



(21) 申请号 202110556552.0

(22) 申请日 2021.05.21

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113489552 A

(43) 申请公布日 2021.10.08

(73) 专利权人 杭州电子科技大学

地址 310000 浙江省杭州市下沙高教园区

(72) 发明人 赵知劲 李春

(74) 专利代理机构 浙江永鼎律师事务所 33233

专利代理师 陆永强 张晓英

(51) Int. Cl.

H04B 17/00 (2015.01)

H04B 1/713 (2011.01)

(56) 对比文件

CN 110336587 A, 2019.10.15

CN 109802736 A, 2019.05.24

CN 107407703 A, 2017.11.28

JP 2001244851 A, 2001.09.07

冯维婷等. “一种改进的跳频信号时频分析方法”. 《西安邮电大学学报》. 2018, 第23卷 (第3期),

审查员 王丹萍

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

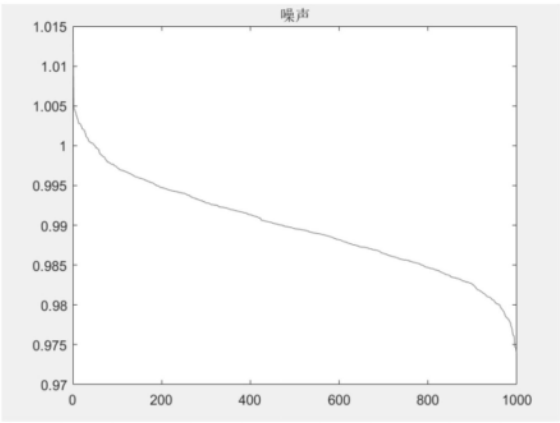
(54) 发明名称

一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法,该方法包括以下步骤:S1.根据跳频信号模型和定频信号模型确定接收机截获的观测信号是否存在跳频信号或者定频信号,若存在,则执行后续步骤;S2.获取观测信号的短时傅里叶变换 $STFT_x(m,n)$,并计算时频谱 $P_x(m,n)$;S3.将时频谱 $P_x(m,n)$ 的不同频率分量在所有时间点的功率进行累加,得到只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$;S4.在原时频谱 $P_x(m,n)$

上减去对应频率的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$,得到时频对消谱 $P_{sub1}(m,n)$;S5.对所得到的时频对消谱 $P_{sub1}(m,n)$ 进行归一化处理,并计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$ 和局部方差 T 。本方案将短时傅里叶变换、时频对消方法与方差特点结合起来对跳频信号进行检测,具有有效性和实用性等优点。



1. 一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 该方法包括以下步骤:

S1. 根据跳频信号模型和定频信号模型确定接收机截获的观测信号是否存在跳频信号或者定频信号, 若存在, 则执行后续步骤;

S2. 获取观测信号的短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$, 并计算时频谱 $P_x(m, n)$;

S3. 将时频谱 $P_x(m, n)$ 的不同频率分量在所有时间点的功率进行累加, 得到只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$;

S4. 在原时频谱 $P_x(m, n)$ 上减去对应频率的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$, 得到时频对消谱 $P_{sub1}(m, n)$;

S5. 对所得到的时频对消谱 $P_{sub1}(m, n)$ 进行归一化处理得到 $P_{sub}(m, n)$, 并计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$ 和局部方差 T , 然后根据跳频信号的检测规则识别跳频信号:

$$\begin{cases} T < \lambda & H_0 \\ T > \lambda & H_1 \end{cases}$$

其中 λ 为判决门限, T 为局部方差, H_0 表示检测结果为仅存在噪声, H_1 表示检测结果存在跳频信号。

2. 根据权利要求1所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S1中, 所述的跳频信号模型为公式(1)

$$s(t) = a(t) \times A_s \times \sum_{k=1}^K \text{rect}_{T_H}(t - kT_H) e^{j(2\pi f_k t + \varphi_k)} \quad (1)$$

其中, T 为总观测时间, $0 \leq t \leq T$, K 为观测时间内的总跳数, T_H 为跳周期, $a(t)$ 为基带复包络, A_s 为跳频信号的幅度, f_k 和 φ_k 分别表示第 k 跳的载波频率和相位,

$$\text{rect}_{T_H}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_H] \\ 0, & \text{others} \end{cases}.$$

