



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110012673 A

(43)申请公布日 2019.07.12

(21)申请号 201780073096.6

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

(22)申请日 2017.09.28

代理人 吴志红 臧建明

(30)优先权数据

15/282,419 2016.09.30 US

(51)Int.Cl.

G06T 11/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G01T 1/17(2006.01)

2019.05.27

G01T 1/40(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

G06K 9/00(2006.01)

PCT/US2017/053906 2017.09.28

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/064274 EN 2018.04.05

(71)申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 弗洛里贝特斯·PM·休肯斯费尔特
詹森

马克·大卫·弗里斯 曹拓宇

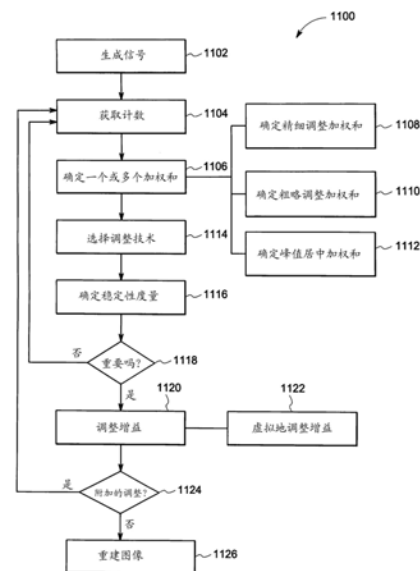
权利要求书3页 说明书22页 附图9页

(54)发明名称

用于光谱分析和增益调整的系统和方法

(57)摘要

本发明公开了一种辐射检测系统,该辐射检测系统包括检测器单元和至少一个处理器。检测器单元被配置为响应于辐射而生成信号。至少一个处理器可操作地耦接到检测器单元并且被配置为从检测器单元接收信号。至少一个处理器被配置为:在成像过程期间,获取对应于第一固有能量窗口的至少一个所述信号的第一计数,该第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;获取对应于第二固有能量窗口的至少一个所述信号的第二计数,该第二能量窗口对应于比固有峰值低的值;以及基于至少第一计数和第二计数来调整应用于信号的增益。



1. 一种辐射检测系统,包括:
检测器单元,所述检测器单元被配置为响应于辐射而生成信号;和
至少一个处理器,所述至少一个处理器可操作地耦接到所述检测器单元并且被配置为从所述检测器单元接收所述信号,所述至少一个处理器被配置为:
在成像过程期间,获取对应于第一固有能量窗口的至少一个所述信号的至少第一计数,所述第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;
在所述成像过程期间,获取对应于第二固有能量窗口的至少一个所述信号的至少第二计数,所述第二能量窗口对应于比所述固有峰值低的值;以及
基于至少所述第一计数和所述第二计数来调整应用于所述信号的增益。
2. 根据权利要求1所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被进一步配置为:
获取对应于窗口的至少一个所述信号的接收辐射计数,所述窗口与至少一个所述信号的接收能量部分相关联;以及
基于所述第一计数、所述第二计数和与所述接收能量部分相关联的所述窗口的接收辐射计数来调整所述增益。
3. 根据权利要求1所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被进一步配置为:
获取对应于第三固有能量窗口的至少一个所述信号的第三计数;
获取对应于第四固有能量窗口的至少一个所述信号的第四计数;
获取对应于第一接收能量窗口的至少一个所述信号的第五计数;
获取对应于第二接收能量窗口的至少一个所述信号的第六计数;
获取对应于第三接收能量窗口的至少一个所述信号的第七计数;
获取对应于第四接收能量窗口的至少一个所述信号的第八计数;以及
基于所述第一计数、所述第二计数、所述第三计数、所述第四计数、所述第五计数、所述第六计数、所述第七计数和所述第八计数的加权和来调整应用于所述信号的所述增益。
4. 根据权利要求2所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被进一步配置为:
获取对应于辅助窗口的至少一个所述信号的辅助计数;
基于所述第一计数、所述第二个计数和所述辅助计数来调整所述增益。
5. 根据权利要求2所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被进一步配置为:
在初始启动时段期间使用所述第一计数和所述第二计数来调整所述增益;以及
在成像时段期间使用所述第一计数、所述第二计数和与所述接收能量峰值相关联的所述窗口的计数来调整所述增益。
6. 根据权利要求2所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被配置为基于峰值分析度量来选择调整技术,其中所述峰值分析度量是基于给定峰值周围的窗口的加权和的。
7. 根据权利要求6所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被配置为在粗略调整技术与精细调整技术之间进行选择。
8. 根据权利要求1所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被配置为通过调整从所述检测器单元接收的测量值来虚拟地调整所述增益。
9. 根据权利要求1所述的辐射检测系统,其中所述至少一个处理器被配置为确定稳定性度量,并且基于所述稳定性度量来确定是否调整所述增益。

10. 一种方法,包括:

响应于辐射,利用检测器单元来生成信号;

在成像过程期间,利用至少一个处理器来获取对应于第一固有能量窗口的至少一个所述信号的第一计数,所述第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;

在成像过程期间,利用所述至少一个处理器来获取对应于第二固有能量窗口的至少一个所述信号的第二计数,所述第二能量窗口对应于比所述固有峰值低的值;以及

基于至少所述第一计数和所述第二计数来调整应用于所述信号的增益。

11. 根据权利要求10所述的方法,还包括:

获取对应于窗口的至少一个所述信号的接收辐射计数,所述窗口与至少一个所述信号的接收能量部分相关联;以及

基于所述第一计数、所述第二计数和与所述接收能量部分相关联的所述窗口的接收辐射计数来调整所述增益。

12. 根据权利要求11所述的方法,还包括:

在初始启动时段期间使用所述第一计数和所述第二计数来调整所述增益;以及

在成像时段期间使用所述第一计数、所述第二计数和与所述接收能量峰值相关联的所述窗口的计数来调整所述增益。

13. 根据权利要求11所述的方法,还包括基于峰值分析度量来选择调整技术,其中所述峰值分析度量是基于给定峰值周围的窗口的加权求和的。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括在粗略调整技术与精细调整技术之间进行选择。

15. 根据权利要求10所述的方法,其中通过调整从所述检测器单元接收的测量值来虚拟地调整所述增益。

16. 根据权利要求10所述的方法,还包括确定稳定性度量,以及基于所述稳定性度量来确定是否调整所述增益。

17. 一种有形和非暂态计算机可读介质,所述有形和非暂态计算机可读介质包括一个或多个软件模块,所述一个或多个软件模块被配置为引导一个或多个处理器进行以下操作:

响应于辐射,利用检测器单元来生成信号;

在成像过程期间,获取对应于第一固有能量窗口的至少一个所述信号的第一计数,所述第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;

在成像过程期间,获取对应于第二固有能量窗口的至少一个所述信号的第二计数,所述第二能量窗口对应于比所述固有峰值低的值;以及

基于至少所述第一计数和所述第二计数来调整应用于所述信号的增益。

18. 根据权利要求17所述的有形和非暂态计算机可读介质,其中所述一个或多个软件模块被进一步配置为引导所述一个或多个处理器进行以下操作:

获取对应于窗口的至少一个所述信号的计数,所述窗口与至少一个所述信号的接收能量部分相关联;以及

基于所述第一计数、所述第二计数和与所述接收能量部分相关联的所述窗口的计数来调整所述增益。

19. 根据权利要求17所述的有形和非暂态计算机可读介质,其中所述一个或多个软件模块被进一步配置为引导所述一个或多个处理器进行以下操作:

通过调整从所述检测器单元接收的测量值来虚拟地调整所述增益。

20. 根据权利要求17所述的有形和非暂态计算机可读介质,其中所述一个或多个软件模块被进一步配置为引导所述一个或多个处理器进行以下操作:

确定稳定性度量;以及

基于所述稳定性度量来确定是否调整所述增益。

用于光谱分析和增益调整的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2016年9月30日提交的美国专利申请15/282,419(现在为2017年8月15日公布的美国专利9,734,603)的优先权,该专利申请是2015年6月30日提交的美国专利申请14/755,536(现在为2016年11月29日发布的美国专利9,508,165)的部分继续申请,该专利申请的整体据此以引用方式并入本文。

背景技术

[0003] 本文公开的主题整体涉及成像系统和技术,并且更具体地讲,涉及能量谱分析和增益调整。

[0004] 在某些类型的成像设备中,诸如正电子发射断层成像(PET)扫描仪中,检测器元件阵列用于检测从患者散发的辐射。例如,在PET扫描仪中,闪烁晶体阵列可以用于检测在患者体内生成的湮灭光子。当从注射到患者体内的放射性药物发射的正电子与引起湮灭事件的电子碰撞时产生湮灭光子。闪烁晶体接收湮灭光子并响应湮灭光子而生成可见光子,其中由光电传感器检测到的可见光子被配置为将来自可见光子的光能转换成用于重建图像的电能。

[0005] 然而,检测器行为(例如,检测器增益)可以随时间变化。检测器增益尤其取决于各种部件的温度以及施加到硅光电倍增管(SiPM)的偏置电压。随着检测器增益变化,所检测的事件的能量峰值会发生变化,从而降低准确度。通常,作为温度函数的峰值稳定性可以使用热监测系统来控制,并且用于基于温度调整增益。此类方法在一定程度上起作用,但可能无法提供期望水平的峰值稳定性或增益调整的准确度。峰值不稳定性可能是与磁共振成像(MRI)结合使用的PET系统中的特别关注问题,因为MRI系统的梯度线圈的激活可以导致相对较大和/或快速的温度增加。

发明内容

[0006] 根据各种实施方案,提供了一种辐射(例如,正电子发射断层成像(PET))检测系统,该辐射检测系统包括检测器单元和至少一个处理器。检测器单元被配置为响应于辐射而生成信号。至少一个处理器可操作地耦接到检测器单元并且被配置为从检测器单元接收信号。至少一个处理器被配置为:在成像过程期间,获取对应于第一固有能量窗口的至少一个信号的第一计数,第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;获取对应于第二固有能量窗口的至少一个信号的第二计数,第二能量窗口对应于比固有峰值低的值;以及基于第一计数和第二计数来调整应用于信号的增益。如本文所用,固有能量可以被理解为不是从被成像的对象接收的能量。例如,固有能量可能是由于检测器晶体内的放射性。作为另一个示例,在一些实施方案中,可以从另一个源(除了被成像的对象之外)提供固有能量。

[0007] 根据各种实施方案,提供了一种方法,该方法包括响应于辐射,利用检测器单元来生成信号。该方法还包括通过至少一个处理器获取对应于第一固有能量窗口的至少一个信号的第一计数,其中第一能量窗口对应于比固有峰值高的值。该方法还包括通过至少一个

处理器获取对应于第二固有能量窗口的至少一个信号的第二计数,其中第二能量窗口对应于比固有峰值低的值。另外,该方法包括基于第一计数和第二计数来调整应用于信号的增益。

[0008] 根据各种实施方案,提供了一种有形和非暂态计算机可读介质,该有形和非暂态计算机可读介质包括一个或多个软件模块。一个或多个软件模块被配置为引导一个或多个处理器进行以下操作:响应于辐射,利用检测器单元来生成信号;在成像过程期间,获取对应于第一固有能量窗口的至少一个信号的第一计数,第一能量窗口对应于比固有峰值高的值;获取对应于第二固有能量窗口的至少一个信号的第二计数,第二能量窗口对应于比固有峰值低的值;以及基于第一计数和第二计数来调整应用于信号的增益。

附图说明

- [0009] 图1是根据各种实施方案的PET检测系统的示意图。
- [0010] 图2是图1的PET检测系统的晶体阵列的平面图。
- [0011] 图3A描绘了根据各种实施方案的对应于来自晶体阵列的元件的信号的直方图。
- [0012] 图3B描绘了使用图3A的直方图的缩放直方图。
- [0013] 图3C描绘了使用图3B的缩放直方图的组合直方图。
- [0014] 图4描绘了结合各种实施方案使用的示例性窗口。
- [0015] 图5描绘了结合各种实施方案使用的示例性窗口。
- [0016] 图6是根据各种实施方案的方法的流程图。
- [0017] 图7示出了根据各种实施方案的成像系统。
- [0018] 图8是图7的成像系统的示意图。
- [0019] 图9示出了根据各种实施方案的形成成像系统的一部分的检测器模块的示例。
- [0020] 图10描绘了结合各种实施方案使用的示例性窗口。
- [0021] 图11是根据各种实施方案的方法的流程图。
- [0022] 图12是根据各种实施方案的方法的流程图。

具体实施方式

[0023] 当结合附图阅读时,将更好地理解某些实施方案的以下详细描述。就附图示出各种实施方案的功能块的图而言,功能块不一定指示硬件电路之间的划分。因此例如,一个或多个功能块(例如,处理器或存储器)可以在单件硬件(例如,通用信号处理器或随机存取存储器、硬盘等)或多件硬件中实现。类似地,程序可以是独立程序,可以作为子例程合并并在操作系统中,可以是已安装的软件包中的功能,可能以硬件或固件来实现等。应当理解,各种实施方案不限于附图中所示的布置和器械。

[0024] 如本文所用,术语“系统”、“单元”和“模块”包括操作以执行一个或多个功能的硬件和/或软件系统。例如,系统、单元或模块可以包括电子电路,该电子电路包括和/或耦接到一个或多个计算机处理器、控制器、或者基于存储在有形和非暂态计算机可读存储介质(诸如计算机存储器)上的指令来执行操作的其他基于逻辑的设备。可替代地或附加地,系统、单元或模块可以包括基于设备的硬连线逻辑来执行操作的硬连线设备。附图中示出的系统、单元或模块可以表示基于软件或硬连线指令操作的硬件、指示硬件执行操作的软件、

或其组合。“系统”、“单元”或“模块”可以包括或表示执行本文描述的一个或多个操作的硬件和相关指令(例如,存储在有形和非暂态计算机可读存储介质上(诸如计算机硬盘驱动器、ROM、RAM等)的软件)。硬件可以包括电子电路,该电子电路包括和/或连接到一个或多个基于逻辑的设备,诸如微处理器、处理器、控制器等。这些设备可以是被适当编程或指示以根据本文所述的指令来执行本文所述的操作的现成设备。附加地或可替代地,这些设备中的一个或多个设备可以与逻辑电路硬连线以执行这些操作。另外,“系统”、“单元”或“模块”可以被配置为执行一个或多个算法以执行本文所述的功能或操作。一个或多个算法可以包括本文公开的实施方案的各方面,无论是在流程图中明确地标识还是作为方法的步骤。

[0025] 如本文所用,以单数形式叙述且以词语“一”或“一个”开头的元件或步骤应被理解为不排除多个所述元件或步骤,除非明确地说明这种排除。此外,对“一个实施方案”的引用并非旨在被解释为排除也包含所叙述的特征的其他实施方案的存在。此外,除非明确地相反说明,否则“包括”或“具有”一个元件或具有特定属性的多个元件的实施方案可包括不具有该属性的其他这类元件。

