

一种差分跳频频率转移函数算法

冯永新*, 徐美荣, 钱博, 滕振宇

沈阳理工大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110159

摘要: 为提高差分跳频频率转移路径的随机性和均匀性, 在深入研究差分跳频技术和频率转移函数的基础上, 引入一种优化的混沌序列对数据信息进行扰乱, 利用纠错能力较强的 RS(Reed-Solomon)码和 m 序列实现对跳频间隔及频率子集的选择控制, 构建了一种新的差分跳频频率转移函数算法。对算法的随机性和均匀性进行了仿真验证。仿真结果表明, 相比于基于混沌序列的 G 函数算法和基于 RS 码和 m 序列的 G 函数算法, 本文算法产生的跳频序列的随机性和均匀性均得到了良好改善。

关键词: 差分跳频; G 函数; 混沌序列; 通信; 扩频

中图分类号: V219; TN914.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6893(2013)03-0655-07

近年来, 随着跳频和自适应选频等新技术的发展和运用, 短波通信性能得到进一步提高。其中, 作为重要支撑, 差分跳频技术的呈现, 不仅改变了短波电台由于信道带宽窄、信道时变多径特性而导致的低速率数据传输的局面, 还极大地提高了抗跟踪干扰的能力, 代表了新一代短波通信技术的发展方向, 而集调制、解调及跳频图案于一体的频率转移函数的设计也就成为了研究的重点^[1-2]。频率转移函数的随机性和均匀性作为重要的性能指标, 直接决定了差分跳频系统的抗截获性^[3-4], 针对此, 目前较好的 G 函数算法, 主要有基于 m 序列及 RS(Reed-Solomon)码的 G 函数算法^[5-6], 记为 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$; 基于混沌序列的 G 函数构造算法^[7-9], 记作 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 等, 以及其他一些针对特定应用而改进的频率转移函数的构造及评价方法^[10-16]。然而, 考虑到依据这些算法产生的跳频序列有待优化、频率子集选择和频点间隔控制处理应综合

考虑数据信息的随机性及均匀性对跳频序列的影响等, 本文将就差分跳频频率转移函数算法进行深入研究, 进一步提高跳频序列性能。

1 G 函数算法机理

差分跳频系统中, 当前时刻的频率序列控制字 F_n 取决于上一跳频率序列控制字 F_{n-1} 和当前时刻的数据符号 X_n , 记为 $F_n = G(F_{n-1}, X_n)$ 。其中, $G(\cdot)$ 被称为数据传输时刻的频率转移函数, 简称 G 函数, 其频率、数据正变换关系, 如图 1 所示。

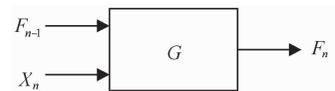


图 1 常规 $F_n = G(F_{n-1}, X_n)$ 正变换关系图
Fig. 1 Positive transformation relationship diagram based on conventional $F_n = G(F_{n-1}, X_n)$

收稿日期: 2012-02-14; 退修日期: 2012-08-02; 录用日期: 2012-10-18; 网络出版时间: 2012-12-03 14:44

网络出版地址: www.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20121203.1444.001.html

基金项目: 国家自然科学基金(60802031); 新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-1013); 辽宁省高校创新团队计划(LT2011005)

* 通讯作者. Tel.: 024-24682018 E-mail: fengyongxin@263.net

引用格式: Feng Y X, Xu M R, Qian B, et al. A frequency transform function algorithm for differential frequency hopping. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(3): 655-661. 冯永新, 徐美荣, 钱博, 等. 一种差分跳频频率转移函数算法. 航空学报, 2013, 34(3): 655-661.