3. 根据权利要求2所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S1中, 所述定频信号模型为公式(2)

$$J(t) = a(t) \times A_J \times e^{j(2\pi f_J t + \varphi_J)} \quad (2)$$

其中, A_J 、 f_J 和 φ_J 分别表示为定频信号的幅度、载波频率和相位。

4. 根据权利要求3所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S1中, 通过以下方式确定所述的观测信号:

对于给定的连续信号 $x(t)$, 其短时傅里叶变换表示为公式(3):

$$STFT_x(f, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h^*(\tau - t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3)$$

其中 $h(t)$ 是窗函数, $h^*(t)$ 是它的共轭形式;

令仅存在噪声的假设为 H_0 , 噪声中存在跳频信号和定频信号的假设为 H_1 , 得到接收机截获的观测信号为公式(4):

$$x(t) = \begin{cases} v(t) & H_0 \\ s(t) + J(t) + v(t) & H_1 \end{cases} \quad (4)$$

则观测信号的短时傅里叶变换表示为公式 (5) :

$$STFT_x(f, t) = \begin{cases} STFT_v(f, t) & H_0 \\ STFT_s(f, t) + STFT_j(f, t) + STFT_v(f, t) & H_1 \end{cases} \quad (5)$$

5. 根据权利要求4所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 在步骤S2中, 通过以下方式获取所述的短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$:

对观测信号 $x(t)$ 进行采样, 窗长为 P , 每次滑动一定的长度, 计算得到其短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$;

通过以下方式计算所述的时频谱 $P_x(m, n)$:

对观测信号的短时傅里叶变换进行取模值平方计算, 即令时频谱为 $P_x(m, n) = |STFT_x(m, n)|^2$, 其中, 频率维度 $m = 1, 2, \dots, M, M = P/2$, 时间维度 $n = 1, 2, \dots, N$ 。

6. 根据权利要求5所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S3中, 通过以下公式 (6) 获得只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$:

$$\bar{P}_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_x(m, n) \quad (6)。$$

7. 根据权利要求6所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S4中, 通过以下公式 (7) 得到时频对消谱 $P_{sub1}(m, n)$:

$$P_{sub1}(m, n) = P_x(m, n) - \bar{P}_x(m) \quad (7)。$$

8. 根据权利要求7所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S5中, 通过以下公式 (8) 对所得到的时频对消谱进行归一化处理, 以避免噪声方差对信号检测结果产生影响:

$$P_{sub}(m, n) = [P_x(m, n) - \bar{P}_x(m)] / \bar{P}_x(m) \quad (8)。$$

9. 根据权利要求8所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S5中, 通过以下公式 (9) 计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$:

$$d(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [P_{sub}(m, n)]^2 \quad (9)。$$

10. 根据权利要求9所述的一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法, 其特征在于, 步骤S5中, 通过以下公式 (10) 计算时频谱的局部方差 T :

$$T = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d(m) \quad (10)。$$

一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信中认知无线电领域,尤其是涉及一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法。

背景技术

[0002] 跳频是最常用的扩频方式之一,其工作原理是指收发双方传输信号的载波频率按照预定规律进行离散变化的通信方式,也就是说,通信中使用的载波频率受伪随机变化码的控制而随机跳变。从通信技术的实现方式来说,“跳频”是一种用码序列进行多频频移键控的通信方式,也是一种码控载频跳变的通信系统。

[0003] 跳频通信具有截获率低、抗干扰能力强和组网方便等特点,目前已成为军事通信的主导技术,所以跳频信号的检测是通信侦察的主要任务之一。现有的跳频信号检测方法大多是从跳频信号的频域出发,而从跳频信号的频域出发不能充分利用跳频信号的时频谱特点,检测性能也有待提高。也有一些关于功率谱对消方法的研究,但是检测概率不能在低信噪比下达到很好的效果,很难满足实际需求。

发明内容

[0004] 本发明的目的是针对上述问题,提供一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用了下列技术方案:

[0006] 一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法,该方法包括以下步骤:

[0007] S1.根据跳频信号模型和定频信号模型确定接收机截获的观测信号是否存在跳频信号或者定频信号,若存在,则执行后续步骤;

