



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106970265 B

(45)授权公告日 2019.06.14

(21)申请号 201710197763.3

(22)申请日 2017.03.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106970265 A

(43)申请公布日 2017.07.21

(73)专利权人 湖南工业大学
地址 412007 湖南省株洲市天元区泰山西
路88号

(72)发明人 易吉良 周曼 李中启 李建军
谷志茹 杨晓芳 周伟赫 赖一雄

(51)Int.Cl.
G01R 23/16(2006.01)

审查员 胥志激

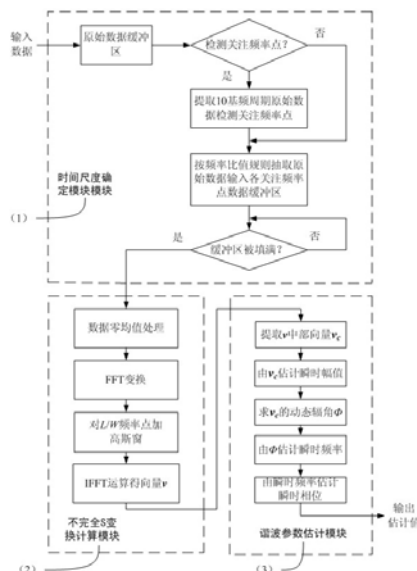
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法

(57)摘要

本发明公开了一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,包括时间尺度确定模块(1)、不完全S变换计算模块(2)、谐波参数估计模块(3)等3个功能模块;时间尺度确定模块(1)根据频率比值规则确定各关注频率点计算的数据抽样比例,待抽样数据的点数达到设定值时,便输出至不完全S变换计算模块(2)对该频率点进行不完全S变换计算,谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)得到的复数向量估计谐波的瞬时幅值、相位和频率等参数。本发明为宽频域信号各频率分量的实时分析提供了新的方式。



CN 106970265 B

1. 一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,该方法使用时间尺度确定模块(1)、不完全S变换计算模块(2)、谐波参数估计模块(3)共3个依次连接的功能模块,其特征在于,时间尺度确定模块(1)用于确定各关注频率点计算的数据抽样比例,并将抽样的数据分别存入分配给每个频率点的统一长度的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据关注频率点序号从大到小排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算,谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)得到的复数向量估计谐波的瞬时幅值、相位和频率参数。

2. 根据权利要求1所述的一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其时间尺度确定模块(1)根据频率比值规则确定各关注频率点计算的数据抽样比例,其特征在于,所述频率比值规则采用如下计算步骤:

A1: 采集10个基频周期数据做FFT运算,根据FFT频谱的功率谱包络动态测度识别数据的关注频率点,关注频率点的个数记为M,M个关注频率点的序号从小到大依次为 n_1, n_2, \dots, n_M ,进入步骤A2;

A2: 根据下式计算各关注频率点对应的频率:

$$f_i = n_i / (NT), i = 1, 2, \dots, M$$

式中N为数据的总点数,T为采样周期,NT为数据的总时长,进入步骤A3;

A3: 给每个关注频率点分配1个长度为 $L = W \times V$ 的缓冲区,W为抽取系数,V为数据 f_i 频率分量的分析周波数,计算时W取5~10之间的整数,V取大于3的整数,进入步骤A4;

A4: 计算采样频率 f_s 与关注频率点对应频率 f_i 的比值并取整:

$$I_i = \text{int}[f_s / (W \times f_i)], i = 1, 2, \dots, M$$

式中 $\text{int}[\]$ 表示四舍五入取整运算,进入步骤A5;

A5: 按 I_i 间隔抽取数据分别存入对应的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据其对应频率 f_i 从高到低排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算。

3. 根据权利要求1所述的一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,所述谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)的计算结果实现谐波参数估计,其特征在于,估计谐波参数采用如下计算步骤:

