



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102135447 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 22

(21) 申请号 201110002447. 9

期), 12-19.

(22) 申请日 2011. 01. 07

David L. Donoho 等. Threshold

(30) 优先权数据

selection for wavelet shrinkage of

2010-002482 2010. 01. 08 JP

noisy data. 《Proceedings of the 16th

(73) 专利权人 佳能株式会社

Annual International Conference of the

地址 日本东京

IEEE》. 1994, 24-25.

审查员 缪顾进

(72) 发明人 盐田道德

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 罗银燕

(51) Int. Cl.

G01J 3/28 (2006. 01)

G01N 21/35 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 平 3-285127 A, 1991. 12. 16,

CN 101379831 A, 2009. 03. 04,

CN 101226936 A, 2008. 07. 23,

Taswell. The what, how and why of

wavelet shrinkage denoising. 《Computing in

Science & Engineering》. 2000, 第 2 卷 (第 3

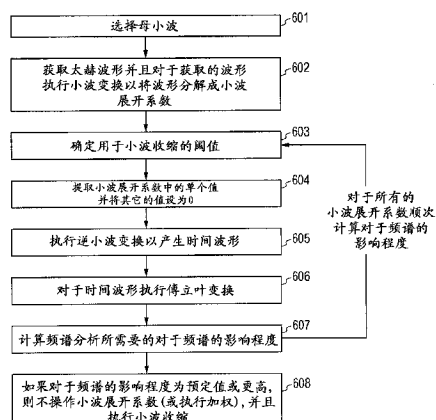
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 9 页)

(54) 发明名称

用于测量电磁波的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及用于测量电磁波的方法和装置。波形获取单元获取电磁波的时间波形。通过小波变换将时间波形分解成小波展开系数。计算各个小波展开系数对于频谱的影响程度。至少基于小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权。通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形。因此,保持频谱分析所需要的频谱信息并具有减少的噪声的时间波形被提供。



1. 一种用于测量电磁波的电磁波测量方法,所述方法包括:

获取电磁波的时间波形;

通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;

计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度;

至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权;以及

通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形,

其中,对各个小波展开系数对于频谱的影响程度的所述计算包括:

从分解的小波展开系数提取单个值,

通过逆小波变换将所述单个值重构成时间波形,

通过傅立叶变换来转换重构的时间波形,

通过将至少单个频率的信号强度相加来计算值,以及

对于各个小波展开系数重复计算。

2. 根据权利要求1的电磁波测量方法,还包括:

将基于测量对象的通过加权获取的小波展开系数的权重作为数据库保存;以及

依赖于测量对象来调整小波展开系数的权重,

其中,在所述通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形中,其权重通过所述调整被调整的小波展开系数通过逆小波变换被转换成时间波形。

3. 根据权利要求1的电磁波测量方法,其中,在所述加权中,基于小波变换所使用的阈值和小波展开系数对于频谱的影响程度,将小波展开系数加权。

4. 根据权利要求1的电磁波测量方法,其中,通过将所述至少单个频率的信号强度相加所获得的所述值是通过基于频率将频率的信号强度加权并将信号强度相加所获得的值。

5. 根据权利要求1的电磁波测量方法,其中,所述电磁波是包含从30GHz至30THz的范围中的频率分量的太赫波。

6. 一种用于测量电磁波的电磁波测量方法,所述方法包括:

获取电磁波的时间波形;

通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;

计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度;

至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权;以及

通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形,

其中,对各个小波展开系数对于频谱的影响程度的所述计算包括:

提取事先分解的小波展开系数中的单个值,

将所述值正则化,

通过逆小波变换将正则化的值重构成时间波形,

通过傅立叶变换来转换重构的时间波形,

通过将至少单个频率的信号强度相加来计算值,以及

对于各个小波展开系数重复计算。

7. 根据权利要求6的电磁波测量方法,还包括:

将基于测量对象的通过加权获取的小波展开系数的权重作为数据库保存;以及

依赖于测量对象来调整小波展开系数的权重,

其中,在所述通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形中,其权重通过所述调整被调整的小波展开系数通过逆小波变换被转换成时间波形。

8. 根据权利要求6的电磁波测量方法,其中,在所述加权中,基于小波变换所使用的阈值和小波展开系数对于频谱的影响程度,将小波展开系数加权。

9. 根据权利要求6的电磁波测量方法,其中,所述电磁波是包含从30GHz至30THz的范围中的频率分量的太赫波。

10. 一种测量电磁波的电磁波测量装置,所述装置包括:

波形获取单元,被配置为获取电磁波的时间波形;

分解单元,被配置为通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;

计算单元,被配置为计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度;

加权单元,被配置为至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权;以及

转换单元,被配置为通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形,

其中,所述计算单元被配置为:

从分解的小波展开系数提取单个值,

通过逆小波变换将所述单个值重构成时间波形,

通过傅立叶变换来转换重构的时间波形,

通过将至少单个频率的信号强度相加来计算值,以及

对于各个小波展开系数重复计算。

11. 一种测量电磁波的电磁波测量装置,所述装置包括:

波形获取单元,被配置为获取电磁波的时间波形;

分解单元,被配置为通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;

计算单元,被配置为计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度;

加权单元,被配置为至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权;以及

转换单元,被配置为通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形,

其中,所述计算单元被配置为:

提取事先分解的小波展开系数中的单个值,

将所述值正则化,

通过逆小波变换将正则化的值重构成时间波形,

通过傅立叶变换来转换重构的时间波形,

通过将至少单个频率的信号强度相加来计算值,以及

对于各个小波展开系数重复计算。

用于测量电磁波的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及例如电磁波的波形的信息的测量技术,并且,更特别地,涉及利用通过太赫波 (terahertz wave) 的小波 (wavelet) 分析进行的信号处理技术的测量装置和测量方法。

背景技术

[0002] 近年来,利用太赫波的非破坏性频谱 (spectroscopic) 成像和用于利用太赫波脉冲检查物质的性能的太赫时域频谱法 (THz-TDS) 正得到积极研究。日本专利公开 No. 10-153547 公开了涉及用于用太赫波成像的图像处理的方法。该方法使用用于信息压缩或峰值检测的小波分析。并且,“De-noising techniques for terahertz responses of biological samples”, Microelectronics Journal 32(2001), pp. 943-953 公开了包括通过小波变换来转换太赫波的时间波形、并将比阈值小的一组小波展开系数的值设为 0 (阈值处理) 的方法。通过在以这种方式操纵小波展开系数之后执行逆小波变换,可以获取其中噪声分量被减少的时间波形。在“De-noising techniques for terahertz responses of biological samples”, Microelectronics Journal 32(2001), pp. 943-953 中,在减少噪声分量之后对于各种母小波 (mother wavelet) 相互比较信噪 (SN) 比,并且,确定最有效地减少噪声分量的母小波。该噪声分量主要是在所有频率范围中出现的白噪声。白噪声分量与母小波没有多大的相关性。由此,对于各展开系数,白噪声在 0 附近出现。

[0003] 对于常规的技术,为了增大太赫波的测量时间波形的 SN 比,通过小波变换 (小波收缩 (shrinkage)) 来执行噪声减少。不幸的是,该方法可能在信号处理的过程中删除识别物质所需要的频谱信息。如果只需要获取具有良好的 SN 比的图像数据,那么常规的方法是足够的。但是,如果应在以太赫波作为电磁波获取图像时同时获取图像中的关于物质的频谱数据,那么可能难以使用执行信号处理之后的太赫波形来识别物质 (频谱分析)。

发明内容

[0004] 根据本发明的一个方面,一种用于测量电磁波的电磁波测量方法包括:获取电磁波的时间波形;通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度 (influence level);至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权 (weight);以及通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形。

[0005] 根据本发明的另一方面,一种测量电磁波的电磁波测量装置包括:波形获取单元,被配置为获取电磁波的时间波形;分解单元,被配置为通过小波变换将电磁波的时间波形分解成小波展开系数;计算单元,被配置为计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度;加权单元,被配置为至少基于各个小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权;以及转换单元,被配置为通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形。

