



(21) 申请号 202110981503.1

(22) 申请日 2021.08.25

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113484544 A

(43) 申请公布日 2021.10.08

(73) 专利权人 浙江上风高科专风实业股份有限公司

地址 312300 浙江省绍兴市上虞区人民西路1818号

(72) 发明人 初宁 阿里·嘉法理 徐晨期
李晓明 徐建锋 蔡彩芳

(74) 专利代理机构 杭州浙恒专利代理事务所
(普通合伙) 33523

专利代理师 朱佳明

(51) Int.Cl.

G01P 21/02 (2006.01)

G06F 17/14 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112327234 A, 2021.02.05

CN 112611448 A, 2021.04.06

CN 110598269 A, 2019.12.20

CN 102269803 A, 2011.12.07

CN 110543820 A, 2019.12.06

WO 2015196735 A1, 2015.12.30

WO 2013104224 A1, 2013.07.18

EP 3109646 A1, 2016.12.28

李国鸿;赵述元;陈钊.振动信号频谱分析中的加窗及加窗幅值修正.测控技术.2012, (06), 全文.

审查员 马一凡

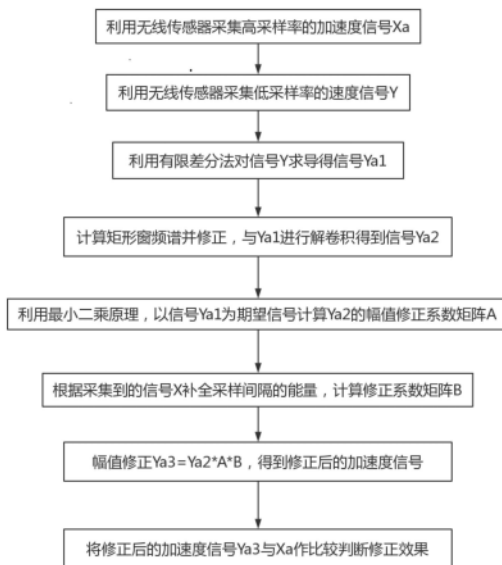
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法

(57) 摘要

本发明公开了一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,包括以下步骤:利用无线传感器采集加速度信号 X_a ,作为对照组比较;利用无线传感器采集得到分辨率较高的速度信号 Y ,对速度信号利用求导算法求得加速度信号 Y_a ;利用解卷积方法对加速度信号 Y_a 的频域卷积效应进行矫正;利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题;利用最小二乘原理和补全无线采样间隔能量系数方法解决带来的幅值失真问题,得到矫正后的信号;将原始信号与矫正后的信号作对比;本发明通过对无线传感器采集得到的速度信号,从而为振动加速度信号的频谱进行高精度修正,以达到提中低频高频谱分辨率和幅度准确性的目的。



1. 一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:包括以下步骤:
 - a、利用有线振动传感器采集加速度信号 X_a ,作为对照组比较;
 - b、利用无线传感器采集得到分辨率较高的速度信号 Y ,对速度信号利用求导算法求得加速度信号 Y_a ;以采集到的速度离散信号作为函数值,利用差分代替微分,将连续变化的变量离散化,得到微分方程的差分形式,并对差分方程进行求解得到加速度信号;
 - c、利用稀疏性解卷积方法对加速度信号 Y_a 的频域卷积效应进行高精度矫正;
 - d、利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题;
 - e、利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题,得到矫正后的信号 Y_{a3} ;
 - f、将原始信号与矫正后的信号作对比,验证一种面向无线震动速度传感器的中低频频谱矫正方法的有效性。
2. 根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:所述步骤c中利用稀疏性解卷积方法对加速度信号 Y_a 的频域卷积效应进行矫正的过程为:对由于无线采样窗函数所带来的频谱卷积效应而造成的能量泄露问题,通过利用矩形窗模拟无线采样窗函数特点,计算窗函数频谱,同时对利用快速傅里叶变换得到信号频谱进行稀疏性解卷积,以消除频域卷积效应带来的能量泄露。
3. 根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:所述步骤d中利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题的过程为:对矩形窗做频谱分析得到的总长为 $2N$ 的复数序列进行反对称操作,取前 N 个点进行分析并对幅值进行乘以 $2/N$,然后将改进后的窗函数频谱与原信号频谱进行解卷积,得到矫正后的加速度信号 Y_{a2} 。
4. 根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:所述步骤e中利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题的过程为:计算幅值矫正矩阵,首先利用最小二乘原理,以加速度信号 Y_a 为基准,计算拟合值与真值的最小平方和,得到一个系数矩阵从而对矫正信号的主频所对应的复数序列的幅值进行矫正,然后利用采集的时域信号能量分布情况,预测补全无线采样间隔中的所需能量,计算全频域幅值矫正矩阵,与上述矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号序列。
5. 根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:所述步骤b无线传感器以 2.56KHz 采样率,每次采集 1s ,采样间隔 400s ,共采集三次得到样本数据速度信号 Y 。
6. 根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:所述步骤b中的微分方程的差分形式,具体可以使用Matlab中的diff函数实现,其数学解释为:
$$f'(x_i) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_{x_i} \approx \frac{f(x_i + h) - f(x_i - h)}{2h}$$
可以得到初始加速度信号 Y_{a1} 。
7. 根据权利要求4所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特

征在于:计算Ya2与Ya的误差平方和最小的幅值矫正系数矩阵A:

$$I = \sum_{i=0}^m (y_i - Ya3(t_i))^2 = \sum_{i=0}^m (\sum_{j=0}^n Ya3_j t_i^j - y_i)^2 = \min$$

8.根据权利要求1所述的一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,其特征在于:利用采集的时域信号能量分布情况,补全无线采样间隔中的能量,根据无线采样时间长度与原始信号时间长度的比值确定幅值误差百分比,实际采样的能量占据总能量的3/1000,计算幅值矫正矩阵B,与矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号,即:Ya3=Ya2*A*B。

一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线振动速度传感器信号处理领域,尤其是涉及一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法。

