

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01T 1/17 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880017990.2

[43] 公开日 2010 年 3 月 24 日

[11] 公开号 CN 101680954A

[22] 申请日 2008.5.22

[21] 申请号 200880017990.2

[30] 优先权

[32] 2007. 6. 1 [33] US [31] 60/941,362

[86] 国际申请 PCT/IB2008/052029 2008.5.22

[87] 国际公布 WO2008/146218 英 2008.12.4

[85] 进入国家阶段日期 2009.11.30

[71] 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 C·赫尔曼 R·斯特德曼

C·博伊默 G·蔡特勒

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 王 英 刘炳胜

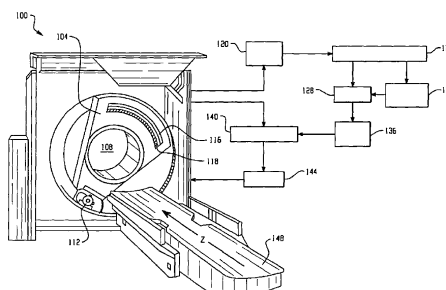
权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

谱光子计数探测器

[57] 摘要

一种装置包括定标因子确定器(236)，其基于针对能量阈值测量的探测到的光子的数量的计数以及估计的探测到的光子的所述数量的实际计数确定计数定标因子。所述光子包括由辐射敏感探测器探测到的多能光子。该装置还包括计数定标器(136)，其使用所述计数定标因子以针对不同能量阈值对测量的探测到的光子的计数进行定标。



1、一种装置，其包括：

定标因子确定器（236），其基于针对能量阈值测量的探测到的光子的数量的计数以及估计的探测到的光子的所述数量的实际计数确定计数定标因子，其中，所述光子包括由辐射敏感探测器探测到的多能光子；以及

计数定标器（136），其使用所述计数定标因子以针对不同能量阈值对测量的探测到的光子的计数进行定标。

2、根据权利要求1所述的装置，其中，所述计数定标因子确定器（236）通过用所述估计的实际计数除以所述测量的计数来生成所述计数定标因子。

3、根据权利要求1所述的装置，其中，所述定标因子确定器（236）通过求解从衰减系数的谱分解导出的多个联立方程来确定所述计数定标因子。

4、根据权利要求1所述的装置，还包括计数器块（128），其分别对探测到的具有比所述不同能量阈值的能量大的能量的光子进行计数。

5、根据权利要求1所述的装置，还包括脉冲整形器（120），包括：

慢速整形器（204），其接收指示所述探测到的光子的信号并由此在第一时间间隔期间生成第一脉冲，其中，所述第一脉冲具有指示所述探测到的光子的能量的峰值振幅；以及

快速整形器（212），其接收指示所述探测到的光子的信号并由此在第二时间间隔期间生成第二脉冲，其中，所述第二脉冲具有指示所述探测到的光子的能量是否超出最小期望能量的峰值振幅，并且所述第二时间间隔充分短于所述第一时间间隔；

其中，基于所述第一脉冲确定所述测量的计数，并且基于所述第二脉冲确定所述估计的实际计数。

6、根据权利要求5所述的装置，还包括能量鉴别器（124），其将所述第一脉冲的振幅与所述不同能量阈值进行比较，以基于所述阈值能量分辨所述探测到的光子，并且将所述第二脉冲的振幅与根据所述最小期望能量设置的最小阈值进行比较，以确定所述探测到的光子的能量是否超出所述最小期望能量。

7、根据权利要求6所述的装置，其中，所述不同阈值的最低阈值以及所述最小阈值对应于公共能级。

8、根据权利要求5所述的装置，还包括：
脉冲滤除器（132），其生成指示探测到的光子之间的时间差的信号；
以及

针对所述不同能量阈值的多个计数器（224_k），当由所述信号指示的所述时间差大于预设的时间差时，所述多个计数器分别对探测到的具有超出对应的能量阈值的能量的光子进行计数。

9、根据权利要求5所述的装置，还包括计数器（228），其对超出所述最小期望能量的第二脉冲进行计数，以确定所述估计的探测到的光子的实际计数。

10、根据权利要求1所述的装置，所述定标因子确定器（236）基于最大似然技术生成所述定标因子。

11、根据权利要求1所述的装置，其中，所述装置形成所述辐射敏感探测器的一部分。

12、根据权利要求1所述的装置，其中，所述装置形成计算机断层摄影成像系统的一部分。

13、一种成像系统的辐射敏感探测器，包括：

计数器（128），其针对多个能量阈值对指示探测到的 X 射线光子的未重叠的脉冲进行计数；以及

计数定标器（136），其针对被忽略的重叠脉冲调整针对每个阈值的计数，其中，基于估计的探测到的具有最小能量的光子的计数以及测量的光子的计数调整所述计数，其中所述测量的光子的计数基于未重叠的脉冲的计数。

14、根据权利要求 13 所述的辐射敏感探测器，其中，所述计数定标器（136）包括定标因子确定器（236），该定标因子确定器计算所述估计的计数与所述测量的计数的比值，其中，所述计数定标器（136）使用所述比值以针对每个阈值对所述计数进行定标。

15、根据权利要求 13 所述的辐射敏感探测器，还包括专用计数通道，该专用计数通道包括快速整形器（212）、比较器（216）以及计数器（228），其用于基于指示探测到的光子的能量的信号估计探测到的具有最小能量的光子的计数。

16、根据权利要求 13 所述的辐射敏感探测器，其中，所述定标因子确定器（236）基于衰减系数的谱分解确定所述计数定标因子。

17、一种方法，包括：

针对探测到的光子生成第一脉冲和第二脉冲，其中，所述第一脉冲具有指示所述探测到的光子的能量的峰值振幅，并且所述第二脉冲具有指示所述探测到的光子的能量是否超出最小期望光子能量的峰值振幅；

