

doi: 10.7690/bgzd.2018.09.004

基于均匀性补偿的跳频图案生成方法

汪小林, 黎亮, 张抒

(四川九洲电器集团有限责任公司识别事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对现有跳频图案生成方法存在的局限性, 提出一种非连续频段宽间隔跳频图案生成方法。根据跳频间隔和均匀性跳频图案的约束条件, 通过计算获得均匀性补偿频点分布函数, 按照频点和分布函数产生满足要求的随机跳频图案。试验结果表明: 该方法能够在非连续频带的条件下生成符合跳频间隔要求的跳频图案, 并满足频点均匀特性。

关键词: 均匀性补偿; 宽间隔跳频; 跳频图案

中图分类号: TP302 **文献标志码:** A

Frequency Hopping Based on Uniformity Compensation

Wang Xiaolin, Li Liang, Zhang Shu

(Identification Department, Sichuan Jiuzhou Electric Group Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the limitation of existing frequency hopping pattern generation method, this article proposes a method for frequency hopping pattern generating on a discontinuous frequency band. Based on frequency hopping interval and uniform distributed frequency hopping pattern constraint, the method provides a uniformity compensation frequency distribution function, generate required random frequency hopping pattern according to frequency point and distributed function. Experiment results show that the method can generate frequency hopping sequence satisfying the frequency hopping interval under the condition of discontinuous frequency band, and satisfy the uniform characteristics of frequency points.

Keywords: uniformity compensation; wide gap frequency hopping; frequency hopping sequence

0 引言

跳频通信是指通信双方在相同同步算法和伪随机跳频图案算法的控制下, 射频频率在约定的频率集内以离散频率的形式伪随机且同步地跳变。射频在跳变过程中所能覆盖的射频带宽远大于原信息带宽, 因而扩展了频谱。跳频通信也被称为跳频扩频通信, 是扩频通信的一个重要分支^[1-2], 在战术通信中得到了广泛的应用。

跳频图案产生的频率字控制频率合成器的输出频率。射频已调信号经带通滤波器、功放和天线发射出去。收方接收的射频跳变信号经过射频滤波后, 与本地频率合成器输出的跳变频率信号混频, 得到中频已调信号, 经中频带通滤波器后, 进行中频解调、基带再生, 得到原始信息。实现以上过程的前提之一, 就是收发双方要满足跳频同步和有效跳频控制的条件。

跳频图案是跳频系统的核心组成部分, 是在伪随机序列的控制下, 根据时间和密钥形成的时间-频率关系矩阵。跳频图案是敌方侦察和破译的重点

目标之一, 因为一旦敌方掌握了跳频图案, 就可以很容易地实施波形跟踪干扰, 因此跳频图案的产生算法具备受控性和复杂性特点。

美军的 JTIDS 是一个典型的跳频通信系统, 由于其有用频带宽, 可用频率设计规划为非连续的 3 段。跳频频率中的两段频率缺口为其他无线电设备保留。可用频段的不连续性会给跳频图案, 尤其是宽间隔跳频图案的设计带来巨大困难。

现有设计跳频图案的代表性方法包括基于 m 序列构造最佳跳频序列簇, 宽间隔跳频序列构造——对偶频带法、随机平移替代法^[3]和随机均匀转移替代法^[4]等。以上方法的共同点是假设可用频隙集合为连续等间隔的离散频率组, 没有考虑过类似 JTIDS 可用频段分为 3 个段的情况。可用频段的分裂会降低上述方法的适用性和效果。直接均匀映射法是借鉴随机平移替代法的构造思想^[5]设计的一种跳频图案生成方法, 可以在不连续的频段上生成跳频图案。该方法的缺点是生成的跳频图案不能满足频点均匀性。

收稿日期: 2018-07-09; 修回日期: 2018-07-17

作者简介: 汪小林(1965—), 男, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事航空电子技术、二次雷达系统研究。

笔者对现有方法进行改进，提出基于均匀性补偿频点分布函数生成跳频图案，不受有用频段非连续的影响，且满足宽间隔跳频和各个频点出现等概率。

1 跳频图案生成方法

笔者提出一种通过将均匀分布随机序列进行映射，得到在指定的非连续频带上满足均匀性和宽间隔约束随机跳频图案的方法。如图1所示，该方法的主要处理：

1) 根据可用频带和跳频间隔约束条件，在均匀性跳频图案的假设下，求出带均匀性补偿的频点分布函数；

2) 根据该分布函数和跳频间隔约束，将一个均匀分布序列逐一映射成满足要求的跳频图案序列。

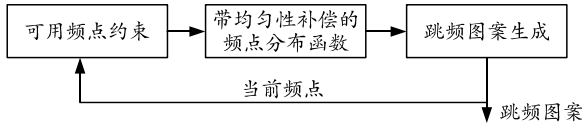


图1 跳频图案生成流程

根据可用频带和跳频间隔约束条件，直接均匀映射法能够根据当前频点求到满足随机性的下一跳频点频率值。设集合 $A = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 为跳频图案的可选项点集合，其中 N 为可用频点总数，频点的频率值差异是某常数的整数倍。对于直接均匀映射方法，跳频图案中第 i 跳频点的频率分布函数取决于前一跳频点的频率值和可选项点集合。该条件分布函数为