[0006] 通过根据本发明的各方面的装置和方法,基于小波展开系数对于频谱的影响程度而被加权的小波展开系数通过逆小波变换被转换成时间波形。因此,可保持频谱分析所需要的频谱信息,而噪声通过小波变换被减少。因此,例如,当执行诸如层析摄影术(tomography)的太赫成像时,可通过小波变换增大成像数据的 SN 比,并且,可识别包含于成像对象中的物质。

[0007] 从参照附图对示例性实施例的以下描述,本发明的进一步的特征将变得明显。

附图说明

[0008] 图 1A 至图 1D 示出通过 THz-TDS 获取的太赫波的时间波形等。

[0009] 图 2A 和图 2B 示出关于小波展开系数 167(coif4) 的时间波形和频谱。

[0010] 图 3A 和图 3B 示出通过仅使用阈值 A 执行小波变换之后的时间波形、以及对于该时间波形执行傅立叶(Fourier)变换时的结果。

[0011] 图 4A 和图 4B 示出通过使用阈值 A 和 B 执行小波变换之后的时间波形、以及对于该时间波形执行傅立叶变换时的结果。

[0012] 图 5A 和图 5B 是图 1A 和图 4A 的部分的放大图。

[0013] 图 6 是根据本发明的第一实施例的流程图。

[0014] 图 7 是根据本发明的第二实施例的流程图。

[0015] 图 8A 和图 8B 示出关于小波展开系数 200(db10) 的时间波形和频谱。

[0016] 图 9A 和图 9B 示出关于小波展开系数 800(db10) 的时间波形和频谱。

[0017] 图 10A 和图 10B 示出根据第二实施例的对于减少噪声之后的时间波形执行傅立叶变换时的结果、以及根据本发明实施例的装置的配置。

具体实施方式

[0018] 以下将描述本发明的实施例。对于根据本发明实施例的方法和装置,当对于电磁波的时间波形执行通过小波变换进行的信号处理时,采取以下的措施来保持频谱分析所需要的频谱信息并减少包含噪声的不必要的信息。特别地,获取电磁波的时间波形,并且,该时间波形通过小波变换被分解成小波展开系数。然后,计算各个小波展开系数对于预定测量范围中的频谱的影响程度,并且,基于小波展开系数对于频谱的影响程度将小波展开系数加权。然后,加权的小波展开系数通过逆小波变换被转换成时间波形。除了对于频谱的影响程度以外,还可通过考虑用于小波变换的阈值来执行加权。

[0019] 基于该思想,根据本发明的基本实施例的电磁波测量方法包括如上所述的获取波形、分解、计算、加权和转换的步骤。在波形的获取中,例如,如果使用太赫波(包含从 30GHz 至 30THz 的范围中的频率分量的电磁波)作为电磁波,那么通过 THz-TDS 获取太赫波的时间波形。但是,这不限于此。如果使用从直流(DC)到约几千兆赫的范围中的电信号作为电磁波,那么可通过示波器获取时间波形。在分解中,可如希望的那样选择用于小波展开系数的分解程度。一般地,当展开系数的数量较大时,分解变得较细。通过小波变换进行的信号处理可以通过使用阈值来操作小波展开系数的值(与母小波相关的值)的小波收缩。

[0020] 在计算中,计算各个小波展开系数对于需要的频谱信息的影响程度。对于频谱信息的影响程度是频谱和小波展开系数之间的接近性(closeness)的程度(即,与诸如吸收

频谱等的特征频谱信息的相关性的程度)。例如,计算各个展开系数对于频谱的影响程度,使得仅从分解的展开系数提取单个值并且对于提取的值将该展开系数的傅立叶频谱的至少单个频率的功率(power)(信号强度)相加(add)。例如,如果频谱分析所需要的频率处于从 0.5THz 至 0.8THz 的范围中,那么使用相加有该范围内的功率的值作为影响程度。如果需要多个频率范围,那么可将这些范围内的功率相加。例如,如果频谱分析所需要的频率为从 0.1THz 至 0.5THz 以及从 1THz 至 1.5THz,那么可将这些范围内的功率相加。

[0021] 作为替代方案,可以提取事先已分解的单个小波展开系数,并且,可对于提取的值将该展开系数的傅立叶频谱的至少单个频率的功率相加,使得相加后的值被用作影响程度。要被选择的频率不必是连续的。例如,可以仅使用 0.5THz 的频率,或者,可以使用 0.6THz 和 1THz 的两个频率。在这种情况下,可通过提取单个小波展开系数并将提取的展开系数的值设为 1(正则化(regularization)为 1)来执行正则化。当将该至少单个频率的功率相加时,频率功率可被加权并然后被相加,使得该值被用作小波展开系数对于频谱的影响程度。例如,可对于某一(certain)频率分配权重 1,并且可对于其它的频率分配权重 0.5。可将权重乘以频率的功率,并且,得到的值可被相加,使得相加后的值被用作小波展开系数对于频谱的影响程度。此时,在计算中获取的电磁波的傅立叶频谱中的频率的功率可直接用于加权(可获得与上述的结果相同的结果)。在本实施例中,使用功率来确定影响程度。但是,可以不仅用作为功率的复振幅而且用相位来确定影响程度。在傅立叶变换中,在不同定时具有不同相位的波形具有等同的频率(频谱),但是具有不同的波形。因此,为了相互区分这两个波形并为了分配权重,可另外使用相位信息。

[0022] 例如,可如下执行加权。设定某一阈值,并且,选择比该阈值小的小波展开系数。然后,检查选择的小波展开系数对于频谱的影响程度是否比某一影响程度高。如果影响程度较高,那么该小波展开系数的值不被操作为 0。相反,如果选择的小波展开系数对于频谱的影响程度比该某一影响程度低,那么该小波展开系数的值被设为 0。

[0023] 基于该思想,根据本发明的基本实施例的电磁波测量装置可包括波形获取单元、分解单元、计算单元、加权单元和转换单元。并且,该装置可包含保存单元和调整单元。以与在测量方法中描述的方法相同的方式通过计算单元确定影响程度。以与在测量方法中描述的方法相同的方式通过加权单元执行加权。保存单元将依赖于测量对象(measurement object)与诸如湿度、气压和元件特性的环境条件而分配的权重作为数据库保存。例如,如果湿度不同,那么,即使测量同一试样,要被测量的太赫波的时间波形也变得不同。由于水分(moisture)吸收太赫波,因此,水蒸汽的吸收可依赖于湿度是高还是低而轻微地改变。由此,要被分配的权重因此被改变,并被作为数据库而保存。如果电磁波产生元件被改变(例如,如果光电导体的天线的形状被改变),那么电磁波的频率特性被改变。这种现象与频率被加权对应。因此,所述权重被作为数据库而保存。如上所述,依赖于测量对象和环境条件事先执行加权。得到的权重在计算机中被作为数据库而保存。例如,可对于所关心的测量对象的特征性的频谱范围分配大的权重,并且,可对于所不关心的环境条件的特征性的频谱范围分配小的权重。调整单元根据上述特征来调整小波展开系数的权重。用于信号处理的小波展开系数的权重依赖于测量对象而被改变。转换单元可通过逆小波变换将调整其权重之后的小波展开系数转换成时间波形。

[0024] 接下来,下面将描述根据本发明的电磁波测量装置和电磁波测量方法的具体实施

例。

[0025] 第一实施例

[0026] 现在将描述第一实施例。图 1A 示出通过 THz-TDS 获取的太赫波的时间波形。使用具有太赫范围的特征性的频谱的麦芽糖作为测量对象。该时间波形含有测量期间测量系统所导致的系统噪声。在本实施例中,测量的数据点的数量为 1000。如果需要的话,对于数据的不足执行补零 (zero padding),使得数据点的数量变为 2 的幂 (power-of-two)。图 1B 示出通过小波变换将获取的时间波形分解成小波展开系数所获得的分布。当执行小波变换时,例如,使用 Coiflets4(coif4) 作为母小波,并且,级别 (level) 是 10。顺次提取图 1B 中的小波展开系数,并且,执行逆小波变换。因此,小波展开系数被重构 (reconstruct) 为时间波形。然后,获取的时间波形通过傅立叶变换被转换。由此,获得与所述时间波形对应的频谱。如果对于图 1B 中的所有小波展开系数通过逆小波变换获取的时间波形被相加,那么可获得图 1A 中的时间波形。

