

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.01.017

# 基于FPGA的跳频通信接收系统

杨凯, 孔德培, 张鹏, 孙明峰

(中国人民解放军63888部队 技术室, 河南 济源 454650)

**摘要:** 为了更好的提高通信装备的抗干扰性能, 首先介绍了跳频通信的原理及特点, 然后对基于 FPGA 的跳频通信接收系统的总体设计、开发语言和工具分别进行了介绍, 最后提出了跳频接收控制时序的设计。结果表明, 与常规跳频通信接收系统相比, 该系统具有灵活性强、可靠性高、开发周期短和费用低等优点, 对以后新型跳频通信接收系统的设计有一定的借鉴意义。

**关键词:** 跳频通信; FPGA; 时序

**中图分类号:** TP273+.3 **文献标识码:** A

## Frequency-Hopping Communication Receiving System Based on FPGA

YANG Kai, KONG De-pei, ZHANG Peng, SUN Ming-feng

(Technical Office, No. 63888 Unit of PLA, Jiyuan 454650, China)

**Abstract:** To improve the anti-interference performance of communication equipments better, introduces its principle and characteristics of the frequency-hopping communication at first. Then it gives an introduction of the overall design, development language and tool of the receiving system of the frequency-hopping communication based on FPGA. At last, put forward it design of frequency-hopping receiver's timing control. The result shows, compared to the conventional receiving system of frequency-hopping communication, the system has the advantage of better flexibility, high reliability, shorter development cycle and less cost, and it has some reference for the design of new frequency-hopping communication receiving system.

**Keywords:** Frequency-hopping communication; FPGA; Timing

### 0 引言

跳频通信技术是具有高抗干扰性、高抗截获能力的扩频技术<sup>[1]</sup>。随着数字信号处理技术的发展、自适应技术的应用和软件无线电概念的提出, 跳频技术的发展展现新的前景, 实现更高跳速的跳频电台是跳频通信系统的未来发展方向。与常规规定频通信系统相比, 跳频通信系统具有较强的抗干扰能力。随着跳频通信技术的发展, 如何更好地提高通信装

备的抗干扰性能仍然是现代通信急需解决的重要课题。接收系统是跳频通信系统中非常重要部分, 自适应跳频技术、高速跳频技术、信道编码技术、高效调制解调技术成为近年来跳频技术发展的新动态, 故对基于 FPGA 的跳频通信接收系统<sup>[2]</sup>研究。

### 1 跳频通信的原理和特点

#### 1.1 跳频通信的基本原理

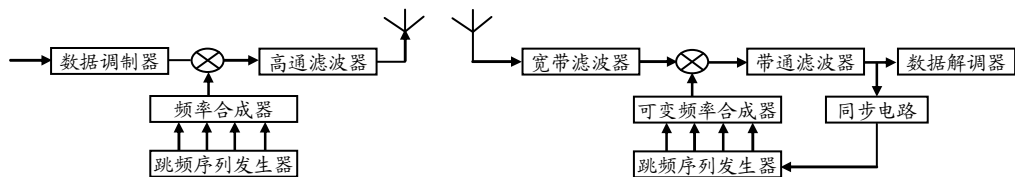


图 1 跳频通信基本原理框图

跳频通信的原理框图如图 1<sup>[3]</sup>, 信息数据经信息调制成带宽为 B 的信号 D 后进入载波调制。载波频率受跳频序列发生器控制, 在带宽为 B<sub>2</sub> (B<sub>2</sub> >> B<sub>1</sub>) 的频带内随机跳变, 实现信号带宽 B<sub>1</sub> 扩展到发射信号使用的带宽 B<sub>2</sub>。可变频率合成器受跳频序列控制。跳频是指载波频率在很宽的频带内按跳频图案 (跳频序列) 进行跳变, 其即时载波频

