



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107423692 A

(43)申请公布日 2017. 12. 01

(21)申请号 201710528466.2

(22)申请日 2017.07.01

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫
200号

(72)发明人 董伟 邢宗义

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 薛云燕

(51) Int. Cl.

G06K 9/00(2006.01)

G01B 17/04(2006.01)

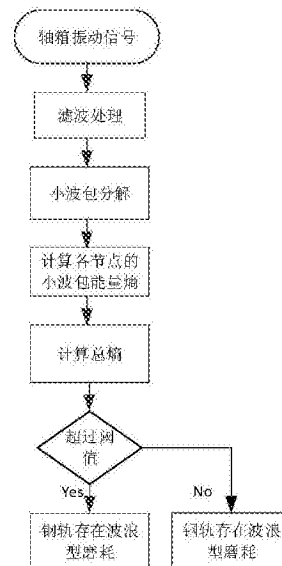
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法。该方法包括了以下步骤：首先通过安装在车体轴箱上的振动加速度传感器，获得轴箱的垂向振动加速度信号，并通过低通滤波器对采集的振动信号进行滤波处理，保留轨道表面凹陷相关信号；然后对滤波后的轴箱垂向振动信号进行j层小波包能量分解，将信号分解成2j个包含不同频率带的子节点信号；接着计算分解后信号的小波包能量；最后计算各个节点的小波包能量熵和总熵，通过对比总熵和阈值来判断轨道表面是否存在波磨故障。本发明结构简单、操作方便，能够快速精准的检测钢轨波磨故障。



1. 一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,在车体的轴箱上安装振动加速度传感器,获得轴箱的垂向振动加速度信号和车速;

步骤2,采用低通滤波器对采集的垂向振动加速度信号进行滤波处理;

步骤3,对滤波后的轴箱垂向振动信号进行j层小波包分解,将信号分解成 2^j 个包含不同频率带的子节点信息;

步骤4,计算分解后信号的小波包能量;

步骤5,计算各节点的小波包能量熵;

步骤6,计算分解信号的总熵并和阈值比较,若总熵超出该阈值,则判断钢轨存在波浪型磨耗,否则不存在波浪型磨耗。

2. 根据权利要求1所述的基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,其特征在于,步骤2所述的低通滤波器为切比雪夫带通滤波器,导通频率为[80Hz,700Hz]。

3. 根据权利要求1所述的基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,其特征在于,步骤3所述小波包分解选用的小波基函数为Daubechise小波,即dbN小波,N为阶数, Daubechise的具体表达式为:

$$p(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k \quad (1)$$

式中, C_k^{N-1+k} 为二项式系数。

4. 根据权利要求1所述的基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,其特征在于,步骤4所述的计算分解后信号的小波包能量,具体步骤如下:

(4.1) 设定步骤3得到的高低频序列的小波包重构系数为 S_{jk} , $k=0,1,\dots,2^{j-1}$;

(4.2) 计算每个子序列的小波包能量值 E_{jk} , $k=0,1,\dots,2^{j-1}$;

$$E_{jk} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |A_i(t)|^2 dt \quad (2)$$

式中, $A_i(t)$ 为该节点处的幅值最大值, t_{i-1} 和 t_i 分别是该节点的起止时间;

(4.3) 计算总能量值E:

$$E = \left(\sum_{k=0}^{2^j-1} |E_{jk}|^{1/2} \right)^2 \quad (3)$$

5. 根据权利要求1所述的基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,其特征在于,步骤5所述的计算各节点的小波包能量熵,具体步骤为:

(5.1) 计算每个子节点能量 E_{jk} 相对于总能量E的概率 p_{jk} :

$$p_{jk}(i) = \frac{E_{jk}}{E} \quad (4)$$

式中, $p_{jk}(i)$ 为第j层分解第k子节点相对于总能量的概率;

(5.2) 求取小波包能量熵测度值,计算公式如下

$$H_{jk} = - \sum_{i=1}^N p_{jk}(i) \log p_{jk}(i) \quad (5)$$

式中, H_{jk} 为信号j层分解后的第k个小波包能量熵测度。

一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及铁路轨道状态检测技术领域,特别是一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法。

背景技术

[0002] 轨道作为承载列车运行的关键部件,其状态密切影响着列车的安全运行。在日常的运行过程中,轨道不断受到轮对的冲击和压迫,会出现横向和垂向的形变,严重的形变会对列车的安全运行造成巨大的危害,所以要求能够及时检测出钢轨波磨故障。