针对多个不同能量阈值对未重叠的第一脉冲的振幅超出阈值的次数进行计数并忽略重叠的第一脉冲，并且对所述第二脉冲的振幅超出所述最小期望光子能量的次数进行计数；

通过用所述第二脉冲超出所述最小期望光子能量的次数除以所述未重叠的第一脉冲超出所述多个不同能量阈值中的最低阈值的次数，来计算定

标因子；以及

使用所述定标因子调整针对所述多个不同能量阈值中的每一个的计数。

18、根据权利要求 17 所述的方法，还包括基于所述第二脉冲识别重叠的第一脉冲。

19、根据权利要求 17 所述的方法，其中，在第一时间间隔期间生成所述第一脉冲，并且在第二时间间隔期间生成所述第二脉冲，其中，所述第二时间间隔充分短于所述第一时间间隔。

20、根据权利要求 19 所述的方法，其中，所述第二时间间隔充分降低了针对相继的探测到的光子生成重叠脉冲的可能性。

谱光子计数探测器

本申请通常涉及谱光子计数探测器。虽然通过在计算机断层摄影（CT）中的具体应用对其进行描述，但其也涉及期望能量分辨所探测到的具有不同能量的光子的其他应用。

计算机断层摄影（CT）系统包括辐射源，其发射横贯检查区域的多能电离光子。这样的系统还包括辐射敏感探测器，其相对于检查区域位于所述辐射源的对面，该辐射敏感探测器探测横贯检查区域的光子。所述探测器针对每一个所探测到的光子生成电信号，诸如电流或电压。所述探测器还包括用于基于所述电信号能量分辨所探测到的光子的电子器件。

作为示例，辐射敏感探测器包括用于处理由传感器生成的电流的脉冲整形器，以生成具有指示所探测到的光子的能量的峰值振幅的电压脉冲。所述探测器还包括鉴别器，其对所述电压脉冲的振幅与根据不同能量级设置的两个或更多个阈值进行比较。所述鉴别器针对阈值的输出当脉冲振幅增大并越过所述阈值时升高而当脉冲振幅减小并越过所述阈值时降低。针对每一个阈值，计数器对上升沿进行计数。如果两个或更多个阈值以及对应的计数器被并入所述探测器，则能量面元划分器（binner）可以对能量范围或面元中的计数进行面元划分。因此，基于经面元划分的数据可以能量分辨所探测到的光子。

遗憾的是，相继的光子探测之间的时间可能导致传感器中的脉冲堆积，或脉冲整形器生成重叠脉冲。当脉冲重叠时，其振幅可能相结合以致不易于从该结合中辨别出独立脉冲。因而，鉴别器可能不会发现脉冲的振幅越过给定的阈值。此外，脉冲的峰值能量可能被重叠脉冲的振幅贡献所移位。结果，所探测到的光子的能量分布可能被错误地移位。

本申请的各方面解决了上述问题和其他问题。

根据一个方面，一种装置包括定标因子确定器，其基于针对能量阈值

测量的探测到的光子的数量以及估计的探测到的光子的所述数量的实际计数确定计数比例因子。所述光子包括由辐射敏感探测器探测到的多能光子。所述装置还包括计数定标器，其使用所述计数定标因子以针对不同能量阈值对测量的探测到的光子的计数进行定标。

在另一方面，一种成像系统的辐射敏感探测器包括：计数器，其针对多个能量阈值对指示探测到的 X 射线光子的未重叠的脉冲进行计数；以及计数定标器，其针对被忽略的重叠的脉冲调整针对每个阈值的计数。基于估计的探测到的具有最小能量的光子的计数以及测量的光子的计数而调整所述计数，其中所述测量的光子的计数基于未重叠的脉冲的计数。

在另一方面，一种方法包括针对探测到的光子生成第一脉冲和第二脉冲，其中所述第一脉冲具有指示所述探测到的光子的能量的峰值振幅，并且所述第二脉冲具有指示所述探测到的光子的能量是否超出最小期望光子能量的峰值振幅。具体来说，所述第二脉冲必须允许从错误的噪声导致的信号中区分 X 射线导致的在传感器上的击中。该方法还包括针对多个不同能量阈值对未重叠的第一脉冲的振幅超出阈值的次数进行计数并忽略重叠的第一脉冲，并且对所述第二脉冲的振幅超出所述最小期望光子能量的次数进行计数。该方法还包括通过用所述第二脉冲超出所述最小期望光子能量的次数除以所述未重叠的第一脉冲超出所述多个不同能量阈值中的最低阈值的次数来计算定标因子。所述方法还包括使用所述定标因子以调整针对所述多个不同能量阈值中的每一个的计数。

在阅读和理解下面详细描述的基础上，本领域普通技术人员将认识到本发明的更多其他方面。

本发明可以通过各种组件和组件的布置以及各种步骤和步骤的布置而变得明显。附图仅用于说明优选实施例的目的，而不应被解释为限制本发明。

图 1 示出了一种成像系统；

图 2 示出了所述成像系统的一部分，其用于针对多个能量阈值调整对所探测到的光子的计数；

图 3 示出了一种脉冲门控技术；

图 4 示出了一种脉冲门控技术；

图 5 示出了一种方法；

图 6 示出了所述系统的计数模式部分。

参考图 1，计算机断层摄影（CT）系统 100 包括旋转扫描架部分 104，其围绕纵轴或 Z 轴绕检查区域 108 旋转。诸如 X 射线管的 X 射线源 112 被旋转扫描架部分 104 支撑并发射横贯检查区域 108 的多能辐射束。

