

基于RS码的跳频信号发生器的设计

杜传报,王欣,张鹏

(军械工程学院 光学与电子工程系,河北 石家庄 050003)

摘要:为了得到具有最佳跳频性能的跳频图案,采用RS码作为跳频序列,控制DDS产生各种频率正弦波。RS跳频序列具有非重复且汉明相关性性能好的特性,能够使跳频信号产生最大的跳频增益。相比传统跳频序列,RS跳频序列不存在频率滞留问题。直接数字频率合成器DDS具有许多直接式频率合成技术DS和间接式频率合成技术IS所不具备的优点,如具有极高的频率分辨率和极短的频率转换时间等。文中给出了跳频信号发生器的设计方案,使用MATLAB仿真实验验证了该方案的可行性。

关键词:跳频序列;RS码;直接数字频率合成法;MATLAB仿真;D/A转换

中图分类号:TN941

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)01-0195-03

Design of Frequency-Hopping Signal Generator Based on RS-Code

DU Chuan-bao, WANG Xin, ZHANG Peng

(Department of Optical and Electronic Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: For getting hopping-frequency map with best FH performance, design of frequency hopping signal generator is put forward. RS-code is an unrepeated hopping-sequence, and it possesses of a good hamming correlation performance. Compared with traditional methods, RS-code doesn't own the problem of frequency-holding. Different from traditional methods, DDS has many merits, such as high resolution and short frequency-conversion time, which direct and indirect frequency synthesis don't own. So it uses RS-code as frequency hopping sequence, controlling DDS to produce sine wave of different frequency. Simulation in MATLAB proves the feasibility of the scheme.

Key words: frequency hopping sequence; RS-code; DDS; MATLAB simulation; D/A converter

0 引言

跳频通信技术是一种重要的抗干扰通信技术,因其特有的抗跟踪式干扰能力广泛应用于战术无线电通信和民用移动通信。而其中跳频图案的设计是跳频通信系统中的关键技术之一,跳频信号发生器产生的载波频率完全由跳频图案所控制。产生跳频图案的码序列有多种,如m序列、M序列、GOLD码、RS码等。从文献[1]可知,RS码是一种直接频率合成法(DS法)、锁相频率合成法(IS法)、直接数字合成法(DDS)^[2,3]。在转换速度、输出频段、频率分辨率等方面,DDS方法产生的跳频序列具有更为优良的互相关性及自相关性能,多进制的具有最大的最小距离的线性序列,相比其在陆地移动多址通信和卫星多址通信中被广泛用作跳频码。目前关于频率合成的方法有很多,主要有直接。文中将RS码和DDS相结合,给出基

于RS码的跳频信号发生器的设计方案及MATLAB仿真实验验证。

1 RS码的基本原理

RS(Reed-Solomon)码是一种纠错码,用m序列发生器和固定寄存器来产生,是q进制BCH循环码中一种重要的子类。RS是一种线性序列,此序列具有最大的最小距离^[4,5]。因为其具有优良的自相关和互相关性能,故RS也是一种最佳的跳频序列族。因其硬件产生简单,并且具有较多的序列数目,故RS序列在跳频通信中通常做跳频码^[6-8]。(q-1,b)RS码中,RS码在b=2时非重复出现,即q元有限GF(q)中的每一个元素只在序列中出现一次,此时刻得到的跳频图案有最大的跳频增益;当b>2时,它不再是非重复码,某些频率可能重复出现,而一些频率不出现,进而跳频增益明显下降。(q-1,b)RS码性能最好,序列数目为q,汉明互相关值小于1,汉明自相关旁瓣等于0,并且是非重复序列族。文中采用实际中性能最好的码(q-1,2)中子集合。其中跳频频点为511个,采用(511,2)RS码生成跳频图案,按照非系统编码方法,GF(2⁹

收稿日期:2011-06-20;修回日期:2011-09-25

基金项目:国防预研基金(513270203)