[0003] 列车经过轨道不平顺线路时将引起列车激振,而轴箱与车体刚性连接,因此轴箱上的振动信号将保留轨道故障信息。自上世纪70年代以来,国外很多国家就陆续建立了完善的轨道检测体系,目前地铁线路故障检测大体上可分为静态检测技术和动态检测技术两种。静态检测技术是指轨道在没有列车载荷情况下,使用道尺、弦线、线路检查仪等检测工具或设备对轨道进行检测。动态检测技术是指在负载情况下对轨道进行状态检测,目前主要的检测方法有:专用轨检车检测以及基于运营车辆的车载式线路检查仪。目前我国自主研发的GJ-3、GJ-4和GJ-5型轨检车的。GJ-5型轨检车采用较为先进的机器视觉测量方法,同GJ-3及GJ-4相比其不管在检测项目和检测精度上都有很大提高,且技术实力处于当今世界领先水平。基于运营车辆的轨道状况检测实际上就是对各种车载信号的分析,目前国内学者多基于振动分析方法或机器视觉的方式进行相应故障检测技术研究。目前我国现有的机车车载式线路检查仪主要有CGD-II型线路检查仪,但是成本较高、需地面单元配合、检修效率不高。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种结构简单、操作方便、成本低、效率高的基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法。

[0005] 实现本发明目的的技术解决方案为:一种基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤1,在车体的轴箱上安装振动加速度传感器,获得轴箱的垂向振动加速度信号和车速;

[0007] 步骤2,采用低通滤波器对采集的垂向振动加速度信号进行滤波处理;

[0008] 步骤3,对滤波后的轴箱垂向振动信号进行j层小波包分解,将信号分解成 2^j 个包含不同频率带的子节点信息;

[0009] 步骤4,计算分解后信号的小波包能量;

[0010] 步骤5,计算各节点的小波包能量熵;

[0011] 步骤6,计算分解信号的总熵并和阈值比较,若总熵超出该阈值,则判断钢轨存在波浪型磨耗,否则不存在波浪型磨耗。

[0012] 作为一种具体方案,步骤2所述的低通滤波器为切比雪夫带通滤波器,导通频率为

[80Hz, 700Hz]。

[0013] 作为一种具体方案,步骤3所述小波包分解选用的小波基函数为Daubechise小波,即dbN小波,N为阶数,Daubechise的具体表达式为:

$$[0014] \quad p(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k \quad (1)$$

[0015] 式中, C_k^{N-1+k} 为二项式系数。

[0016] 作为一种具体方案,步骤4所述的计算分解后信号的小波包能量,具体步骤如下:

[0017] (4.1) 设定步骤3得到的高低频序列的小波包重构系数为 S_{jk} , $k=0, 1, \dots, 2^{j-1}$;

[0018] (4.2) 计算每个子序列的小波包能量值 E_{jk} , $k=0, 1, \dots, 2^{j-1}$:

$$[0019] \quad E_{jk} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |A_i(t)|^2 dt \quad (2)$$

[0020] 式中, $A_i(t)$ 为该节点处的幅值最大值, t_{i-1} 和 t_i 分别是该节点的起止时间;

[0021] (4.3) 计算总能量值 E :

$$[0022] \quad E = \left(\sum_{k=0}^{2^j-1} |E_{jk}|^{1/2} \right)^2 \quad (3)$$

[0023] 作为一种具体方案,步骤5所述的计算各节点的小波包能量熵,具体步骤为:

[0024] (5.1) 计算每个子节点能量 E_{jk} 相对于总能量 E 的概率 p_{jk} :

$$[0025] \quad p_{jk}(i) = \frac{E_{jk}}{E} \quad (4)$$

[0026] 式中, $p_{jk}(i)$ 为第 j 层分解第 k 子节点相对于总能量的概率;

[0027] (5.2) 求取小波包能量熵测度值,计算公式如下

$$[0028] \quad H_{jk} = - \sum_{i=1}^N p_{jk}(i) \log p_{jk}(i) \quad (5)$$

[0029] 式中, H_{jk} 为信号 j 层分解后的第 k 个小波包能量熵测度。

[0030] 本发明与现有技术相比,其显著优点是:(1)检测方式基于运营车辆的在线检测,实时性好、检测方便、成本低,避免了轨检车的运行、维护和调度成本;(2)振动传感器安装简单方便,能适应现场恶劣的工作环境;(3)利用振动加速度传感器在轴箱上采集到的振动信号,通过对振动信号进行小波包能量熵分析,实现对钢轨波浪型磨损的检测,具有检测速度快,适应范围广的优点。

