



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106028939 B

(45)授权公告日 2019.05.07

(21)申请号 201580010467.7

(72)发明人 昆野康隆

(22)申请日 2015.03.17

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106028939 A

代理人 李国华

(43)申请公布日 2016.10.12

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

A61B 6/03(2006.01)

2014-064549 2014.03.26 JP

G01T 1/24(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.08.25

(56)对比文件

CN 103109205 A,2013.05.15,

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2015/057802 2015.03.17

WO 2013/048436 A1,2013.04.04,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/146691 JA 2015.10.01

JP 特开2011-85479 A,2011.04.28,

CN 103202706 A,2013.07.17,

US 2011/0311022 A1,2011.12.22,

US 2013/0301799 A1,2013.11.14,

(73)专利权人 株式会社日立制作所
地址 日本东京都

审查员 王静

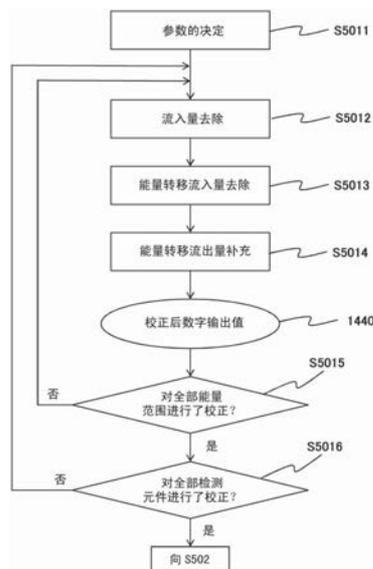
权利要求书3页 说明书16页 附图13页

(54)发明名称

X射线摄影装置

(57)摘要

在搭载了将入射到X射线检测元件的放射线按每个能量范围来区分从而进行计数的光子计数方式的放射线检测器的X射线摄影装置中,为了对各能量范围中的X射线光子数的计数错误进行校正,得到正确的投影像,X射线摄影装置的数据处理装置具有校正部,该校正部针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正,校正部具备:流入量算出部,算出与从其他X射线检测元件流入至1个X射线检测元件的X射线光子相当的数字量;能量转移流入量/流出量算出部,其在1个X射线检测元件中,算出与由能量转移而流入到高能范围范围的X射线光子相当的数字量,使用由这些算出部算出的数字量来进行校正。



1. 一种X射线摄影装置,其特征在于,具备:

X射线检测器,其包括检测X射线光子并将能量等级辨别成多个能量范围而进行测量的光子计数方式的多个X射线检测元件;

信号收集部,其收集所述X射线检测元件的输出而得到数字输出值;以及

数据处理装置,其对所述X射线检测元件的数字输出值进行校正,使用校正后的数字输出值来作成投影数据,

所述数据处理装置具有校正部,该校正部针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正,

该校正部具备流入量算出部,该流入量算出部在一个校正对象的X射线检测元件中,算出与由以该X射线检测元件的检测对象能量范围以上的能量入射到其他X射线检测元件的X射线光子而产生并流入至所述校正对象的X射线检测元件的信号量相当的数字量,

该校正部从所述数字输出值中去除所述流入量算出部所算出的数字量。

2. 根据权利要求1所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述流入量算出部算出作为校正对象的X射线检测元件的第 n 个能量范围来测量的数字信号之中的、由入射到与所述校正对象的X射线检测元件相邻的相邻元件的所述第 n 个至第 N 个能量范围的X射线光子而产生的信号量,其中, n 是1至 N 的整数。

3. 根据权利要求1所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述校正部在针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正时,按照从高的能量范围至低的能量范围的顺序来进行校正。

4. 一种X射线摄影装置,其特征在于,具备:

X射线检测器,其包括检测X射线光子并将能量等级辨别成多个能量范围而进行测量的光子计数方式的多个X射线检测元件;