可见,相邻两跳的频率通过数据序列建立了一定的相关性,即利用相邻两跳频率之间的相关性携带待发送的数据信息,因此差分跳频也被称为相关跳频。这里, G 函数可以被看做是一个有向图,其节点表示频率,节点之间的连线表示不同数据。以64个频点的差分 G 函数为例:其有向图中有64个节点,每个节点包含 $f = 2^{\text{BPH}}$ 个分支,其中 f 为有向图的扇出系数,BPH为每个节点的分支数,表示每跳所含的信息比特数。在差分跳频系统中, G 函数这种人为规定的映射关系显然会对产生的跳频序列的随机性、均匀性带来很大影响,因此构建一种性能优越的 G 函数算法对于提高差分跳频系统的性能至关重要。

实际上, G 函数的一种通用算法表达式可以表示为

$$F_n = F_{n-1} + 2^{\text{BPH}-1}x_n + \dots + 2^0x_{n-\text{BPH}+1} + 1 \quad (1)$$

在接收端,通过异步跳频方式对接收信号进行数字化宽带扫描,经FFT分析跳频宽带内的所有跳频信号特征,从而确定 F_{n-1} 和 F_n ,经 G 函数的反变换处理,即可解调出发送端的有效数据信息,即: $X_n = G^{-1}(F_{n-1}, F_n)$ 。鉴于 G 函数算法对系统的影响,为了更好地提高其性能,目前研究的焦点集中在对常规 $F_n = G(F_{n-1}, X_n)$ 的改进上,较好的主要有基于 m 序列控制子集的 G 函数算法、基于混沌序列的 G 函数构造算法等。

基于 m 序列控制子集的 G 函数算法也可以再引入RS码,表示为 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, \text{RS})$,如图2所示;该方法的优点是利用 m 序列进行频率子集选择的同时,通过RS码进行跳频间隔的有效控制,从而提高所产生跳频序列的随机性、均匀性,增加抗干扰能力;但该方法就数据信息 X_n 本身的随机性和均匀性对跳频序列的影响未加以考虑。

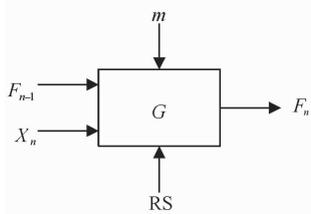


图2 基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, \text{RS})$ 的正变换关系图
Fig. 2 Positive transformation relationship diagram based on $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, \text{RS})$

就基于混沌序列的 G 函数构造方法而言,可以表示为 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$,如图3所示;其优点在于较好地增加数据信息 X_n 本身随机性和均匀性的影响校正,但就跳频序列频率间隔及频率子集的选择控制等未加以考虑,从而生成的跳频序列的随机性和均匀性等未得到有效改善。

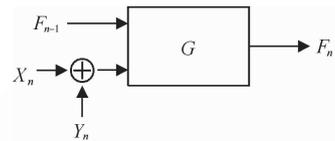


图3 基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 的正变换关系图
Fig. 3 Positive transformation relationship diagram based on $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$

2 一种改进的 G 函数算法

2.1 算法描述

在深入研究差分跳频系统的基础上,综合考虑现有 G 函数算法的不足,提出了一种改进的 G 函数算法。该算法在引入一种优化的混沌序列 Y_n 来增加信息码序列随机性及安全性的基础上,通过所需的RS码和 m 序列实现频点间隔和跳频子集的选择控制,从数据信息及产生的跳频序列的随机性和均匀性,以及数据信息的安全性入手,对 G 函数算法进行了优化设计,表示为

$$F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, \text{RS})$$

具体描述如下:

步骤1 选择待发送数据序列 x_n 并进行编码配置,生成数据信息 X_n 。

步骤2 引入混沌映射关系式(2),产生混沌序列 $y(n)$ 。

$$y(n) = a_1(y(n-1))^2 + a_2|y(n-1)| + a_3 \quad (2)$$

式中: $a_1 = a_2 = -1$ 、 $a_3 = 1$ 。该混沌映射关系式为满映射,且具有良好的随机性^[8],由其生成混沌实值序列后再进行门限函数量化。