[0027] 图 2A 示出通过逆小波变换重构小波展开系数 167 时的关于小波展开系数 167 的时间波形。图 2B 是通过傅立叶变换来转换该时间波形时的关于小波展开系数 167 的频谱。图 2B 中的垂直轴具有对数刻度 (scale)。图 1C 示出用于积分的频率范围为从 0.3 至 1THz 时的小波展开系数和对于频谱的影响程度。图 1D 示出从较高的影响程度依次布置图 1C 中的影响程度时的对于频谱的影响程度。可从图 1D 找到具有对于频谱的高影响程度的小波展开系数的数量。在本实施例中,用于积分的频率范围为单个范围。但是,可提供多个范围。并且,计算不必为单纯的 (simple integration) 积分,而是可包含基于频率将时间波形加权并将时间波形相加。例如,用于具有特征频谱的频率范围的权重可从用于其它频率范围的权重改变。

[0028] 小波收缩设定阈值,并且,如果小波展开系数的值比设定的阈值小,那么将该值设为 0。相对照地,在本实施例中,即使小波展开系数的值比阈值小,如果该小波展开系数对于频谱的影响程度如图 1C 所示的那样为某一值或更高,那么该值也不被设为 0。特别地,阈值 A 和阈值 B 被设定。阈值 A 涉及小波展开系数的值并被已知为小波收缩。阈值 B 涉及对于频谱的影响程度,并且对于实施例是特有的。如果小波展开系数的值比阈值 A 小并且如果对于频谱的影响程度比阈值 B 小,那么该小波展开系数的值被设为 0。小波展开系数的其它值保持不变。该操作与小波展开系数的值乘以 0 或 1 对应。展开系数的使用由 0 或 1 表示。

[0029] 图 3A 示出作为将阈值 A 设为 1.4 并且为了比较执行常规方法的小波收缩的结果的逆小波变换之后的时间波形。图 3B 中的粗线是通过傅立叶变换来转换图 3A 的结果。图 3B 中的细线是通过傅立叶变换来转换小波变换之前的时间波形 (图 1A 中的波形) 的结果。比较图 3B 中的粗线与细线,可以发现,通过小波变换几乎去除了位于 0.4THz 附近的细线的吸收频谱。

[0030] 图 4A 示出根据本实施例的方法的时间波形。特别地,分别对于各小波展开系数将从 0.3THz 至 1THz 的范围中的频率积分,以计算对于频谱的影响程度。图 4A 示出对于其对于频谱的影响程度为阈值 B 或更高的小波展开系数执行逆小波变换而不执行阈值操作之后的时间波形。阈值 A 是 1.4,并且,阈值 B 是 0.005。通过傅立叶变换来转换图 4A 中的在本实施例中减少了噪声的时间波形,获得图 4B 中的粗线。图 4B 中的细线与图 3B 中的细线

相同。比较图 4B 中的粗线和细线,可以发现,位于 0.4THz 附近的吸收频谱(麦芽糖的特征性的频谱)被保存,并且,1THz 或更高的范围中的噪声(作为不必要的信息的噪声)被减少。

[0031] 图 5A 和图 5B 是图 1A 和图 4A 的部分的放大图。参照图 5A,发现包含噪声(高频噪声)。相对照地,参照图 5B,发现:由于噪声被减少,因此波形是平滑的。

[0032] 图 6 是用于上述处理的流程图。在步骤 601 中,选择适当的母小波。在步骤 602 中,波形获取单元获取电磁波的时间波形。通过小波变换来转换获取的时间波形,使得波形被分解成小波展开系数。在步骤 603 中,确定用于小波变换(小波收缩)的阈值。在步骤 604 中,从小波展开系数提取单个值,并且,小波展开系数的其它值被设为 0。在步骤 605 中,通过逆小波变换来转换提取的小波展开系数,并且,产生时间波形。在步骤 606 中,通过傅立叶变换来转换该时间波形。在步骤 607 中,计算对于频谱的影响程度(频谱分析所需要的程度)。

[0033] 对于所有的小波展开系数执行步骤 604 至 607。基于结果,在步骤 608 中,执行小波收缩,而其对于频谱的影响程度为某一值或更高的小波展开系数不被操作。在步骤 608 中,至少基于小波展开系数对于频谱的影响程度来将小波展开系数加权,并且,执行小波收缩。然后,通过逆小波变换将加权的小波展开系数转换成时间波形。因此,可获得保持频谱分析所需要的频谱信息而噪声被减少的电磁波的时间波形。

[0034] 第二实施例

[0035] 接下来,将描述第二实施例。图 7 是根据第二实施例的流程图。在第一实施例中,在测量期间计算小波展开系数对于频谱的影响程度。第二实施例与第一实施例的不同之处在于,事先计算小波展开系数对于频谱的影响程度。在第二实施例中,关于用于小波变换的小波展开系数的信息事先被作为数据库而保存,并且,通过使用该信息执行小波变换。

[0036] 将参照图 7 给出描述。在步骤 701 中,确定母小波。在本实施例中,选择 Daubechies 10(db10),并且,级别为 10。在步骤 702 中,对于某一太赫波的时间波形执行小波变换,并且,波形被分解成展开系数。这里,通过程序将波形分解成小波展开系数是重要的。因此,太赫波的时间波形可以是任何类型的波形。在步骤 703 中,从分解的展开系数提取单个值,将该值正则化,并且,展开系数的其它值被设为 0。在本实施例中,提取的值被正则化为 1。为了提取一系列的展开系数,执行该操作。因此,展开系数的值是不必要的。在替换展开系数的值之后,在步骤 704 中,执行逆小波变换以产生时间波形。在步骤 705 中,对于时间波形执行傅立叶变换。然后,与在第一实施例中描述的方法类似,在步骤 706 中,计算对于频谱的影响程度(频谱分析所需要的程度)。对于所有的小波展开系数计算影响程度,从而计算对于频谱的影响程度(频谱分析所需要的程度)。对于所有的小波展开系数执行步骤 703 至 706。

[0037] 然后,在步骤 707 中,其对于频谱的影响程度比某一值(与在第一实施例中描述的且为本发明的特征性的阈值 B 对应)低的小波展开系数的标记被设为 0,并且,其影响程度为该某一值或更高的展开系数的标记被设为 1。标记 0 指示影响程度为无。标记 1 指示影响程度保持不变。该信息作为设置在计算机中的数据库被保存。在测量对象被测量之前,通过离线(off-line)处理执行步骤 703 至 707。

[0038] 接下来,将描述在线(on-line)处理。在步骤 708 中,通过 THz-TDS 由波形获取单

元测量（获取）来自测量对象的太赫波的时间波形。通过使用选择的母小波执行小波变换，并且，将波形分解成小波展开系数。然后，在步骤 709 中，从数据库提取关于要被小波变换使用的小波展开系数的信息（与测量对象以及诸如湿度、气压和波形获取单元的元件特性的环境条件对应的信息）。具体而言，提取标记信息。标记信息指示哪个展开系数被 0 替换以及哪个展开系数在不变的状态下被使用。使用不变的展开系数等同于基于在线处理中获取的太赫波的傅立叶频谱的频率功率来执行加权。特别地，通过对于执行小波变换之前的太赫波的时间波形执行傅立叶变换，获得图 3B（图 4B）中的细线。如细线所示，元件特性使得从 0.1 至 1THz 的范围中的频谱的功率向着 1THz 减小。由于此，可通过校正（即，基于频率的加权）计算对于频谱的影响程度（频谱分析所需要的程度），使得该范围中的频率的功率变得彼此等同。但是，在本实施例中，采用单纯的积分而不进行校正。因此，仅基于元件特性的傅立叶频谱中的频率功率来执行加权。

[0039] 然后，在步骤 710 中，通过逆小波变换将利用标记信息的处理之后的展开系数转换成时间波形。以这种方式，可保持频谱分析所需要的频谱信息，而噪声通过小波变换被减少。在本实施例中，当执行小波变换时，不使用被已知为小波收缩的阈值 A。作为替代方案，可以使用阈值 A，并且，来自数据库的信息可仅被反映到作为阈值 A 或更小的展开系数。