辐射敏感探测器 116 包括像素 118，其在至少 180 度加上一个扇角的范围内探测由源 112 发射的光子。所述像素 118 针对每个所探测到的光子生成对应的电信号，诸如电流或电压。合适的传感器的示例包括直接转换探测器（例如，基于碲锌镉（CZT）的探测器）以及基于闪烁体的探测器，该基于闪烁体的探测器包括与光电传感器进行光通信的闪烁体。

脉冲整形器 120 处理所述电信号并生成指示所探测到的光子的一个或多个脉冲，诸如电压或其他脉冲。如在下面更详细描述，所述脉冲整形器 120 包括用于在第一时间间隔内对电荷进行积分以生成具有指示所探测到的光子的能量的峰值振幅的脉冲的电子设备，以及用于在相对较短的第二时间间隔内对电荷进行积分以生成具有指示所探测到的光子的能量是否超出最小期望能量的峰值振幅的脉冲的电子设备。

能量鉴别器 124 能量鉴别所述脉冲。这包括将所生成的脉冲的振幅与各自对应于特定能量级的一个或多个阈值相比较。所述能量鉴别器 124 针对每个阈值生成指示所述振幅是否增大并越过对应的阈值以及是否减小并越过所述阈值的输出信号。例如，当振幅增大并越过对应的阈值时，所述输出信号可以包括上升（或下降）沿，而当振幅减小并越过对应的阈值时，所述输出信号可以包括下降（或上升）沿。

计数器 128 针对每个阈值对信号中的上升（或下降）沿进行计数。脉冲滤除器 132 滤除脉冲，或门控所述计数器 128 使得所述计数器 128 忽略诸如堆积脉冲的非预期脉冲的上升（或下降）沿或不对其进行计数。所述脉冲滤除器 132 基于所述能量鉴别器 124 的输出生成门控信号。

计数定标器 136 针对阈值对计数进行定标或调整以说明未被计数的被忽略的脉冲。在一个实例中，如在下面更详细描述，所述计数定标器 136

基于针对阈值所测量的所探测到的光子的计数以及针对该阈值所估计的所探测到的光子的总计数，生成针对该阈值的计数定标因子。所述计数定标器 136 使用所述计数定标因子以针对阈值对计数进行定标。

重建器 140 基于信号的谱特性选择性地对由所述探测器 116 所生成的信号进行重建。

诸如床的对象支架 148 在检查区域 108 中支撑患者或其他对象。所述对象支架 148 是可移动的以在执行扫描程序时相对于所述检查区域 108 引导所述对象。

通用计算机用作操作控制台 144。所述控制台 144 包括诸如监视器或显示器的人类可读输出设备，以及诸如键盘和鼠标的输入装置。驻留在控制台 144 上的软件允许操作者例如通过图形用户接口 (GUI) 控制所述扫描器 100 并且与所述扫描器 100 交互。这样的交互可以包括用于基于谱特性对信号进行重建的指令。

如上面所讨论的，所述计数定标器 136 对所测量的计数进行定标以说明未被计数的脉冲。下面描述用于确定合适的计数定标因子 κ 的非限制性方法，该计数定标因子 κ 可以用于对所测量的计数进行定标。

针对多能谱的衰减系数 μ 可以被分解成不同的分量。在一个示例中，这样的分量可以包括钙和水的衰减系数。在另一示例中，这样的分量可以包括光电效应、康普顿效应以及 k 边材料分量。针对后一种情况，衰减系数 μ 可以被分解为方程 1 的函数：

方程 1：

$$\mu(E, \vec{x}) = \frac{1}{E^3} a_1(\vec{x}) + f_{KN}(E) a_2(\vec{x}) + \mu_{Ke}^*(E) \rho_{Ke}(\vec{x})。$$

空间分布 a_1 、 a_2 、 ρ_{Ke} 可以根据角度和空间采样而重建。由 $\int \mu(E, \vec{x}) dE$ 导出的线积分 $A_1 := \int a_1(\vec{x}) d\vec{x}$ 、 $A_2 := \int a_2(\vec{x}) d\vec{x}$ 以及 $A_3 := \int \rho_{Ke}(\vec{x}) d\vec{x}$ ，可以通过求解多个非线性方程获取。这可以通过极大似然估计等实现。

针对 m 个能量阈值，框中的每个能量面元中的光子的数量 N_K （其中 $k=1$ 到 m ）是方程 2 的函数：

方程 2：

$$N_k = \int_{I_k} S_0(E) e^{-\frac{1}{E^3} A_1 - f_{KN}(E) A_2 - \mu_{ke}^*(E) A_3} dE,$$

其中 I_k 表示不同能量窗口, 并且 $S_0(E)$ 描述了源-探测系统的能量分布。 $S_0(E)$ 可以通过管能量谱与 X 射线传感器的探测效率的乘积确定。

所测量的每个能量面元中的光子的数量 M_k 可能小于 N_k 。这可能由于各种原因, 包括堆积脉冲和/或忽略或未计数堆积脉冲。然而, N_k 和 M_k 之间的关系可以通过计数定标因子 κ 描述, 如方程 3 所示:

方程 3:

$$\kappa = N_k / M_k$$

图 2 说明了用于确定和使用所述计数定标因子 κ 以对 M_k 进行定标以接近 N_k 的示例技术。如图所示, 所述脉冲整形器 120 包括慢速整形器 204。配置所述慢速整形器 204 以生成适合用于由多个比较器 208_k ($k=1$ 到 M) 通过多个电压阈值 TH_k 进行能量鉴别的脉冲。这可以包括在足够长的时间间隔内对电荷进行积分, 从而使得产生的脉冲的峰值振幅对应于所探测到光子的能量。这允许基于阈值集 TH_k 针对光子能量特性优化所产生的脉冲的形状。

