

# 第三届“通达杯”ADI 软件无线电大赛

## 项目报告

团队名称： 我说的都队

所在学校： 华中科技大学

所在学院： 电信学院

队长姓名： 卢玮

队长邮箱： [2326521374qq.com](mailto:2326521374qq.com)

队员姓名： 董瑞华，李瑞源

指导教师： 黑晓军

# 一、所选题目

## 题目一 跳频通信

### 内容:

利用 pluto 实现无线跳频通信。

### 要求:

在中心频率 433.920 (430.050-434.790MHz), 以 200kHz 为带宽, 在两台 pluto 之间通过无线跳频(跳频频率不小于 4 个)传输文字或语音信息。

### 传输内容:

文本大小: 不小于 2Kbit, 需要选手连续发生 10 次, 接收端计算误比特率, 小于 1%为有效传输距离, 可以使用信道编码。

基础要求: 传输文本

提高要求: 传输语音

### 跳频方式:

基础要求: 顺序跳频

提高要求: 随机跳频

### 通信距离:

基础要求: 通信距离 2 米以内

提高要求: 通信距离 2 米以上

### 误码率:

基本要求: <1%

提高要求: <0.01%

### 调制方式:

基础要求: FM

提高要求: MSK/GFSK/BPSK/QPSK/OFDM

## 二、系统方案

### 2.1 整体方案

本方案中，跳频事件必须由发送方(A 机)发起，接收方(B 机)按 A 机要求完成跳频后，需要向 A 机发送确认信号。A 机在发起跳频请求后、收到 B 机确认信号前，不应该再向 B 机发送任何其他信号(因为此时无法确认 B 机在哪个频段)。

通信时，发送方(A 机)和接收方(B 机)有相同的初始频率和相同的跳频序列。A 机在数据载荷前加上控制字段，用 BPSK 调制，传输到 B 机。B 机根据控制字段选择接收数据，或者跳频并返回 ACK 确认信号。

### 2.2 数据包格式

在进行 BPSK 调制前，每个包的原始数据的长度为 120 字节，其内容如下：

|       |           |      |       |           |       |
|-------|-----------|------|-------|-----------|-------|
| Magic | 2bytes    | Type | 1byte | DataCount | 1byte |
| Data  | 116 bytes |      |       |           |       |

表 1 数据包格式

各字段作用如下：

- 1) **Magic**: 2 个字节，值依次为 0xad 和 0x13。接收方用于判断解调、解码出的数据包是否有效。
- 2) **Type**: 1 个字节，表示数据包的类型，其值可以为：
  - a) 0x0: Hopping SYN(跳频同步)，通知接收方(B 机)跳至下一个频率。
  - b) 0x1: Hopping ACK(跳频确认)，通知发送方(A 机)跳频已完成。
  - c) 0x2: File，表示 Data 段包含的内容是文件(例如 TXT 和 WAV)数据。B 机收到后，应该打开一个新的文件，向其中复制数据。
  - d) 0x3: File Secondary，表示 Data 段包含的是当前打开文件的后续内容，