作者简介:杜传报(1986-),男,西安人,硕士,研究方向为无线通信、导航制导等。

- 1) 上的 $(2^9 - 1, 2)$ RS 码的码字向量为:

$$S_v = [v_0, v_1] \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & \cdots & 1 \\ 1 & a & \cdots & \cdots & a^{510} \end{bmatrix}$$

$$(v_1 \neq 0)v_0 = 0, v_1 = 1 \quad (1)$$

选择 $v_0 = 0, v_1 = 1$, 所生成的码字为 $[1 \ a \ a^2 \ a^3 \ \cdots \ a^{510}]$, 通过对伽罗华域 $GF(2^9 - 1)$ 中的 511 个元素进行计算求出跳频码。设由本原元 a 的最小生成多项式生成有限域 (2^9) , 见下式:

$$f(x) = x^9 + x + 1 \quad (2)$$

按照伽罗华域中元素的运算法则, $GF(2^9)$ 中元素的三种表示法见表 1。

表 1 $GF(2^9)$ 元素的三种表示方法

幂表示法	九重矢量表示法									十进制
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
a^1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
.....
a^8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	128
a^9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	256
a^{10}	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
.....

2 DDS 的工作原理

DDS 的基本原理^[9]是利用采样定理, 通过查表法产生波形。DDS 的结构有很多种, 其基本的电路原理可用图 1 表示。

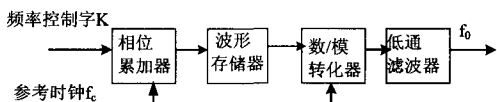


图 1 DDS 原理图

如图所示, 框图中由相位累加器、波形存储器、D/A 转换器和低通滤波器 4 个部分构成。 f_c 作为参考时钟, 驱动系统时钟, RS 码产生的跳频图案和频率控制字一一对应, 然后相位累加器对频率控制字进行累加存储, 当相位累加器输出的相位序列在每次累加时, 得到相位增量 $\Delta 2\pi(K/2^N)$ 。相位累加器输出相位序列对波形存储器 ROM 寻址, 进行相码-幅码变转换, 波形存储器输出对应的离散的幅度编码, 该编码经 D/A 转换器生成阶梯波形, 最后经低通滤波器滤波得到期望的波形。此波形是由频率控制字 K 控制变化的连续波形。

3 基于 RS 码的跳频信号发生器的设计

3.1 RS 跳频图案的设计

文中要实现的跳频信号发生器将选择跳频点数为

511 个, 采用 $(2^9 - 1, 2)$ RS 作为跳频图案。观察表 1 可以得出这样的规律: 当 a^{n-1} 第 1 位为 0 时, a^{n-1} 依次左移一位, 第 9 位补 0, 得 a^n ; 当 a^{n-1} 第 1 位为 1 时, 将 a^{n-1} 各位依次左移 1 位, 第 9 位补 0, 并与 000000011 模 2 加, 即得到相应的 a^n 。

利用 MATLAB2008a 仿真实现 RS 码, 其实现流程如图 2 所示。

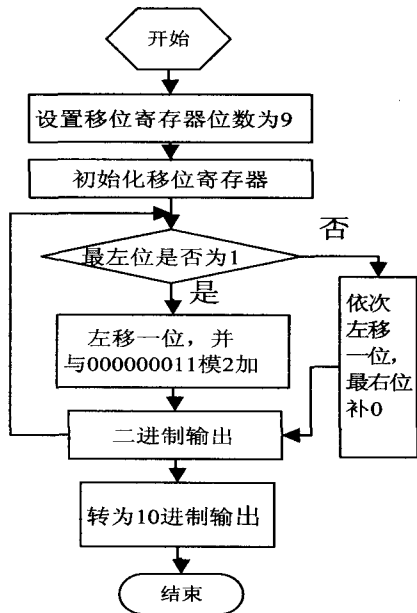


图 2 RS 码流程框图

图 3 是 RS 码生成的部分跳频序列, 产生 511 个互不重复的跳频序列, 仿真中将该二进制序列换为相应的十进制数用作频率控制字, 去控制 DDS 产生跳变的跳频信号。