B1: 根据不完全S变换计算模块(2)对频率点 n_i 的计算结果,即复数向量 v ,提取 v 的中部数据段记为 v_c , v_c 点数为 $L_1 = L - 2W$,即丢弃 v 两端各W点数据,进入步骤B2;

B2: 对复数向量 v_c 求幅值,得到数据对应频率 f_i 分量的谐波瞬时幅值向量的估计值,即:

$$\hat{A} = |v_c|$$

进入步骤B3;

B3: 计算 v_c 的动态辐角 Φ 向量, $\Phi = \text{actan}[\text{imag}(v_c) / \text{real}(v_c)]$,式中 $\text{actan}[\]$ 表示求反正切, $\text{imag}(\)$ 表示求虚部, $\text{real}(\)$ 表示求实部,进入步骤B4;

B4: 利用下式求瞬时频率向量的估计值:

$$\hat{f} = f_i + \frac{1}{2\pi} \frac{\Phi(k) - \Phi(k-1)}{T_s}, k = 1, 2, \dots, L_1$$

式中 T_s 表示抽样后的采样周期,进入步骤B5;

B5:利用下式求得瞬时相位向量的估计值:

$$\hat{\phi} = (\Phi_0 + 2\pi\hat{f}kT_s)\%(2\pi), k = 1, 2, \dots, L_1$$

式中%表示求模运算, Φ_0 为 Φ 向量的初始值,由下式得到:

$$\Phi_0 = \Phi(k_0) - \frac{\sum_k [\Phi(k) - \Phi(k-1)]}{K-1} (k_0 - 1), k = 1, 2, \dots, L_1$$

式中 k_0 表示 Φ 向量的中点序号,进入步骤B6;

B6:输出该频率点对应的谐波分量瞬时幅值向量、频率向量和相位向量的估计值 \hat{A} 、 \hat{f} 、 $\hat{\phi}$,完成该数据的参数估计。

4.根据权利要求1所述的一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其时间尺度确定模块(1)采用权利要求2所述频率比值规则的计算步骤中,步骤A3给每个关注频率点分配1个长度为L缓冲区,数据填满缓冲区后输出至不完全S变换计算模块(2),其特征在于,在循环计算过程中,缓冲区中的数据采用如下步骤进行更新:

C1:缓冲区数据左移(L-2W)位,进入步骤C2;

C2:新抽取的数据从缓冲区右侧(L-2W-1)位开始填充,缓冲区填满后按照权利要求2步骤A5进行处理,返回步骤C1,如此周而复始更新缓冲区中数据。

一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及谐波参数估计领域,特别涉及一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法。

背景技术

[0002] 现代电力系统不断发展,微电网、电气化铁路和冶炼等产业技术不断升级,其运行工况日益复杂且含有大规模非线性功率器件,使大量宽频域非平稳的复杂谐波渗透至公共电网,导致系统谐振、设备老化和保护装置误动等危害,故必须对复杂谐波进行治理,而对其参数准确估计是治理的前提。

[0003] 复杂谐波的幅值、频率和相位等参数具有时变性,传统的傅里叶分析方法没有时频局部表征能力,无法精确检测非平稳谐波,故需要寻求对时变信号有较好分析能力的分析方法。常用时频方法如小波变换需要确定分解层数和选择基小波,其系数不能直接表征谐波参数、对噪声敏感且计算量大,难以实时应用,对复杂谐波的分析需要一种更直观、实时和稳定的时频分析方法。S变换作为时频分析技术,具有直观的时频特性,能够从其特征向量直接提取信号的幅值和相位,但其过渡时间长和运算量大的问题也难以用于时变复杂谐波参数的实时精确估计。不完全S变换仅针对关注频率点计算,在保留有效信息前提下,使运算量显著减少,为实时应用创造了可能性。但对于复杂谐波参数估计,不完全S变换仍需解决关注频率点检测、过渡时间过长、消除端部效应、分频实时跟踪等问题。