[0026] 各种实施方案为PET光电传感器和/或PET检测器系统提供了改善的增益稳定性。在各种实施方案中,可以在检测器前端、在包括峰值附近窗口的多个能量窗口中检查单个事件以准确地检测小的峰值偏移。能量窗口可以是固定的或可缩放的。通过计数落入每个窗口中的单个事件,可以确定峰值是否已经从标称或目标峰值(例如,对于湮灭光子为511keV)偏移。如果峰值与目标峰值相差超过预定量(在一些实施方案中,预定量可以是固定的,而在其他实施方案中,预定量可以是可缩放的),则可以适当地调整对应光电检测器设备的增益。

[0027] 各种实施方案可以在检测器板上的可编程硬件中实现,其中窗口大小和增益传递函数由可配置逻辑(例如,寄存器、状态机、数学函数)表示。可替代地,在检测器采集板上执行的固件可以对单个事件数据的能量峰值位置进行采样并且执行类似的窗口计数和增益传递函数。

[0028] 在各种实施方案中,使用3个或更多个窗口来分析信号(例如,如由按能级分类的直方图所表示的)。例如,在具有为511keV的目标或标称峰值的示例性实施方案中,可以为PET系统的每个检测单元使用四个窗口-散射窗口(能级介于460-480keV之间)、下窗口(能级介于480-510keV之间)、上窗口(能级介于512-542keV之间)、以及背景窗口(能级介于542-562keV之间)。

[0029] 对于示例性实施方案,首先基于已知或预期增益来校正或调整所处理的单个事件的能量,诸如通过使用基于晶体位置的查找表。然后,将能量与能量窗口进行比较并且用于使落入窗口中的一个窗口内的事件的适当计数器递增。随着窗口计数器递增,可以获取等于 $WU-WL+A*WS-B*WB$ 的累积总计,其中累积总计是峰值跟踪度量,WU是上窗口的计数的数量,WL是下窗口的计数的数量,WS是散射窗口中的计数的数量,WB是背景窗口中的计数的数量,并且A和B分别是应用于散射计数和背景计数的缩放或加权因子。A和B的值可以在校准过程期间以实验方式确定(例如,检测器单元的代表性模型的校准,其中以实验方式确定的值用于具有相同部件和配置的检测器单元)。在一些实施方案中,通过确定累积总计何时达到阈值(例如200),以及限定然后递增或递减(取决于累积总计差值是正还是负)的另一个计数器(例如,电压偏移计数器),可以实现增益传递函数。可以注意到,在一些实施方案中,

可以通过峰值跟踪来运行常规热更新增益算法,并且如果要基于热漂移进行调整,例如以有助于消除或减少过冲,则可以放弃使用峰值跟踪来确定的任何增益更新。可以注意到,附加或替代性的窗口和加权因子可以用于在能量谱中引入附加的峰值和形状的同位素(也称为“脏同位素”)。

[0030] 因此,各种实施方案通过在增益调整中提供改善的准确性和可靠性来改善峰值稳定性(例如,以帮助解决环境改变(诸如温度的增加或减少)、或电源电压改变)。通过改善峰值稳定性,可以使用较紧密的能量窗口来识别单个事件以用于高精度操作模式,其具有较大的噪声等效计数率(NECR)能力、较低的散射分数、以及较好的图像质量,同时比某些当前方法更好地定量。

[0031] 至少一些实施方案的技术效果提供了改善的检测器性能。例如,至少一些实施方案的技术效果包括改善的增益调整准确度和峰值稳定性。作为另一个示例,至少一些实施方案的技术效果提供了改善的检测器计数率线性度。至少一些实施方案的技术效果提供了患者图像中的改善的信噪比(例如,通过减小散射的影响)。至少一些实施方案的技术效果提供了改善的定量准确度(例如,由于减小的峰值漂移)。

[0032] 图1提供了根据各种实施方案形成的辐射检测系统100(例如,PET检测系统100)的示意图。所描绘的PET检测系统100包括检测器单元105和处理单元130。可以注意到,检测器单元105和处理单元130的一个或多个方面可以整体形成或以其他方式设置于共同的外壳中。例如,检测器单元105的光电传感器和处理单元的处理电路的各方面可以设置在共同的芯片上。附加地或可替代地,处理单元130的各方面可以是安装到检测器单元105并且可通信地耦接到检测器单元105的FPGA或ASIC的一部分。通常,PET检测系统100被配置为接收光子或伽马射线,并且向设置在检测器单元105外部的重建处理单元140提供指示伽马射线的能量、伽马射线的撞击位置、以及伽马射线的撞击定时的输出(例如,信号108)。然后,重建处理单元可以使用来自PET检测系统100以及围绕待成像对象设置的其他大体类似的PET检测系统的信息来重建待成像的对象的至少一部分的图像。可以注意到,在各种实施方案中,处理单元130的一个或多个方面可以设置在外部重建处理单元140上。还可以注意到,PET检测系统是辐射检测系统的一个示例,并且在各种实施方案中可以使用其他类型的检测系统。例如,在一些实施方案中,可以采用直接转换辐射检测系统或利用直接转换设备的检测系统。

[0033] 所描绘的检测器单元105包括晶体阵列110、光导112和光电传感器单元120。通常,湮灭光子106撞击晶体阵列110,并且晶体阵列响应于湮灭光子106而生成可见光子107。可见光子107撞击光电传感器单元120,该光电传感器单元提供对应于可见光子107的接收的信号108。对应于湮灭光子或伽马射线在各种晶体上的撞击的信号108可以用于确定撞击的能量和位置,其可以用于重建图像。可以注意到,每个光子撞击也可以被称为辐射事件。例如,给定湮灭光子撞击可以是单个事件。在彼此的预定时间范围内的共同响应线上的两个相对单个事件可以被确定为对应于重合事件,其中重合事件用于重建图像。

[0034] 所描绘的晶体阵列110被配置为在PET扫描期间被伽马射线或光子撞击,并且响应于被伽马射线或光子撞击而产生光。晶体阵列110是响应于伽马射线或光子的撞击而产生光的闪烁体块的示例。光可以由相关的光电传感器(例如,硅光电倍增管(SiPM))检测并用于重建图像。晶体阵列110可以由例如一组晶体形成,其中在晶体组之间存在一个或多个内

部光屏障。为了便于图示和清楚描述,可以注意到,在图1中示出了仅一个晶体阵列110和仅一个PET检测系统100。可以注意到,在实践中,多个大体类似的PET检测系统100可以围绕被成像的对象(例如,以环形)设置,其中来自给定湮灭事件的光子撞击相对的晶体阵列或检测系统100。用于本文描绘和/或讨论的各种实施方案的检测系统、晶体和光电传感器(和/或光电传感器区域)的特定数量和/或布置是以举例的方式提供的。在各种实施方案中可以采用其他数量和/或布置。

[0035] 如图2中最佳所示,所描绘的晶体阵列110包括以子阵列布置的多个晶体114。在所示的实施方案中,子阵列116包括 3×4 晶体或块组,并且子阵列117包括不同的 3×4 晶体或块组。在各种实施方案中,可以将不同数量的晶体排列成子阵列。在一些实施方案中,晶体阵列110的每个子阵列具有向其分配的光电传感器单元120的专用或对应的光电传感器区域。因此,可以独立地检测或识别来自每个子阵列的光。另外,每个光电传感器区域可以具有向其供应的可独立调整的电压。因此,与给定的对应光电传感器和子阵列相关联的电压和/或增益可以独立于其他光电传感器/子阵列组合的电压和/或增益来进行调整。

[0036] 光导112设置在晶体阵列110与光电传感器单元120之间。光导112被配置为将来自晶体阵列110的光(例如,响应于湮灭光子在晶体阵列110上的撞击而生成)引导至光电传感器单元120。例如,光导112可以由塑料或玻璃制成。通常,光导112可以被配置为具有与晶体阵列110的折射率接近或与光电传感器单元120的折射率接近的折射率,以便有助于将光从晶体阵列110转移到光电传感器单元120。在其中光电传感器单元120直接耦接到晶体阵列110的一些实施方案中,可以利用光学环氧树脂而不使用光导。在一些实施方案中,光导112可以是倾斜的(例如,在靠近光电传感器单元120的位置处的截面大于在靠近晶体阵列110的位置处的截面)。因此,可以减小光电传感器的面积和/或数量,由此减小成本、电容和噪声(暗电流)。

[0037] 所描绘的光电传感器单元120被配置为经由光导112接收由晶体阵列110生成的光,并且响应于所接收的光提供电荷或输出(例如,将一个或多个信号108提供到处理单元130)。所示的实施方案的光电传感器单元120包括第一光电传感器区域121和第二光电传感器区域122。在各种实施方案中可以采用附加的光电传感器区域。每个光电传感器区域可以对应于或专用于晶体阵列110的一个或多个子阵列。例如,第一光电传感器区域121可以对应于子阵列116,并且第二光电传感器区域122可以对应于子阵列117。每个光电传感器区域可以具有向其提供的能够独立调整的电压,使得可以独立地调整与每个光电传感器(以及晶体阵列110的相关部分)相关联的增益。

[0038] 在各种实施方案中,每个光电传感器区域通过光屏障与其他光电传感器区域分开。每个光电传感器区域可以可操作地耦接到对应的区域电路部分,并且向对应的区域电路部分提供输出。在一些实施方案中,光电传感器区域各自包括多个光电传感器单元。在一些实施方案中,光电传感器单元的数量可以与对应子阵列中的晶体元件的数量相对应,而在其他实施方案中,数量可以不同。可以注意到,在各种实施方案中可以使用光电传感器区域和/或晶体部分的其他数量和/或布置。在一些实施方案中,每个光电传感器区域可以仅具有与其相关联的单个光电传感器单元。

[0039] 通常,每个光电传感器区域提供独立输出(例如,独立于其他光电传感器区域)信号(或多个信号),该独立输出信号对于该区域是独特的并且对应于伽马射线或光子在与特

定区域相关联的晶体阵列部分上的撞击。可以注意到,给定的伽马射线可以导致来自多于一个光电传感器区域的输出,例如由于康普顿散射。在各种实施方案中,光电传感器区域可以由一个或多个真空光电倍增管、雪崩光电二极管、或硅光电倍增管形成。例如,在一些实施方案中,每个光电传感器区域可以被配置为单独半导体,而在其他实施方案中,多个光电传感器区域可以存在于单个半导体上。在各种实施方案中,光电传感器输出电路可以设置在与光电传感器区域分离的一个或多个单元(例如,诸如专用集成芯片(ASIC)的集成芯片(IC))上。在其他实施方案中,光电传感器输出电路的至少一部分可以设置在诸如互补金属氧化物半导体(CMOS)的半导体上,在该半导体上设置有一个或多个光电传感器区域。在一些实施方案中,光电传感器输出电路的一部分可以设置在CMOS上,而另一部分设置在ASIC上(例如,区域电路设置在CMOS上并且求和电路设置在ASIC上)。

[0040] 返回图1,在所示的实施方案中,处理单元130可操作地独立耦接到检测器单元105。所描绘的处理单元130被配置为(例如,可以包括一个或多个ASIC和/或FPGA,和/或包括其上存储有被配置为指示处理器的指令的有形和非暂态存储器或与该存储器相关联)获取对应于第一能量窗口的至少一个信号108的第一计数,其中第一能量窗口对应于比标称峰值高的值。例如,对于在PET扫描期间产生的湮灭光子,光子可以具有为511keV的标称峰值。然后将第一能量窗口置于比标称峰值高。例如,第一能量窗口的最小能量可以略微大于标称峰值。信号108的在预定时间量内对应于第一能量窗口内的计数的部分可以用于获取第一计数。所示的实施方案的处理单元130还被配置为获取对应于第二能量窗口的至少一个信号的第二计数,其中第二能量窗对应于比标称峰值低的值。同样,对于在PET扫描期间产生的光子,光子可以具有为511keV的标称峰值。然后将第二能量窗口置于比标称峰值低。例如,第二能量窗口的最大能量可以略小于标称峰值。信号108的在预定时间量内对应于第二能量窗口内的计数的部分可以用于获取第二计数。

[0041] 所描绘的处理单元130还被配置为获取至少一个信号的至少一个辅助计数,其中至少一个辅助计数对应于至少一个辅助窗口。在各种实施方案中,辅助窗口可以设置在比第二窗口的能级低的能级之间,例如以对应于由散射引起的信号的部分。可替代地或附加地,辅助窗口可以设置在比第一窗口的能级高的能级之间,例如以对应于由堆积引起的信号的部分。作为另一个示例,辅助窗口可以设置在比第一窗口的能级高的能级之间,例如以对应于由固有部分引起的信号的部分(例如,由来自晶体阵列110内的固有放射性生成的、或者由来自提供已知能量的辐射以用于校准目的的外部源的辐射生成的计数)。(关于能量窗口的使用和能量窗口的位置的附加讨论,参见例如图4-5和相关讨论)。可以注意到,在一些实施方案中,固有速率可以是相对恒定的,并且可以从信号中减去固有部分而不是使用固有窗口。在所示的实施方案中,处理单元130还被配置为基于第一计数、第二计数和辅助计数来调整应用于信号的增益。例如,第一计数、第二计数和辅助计数可以用于跟踪信号的峰值。如果信号的峰值与标称峰值(例如,511keV)不同或者与标称峰值的差异大于阈值容许水平,则可以调整增益以使峰值达到或接近标称峰值。因此,如果所确定的峰值低于(或远低于)标称值,则可以增加增益(例如,向提供被跟踪信号的光电传感器区域施加的电压)。然而,如果所确定的峰值高于(或远高于)标称值,则可以减少增益。如果所确定的峰值处于标称值或在标称值的可接受范围内,则可以不调整增益。因此,各种实施方案可以被理解为直接跟踪峰值,而不是使用基于峰值的间接测量值(诸如温度改变)的其他补偿技术,

从而提供改善的准确度。例如通过改变光电传感器的增益(例如通过改变偏置电压),通过改变放大器(例如,电压控制放大器或VCA)的增益,或者通过将能量的数字表示乘以表示增益调整的因子(其在本文中可称为虚拟增益调整),可以提供增益调整。此外,在各种实施方案中使用一个或多个辅助窗口提供了比仅使用两个窗口高的准确度。

[0042] 在各种实施方案中,处理单元130包括被配置为执行本文所讨论的一个或多个任务、功能或步骤的处理电路。可以注意到,本文使用的“处理单元”并不一定限于单个处理器或计算机。例如,处理单元130可以包括多个处理器、ASIC、FPGA和/或计算机,其可以集成在共同的外壳或单元中或者可以分布在各种单元或外壳中。可以注意到,由处理单元130执行的操作(例如,对应于本文所讨论的处理流程或方法的操作或其方面)可能是足够复杂的,使得人类在合理的时间段内可能无法执行操作。例如,确定各种信号的能量值和获取计数,以及跟踪峰值和/或基于所获取的计数调整增益,可能依赖于或利用人在合理时间内可能无法完成的计算。

[0043] 在所示的实施方案中,处理单元130设置在检测器单元105的内部上。可以注意到,在替代性实施方案中,可以采用模块或部分的其他类型、数量或组合,和/或本文描述的模块或部分的各方面可以附加地或替代地与不同的模块或部分结合使用。通常,处理单元130的各方面单独地或与其他方面协作地起作用以执行本文所讨论的方法、步骤或过程的一个或多个方面。

