

The Multi-Resolution Analysis Segmentation Research Based on Wavelet

Hongliang Fei

Army 91033, Qingdao
Email: muboa@126.com

Received: Dec. 31st, 2011; revised: Jan. 11th, 2012; accepted: Jan. 30th, 2012

Abstract: Frequency hopping signals in their own excellent anti-interception, anti-interference ability, in the military communication has been widely applied, therefore, it has a very important practical significance for the research of intercepting the frequency hopping signals. In this paper, the joint time-frequency analysis, in-depth study of the frequency hopping signal line automatic detection and frequency blind search acquisition issues, and its feature extraction algorithm is studied. Frequency hopping signals for feature extraction of a feature based on wavelet ridge extraction algorithm, the matlab simulation results the performance of the method was validated by experimental results show that the characteristics of wavelet ridge extraction algorithm is very performance advantages, and further improve the frequency estimation accuracy and timeliness.

Keywords: Frequency Hopping Signals; Feature Extraction; Wavelet Ridge

基于小波变换的多分辨率分析分割算法的研究

费洪亮

91033 部队, 青岛
Email: muboa@126.com

收稿日期: 2011 年 12 月 31 日; 修回日期: 2012 年 1 月 11 日; 录用日期: 2012 年 1 月 30 日

摘要: 跳频信号以其自身优良的抗截获、抗干扰能力, 在军事通信中得到了广泛的应用, 因此, 对跳频信号的截获展开研究具有非常重要的现实意义。本文采用时频联合分析的方法, 深入研究了跳频信号在线自动盲检测和频点搜索捕获问题, 并对其特征参数提取算法进行了研究。针对跳频信号的特征提取, 研究了一种基于小波脊线的特征提取算法, 通过 matlab 仿真实验对方法的性能进行了验证, 实验表明基于小波脊线的特征提取算法有很大的性能优势, 进一步提高了频率估计的准确性和时效。

关键词: 跳频信号; 特征提取; 小波脊线

1. 引言

特征提取跳频通信作为扩频通信的一个分支, 以其强抗截获性和抗干扰性等突出特点, 在军事领域得到了广泛应用。在日益密集的电磁环境中, 快速、完整地检测并截获对方信号是后端进行信号分析处理的必要前提。所以, 在日益复杂的电磁环境下, 以较高的截获概率实现对跳频信号的完整捕获就显得尤

为重要和迫切, 也是一个较难解决的问题。跳频信号特征提取是介于信号截获和解跳解调之间的工作过程^[1,2]。截获到跳频信号后, 要求必须能够精确提取信号的跳变时刻、跳速和跳频频率等相关参数, 将准确的跳频图案提供给解跳系统, 然后经过解调, 才能最终还原出信号的原始信息^[3]。因此, 对跳频信号的检测和特征参数提取进行研究具有重要的现实意义。

本文首先介绍跳频通信系统的基本工作原理, 研

究了基于小波脊线的跳频信号特征提取算法研究,用小波脊线来描述信号瞬时频率随时间的变化关系。

跳频技术的出现和应用使得短波超短波电台的抗干扰能力大大增强,运用常规的通信对抗技术已经无法对跳频电台起到真正有效的对抗作用,因此,应用现代信号处理技术,研究对跳频信号截获、处理的新算法已经成为通信对抗领域的一大研究热点。

2. 跳频通信系统的基本原理及模型

跳频通信系统的核心部分是跳频序列发生器、频率合成器和跳频同步器。其基本工作原理如下^[4,5]:

在发射机中,对输入信息进行调制,得到调制信号。独立产生的跳频序列从跳频频率表中取出频率控制码,控制频率合成器在不同的时隙内输出频率跳变的本振信号。用它对调制信号进行变频,使变频后的射频信号频率按照跳频序列跳变,即为跳频信号。

在接收机中,与发射机跳频序列一致的本地跳频序列从跳频频率表中取出频率控制码控制频率合成器,使输出的本振信号频率按照跳频序列相应地跳变。跳变的本振信号对接收到的跳频信号进行变频,将频率搬回到初始载频,实现解跳。解调后的调制信号,在本地载波作用下,经解调后,恢复出信息。

图1给出了跳频通信系统中发射机和接收机的原理框图。

3. 基于小波脊线的跳频信号特征提取

与短时傅立叶变换一样,小波变换也是一种线性的时频变换方法,不同的是它具有一种类似调焦距的能力—时、频域的窗口可随频率的变化而变化,以实现时域对低频分量采用大时窗,对高频分量采用小时窗的符合自然规律的分析方法,因此小波变换是一种多分

辨率的时频联合分析方法。

小波有实小波和复解析小波之分^[6,7]。实小波主要用来检测信号的强烈变化,在信号波形的奇异点检测方面运用较多;复解析小波可以分离信号的振幅和相位成分,能够度量信号瞬时频率随时间的变化,在非平稳信号瞬时频率测量方面有较广泛的应用。