[0004] 本发明将不完全S变换应用于复杂谐波参数实时精确估计,对关注频率点采用不同时间尺度,保证各频率成分跟踪实时性和估计精确性,克服传统傅里叶变换方法对非平稳信号无法精确分析的局限性,同时解决常用时频分析方法运算量大,难以实时应用等难题。

发明内容

[0005] 本发明提供一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,针对数据的FFT频谱关注频率点,采用多时间尺度估计谐波各频率分量的瞬时幅值、频率和相位等参数,本发明能提高对数据分析的跟踪实时性。

[0006] 一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,该方法使用时间尺度确定模块(1)、不完全S变换计算模块(2)、谐波参数估计模块(3)共3个依次连接的功能模块;时间尺度确定模块(1)用于确定各关注频率点计算的数据抽样比例,并将抽样的数据分别存入分配给每个频率点的统一长度的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据关注频率点序号从大到小排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算,谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)得到的复数向量估计谐波的瞬时幅值、相位和频率参数。

[0007] 所述一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其时间尺度确定模

块(1)根据频率比值规则确定各关注频率点计算的抽样比例,所述频率比值规则采用如下计算步骤:

[0008] A1:采集10个基频周期数据做FFT运算,根据FFT频谱的功率谱包络动态测度识别数据的关注频率点,关注频率点的个数记为M,M个关注频率点的序号从小到大依次为 n_1, n_2, \dots, n_M ,进入步骤A2;

[0009] A2:根据下式计算各关注频率点对应的频率:

$$[0010] \quad f_i = n_i / (NT), i = 1, 2, \dots, M$$

[0011] 式中N为数据的总点数,T为采样周期,NT为数据的总时长,进入步骤A3;

[0012] A3:给每个关注频率点分配1个长度为 $L = W \times V$ 的缓冲区,W为抽取系数,V为数据 f_i 频率分量的分析周波数,计算时W取5~10之间的整数,V取大于3的整数,进入步骤A4;

[0013] A4:计算采样频率 f_s 与关注频率点对应频率 f_i 的比值并取整:

$$[0014] \quad I_i = \text{int} [f_s / (W \times f_i)], i = 1, 2, \dots, M$$

[0015] 式中 $\text{int} []$ 表示四舍五入取整运算,进入步骤A5;

[0016] A5:按 I_i 间隔抽取数据分别存入对应的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据其对应频率 f_i 从高到低排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算。

[0017] 所述一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)的计算结果实现谐波参数估计,采用如下计算步骤:

[0018] B1:根据不完全S变换计算模块(2)对频率点 n_i 的计算结果,即复数向量 v ,提取 v 的中部数据段记为 v_c , v_c 点数为 $L_1 = L - 2W$,即丢弃 v 两端各 W 点数据,进入步骤B2;

[0019] B2:对复数向量 v_c 求幅值,得到数据对应频率 f_i 分量的谐波瞬时幅值向量的估计值,即:

$$[0020] \quad \hat{A} = |v_c|$$

[0021] 进入步骤B3;

[0022] B3:计算 v_c 的动态辐角 Φ 向量, $\Phi = \text{actan} [\text{imag} (v_c) / \text{real} (v_c)]$,式中 $\text{actan} []$ 表示求反正切, $\text{imag} ()$ 表示求虚部, $\text{real} ()$ 表示求实部,进入步骤B4;

[0023] B4:利用下式求瞬时频率向量的估计值:

$$[0024] \quad \hat{f} = f_i + \frac{1}{2\pi} \frac{\Phi(k) - \Phi(k-1)}{T_s}, k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0025] 式中 T_s 表示抽样后的采样周期,进入步骤B5;

[0026] B5:利用下式求得瞬时相位向量的估计值:

$$[0027] \quad \hat{\phi} = (\Phi_0 + 2\pi \hat{f} k T_s) \% 2\pi, k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0028] 式中 $\%$ 表示求模运算, Φ_0 为 Φ 向量的初始值,由下式得到:

$$[0029] \quad \Phi_0 = \Phi(k_0) - \frac{\sum_k [\Phi(k) - \Phi(k-1)]}{K-1} (k_0 - 1), k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0030] 式中 k_0 表示 Φ 向量的中点序号,进入步骤B6;