[0044] 如图1所示,处理单元包括存储器132。存储器132可以包括一个或多个计算机可读存储介质(例如,有形且非暂时存储介质)。例如,存储器132可以存储与一个或多个信号的能量值相对应的信息、所获取的计数的计数信息、中间处理步骤的结果、校准参数等。例如,存储器132可以在其上存储可用于确定所获取的计数是否对应于目标或标称能量峰值的一个或多个公式或查找表。另外,本文讨论的处理流程和/或流程图(或其方面)可以表示存储在存储器132中以用于引导PET检测系统100的操作的一个或多个指令集。

[0045] 可以注意到,在各种实施方案中,处理单元130的一个或多个方面可以与检测器单元105共享、与检测器单元105相关联、和/或设置在检测器单元105内部。例如,在一些实施方案中,处理单元130的至少一部分与检测器单元105集成在一起。在各种实施方案中,处理单元130的至少一部分包括设置在检测器单元105内部或与该检测器单元集成的至少一个专用集成电路(ASIC)或现场可编程门阵列(FPGA)。

[0046] 当获取计数时,可以连接或组合多个信号以形成评估信号,根据该评估信号来获取各种窗口的计数。例如,针对专用于 3×4 晶体子阵列的光电传感器区域,子阵列中总共有12个元件或块。来自每个元件或块的一个或多个信号可以与来自其他元件或块的信号组合以便形成被评估以获取计数的组合信号,只要这些信号表现出相同的温度依赖性 or 峰值偏移趋势即可。图3A、图3B和图3C描绘了根据各种实施方案的组合信号以提供评估信号的各个方面。

[0047] 例如,图3A描绘了与响应于辐射撞击子阵列晶体而测量的信号相对应的单独信号或直方图300(即300a、300b、300c、300d、300e、300f、300g、300h、300i、300j、300k、300l)。每个单独的直方图300是按照所测量的电信号大小或ADC仓(模数转换二进制)的对于子阵列的特定晶体的直方图。对于所描绘的实施方案,在子阵列中总共有12个晶体的情况下,利用了12个单独的直方图。直方图中的峰值表示511keV能量的伽马射线,即使它们在ADC仓中是

不同的。然后可以缩放单独直方图300以提供图3B中描绘的缩放直方图310(例如,缩放到511keV)。可以注意到,图3A和图3B的直方图之间的差异在于前者以测量信号仓(例如,ADC仓)的比例,并且后者以伽马射线能量仓的比例。对于给定的511keV伽马射线能量沉积,可以预期峰值是相同的,但峰值由于晶体输出、光学耦接和/或其他因素的差异而在实践中是不同的。然而,因为已知峰值在湮灭光子的情况下表示511keV,所以可以计算增益转换因子,使得可以将频谱重新缩放在keV仓中。例如,每个晶体可以具有在校准规程期间确定的特定值或关系,其被配置为将测量值缩放成更接近理想或预期的伽马能量值。特定值或关系可以作为系统校准文件的一部分存储。然后可以将图3B的缩放直方图310组合成如图3C所示的单个直方图320。可以使用组合直方图320来确定如本文所讨论的窗口的各种计数,以便确定是否应当将增益调整应用于子阵列(例如,应用于与子阵列相对应的光电传感器区域)。可以注意到,所描绘的实施方案的组合直方图320关于峰值不对称。相反,例如,对应于散射的部分322可以提供所检测的辐射324的具有比峰值326低的能量的平台。因为散射可能影响峰值位置,所以仅使用两个窗口(例如,上窗口和下窗口)可能无法捕获散射对峰值的影响。因此,在各种实施方案中,可以采用三个或更多个窗口来更准确地跟踪能量直方图的峰值。

[0048] 图4描绘了结合各种实施方案使用的示例性窗口。在图4的示例中,示出了三个窗口。在图4中,示出了直方图400(按能级分类)。例如,可以如结合图3所描述的那样生成直方图400。如图4所示,直方图400包括位于约511keV的峰值402。直方图400还包括对应于高数量(相对于不受散射影响的理想对称直方图)的计数的部分404。在所示的实施方案中,描绘了三个窗口:第一窗口410(或上窗口)、第二窗口420(或下窗口)和辅助窗口430(或散射窗口)。

[0049] 第一窗口410具有均高于标称峰值402的最小边界412和最大边界414。因此,第一窗口410对应于高于标称峰值402的值。第二窗口420具有均低于标称峰值402的最小边界422和最大边界424。因此,第二窗口420对应于低于标称峰值402的值。第一窗口和第二窗口均被定位成在标称峰值402处或附近具有一个边界(第二窗口420的最大边界424和第一窗口410的最小边界412)。辅助窗口430具有最小边界432和最大边界434,该二者均低于标称峰值402以及低于第二窗口420的最小边界422。可以注意到,在一些实施方案中,例如,最大边界可以不低于标称峰值402。在所示的实施方案中,辅助窗口430对应于与散射相对应或与散射相关联的能量值。与散射相对应或与散射相关联的特定值可以根据应用(例如,检测器组成或结构、或结合PET扫描使用的放射性药物等)而变化。

[0050] 如本文所指示的,对应于窗口410、420、430的计数可以用于确定是否要调整应用于由检测器单元提供的信号的增益。例如,计数可以用于确定测量峰值,并且计数可以确定测量峰值是否在标称峰值或标称峰值的可容许距离内。如果测量峰值低于标称峰值,则可以增加增益;或者如果测量峰值高于标称峰值,则可以减少增益。

[0051] 在各种实施方案中,可以采用峰值跟踪度量。例如,对于图4中描绘的实施方案,峰值跟踪度量可以被限定为 $M=U-(L-A*S)$,其中M是峰值跟踪度量,U是第一窗口410中的计数的数量,L是第二窗口420中的计数的数量,S是辅助窗口430中的计数的数量,并且A是辅助计数的加权系数。例如,A可以大于零但小于一。可以注意到,在一些实施方案中,A可以大于一(例如,对于相对较窄的窗口)。A越高,辅助窗口430中的计数对度量的影响就越大,而A越

低,辅助窗口430中的计数对度量的影响就越小。在所示的实施方案中,如果M小于零,则确定峰值低于标称峰值并且可以增加增益;而如果M大于零,则确定峰值高于标称峰值并且可以增加增益。在一些实施方案中,可预先确定M的可接受或可容许范围,并且当M的值超出和低于可容许范围时,增加增益;当M的值超出和高于可容忍范围时,减少增益。可以在检测器单元的测试或校准过程期间确定A的特定值,以及窗口大小(例如,能量范围)和位置。例如,可以在变化的状况(例如,温度改变和散射程度)下为检测器单元提供已知量的辐射,并且以实验方式确定A的特定值和窗口大小/位置。M的值可以周期性地递增或以其他方式更新并且在累积基础上维持。在一些实施方案中,当最近评估时段的M为正(或负)时,可以周期性地评估M并且使计数器递增(或递减)。

[0052] 图4中描绘的示例使用单个辅助窗口;然而,在其他实施方案中,可以采用两个或更多个辅助窗口。辅助窗口的数量、大小和位置可能因应用而异。例如,在期望增加的准确度和/或不对称性对直方图的影响更严重地影响峰值位置的实施方案中可以使用更多个窗口。

[0053] 图5描绘了结合各种实施方案使用的示例性窗口。在图5的示例中,示出了四个窗口。在图5中,示出了直方图500(按能级分类)。例如,可以如结合图3所描述的那样生成直方图500。在某些方面中,图5的示例可以类似于图4的示例。例如,如图5所示,直方图500包括位于约511keV的峰值502。直方图500还包括对应于高数量(相对于不受散射影响的理想对称直方图)的计数的部分504。在图5所描绘的示例中,还示出了大体类似于图4中描绘的窗口的第一窗口510(或上窗口)、第二窗口520(或下窗口)和辅助窗口530(或散射窗口)。然而,图5的示例还包括第二辅助窗口540。第二辅助窗口540设置在高于第一窗口510的能量处,并且可以对应于例如堆积和/或其他固有部分(例如,由来自检测器内的辐射生成的事件相比于来自所接收的湮灭光子的事件)的能量。

[0054] 通常,在各种实施方案中,可以选择辅助窗口的数量和位置以解决可归因于各种原因的计数。如本文所讨论的,例如,可归因于散射的计数可能影响直方图的对称性和峰值位置。作为另一个示例,可归因于固有辐射的计数(例如,来自晶体阵列或其他闪烁体本身的事件)可能影响直方图的对称性和峰值位置。作为另一个示例,可归因于堆积的计数可能影响直方图的对称性和峰值位置。归因于堆积的计数可能随计数率而增加。因此,可以基于计数率来调整与堆积窗口(和/或其他窗口)相关联的变量的权重。作为又一个示例,与脏同位素相关的计数可能影响直方图的对称性和峰位置。因此,在一些实施方案中,处理单元130可以被配置为基于施用到待成像的对象的放射性药物的类型来改变用于确定峰值跟踪度量的权重的值。例如,可以针对第一放射性药物采用对应于脏同位素的能量值的辅助窗口,但当利用没有外来能量峰值的第二放射性药物时,可能不采用脏同位素的辅助窗口。可替代地,堆积窗口可以用于没有外来能量峰值的药物,但不能用于诸如I-124的同位素,该同位素在602keV下具有强发射。

[0055] 类似于图4的示例,第一窗口510具有均高于标称峰值502的最小边界512和最大边界514。而且,第二窗口520具有均低于标称峰值502的最小边界522和最大边界524。与图4的示例一样,第一窗口和第二窗口都被定位成在标称峰值502处或附近具有一个边界(第二窗口520的最大边界524和第一窗口510的最小边界512)。

[0056] 然而,在图5所描绘的示例中,使用两个辅助窗口,即第一辅助窗口530和第二辅助

窗口540。在某些方面中,第一辅助窗口530可以大体类似于第一辅助窗口430。例如,辅助窗口530具有最小边界532和最大边界534,该二者均低于标称峰值502以及低于第二窗口520的最小边界522。在所示的实施方案中,第一辅助窗口530对应于与散射相对应或与散射相关联的能量值。

[0057] 如图5所示,第二辅助窗口540具有最小边界542和最大边界544,该二者均高于标称峰值502以及高于第一窗口510的最大边界514。在所示的实施方案中,辅助窗口540对应于与固有辐射相对应或与固有辐射相关联的能量值。附加地或可替代地,在各种实施方案中,第二辅助窗口540可以对应于与堆积相对应或与堆积相关联的能量值。在所示的实施方案中,窗口不重叠。可以注意到,在一些实施方案中,窗口可以重叠。

[0058] 与结合图4讨论的示例一样,峰值跟踪度量可以用于图5中讨论的示例。例如,对于图5中描绘的实施方案,峰值跟踪度量可以被限定为 $M=U-L-A*(A1+A2)-B*(A1-A2)$,其中M是峰值跟踪度量,U是第一窗口510中的计数的数量,L是第二窗口520中的计数的数量,A1是第一辅助窗口530中的计数的数量,A2是第二辅助窗口540中的计数的数量,并且A和B是辅助计数的加权系数。可以注意到,在一些实施方案中,可以维持峰值跟踪度量的累积总计,其中累积总计用于确定对增益的调整。在一些实施方案中,基于预定时间间隔内的每个窗口的总计数的峰值跟踪度量可以被采样并用于以预定间隔周期性地调整增益。可以注意到,在一些实施方案中,可以用已加权的新事件来更新连续累加器,其中每个事件在其发生时被单独加权(基于对应窗口)并被添加到连续累加器中。

[0059] 在各种实施方案中,可以采用附加和/或替代的窗口、加权因子和/或度量。通常,在各种实施方案中,可以采用峰值跟踪度量,其针对给定数量的窗口使用对应权重(例如,用于比标称峰值高的范围内的值的第一窗口、用于比标称峰值低的范围内的值的第二窗口、以及一个或多个辅助窗口)。可以通过将至少一个对应权重应用于第一计数、第二计数和至少一个辅助计数中的至少一者来确定峰值跟踪度量。在各种实施方案中,权重可以仅用于修改辅助窗口的计数值。接下来,可以确定峰值跟踪度量是否在与给定数量的接收计数的标称峰值相对应的预定范围内。在一些实施方案中,零度量值对应于峰值处于标称峰值的值,正值指示高于标称值的峰值,并且负值指示低于标称值的峰值。在各种实施方案中,峰值跟踪度量可以在累积基础上维持并且基于所接收的计数递增或递减,当其中累积总计超过阈值时调整增益。在各种实施方案中,如果峰值跟踪度量低于预定范围,则可以增加增益;或者如果峰值跟踪度量高于预定范围,则减少增益。可以注意到,可以采用替代性或附加技术来确定峰值位置和/或峰值跟踪度量。例如,在一些实施方案中,如果已知,可以在准备从中获取窗口计数的直方图时减去固有部分。例如,在标称峰值为511keV的情况下,在一些实施方案中可以减去高于700keV的所有读数。作为另一个示例,在一些实施方案中,可以确定峰值并将其直接与标称或期望峰值进行比较以便确定是否要调整增益,如果确定要进行调整,则确定调整的量。

[0060] 如本文所指出的,可以调整与特定光电传感器部分或区域(以及对应的晶体元件或诸如子阵列的元件组)相关联的增益。例如,在一些实施方案中,可以通过改变施加到检测器单元105的电压来调整增益(例如,在处理单元130的控制下)。不管与峰值跟踪度量的预定范围或目标相距的距离如何,电压可以改变预定步长。例如,只要度量低于预定范围,在一些实施方案中可以将预定正步长添加到电压。在一些实施方案中,处理单元130可以被

配置为在预定时间间隔内重复增益调整,例如通过重置计数器。如本文所讨论的,在一些实施方案中,对应于不同子阵列的电压可以彼此独立地进行调整。例如,在图1所描绘的实施方案中,施加到第一光电传感器区域121的电压V1可以独立于施加到第二光电传感器区域122的电压V2来进行调整。可以注意到,可替代地或另外地,电压可以改变估计峰值偏移幅度的量,例如通过考虑经由窗口观察到的度量和总计数。使电压改变预定步长可以改善调整的稳定性,同时使电压改变考虑峰值偏移幅度可以改善响应的快速性的量。

[0061] 图6提供了根据各种实施方案的方法600(例如,用于跟踪能量峰值和/或调整检测系统的增益)的流程图。例如,检测系统可以被配置为与PET成像系统一起使用。例如,方法600可以采用、包括或涉及本文讨论的各种实施方案的结构或方面。在各种实施方案中,可以省略或添加某些步骤,可以组合某些步骤,可以同时执行某些步骤,可以并行地执行某些步骤,可以将某些步骤分为多个步骤,可能以不同的顺序执行某些步骤,或者可能以迭代方式重新执行某些步骤或一系列步骤。在各种实施方案中,方法600的部分、方面和/或变体可以用作一个或多个算法(例如,利用或基于一个或多个算法的存储在有形和非暂态计算机可读介质上的软件模块或其他指令),其用于引导硬件(例如,处理单元130或其一部分)执行本文描述的一个或多个操作。

[0062] 在602处,将待成像的对象定位在PET成像系统的视场内。例如,对象可以是已经被施用放射性药物的人类患者。

[0063] 在604处,由PET成像系统的至少一个检测器单元接收辐射事件。例如,辐射事件可以是由人类患者内的湮灭事件引起的事件。来自患者的辐射可能影响至少一个检测器单元的晶体阵列,其然后响应于辐射影响而将可见光子发射到一个或多个光电传感器。