背景技术

[0002] 随着目前工业互联网领域以及无线传感技术的快速发展,无线振动传感器作为一种安装方便、无布线、传输范围广的传感器,正逐步扩大应用范围,成为工业大数据采集的热门传感器。我们在对研究对象的振动分析时也渴望得到高分辨率的振动加速度信号。但是无线振动加速传感器由于其自身设计和成本的影响,比如设置采样间隔过长、采样点数过少、采样信号非连续、电池续航能力短等问题,都会导致对瞬态响应信号获取能力差,对长周期信号分析能力低的不足,满足不了工业大数据分析对高精度无线传感器的要求。同时,针对市面上普遍存在的无线振动传感器,都有速度信号的频谱分辨率较高而加速度的频谱分辨率较低的现象。譬如常见的传感器中,有加速度采样率为 $f_s=12.8\text{KHz}$,速度采样率为 $f_s=2.56\text{KHz}$,采样点数为 $N=128000$ 。根据 $f_0=f_s/N$ 计算得,其加速度频谱分辨率为 $f_0=1\text{Hz}$,速度频谱分辨率为 $f_0=0.2\text{Hz}$ 。可以得出,在采样点数有限的限制下,其速度信号的频谱分辨率远胜于加速度的频谱分辨率,而且无线速度传感器的成本远低于无线加速度传感器,更适合用中低频振动信号的无线采集与信号分析。

发明内容

[0003] 本发明为了克服现有技术的不足,提供一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,解决了无线传感器参数的设置问题,采样间隔、采样信号非连续带来的能量泄露(频域卷积效应)和幅值失真等问题,通过仿真测试,够提高无线传感器的频谱分辨率,以及解决一系列无线采样带来的信号处理问题,能够较好地利用速度信号对加速度信号进行重构,对无线振动传感器应用该算法可以提高其抗噪声干扰能力。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,包括以下步骤:

[0005] a、利用有线振动传感器采集加速度信号 X_a ,作为对照组比较;

[0006] b、利用无线传感器采集得到分辨率较高的速度信号 Y ,对速度信号利用求导算法求得加速度信号 Y_a ;以采集到的速度离散信号作为函数值,利用差分代替微分,将连续变化的变量离散化,得到微分方程的差分形式,并对差分方程进行求解得到加速度信号;

[0007] c、利用稀疏性解卷积方法对加速度信号 Y_a 的频域卷积效应进行高精度矫正;

[0008] d、利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题;

[0009] e、利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题,得到矫正后的信号;

[0010] f、将原始信号与矫正后的信号作对比,验证一种面向无线震动速度传感器的中低频频谱矫正方法的有效性。

[0011] 所述步骤c中利用稀疏性解卷积方法对加速度信号Ya的频域卷积效应进行矫正的过程为:对由于无线采样窗函数所带来的频谱卷积效应而造成的能量泄露问题,通过利用矩形窗模拟无线采样窗函数特点,计算窗函数频谱,同时对利用快速傅里叶变换得到信号频谱进行稀疏性解卷积,以消除频域卷积效应带来的能量泄露。

[0012] 所述步骤d中利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题的过程为:对矩形窗做频谱分析得到的复数序列(总长为2N)进行反对称操作,取前N个点进行分析并对幅值进行乘以2/N,然后将改进后的窗函数频谱与原信号频谱进行解卷积,得到矫正后的加速度信号Ya2。

[0013] 所述步骤e中利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题的过程为:计算幅值矫正矩阵,首先利用最小二乘原理,以加速度信号Ya为基准,计算拟合值与真值的最小平方和,得到一个系数矩阵从而对矫正信号的主频所对应的复数序列的幅值进行矫正,然后利用采集的时域信号能量分布情况,预测补全无线采样间隔中的所需能量,计算全频域幅值矫正矩阵,与上述矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号序列。

[0014] 所述步骤b无线传感器以2.56KHz采样率,每次采集1s,采样间隔400s,共采集三次得到样本数据速度信号Y。

[0015] 所述步骤b中的微分方程的差分形式,具体可以使用Matlab中的diff函数实现,其数学解释为:

$$[0016] \quad f'(x_i) = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_{x_i} \approx \frac{f(x_i + h) - f(x_i - h)}{2h}$$

[0017] 可以得到初始加速度信号Ya1。

[0018] 计算Ya2与Ya的误差平方和最小的幅值矫正系数矩阵A:

$$[0019] \quad I = \sum_{i=0}^m (y_i - Ya3(t_i))^2 = \sum_{i=0}^m \left(\sum_{j=0}^n Ya3_j t_i^j - y_i \right)^2 = \min$$

[0020] 利用采集的时域信号能量分布情况,补全无线采样间隔中的能量,根据无线采样时间长度与原始信号时间长度的比值确定幅值误差百分比,实际采样的能量占据总能量的3/1000,计算幅值矫正矩阵B,与矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号,即:Ya3=Ya2*A*B。

[0021] 本发明具有以下优点:通过对无线传感器采集得到的速度信号,利用稀疏性解卷积方法对加速度信号Ya的频域卷积效应进行高精度矫正;再利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题;然后利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法来解决幅值失真问题;从而为振动加速度信号的频谱进行高精度修正,以达到提中低频高频谱分辨率和幅度准确性的目的;本发明的方法针对市面上某些无线振动传感器加速度信号频谱分辨率低,速度信号频谱分辨率高的特点,设计了一种速度信号重构为加速度信号的方法,首先通过求导得到加速度信号,然后利用解卷积方法解决无限采样连续带来的频域卷积效应(能量泄露),最后通过改善窗函数频谱以及计算幅值矫正矩阵来矫正加速度信号的幅值失真问题使之逼近于实际信号,从而实现从速度信号入手分析,从而为振动加速度信号的频谱进行高精度修正,以达到提中低频高频谱分辨率和幅度准确性的目的;解