3) DataCount: 仅当 Type 为 0x2 和 0x3 时有效。1 个字节, 表示数据段中, 有效数据的长度(以字节为单位)。

4) Data: 仅当 Type 为 0x2 和 0x3 时有效。116 字节的数据段, 从偏移量为 0 字节到 DataCount 字节的内容是有效数据载荷。

## 2.3 发送流程图

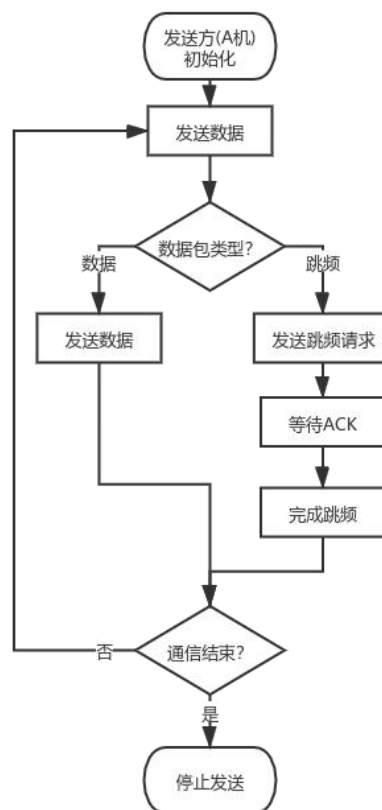


图 1 发送流程图

## 2.4 接收流程图

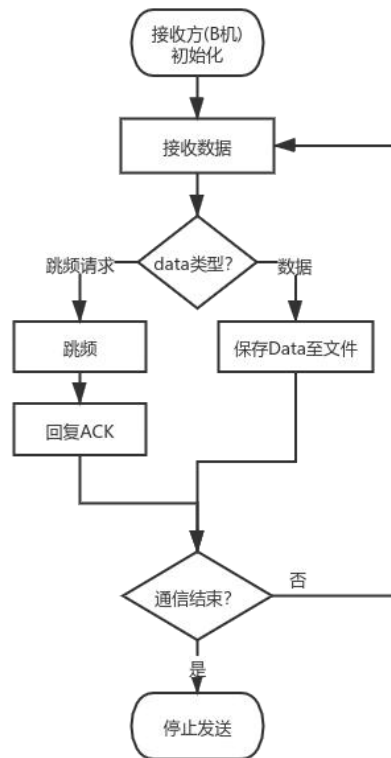


图2 接收流程图

### 三、系统理论分析和计算

#### 3.1 BPSK 调制原理

在二进制数字调制中，用已调信号载波  $S(t)$  的相位  $\varphi_c$  表示二进制信号  $x(t)$ ，称为二进制移相键控(BPSK, Binary Phase Shift Keying)。  $\varphi_c = 0$  表示  $x(t)$  为 0，  $\varphi_c = \pi$  表示  $x(t)$  为 1，因此有：

$$S(t) = \cos[\omega_c t + \pi \cdot x(t)] \quad (1)$$

其中  $\omega_c$  为载波频率。令调制系数：

$$m(t) = \begin{cases} 1, & x(t) = 0 \\ -1, & x(t) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

将(2)代入(1)式，可得：

$$S(t) = m(t) \cdot \cos(\omega_c t) \quad (3)$$

结合上述分析，BPSK 调制模型如图 3 所示，调制信号波形如图 4 所示。由于 BPSK 调制不使用  $Q(t)$ ，图 4 中  $Q(t)$  路始终为 0。

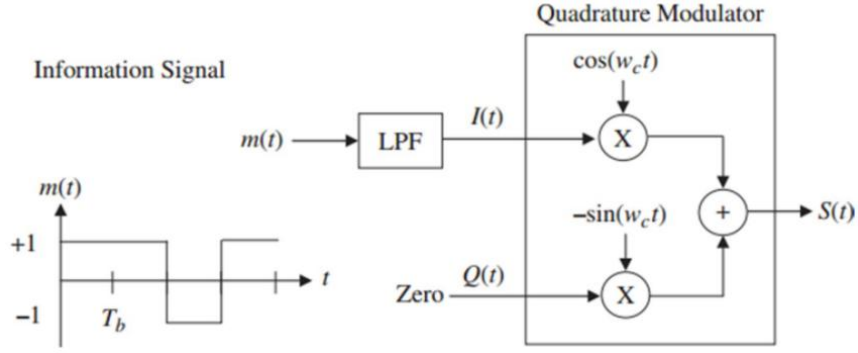


图 3 BPSK 调制原理图

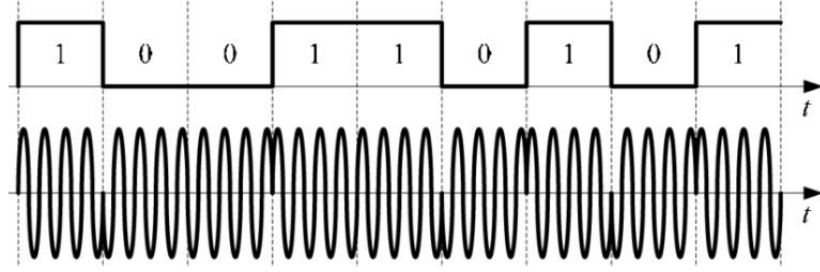


图 4 BPSK 调制信号示例

### 3.2 BPSK 解调原理

BPSK 信号通常采用相干解调，且需要使用与发送方 BPSK 信号同频同相的相干载波，即  $\cos(\omega_c t)$ 。由(3)式和  $\cos(\omega_c t)$  的性质可知，从  $S(t)$  中还原  $m(t)$  的一种方法为：

$$\hat{m}(t)|_{nT_c < t < (n+1)T_c} = \frac{2}{T_c} \int_0^{T_c} S(\tau - nT_c) \cos(\omega_c \tau) d\tau \quad (4)$$

