

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: 2326521374@qq.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60字节，如图1所示。数据包各字段的作用为：

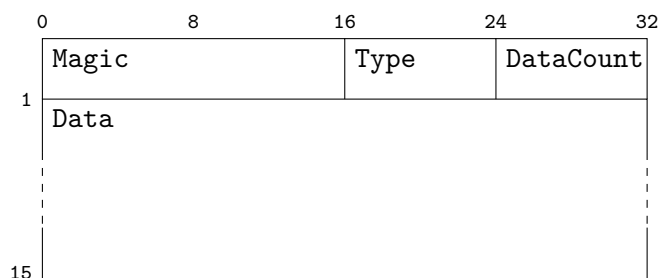


图 1: 数据包结构

- (1) Magic: 2 个字节，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，B机收到后，应该打开一个新的文件。

- (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: 56 字节的数据段, 仅当 Type 为 0x2 和 0x3 时有效。
- (a) 当 Type 为 0x2 时, Data 段有效数据为 uint32 类型的 TotalDataCount, 用于向 B 机告知待传文件的总大小。
- (b) 当 Type 为 0x3 时, 从 Data 段开始的 DataCount 字节为有效数据载荷。

2.3 发送流程图

发送方 (A 机) 的通信流程如图2所示。

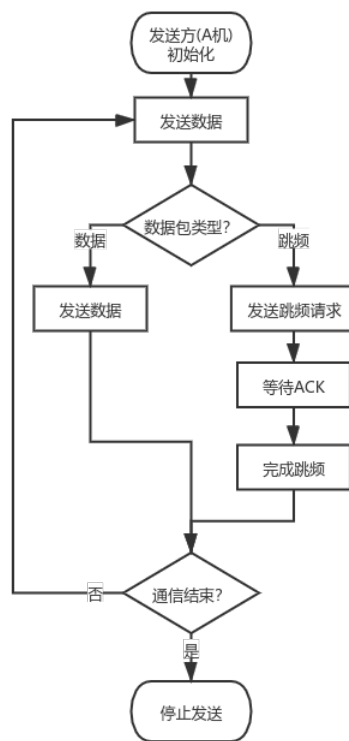


图 2: 发送流程图

2.4 接收流程图

接收方 (B 机) 的通信流程如图3所示。

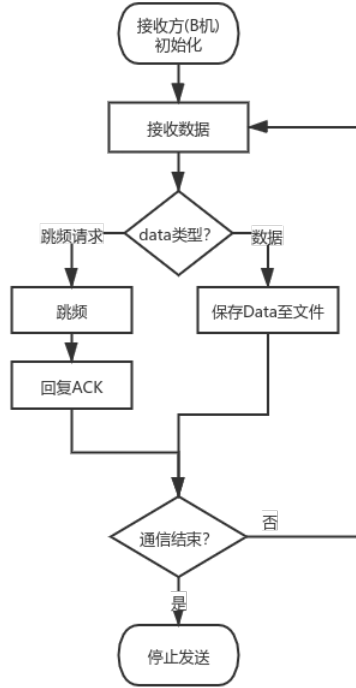


图 3: 接收流程图

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 φ_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 ω_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4所示，调制信号波形如图5所示。由于 BPSK 调制不使用 $Q(t)$ ，图5中 $Q(t)$ 路始终为 0。