决了无线传感器参数的设置问题,采样间隔、采样信号非连续带来的能量泄露(频域卷积效应)和幅值失真等问题,通过仿真测试,够提高无线传感器的频谱分辨率,以及解决一系列无线采样带来的信号处理问题,能够较好地利用速度信号对加速度信号进行重构,对无线振动传感器应用该算法可以提高其抗噪声干扰能力;对于低成本和高精度的无线振动传感器的性能优化和参数设计,有着重要指导意义。

附图说明

- [0022] 图1为本发明一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法的流程示意图。
- [0023] 图2为有线振动传感器采集的信号Xa的时域图。
- [0024] 图3为有线振动传感器采集的信号Xa的频域图。
- [0025] 图4为无线振动传感器采样得到的信号Y时域图。
- [0026] 图5为信号Y求导得到的信号Ya1频域图。
- [0027] 图6为原始信号与有线、无线振动传感器采集信号全过程时域对比图。
- [0028] 图7为原始信号与有线、无线振动传感器采集信号全过程频域对比图。
- [0029] 图8为信号Ya1通过解卷积得到的频谱图。
- [0030] 图9为窗频谱矫正后得到的信号Ya2频谱图。
- [0031] 图10为幅值矫正后的加速度信号Ya3频谱图。
- [0032] 图11为矫正结果Ya3与Xa信号频谱比较图。

具体实施方式

[0033] 为了使本技术领域的人员更好的理解本发明方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0034] 如图1-11所示,一种面向无线振动速度传感器的中低频频谱矫正方法,包括以下步骤:

[0035] a、利用有线振动传感器采集加速度信号Xa,作为对照组比较;

[0036] b、利用无线传感器采集得到分辨率较高的速度信号Y,对速度信号利用求导算法求得加速度信号Ya;以采集到的速度离散信号作为函数值,利用差分代替微分,将连续变化的变量离散化,得到微分方程的差分形式,并对差分方程进行求解得到加速度信号;

[0037] c、利用稀疏性解卷积方法对加速度信号Ya的频域卷积效应进行高精度矫正;

[0038] d、利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题;

[0039] e、利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题,得到矫正后的信号;

[0040] f、将原始信号与矫正后的信号作对比,验证一种面向无线震动速度传感器的中低频频谱矫正方法的有效性。

[0041] 所述步骤c中利用稀疏性解卷积方法对加速度信号Ya的频域卷积效应进行矫正的

过程为:对由于无线采样窗函数所带来的频谱卷积效应而造成的能量泄露问题,通过利用矩形窗模拟无线采样窗函数特点,计算窗函数频谱,同时对利用快速傅里叶变换得到信号频谱进行稀疏性解卷积,以消除频域卷积效应带来的能量泄露。

[0042] 所述步骤d中利用改善窗函数频谱的方法解决解卷积带来的频谱偏移问题的过程为:对矩形窗做频谱分析得到的复数序列(总长为2N)进行反对称操作,取前N个点进行分析并对幅值进行乘以2/N,然后将改进后的窗函数频谱与原信号频谱进行解卷积。

[0043] 所述步骤e中利用最小二乘原理和补全无线采样间隔的能量系数方法解决带来的幅值失真问题的过程为:计算幅值矫正矩阵,首先利用最小二乘原理,以加速度信号Ya为基准,计算拟合值与真值的最小平方和,得到一个系数矩阵从而对矫正信号的主频所对应的复数序列的幅值进行矫正,然后利用采集的时域信号能量分布情况,预测补全无线采样间隔中的所需能量,计算全频域幅值矫正矩阵,与上述矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号序列。

[0044] 具体的:

[0045] S01,首先为检验算法的实际效果,建立数学模型:

[0046] $y(t) = [1 + \sum A \cos(2\pi f t)] * [\sum B \cos(2\pi f t + \Phi) + C(t)]$

[0047] 将信号离散化,同时为了进一步模拟现实环境附加信噪比SNR=1dB的高斯噪声,将其设计成一段1000s的原始速度信号X,模拟有线振动传感器采集其加速度信号Xa;对这段信号模拟无线速度传感器以2.56KHz采样率,每次采集1s,采样间隔400s,共采集三次得到样本数据速度信号Y。

[0048] S02,以采集到的速度离散信号Y作为函数值,利用差分代替微分,将连续变化的变量离散化,得到微分方程的差分形式,并对差分方程进行求解得到加速度信号;具体可以使用Matlab中的diff函数实现,其数学解释为:

[0049]
$$f'(x_i) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_{x_i} \approx \frac{f(x_i + h) - f(x_i - h)}{2h}$$

[0050] 可以得到初始加速度信号Ya1(如图5所示)S01-S02过程的原始与无线采样后的速度、加速度信号的时频谱图(如图6、7所示)。

[0051] S03,如图3、5、8所示,对比信号Ya1和信号Xa,我们可以发现对于含有大量噪声的原始信号,采用无线振动传感器采集后频谱分析的结果相较于有线振动传感器采集后频谱分析的结果存在严重的能量泄露的情况,可以明显看出频率成分475Hz、525Hz、675Hz、725Hz、875Hz、900Hz、1100Hz、1275Hz被底部能量泄露问题掩盖,极大地降低了频谱分辨率,因此本文通综合无线传感器采样特性,其窗函数可以通过利用矩形窗模拟,从而计算窗函数频谱,同时对利用快速傅里叶变换得到Ya1信号频谱利用Matlab中的deconvlucy函数进行解卷积以消除频域卷积效应带来的能量泄露,得到解卷积后的信号。

[0052] S04,如图9所示,在步骤c的解卷积过程中,其窗函数由于依靠自引入的矩形窗频谱进行解卷积,其频谱特性会导致所有频率范围发生偏移,因此需要对窗函数进行矫正,对矩形窗做频谱分析得到的复数序列(总长为2N)进行反对称操作,即取前N个点进行分析并对幅值进行乘以2/N,然后将改进后的窗函数频谱与原信号频谱进行解卷积,得到矫正后的加速度信号Ya2。