[0008] S2.获取观测信号的短时傅里叶变换 $STFT_x(m,n)$,并计算时频谱 $P_x(m,n)$;

[0009] S3.将时频谱 $P_x(m,n)$ 的不同频率分量在所有时间点的功率进行累加,得到只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$;

[0010] S4.在原时频谱 $P_x(m,n)$ 上减去对应频率的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$,得到时频对消谱 $P_{sub1}(m,n)$;

[0011] S5.对所得到的时频对消谱 $P_{sub1}(m,n)$ 进行归一化处理,并计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$ 和局部方差 T 。

[0012] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S1中,所述的跳频信号模型为公式(1)

$$[0013] \quad s(t) = a(t) \times A_s \times \sum_{k=1}^K \text{rect}_{T_H}(t - kT_H) e^{j(2\pi f_k t + \varphi_k)} \quad (1)$$

[0014] 其中, T 为总观测时间, $0 \leq t \leq T$, K 为观测时间内的总跳数, T_H 为跳周期, $a(t)$ 为基带复包络, A_s 为跳频信号的幅度, f_k 和 φ_k 分别表示第 k 跳的载波频率和相位,

$$[0015] \quad \text{rect}_{T_H}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_H] \\ 0, & \text{others} \end{cases}。$$

[0016] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S1中,所述定频信号模型为公式(2)

$$[0017] \quad J(t) = a(t) \times A_J \times e^{j(2\pi f_J t + \varphi_J)} \quad (2)$$

[0018] 其中, A_J 、 f_J 和 φ_J 分别表示为定频信号的幅度、载波频率和相位。

[0019] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S1中,通过以下方式确定所述的观测信号:

[0020] 对于给定的连续信号 $x(t)$, 其短时傅里叶变换表示为公式(3):

$$[0021] \quad \text{STFT}_x(f, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h^*(\tau - t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3)$$

[0022] 其中 $h(t)$ 是窗函数, $h^*(t)$ 是它的共轭形式;

[0023] 令仅存在噪声的假设为 H_0 , 噪声中存在跳频信号和定频信号的假设为 H_1 , 得到接收机截获的观测信号为公式(4):

$$[0024] \quad x(t) = \begin{cases} v(t) & H_0 \\ s(t) + J(t) + v(t) & H_1 \end{cases} \quad (4)$$

[0025] 则观测信号的短时傅里叶变换表示为公式(5):

$$[0026] \quad \text{STFT}_x(f, t) = \begin{cases} \text{STFT}_v(f, t) & H_0 \\ \text{STFT}_s(f, t) + \text{STFT}_J(f, t) + \text{STFT}_v(f, t) & H_1 \end{cases}。 \quad (5)$$

[0027] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,在步骤S2中,通过以下方式获取所述的短时傅里叶变换 $\text{STFT}_x(m, n)$:

[0028] 对观测信号 $x(t)$ 进行采样,窗长为 P ,每次滑动一定的长度,计算得到其短时傅里叶变换 $\text{STFT}_x(m, n)$;

[0029] 通过以下方式计算所述的时频谱 $P_x(m, n)$:

[0030] 对观测信号的短时傅里叶变换进行取模值平方计算,即令时频谱为 $P_x(m, n) = |\text{STFT}_x(m, n)|^2$, 其中,频率维度 $m = 1, 2, \dots, M$, $M = P/2$, 时间维度 $n = 1, 2, \dots, N$ 。

[0031] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S3中,通过以下公式(6)获得只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$:

$$[0032] \quad \bar{P}_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_x(m, n) \quad (6)。$$

[0033] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S4中,通过以下公式(7)得到时频对消谱 $P_{\text{sub1}}(m, n)$:

$$[0034] \quad P_{\text{sub1}}(m, n) = P_x(m, n) - \bar{P}_x(m) \quad (7)。$$

[0035] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中,步骤S5中,通过以下公式(8)对所得到的时频对消谱进行归一化处理,以避免噪声方差对信号检测结果产生影

响：

$$[0036] \quad P_{sub}(m,n) = [P_x(m,n) - \bar{P}_x(m)] / \bar{P}_x(m) \quad (8)。$$

[0037] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中，步骤S5中，通过以下公式(9)计算每个频点时频谱的方差d(m)：

$$[0038] \quad d(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [P_{sub}(m,n)]^2 \quad (9)。$$

