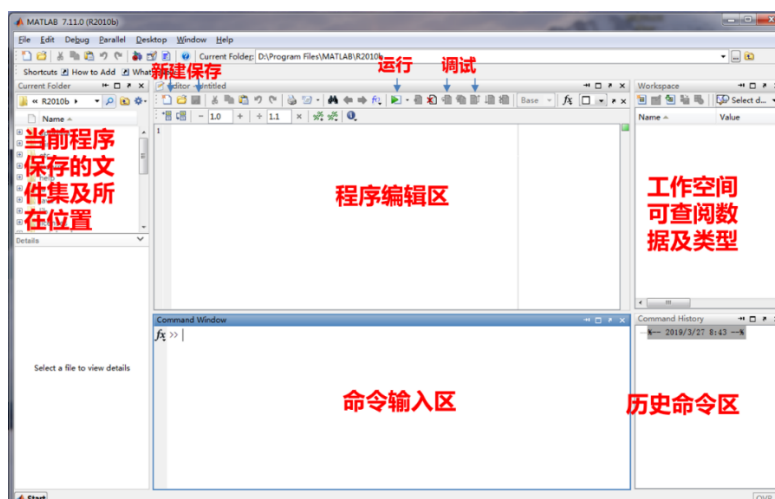


图 1MATLAB 开发环境

(3) MATLAB 编程需严格按照语法要求，程序编写前要有说明，如所编写程序的功能、输入参数、输出参数、编写人、编写日期等。此外，关键语句要加注释。具体如下图所示。

```

1  %% 该程序的功能：
2  %% 输入参数：
3  %% 输出参数：
4  %% 编写人：
5  %% 编写日期：
6  clc %清除命令窗口的内容
7  clear all %清除工作空间的内容
8  close all %关闭打开的窗口
9  .....

```

图 2 编程示例

(4) 编写程序时应注意输入格式及语法要求，不要出现中英文字符混用；多次出现的数字应用变量代替；变量名要望文知意；

(5) 循环语句要注意循环条件。

附 1. fhlp 函数说明

MATLAB 数学函数库如正弦函数、余弦函数等，用 fhelp sin 可方便查阅该函数的功能和使用说明；

附 2 MATLAB 数据的加载和保存方法

保存方法 (1)：save, 保存为.txt 文件

命令语句：save ***.txt -ascii x; %x 为变量；*.txt 为文件名。

该文件存储于当前工作目录下

加载方法（1）：load

命令语句：bbb=load(' ***.txt ');

保存方法（2）：save，保存为.mat 文件

命令语句：save(filename,variables) %保存 variables 指定的结构体数组的变量或字段。

例：A=[1 2 3 4 5 6 8 8 8 8 9];

save('file1.mat','A'); %将变量 A 保存到当前文件夹中的 file1.mat。

save('E:\room\MATLAB\apt\file1.mat','A');

%将变量 A 保存到指定文件夹中的 file1.mat。

加载方法（2）：load

命令语句：load -mat 'tssb.mat'

附 3.脉冲星及其轮廓简介

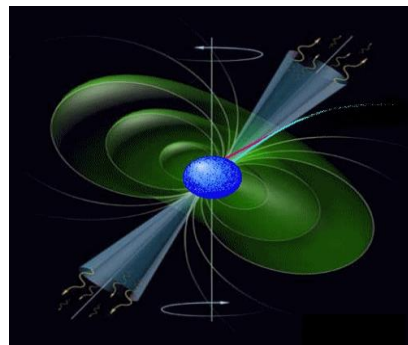


图 3 脉冲星结构图

脉冲星(Pulsar)，是中子星的一种，会周期性向外辐射信号，直径大多为 20 千米左右，自转极快，具有超高稳定性。其可在射电波段、X 射线波段、gama 射线波段辐射信号。因其超高的稳定性和稳定的空间几何分布，近年来，脉冲星导航被广泛研究。

脉冲星导航可用的信号有两种：一种是射电波段辐射的脉冲星信号，该信号是一连串非常窄的脉冲，可穿透大气层，可在地面利用射电望远镜进行探测。一种是 X 射线脉冲星信号，该信号难以穿透大气层，易被大气吸收，必须在航天器上搭载 X 射线探测器进行探测并利用其进行导航。选用空间不同位置处的三颗脉冲星，即可实现航天器的三维位置的确定。