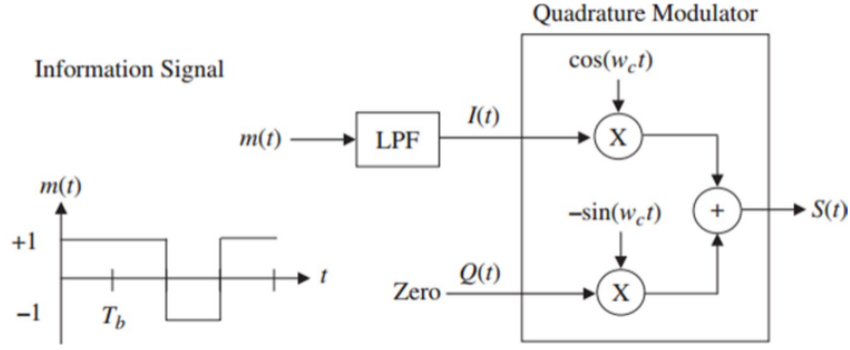


图 4: BPSK 调制原理图

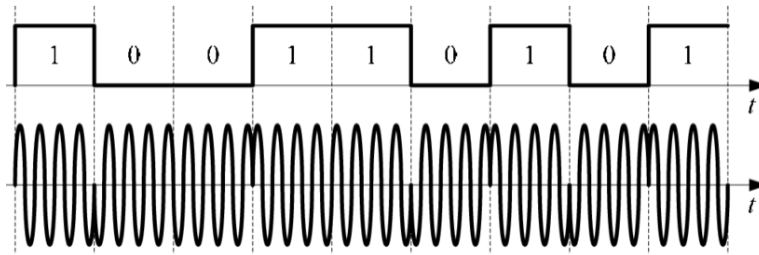


图 5: BPSK 调制信号示例

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：

$$\hat{m}(t) = \frac{2}{T} \int_0^{T_c} S(\tau-t) \cos(\omega_c \tau) d\tau \quad (4)$$

由(2)式， $m(t)$ 可化为：

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

联立(4)、(5)两式可得：

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

若使用正弦波进行调制和解调，则有：

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

结合上述分析，BPSK 相干解调流程和相应的波形，分别如图6、图7所示：

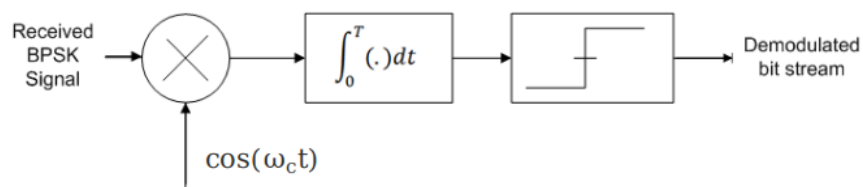


图 6: BPSK 相干解调

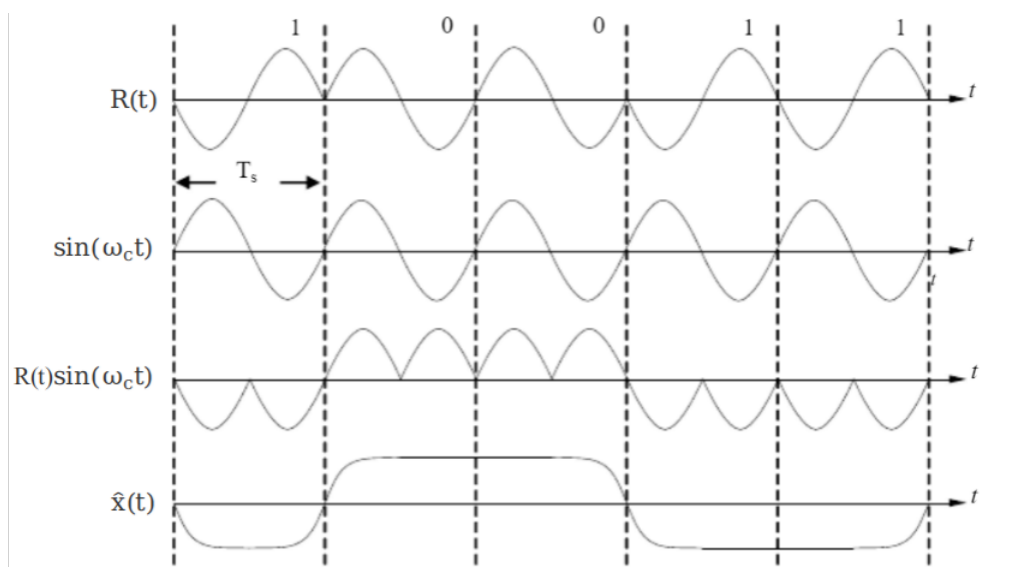


图 7: BPSK 解调波形

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：

在发射端，待传数字信号经过调制，形成带宽为 W_1 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 W_2 的频带范围内随机跳变 ($W_2 \gg W_1$)，系统实现了从窄带带宽 W_1 到跳频信号使用带宽 W_2 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。