Row: hi (Shift module)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 3 RS 码生成的部分跳频序列

3.2 跳频信号发生器的初始参数设置

Rsout 为十进制的 RS 输出序列, 共有 511 个输出序列; 相位累加器的位数是 7; 频率控制字的最大值是 64; f_s 采样率是 960000; per_hop 跳频周期为 1/5000; hop_t 为产生 511 个跳频频点的总时长。最小频率 f_{eq_min} 是 5000。

3.3 相位累加器模块

在参考时钟的作用下, 相位累加器进行线性相位累加, 当累加满量时就会产生一次溢出, 这就是一个周期, 因此累加器的输出端可以得到的波形序列是:

$accumulator = \text{mod}(n * \text{Num_controller}, 2^N)^{[10,11]}$;

n 代表序列中的第 n 个相位Num_controller是频率控制字,是对Rsout输出进行模64运算的结果。本系统中,相位累加器输出模 2π 的累加相位,这里 $N=7$, $M=2^N=128$,将 2π 分成128等份,最小相位增量 $\Delta\theta=2\pi/128$ 。

参考时钟频率取 $f_s=960000$,故取样时间为 $T_s=1/f_s$ 。当频率控制字Num_controller为1时,输出频率为最低频率 $f_{\min}=f_s/M$,对应的相位码地址有128个。Num_controller为2时输出频率为最低频率 f_s/M ,对应的相位码地址有64个。以此同理,当 $K=3,4,\dots$ 的情况也是类似的。

3.4 ROM 模块

波形ROM中正弦波幅度码是量化后固化进去的,存在量化误差,该误差与存储单位的字节长短有关,本方案仅用MATLAB仿真实现,未考虑量化误差。ROM表可采用此式来模拟。 $\text{Rom}(\text{length_k}, 1) = \cos(2 * \pi * \text{length_k} / (2^N))$ 。在RS控制下从ROM表中读出波形序列, length_perhop_sample是一跳的采样点数。Length_RS是跳频点数。其相关代码如下:

```
length_t=1:length_perhop_sample*Length_RS;
```

```
Rom_y=Rom(accumulator(length_t),1);
```

3.5 D/A 变换器模块

此模块主要仿真D/A变换器的功能:把离散的正弦波电压幅度值变换为阶梯式的近似正弦模拟电压。 $\text{Rom_yy} = \text{stairs}(\text{length_t}, \text{Rom_y})$; ROM_yy则为通过0阶保持器的阶梯式正弦信号。

3.6 低通滤波器模块

此模块仿真低通滤波器的功能,使近似正弦波模拟电压信号经过低通滤波器平滑近似,同时抑制不需要的抽样分量和其他带外杂散信号,输出频谱较纯的所需频率的正弦波信号。滤波器的相关代码如下:

```
fs_sample=960000; Wp=350000/(fs_sample/2);
```

```
Ws=400000/(fs_sample/2); [n, Wn] = buttord(Wp, Ws, 3, 60);
```

```
[b,a] = butter(n, Wn); SineOut = filter(b,a,Rom_yy);
```

其中SineOut为经过滤波的正弦波输出信号。图4为SineOut的时域波形,图5为SineOut的部分频谱。

经过分析可知,所构造的跳频信号发生器可以输出不同频率要求的光滑正弦波曲线,输出波形在时域上可以伪随机地在选定频率集中跳变,频域中的量化噪声能够抑制在有效范围,如图4、图5所示。综上所述,该仿真符合设计要求。本方案的实现是基于纯软件的仿真验证,在实际的设计中还需要考虑ROM寄存器容量所带来的相位截断误差、ROM存储离散幅值点位数所引起的幅度量化误差以及DAC有限分辨率等