[0031] B6:输出该频率点对应的谐波分量瞬时幅值向量、频率向量和相位向量的估计值

\hat{A} 、 \hat{f} 、 $\hat{\varphi}$,完成该数据的参数估计。

[0032] 所述时间尺度确定模块(1)采用频率比值规则的计算步骤中,步骤A3给每个关注频率点分配1个长度为L缓冲区,数据填满缓冲区后输出至不完全S变换计算模块(2),在循环计算过程中,缓冲区中的数据采用如下步骤进行更新:

[0033] C1:缓冲区数据左移(L-2W)位,进入步骤C2;

[0034] C2:新抽取的数据从缓冲区右侧(L-2W-1)位开始填充,缓冲区填满后按照权利要求2步骤A5进行处理,返回步骤C1,如此周而复始更新缓冲区中数据。

[0035] 所述不完全S变换计算模块(2)输入时间尺度确定模块(1)的数据进行不完全S变换,只估计某一 f_i 频率分量的参数,即只需计算一个不完全S变换向量,对数据做FFT变换后,针对序号为L/W的频率采样点做加窗反FFT变换,即得到该 f_i 频率分量的不完全S变换结果。

[0036] 所述不完全S变换计算模块(2)在对数据进行不完全S变换前,为消除直流频谱干扰,对输入数据做零均值处理,即采用下式使输入数据的均值为零:

[0037] $D_i = D_i - \text{mean}(D_i)$

[0038] 式中 D_i 为输入的数据,mean()表示求均值。

附图说明

[0039] 图1为本发明的功能模块及工作流程图。

[0040] 图2为本发明所述频率比值抽样示意图。

[0041] 图3为本发明所述关注频率点多时间尺度示意图。

具体实施方式

[0042] 为解决复杂谐波参数实时估计问题,本发明提供一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,以下结合附图对本发明的优选实施实例进行阐述,需要说明的是,优选实施实例是为了进一步说明本发明,而不是为了限制本发明的保护范围。

[0043] 图1为本发明所述一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法的功能模块及工作流程图。

[0044] 如图1所示,一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,该方法使用时间尺度确定模块(1)、不完全S变换计算模块(2)、谐波参数估计模块(3)共3个依次连接的功能模块;时间尺度确定模块(1)用于确定各关注频率点计算的抽样比例,并将抽样的数据分别存入分配给每个频率点的统一长度的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据关注频率点序号从大到小排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算,谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)得到的复数向量估计谐波的瞬时幅值、相位和频率参数。

[0045] 图1所示时间尺度确定模块(1)的检测关注频率点判断可采用定时检测和估计值变化率相结合的策略;定时检测周期可以设定为5秒~1分钟;估计值变化率根据谐波参数估计值的变动情况设定阈值决定是否进行关注频率点检测,即估计值没变化或变化不大则不进行检测,若变化超过设定的阈值则进行检测;上述策略的可根据实际应用场合合理选

择。

[0046] 所述的一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其时间尺度确定模块(1)根据频率比值规则确定各关注频率点计算的抽样比例,所述频率比值规则采用如下计算步骤:

[0047] A1:采集10个基频周期数据做FFT运算,根据FFT频谱的功率谱包络动态测度识别数据的关注频率点,关注频率点的个数记为M,M个关注频率点的序号从小到大依次为 n_1, n_2, \dots, n_M ,进入步骤A2;

[0048] A2:根据下式计算各关注频率点对应的频率:

[0049] $f_i = n_i / (NT), i = 1, 2, \dots, M$

[0050] 式中N为数据的总点数,T为采样周期,NT为数据的总时长,进入步骤A3;