[0064] 在606处,响应于影响检测器单元的辐射事件而生成信号。例如,接收可见光子的光电传感器可以响应于可见光子的接收而提供电信号作为输出。可以对信号应用增益以将信号校准到从被成像对象接收的辐射的已知或预期能级。因为检测器单元或其部分的行为可以随时间变化(例如,由于温度改变),所以为了准确测量、确定和识别辐射事件,可以如本文所讨论的那样调整增益。如本文所讨论的,可以组合(例如,缩放和组合)多个信号(例如,与晶体阵列的子阵列的单独块或单元相关联的信号)以形成用于获取多个窗口的计数的组合信号。例如,可以基于预定校准独立地缩放对应于子阵列的单独元件的信号。在各种实施方案中,信号可以表示为按能量等级分类的直方图。

[0065] 在608处,获取在606处生成的至少一个信号的第一计数。第一计数是针对对应于比标称或目标峰值(例如,511keV)高的值的第一能量窗口。可以通过添加来自按能级分类的直方图的落在第一能量窗口的上边界与下边界之间的总计数的数量来获取第一计数。

[0066] 在610处,获取在606处生成的至少一个信号的第二计数。第二计数是针对对应于比标称或目标峰值(例如,511keV)低的值的第二能量窗口。可以通过添加来自按能级分类的直方图的落在第二能量窗口的上边界与下边界之间的总计数的数量来获取第二计数。在以峰值为中心的对称直方图的情况下,第一计数窗口和第二计数窗口可以可靠且准确地用于跟踪峰值相对于标称峰值的位置。然而,在实践中,在PET检测期间生成的直方图可能不是对称的,例如由于散射或固有辐射事件等。因此,如本文所讨论的,辅助窗口可以用于解决或负责能量直方图中的不对称性以改善能量峰值确定和/或跟踪的准确性和可靠性。

[0067] 在612处,获取在606处生成的至少一个信号的至少一个辅助计数。每个辅助计数

针对对应的辅助能量窗口。辅助能量窗口可以设置成低于和/或高于标称峰值。在一些实施方案中,对应于散射能量值的散射窗口可以用作辅助能量窗口。可替代地或附加地,对应于检测器单元(或其部分,诸如晶体阵列)的固有辐射能量值的固有窗口可以用作辅助窗口。

[0068] 在614处,基于第一计数、第二计数和至少一个辅助计数来调整应用于由检测器单元生成的信号的增益。例如,可以使用窗口计数来确定峰值跟踪度量。可以将权重应用于至少一个窗口计数。例如,可以将权重应用于至少一个辅助计数以确定峰值跟踪度量。在一些实施方案中,然后可以确定峰值跟踪度量是否在预定范围内。例如,在一些实施方案中,为零的峰值跟踪度量可以对应于峰值处于标称峰值,并且可以确定峰值跟踪度量的绝对值是否超过阈值。如果峰值跟踪度量在预定范围之外,则可以调整增益(例如,如果峰值跟踪度量低于预定范围则增加增益,并且如果峰值跟踪度量高于预定范围则减少增益)。可以注意到,可以在检测器单元的校准期间(或在代表性检测器单元的校准期间)确定用于获取峰值跟踪度量的计数之间的特定关系。在各种实施方案中,可以在收集时段内对计数进行采样,其中针对每个收集时段计算峰值跟踪度量,并且在每个收集时段之后更新峰值跟踪度量的累积总计。峰值跟踪度量的累积总计可以用于确定适当的增益调整。

[0069] 在一些实施方案中,可以通过改变电压来调整增益。例如,在所示的实施方案的616处,改变施加到至少一个检测器单元(例如,检测器单元的光电传感器区域)的电压。例如,可以使电压改变预定步长(例如,如果峰值低于目标范围,则应用预定步长增加,或者如果峰值高于目标范围,则应用预定步长减少)。可以注意到,如本文所讨论的,可能以除了通过向检测器施加电压之外的方式来调整增益(例如,通过调整放大器的增益、或通过将所接收的能量的数字表示乘以增益因子)。可以注意到,除了峰值跟踪度量的位置在目标范围之外,还可以考虑其他考虑因素。例如,可以附加地进行常规基于温度的调整,其中常规基于温度的调整优先于峰值跟踪度量。可替代地,峰值跟踪度量可以优先于常规基于温度的调整。此外,可以对在给定时间量内进行的多个增益调整、或增益调整的频率进行限制。作为另一个示例,可以获取并分析一系列信号,其中仅在该系列满足一个或多个预定标准(例如,峰值漂移的总量、峰值漂移的速率等)时才调整增益。在确定一系列信号是否满足预定标准时,可以向最近获取的信号给予比先前获取的信号高的权重。

[0070] 图7至图9示出了PET成像系统,可以利用该PET成像系统来采用本文描述的各种实施方案。在其他实施方案中,如本文所讨论的晶体阵列可以与其他成像系统(例如,被配置用于一种或多种附加或替代模态的成像系统)一起使用。图7示出了PET扫描系统1,该PET扫描系统包括机架10,该机架围绕中心开口或孔12支撑检测器环组件11。在所示的实施方案中,检测器环组件11大体是圆形的并且由多个检测器环组成,这些检测器环沿中心轴线2间隔开以形成圆柱形检测器环组件。在各种实施方案中,检测器环组件11可以包括沿中心轴线2间隔开的5个检测器环。患者台13定位在机架10的前面并且与检测器环组件11的中心轴线2对准。患者台控制器(未示出)响应于通过通信链路16从操作员工作站15接收的命令将台床14移动到孔12中。机架控制器17安装在机架10内并且响应于通过第二通信链路18从操作员工作站15接收的命令来操作机架。

[0071] 如图8所示,操作员工作站15包括中央处理单元(CPU)50、显示器51和键盘52。操作者可以使用键盘来控制PET扫描仪的校准、PET扫描仪的配置、以及患者台的定位以进行扫描。而且,操作者可以使用由工作站CPU 50执行的程序来控制所得图像在显示器51上的显

示和/或执行图像增强功能。

[0072] 检测器环组件11包括多个检测器模块。例如,检测器环组件11可包括36个检测器模块,其中每个检测器模块包括八个检测器块。在图7中示出了一个检测器块20的示例。检测器模块中的检测器块20可以例如以 2×4 配置来布置,使得检测器环组件11的周围环绕72个块,并且检测器组件11的宽度是4个检测器块宽。每个检测器块20可包括多个单独的检测器晶体。在所示的实施方案中,检测器晶体21的阵列位于四个光电传感器22的前面。光电传感器22被示意性地描绘为光电倍增管;然而,可以注意到,SiPM可以用于各种实施方案中。在各种实施方案中,可以采用其他配置、大小和数量的检测器晶体、光电传感器和检测器模块。

[0073] 在PET扫描期间,湮灭光子可以撞击检测器晶体21中的一个检测器晶体。可以由例如硅酸镱(LYSO)或锗酸铋(BGO)形成的检测器晶体21将湮灭光子转换成由光电传感器接收和检测的多个光子。由检测器晶体产生的光子通常在一定程度上扩散并进入邻近的检测器晶体,使得四个光电传感器22中的每个光电传感器由于湮灭光子撞击单个检测器晶体21而接收一定数量的光子。

[0074] 响应于闪烁事件,每个光电传感器22在线A-D中的一根线上产生信号23A-23D,如图9所示,该信号在发生闪烁事件时急剧上升并且然后以指数方式尾移。信号的相对幅度由发生闪烁事件的检测器晶体阵列中的位置确定。引起闪烁事件的湮灭光子的能量确定四个信号的总幅度。信号开始上升的时间由闪烁事件发生的时间、以及使光子从闪烁事件的位置行进到光电传感器所需的时间确定。图9中描绘的示例提供了基于真空光电检测器的示例;然而,可以注意到,本文公开的某些原理通常也可以应用于SiPM检测器。

[0075] 如图8所示,一组采集电路25安装在机架10内以接收来自检测器块20的四个信号。采集电路25使用相对信号强度来确定检测器晶体阵列内的定时、能量和事件坐标。结果被数字化并通过电缆26发送到容纳在单独机柜28中的事件定位器电路27。每个采集电路25还产生指示发生闪烁事件的确切时刻的事件检测脉冲。

[0076] 事件定位器电路27形成数据采集处理器30的一部分,该数据采集处理器周期性地对由采集电路25产生的信号进行采样。数据采集处理器30具有采集CPU 29,其控制局域网18和总线31上的通信。事件定位器电路27将关于每个有效事件的信息组合成一组数字值,其指示事件发生的时间和检测到事件的检测器晶体21的标识。例如,事件定位器电路27可以使用检测器位置映射图将一对坐标映射到已检测事件检测器21。

[0077] 事件数据分组被传输到重合检测器32,该重合检测器也是数据采集处理器30的一部分。重合检测器32接受来自事件定位器电路27的事件数据分组,并确定它们中的任何两个是否重合。重合由多个因素确定。例如,每个事件数据分组中的时间标记可能被要求在彼此的指定时间段内,例如4.57ns。作为另一个示例,由两个事件数据分组指示的位置可能被要求位于穿过扫描器孔12的视场(FOV)的直线上。丢弃不能配对的事件,但是重合事件对被定位并记录为通过串行链路33传输到分类器34的重合数据分组。例如,重合数据分组的格式可以是48位数据流,其具体地包括一对数字值,该对数字值精确地识别检测到事件的两个检测器晶体21的位置以及它们之间的时间差。

[0078] 可包括CPU并形成图像重建处理器40的一部分的分类器34从重合检测器32接收重合数据分组。分类器34的功能是接收重合数据分组并且为重合数据的存储分配正弦图存储

器。指向相同方向(θ)并穿过扫描仪视场的所有投影射线的集合是完整的投影或“视图”,其中的一个接合制成正弦图。特定投影射线与视场中心之间的距离(R)将该投影射线定位在该视场内。如图6所示,例如,沿投影射线51'发生事件50',该投影射线以投影角度 θ 和距离 R 定位在视场内。分类器34通过整理指示位于投影射线上的检测器晶体21处的事件的重合数据分组来计数在扫描期间在该投影射线(R, θ)上发生的所有事件。在发射扫描期间,重合计数被组织在存储器43中,例如作为一组二维阵列,针对每个轴向图像存在一个二维阵列,并且各自使投影角度 θ 作为其一个尺寸并且使距离 R 作为其另一个尺寸。测量事件的这种 $\theta \times R$ 映射可以被称为正弦图阵列48。分类器34还可以将重合事件组织成其他数据格式。例如,在投影平面格式中,可以使用其他变量来限定由非相邻检测器环中的成对检测器晶体21检测的重合事件。

[0079] 重合事件随机发生,并且分类器34根据每个重合数据分组中的两个晶体地址来确定 θ 和 R 值,并且使对应声波图阵列元素的计数递增。在发射扫描完成时,正弦图阵列48存储沿每条射线发生的湮灭事件的总数。阵列处理器45根据正弦图阵列48中的数据重建图像。然而,首先,可以对所获得的数据进行多次校正以校正测量误差,诸如由患者的湮灭光子衰减、检测器获取非均匀性、随机重合、以及积分器死区时间引起的测量误差。然后,由阵列处理器45对已校正的正弦图阵列的每一行进行傅里叶变换并将其乘以一维滤波阵列。然后,对已滤波的数据进行逆傅立叶变换,并且反投影每个阵列元素以形成图像阵列46。图像CPU 42可以存储图像阵列数据或者将数据输出到操作员工作站15。

[0080] 本文讨论的某些先前实施方案采用与所接收的辐射的峰值能量相关联的窗口。可以注意到,各种实施方案可以替代地或附加地使用设置在由检测器检测的能量谱的其他部分处的窗口。例如,各种实施方案可以采用设置在频谱的各个点处的多个窗口,以基于频谱形状或频谱特征提供增益调整。此类窗口可能与所接收的能量相关联或不相关联。例如,在一些实施方案中,可以围绕固有能量(例如,从检测器内生成的辐射,区别于由检测器从外部源(诸如人类患者或被成像的其他对象)接收的辐射)的峰值设置两个或更多个窗口。

[0081] 例如,在一些实施方案中,处理单元130可以被配置为在成像过程期间获取对应于第一固有能量窗口的至少一个信号的第一计数,并且在成像过程期间获取对应于第二固有能量窗口的至少一个信号的第二计数。如本文使用的成像过程可以被理解为其间获取用于生成待重建图像的信息的过程。出于清楚和避免疑问的目的,如本文使用的成像过程不包括在不分析待成像的对象的过程期间使用检测器。例如,独立于对对象进行成像而执行的校准过程(例如,过夜或在检测器未用于成像的另一时段期间执行的校准过程)不是如本文所用的成像过程。可以注意到,在各种实施方案中还可以获取并利用附加窗口的附加计数。第一固有能量窗口对应于比固有峰值高的值,并且第二固有能量窗口对应于比固有峰值低的价值。固有峰值和相关计数可能是由于检测器单元(例如,检测器单元105)内的固有源,诸如镅(例如, Lu-176)。可以注意到,在各种实施方案中可以附加地或替代地使用其他窗口(例如,与不同的固有峰值相关联的窗口和/或多于两个与固有峰值相关联的窗口)。在各种实施方案中,处理单元130基于第一计数和第二计数来调整应用于信号(例如,接收信号和/或固有信号)的增益。例如,可以使用第一计数和第二计数(并且在各种实施方案中,来自附加窗口的附加计数)来使用加权和,其中在添加加权和的计数之前,将每个窗口的计数乘以预定加权因子。为了计算加权和,可以在给定时间段(例如,一秒)内累积特定窗口的计数,

并且针对给定时间段重新计算加权。可替代地,可以在持续基础上计算加权;在这种情况下,每个窗口具有相关权重,并且当确定事件落入某个窗口内时,对应权重被添加到累积总和中。基于加权的值来调整增益。例如,如果加权和高于目标值,则可以减少增益,并且如果加权和低于目标值,则可以增加增益。在累积总和的情况下,可以基于所接收的计数的数量连续调整目标值。例如,由于不同能量事件的到达的随机性质,加权和将以跟随高斯随机游走的方式缓慢偏离零,其中预期偏差与所采取的步骤(或检测到的事件数)的平方根成比例。然后通过评估不等式 $S^2 > f \cdot N$ 来计算用于调整增益的标准,其中 S 是累积总和, N 是事件的总数,并且 f 是某个预定比例因子,例如5。当因子 f 很大时,只有较大的增益误差才会导致调整;当因子 f 很小时,较小的偏差将导致调整。为了提高算法的稳定性,当事件累积开始时,累加器 N 可以被初始化为大于零的值(例如200);这将确保在进行增益调整之前必须检测到数百个事件。

[0082] 可以注意到,可以通过调整提供给检测器单元105的电压来调整增益。附加地或可替代地,可以通过调整从检测器单元接收的测量值来虚拟地调整增益。例如,如果为了调整确定3%的增益增加,则可以将所接收的测量值乘以1.03以提供用于进一步处理的调整值(例如,用于图像重建)。