附图说明

[0031] 图1为本发明基于小波包能量熵的钢轨波磨检测方法的流程图。

[0032] 图2为本发明中传感器安装示意图。

[0033] 图3为切比雪夫带通滤波器通带曲线图。

[0034] 图4为实施例中采集到的轴箱垂向振动信号示意图。

[0035] 图5为实施例中降频后的700~900m轴箱振动时域波形图。

[0036] 图6为实施例中四层小波包分解子节点信号图。

[0037] 图7为实施例中700~900m四层小波包能量及能量熵的示意图,其中(a)为700~

900m四层小波包分解能量示意图, (b) 为700~900m四层小波包分解能量熵示意图。

具体实施方式

[0038] 下面图结合附图及具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0039] 结合图1, 本发明基于小波包能量熵的钢轨波磨故障检测方法, 具体包含以下步骤:

[0040] 步骤1, 如图2所示在车体的轴箱上安装振动加速度传感器, 获得轴箱的垂向振动加速度信号。

[0041] 步骤2, 采用低通滤波器对采集的振动信号进行滤波处理, 保留与轨道表面凹陷有关的信息, 去除噪声等高频干扰。由于轨道波磨波长多在30-250mm之间, 而城轨列车的运行速度不超过80km/h, 因此带通滤波器的通带区间设为[80Hz, 700Hz], 如图3所示。

[0042] 步骤3, 对滤波后的轴箱垂向振动信号进行j层小波包分解, 使信号分解成 2^j 个包含不同频率带的子节点信息。所述选用的小波基函数为Daubechise小波, 又称dbN小波, N为阶数, Daubechise的具体表达式为:

$$[0043] \quad p(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k \quad (1)$$

[0044] 式中, C_k^{N-1+k} 为二项式系数。

[0045] 步骤4, 计算分解后信号的小波包能量, 包括各节点的小波包能量和信号总的能量值, 具体步骤如下

[0046] (4.1) 将步骤3得到的高低频序列的小波包重构系数表示为 $S_{jk}, k=0, 1, \dots, 2^{j-1}$ 。

[0047] (4.2) 计算每个子序列的小波包能量值 $E_{jk}, k=0, 1, \dots, 2^{j-1}$:

$$[0048] \quad E_{jk} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |A_i(t)|^2 dt \quad (2)$$

[0049] 式中, $A_i(t)$ 为该节点处的幅值最大值, t_{i-1} 和 t_i 分别是该节点的起止时间;

[0050] (4.3) 计算总能量值E:

$$[0051] \quad E = \left(\sum_{k=0}^{2^j-1} |E_{jk}|^{1/2} \right)^2 \quad (3)$$

[0052] 步骤5, 计算各节点的小波包能量熵, 具体步骤如下:

[0053] (5.1) 计算每个子节点能量 E_{jk} 相对于总能量E的概率 p_{jk} :

$$[0054] \quad p_{jk}(i) = \frac{E_{jk}}{E} \quad (4)$$

[0055] 式中, $p_{jk}(i)$ 为第j层分解第k子节点相对于总能量的概率;

[0056] (5.2) 求取小波包能量熵测度值, 计算公式如下

$$[0057] \quad H_{jk} = - \sum_{i=1}^N p_{jk}(i) \log p_{jk}(i) \quad (5)$$

[0058] 式中, H_{jk} 为信号j层分解后的第k个小波包能量熵测度。

[0059] 步骤6, 计算分解信号的总熵并和阈值比较, 若总熵超出该阈值, 则判断该段轨道轴箱振动信号包含轨道波磨故障, 相反则不存在轨道波磨故障。该阈值需要根据实际情况如列车的运行状态等进行调整。

[0060] 下面结合具体实施例,对本发明作进一步详细说明。

[0061] 实施例1

[0062] 本实施例采用某地铁公司的某型列车轴箱垂向振动信号进行采集,实验线路为某线路两站点之间的线路,线路长度为1.2km,运行平均车速为55km/h,采样频率为10kHz,采集的轴箱垂向振动信号时域波形图如图4。