[0053] S05,如图10所示,计算幅值矫正矩阵,首先利用最小二乘原理,以加速度信号Ya为

基准,计算拟合值与真值的最小平方和,得到一个系数矩阵从而对矫正信号的主频所对应的复数序列的幅值进行矫正,对于Ya2中的数据 (t_i, y_i) ,计算Ya2与Ya的误差平方和最小的幅值矫正系数矩阵A:

$$[0054] \quad I = \sum_{i=0}^m (y_i - Ya3(t_i))^2 = \sum_{i=0}^m \left(\sum_{j=0}^n Ya3_j t_i^j - y_i \right)^2 = \min$$

[0055] 然后利用采集的时域信号能量分布情况,补全无线采样间隔中的能量,根据无线采样时间长度与原始信号时间长度的比值确定幅值误差百分比,由于实际采样的能量占据总能量的3/1000,计算幅值矫正矩阵B,与上述矫正后的矫正信号相乘得到幅值矫正后的加速度信号序列,即:

$$[0056] \quad Ya3 = Ya2 * A * B$$

[0057] S06,如图10所示,对比信号Xa与经重构后的加速度信号Ya3。

[0058] 如图11所示,经过矫正后的加速度信号与原始实际信号在频谱、幅值上有着很高的信号还原度,说明本方法从无线振动传感器速度信号的频谱分辨率优于加速度信号的频谱分辨率角度入手,以速度信号采样为基础,通过差分求导、解卷积、频谱矫正、幅值矫正等步骤重构的具有高分辨率的加速度信号具有好的应用意义和仿真结果支撑,本方法能够较好的解决这一类无线振动传感器加速度采样分辨能力差的问题,并为其他无线传感器的研究设计提高一定的参考与借鉴。