步骤3 定制用于频率子集选择控制的 m 序列及频点间隔控制RS码。

步骤4 利用具有较好随机性的 m 序列,实现对 $y(n)$ 序列扰动处理,即通过式(3)异或运算,获得优化的混沌序列 Y_n 。

$$Y_n = y(n) \oplus m \quad (3)$$

步骤 5 将 Y_n 序列与待发送的数据信息 X_n 进行异或运算,如式(4)所示,生成数据序列 Z_n 。

$$Z_n = X_n \oplus Y_n \quad (4)$$

步骤 6 依据差分跳频系统所需频点数 M 、频率子集数 k ,生成用于频率选择控制的所需参数 Q 和 p ,如式(5)和式(6)所示:

$$Q = M/k \quad (5)$$

$$p = m_1 + 2m_2 + \dots + 2^{h-1}m_h \quad (6)$$

式中: $2^h = k$; m_1 为所取的 h 位 m 序列的最高位, m_2 为次高位, m_h 为最低位。

步骤 7 依据前一跳的频率序列控制字 F_{n-1} 、当前数据序列 Z_n 、RS 码、控制参数 Q 和 p 等,计算产生当前跳候选频率序列控制字 F_n ,如式(7)所示:

$$F_n = (F_{n-1} + Z_n^2 + 2Z_n - 2RS) \bmod Q + Qp \quad (7)$$

步骤 8 考虑产生的跳频序列均匀性,即除整个频率状态空间外,不存在任意个频率状态组成的闭集,因此进行当前跳候选频率序列控制字 F_n 与两跳前频率序列控制字 F_{n-2} 判别,如果两值相异,则候选值 F_n 即为产生的当前跳频率序列控制字;否则,进行候选值修正,如式(8)所示:

$$F_n = (F_{n-2} + Q) \bmod M \quad (8)$$

步骤 9 以 F_n 为当前差分跳频信号频率序列控制字,按需发送,并返回步骤 1 计算下一跳频率序列控制字 F_{n+1} 。

2.2 算法解析

差分跳频系统中,在信号的接收端通过异步跳频方式进行宽带数字化接收,经 FFT 分析跳频宽带内的所有信号特征,确定跳变频率信息,进而确定频率序列控制字 F_{n-1} 及 F_n ,由 G 函数的反变换即可解调出所发送的数据信息,这就要求 G 函数必须具有可逆性。因此,针对上述 G 函数正变换算法,需建立逆 G 函数算法。描述如下:

步骤 1 设置频率子集内频点间隔变量 ΔH ,如式(9)所示:

$$\Delta H = Z_n^2 + 2Z_n - 2RS = (Z_n + 1)^2 - (2RS + 1) \quad (9)$$

结合数据序列 Z_n 和 RS 码取值,建立解析函数译码集合: $\{(\Delta H, Z_n) | (3, 0), (1, 0), (-1, 1), (-3, 1)\}$ 。

步骤 2 依据所接收的差分跳频信号所对应的频率序列控制字 F_{n-1} 及 F_n ,计算相邻跳频率控制字差值 Δd ,即 $\Delta d = F_n - F_{n-1}$ 。

步骤 3 利用相邻跳频率控制字差值 Δd ,对 ΔH 进行计算映射,如式(10)所示:

$$\Delta H = \begin{cases} \Delta d & |\Delta d| \leq 3 \\ \bmod(\Delta d, Q) & |\bmod(\Delta d, Q)| \leq 3 \\ \bmod(\Delta d, Q) - Q & |\bmod(\Delta d, Q)| > 3 \end{cases} \quad (10)$$

步骤 4 依据获得的 ΔH ,利用解析函数译码集合 $\{(\Delta H, Z_n)\}$,进行对应 Z_n 解析。

步骤 5 依据差分跳频位同步信息,进行 Z_n 与混沌序列 Y_n 异或计算,获得所发送的数据信息 X_n ,如式(11)所示:

$$X_n = Z_n \oplus Y_n \quad (11)$$

步骤 6 结合数据序列编码信息,获得实际发送的数据序列 x_n 。

3 算法仿真与评估

基于 MATLAB 7.1 平台对本文提出的差分跳频频率转移函数算法进行仿真产生跳频序列,对跳频序列的随机性和均匀性进行验证。仿真中,跳频频点数 M 设置为 64、每跳传输比特数为 1,数据信息长度为 10 000;FFT 点数设置为 1 024、汉明窗长度为 1 024、初始跳频频率控制字为 15;RS 码选用一种多进制的 BCH 码(31,15)、 m 序列选用本原多项式为 $f(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 产生的序列。