$$P_{\text{cp}}\{x^{(i)} | x^{(i-1)}\} = \begin{cases} 1/(N - M(x^{(i-1)})), & x^{(i)} \in B(x^{(i-1)}) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中： L 是宽间隔跳频条件要求的最小频率间隔的频点数量； $M(x^{(i-1)})$ 是不满足宽间隔跳频条件的频点数量； B 是满足宽间隔跳频要求的可选项点集合，其元素满足

$$\left. \begin{array}{l} x \in A \\ |x - x^{(i-1)}| \geq L \end{array} \right\} \quad (2)$$

显然，若 $x^{(i-1)}$ 在集合 A 中存在相邻频点，则当 $L > 1$ 时，有 $M > 0$ ，表示 $x^{(i)}$ 是在一个 A 的子集上服从均匀分布的随机变量。将第 $i-1$ 跳频点的频率视为随机变量时，根据全概率公式有

$$P\{x^{(i)}\} = \sum_{j=1}^N P\{x_j^{(i-1)}\} P_{\text{cp}}\{x^{(i)} | x_j^{(i-1)}\} \quad (3)$$

因此只有当 $L = 1$ 时，相应地从 $M = 0$ 可以对于

任何 A 下满足：

$$P\{x^{(i)}\} \equiv \frac{1}{N}, \quad (4)$$

表示只有不存在宽间隔约束时，直接均匀映射方法才能得到满足均匀性的跳频图案。

令均匀性补偿函数为

$$f_{\text{cp}}\{x\} = \frac{1}{\sum_{j=1}^N P_{\text{cp}}\{x | x_j\}}, \quad x \in A. \quad (5)$$

利用补偿函数确定一个值域为 B 的分布函数：

$$P_{\text{wp}}\{x | B\} = \frac{f_{\text{cp}}\{x\}}{\sum_{y \in B} f_{\text{cp}}\{y\}}, \quad x \in B. \quad (6)$$

显然，上式满足 $\sum P_{\text{wp}}\{x\} = 1$ ，因此能够使用分段函数方法将一个服从均匀分布的随机变量映射成服从分布函数为 $P_{\text{wp}}\{x\}$ 的随机变量 z 。

将 z 作为第 $i-1$ 跳频点的频率 $x^{(i)}$ 时，有

$$\begin{aligned} P\{x^{(i)}\} &= \sum_{j=1}^N P\{x_j^{(i-1)}\} P_{\text{wp}}\{x^{(i)} | B(x_j^{(i-1)})\} = \\ &= \sum_{j=1}^N P\{x_j^{(i-1)}\} \frac{f_{\text{cp}}\{x^{(i)}\}}{\sum_{y \in B(x_j^{(i-1)})} f_{\text{cp}}\{y\}} = \\ &= \sum_{j=1}^N P\{x_j^{(i-1)}\} \frac{1 / \sum_{k=1}^N P_{\text{cp}}\{x^{(i)} | x_k^{(i-1)}\}}{\sum_{y \in B(x_j^{(i-1)})} \left\{ 1 / \sum_{k=1}^N P_{\text{cp}}\{y | x_k^{(i-1)}\} \right\}} \quad (7) \end{aligned}$$

如果第 $i-1$ 跳频点的分布满足均匀性，即 $P\{x^{(i-1)}\} = 1/N$ ，将该条件代入可以推出

$$P\{x^{(i)}\} = \frac{1}{N}, \quad (8)$$

表明第 i 跳频点的分布同样满足均匀性。按照相同方法继续产生后续逐跳的跳频频率，可以构成满足均匀性和宽间隔约束的随机跳频图案。

2 试验结果与分析

笔者以 JTIDS 可用频段和跳频间隔约束为例，验证提出方法的正确性。JTIDS 模式 1 跳频方式中有 51 个离散频点均匀分布于 969~1 008 MHz、1 053~1 065 MHz 和 1 113~1 155 MHz 3 个可用频段，其可用频点间隔 3 MHz，跳频间隔约束为 30 MHz。