[0040] 将描述用于展开系数的标记。图 8A 示出提取展开系数 200、展开系数 200 的值被设为 1、并且执行逆小波变换时的时间波形（参照上述的步骤 703 和 704）。图 8B 是图 8A 中的时间波形的频谱（参照上述的步骤 705）。图 9A 是展开系数 800 的情况下的时间波形。图 9B 是图 9A 中的时间波形的频谱。如果频率范围为从 0.3THz 至 1THz 以计算对于频谱的影响程度，那么，参照图 8B，发现：出现展开系数 200 的对于频谱的高影响程度（参照上述的步骤 706）。相对照地，参照图 9B，发现：不出现展开系数 800 的对于频谱的影响。因此，通过设定适当的阈值 B，用于被作为数据库而保存的展开系数的标记对于展开系数 200 可为 1，并且对于展开系数 800 可为 0（参照上述的步骤 707）。该操作被应用于所有的展开系数，由此，对于所有的展开系数设定标记。设定的标记信息在计算机中被作为数据库而保存（参照上述的步骤 707）。其它的处理与第一实施例的类似。

[0041] 图 10A 示出结果。通过傅立叶变换来转换其中通过本实施例减少噪声的时间波形，获得图 10A 中的粗线。图 10A 中的细线与图 3B 中的细线相同。比较图 10A 中的粗线与细线，发现：在粗线中，位于 0.4THz 附近的吸收频谱（麦芽糖的特征性的频谱）被保存，并且，1THz 或更高的范围中的噪声（作为不必要的信息的噪声）被减少。在以上的描述中，coif4 或 db10 被用作母小波的基础 (basis)。但是，可以应用诸如 Symlets 的其它基础。当测量麦芽糖时，即使使用 Coiflets 1 至 4 (coif1 至 coif4)、Symlets 2 至 5 (sym2 至 sym5)、以及 Daubechies5 至 12 (db5 至 db12) 中的任一个，也可有效地减少包含噪声的不必要的信息。

[0042] 第三实施例

[0043] 图 10B 示出根据本发明第三实施例的装置的配置例子。波形获取单元 1 获取电磁波的时间波形。通过 THz-TDS 执行获取，并由此可获取太赫波的时间波形。分解单元 2 通过小波变换将太赫波的时间波形分解成小波展开系数。计算单元 3 计算各个小波展开系数对于频谱的影响程度。计算方法与在第一实施例中描述的计算方法类似。加权单元 4 基于小波变换使用的阈值和小波展开系数对于频谱的影响程度（或仅基于对于频谱的影响程度）

将小波展开系数加权。保存单元 5 基于测量对象将加权的小波展开系数作为数据库保存。调整单元 6 依赖于测量对象来调整小波展开系数的权重。必须依赖于测量对象对于小波展开系数适当地选择权重。因此,从数据库选择依赖于测量对象的小波展开系数的权重。并且,依赖于诸如测量条件等的环境条件来调整小波展开系数的选择的加权值。

[0044] 转换单元 7 对于调整之后的小波展开系数执行逆小波变换,以将小波展开系数转换成时间波形。在本实施例中,通过计算机操作分解单元 2、计算单元 3、加权单元 4、保存单元 5、调整单元 6 和转换单元 7。在与个人计算机连接的显示器 8 上显示通过转换单元 7 获取的时间波形。

[0045] 其它的实施例

[0046] 并且,可通过执行以下的处理实现本发明。特别地,可通过网络或通过任何类型的存储介质,给系统或装置供给实现根据上述实施例中的任一个的功能的软件(程序)。包含于该系统或装置中的计算机(或者计算机处理单元(CPU)和/或微处理单元(MPU)等)读取并执行该程序。可使用任何类型的存储介质,只要该介质可存储由计算机执行的程序即可。存储介质是存储程序以使得计算机执行上述电磁波测量方法的计算机可读存储介质。

[0047] 虽然已参照示例性实施例描述了本发明,但要理解,本发明不限于公开的示例性实施例。随附的权利要求的范围应被赋予最宽的解释,以包含所有这样的修改以及等同的结构和功能。