3.1 随机性检验与分析

作为一种特殊的伪随机序列,跳频序列应具有类似于高斯白噪声的性能,而高斯白噪声的功率谱是平坦的,因此可以选用基于 Welch 的功率谱估计方法就生成跳频序列的随机性进行评估。Welch 法对数据进行分段,允许数据有部分交叠,可以改善方差,是应用较广泛的一种方法。基于本文 G 函数算法 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 仿真产生的跳频序列,其功率谱结果如图 4 所示。

相同参数条件下,对基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 产生的跳频序列和基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$ 产生的跳频序列的功率谱进行分析,结果分别如图 5 和图 6 所示。

由图 4 所示基于本文提出的 G 函数算法

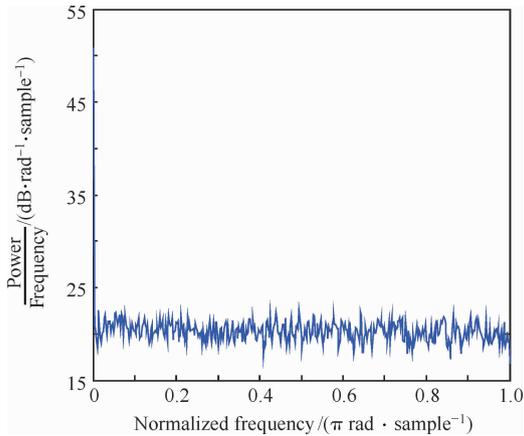


图4 基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的跳频序列功率谱
Fig. 4 Power spectrum of frequency hopping sequences based on $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$

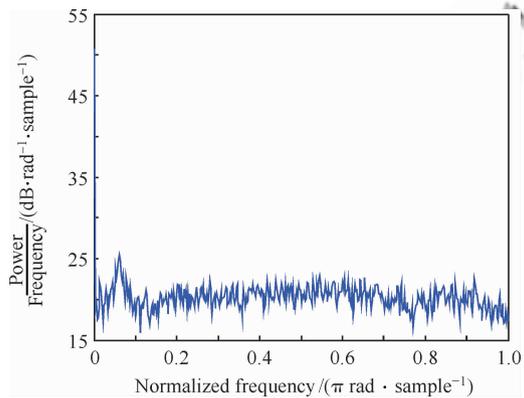


图5 基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 的跳频序列功率谱
Fig. 5 Power spectrum of frequency hopping sequences based on $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$

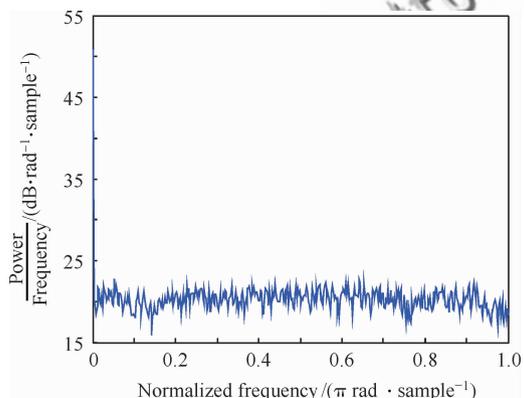


图6 基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$ 的跳频序列功率谱
Fig. 6 Power spectrum of frequency hopping sequences based on $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$

$F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 仿真产生的跳频序列功率谱幅值变化约为 $18 \sim 23$ dB/(rad · sample), 而基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 和 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$ 产生的跳频序列的功率谱幅值变化分别约为 $16 \sim 26$ dB/(rad · sample) 和 $16 \sim 23$ dB/(rad · sample)。可见基于本文 G 函数算法 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 产生的跳频序列功率谱较其他两种算法产生的跳频序列而言, 功率谱更平坦, 跳频序列的随机性得到了改善。此外, 在图4~图6的结果中均存在较大的直流分量, 这是由于产生的跳频序列其均值不为0所导致的, 不会对跳频系统造成影响。

3.2 均匀性检验与分析

在差分跳频系统中, 跳频序列应满足均匀性, 即在整个跳变频率集中各频点出现的概率应近似相等。就本文基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的 G 函数产生的跳频序列的均匀性而言, 我们采用 χ^2 拟合检验法进行检验, 统计学上的显著性水平 α 一般取为 0.05。因此, 通过计算实际值与 $\chi_{0.95}^2(M-1)$ 理论值的差异来判断是否符合某个理论分布, 从而来检验跳频过程中所有频点是否均匀出现。