[0051] A3:给每个关注频率点分配1个长度为 $L = W \times V$ 的缓冲区,W为抽取系数,V为数据 f_i 频率分量的分析周波数,计算时W取5~10之间的整数,V取大于3的整数,进入步骤A4;

[0052] A4:计算采样频率 f_s 与关注频率点对应频率 f_i 的比值并取整:

[0053] $I_i = \text{int} [f_s / (W \times f_i)], i = 1, 2, \dots, M$

[0054] 式中 $\text{int} []$ 表示四舍五入取整运算,进入步骤A5;

[0055] A5:按 I_i 间隔抽取数据分别存入对应的缓冲区,一旦某个频率点的缓冲区被抽样数据填满,便输出至不完全S变换计算模块(2)进行不完全S变换计算,若有两个以上频率点的缓冲区同时被填满,则根据其对应频率 f_i 从高到低排队将缓冲区的数据送入不完全S变换计算模块(2)进行计算。

[0056] 图2所示为本发明所述频率比值抽样示意图,图2中原始数据除基波外,还包含3次和5次谐波,共3个关注频率点;原始数据采样频率为10kHz,根据频率比值规则取 $W = 5$,则5次谐波的抽样间隔为 $10k / 250 / 5 = 8$,3次谐波的抽样间隔为 $10k / 150 / 5 = 13$,基波的抽样间隔为 $10k / 50 / 5 = 40$ 。

[0057] 按照频率比值规则对图2原始信号进行抽取,分别存入长度为 $L = W \times V = 5 \times 5 = 25$ 的5次谐波对应频率点缓冲区、3次谐波对应频率点缓冲区和基波对应频率点缓冲区,如图3所示,3个缓冲区的数据点数均为25,5次谐波对应频率点缓冲区中两个数据的时间间隔为 $8 \times 0.1\text{ms}$,3次谐波对应频率点缓冲区中两个数据的时间间隔为 $13 \times 0.1\text{ms}$,基波对应频率点缓冲区中两个数据的时间间隔为 $40 \times 0.1\text{ms}$,5次谐波、3次谐波和基波3频率点缓冲区25个数据对应的时间尺度分别为20ms、32.5ms和100ms。

[0058] 所述一种采用多时间尺度不完全S变换估计谐波参数的方法,其谐波参数估计模块(3)根据不完全S变换计算模块(2)的计算结果实现谐波参数估计,采用如下计算步骤:

[0059] B1:根据不完全S变换计算模块(2)对频率点 n_i 的计算结果,即复数向量 v ,提取 v 的中部数据段记为 v_c , v_c 点数为 $L_1 = L - 2W$,即丢弃 v 两端各 W 点数据,进入步骤B2;

[0060] B2:对复数向量 v_c 求幅值,得到数据对应频率 f_i 分量的谐波瞬时幅值向量的估计值,即:

[0061] $\hat{A} = |v_c|$

[0062] 进入步骤B3;

[0063] B3:计算 v_c 的动态辐角 Φ 向量, $\Phi = \text{actan} [\text{imag} (v_c) / \text{real} (v_c)]$,式中 $\text{actan} []$ 表示求反正切, $\text{imag} ()$ 表示求虚部, $\text{real} ()$ 表示求实部,进入步骤B4;

[0064] B4:利用下式求瞬时频率向量的估计值:

$$[0065] \quad \hat{f} = f_i + \frac{1}{2\pi} \frac{\Phi(k) - \Phi(k-1)}{T_s}, k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0066] 式中 T_s 表示抽样后的采样周期,进入步骤B5;

[0067] B5:利用下式求得瞬时相位向量的估计值:

$$[0068] \quad \hat{\phi} = (\Phi_0 + 2\pi\hat{f}kT_s)\%(2\pi), k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0069] 式中%表示求模运算, Φ_0 为 Φ 向量的初始值,由下式得到:

$$[0070] \quad \Phi_0 = \Phi(k_0) - \frac{\sum_k [\Phi(k) - \Phi(k-1)]}{K-1} (k_0 - 1), k = 1, 2, \dots, L_1$$