[0039] 在上述的基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法中，步骤S5中，通过以下公式(10)计算时频谱的局部方差T：

$$[0040] \quad T = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d(m) \quad (10)。$$

[0041] 本发明的优点在于：

[0042] 1、本文提出了一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法，将短时傅里叶变换、时频对消方法与方差特点结合起来，具有有效性和实用性等优点。

[0043] 2、提出改进的时频对消算法，减少了定频信号对跳频信号检测结果的影响。

[0044] 3、充分利用噪声、定频信号和跳频信号的对消时频谱局部方差的差异性，使得跳频信号在低信噪比下仍能获得较高的识别率。

附图说明

[0045] 图1为噪声对消时频谱局部方差的差异性示图；

[0046] 图2为噪声+跳频信号对消时频谱局部方差的差异性示图；

[0047] 图3为噪声+定频信号对消时频谱局部方差的差异性示图；

[0048] 图4为噪声时频谱；

[0049] 图5为跳频信号时频谱。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细的说明。

[0051] 如图1和图3所示，本方案提出一种基于时频谱矩阵局部方差的跳频信号检测方法，该方法包括以下步骤：

[0052] S1. 根据跳频信号模型和定频信号模型确定接收机截获的观测信号是否存在跳频信号或者定频信号，若存在，则执行后续步骤；

[0053] 其中跳频信号模型为公式(1)：

$$[0054] \quad s(t) = a(t) \times A_s \times \sum_{k=1}^K \text{rect}_{T_H}(t - kT_H) e^{j(2\pi f_k t + \varphi_k)} \quad (1)$$

[0055] 其中，T为总观测时间， $0 \leq t \leq T$ ，K为观测时间内的总跳数， T_H 为跳周期，a(t)为基带复包络， A_s 为跳频信号的幅度， f_k 和 φ_k 分别表示第k跳的载波频率和相位，

$$[0056] \quad \text{rect}_{T_H}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_H] \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

[0057] 定频信号模型为公式 (2) :

$$[0058] \quad J(t) = a(t) \times A_J \times e^{j(2\pi f_J t + \varphi_J)} \quad (2)$$

[0059] 其中, A_J 、 f_J 和 φ_J 分别表示为定频信号的幅度、载波频率和相位。

[0060] 对于给定的连续信号 $x(t)$,其短时傅里叶变换的一般表达式为公式 (3) :

$$[0061] \quad STFT_x(f, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h^*(\tau - t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3)$$

[0062] 其中 $h(t)$ 是窗函数, $h^*(t)$ 是它的共轭形式;

[0063] 令仅存在噪声的假设为 H_0 ,噪声中存在跳频信号和定频信号的假设为 H_1 ,得到接收机截获的观测信号为公式 (4) :

$$[0064] \quad x(t) = \begin{cases} v(t) & H_0 \\ s(t) + J(t) + v(t) & H_1 \end{cases} \quad (4)$$

[0065] 则观测信号的短时傅里叶变换表示为公式 (5),将观测信号分为了噪声和信号,将噪声、跳频和定频信号分别用各自的短时傅里叶代替:

$$[0066] \quad STFT_x(f, t) = \begin{cases} STFT_v(f, t) & H_0 \\ STFT_s(f, t) + STFT_J(f, t) + STFT_v(f, t) & H_1 \end{cases} \quad (5)$$

[0067] S2. 获取观测信号的短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$,并计算时频谱 $P_x(m, n)$;

[0068] 具体通过以下方式获取短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$:

[0069] 对观测信号 $x(t)$ 进行采样,窗长为 P ,每次滑动一定的长度,计算得到其短时傅里叶变换 $STFT_x(m, n)$,

[0070] 通过以下方式计算时频谱 $P_x(m, n)$:

[0071] 对观测信号的短时傅里叶变换进行取模值平方计算,即令时频谱为 $P_x(m, n) = |STFT_x(m, n)|^2$,其中,频率维度 $m=1, 2, \dots, M, M=P/2$,时间维度 $n=1, 2, \dots, N$ 。