射电脉冲星信号是单脉冲，通过把观测的每个脉冲信号累加到第一个周期，可实现脉冲的累积，形成高信噪比的脉冲轮廓，该脉冲轮廓可反映脉冲星信号在

一个周期的概率密度分布。是一个周期性的连续波形。其单脉冲形式如图 4 所示，轮廓累积过程如图 5 所示，累积结果如图 6 所示。



图 4 射电脉冲星信号形式

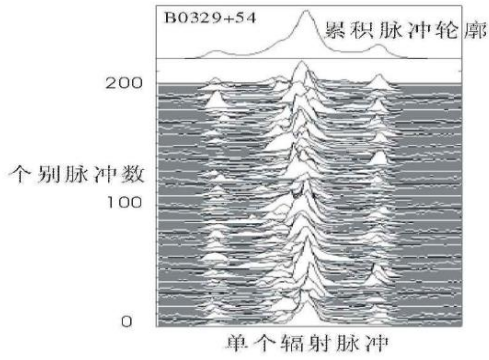
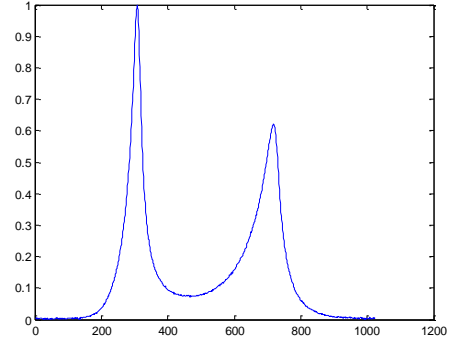


图 5 射电脉冲星信号的轮廓累积图



6 射电脉冲星连续信号波形

此外，因为脉冲星距离地球非常遥远，脉冲星 X 射线辐射的信号从脉冲星辐射出来经传播过程的衰减，探测器处接收到的 X 射线脉冲星信号已是单光子序列。所以我们处理的 X 射线脉冲星光子到达时间序列是随机离散时间序列，具有非等间隔到达的特性。

设 X 射线脉冲星信号观测时间间隔为 (t_0, t_f) ，总观测时间为 $T_{obs} = t_f - t_0$ ，令 t_i 表示探测器处接收到的第 i 个光子到达时间，则任意递增光子到达时间序列 $\{t_1, t_2, \dots, t_M\}$ 满足 $t_0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_M \leq t_f$ 的集合可表示为 $\{t_i\}_{i=1}^M$ 。

实际探测的 X 射线脉冲星信号不仅包含脉冲星辐射的源信号，还包含宇宙背景噪声。宇宙背景光子辐射服从齐次泊松模型， $(0, t)$ 区间内所探测到的 X 射线光子数 N_t 服从非齐次泊松过程(NHPP)，其强度函数为：

$$\lambda(t) = \lambda_b + \lambda_s h(\phi_0 + (t - t_0)(1 + \frac{v}{c})f_s)$$

脉冲星信号具有很好的周期稳定性，周期稳定性可达到 10^{-19} s/s，通过对接收到的光子到达时间序列进行周期折叠，把他们都折叠到第一个周期内，就可以获得累计脉冲轮廓。该轮廓也是一个离散序列。

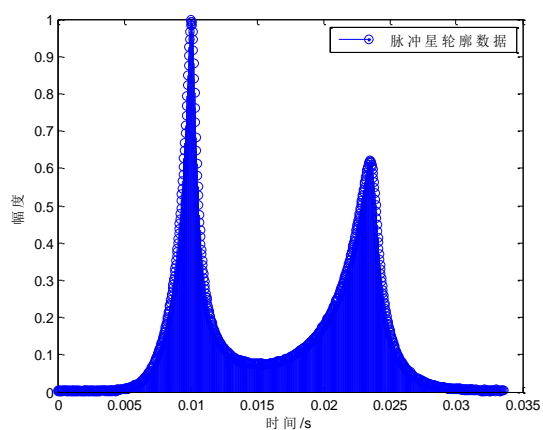


图 7 X射线脉冲星光子到达时间累积脉冲轮廓

在航天器上搭载 X 射线脉冲星信号的探测器，接收脉冲星信号，比较在航天器处接收到的光子到达时间和在惯性坐标系（一般选取在太阳系质心）参考点处接收到的同一颗星的光子到达时间，可计算光子到达时间差

$$\Delta t = t_{ssb} - t_{sc} ,$$

该时间差就反应了航天器相对于惯性参考点的距离信息：

$$r=c \times \Delta t 。$$

同时在航天器上接收空间不同位置处的三颗脉冲星的信号，可确定航天器的三维位置和速度，其脉冲星导航示意图如下图所示。

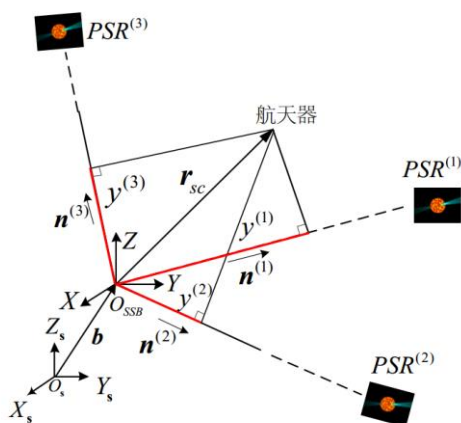


图8 脉冲星导航示意图