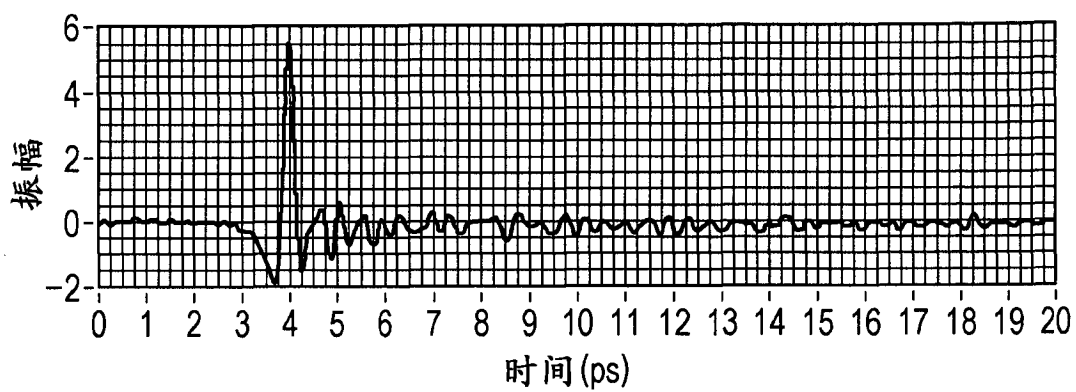


图 1A

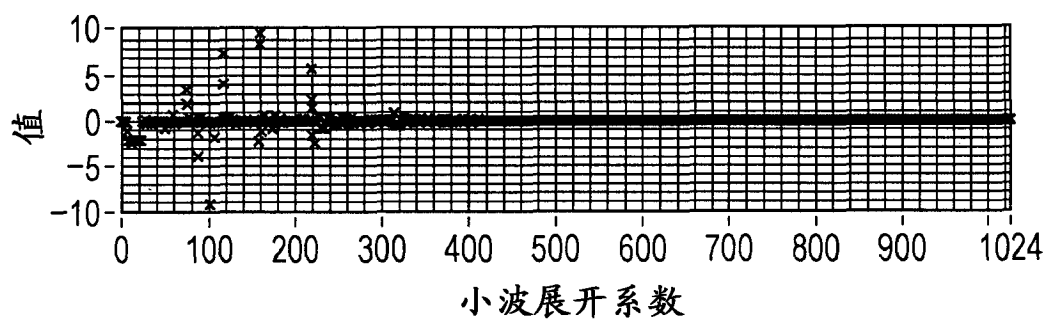


图 1B

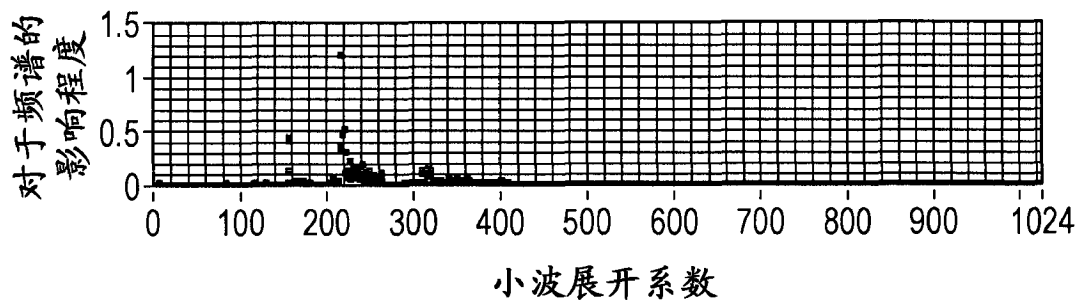


图 1C

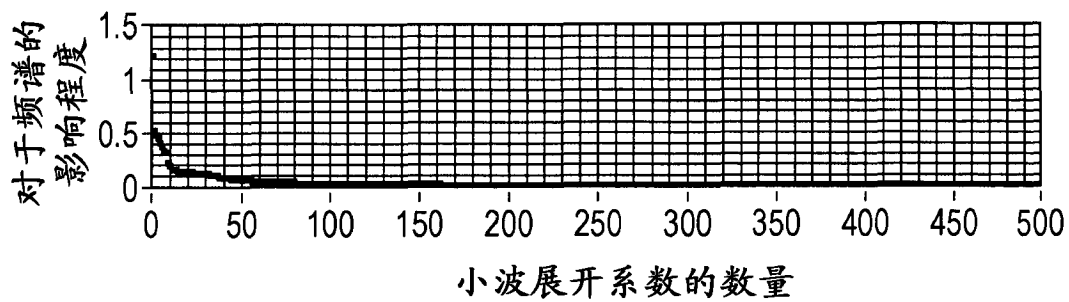


图 1D

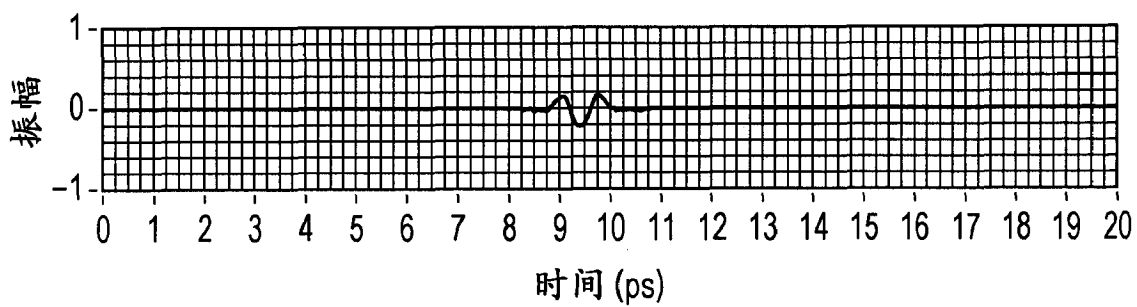


图 2A