[0071] 式中 k_0 表示 Φ 向量的中点序号,进入步骤B6;

[0072] B6:输出该频率点对应的谐波分量瞬时幅值向量、频率向量和相位向量的估计值 \hat{A} 、 \hat{f} 、 $\hat{\phi}$,完成该数据的参数估计。

[0073] 所述时间尺度确定模块(1)采用频率比值规则的计算步骤中,步骤A3给每个关注频率点分配1个长度为L缓冲区,数据填满缓冲区后输出至不完全S变换计算模块(2),在循环计算过程中,缓冲区中的数据采用如下步骤进行更新:

[0074] C1:缓冲区数据左移(L-2W)位,进入步骤C2;

[0075] C2:新抽取的数据从缓冲区右侧(L-2W-1)位开始填充,缓冲区填满后按照权利要求2步骤A5进行处理,返回步骤C1,如此周而复始更新缓冲区中数据。

[0076] 所述不完全S变换计算模块(2)输入时间尺度确定模块(1)的数据进行不完全S变换,只估计某一频率 f_i 分量的参数,即只需计算一个不完全S变换向量,对数据做FFT变换后,针对序号为L/W的频率采样点做加窗反FFT变换,即得到该 f_i 频率分量的不完全S变换结果。

[0077] 所述不完全S变换计算模块(2)在对数据进行不完全S变换前,为消除直流频谱干扰,对输入数据做零均值处理,即采用下式使输入数据的均值为零:

$$[0078] \quad D_i = D_i - \text{mean}(D_i)$$

[0079] 式中 D_i 为输入的数据,mean()表示求均值。

[0080] 本发明的优点在于,针对不同频率点采用不同的分析时间尺度,每个频率点缓冲区的长度一致,这样在后续不完全S变换计算模块(2)和谐波参数估计模块(3)的计算量也一样,可以保证计算过程对数据高频分量实时跟踪,并减少了数据低频分量的计算量。

[0081] 以上所述的本发明的实施方式,并非成为本发明保护范围的限定,倘若对本发明实施方式进行各种变形或修改,但尚在本发明的精神和原则之内,均应包含在本发明的权利要求保护范围之内。