[0072] 通过该步骤S2获取观测信号的短时傅里叶变换,最终目的是得到信号和噪声的时频谱,通过比较时频谱的差异,进行后续操作,如图4和图5所示,噪声的时频谱在整个 $M \times N$ 维平面上均匀分布;跳频信号在不同时间段、不同频点上时频谱不为0;因此可得跳频信号时频谱的局部方差最大,本方案正是基于该原理进行的跳频信号检测。当有定频干扰信号存在时,它在某个频率上存在时频谱不为0,其他为0。所以首先需要降低定频信号对跳频信号检测的影响,本方案具体采用步骤S3, S4消除定频信号时频谱分量。

[0073] S3. 将时频谱 $P_x(m, n)$ 的不同频率分量在所有时间点的功率进行累加,得到只与频率相关的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$,具体如公式 (6)

$$[0074] \quad \bar{P}_x(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_x(m, n) \quad (6)$$

[0075] S4. 在原时频谱 $P_x(m, n)$ 上减去对应频率的平均功率谱 $\bar{P}_x(m)$,得到时频对消谱 $P_{sub1}(m, n)$ 具体如公式 (7),

$$[0076] \quad P_{sub1}(m, n) = P_x(m, n) - \bar{P}_x(m) \quad (7)$$

[0077] 由于噪声与跳频信号的差异,又因为定频信号在某个频率上存在时频谱不为0,其

他为0,所以通过S4的时频对消方法,消去定频信号的影响,最终达到检测出跳频信号的作用。

[0078] S5.对所得到的时频对消谱 $P_{\text{subl}}(m,n)$ 进行归一化处理,并计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$ 和局部方差 T 。具体通过公式(8)对时频对消谱进行归一化处理的能够避免噪声方差对信号检测结果产生影响。

$$[0079] \quad P_{\text{sub}}(m,n) = [P_x(m,n) - \bar{P}_x(m)] / \bar{P}_x(m) \quad (8)。$$

[0080] 具体通过以下公式(9)计算每个频点时频谱的方差 $d(m)$ ：

$$[0081] \quad d(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [P_{\text{sub}}(m,n)]^2 \quad (9)。$$

[0082] 通过公式(10)计算时频谱的局部方差 T ：

$$[0083] \quad T = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M d(m) \quad (10)。$$

[0084] 通过步骤S5去除噪声方差,目的是为了消除噪声方差对信号检测的影响。最终得到的局部方差 T ,是为了可以体现出噪声与信号的差异性,利用差异性,最终得到跳频信号的检测规则：

$$\begin{cases} T < \lambda & H_0 \\ T > \lambda & H_1 \end{cases}$$

[0085] 其中 λ 为判决门限,需根据纽曼皮尔逊准则确定,即给定虚警概率,通过蒙特卡洛仿真得到门限。

[0086] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

[0087] 尽管本文较多地使用了跳频信号、定频信号、观测信号、短时傅里叶变换、时频谱、平均功率谱、时频对消谱等术语,但并不排除使用其它术语的可能性。使用这些术语仅仅是为了方便地描述和解释本发明的本质;把它们解释成任何一种附加的限制都是与本发明精神相违背的。