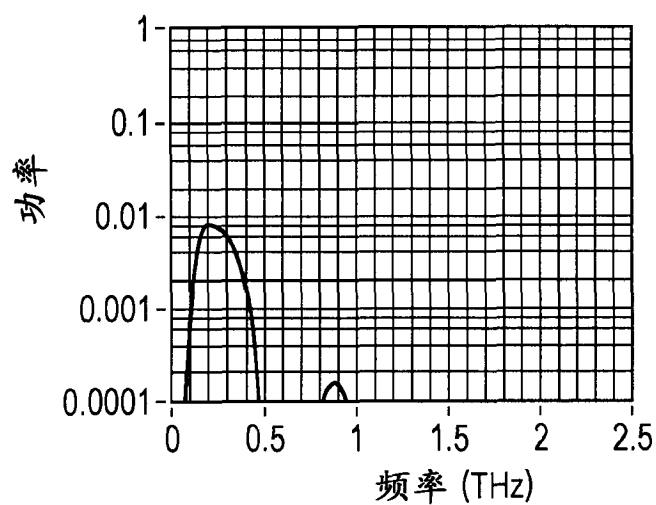


图 2B

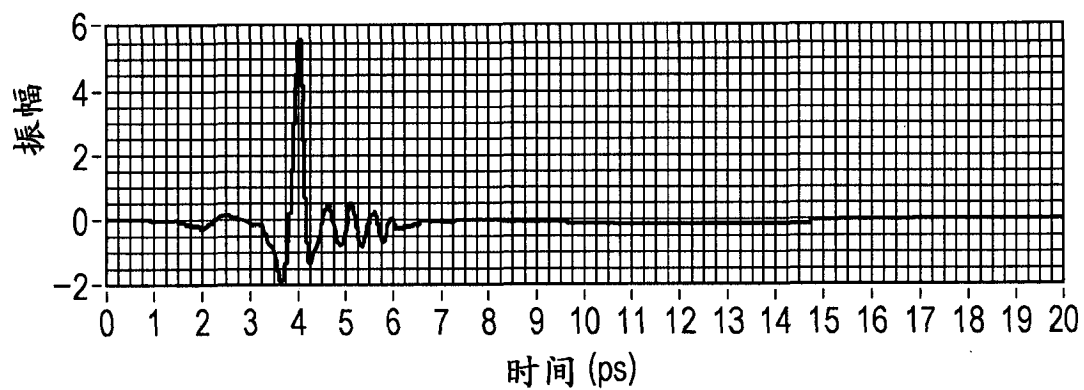


图 3A

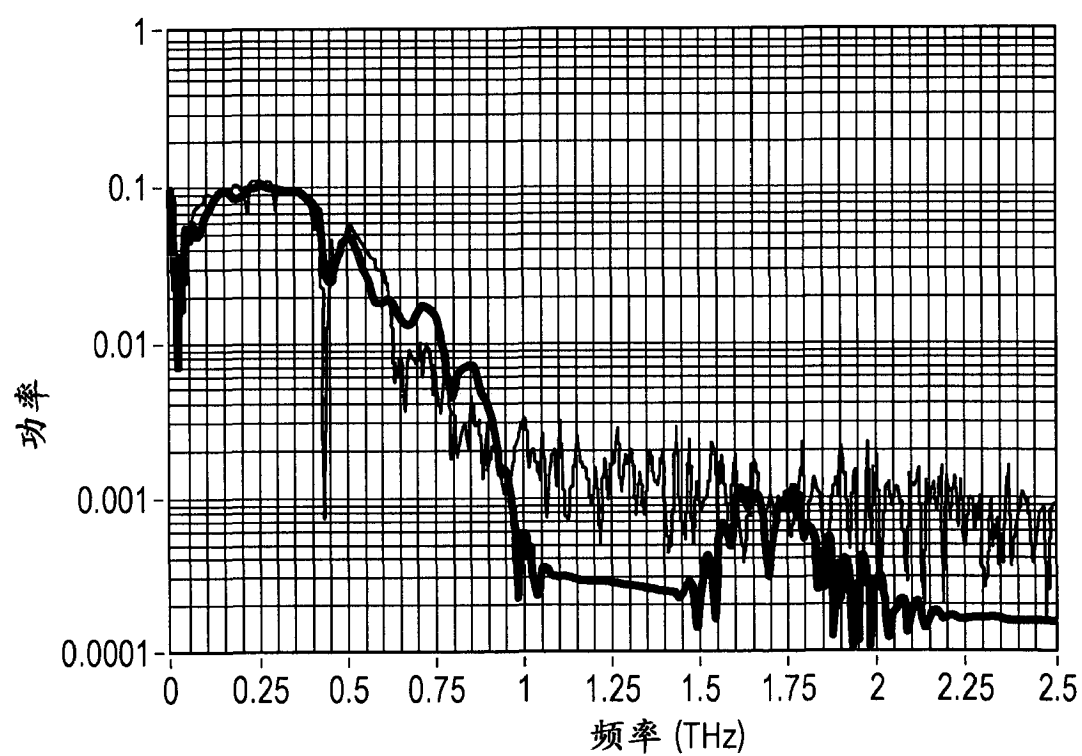


图 3B

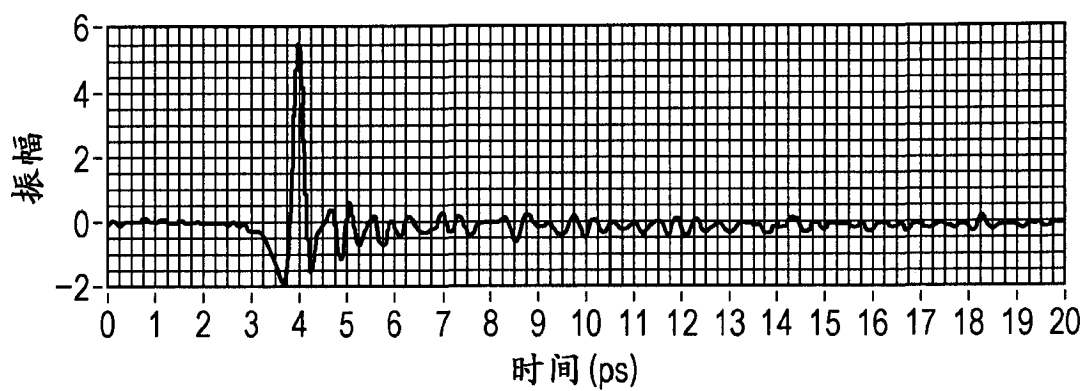


图 4A

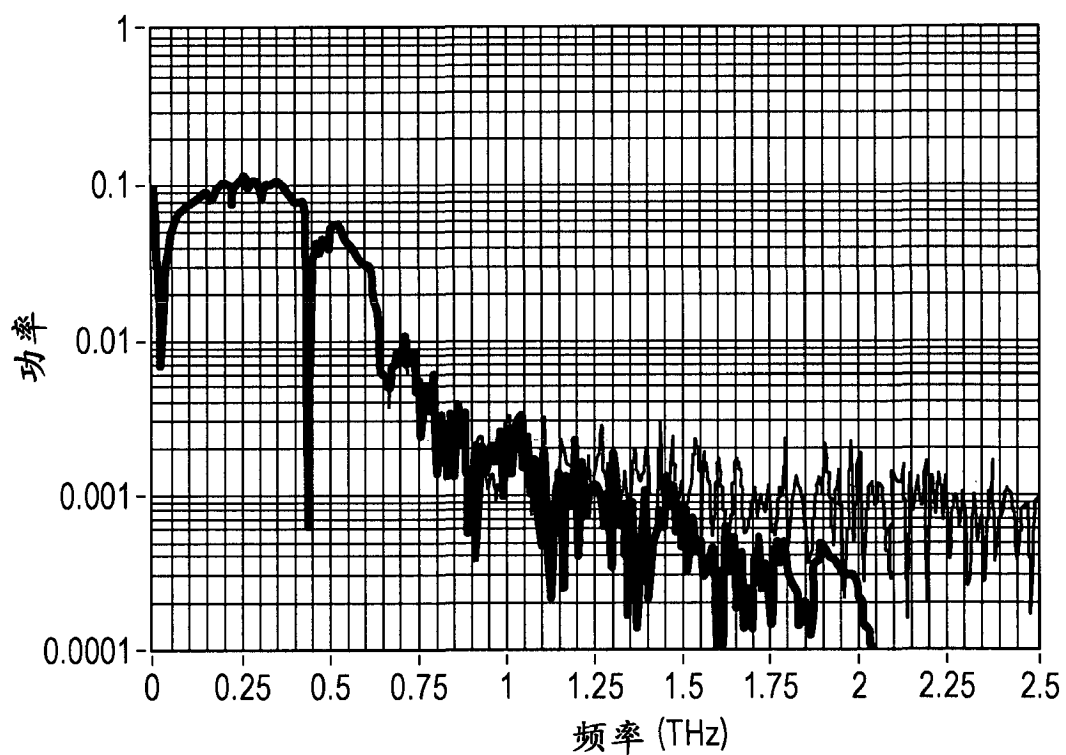


图 4B