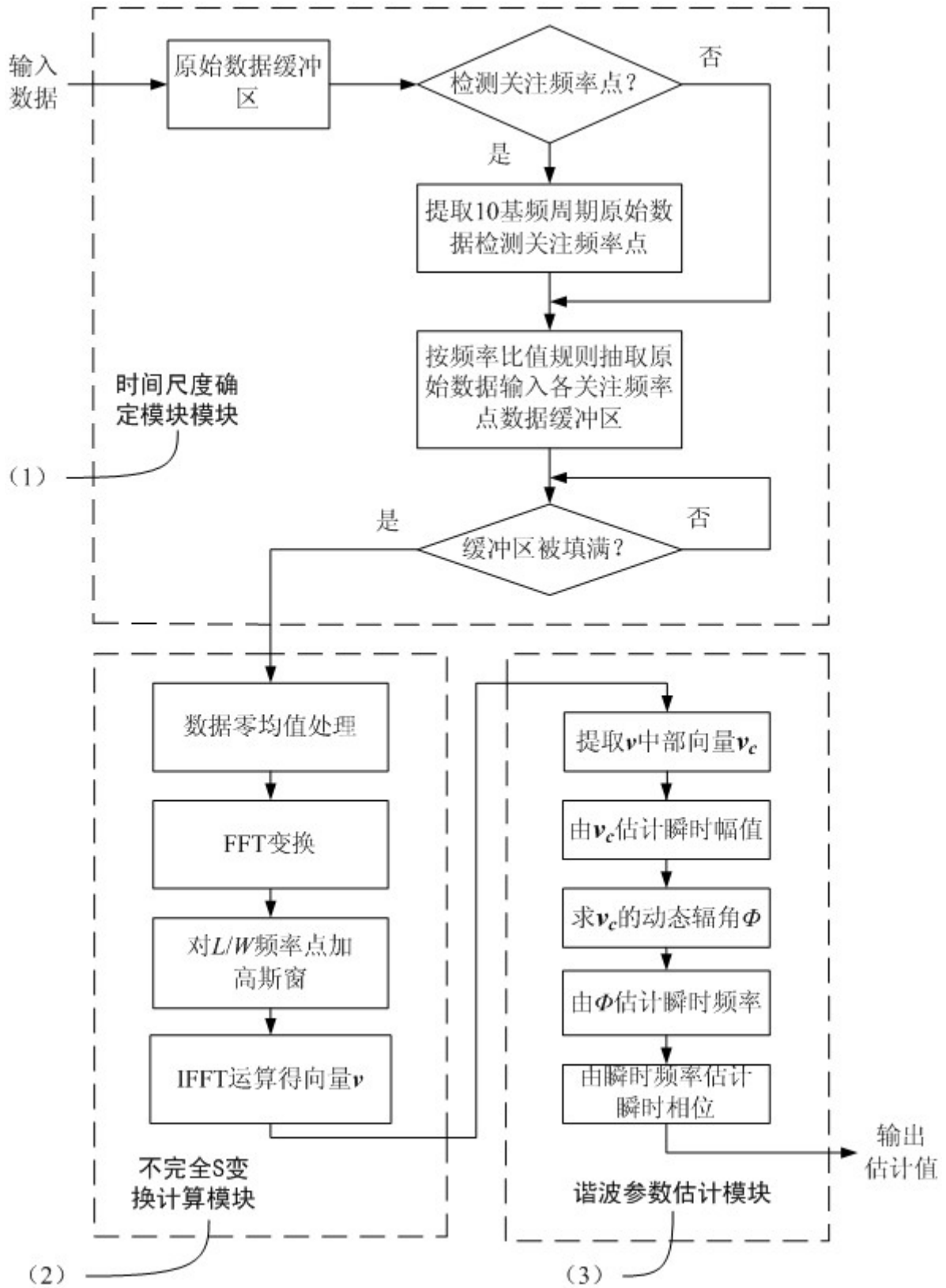


图1

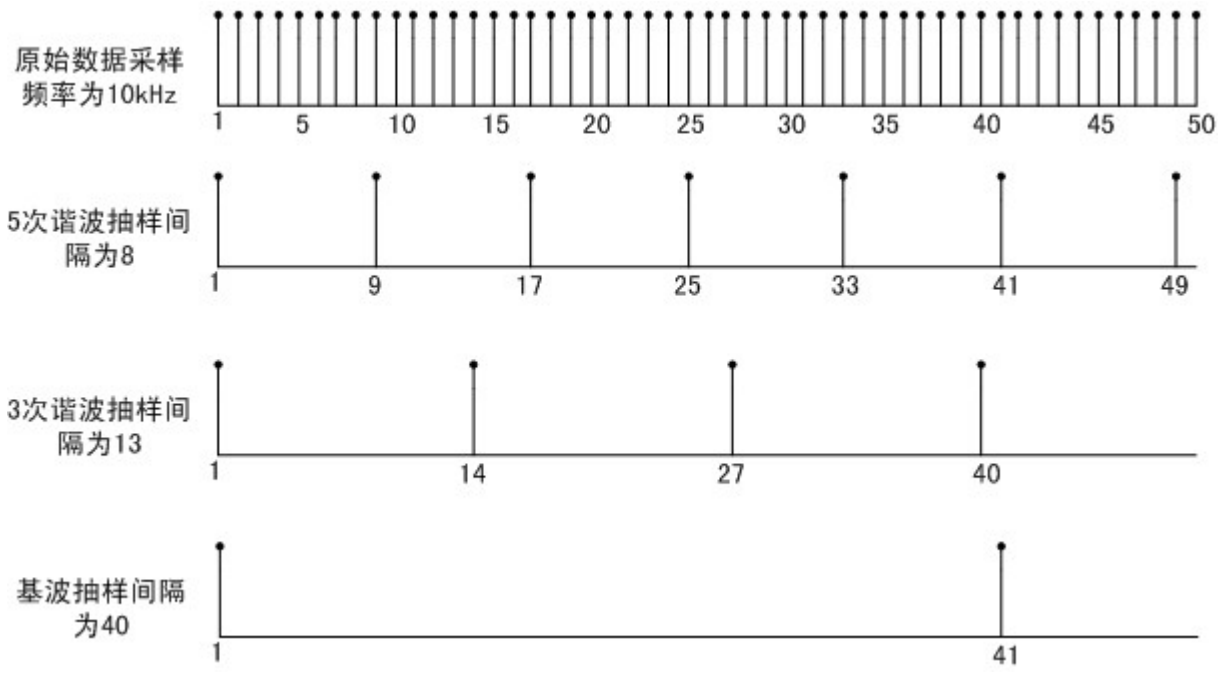