配置快速整形器 212 以生成适合用于相对于期望的能量阈值进行能量鉴别的脉冲, 在这一示例中该期望的能量阈值是 TH_1 或结合所述慢速整形器 204 使用的最低阈值。这样, 所述脉冲可以在与结合所述慢速整形器 204 使用的积分间隔相比相对较短的第二积分间隔期间生成。这允许优化所产生的脉冲以探测具有大于所述期望的能量阈值的能量的脉冲, 并且获取所探测到的具有大于所述阈值的能量的光子的总数的估计值。因为所述慢速整形器 204 为对脉冲进行能量鉴别而生成所述脉冲, 所以不需要精细的能量鉴别分辨率。在其他实施例中, 所述能量阈值可以被设置为基线阈值、最小光子能量阈值或其他期望的能量阈值。

所述比较器 208_k 接收来自所述慢速整形器 204 的信号并将所接收到的信号的振幅与对应的阈值 TH_k 进行比较。比较器 208_k 中的每个均输出信号, 该信号在每次脉冲振幅增大并越过其阈值 TH_k 时包括一上升(或下降)沿, 并且在每次脉冲振幅减小并越过其阈值 TH_k 时包括一下降(或上升)沿。

比较器 216 接受来自所述快速整形器 212 的信号。同样地, 所述比较

器 216 将所接收到的信号的振幅与阈值 TH_k 进行比较并且输出信号, 该信号在每次脉冲振幅增大并越过其阈值 TH_1 时包括一上升 (或下降) 沿, 并且在每次脉冲振幅减小并越过其阈值 TH_1 时包括一下降 (或上升) 沿。

计数器块 128 包括分别对由所述比较器 208_k 生成的上升 (或下降) 沿进行计数的子计数器 224_k ($k=1$ 到 m), 以及对由所述比较器 216 生成的上升 (或下降) 沿进行计数的子计数器 228。

所述脉冲滤除器 132 接收由所述比较器 216 生成的信号并基于所接收的信号生成门控信号。必要时, 所述脉冲滤除器 132 也可以使用由所述比较器 208_k 中的一个或多个生成的脉冲。所述脉冲滤除器 132 使用该信息以确定脉冲是否是堆积脉冲。对于堆积脉冲, 所述脉冲滤除器 132 输送门控信号到所述计数器 224_k 中的每一个, 并且所述计数器 224_k 不对上升 (或下降) 沿进行计数。在所说明的实施例中, 结合所述计数器 224_k 中的每个使用同一门控信号, 并且该同一门控信号相似地影响所述计数器 224_k, 从而使得没有一个所述计数器 224_k 针对堆积脉冲对上升 (或下降) 沿进行计数。

所述脉冲滤除器 132 可以使用相对严格的门控技术。简要地转向图 3, 其说明了合适的门控的示例。在图 3 中, 第一轴 304 表示脉冲的振幅, 而第二轴 308 表示时间。在这一示例中, 所述脉冲滤除器 132 允许计数器 128 对可以适当地从之前的和之后的脉冲区分出来的脉冲 312 进行计数。然而, 不能适当地从之前和之后的脉冲区分出来的重叠脉冲或脉冲 316 则被滤除并且不会被计数器 128 计数。

转向图 4, 其说明了用于确定相继的脉冲是否能被适当地从彼此区分出来的技术。在图 4 中, 根据泊松统计, 第一轴 404 表示每个时间面元的概率, 而第二轴 408 表示连续的脉冲之间的时间差 Δt 。在这一示例中, 说明了三个平均计数率: 两百万、五百万以及一千万次计数每秒 (Mcps)。如所描述的, 泊松过程的时间分布是这样的: 有时两个脉冲之间很可能具有相对短的距离, 而有时两个脉冲很可能在时间上很好的分离。在这一示例中, 门控是这样配置的: 通过 $\Delta t < 200$ ns 分离的脉冲被滤除, 而通过 $\Delta t > 200$ ns 分离的脉冲被计数并对 M_k 有贡献。必须理解的是, 在这一示例中, 200 ns 的 Δt 是为说明性目的而选择的。在其他实施例中, Δt 可以大于或小于 200 ns。

重新转向图 2，针对每个框，来自计数器 224_k 的计数被输送到各自的定标器 232_k (k=1 到 m)。定标因子确定器 236 接收来自计数器 224₁ 以及计数器 228 的计数。来自子计数器 224₁ 的计数提供针对 TH₁ 的所测量的计数或 M₁，而来自子计数器 228 的计数提供针对 TH₁ 的真实计数的估计值或 N₁。可替代地或另外地，可以使用死时间模型或其他技术估计 N_k。

根据这一信息，所述定标因子确定器 236 基于上述方程 3 确定计数定标因子 κ。所述定标器 232₁ 使用这一计数定标因子 κ 以对计数器 224₁ 的计数进行定标。因为所述门控信号以相似的方式影响所述计数器 224_k，定标器 232₂-232_m 使用同一计数定标因子 κ 以对计数器 224₂-224_m 的计数进行定标。这样，所述计数定标因子 κ 可以作为与能量窗口无关的校正而使用。可替代地，可以针对每个阈值生成计数定标因子 κ。

经定标的计数然后可以被进一步处理，例如，进行能量面元划分以及通过重建器 140 以各种方式重建。通过严格门控所述计数器以滤除堆积脉冲并且然后如上面所描述地对计数进行定标，可以以高的以及其他的光子通量获取所探测到的光子的准确的能量分布。因此，可以以高的以及其他的速率获取用于最佳谱 CT 成像的能量信息的完全集。