信号收集部,其收集所述X射线检测元件的输出而得到数字输出值;以及

数据处理装置,其对所述X射线检测元件的数字输出值进行校正,使用校正后的数字输出值来作成投影数据,

所述数据处理装置具有校正部,该校正部针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正,

该校正部具备能量转移流入量算出部和能量转移流出量算出部中的至少一个,其中,

所述能量转移流入量算出部在一个X射线检测元件中算出与从比检测对象能量范围高的能量范围能量转移到所述检测对象能量范围的X射线光子相当的数字量,

所述能量转移流出量算出部算出与入射至一个X射线检测元件并能量转移到比检测对象能量范围低的能量范围的X射线光子相当的数字量,

所述校正部从所述数字输出值中去除所述能量转移流入量算出部所算出的数字量,或者在所述数字输出值上加上所述能量转移流出量算出部所算出的数字量。

5. 根据权利要求4所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述能量转移流入量算出部算出作为校正对象的X射线检测元件的第 n 个能量范围来测量的数字信号之中的、由入射到校正对象X射线检测元件的第 $(n+1)$ 个至第 N 个能量范围的X射线光子而产生的信号量,其中, n 是1至 $(N-1)$ 的整数。

6. 根据权利要求4所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述校正部还具备流入量算出部,该流入量算出部在一个校正对象的X射线检测元件中,算出与由以该X射线检测元件的检测对象能量范围以上的能量而入射到其他X射线检测元件的X射线光子而产生并流入至所述校正对象的X射线检测元件的信号量相当的数字量,所述校正部从所述数字输出值中去除所述流入量算出部所算出的数字量。

7. 根据权利要求4所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述能量转移流出量算出部算出入射到校正对象的X射线检测元件的第n个能量范围的X射线光子之中的、作为所述校正对象X射线检测元件的第1个至第(n-1)个能量范围的信号而测量到的信号量,其中,n是2至N的整数。

8. 根据权利要求4所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述校正部在针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正时,按照从高的能量范围至低的能量范围的顺序来进行校正。

9. 一种X射线摄影装置,其特征在于,具备:

X射线检测器,其包括检测X射线光子并将能量等级辨别成多个能量范围而进行测量的光子计数方式的多个X射线检测元件;

信号收集部,其收集所述X射线检测元件的输出而得到数字输出值;以及

数据处理装置,其对所述X射线检测元件的数字输出值进行校正,使用校正后的数字输出值来作成投影数据,

所述数据处理装置具有校正部,该校正部针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正,

该校正部具备计数校正部,该计数校正部使用预先求取到的表示X射线检测元件间的X射线光子的移动比例的参数和表示X射线检测元件内的能量转移的比例的参数,对所述数字输出值进行校正。

10. 根据权利要求9所述的X射线摄影装置,其特征在于,

所述校正部在算出所述X射线检测元件的第n个能量范围中的投影数据时,将所述X射线检测元件设为第1个至第M个,将第x个所述X射线检测元件的校正前的数字输出值设为 $P_n(x)$,将所述投影数据的输出值设为 $R_n(x)$,将从第h个能量范围的第a个所述X射线检测元件向第i个能量范围的第b个所述X射线检测元件的信号移动比例量设为 $\alpha_{h_j}(a,b)$,在所述X射线检测元件中,将从第j个能量范围向第k个能量范围的信号的流出流入之中从所述第j个能量范围的流出的比例设为 $\beta_{j_k}(x)$,将向所述第k个能量范围的流入的比例设为 $\gamma_{j_k}(x)$ 时,基于式(1-1)~(1-3)所记述的式子来求取所述投影数据的输出值 $R_n(x)$,其中,n是1以上N以下的整数,x是1以上M以下的整数,h是1以上N以下的整数,a是1以上M以下的整数,i是1以上N以下的整数,b是1以上M以下的整数,j是1以上N以下的整数,k是1以上N以下的整数,m是1以上M以下的整数, $m \neq x$,

当n为2以上N-1以下时

$$P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=1}^N \alpha_{i_n}(m,x) R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i_n}(x) R_i(x) - \sum_{i=1}^{n-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (1-1)$$

当n为N时

$$P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) - \sum_{i=1}^{n-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (1-2)$$

当n为1时

$$P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i_n}(x) R_i(x) \quad (1-3)。$$

11. 根据权利要求9所述的X射线摄影装置,其特征在于,
该X射线摄影装置进一步具备参数变更部,该参数变更部针对对各能量范围而设定的所述参数的至少1个进行变更。

12. 根据权利要求11所述的X射线摄影装置,其特征在于,
该X射线摄影装置进一步具备输入装置,该输入装置受理操作者的输入,
所述参数变更部通过所述输入装置的输入来对所述参数的至少1个进行变更。