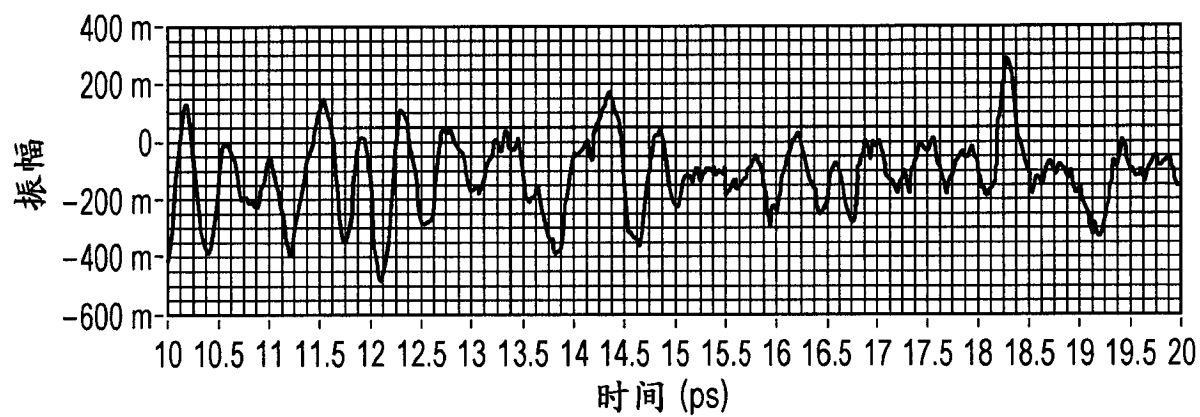


图 5A

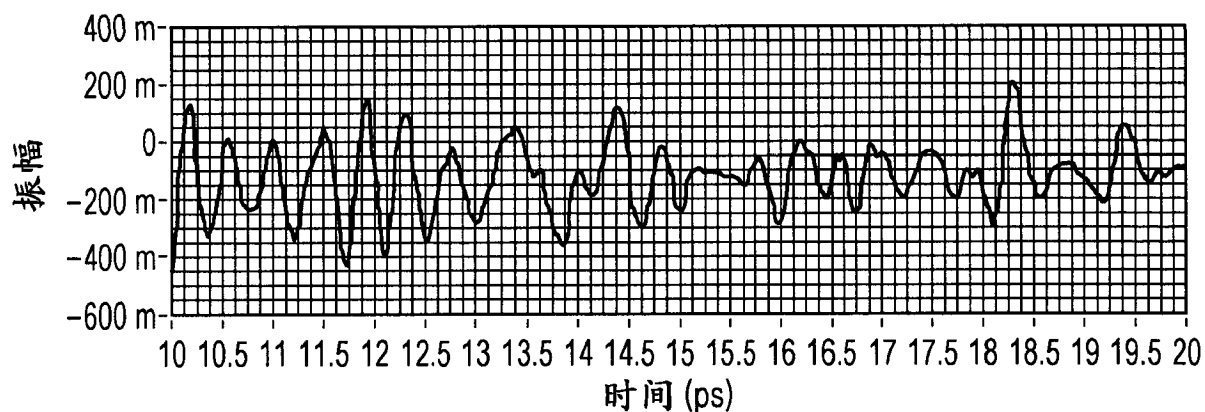


图 5B

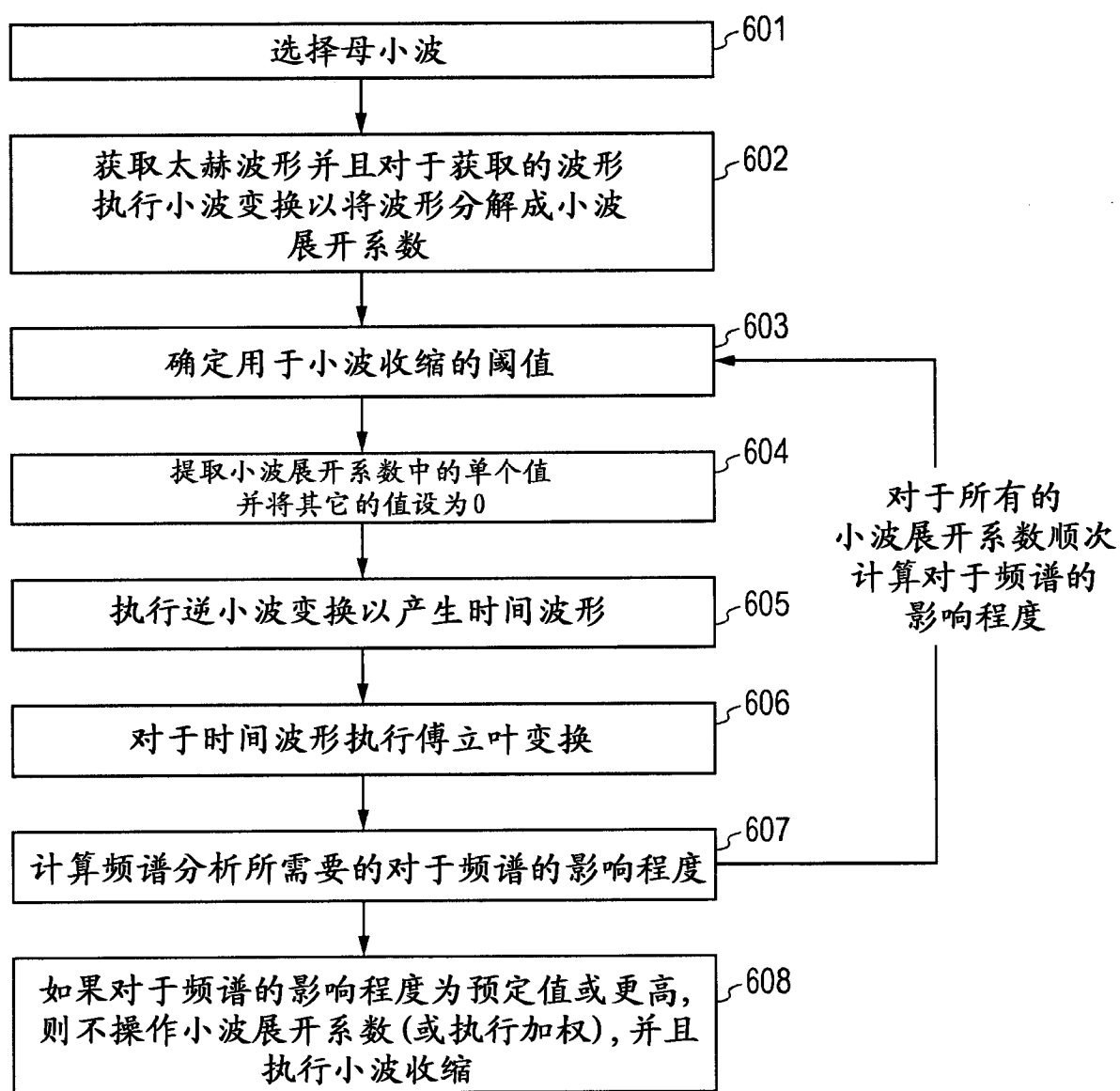


图 6

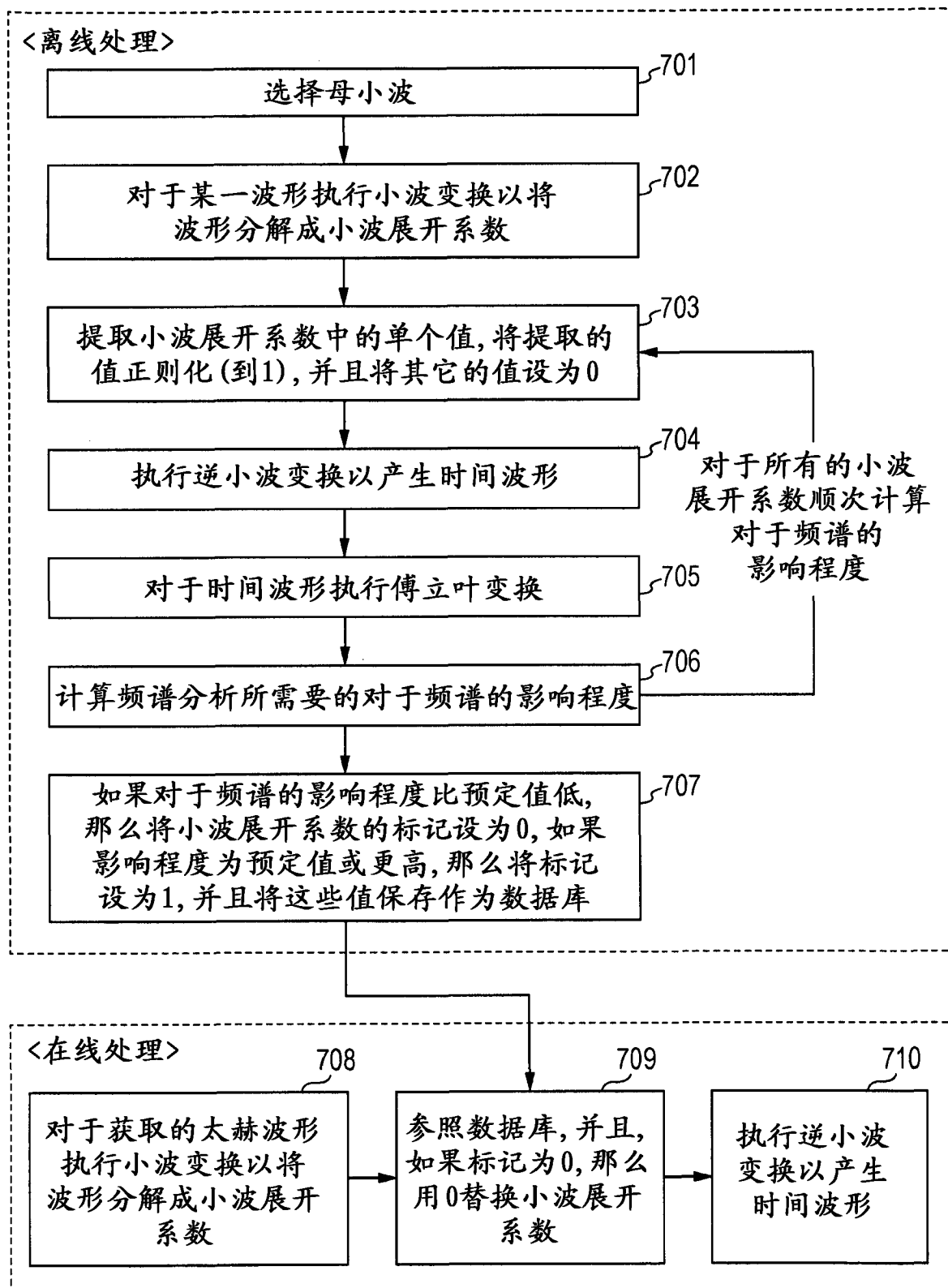


图 7

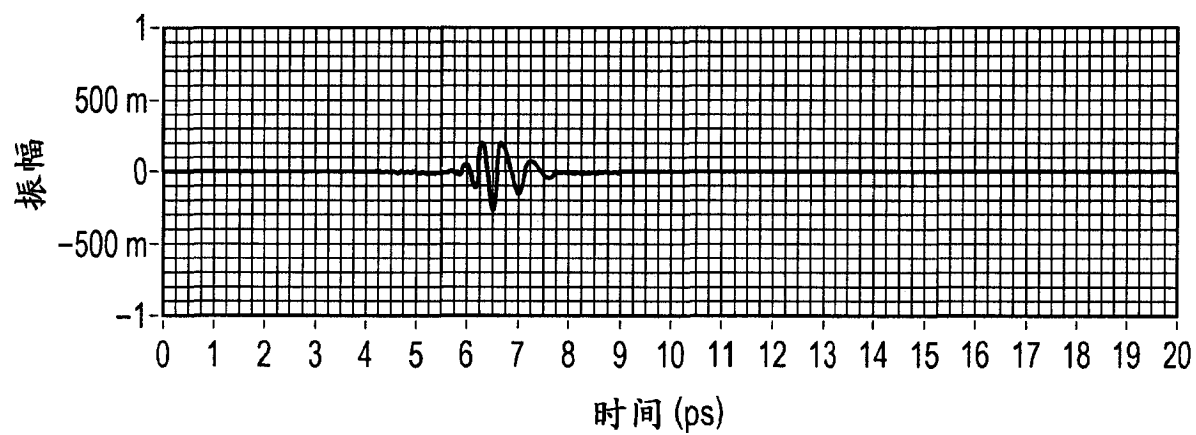


图 8A