[0083] 在各种实施方案中,与固有辐射相关联的窗口以及与接收的辐射相关联的窗口可以用于确定增益调整。例如,处理单元130可以被配置为(除了获取对应于信号的固有部分的第一固有窗口和第二固有窗口的第一计数和第二计数之外)获取对应于与至少一个信号的接收能量峰值(例如,由于从正被成像的患者接收的辐射具有已知同位素的标称峰值而接收的能量)相关联的窗口的计数,并且基于第一计数、第二计数和与接收能量峰值相关的窗口的计数调整增益。窗口的特定数量以及应用于窗口计数的加权因子可以被定制以适合给定实施方案的期望性能。例如,可以基于给定检测器的能量谱的预料或预期形状、施用的放射性药物和/或成像规程来选择加权因子。

[0084] 可以注意到,与固有辐射相关联的窗口可以用于在从待成像的对象接收到辐射时提供信号分析的改善的准确度或鲁棒性以用于增益确定,以及在从待成像的对象接收到辐射时提供增益调整和/或校准。例如,在一些实施方案中,在初始启动时段期间(例如,其中患者不在检测器的孔内和/或尚未被施用放射性药物的时段,或者其间检测器以其他方式未从待成像对象接收到辐射的时段),可以使用第一计数和第二计数(或者以其他方式与固有辐射相关联的计数)来调整增益(例如,由处理单元130)。然后,当患者或其他对象设置在孔内,并且检测器接收来自外部源(例如,患者或其他对象)的辐射时,使用第一计数和第二计数以及与信号的接收能量峰值或部分相关联的窗口的计数来调整增益。

[0085] 图10描绘了根据各种实施方案的具有示例性窗口的能量谱。能量谱被绘制为信号1000,其中事件计数(例如,在预定时间段内的计数)的总数沿垂直轴线并且事件的能量沿水平轴线。如图10所示,信号1000包括第一固有部分1010和接收辐射部分1020,该第一固有部分包括第一固有峰值1012,并且该接收辐射部分包括接收辐射峰值1022。(可以注意到,在其他实施方案中可以存在不同的和/或附加的峰值或部分,例如,取决于检测器材料和/或向被成像的患者施用的放射性药物)。对于图10中描绘的示例,第一固有峰值1012处于标称值307keV(对于Lu-176),并且接收辐射峰值1022被示为处于标称值511keV。可以注意到,在所示的实施方案中,可以看到包括处于标称值202keV的第二固有峰值1032的第二固有部

分1030。另外,在图10中还示出了第三固有部分1040。可以注意到,第一固有部分1010和第二固有部分1030相对于接收辐射部分1020处于相对较低的能量,并且第三固有部分1040相对于接收辐射部分1020处于相对较高的能量。可以注意到,固有部分对应于来自检测器内(例如,来自检测器的晶体)或来自未被成像的源(例如,校准源)的辐射,而接收辐射部分对应于从被成像的对象接收的辐射。

[0086] 对于图10中描绘的实施方案,存在与信号1000的第一固有部分1010相关联的四个窗口。第一固有窗口1013和第二固有窗口1014可以被称为内窗口,因为该第一固有窗口和第二固有窗口相对于第一固有峰值1012更居中地定位,并且第三固有窗口1015和第四固有窗口1016可以被称为外窗口,因为与第一固有窗口1013和第二固有窗口1014相比,该第三固有窗口和第四固有窗口相对于第一固有峰值1012更向外地定位。

[0087] 对于图10中描绘的实施方案,附加的四个窗口与接收辐射部分1020相关联。第一接收辐射窗口1023和第二接收辐射窗口1024可以被称为内窗口,因为该第一固有窗口和第二固有窗口相对于接收辐射峰值1022更居中地定位,并且第三接收辐射窗口1025和第四接收辐射窗口1026可以被称为外窗口,因为与第一接收辐射窗口1023和第二接收辐射窗口1024相比,该第三固有窗口和第四固有窗口相对于接收辐射峰值1022更向外地定位。

[0088] 来自每个窗口的计数被赋予权重,其中来自每个窗口的计数乘以对应权重以提供每个窗口的加权计数。然后,可以添加所有窗口的加权计数以提供加权和。基于加权和,可以调整增益。例如,如果加权和低于预定阈值(例如,零),则可以增加增益,并且如果加权和高于预定阈值(例如,零),则可以减少增益。加权的特定值、窗口的数量、窗口的位置、窗口的大小以及为增加或减少增益而采用的阈值可以被改变以适合给定的应用,并且可以作为特定成像系统的校准过程的一部分被确定和/或调整。可以注意到,所使用的窗口的总数可以是可缩放的,以便被调谐到给定应用的预期辐射水平。

[0089] 下表列出了与第一固有部分1010和接收辐射部分1020相关联的图10的窗口的示例性加权。可以注意到,表中的值是作为示例提供的,并且在各种实施方案中可以采用其他值。

[0090]

窗口	对应信号部分	下边界(keV)	上边界(keV)	加权系数
第三固有窗口 1015	第一固有部分 1010	257	277	0.15
第一固有窗口 1014	第一固有部分 1010	277	307	-(0.40)
第二固有窗口 1014	第一固有部分 1010	307	337	0.40
第四固有窗口 1016	第一固有部分 1010	337	357	-(0.15)
第三接收辐射 窗口 1025	接收辐射部分 1020	461	481	0.55
第一接收辐射 窗口 1023	接收辐射部分 1020	481	511	-(1.0)
第二接收辐射 窗口 1024	接收辐射部分 1020	511	541	1.0
第四接收辐射 窗口 1026	接收辐射部分 1020	541	561	-(0.55)

[0091] 如本文所讨论的,可以使用计数的数量和加权系数来生成加权和。这可以表示为 $S = (w_1 * c_1) + (w_2 * c_2) + (w_3 * c_3) + \dots$,其中 S 是加权和, w_n 是第 n 个窗口的计数,并且 c_n 是第 n 个窗口的加权系数。这也可以表示为 $S = \sum_{i=1}^n w_i c_i$,其中 n 对应于窗口的数量。可以注意到,在所示的实施方案中,内窗口比外窗口程度高地加权,并且加权因子的符号交替。因此,更接近标称峰值的事件倾向于比更远离标称峰值的事件高程度地加权。而且,与接收辐射相关联的事件倾向于比与固有辐射相关联的事件程度高地加权(例如,以允许使用与固有辐射相关的事件,同时仍然对接收辐射进行高程度加权以解决散射泄漏)。在各种实施方案中使用四个窗口提供了稳健的度量。例如,对于给定的接收辐射峰值,四个窗口可能足以估计组合的接收辐射(例如,峰值不同于诸如511keV的标称中心的程度)、散射和固有背景的结果。还可以注意到,在所描绘的示例中,加权系数的符号在相邻窗口之间交替。在各种实施方案中,使用此类交替的正和负加权系数以及围绕峰值的四个或更多个窗口可以帮助解决峰值周围区域中的信号的非零平均斜率。例如,对于固有峰值,随着计数率增加,可能出现相对较大量的下散射。可以选择加权系数以帮助确保下散射不会导致峰值位置的偏移。在一些实施方案中,基于固有峰值由施加在线性斜率顶部上的对称高斯形状组成的假设,可以选择与信号的固有部分相关联的加权系数。

[0092] 可以注意到,在各种实施方案中,可以使用附加或替代窗口,例如以便在高计数率的情况下微调结果(例如,由于堆积导致的峰值失真)和/或校正来自较高峰的溢出(例如,“脏”放射性示踪剂)。例如,如图10所示,辅助窗口1050设置在接收辐射部分1020的右侧(或者比该部分的能量高)以提供总共9个窗口。在所示的实施方案中,辅助窗口1050与第三固有部分1040相关联,并且用于累积或计数与第三固有部分1040相关联的事件。在各种实施方案中,可以采用附加或替代的辅助窗口来帮助解决可能改变频谱形状的“脏”同位素。

[0093] 还可以注意到,在频谱的给定部分的初始峰值位置与标称或预期校正相距太远

(例如,由于漂移)的示例性场景中,在内窗与外窗之间使用交替的符号可以提供具有错误符号的所得加权和(例如,在高于零的值对应于沿一个方向的增益调整,并且低于零的值对应于沿相反方向的增益调整的实施方案中),从而导致在不正确方向上不恰当地调整增益。在各种实施方案中,如果确定峰值没有适当地在四个(或更多个)相关联窗口上居中,则可以使用不同的加权方案或粗略调整方案来估计校正的方向;而如果确定峰值适当地居中,则可以采用精细调整加权方案(例如,使用来自上表的加权系数,具有交替符号)。在一些实施方案中,粗略调整方案可以使用与精细调整方案相同的窗口,但使用不同的加权系数。例如,用于粗略调整方案的第一固有窗口1013和第三固有窗口1015的加权系数可以是负的,并且用于粗略调整方案的第二固有窗口1014和第四固有窗口1015的加权系数可以是正的(和/或第一接收辐射窗口1023和第三接收辐射窗口1025的加权系数可以是负的,并且第二接收辐射窗口1024和第四窗口1025的加权系数可以是正的),其中对于负的所得加权和增加增益,或者对于正的所得加权和减少增益。在其他实施方案中,相对于精细调整,可以为粗略调整采用不同的窗口。

[0094] 在各种实施方案中,处理单元130可以被配置为基于峰值分析度量来选择调整技术(例如,精细调整或粗略调整),该峰值分析度量可以由处理单元130计算。在各种实施方案中,峰值分析度量是基于给定峰值周围的窗口的加权和的。在各种实施方案中,峰值分析度量提供了相对于外窗口在内窗口中存在更多计数的指示(例如,峰值在约四个窗口上相对居中)。例如,取决于其相对宽度,外窗口可以接收-1.0的加权系数并且内窗口可以接收1.0的加权系数。然后使用一个或多个加权和来计算峰值分析度量。例如,可以使用 $P = (\sum (w_i * x_i)) / (\sum (|w_i| * x_i))$ 来计算峰值分析度量,其中P是峰值分析度量, w_i 是给定窗口的加权系数,并且 x_i 是给定窗口的计数的数量。P的正结果指示内窗口中存在更多计数(例如,峰值居中并且使用精细调整方案),并且负结果指示外窗口中存在更多计数(例如,峰值不居中并且使用粗略调整方案)。在一些实施方案中,为0.25的P值可以用作阈值,其中当P高于0.25时,信号被认为是在峰值。可以注意到,在替代性实施方案中,可以使用其他度量和/或其他阈值以用于确定要采用哪种调整技术。在一些实施方案中,当确定由精细调整技术确定的增益沿不适当的方向时,处理单元130可以在沿所确定的方向相反的方向自动调整增益。沿相反方向的这种调整的增量可以小于原始确定所要求的增量。

[0095] 在一些实施方案中,可以保持3个累加器的累积计数(或加权和)-用于精细调整技术的第一加权和、用于粗略调整技术的第二加权和、以及用于确定要使用精细调整技术或粗略调整技术中的哪一个的峰值加权和。

[0096] 在一些实施方案中,例如为了帮助防止增益的改变发生得太快,可以确定累积信号(和/或相关计数)的统计显著性。然后,取决于增益调整度量或计算的重要性,可以确定是否调整增益。因此,在各种实施方案中,处理单元130被配置为确定稳定性度量,并且基于稳定性度量来确定是否调整增益。在各种实施方案中,通过将这种度量在频谱处于峰值的时间内的演变与这种度量在频谱处于非峰值的时间内的演变进行比较,发现度量可以与计数数量的平方根成比例地增长,并且对于峰值偏移,度量可以线性增长。因此,在适当选择的系数A和B下,可以采用以下不等式作为稳定性度量: $(acc)^2 > A * N + B$,其中acc是给定累积时段的累积计数(例如,加权和),并且N是累积时段的数量(例如,自增益调整以来的累积时段的数量)。然而,可以注意到,显著的计数移位可以被累积时段的足够高数量N掩盖。因此,

可以周期性地执行非常小的增益调整并将N重新设置为零。例如,如果在没有任何增益调整的情况下发生多个计数或周期,则可以进行小的增益调整(例如,比信号的频谱分析所要求的调整更小的调整)(例如,0.1%的调整)。

[0097] 图11提供了根据各种实施方案的方法1100(例如,用于跟踪能量峰值和/或调整检测系统的增益)的流程图。例如,检测系统可以被配置为与PET成像系统一起使用。例如,方法1100可以采用、包括或涉及本文讨论的各种实施方案的结构或方面。在各种实施方案中,可以省略或添加某些步骤,可以组合某些步骤,可以同时执行某些步骤,可以并行地执行某些步骤,可以将某些步骤分为多个步骤,可能以不同的顺序执行某些步骤,或者可能以迭代方式重新执行某些步骤或一系列步骤。在各种实施方案中,方法1100的部分、方面和/或变体可以用作一个或多个算法(例如,利用或基于一个或多个算法的存储在有形和非暂态计算机可读介质上的软件模块或其他指令),其用于引导硬件(例如,处理单元130或其一部分)执行本文描述的一个或多个操作。

[0098] 在1102处,利用检测器单元生成信号。信号可以包括固有事件(由检测器内的辐射引起)和/或接收辐射事件(由来自检测器外部的辐射引起,例如待成像的对象)。可以在预定累积时段(例如,1秒)内生成或累积单个信号或一组事件计数。例如,第一组计数可以通过初始时间段内的特定能级下的计数数量来表征,第二组计数可以通过随后时间段内的特定能级下的计数来表征等。

[0099] 在1104处,针对围绕能量谱分布的窗口获取计数。例如,如结合1102所讨论的,信号可以通过特定能级下的计数数的数量来表征。窗口可以沿着频谱定位,其中每个窗口限定一系列能级,并且在累积时段(例如,一秒)内对每个窗口执行单独的计数累积。窗口可以沿着频谱设置在对应于预期或标称信号的不同部分的位置处。例如,在一些实施方案中,四个窗口可以设置在信号的固有部分附近,并且四个窗口设置在信号的接收辐射部分附近。(参见图10和相关讨论。)沿着能量谱的不同部分设置的此类窗口的使用可以提供关于光谱特征或信号形状的信息,并且提供比仅识别峰值位置更多的信息。附加地或可替代地,在各种实施方案中,可以利用一个或多个辅助窗口。可以注意到,在各种实施方案中,可以获取检测器的不同大小部分的计数。例如,在一些实施方案中可以获取单个晶体的计数,或者在其他实施方案中可以获取晶体块的计数。一般而言,对其收集计数的晶体或其他单元越多,可用于收集统计上显著数量的计数的累积期就越短。此外,附加地或可替代地,可以对检测器的不同大小或分配单元(诸如单个晶体或晶体块)进行增益调整。因此,可以基于检测器的子部分的局部状况独立地调整增益。

[0100] 在1106处,确定一个或多个加权和。通常,可以通过将每个窗口的累积计数乘以对应于特定窗口的预定加权系数来确定给定累积时段的加权和。在所描绘的实施方案中,确定三个加权和。可以注意到,在各种实施方案中,可以首先独立地对单独事件进行加权,并且然后将其添加到连续累加器。附加地,在各种实施方案中,可以保持所看到的总事件的累积计数(例如,以结合稳定性度量使用)。在1108处,确定精细调整加权和。对于精细调整加权和,在一些实施方案中,四个窗口的组围绕一个或多个标称峰值能级设置。对于每个四个窗口的组,内窗口可以具有比外窗口更大的加权系数,并且加权系数的符号可以在相邻窗口之间在正负之间改变。在1108处,确定粗略调整加权和。对于粗略调整加权和,在一些实施方案中,标称峰值的一侧上的一个或多个窗口被分配负加权系数,并且标称峰值的相对