本文正是利用复解析小波的这一性质,得到跳频信号频率随时间的变化关系,从而实现特征参数估计的。

令信号解析形式为 $f(t) = A(t)\exp(i\varphi(t))$, 解析小波可通过对实对称窗函数 g 的频率调制来构造:

$$\varphi(t) = g(t)\exp(i\eta t) \quad (1)$$

通过推导可得复解析小波变换 $(W_{\varphi}f)(a,b)$ 与信号瞬时频率 $\dot{\varphi}(t)$ 之间有如下关系:

$$(W_{\varphi}f)(a,b) = a^{1/2}A(b)\exp(i\varphi(b))\left(\hat{g}\left(a\left(\xi - \dot{\varphi}(b)\right)\right) + \varepsilon(b,\xi)\right) \quad (2)$$

假定信号的解析振幅 $A(t)$ 和瞬时频率 $\dot{\varphi}(t)$ 在大小为 a 的区间上有较小的变差,并假定 $\dot{\varphi}(t) \geq \Delta\omega/a$ ($\Delta\omega$ 为解析小波的均方带宽),而这些假定在实际情况下也都是满足的,那么式(2)中的校正项以 $\varepsilon(b,\xi)$ 可以忽略不计。

因为 $\hat{g}(\omega)$ 在 $\omega = 0$ 时最大,由式(2)可知,对每个 b ,量图 $|(W_{\varphi}f)(a,b)|^2$ 在 $\xi = \dot{\varphi}(b)$ 处最大,而 $\xi = \eta/a$,所以量图在尺度 $a = \eta/\dot{\varphi}(b)$ 处取最大值。相应的时频点 $(b,a(b))$ 称为小波脊点,各脊点组成的曲线称为小波脊线,可以用来描述信号瞬时频率随时间的变化关系。

4. 利用小波脊线估计跳频信号特征参数的算法研究

根据跳频信号瞬时频率随时间的变化特点可以知道:小波脊线的突变点即为跳频信号的跳变时刻;通过统计小波脊线的变化率就可以得到信号的跳速(即跳周期的倒数);最后,对信号每个跳周期内的瞬时频率求平均,得到该跳周期的跳频频率,从而得到跳频频率集和跳频图案。

由于在实际应用中使用的是离散小波变换,因此,在小波母函数一定的情况下,离散化尺度的取值

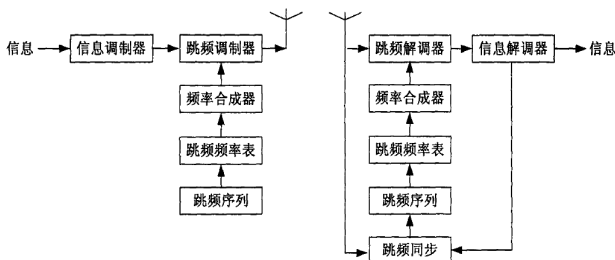


Figure 1. Schematic diagram of frequency hopping communication system
图1. 跳频通信系统原理示意图

范围和精度是影响该算法估计精度的主要因素。考虑到运算复杂度的要求，在应用时可先粗略估计了信号的频率范围，根据小波尺度与频率之间的关系，确定出尺度的取值范围，再在该范围内按照一定的间隔，确定出一组小波尺度值。在取值范围一定的情况下，尺度间隔越小，估计精度越高，但由于运算复杂度的限制，尺度的间隔不能取得过小(本文仿真时在尺度的最大值和最小值之间选取了 3000 个尺度值)。在进行迭代算法时选择离中间值或迭代结果最近的尺度值作为中间或最终结果，下文将以实例进行验证。

5. 实验结果

本文以一个由信号源生成的叠加了高斯白噪声的仿真跳频信号(SNR = 15 dB)为例，该信号的跳周期为 2.5 ms(跳速为 400 跳/秒)，观察时间为 9 个跳周期，跳频带宽为 4.2 MHz，采样率为 8.4 MHz。由于第一个样点不是跳周期的开始，所以第一和最后一个跳周期并不完整。下面给出基于小波脊线的参数估计算法的具体步骤：

第一步，确定小波尺度的取值范围，对信号进行小波变换，并为迭代算法选择合理的初始值 a_0 ；

第二步，利用迭代算法求出小波脊线，如图 2 所示；

第三步，将信号小波脊线转换为信号真实瞬时频率与时间的关系；

第四步，检测脊线的突变点，求出跳变时刻；

第五步，利用傅立叶变换，统计小波脊线的变换率，求出跳频速率，如图 3 所示；

第六步，求出瞬时频率在各跳周期内的均值，估计出跳频频率集，得到跳频图案，如图 4 所示。

从图 2~4 中可以看出，利用小波脊线可以较准确地估计出跳频信号跳变时刻、跳速和跳频频率等参数。下面给出了利用小波脊线得到的估计值与实际值的对比表，从表 1 中可以观察到，在信噪比较高时，该方法对跳速和跳变时刻的估计是比较准确的。