13. 根据权利要求11所述的X射线摄影装置,其特征在于,
该X射线摄影装置进一步具备摄影条件决定部,该摄影条件决定部决定被摄体的种类、照射的管电压、X射线滤波器的种类中的至少1个,
所述参数变更部根据所述摄影条件决定部的决定结果对所述参数的至少1个进行变更。

14. 根据权利要求9所述的X射线摄影装置,其特征在于,
所述校正部在针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正时,按照从高的能量范围至低的能量范围的顺序来进行校正。

X射线摄影装置

技术领域

[0001] 本发明涉及X射线CT装置等图像摄影装置,特别是涉及搭载了光子计数方式的X射线检测器的X射线摄影装置。

背景技术

[0002] X射线CT装置是根据从多个方向拍摄到的被摄体的X射线透过像(以下,记为投影像)来算出X射线吸收系数,得到被摄体的断层像(以下,记为重构像)的装置。在医疗、无损检查的领域中应用广泛。

[0003] 在现行的大量医疗用的X射线CT装置中,搭载有被称为积分型的X射线检测器。积分型的X射线检测器利用闪烁体(scintillator)将X射线转换成光,由光电二极管将该光转换成电荷,并通过读出电路将该电荷转换成数字信号后输出。在读出电路中按每1视角(view)对电荷进行积分而得到数字信号。虽然大量的X射线光子入射至该1视角间,但所得到的信号量是与入射X射线的能量的总和相应的信号量。由此,无法得知所入射的1个1个X射线光子的能量信息。

[0004] 另一方面,如非专利文献1这样,近年来,搭载了光子计数方式的X射线检测器的X射线CT装置的开发正在推进。该X射线检测器具有:具有CdTe等半导体的检测层的X射线检测元件;和按照入射X射线光子的能量区分每个能量范围来得到数字信号的读出电路。关于该X射线检测器,若X射线入射至X射线检测元件,则首先在检测层产生与X射线光子的能量相应的电荷。接着,读出电路以使X射线光子1个1个地读出的程度高速地读出该电荷,根据入射的X射线的能量,区分成几个能量范围的每一个能量范围来对X射线光子数进行计数。此时,入射的能量使用产生的电荷量来判别。进一步地,同样按多个X射线光子的1个1个地进行该检测,在各能量范围对X射线光子数进行计数,将该计数转换成数字信号。通过这样的测量,按每个能量范围得到投影像,通过使用这些投影像,能够按每个能量范围得到重构像。

[0005] 现有技术文献

[0006] 非专利文献

[0007] 非专利文献1:David P.Cormode,Ewald Roessl,Axel Thran,et al.Analysis with Multicolor CT and Target Gold Nanoparticles.Radiology 2010;256(3):774-782

发明内容

[0008] 发明要解决的课题

[0009] 在光子计数方式的X射线检测器中,当X射线在检测层被检测时,产生大量的电荷,但是在该过程中,X射线由于与检测层进行多次相互作用,所以直至完全地检测为止会产生某种程度的移动距离。由此,由1个X射线光子产生的电荷有时会跨多个像素(检测元件)而被检测到。此时,检测到的X射线的电荷由于由各个像素来分配,所以会被误认为检测到了

能量比入射的X射线光子低的2个X射线光子。由此,会存在以下情况:作为不同的能量范围的X射线光子来测量的情况、将未入射的X射线光子错误地计数的情况。

[0010] 此外,当X射线被检测层检测到时产生的荧光X射线有时会被其他像素检测。此时,会发生入射的X射线的计数损失和不同的能量范围中的检测、未直接入射的X射线光子的计数等。

[0011] 这样的计数错误能够通过同时进行测量来修正。该方法例如由PET(正电子发射断层摄影)装置等来进行,在X射线光子入射至对象元件,同时也由相邻元件检测到信号的情况下,将相邻元件的信号视作入射到对象元件的X射线光子的一部分。但是,该方法在入射率(每单位时间入射的X射线量)高时,另外的X射线光子同时入射至相邻元件的可能性变高,容易发生错误。进一步地,用于判断是否是同时的处理花费时间,很难应用到以X射线CT装置这样高的X射线入射率使X射线入射到X射线检测器的装置中。