侧上的一个或多个窗口被分配正加权系数。在1112处,确定峰值居中加权和。峰值居中加权和是峰值分析度量的示例,该峰值分析度量可以用于确定测量峰值关于围绕标称峰值设置的一组窗口是否相对居中和/或居中的相对质量或量。在一些实施方案中,在四个窗口围绕标称峰值设置的情况下,对于峰值居中加权和,内窗口可以具有正号加权系数并且外窗口可以具有负号加权系数。例如,峰值居中加权和可以用于选择精细调整或粗略调整中的哪一个将用于调整增益(或确定增益调整是否适当)。

[0101] 在1114处,选择调整技术。在所描绘的示例中,使用峰值分析度量(例如,在1112处确定的峰值居中加权和)来选择调整技术。例如,如果峰值居中调整加权和满足或超过给定阈值(指示测量峰值相对于对应窗口组相对较好地居中),则可以选择精细调整技术(例如,使用精细调整加权和)。然而,如果峰值居中调整加和不满足或超过给定阈值((指示测量峰值相对于对应窗口组未相对较好地居中),则可以选择粗略调整技术(例如,使用粗略调整加权和)。

[0102] 在1116处,确定稳定性度量。通常,稳定性度量被配置并用于确定已确定的增益调整度量或计算的重要性,并根据已确定的调整的重要性来确定是否调整增益。可以使用通过使用在1114处选择的技术而提供的已确定增益调整来确定稳定性度量。在所描绘的实施方案中,在1118处,如果稳定性度量指示调整不重要,则可以不进行调整,并且该过程可以返回1104以获取后续累积时段的计数。此外,如果在稳定性度量中没有重要值的情况下检测到事件的预定数量(例如,16000),则可以基于稳定性度量的符号进行非常小的增益调整(例如, $\pm 0.1\%$),在此之后将重置所有计数器。以此方式,控制系统对突然的增益改变保持敏感。在没有这种机制的情况下,如果检测器已经稳定了很长时间,则在由于计数率、温度、电源电压或其他外部因素的变化而发生突然增益改变时,使稳定性度量变得足够大以产生调整将花费大量时间。

[0103] 如果确定调整是重要的,则该方法可以进行到1120,其中在1120处调整增益。可以注意到,可以通过调整供应给检测器的电压(例如,供应给检测器的特定块的电压)来调整增益,或者可以在固件或软件中虚拟地调整增益。例如,在所示的实施方案中,在1122处,通过调整从检测器单元接收的测量或检测的能级的值来虚拟地调整增益。

[0104] 可以获得和分析附加事件,并且在如本文所讨论的那样在成像过程期间对增益进行适当调整。在分析事件之后,可以传递事件以进行图像处理。通常,在进行增益调整之后,该特定增益值将用于后续事件,直到确定另一个增益调整是适当的,如本文所讨论的。在1126处,使用在扫描期间收集的信息来重建图像。

[0105] 图12提供了根据各种实施方案的方法1200(例如,用于跟踪能量峰值和/或调整检测系统的增益)的流程图。例如,检测系统可以被配置为与PET成像系统一起使用。例如,方法1200可以采用、包括或涉及本文讨论的各种实施方案的结构或方面。在各种实施方案中,可以省略或添加某些步骤,可以组合某些步骤,可以同时执行某些步骤,可以并行地执行某些步骤,可以将某些步骤分为多个步骤,可能以不同的顺序执行某些步骤,或者可能以迭代方式重新执行某些步骤或一系列步骤。在各种实施方案中,方法1200的部分、方面和/或变体可以用作一个或多个算法(例如,利用或基于一个或多个算法的存储在有形和非暂态计算机可读介质上的软件模块或其他指令),其用于引导硬件(例如,处理单元130或其一部分)执行本文描述的一个或多个操作。

[0106] 在1202处,获取来自检测器的固有辐射事件。可以在检测器的初始启动时段期间获取固有辐射事件。例如,可以激活成像系统,但待成像的对象可能尚未存在于检测器的视场中。因此,经由检测器获取的辐射计数可以对应于固有辐射,其中几乎没有从周围环境检测到辐射。

[0107] 在1204处,基于固有辐射调整增益。例如,可以将所获取信号与预期或标称信号进行比较并且调整增益,使得基于检测器内的已知固有辐射源(例如,Lu-176),所获取信号的频谱的形状更接近地匹配预期或标称信号的频谱的预期形状。在使用本文公开的增益调整的各种实施方案时,已经发现了,增益调整可以有效地调整测量信号以便对于高达10%的初始增益误差在十秒或更短的时间内充分跟踪预期或标称信号,并且仅使用固有辐射。因此,当待成像的对象首先被引入检测器的视场时,可以有效且快速地调整增益以在扫描开始时改善准确度。

[0108] 在1206处,从检测器获取辐射事件。例如,已经被施用放射性药物的患者可以放置在检测器的视场内。因此,辐射事件(连同固有事件)可以累积并用于确定增益调整,如本文所讨论的。

[0109] 在1208处,基于接收辐射调整增益。可以基于接收辐射事件以及与接收辐射事件同时获得的固有辐射事件来调整增益。例如,如本文所讨论的,可以基于由与能量谱的固有和接收辐射部分相关联的窗口累积的计数的加权和来确定增益调整。

[0110] 应当注意,各种实施方案可以用硬件、软件或其组合来实现。各种实施方案和/或组件(例如,其中的模块、或部件和控制器)也可以实现为一个或多个计算机或处理器的一部分。计算机或处理器可以包括计算设备、输入设备、显示单元和接口,例如以用于访问互联网。计算机或处理器可以包括微处理器。微处理器可以连接到通信总线。计算机或处理器还可以包括存储器。存储器可以包括随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM)。计算机或处理器还可以包括存储设备,其可以是硬盘驱动器或可移动存储驱动器(诸如固态驱动器、光盘驱动器等)。存储设备还可以是用于将计算机程序或其他指令加载到计算机或处理器中的其他类似设备。

[0111] 如本文所用,术语“计算机”、“控制器”和“模块”可以各自包括任何基于处理器或基于微处理器的系统,其包括使用微控制器、精简指令集计算机(RISC)、专用集成电路(ASIC)、逻辑电路、GPU、FPGA、以及能够执行本文所述功能的任何其他电路的系统。以上示例仅是示例性的,并且因此不旨在以任何方式限制术语“模块”或“计算机”的定义和/或含义。

[0112] 计算机、模块或处理器执行存储在一个或多个存储元件中的指令集以便处理输入数据。存储元件还可以根据期望或需要存储数据或其他信息。存储元件可以呈处理机内的信息源或物理存储器元件的形式。

[0113] 指令集可以包括指示计算机、模块或处理器作为处理机来执行特定操作(诸如本文描述和/或示出的各种实施方案的方法和过程)的各种命令。指令集可以呈软件程序的形式。软件可以呈各种形式,诸如系统软件或应用软件,并且可以体现为有形和非暂态计算机可读介质。此外,软件可以呈单独程序或模块的集合、较大程序内的程序模块或程序模块的一部分的形式。软件还可以包括以面向对象编程形式的模块化编程。处理机对输入数据的处理可以响应于操作员命令,或者响应于先前处理的结果,或者响应于另一个处理机做出

的请求。

[0114] 如本文所使用的,术语“软件”和“固件”是可互换的,并且包括存储在存储器中以供计算机执行的任何计算机程序,该存储器包括RAM存储器、ROM存储器、EPROM存储器、EEPROM存储器和非易失性RAM (NVRAM) 存储器。上述存储器类型仅是示例性的,并且因此不限制可用于存储计算机程序的存储器的类型。各种实施方案的各个部件可以由云类型计算环境虚拟化和托管,例如以允许动态分配计算能力,而不要求用户考虑计算机系统的位置、配置和/或特定硬件。

[0115] 如本文所用,“被配置为”执行任务或操作的结构、限制或元件在特定结构上以对应于任务或操作的方式形成、构造或调整。出于清楚和避免疑问的目的,仅能够被修改以执行任务或操作的对象未“被配置为”执行如本文所用的任务或操作。相反,本文使用的“被配置为”表示结构适应或特征,并且表示被描述为“被配置为”执行任务或操作的任何结构、限制或元件的结构要求。例如,“被配置为”执行任务或操作的处理单元、处理器或计算机可以被理解为被特别构造为执行该任务或操作(例如,具有存储在其上或与其一起使用的被定制或旨在执行任务或操作的一个或多个程序或指令,和/或具有定制或旨在执行任务或操作的处理电路的布置)。出于清楚和避免疑问的目的,通用计算机(其可以“配置为”执行任务或操作,如果适当编程的话)未“被配置为”执行任务或操作,除非或直到被专门编程或结构上进行修改以执行任务或操作。

[0116] 应当理解,以上描述旨在是例示性的而非限制性的。例如,上述实施方案(和/或其各方面)可彼此组合使用。另外,在不脱离本发明的各种实施方案的范围的情况下,可进行许多修改以使特定情况或材料适应本发明的各种实施方案的教导。虽然本文描述的材料尺寸和类型旨在限定本发明的各种实施方案的参数,但实施方案决不是限制性的而是示例性实施方案。在阅读以上描述后,许多其他实施方案对于本领域技术人员而言将是显而易见的。因此,本发明的各种实施方案的范围应参考所附权利要求以及这些权利要求所赋予的等同物的全部范围来确定。在所附权利要求中,术语“包括”和“在……中”用作相应术语“包含”和“其中”的通俗中文等同物。此外,在以下权利要求中,术语“第一”、“第二”和“第三”等仅用作标记,而不旨在对其对象施加数字要求。此外,以下权利要求的限制不是用装置加功能格式书写的,也不旨在基于35U.S.C.§112,第六段来解释,除非并且直到这些权利要求限制明确地使用短语“用于……的装置”,然后是没有其他结构的功能陈述。

[0117] 该书面描述使用示例来公开本发明的各种实施方案,并且还使得本领域的任何技术人员能够实践本发明的各种实施方案,包括制造和使用任何设备或系统以及执行任何包含的方法。本发明的各种实施方案的可取得专利权的范围由权利要求限定,并且可包括本领域技术人员想到的其他示例。如果示例具有与权利要求的字面语言没有不同的结构元件,或者如果示例包括与权利要求的字面语言无实质差别的等效结构元件,则这些其他示例旨在在权利要求的范围内。