现在将结合图 5 描述操作过程。

在 504，探测光子。在 508，生成用于对所探测到的光子进行能量鉴别和计数的脉冲。在 512，使用多个与不同的期望能量级对应的阈值对所述脉冲进行能量鉴别。将结果传输到用于对每个阈值被越过的次数进行计数的计数器。在 516，还基于所述结果定位堆积脉冲。在 520，对所述脉冲进行计数。这包括对未重叠的脉冲进行计数以及对所有脉冲进行计数。在 524，根据脉冲计数确定计数定标因子 κ。在 528，使用所述计数定标因子 κ 对未重叠的脉冲的计数进行定标。然后基于所述光子的谱特性进一步处理经定标的计数以选择性地生成体积图像数据。

描述替代方案。

上述实施例包括用于计数模式的电子设备，其中基于来自所述像素 118 的信号对所探测到的光子进行计数。在另一实施例中，还包括结合每个像素 118 用于积分模式的电子设备。积分电子设备对来自所述像素 118 的传感器信号进行积分。积分电子设备的谱分解可以被估计为方程 4 的函数：

方程 4:

$$I_{att} = \int ES_{0,I}(E) e^{-\frac{1}{E^3} A_1 - f_{KN}(E) A_2 - \mu_{Ke}^*(E) A_3} dE,$$

其中 I_{att} 表示在像素中所测量的 X 射线强度。 M_k 可以被估计为方程 5 的函数:

方程 5:

$$M_k = \int_{I_k} S_{0,C}(E) e^{-\ln \kappa - \frac{1}{E^3} A_1 - f_{KN}(E) A_2 - \mu_{Ke}^*(E) A_3} dE。$$

方程 4 和方程 5 形成一组非线性方程, 据此可以通过最大似然估计等确定针对每个像素的 A_1 、 A_2 、 A_3 以及 κ 。合适的最大似然技术的示例包括基于多元高斯的最大似然技术。

普通的探测器可以用于计数模式和积分模式。这样, 来自所述像素 118 的信号被提供给用于计数模式处理的电子设备以及用于积分模式处理的电子设备。在这一情况下, 所述谱特性针对计数模式和积分模式基本相同, 并且 $S_{0,I} \sim S_{0,C}$ 。可替代地, 不同的像素探测器可以用于计数模式和积分模式, 并且 $S_{0,I} \neq S_{0,C}$ 。

图 6 说明了针对这样的系统的合适的计数模式部分。如所描述的, 所述像素 118 将其输出信号输送到脉冲整形器 604, 该脉冲整形器生成具有指示所探测到的光子的能量的峰值振幅的脉冲。所述脉冲被提供给能量鉴别器 608, 并且通过比较器 612_k 以及阈值 TH_k ($k=1-m$) 对所述脉冲的振幅进行能量鉴别。所述比较器的输出信号被提供给计数器 620 的相应的子计数器 616_k ($k=1-m$)。所述子计数器 616_k 对来自所述比较器 612_k 的信号中的上升(或下降)沿的数量进行计数。

由脉冲形状分析器 624 提供门控或脉冲滤除。所述脉冲形状分析器 624 接收来自所述脉冲整形器 604 的脉冲以及所述比较器 612_k 的输出, 并由此确定指示脉冲堆积的脉冲特性。例如, 在一个实例中, 所述脉冲形状分析器 624 确定所述脉冲的振幅在增大并越过阈值之后是否在预设的时间间隔之内减小并返回到基线水平。可替代地或另外地, 所述脉冲形状分析器 624 确定所述信号的振幅是否高于基线或其他阈值超过最大时间间隔。可替代地或另外地, 所述脉冲形状分析器 624 确定所接受到的脉冲是否映射到参考脉冲。

来自子计数器 616_k 的计数提供针对每个阈值所测量的计数或 M_k 。方程

4和5用于使用基于多元高斯的最大似然技术或基于结合高斯和泊松的最大似然技术来确定所述计数定标因子 κ 。所述计数定标因子 κ 用于对来自所述子计数器 616_k 中的每一个的计数进行定标。然后，经定标的计数可以被进一步处理，诸如基于谱特性进行能量面元划分和重建。

在替代实施例中，可以省略所述积分电子设备。在这样的实例中，使用基于泊松的最大似然技术通过方程5确定所述计数定标因子 κ 。一般来说，相对于仅使用计数电子设备，一起使用计数电子设备以及积分电子设备能提供更准确的计数率，而相对于一起使用计数电子设备和积分电子设备，仅使用计数电子设备简化了复杂性。

要认识到的是，上面描述的实施例可以独立地使用或相结合地使用。

各种应用还包括行李检查、非破坏性测试、医学数字透视、乳腺摄影、X射线以及其他工业和医学应用。

已经通过参考优选实施例对本发明进行了描述。在阅读和理解前述详细的描述的基础上，其他人员可以进行各种修改和改变。本发明意在被解释为包括所有这些修改和改变，只要它们落入随附的权利要求书及其等价物的范围之内。