这里, 不妨设定各频点出现的概率相等, 即 $p(F_i) = 1/M$ ($0 \leq i \leq M-1$)。当经过 l 次 ($l = 10\ 000$) 频率跳变, 频率序列控制字 F_i 出现的次数为 n_i , 利用式(12)计算统计量 p , 并与理论值进行比较。

$$\chi^2(M-1) = \sum_{i=0}^{M-1} \frac{(n_i - l/M)^2}{l/M} \quad (12)$$

由于 $\chi_{0.95}^2(M-1)$ 中 $M-1 > 45$, 因此利用式(13)进行计算。

$$\chi^2(n) \approx \frac{1}{2}(u_p + \sqrt{2n-1})^2 \quad (13)$$

式中: $n = M-1 = 63$; $p = 0.95$; u_p 为 u 分位数。

利用本文提出的 G 函数算法产生跳频序列, 在 100 次独立样本的条件下得到的均匀性检验结果均值为 48.91, 远小于指定水平下的理论值 83.455 8, 可见基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的 G 函数算法产生的跳频序列具有较好的一维均匀性。

在相同条件下对基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 及 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$ 产生的跳频序列的一维均匀性进行了研究,归一化后的频率一维等分布检验的频率统计结果,如图 7 所示。

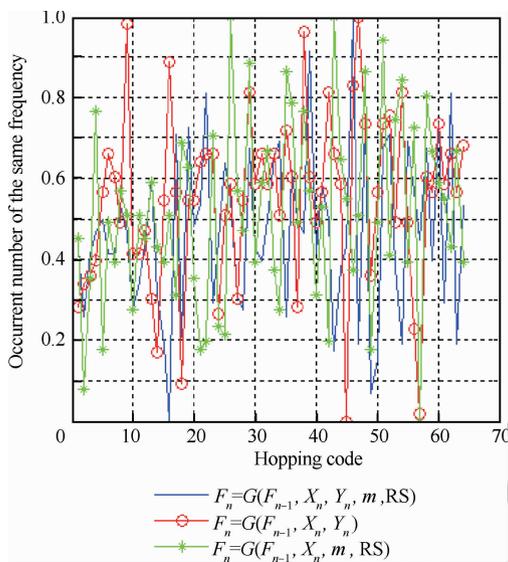


图 7 一维等分布检验的频率统计归一化图

Fig. 7 Normalized frequency statistics diagram based on one-dimensional distribution test

图 7 中,横坐标表示跳频码,纵坐标表示试验中相同频率出现的概率,通常同一跳频码所对应频率出现概率的范围应该在 $(0, 1)$ 区间内。由图 7 可知,基于本文 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的 G 函数算法产生跳频序列的跳频码出现概率范围不满足 $(0, 1)$ 区间的次数为 2 次,基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n)$ 和 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, m, RS)$ 产生的跳频序列不满足出现概率范围要求的次数分别为 4 次和 3 次。可见,基于本文 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的 G 函数算法产生的跳频序列频率出现的概率更集中,因此一维均匀性得到了有效地改善。

在实际应用中,差分跳频序列的二维连续性也是至关重要的,即二维连续性要求各频点对连续出现的概率相等,也就是说,频率序列控制字 F_i 出现后接着出现 F_j 的联合概率应相等。因此,对本文 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的 G 函数算法产生的跳频序列的二维连续性进行了检验,其频率统计直方图如图 8(a) 所示。图中 xOy 平面对应跳频过程中相邻出现的频点对, z 轴对应频