[0063] 首先采用切比雪夫低通滤波器对该段振动信号进行滤波处理,滤除无用的杂波信息。为减少计算量,选取图4中700-900m的一段数据进行分析,为方便后续进行小波包分解,对700-900m段数据进行10倍降频处理,降频后的700-900轴箱振动时域波形如图5所示。

[0064] 对选择的轴箱振动信号进行四层小波包分解,分解后的小波包各节点信号如图6所示。图中s0为原始轴箱振动信号,s040~s0415为经过四层小波包分解后的相应子节点小波包系数图。根据步骤3、4、5依次计算分解后的16个子节点进行小波包能量和小波包能量熵计算,计算结果如图7所示,其中(a)为700~900m四层小波包分解能量示意图,(b)为700~900m四层小波包分解能量熵示意图。对图7(b)的小波包能量熵进行求和计算,得到700~900m处的小波包能量熵值为2.3752,而现场该段轨道线路两级阈值分别为1.65和1.90,因此判断该处轨道存在波磨故障。

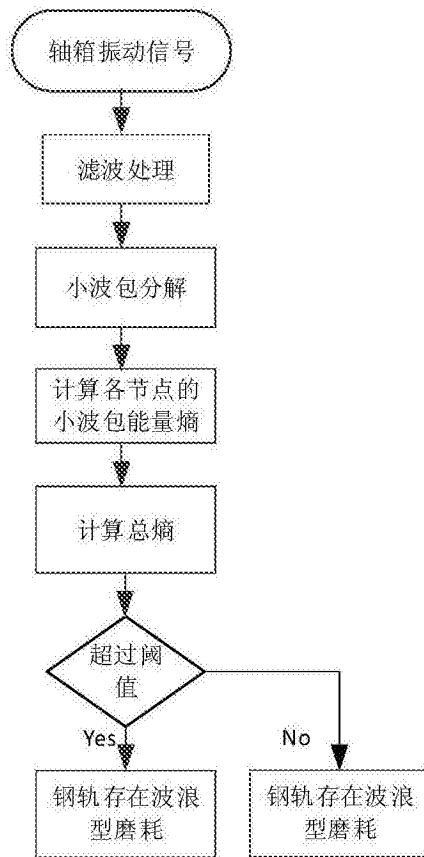


图1

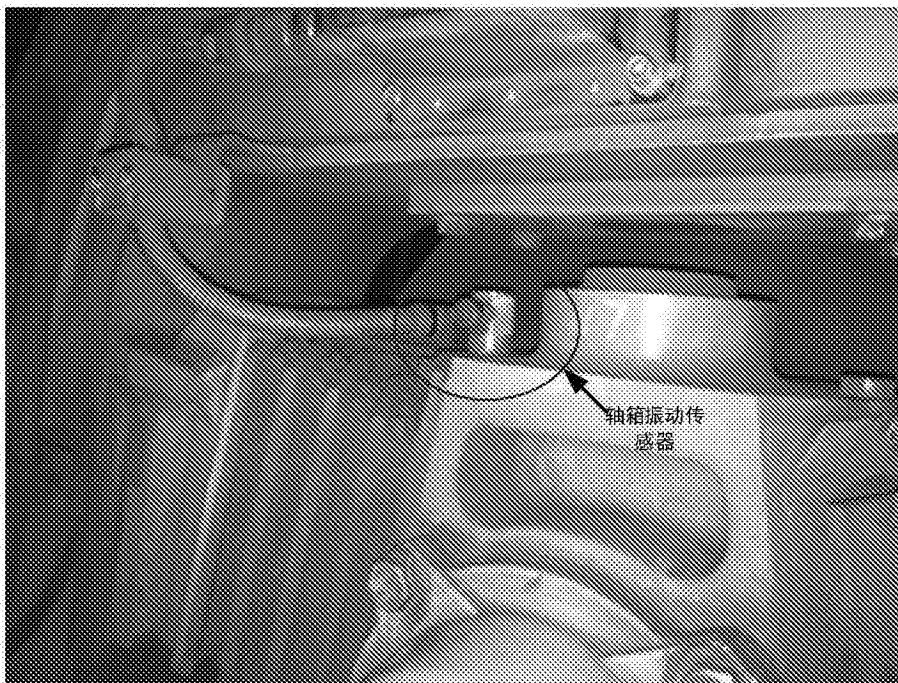


图2