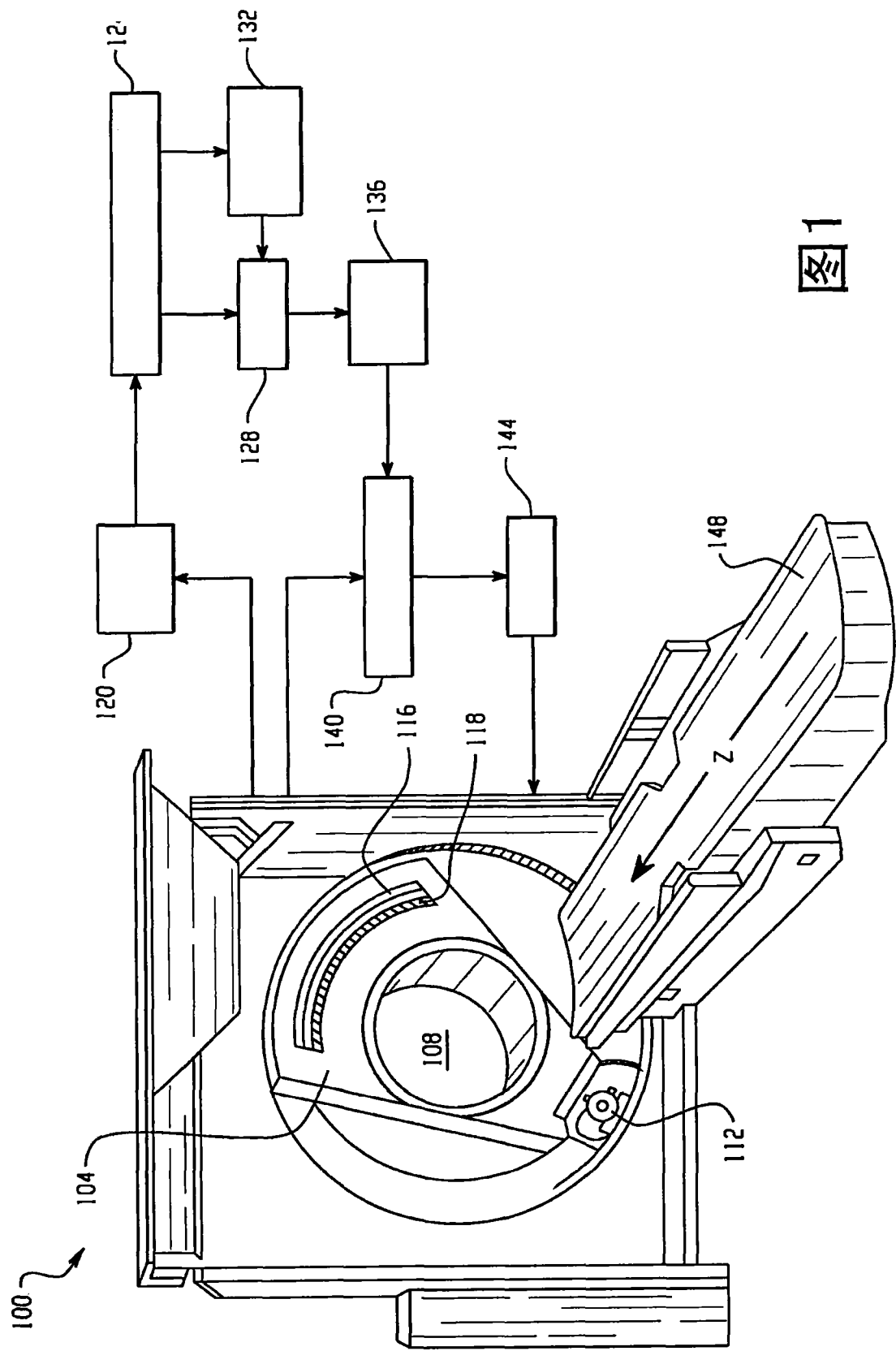


图1

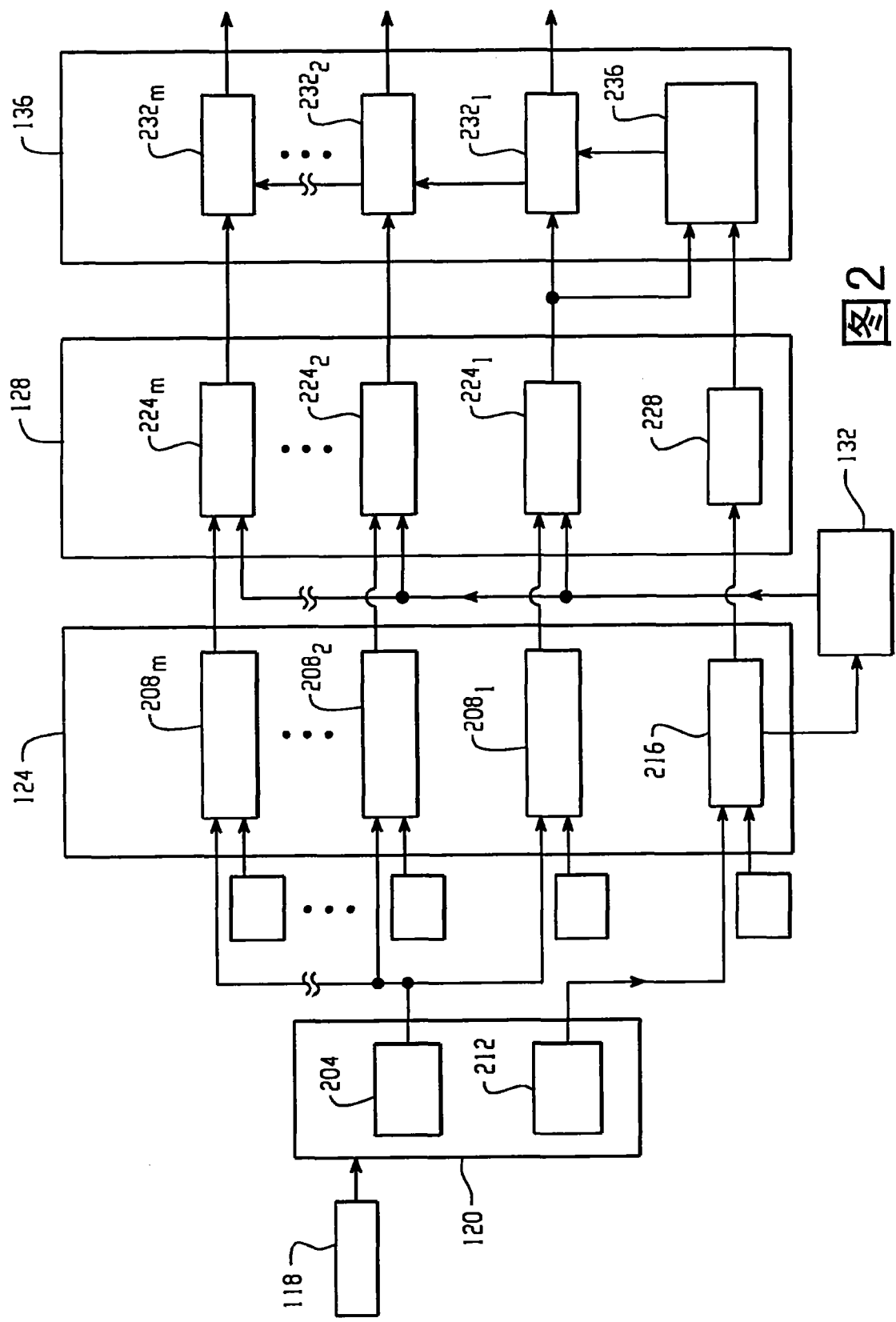