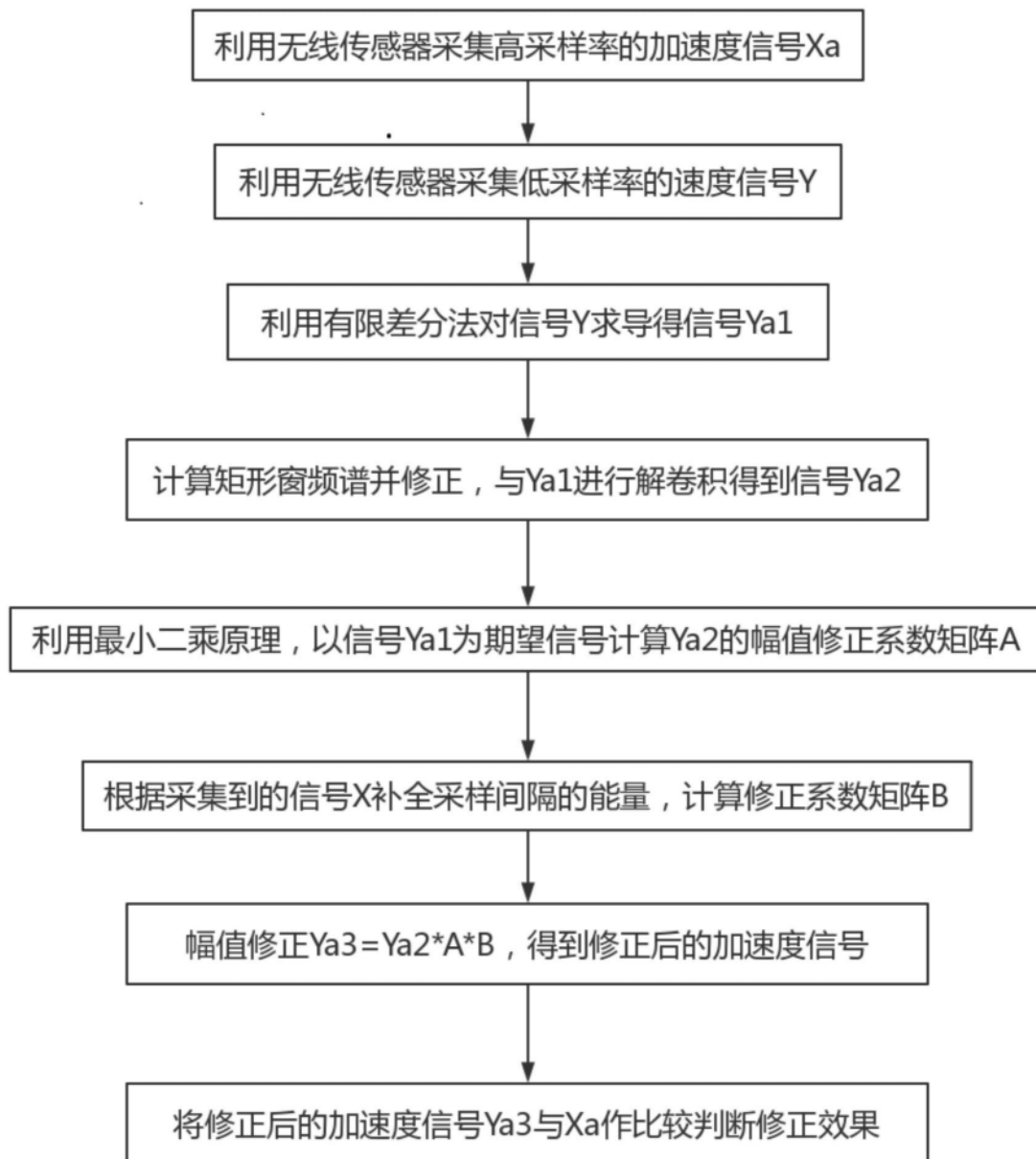


图1

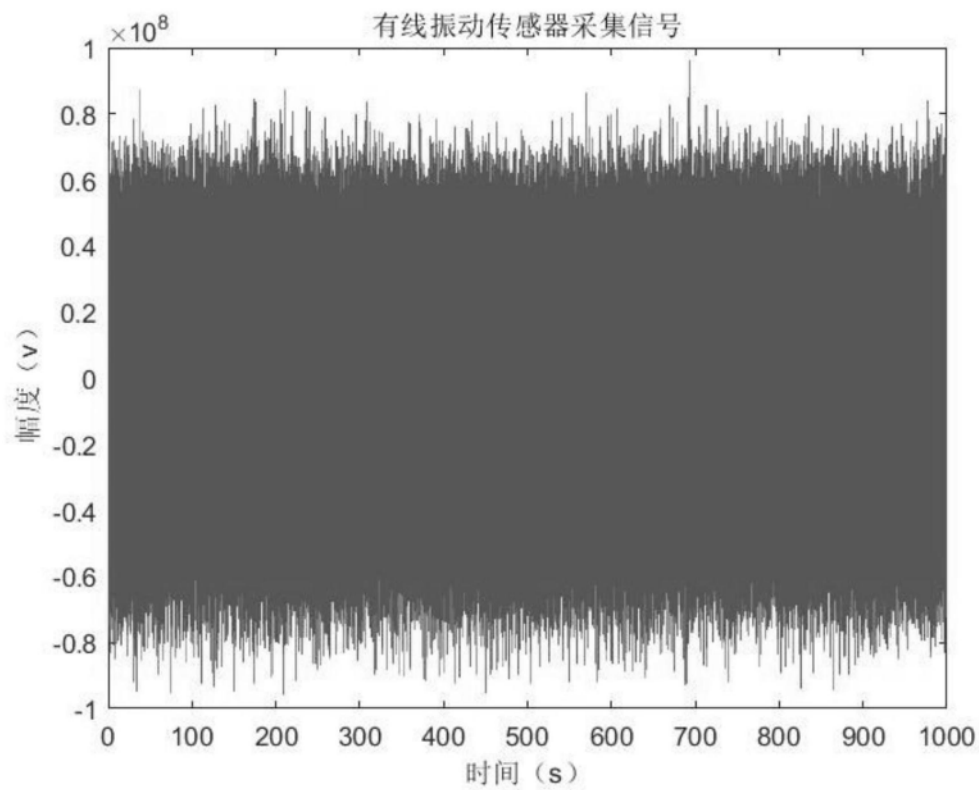


图2

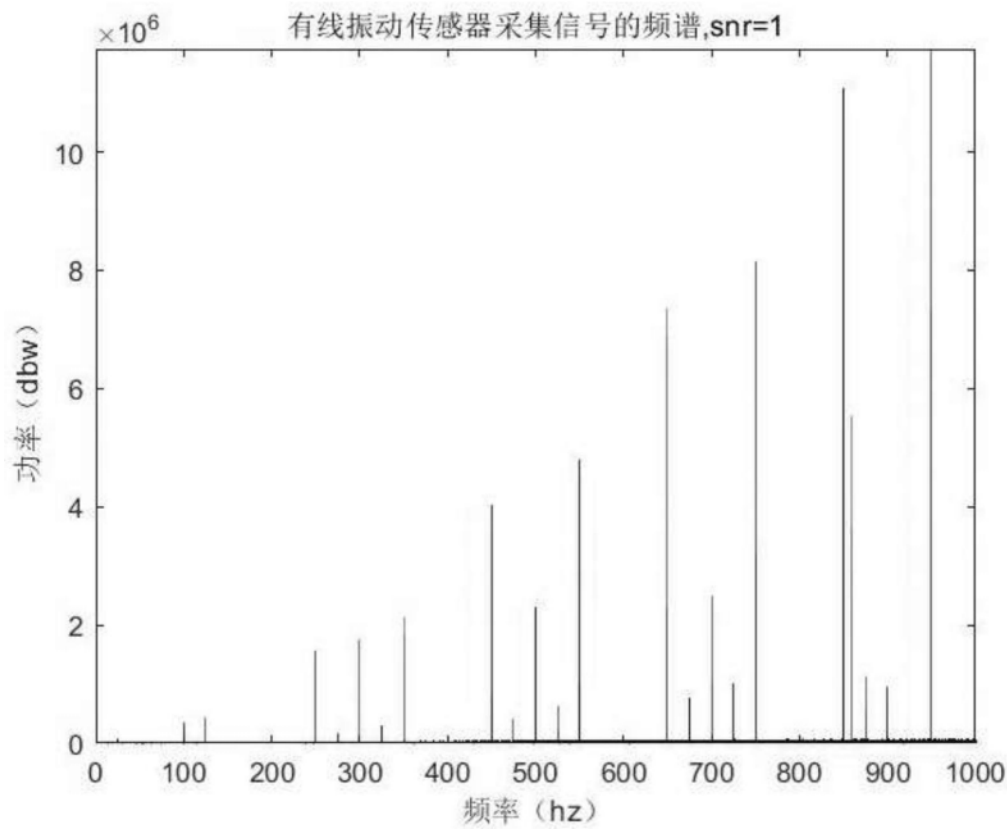