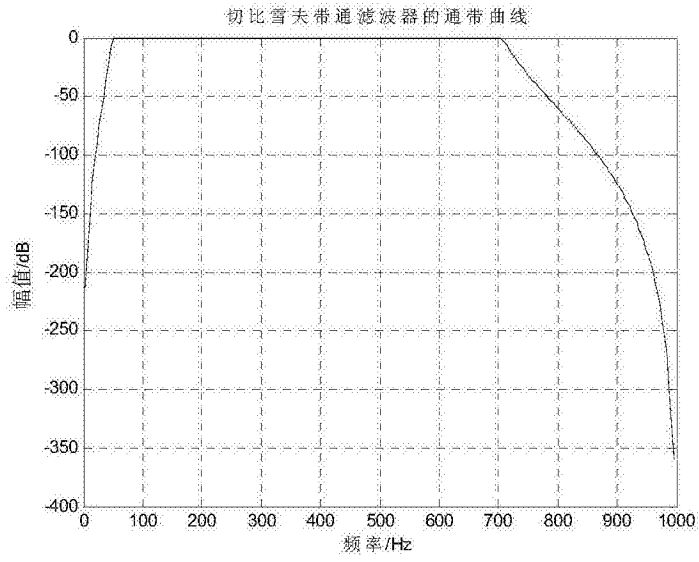


图3

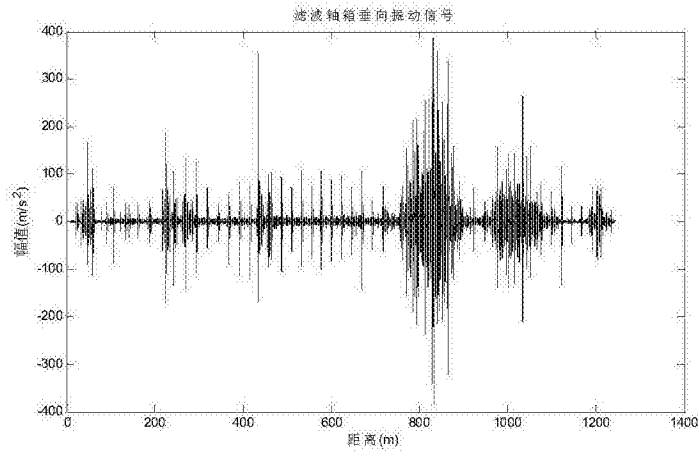


图4

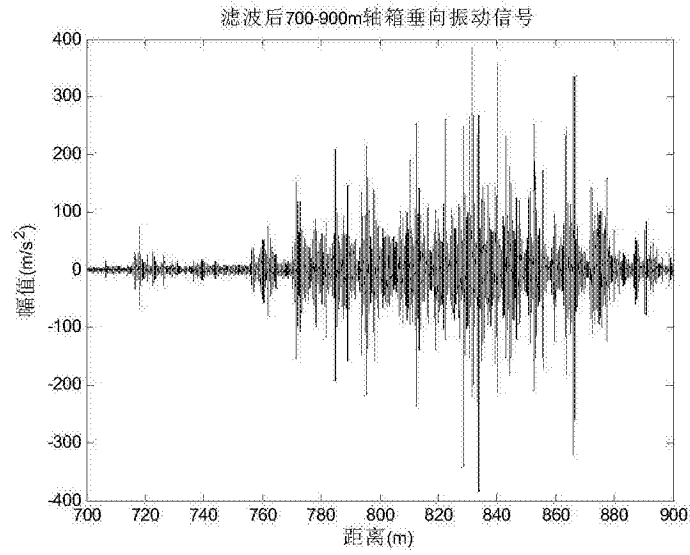


图5

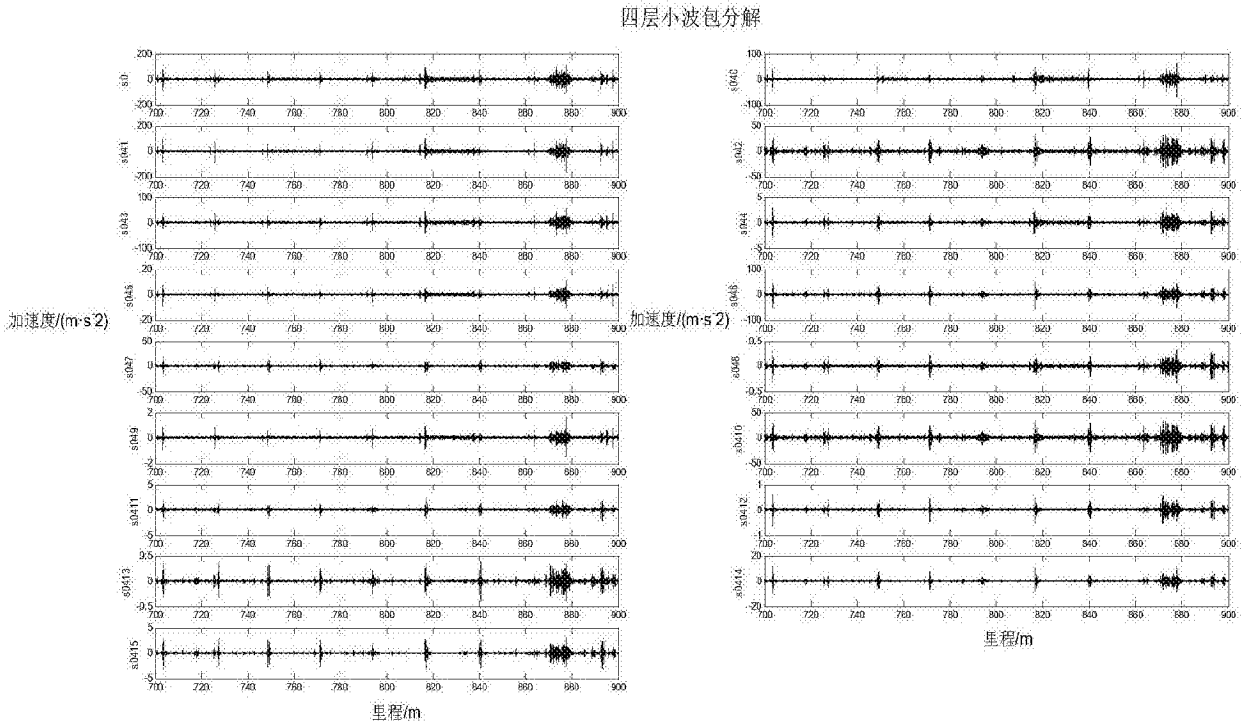
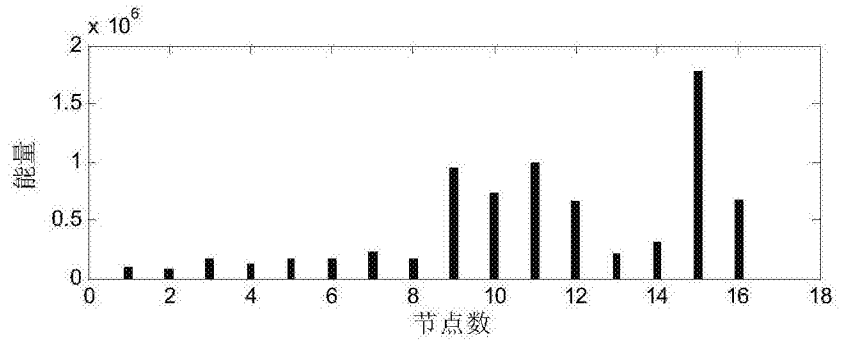
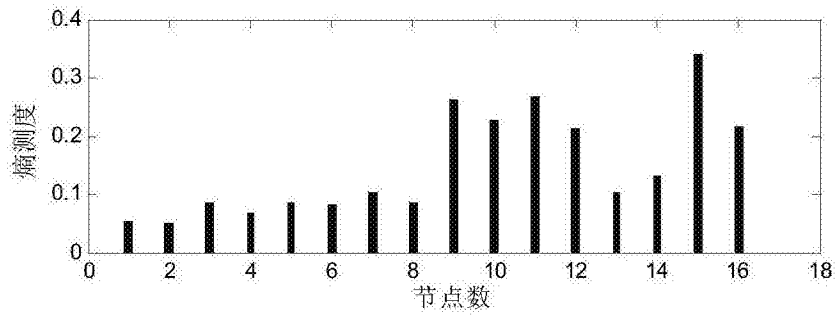


图6



(a)



(b)

图7