图2

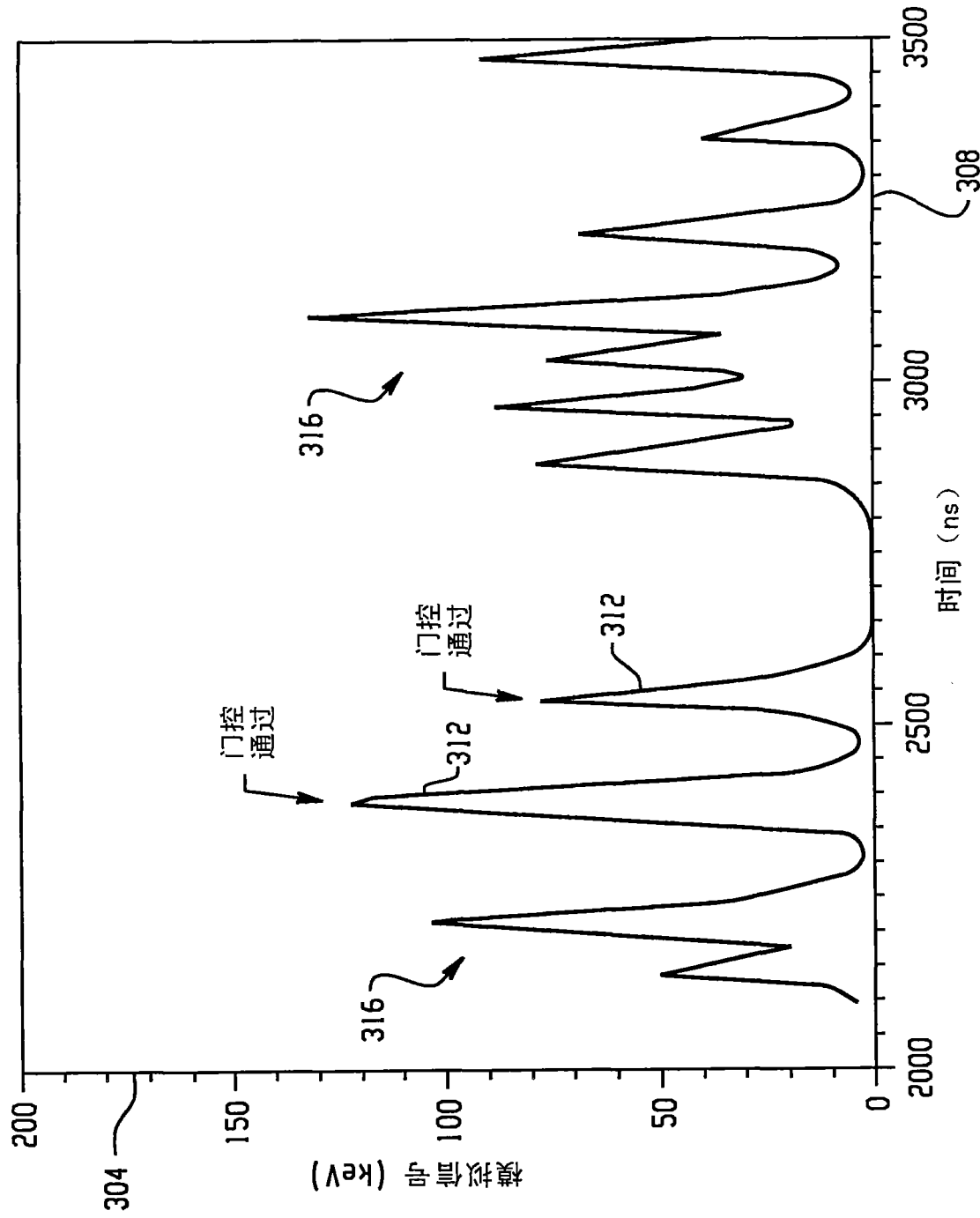


图3