图3

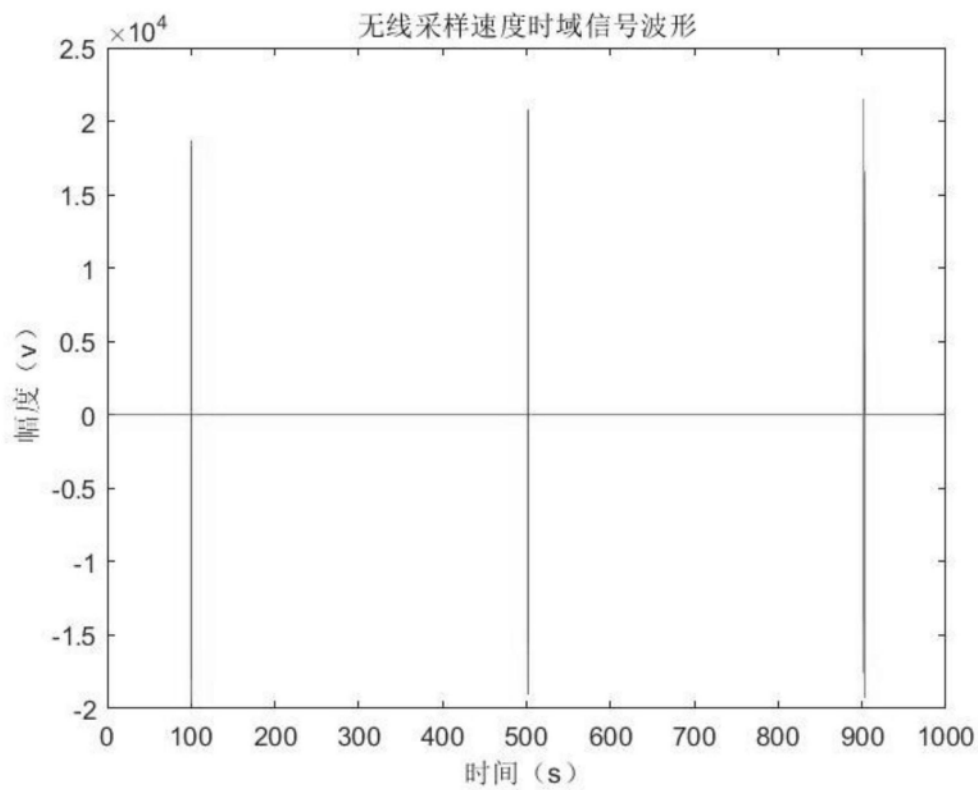


图4

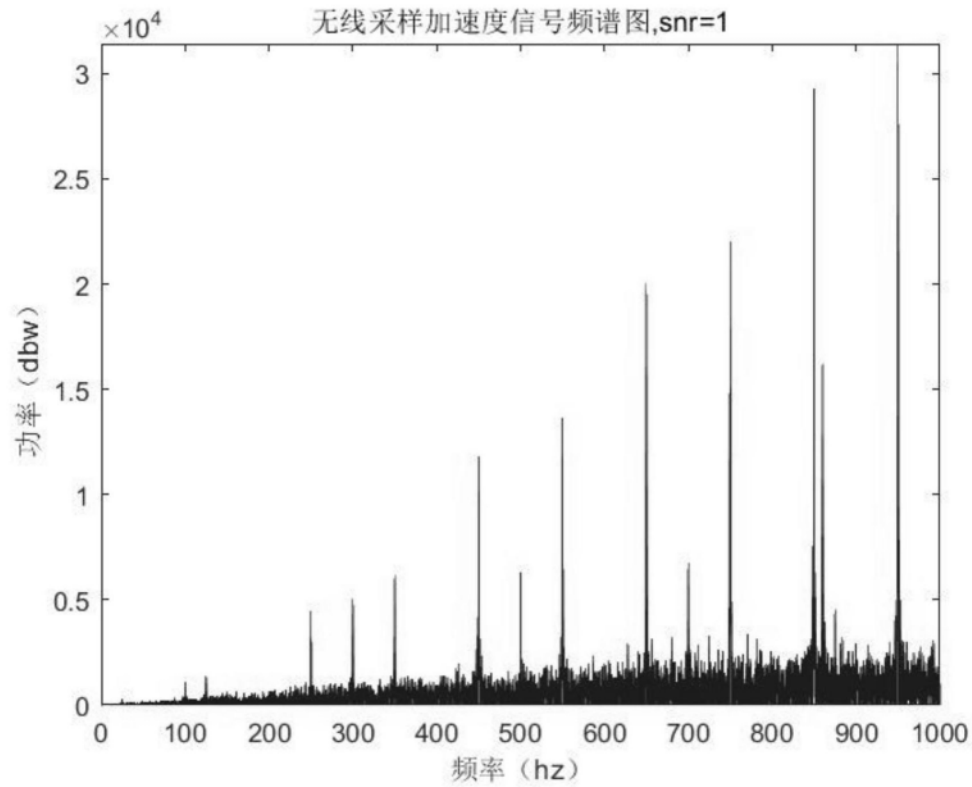


图5

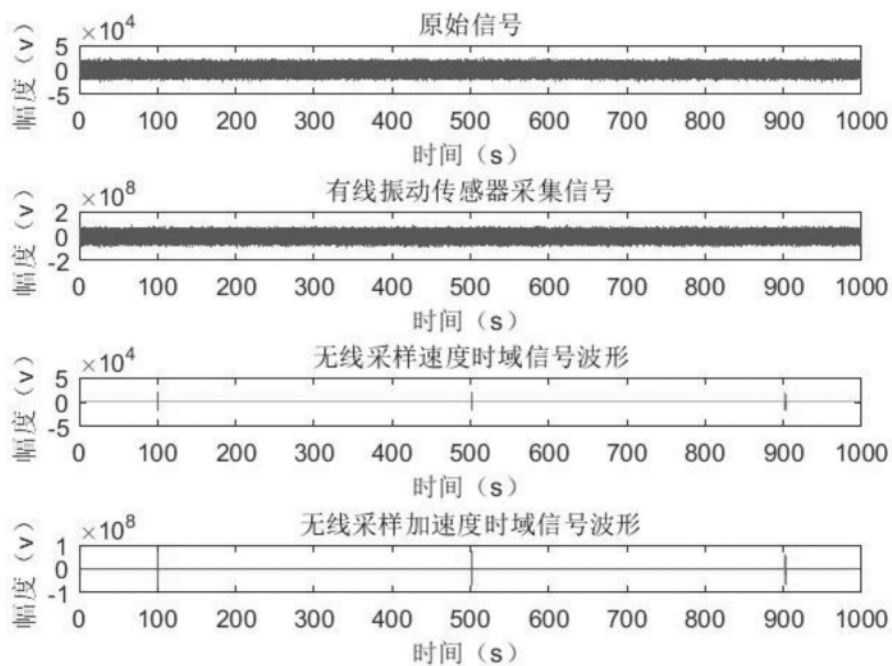