分别使用非宽间隔随机跳频方法和基于该均匀

性补偿函数的宽间隔跳频方法产生跳频图案。2 种跳频图案的跳频间隔分布和跳频频点分布分别如图 2 和图 3 所示。

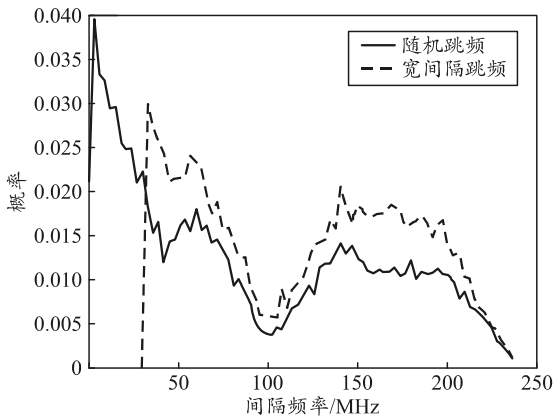


图 2 基于仿真的跳频间隔分布估计

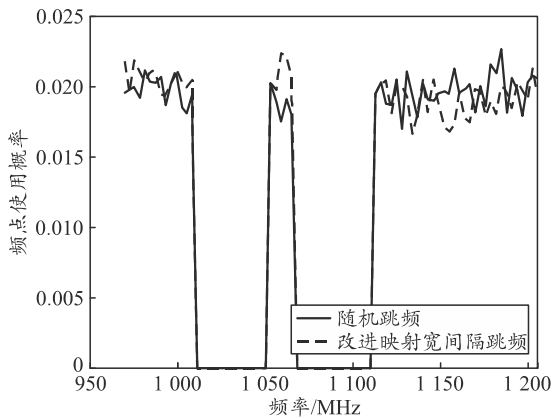


图 3 基于仿真的跳频选频分布估计

从仿真结果可见，笔者提出的方法可以得到频带约束条件下的宽间隔和均匀分布跳频图案。以 JTIDS 可用频段和跳频间隔约束为实验条件，相对无跳频间隔约束的随机跳频图案，其跳频间隔满足大于 30 MHz 的要求，并且频率能够达到较好的均匀特性。

3 结束语

笔者针对现有跳频图案生成方法存在的局限性，提出了一种跳频图案生成方法。该方法根据可用频带、跳频间隔和均匀性跳频图案的约束条件，计算获得均匀性补偿频点分布函数，然后根据当前频点和分布函数产生下一频点。文中方法生成的跳频图案在扩频通信系统中具有较强的实用价值。

参考文献:

[1] 邹磊. 跳频序列生成及其特性分析[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.

[2] 杨光宣, 吴潜. 基于 m 序列宽间隔跳频图案设计[J]. 信息技术, 2010, 9(2): 1-3.

[3] 那丹彤, 赵维康. 跳频通信干扰与抗干扰技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 35-36.

[4] 张鸿儒. 构造宽间隔调频序列方法的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.

[5] 何维苗, 冯冈. 构造宽间隔跳频码序列的两种算法之比较[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(4): 29-33.

(上接第 11 页)

[2] YANG X S. Firefly Algorithm[M]. Engineering Optimization. John Wiley & Sons, Inc. 2010: 221-230.

[3] 王鹤淇, 王伟国, 郭立红, 等. 离散萤火虫算法的复杂装备测试点优化选择[J]. 光学精密工程, 2017, 25(5): 1357-1367.

[4] 刘畅, 刘利强, 张丽娜, 等. 改进萤火虫算法及其在全局优化问题中的应用[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2017, 38(4): 569-577.

[5] 潘晓英, 陈雪静, 李昂儒, 等. 基于自适应步长的萤火虫划分聚类算法[J]. 计算机应用研究, 2017(12): 3576-3579.

[6] 冯艳红, 刘建芹, 贺毅朝. 基于混沌理论的动态种群萤火虫算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(3): 796-799.

[7] 刘长平, 叶春明. 具有混沌搜索策略的萤火虫优化算法[J]. 系统管理学报, 2013, 22(4): 538-543.

[8] 宋谢恩, 宋卫东, 赵成旺, 等. 混合目标火力分配及弹药消耗量求解方法[J]. 弹道学报, 2014(3): 37-41.

[9] 李元左, 杨晓段. 炮兵火力分配建模及优化方法[J]. 指挥控制与仿真, 2015(2): 48-52.

[10] 梁国强, 康宇航, 邢志川. 基于离散粒子群优化的无人机协同多任务分配[J]. 计算机仿真, 2018(2): 22-24.

[11] 姜青山, 郑保华, 郭利民. 遗传算法在舰艇编队防空火力分配中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2005(S1): 180-182.

[12] 蔡怀平, 陈英武. 武器-目标分配(WTA)问题研究进展[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(12): 11-15.