非理想转换特性所产生的误差^[12]。

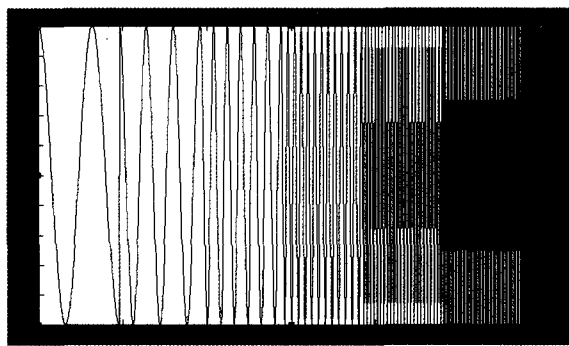


图4 低通滤波后的跳频正弦信号

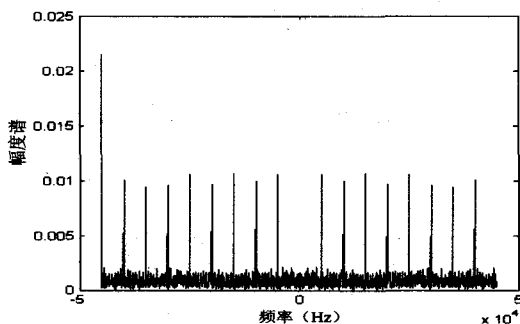


图5 跳频信号的部分频谱

4 结束语

文中提出了基于RS码的DDS跳频信号发生器的设计流程,并用MATLAB仿真验证了该方案的可行性,对硬件实现基于RS的跳频信号发生器有着重要的参考价值。下一步工作将研究跳频信号发生器中元器件构造所带来的干扰误差影响,为超短波跳频接收机的建模打下基础。

参考文献:

- [1] 魏艳华. 基于RS码跳频序列的一种编写方法与实现[J]. 成都信息工程学院学报, 2007, 22(1): 84-87.
- [2] 章小梅, 姜茂仁, 费元春. DDS杂散的抑制与仿真研究[J]. 信息技术, 2006(4): 1-11.
- [3] Yang yang, Ding Cunsheng, Tang Xiaohu. Optimal Sets of Frequency Hopping Sequences From Linear Cyclic Codes[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 2010, 56(7): 3605-3612.
- [4] 郭勇. 基于 $(q-1, 2)$ RS码实现跳频序列的简易编码方法及性能[J]. 无线电技术(上海), 2008(1): 56-62.
- [5] 李建新, 刘乃安, 刘继平. 现代通信系统分析与仿真[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [6] 胡修林, 胡晓娇. 跳频通信系统抗干扰性能仿真研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(2): 39-42.
- [7] 祝雪莲, 韦穗, 柳军, 等. 基于SI4133频率合成器的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 210-212.

(下转第201页)

$$W_{MI} + W_{ME} + W_{TT} = 1 \quad (4)$$

f_{M-CI} , f_{M-CE} , f_{TT} 表示 3 种边信息对应的像素值。

仿真实验如图 2 所示(分别选取 3 组视视频仿真实验)。

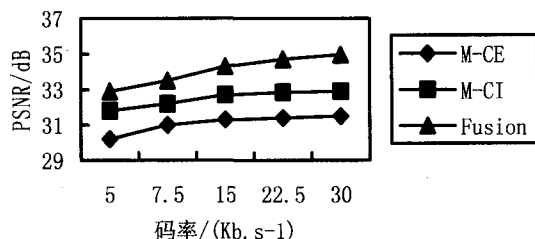


图 2 3 种边信息生成算法的 RD 曲线

仿真结果表明:M-CE(运动补偿外推)可以使率失真性能提高 3~4 dB,M-CI(运动补偿内插)可以使率失真性能提高 1~2 dB,而融合算法可以使空间边信息的使率失真性进一步提高到 0.3 dB 左右,并且边信息的主观质量也有明显提高,从而更加适用于那些建立 3-D 模型的特殊应用场合。该方法显著提高了生成的辅助边信息帧的准确性。