图6

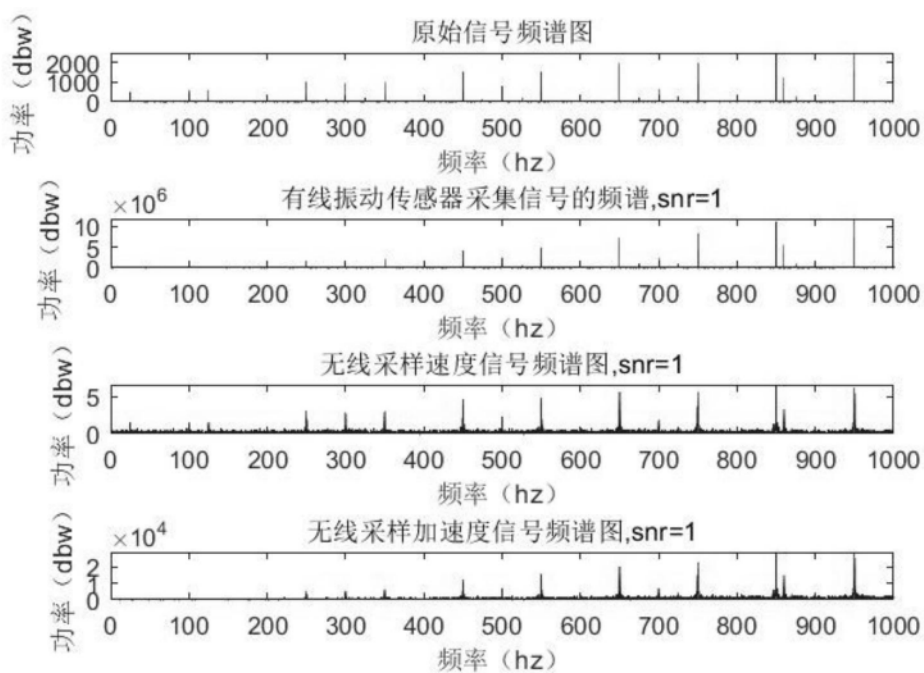


图7

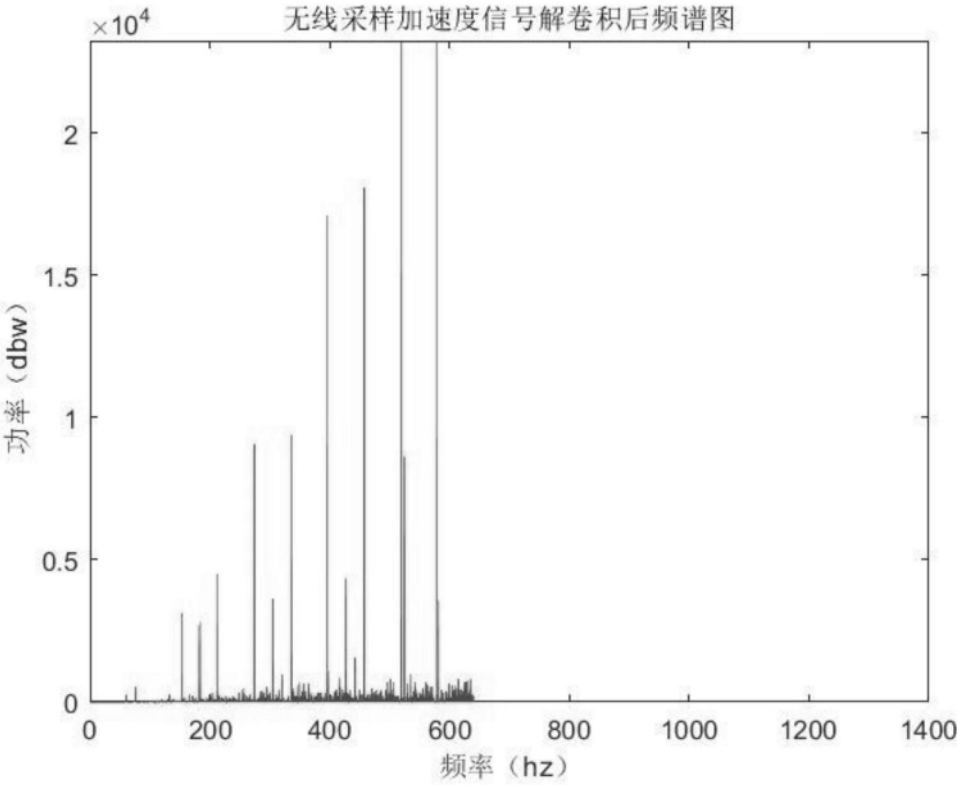


图8