率随跳频的序列值而改变。跳频信号 (带宽仍为 B<sub>1</sub>) 经射频滤波器至天线发射后被接收机接收。接收机首先从发射来的跳频信号中提取跳频同步信号, 使本机跳频序列控制的频率跳变与接收到的跳频信号同步, 得到被同步的本地载波。使载波解调获得携带有信息的信号 D, 从而得到发射机送来的信息。

#### 1.2 跳频通信的主要特点<sup>[4]</sup>

收稿日期: 2009-07-02; 修回日期: 2009-08-21

作者简介: 杨凯 (1982-), 男, 陕西人, 助理工程师, 从事通信与电子对抗研究。

跳频技术是码控载频跳变的通信方式，在很大程度上取决于它的扩展频谱机理。跳频扩展频谱与直接序列扩展频谱不相同。每跳频驻留时间瞬时所占的信道带宽是窄带频谱，依照跳频图案随时间的变化，这些瞬时窄带频谱在一个很宽的频带内跳变，形成一个跳频带宽。因跳频速率很快，在宏观上实现了频谱的扩展。其具有抗干扰、抗衰落性，信息传输可数模兼容，任意选址功能和安全通信等特点。

### 2 跳频接收系统设计

系统利用直接序列扩频和跳频相结合的方式传输信息，接收电路结构框图如图 2<sup>[5]</sup>。

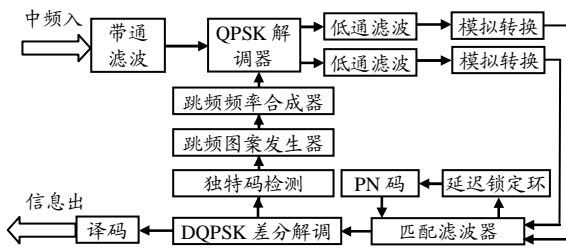


图 2 接收电路结构图

系统基带接收电路的主体是匹配滤波器，整个 DS/FH 系统的关键是接收电路中的同步电路。其中，跳频同步的方案采用自同步法，而 PN 码的同步采用匹配滤波器捕捉和延迟锁定环跟踪的方法。

### 3 跳频接收控制时序设计

简单地说，跳频通信就是用某个与所传消息无关的扩频函数，将欲传送的基带信号的频谱扩展很多倍后再经信道传输<sup>[6]</sup>。一般扩频函数都采用伪随机码，它决定了扩展后的传输信号带宽。扩频用伪随机码序列应具有平衡性、游程特性和相关特性等 3 个特征<sup>[7]</sup>。

技术指标设定为跳序列周期 1 年，跳频次数每秒 50~100 次，由此可得：若每秒跳 50 次，则跳频周期为  $1s/50 = 20\text{ ms}$ ，则跳频序列长为：

$$\frac{365 \times 24 \times 3\ 600\ \text{s}}{20\ \text{ms}} = 1\ 576\ 800\ 000 \quad (1)$$

因为跳频序列码长太长，很难计算仿真，故采用复合码作为扩频序列，用  $k$  个短码组成复合码，而且  $k$  个短码周期互素，复合码的相位只要经过  $\sum_{i=1}^k p_i$  次试探就可以测出。

例如，周期  $p_1 = 7$ ， $p_2 = 15$  的短码  $x_1$  和  $x_2$ ，其中  $x_1 = 1110100$ ， $x_2 = 111100010011010$  构成的模二和复合码  $x_3$ ，其周期长度  $p_1 p_2 = 105$ ，其序列  $x_3$  为：

$$x_3 = x_1 + x_2 = x_2 x_2 x_2 x_2 x_2 x_2 x_2 =$$

$$\begin{matrix} 111100010011010111100010011010 \\ 11110001001101010000011101100101 \\ 11110001001101010000011101100101 \\ 000011101100101 \end{matrix} \quad (2)$$