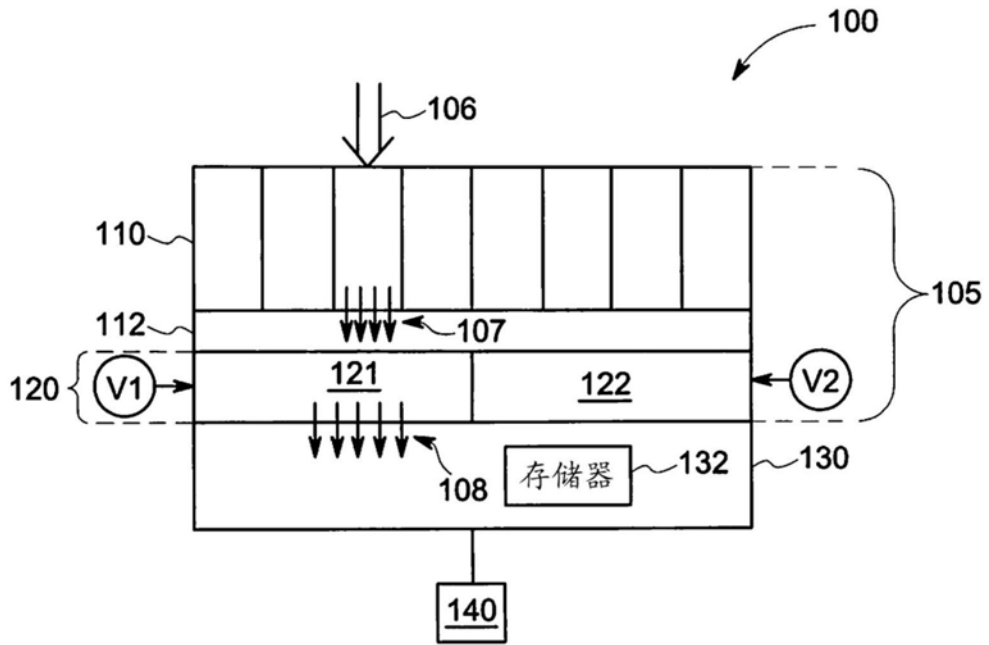


图1

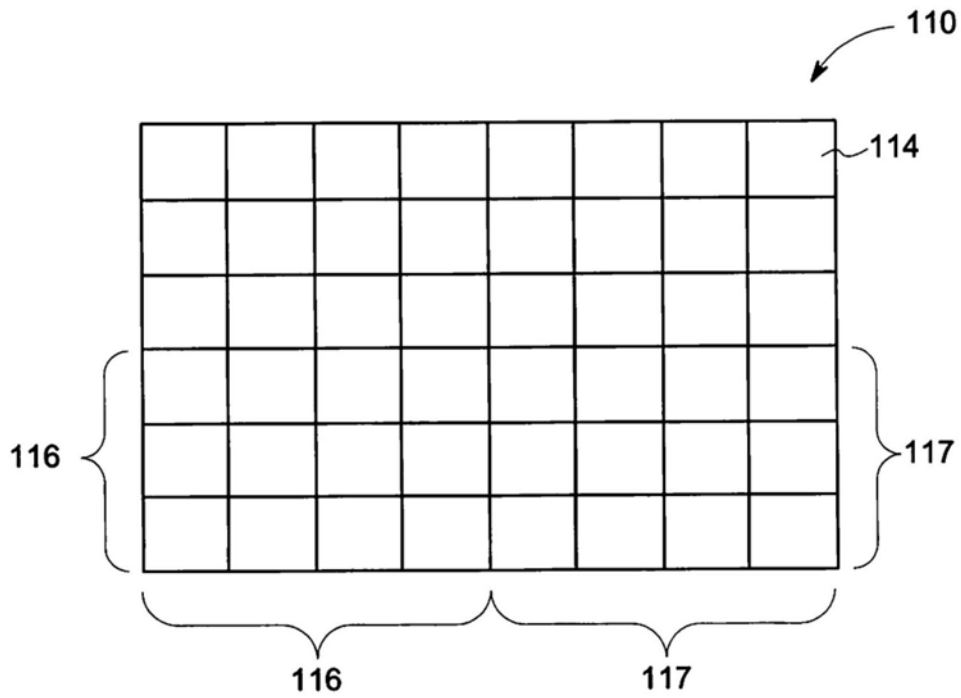


图2

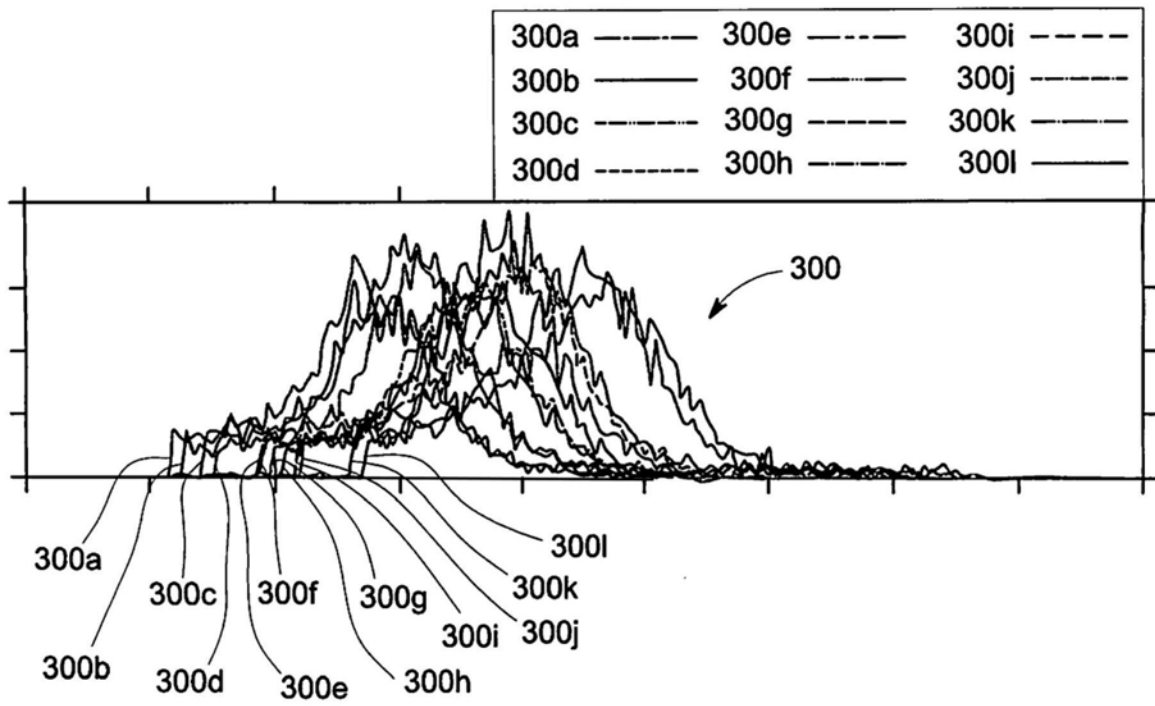


图3A

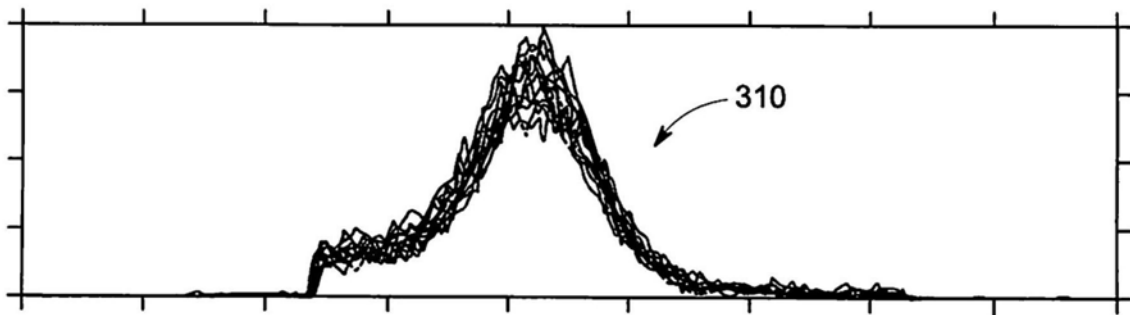


图3B

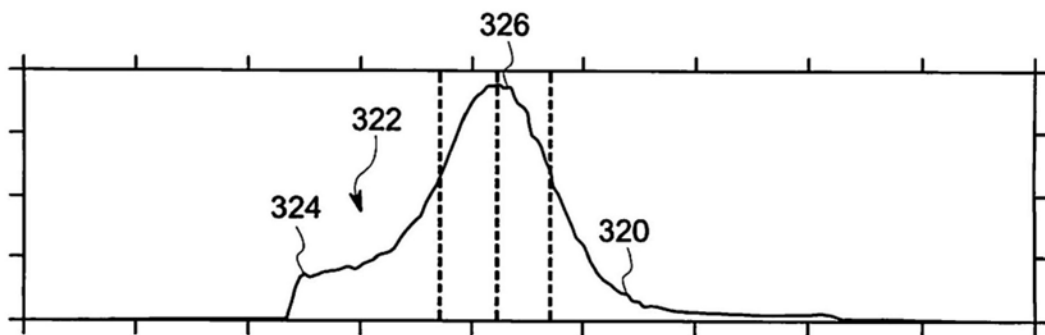


图3C

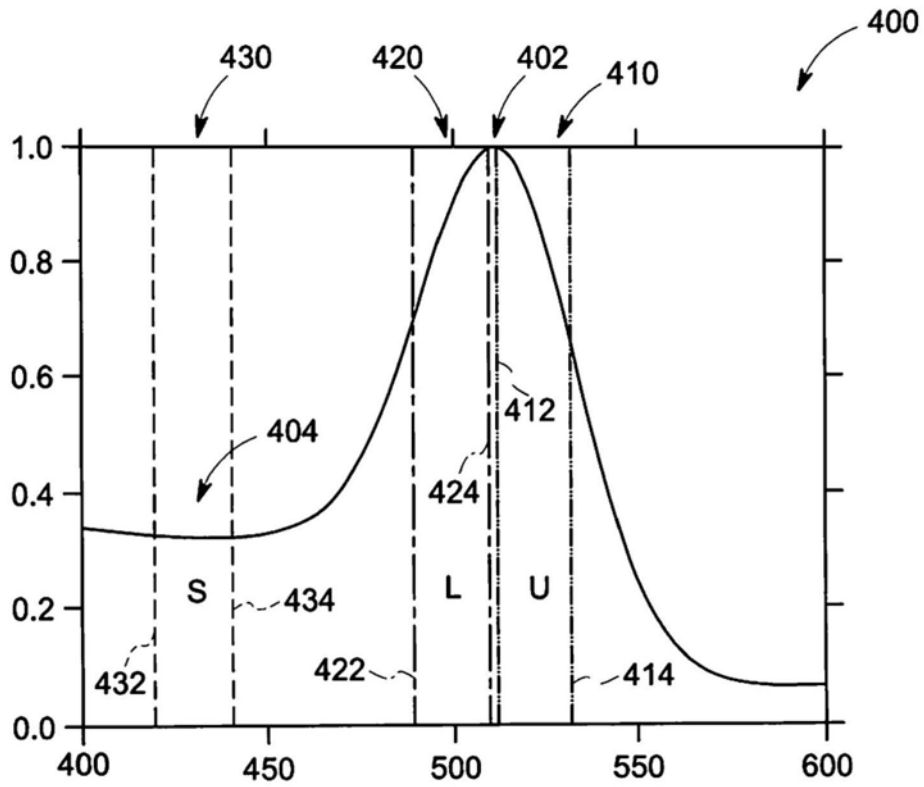


图4

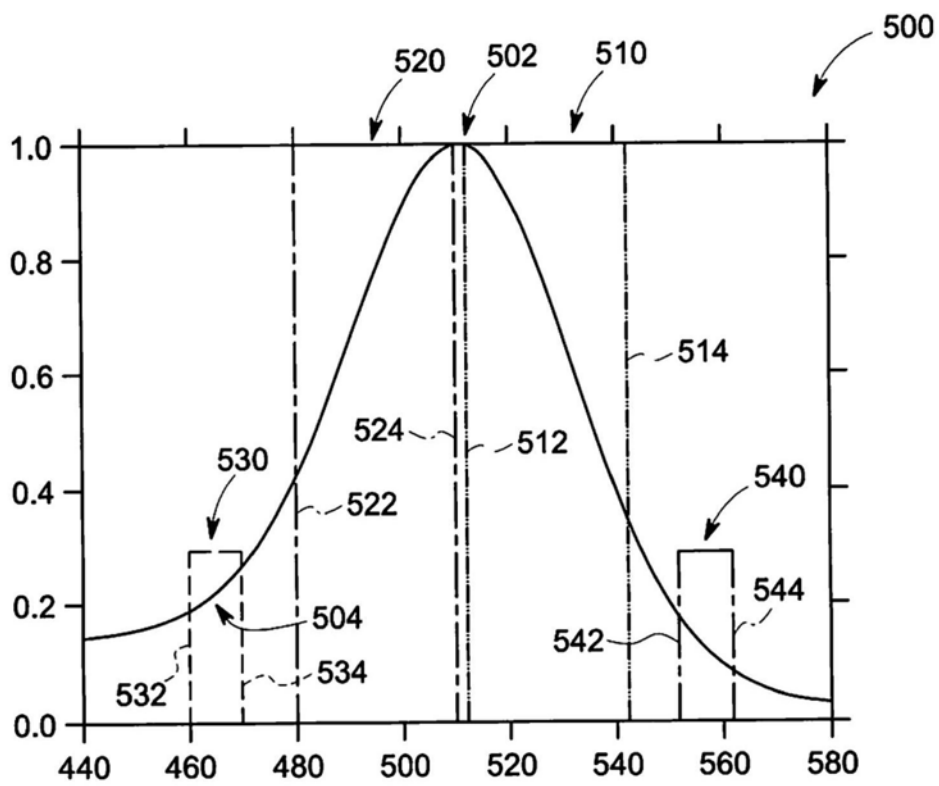


图5