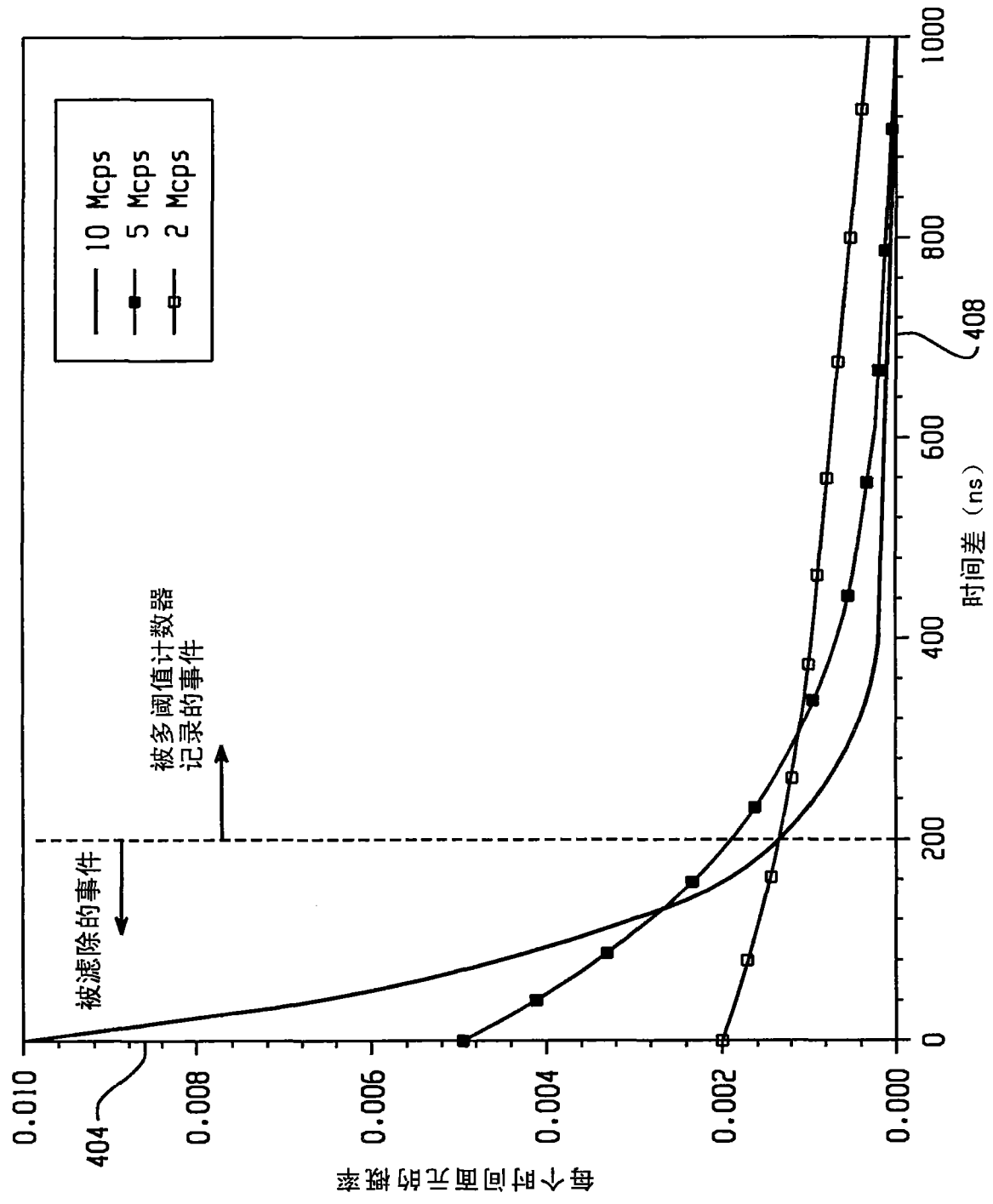


图4

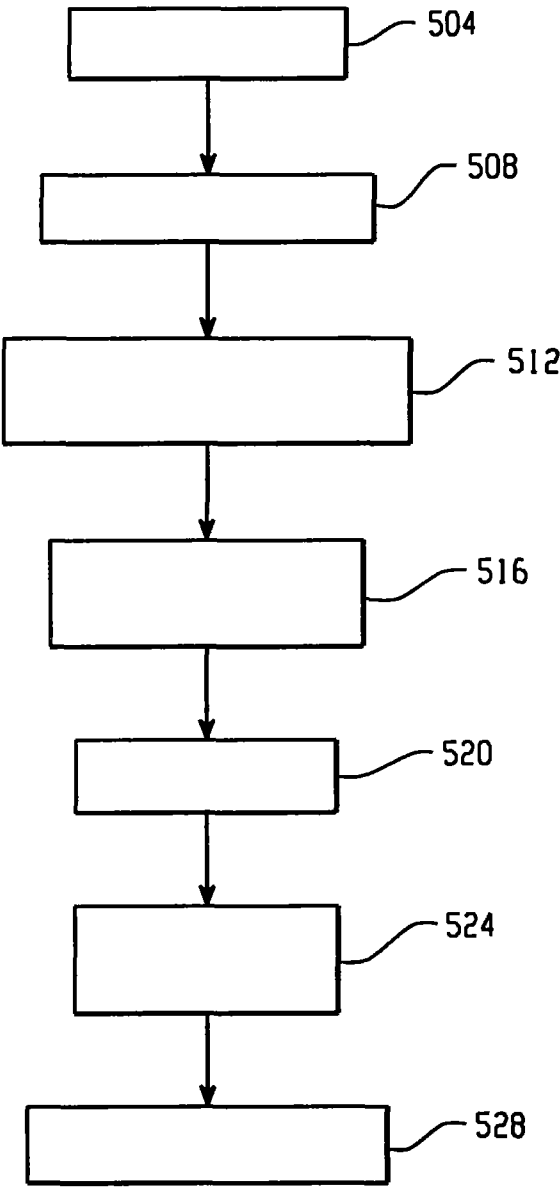


图5