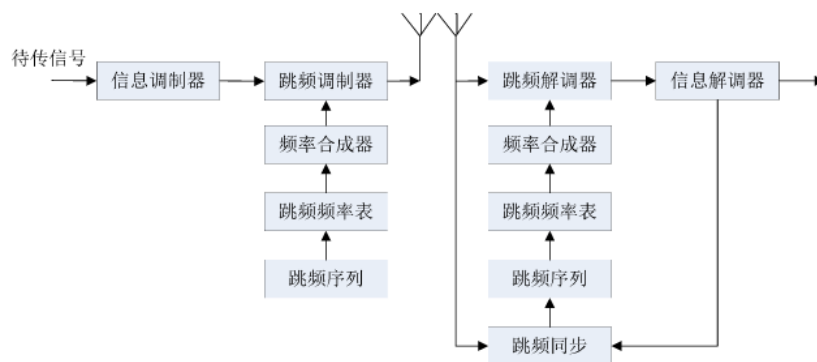


图 8: 跳频通信原理

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9、10、11所示：

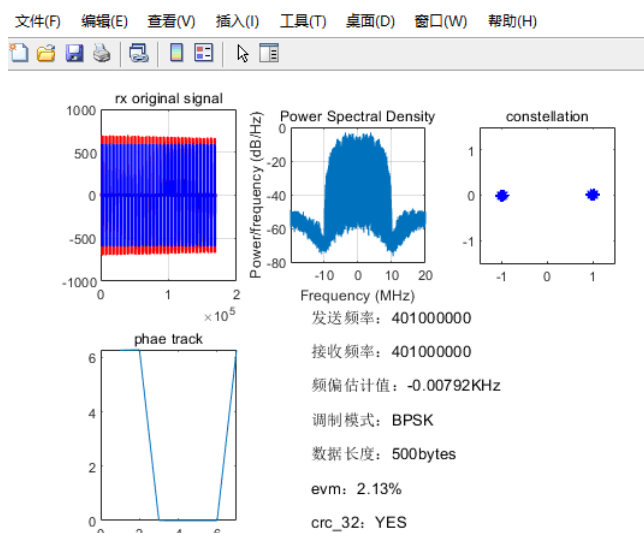


图 9: 跳频前

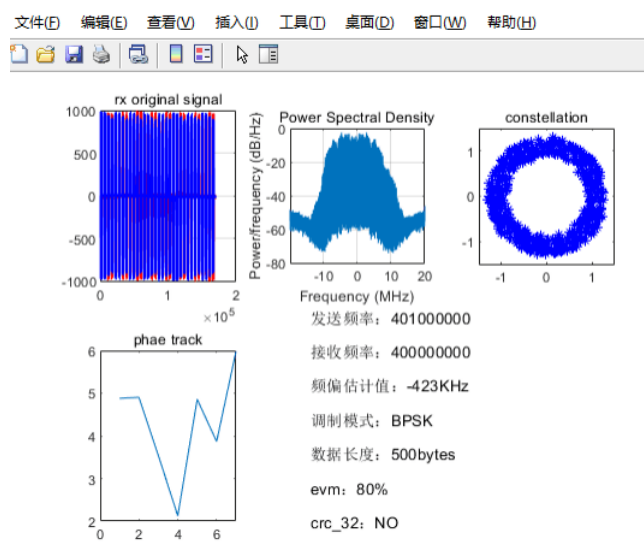


图 10: B 已跳频且 A 未跳频

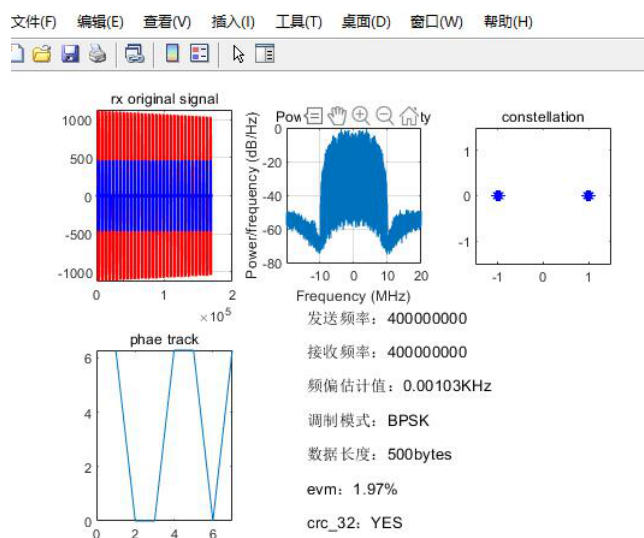


图 11: A 和 B 都完成跳频

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 0.7m;
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.