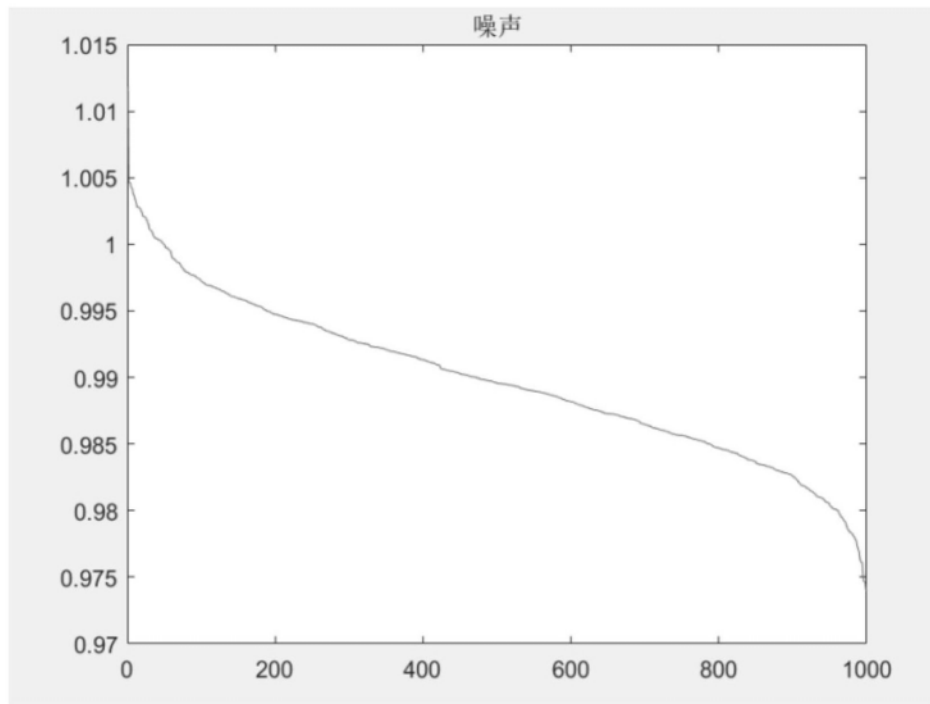


图1

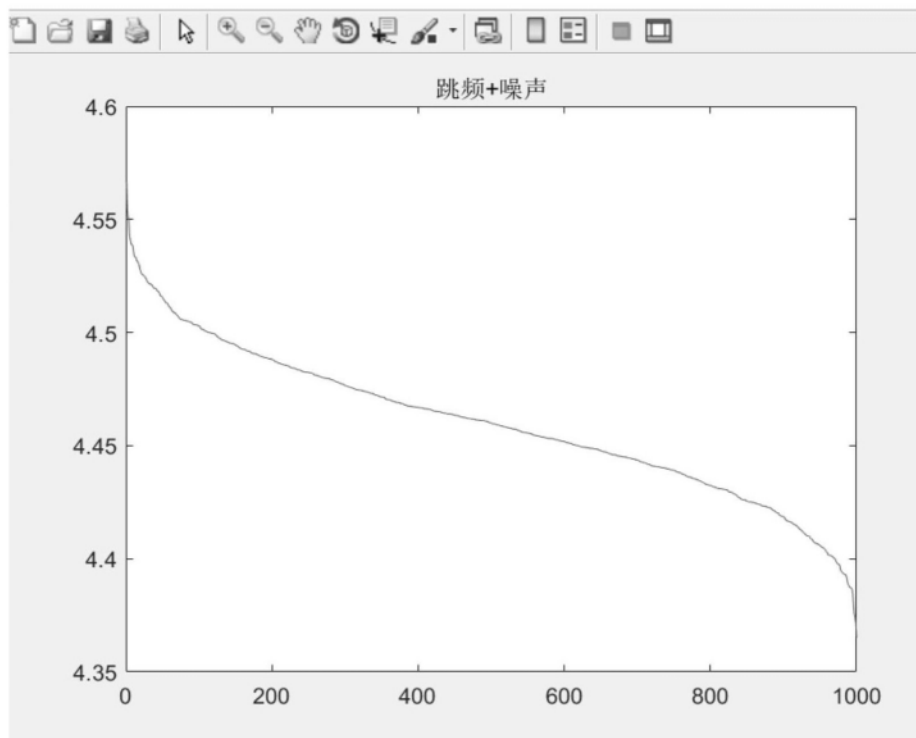


图2

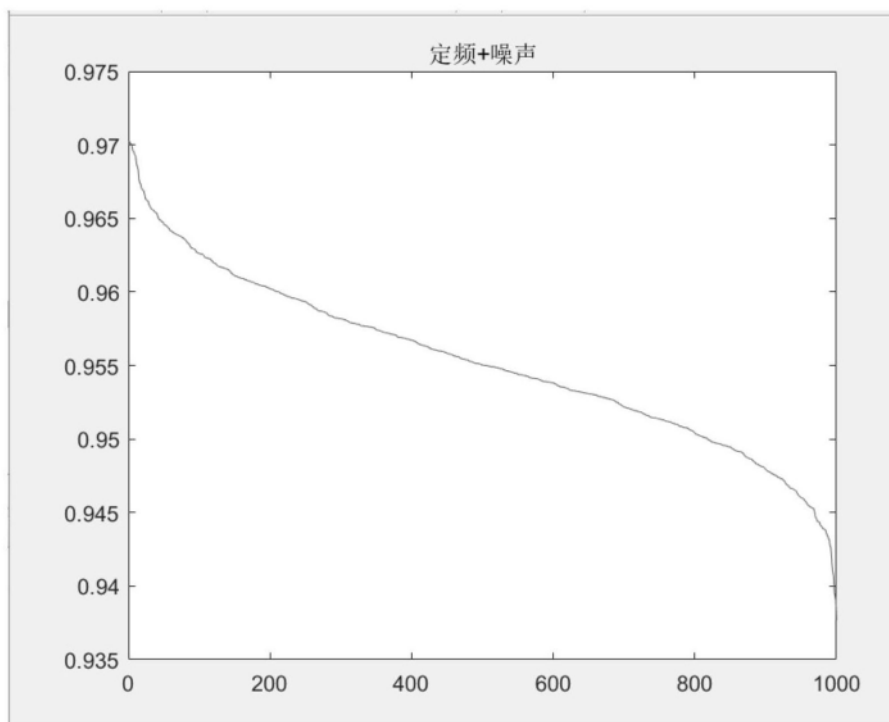