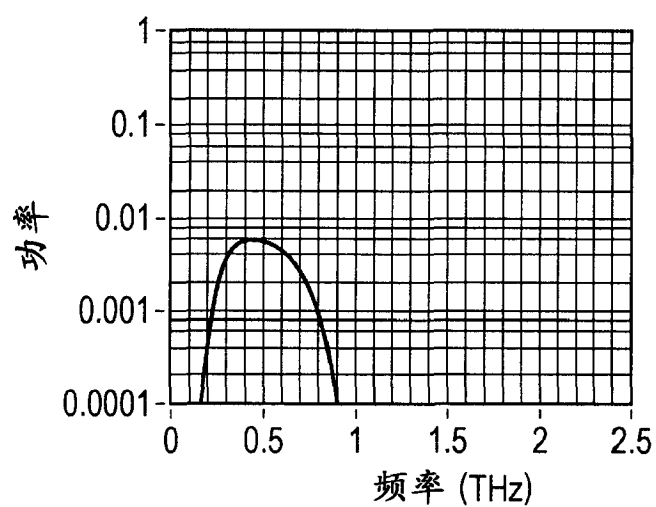


图 8B

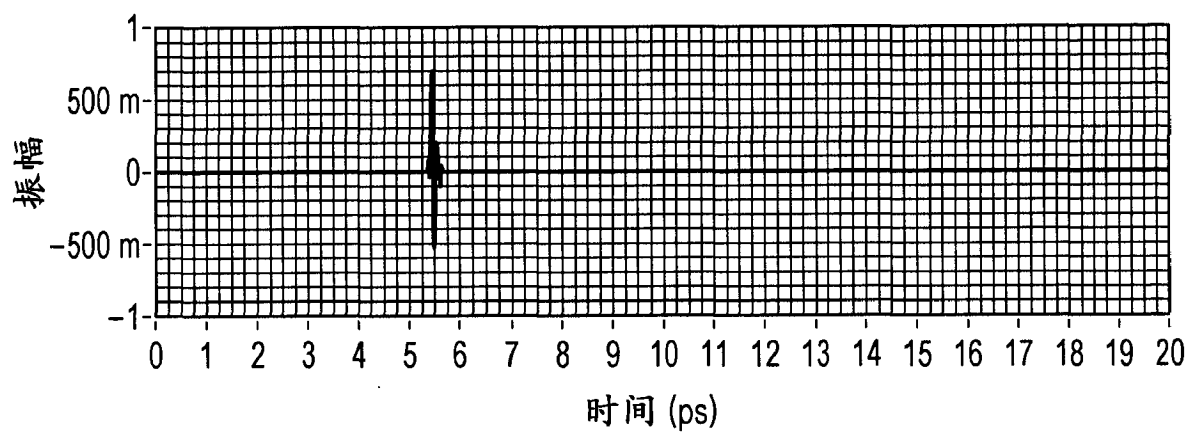


图 9A

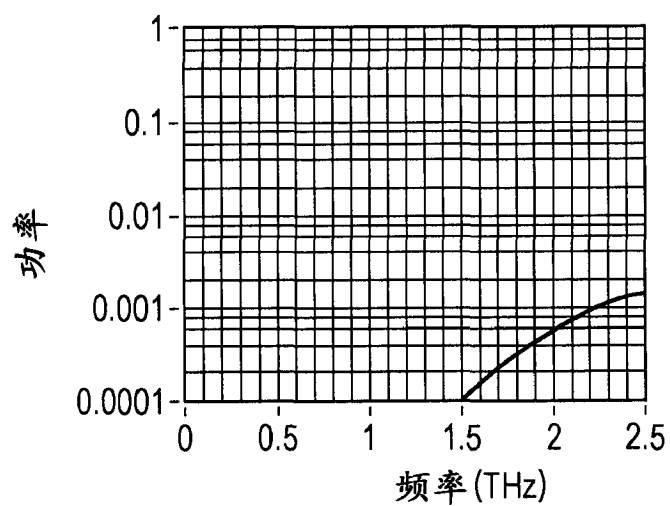


图 9B

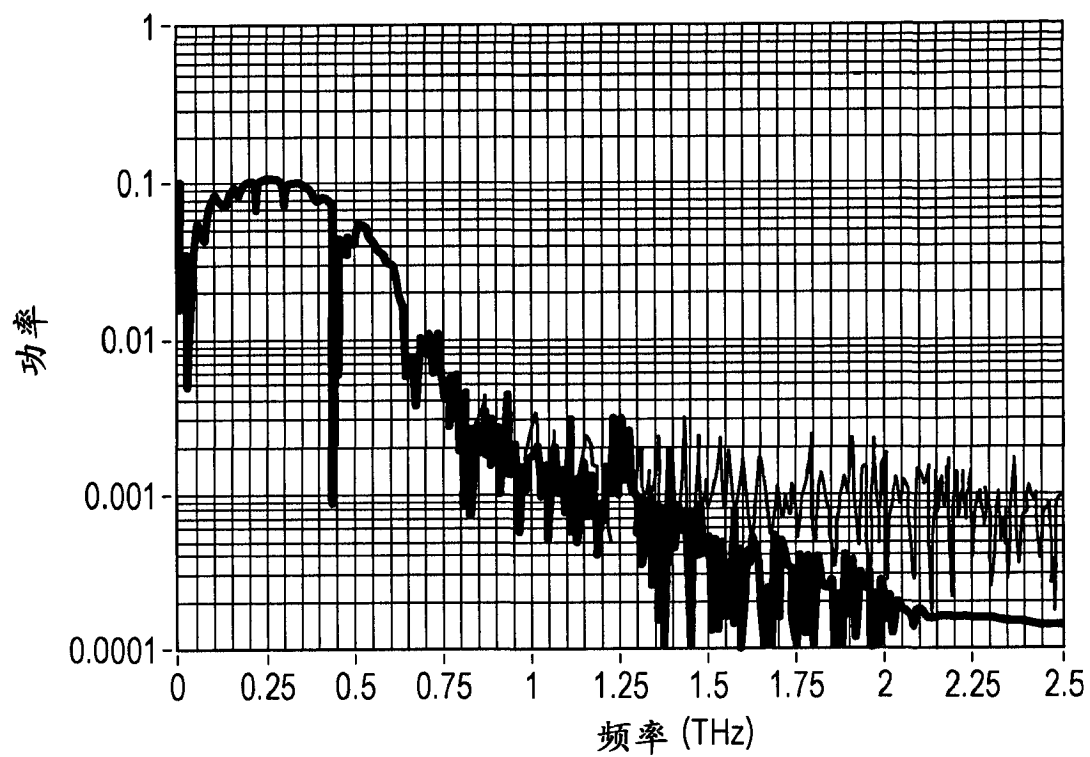


图 10A

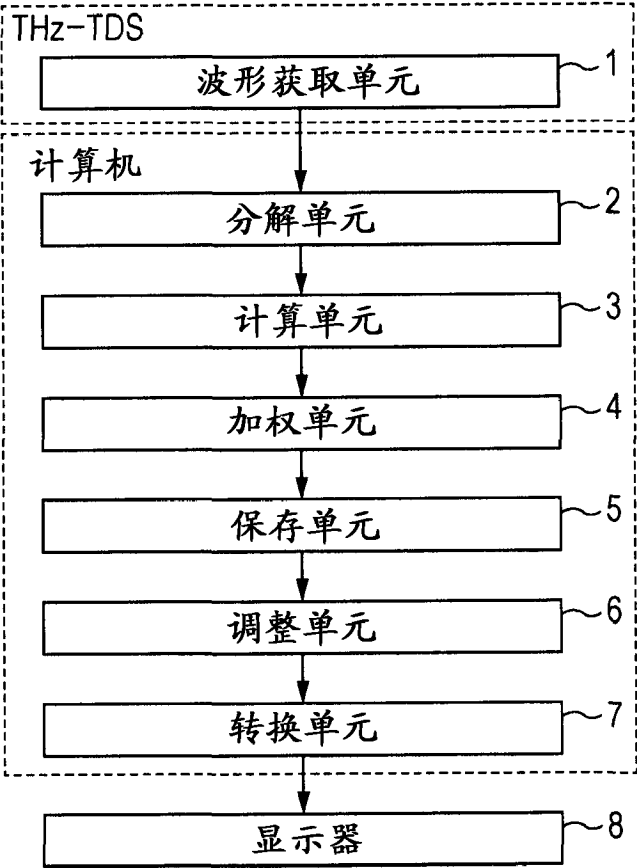


图 10B