点对在跳频频率总数中出现的次数。在此基础上,进一步增加试验次数后的跳频序列二维连续性检验的频率统计直方图,如图 8(b) 所示。

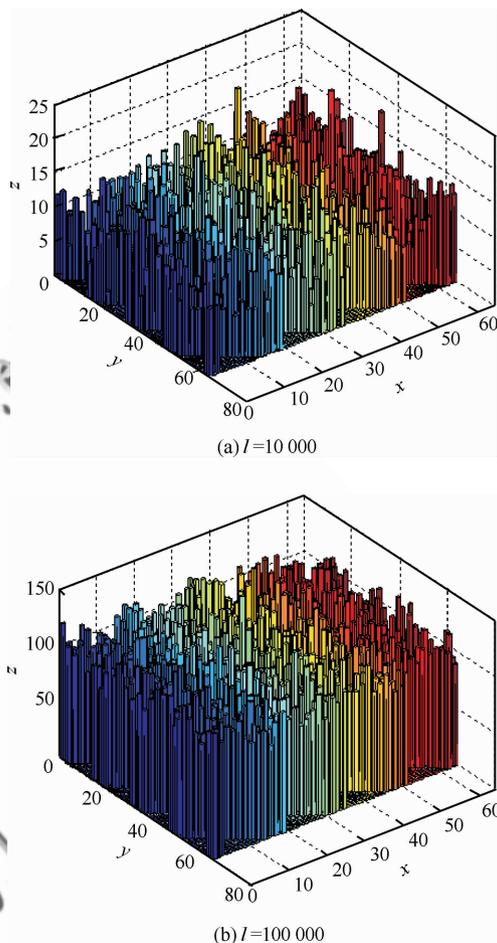


图 8 跳频序列二维连续性检验频率统计直方图

Fig. 8 Frequency statistics histogram based on two-dimensional continuity test of frequency hopping sequences

由图 8 可知,基于本文 G 函数产生的跳频序列具有较好的二维连续性,且随着跳频次数的增加,二维连续性效果更好。在图中, xOy 平面上有一定区域的跳频过程中相邻频点对出现次数为 0 的情况,这是因为虽然引入 RS 码来增大频点间隔,但该间隔不能无限制地增大,所以在每个子集中会有一定的区域相邻的跳频点对不能出现。

4 结论

本文在深入研究 G 函数产生机理的基础上,针对现有算法的不足,利用混沌序列具有较强随

机性和均匀性的特点,将其引入 G 函数生成过程,建立了基于 $F_n = G(F_{n-1}, X_n, Y_n, m, RS)$ 的差分跳频 G 函数算法,产生了具有更强随机性和均匀性的跳频序列,可使非合作方不易进行差分跳频信号的侦收,从而使差分跳频信号具有更强的抗截获和抗干扰能力。