6. 结论

本文主要研究了跳频信号特征参数提取方法。利用小波脊线与瞬时频率的关系，研究了一种基于小波脊线的特征提取算法及其快速实现算法，通过仿真发

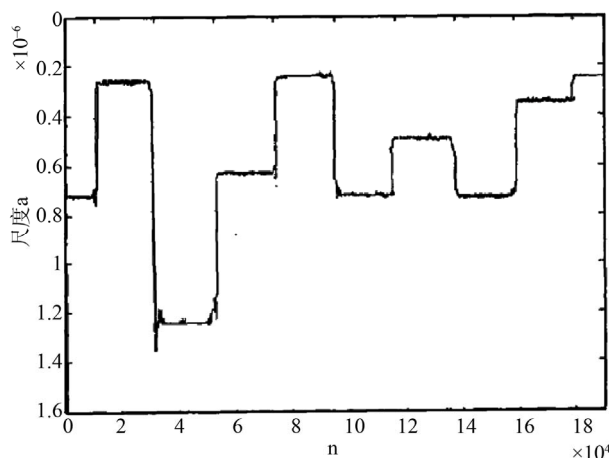


Figure 2. Wavelet ridge map
图 2. 小波脊线图

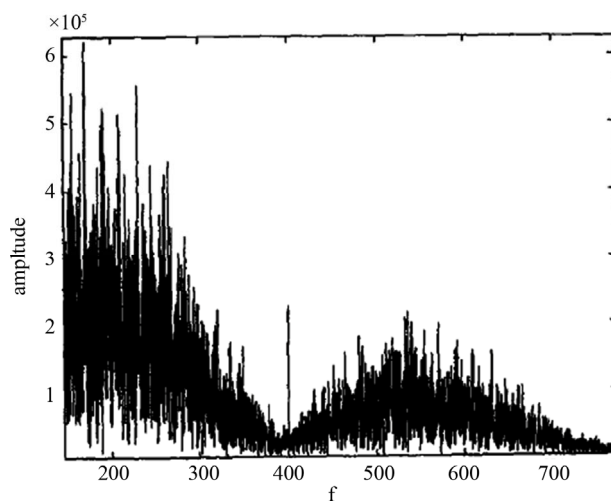


Figure 3. Rate of change of wavelet ridge
图 3. 小波脊线变化率

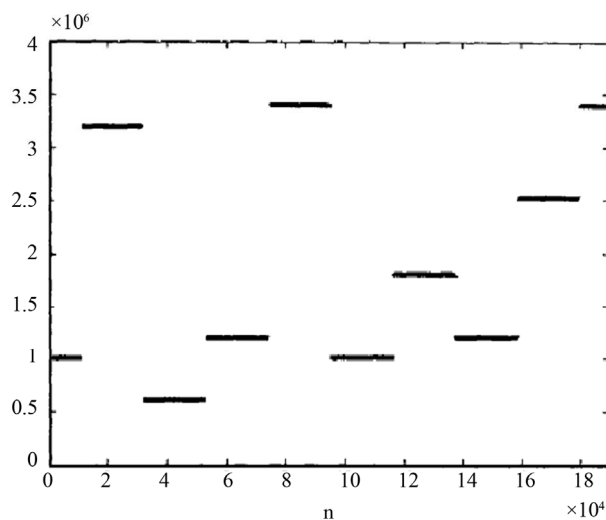


Figure 4. Hopping pattern
图 4. 跳频图案

Table 1. Estimates compared with the actual value
表 1. 估计值与实际值的对比

特征参数	实际值	估计值
跳速(跳/秒)	400	400
	12,011	12,011
	33,011	33,011
	54,011	54,011
	75,011	75,011
跳变时刻(秒)	96,011	96,011
	117,011	117,013
	138,011	138,011
	159,011	159,011
	180,011	180,011
	0.125	0.1218
	0.375	0.3724
	0.075	0.0702
归一化跳频频率 (hz)	0.15	0.1506
	0.4	0.3986
	0.125	0.1261
	0.2	0.1982
	0.15	0.1485
	0.3	0.3035
	0.4	0.4022

现，本文提出的算法较基于小波脊线的特征提取算法在抗噪声性能上有很大的优势，提高了频率估计的准确性和时效。

参考文献 (References)

- [1] 戴敏. 跳频通信技术及其应用与发展[J]. 通讯世界, 2000, 64(3): 40-43.
- [2] 周良臣. 短波跳频信号精确测频与解跳研究[D]. 西安电子科技大学, 2003.
- [3] Xiangqian Liu, D. N. Sidiropoulos and A. Swami. Blind high-resolution localization and tracking of multiple frequency hopping signals. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(4): 889-901.
- [4] 段田东, 高永宏. 信号分析与识别[M]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2002: 136-138.
- [5] 梅文华等著. 跳频通信[M], 北京: 国防工业出版社, 2005: 8-22.
- [6] 李弼程, 罗建书. 小波分析及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 9-10.
- [7] 王兵, 界旭明. 一种提取小波脊线的迭代算法[J]. 数学杂志, 2005, 25(3): 295-298.