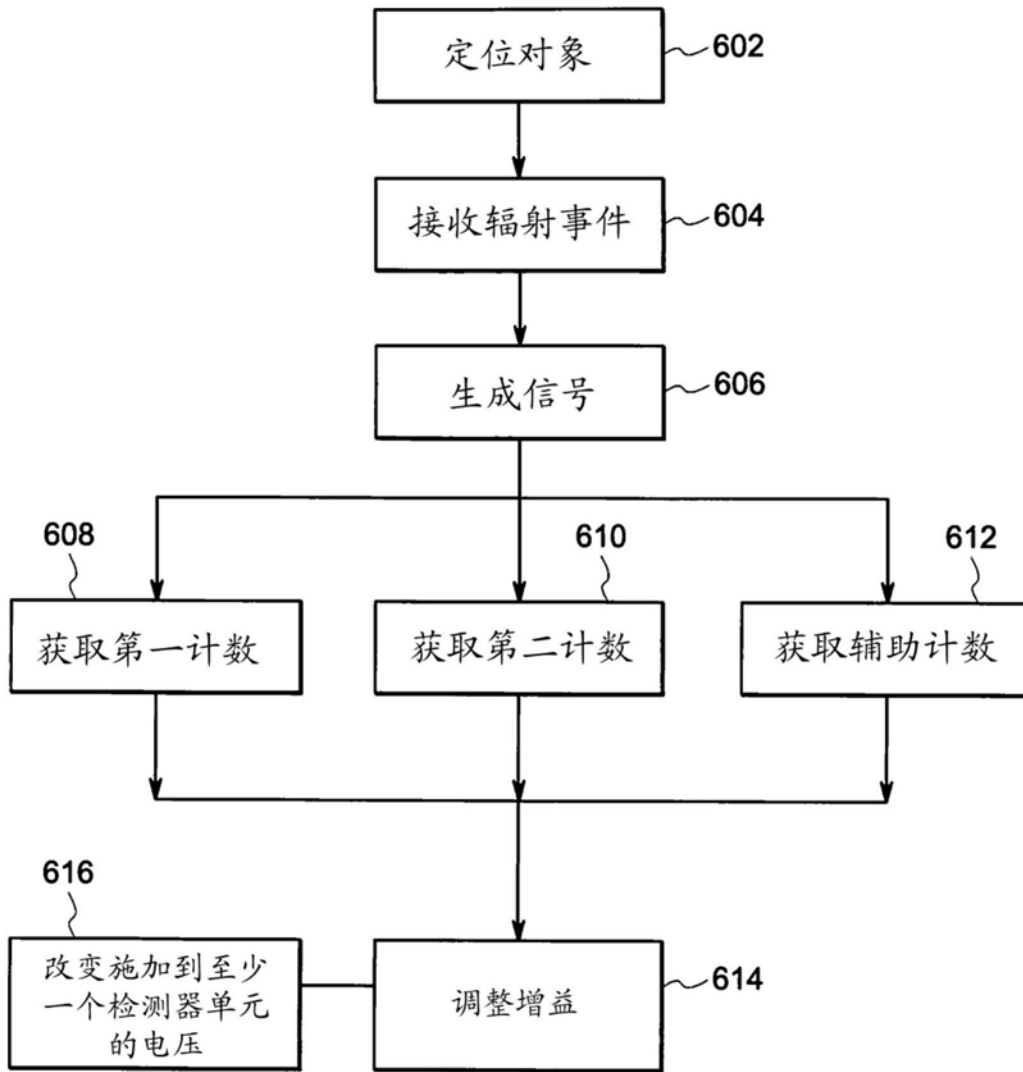


图6

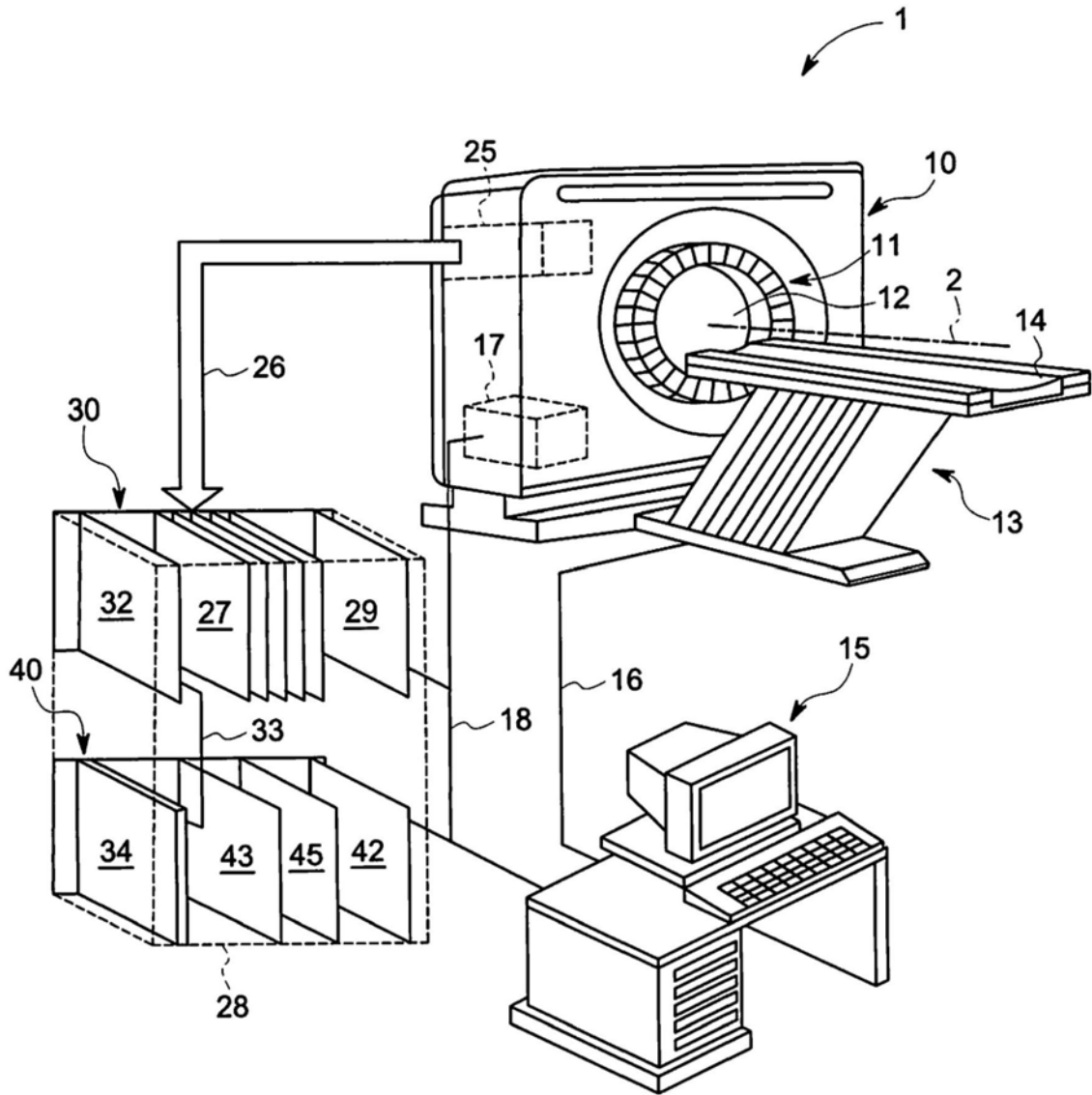


图7

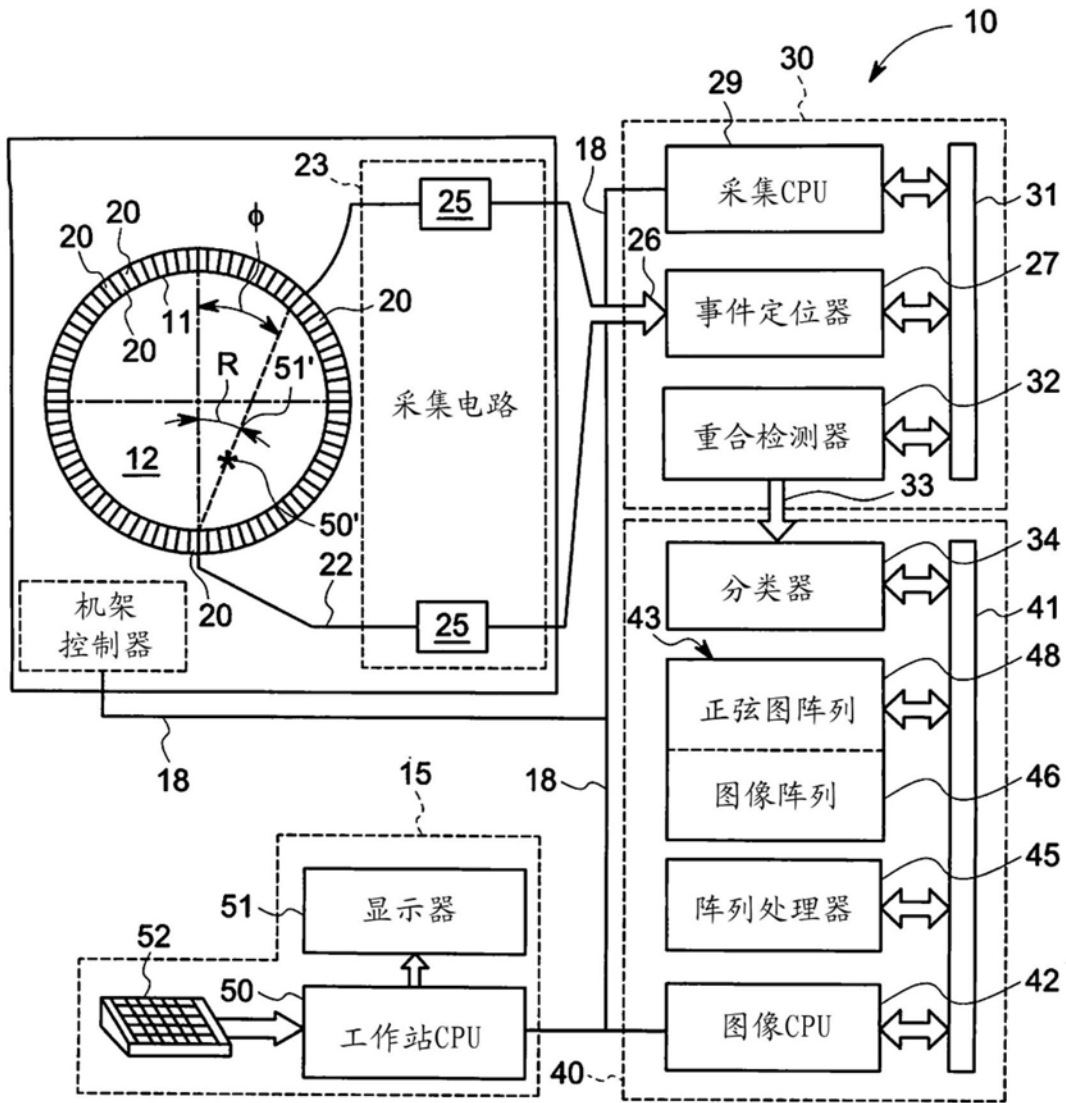


图8

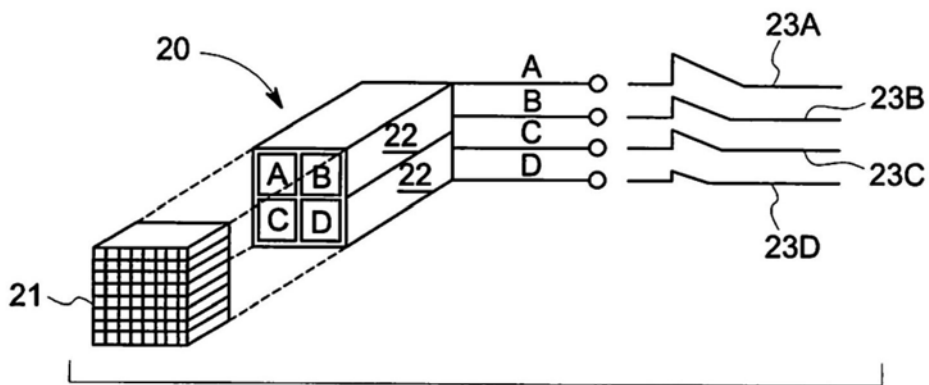


图9

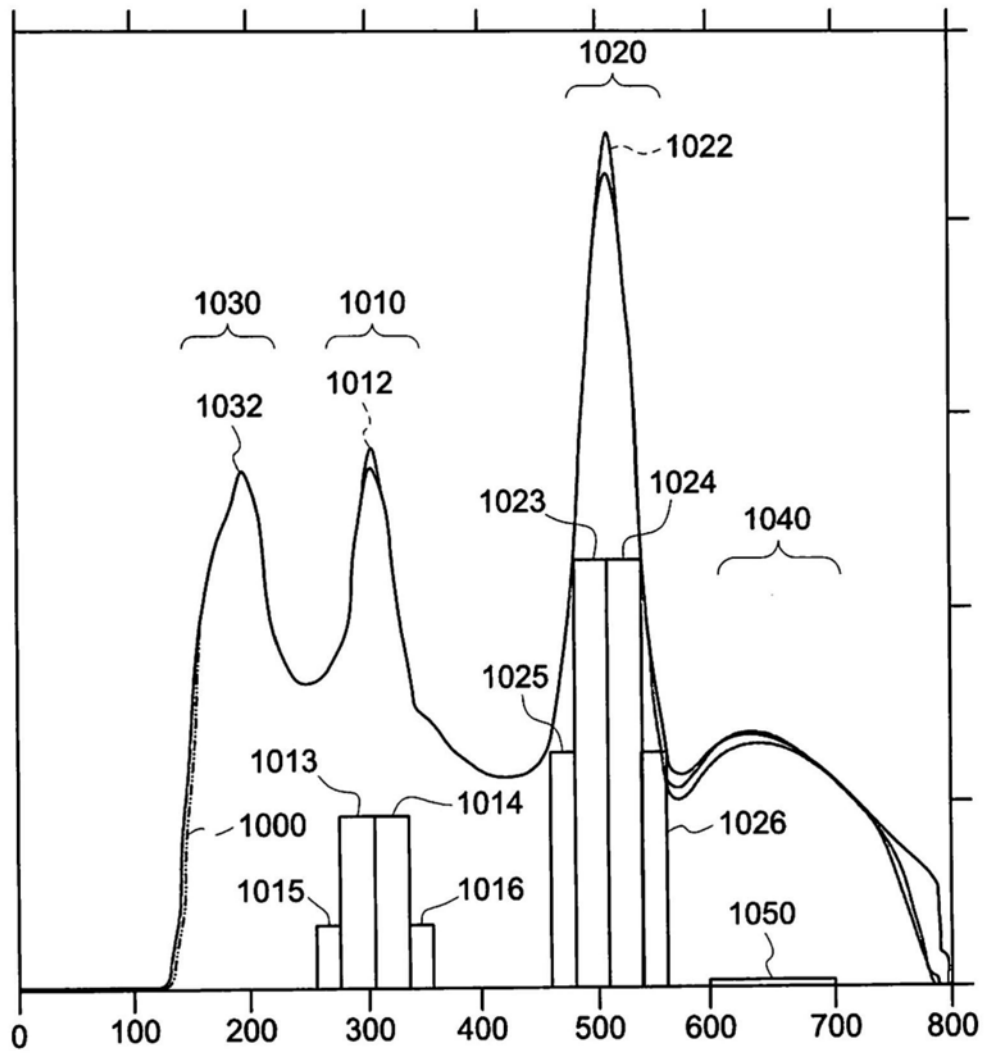


图10

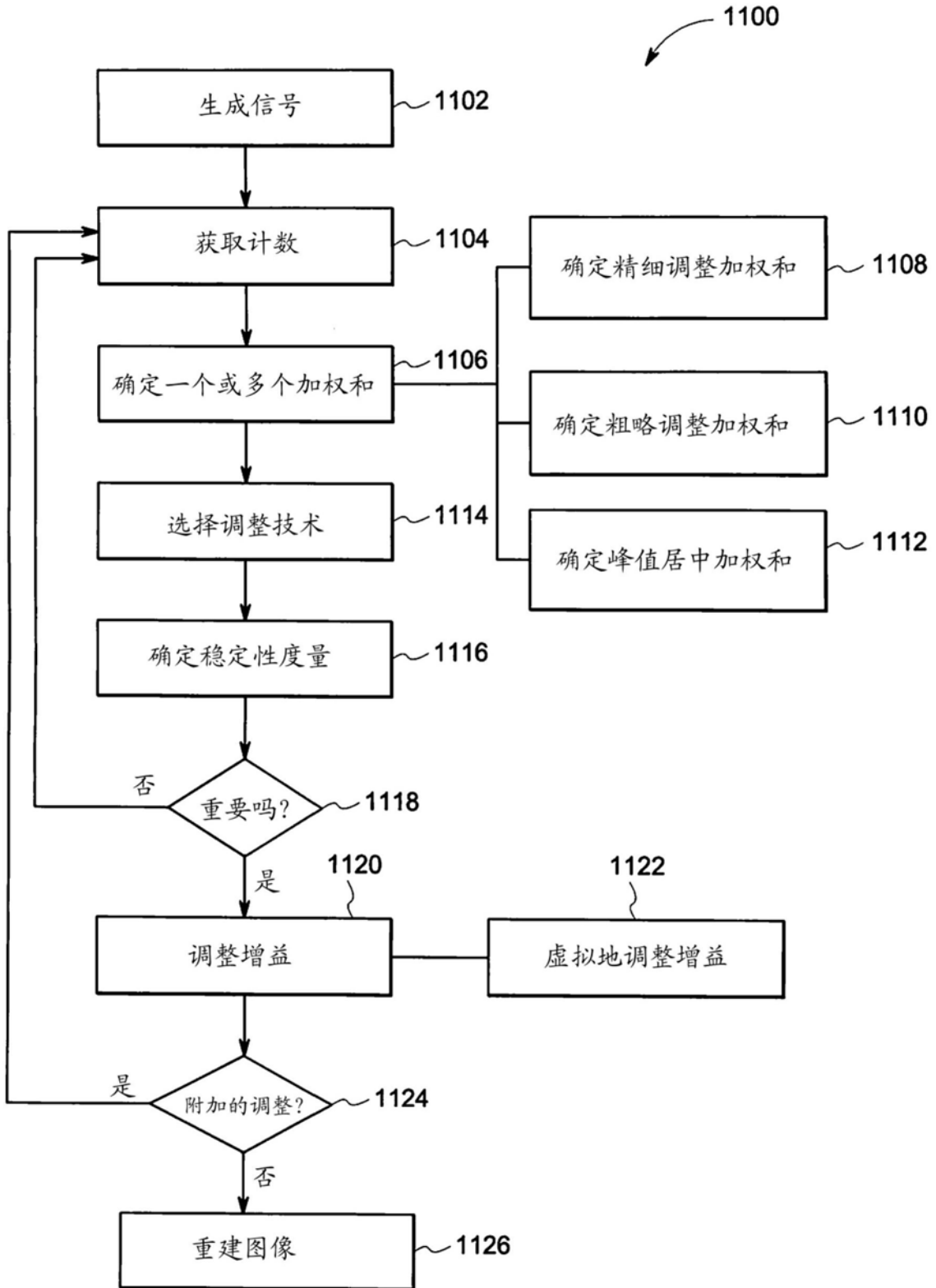


图11

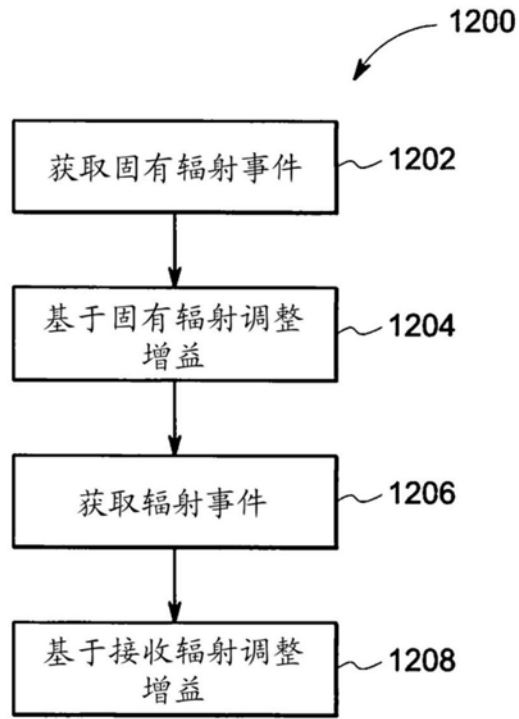


图12