进一步,将结合差分接收译码过程中降低接收译码处理复杂度的需求,对混沌映射关系进行改进研究,以期在提高差分跳频序列随机性和均匀性的同时,有效提高译码效率。

参 考 文 献

- [1] Björklund P, Värbrand P, Yuan D. Optimized planning of frequency hopping in cellular networks. *Computers & Operations Research*, 2005, 32(1): 169-186.
- [2] Ke P H, Zhang S Y. Frequency hopping sequences based on d-form function. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2010, 17(4): 58-62.
- [3] Gennian G, Fujii-Hara R, Miao Y. Further combinatorial constructions for optimal frequency hopping sequences. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 2006, 113(8): 1699-1718.
- [4] Li Y L. Model and simulation of slow frequency hopping system using signal progressing worksystem. *Communications in Computer and Information Science*, 2011, 105(4): 242-249.
- [5] Zhu X L, Hu Y S, Yu Q. Study of DFH system G function algorithm. *Computer and Digital Engineering*, 2005, 33(8): 46-48. (in Chinese)
朱秀林,胡用时,于奇.差分跳频系统的 G 函数算法研究. *计算机与数字工程*, 2005, 33(8): 46-48.
- [6] Qiu W B, Du X M, Zhu L Y. Performance analysis of DFH system based on RS codes. *Microcomputer Information*, 2007, 23(18): 110-111, 114.
仇文博,杜兴民,朱礼亚. RS 码下的差分跳频系统性能分析. *微计算机信息*, 2007, 23(18): 110-111, 114.
- [7] Gan L C, Wu S Y. A kind of shortwave frequency hopping code based on DFH transform function. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2005, 27(2): 218-220. (in Chinese)
甘良才,吴双元.一种基于差分跳频转移函数的短波跳频码. *电子与信息学报*, 2005, 27(2): 218-220.
- [8] Yang L N, Li H, Xin Z Y. Generation and property analysis of a new chaotic sequence. *Microcomputer Information*, 2008, 24(3-1): 189, 205-206. (in Chinese)
杨丽宁,李红,信张轶.一种新的混沌序列的产生及其性能分析. *微计算机信息*, 2008, 24(3-1): 189, 205-206.
- [9] Lopelli E, van der Tang J, van Roermund A. Ultra low power frequency hopping spread spectrum transmitters and receivers. *Analog Circuit Design*, 2006, 3: 377-441.
- [10] Dong B H, Li S Q, Shi F Q. A differential frequency hopping code generator construction method. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(4): 816-820. (in Chinese)
董彬虹,李少谦,史锋旗.一种差分跳频码发生器的构造方法. *电子与信息学报*, 2010, 32(4): 816-820.
- [11] Sahu P P, Panda S. Frequency hopping spread spectrum signaling using code quadratic FSK technique for multi-channel. *Computers & Electrical Engineering*, 2010, 36(6): 1187-1192.
- [12] Lee S H, Lee Y H. Adaptive frequency hopping and power control based on spectrum characteristic of error sources in Bluetooth systems. *Computers & Electrical Engineering*, 2010, 36(2): 341-351.
- [13] Mills D G, Egnor D E, Edelson G S. A performance comparison of differential frequency hopping and fast frequency hopping. *Proc Milcom*, 2004, 1(4): 45-50.
- [14] Naik K, Wei D S L, Su Y T, et al. A random graph-based model to analyze packet interference between frequency hopping systems with an application to Bluetooth. *Computer Communications*, 2008, 31(14): 3286-3291.
- [15] Li Z R, Zhuang Y Q, Zhang B. Novel frequency hopping sequences generator based on AES algorithm. *Transactions of Tianjin University*, 2010, 16(1): 22-27.
- [16] Song M, Wigginton S. Frequency hopping pattern detection in wireless ad hoc networks. *Information Technology: Coding and Computing*, 2005, 23(3): 112-117.

作者简介:

冯永新 女,博士,教授。主要研究方向:扩频通信、数字信号处理、信息安全。

Tel: 024-24682018

E-mail: fengyongxin@263.net

徐美荣 女,硕士研究生。主要研究方向:扩频通信、信号处理。

Tel: 024-24682229

E-mail: MeirongXu@163.com

钱博 男,博士,副教授。主要研究方向:扩频通信、数字信号处理。

Tel: 024-24682229

E-mail: keen_xp@163.com

滕振宇 男,博士,副教授。主要研究方向:扩频通信、网络安全。

Tel: 024-24682229

E-mail: tzy405@sina.com

A Frequency Transform Function Algorithm for Differential Frequency Hopping

FENG Yongxin^{*}, XU Meirong, QIAN Bo, TENG Zhenyu

School of Information Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China

Abstract: To improve the randomness and uniformity of a differential frequency hopping sequence, a new frequency transform function algorithm is proposed based on a study of differential frequency hopping technology and the present frequency transform function algorithms. This algorithm adopts an optimized chaotic sequence to disturb the data information codes for good data randomness. It also employs the RS (Reed-Solomon) codes of good capability in correcting errors and the m sequence to control the frequency hopping interval and the frequency subsets for better characteristics of the frequency hopping sequence. The randomness and uniformity of the differential frequency hopping sequence utilizing the proposed algorithm are validated by simulation. A comparison with the frequency hopping sequences generated by one G function algorithm based on chaotic sequences and another based on RS code and m sequences shows that the favorable randomness and uniformity of the differential frequency hopping sequence generated with the new frequency transform function algorithm is improved.

Key words: differential frequency hopping; G function; chaotic sequence; communication; spread spectrum

Received: 2012-02-14; **Revised:** 2012-08-02; **Accepted:** 2012-10-18; **Published online:** 2012-12-03 14:44

URL: www.cnki.net/kcms/detail/11.1929.V.20121203.1444.001.html

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (60802031); Program for New Century Excellent Talents in University (NCET-11-1013); Program for Liaoning Innovative Research Team in University (LT2011005)

*** Corresponding author.** Tel.: 024-24682018 E-mail: fengyongxin@263.net