其捕获次数最多只要进行  $(7+15)=22$  次试探。模二和的复合码自相关函数为：

$$R_{c_3}(\tau) = R_{c_1}(\tau) R_{c_2}(\tau) \quad (3)$$

其中： $\tau = 0, 1, 2, \dots, p-1 \pmod{p}$ ； $p = p_1 p_2$  为复合码周期； $R_{c_1}(\tau)$  和  $R_{c_2}(\tau)$  分别为码序列  $x_1$  和  $x_2$  的自相关函数。

$$R_{c_1}(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = p_1 l = 7l, l = 0, 1, \dots, 14 \\ -\frac{1}{p_1} = -\frac{1}{7} & \tau \text{ 为其它} \end{cases} \quad (4)$$

$$R_{c_2}(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = p_2 l = 15l, l = 0, 1, \dots, 6 \\ -\frac{1}{p_2} = -\frac{1}{15} & \tau \text{ 为其它} \end{cases} \quad (5)$$

$$R_{c_3}(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ -\frac{1}{7} & \tau = 7l, l = 1, 2, \dots, 14 \\ -\frac{1}{15} & \tau = 15l, l = 1, 2, \dots, 6 \\ \frac{1}{105} & \tau \text{ 为其它} \end{cases} \quad (6)$$

复合码的跳频信号的接收捕获过程如下：

开始时，本地码与接收的发码间的相位关系均不相同，即  $\tau \neq 0$  和  $\tau \neq 0$ ，此时求得的复合码自相关函数必定为最小，即：

$$R_{c_3}(\tau) = \frac{1}{105} \quad (7)$$

固定本地复合码中的子码  $\{a_2\}$  的相位不变，其相关值设最多经过 7 次试探就可得到  $R_{c_1}(\tau)$  的最大值，即  $R_{c_{1\max}}(\tau) = 1$ ，则这时复合码的自相关函数为：

$$R_{c_3}(\tau) = R_{c_{1\max}}(\tau) R_{c_2}(\tau) = 1 \times \left(-\frac{1}{15}\right) = -\frac{1}{15} \quad (8)$$

此后，将子码  $\{a_1\}$  的相位固定在上述相位上，再改变子码  $\{a_2\}$  的相位，同理，最多只需要 15 次试探，就可得到  $R_{c_2}(\tau)$  的最大值，即  $R_{c_{2\max}}(\tau) = 1$ ，此时复合码的自相关函数为：

$$R_{c_{3\max}}(\tau) = R_{c_{1\max}}(\tau) \times R_{c_{2\max}}(\tau) = 1 \times 1 = 1 \quad (9)$$

这表明本地复合码  $\{a_3\}$  已经达到与接收码  $\{a_3\}$  完全同相位，从而完成了捕获。这里，总共进行  $(7+15)=22$  次相关试探，但这是最坏的情况，实际次数还会比 22 次少得多，能很好地完成信息接收，增强跳频通信系统的抗干扰能力。

## 4 结束语

基于 FPGA 的跳频通信接收系统与常规跳频通信接收系统相比,该系统具有灵活性强、可靠性高、开发周期短和费用低等优点,将广泛应用于通信领域。这对以后设计新型的跳频通信接收系统有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 查光明,熊贤祚.扩频通信[M].西安:西安电子科技大学出版社,1990.
- [2] 叶军林,蔡兆波.一种基于 FPGA 的通信系统平台的设计[J].微计算机信息,2008(35):205-206.
- [3] 梅文华.跳频通信[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [4] 梅文华,杨义先.跳频通信地址编码理论[M].北京:国防工业出版社,1996.
- [5] 李一兵,曲会英,吴海训.软件无线电的扩频通信接收系统的研究与实现[J].信息技术,2003(7):72-74.
- [6] 沈振元,聂志泉,赵雪荷.通信系统原理(第 1 版)[M].西安:西安电子科技大学出版社,1995.
- [7] 曾菊玲,金力军.OFDM 跳频通信系统设计[J].移动通信,2004(2):155-158.