由(2)式， $m(t)$ 可化为：

$$m(t) = 2x(t) - 1 \quad (5)$$

联立(4)、(5)两式可得：

$$\hat{x}(t)|_{nT_c < t < (n+1)T_c} = \frac{1}{2} + \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} S(\tau - nT_c) \cos(\omega_c \tau) d\tau \quad (6)$$

若使用正弦波进行调制和解调，则有：

$$\hat{x}(t)|_{nT_c < t < (n+1)T_c} = \frac{1}{2} + \frac{1}{T_c} \int_0^{T_c} S(\tau - nT_c) \sin(\omega_c \tau) d\tau \quad (7)$$

结合上述分析，BPSK 相干解调流程和相应的波形，分别如图 5、图 6 所示：

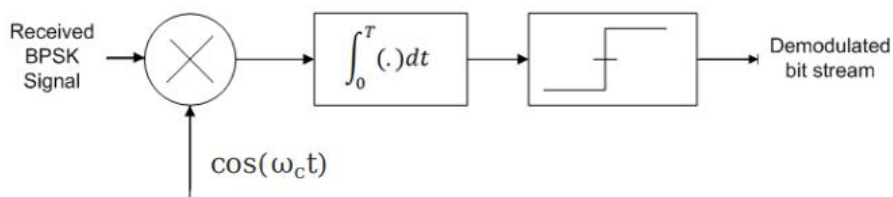


图5 BPSK 相干解调

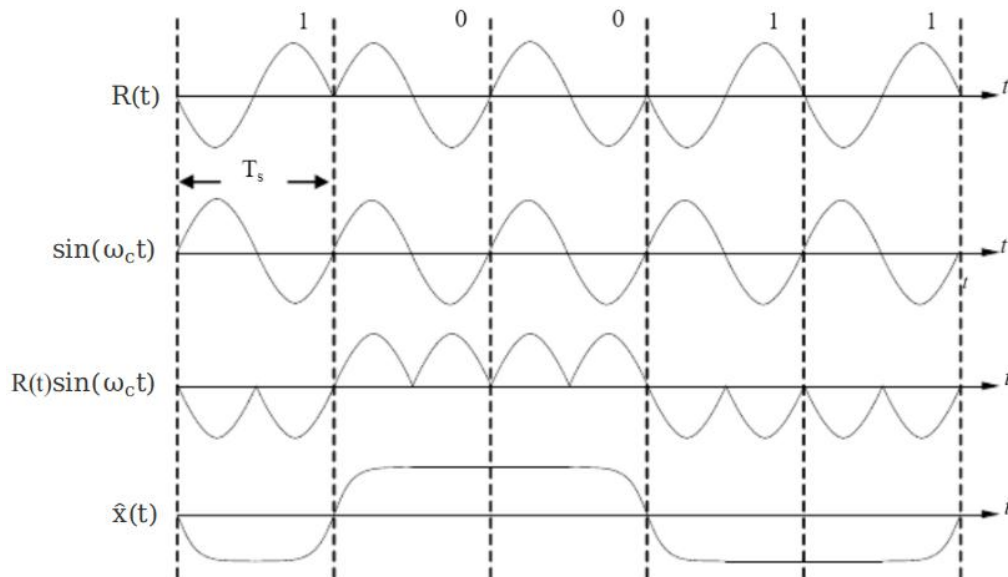


图6 BPSK 解调波形

### 3.3 跳频通信的基本原理

跳频通信是扩频通信的一种方式，是指载波频率在比较宽的频带范围内根据某种图案（序列）进行跳变的通信方式，基本原理如下：

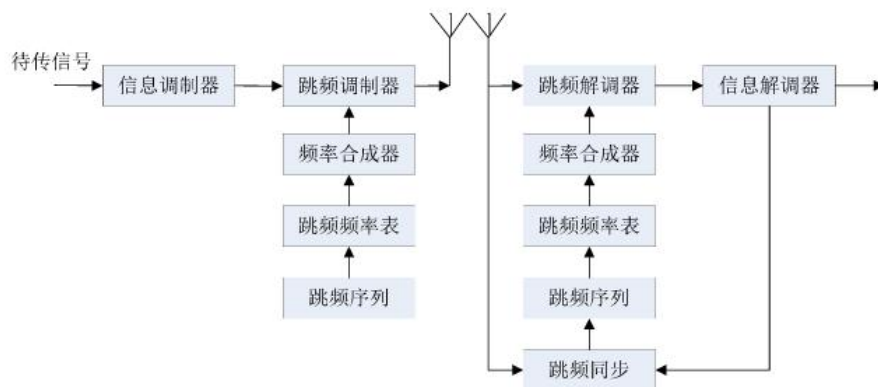


图7 跳频通信原理

在发射端，待传数字信号经过调制，形成带宽为  $W1$  的基带信号；随后通过伪随机码发生器得到跳频序列，使用该序列选择跳频频率表中的对应频率，控制发端频率合成器产生不断跳变的载波。将基带信号和跳频载波进行调制，得到频率不断跳变的射频信号，即跳频信号。跳频信号在在带宽为  $W2$  的频带范围内随机跳变( $W2 \gg W1$ )，系统实现了从窄带带宽  $W1$  到跳频信号使用带宽  $W2$  的频谱扩展。在接收端，通过同步模块使得收端频率合成器产生的跳变规律相同的本地载波，实现相干解调。

同步模块中，常用的跳频同步方法有外时钟法和自同步法。本方案采用了更简易的方法：由发送方发起同步要求，接收方随后跳频并回复确认信号，发送方在收到确认之后才跳频。这种阻塞式的跳频虽然性能较差，且要求双工通信，但实现起来更简单，同时也能满足基本的跳频通信要求。

## 四、跳频演示

为便于演示跳频效果，我们让发送方(A 机)向接收方(B 机)重复发送相同的数据包，并让 A 机用第 15 个包向 B 发送跳频请求。则跳频前、B 跳频完成且 A 仍在等待、A 和 B 都完成跳频时的结果如图 8、9、10 所示：