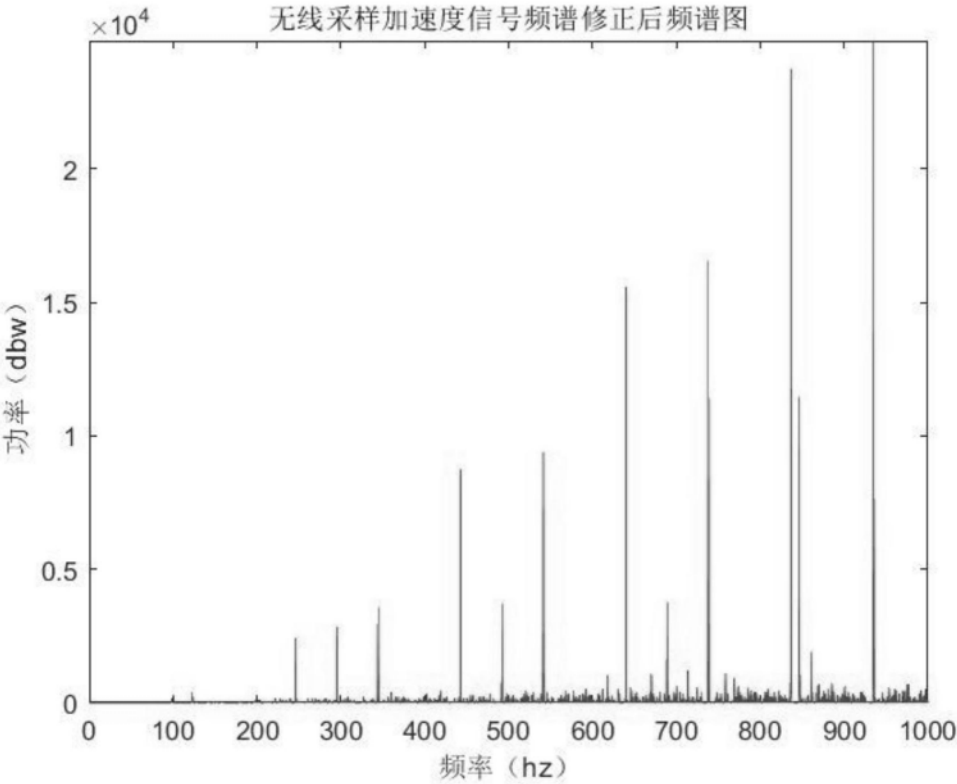


图9

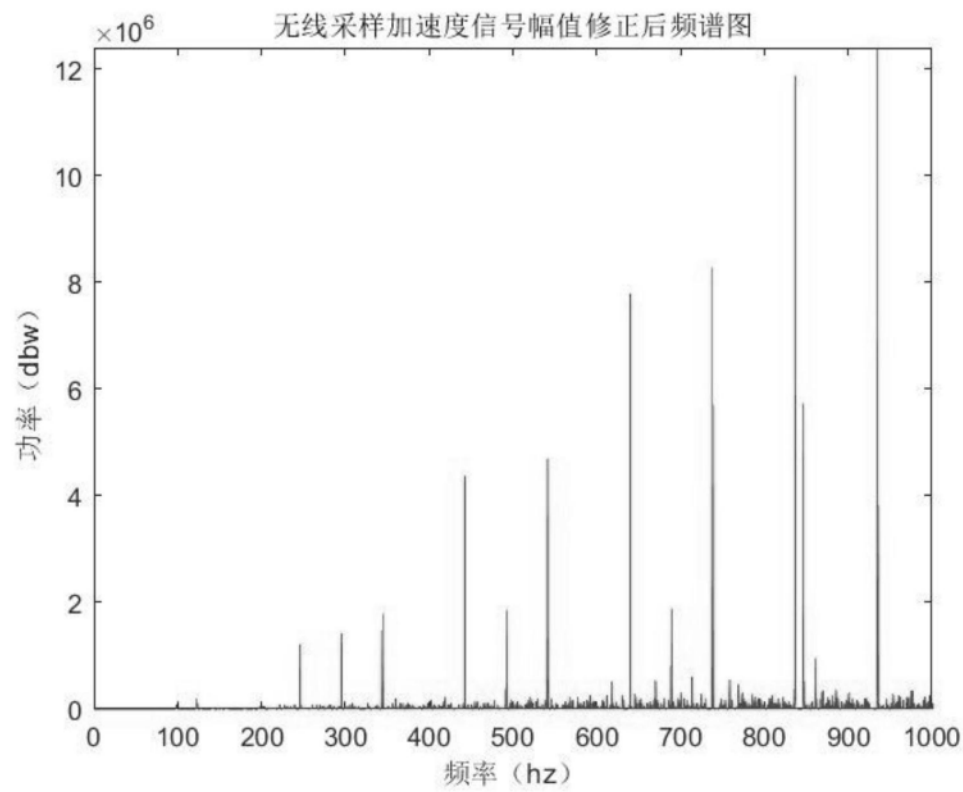


图10

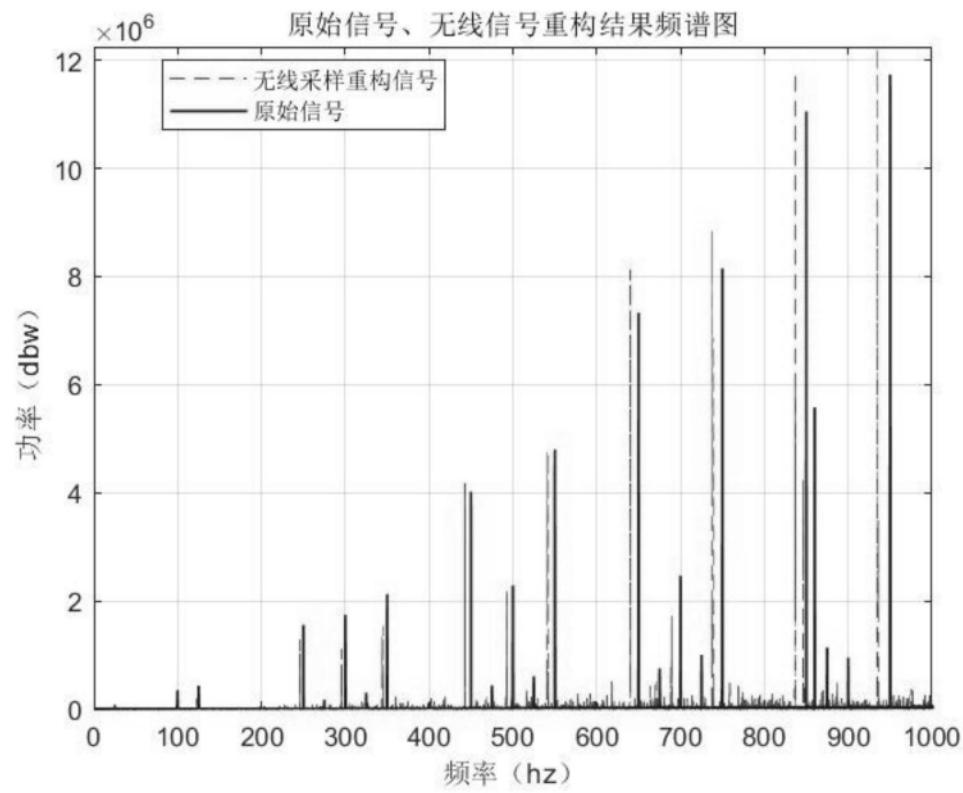


图11