图3

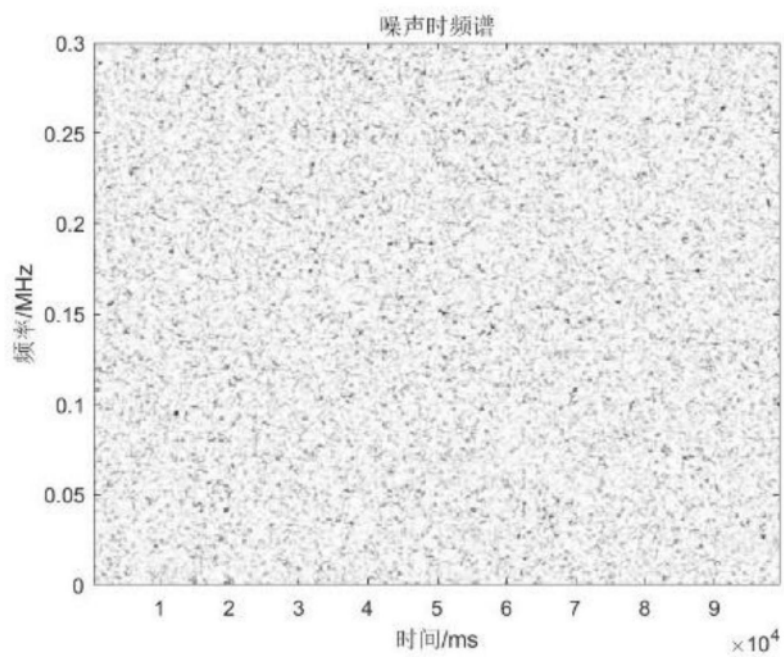


图4

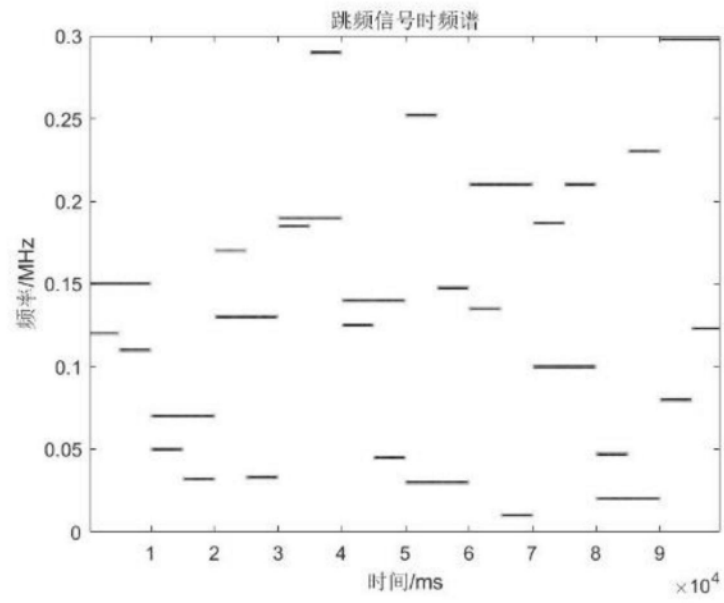


图5