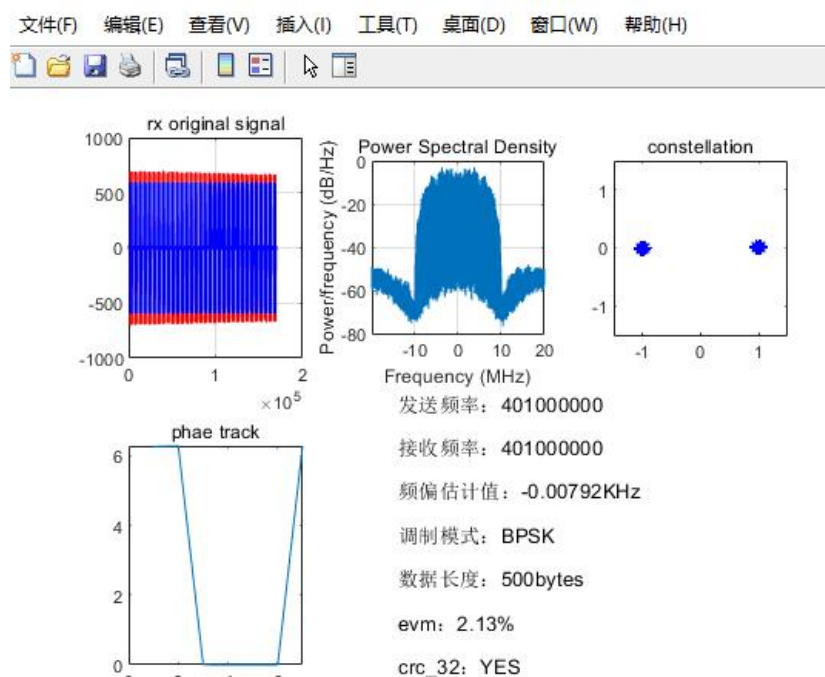


图 8 跳频前



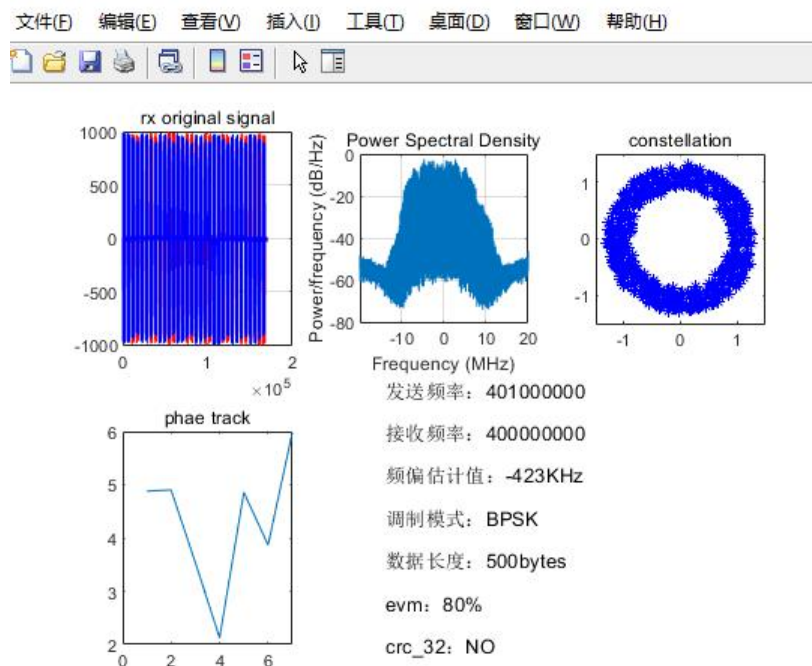


图9 B 已跳频且 A 未跳频

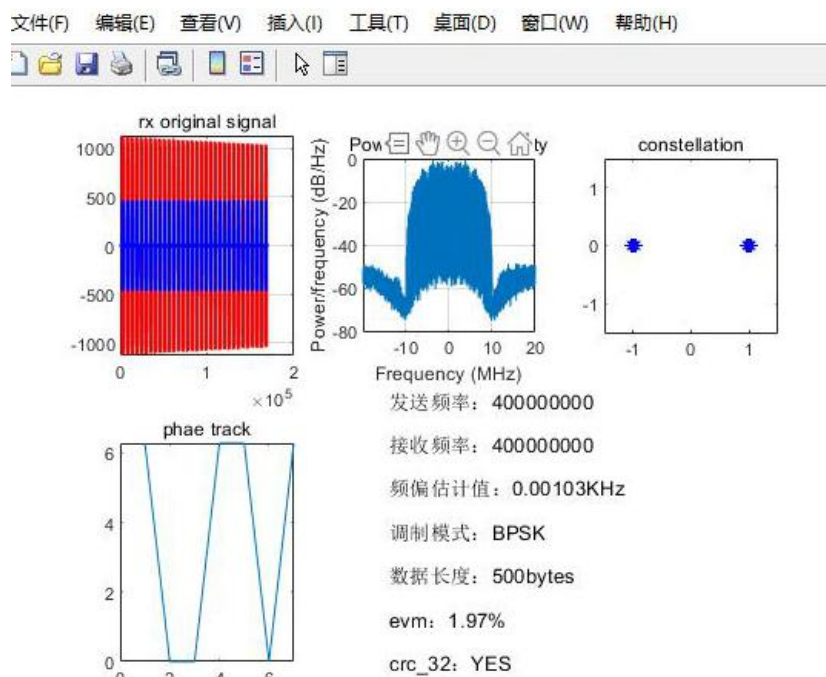


图10 A 和 B 都完成跳频

## 五、结论

现阶段，我们已实现了下列功能：

1. 成功传输文本（TXT 格式）和语音（WAV 格式）；
2. 跳频个数为 5 个，且跳频序列伪随机；
3. 通信距离最大为 0.7 m；
4. 误码率在 0.3%~0.9%之间；
5. 调试方式为 BPSK。

## 六、参考文献

- [1] 张辉，曹丽娜．现代通信原理与技术．西安电子科技大学出版社.
- [2] 高西全，丁玉美．数字信号处理．西安电子科技大学出版社.
- [3] 王玉磊. 从零开始学 MATLAB. 中国铁道出版社.