4 结束语

分布式视频编码在多媒体传感器网络中地应用越来越广泛,但是,目前多视点分布式视频编码的编码与传统的视频压缩编码相比较在效率仍然存在一定的差距,其主要原因可归纳为如上文所述的 3 个关键点的主要性能都有待提高。而其中对编码性能影响最大的应该是对虚拟“相关信道”建立准确的模型并估计其参数,如何在解码端生成最佳的辅助边信息。尽管目前性能仍不理想^[16],但多视点分布式视频编码所具有的编码低复杂度、低功耗、鲁棒性等优良特性仍使其在三维电视、4D 电影多媒体领域以及军事、安防和医疗领域的视频监控等方面都具有众多的潜在应用,值得继续进行研究。

参考文献:

- [1] 罗武胜,翟永平,鲁 琴.无线多媒体传感器网络研究[J].电子与信息学报,2008,30(6):1512-1515.
- [2] 胡晓飞,朱秀昌.从多视点 DVC 到多视点 DVC 的研究进展[J].中国图像图形学报,2009,14(10):1925-1933.

(上接第 197 页)

- [8] Donkor E, Villa C, Kumavor P. Demonstration of a Self-Synchronized Polyphase Sampling and Demultiplexing Scheme for Radio-Frequency Analog Signals[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(6): 452-454.
- [9] 梅文华,王淑波,邱永红,等.跳频通信[M].北京:国防工业出版社,2005:89-125.
- [10] Zhu Zhongliang, Mi Liang. Frequency-hopping sequences

- [3] Slepian D, Wolf J. Noiseless coding of correlated information sources[J]. IEEE Trans on Inf Theory, 1973, 19(4): 471-480.
- [4] Wyner A, Ziv J. The rate-distortion function for source coding with side information at the receiver[J]. IEEE Trans on Inform Theory, 1976, 22(1): 1-10.
- [5] 王尊亮,李学俊.分布式视频编码技术研究进展[J].计算机工程与设计,2010,31(3):550-554.
- [6] Varodayan D, Aaron A, Girod B. Rate-adaptive distributed source coding using low-density parity-check codes[J]. EURASIP Signal Processing Journal, Special Issue on Distributed Source Coding, 2006, 86: 3123-3130.
- [7] 刘 光,房 胜,尉希娟.可伸缩视频编码的码率控制技术研究[J].计算机技术与发展,2010,20(10):15-19.
- [8] 周鸣争,楚 宁,周 涛,等.一种基于能量约束的传感器网络动态数据融合算法[J].仪器仪表学报,2007,28(1):172-175.
- [9] Ascenso J, Brites C, Pereira F. Content adaptive Wyner-Ziv video coding driven by motion activity[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta, GA, USA: [s. n.], 2006: 605-608.
- [10] Wang Z L, Li X M, Li J. Q-LDPCA based distributed coding for asymmetrical correlated non-binary sources[C]//Proceedings of the 9th International Conference on Signal Processing. Beijing: IEEE Computer Society Press, 2008: 1842-1845.
- [11] 关春生. Turbo 码在分布式信源编码中的应用研究[D].北京:北京邮电大学,2008.
- [12] 卿粼波,何小海.分布式视频编码中边信息的多策略优化[J].四川大学学报,2008,40(1):138-143.
- [13] Thirumalai V, Tosic I, Frossard P. Symmetric distributed coding of stereo omnidirectional images[J]. Signal Processing: Image Communication, 2008, 23(5): 379-390.
- [14] Gehrig N, Dragotti P. Distributed compression of multi-view images using a geometrical coding approach[C]//IEEE International Conference on Image Processing. San Antonio: [s. n.], 2007: 421-424.
- [15] Dufaux F, Ouaret M, Ebrahimi T. Recent advances in multiview distributed video coding[C]//SPIE Defense and Security Symposium. Orlando: [s. n.], 2007: 9-13.
- [16] 陆庆峰,毛羽刚,黎林坡,等.嵌入式无线视频监控系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2010,20(8):12-16.

based on chaotic map[C]//ICSP04. [s. l.]: [s. n.], 2004: 1825-1827.

- [11] 吴 丹.跳频序列相关性度量研究及其在跳频同步捕获中的应用[D].成都:电子科技大学,2009:15-17.
- [12] 卢高洁.数字频率合成器 DDS 的 matlab 实现[J].学术探讨,2010(5):23-25.