图2

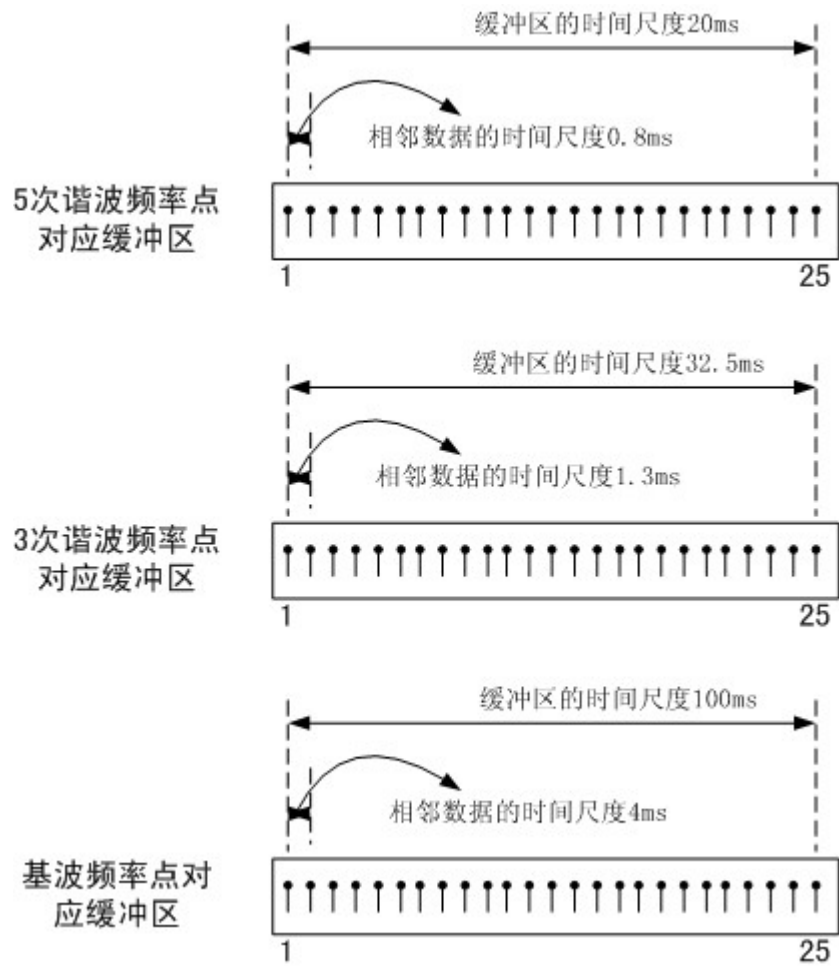


图3