[0012] 此外,入射到检测层的X射线的一部分在与检测层的相互作用的中途会透过检测层。在该情况下,会被误认为入射了一个能量比原本的X射线低的X射线光子。由此,有时会被计数为不同的能量范围的X射线光子。

[0013] 这样,若产生各能量范围中的X射线光子数的计数错误,则在各个能量范围中,就不会得到正确的投影像。此外,由于信号从相邻元件流入,所以图像发生模糊,存在分辨率降低的可能性。进一步地,在根据这些投影像作成的重构像中,会发生以下情况:CT值的定量性降低、产生伪影。

[0014] 用于解决课题的手段

[0015] 为了解决前述课题,本发明的X射线摄影装置具备以下这样的单元,该单元考虑在X射线检测元件间流入/流出的X射线光子的移动比例、以及通过在X射线元件内进行能量转移而被计数为在低能量区域中测量的X射线光子的X射线光子的比例,对X射线检测器的各X射线检测元件的数字输出值进行校正。

[0016] 即,本发明的X射线摄影装置具备:X射线检测器,其包括检测X射线光子并将能量等级辨别成多个能量范围而进行测量的光子计数方式的多个X射线检测元件;信号收集部,其收集所述X射线检测元件的输出而得到数字输出值;以及数据处理装置,其对所述X射线检测元件的数字输出值进行校正,使用校正后的数字输出值来作成投影数据,所述数据处理装置具有校正部,该校正部针对各X射线检测元件对所述多个能量范围的各自的数字输出值进行校正。校正部具备校正部具备计数校正部,该计数校正部使用预先求取的表示X射线检测元件间的X射线光子的移动比例的和表示X射线检测元件内的能量转移的比例的参数,对所述数字输出值进行校正。

[0017] 在本发明的一个方式中,校正部具备流入量算出部,该流入量算出部在一个校正对象的X射线检测元件中,算出与由以该X射线检测元件的检测对象能量范围以上的能量入射到其他X射线检测元件的X射线光子而产生并流入至所述校正对象的X射线检测元件的信号量相当的数字量,从所述数字输出值中去除所述流入量算出部所算出的数字量(第一方式)。

[0018] 在本发明的另一方式中,校正部具备能量转移流入量算出部,该能量转移流入量算出部在一个X射线检测元件中算出与从比检测对象能量范围高的能量范围能量转移到所述检测对象能量范围的X射线光子相当的数字量,从所述数字输出值中去除所述能量转移

流入量算出部所算出的数字量(第二方式)。

[0019] 在本发明的又一方式中,校正部具备能量转移流出量算出部,该能量转移流出量算出部算出与入射至一个X射线检测元件并能量转移到比检测对象能量范围低的能量范围的X射线光子相当的数字量,在所述数字输出值上加上所述能量转移流出量算出部所算出的数字量(第三方式)。

[0020] 本发明包括将上述第一~第三方式任意组合而成的方式。

[0021] 发明效果

[0022] 根据本发明,防止了错误地测量入射到每个能量范围的X射线光子数,能够得到正确的投影像。在根据这些投影像作成的重构像中,能够防止CT值的定量性降低、伪影产生。

附图说明

[0023] 图1是表示本发明的X射线CT装置的实施方式的简要图。

[0024] 图2是用于说明X射线检测元件110的配置的一例的说明图。

[0025] 图3的(a)~(c)是说明X射线检测元件的剖面和其动作的图。

[0026] 图4是数据处理装置的功能框图。

[0027] 图5是表示数据处理的流程的一例的图。

[0028] 图6是说明元件间以及元件内的信号的流出流入的图。

[0029] 图7是表示第一实施方式的计数校正的流程的一例的图。

[0030] 图8的(a)~(d)是表示图7的处理S5011的详细情况的图。

[0031] 图9是表示图7的处理S5012~S5013内部的计算顺序的图。

[0032] 图10是第一实施方式的变更例的功能框图。

[0033] 图11是说明第二实施方式的概念的图。

[0034] 图12是说明第三实施方式中的元件间以及元件内的信号的流出流入的图。

[0035] 图13是表示第三实施方式的计数校正的流程的一例的图。

具体实施方式

[0036] 以下,参照附图详细说明本发明的实施方式。另外,在以下的说明中,虽然以X射线CT装置为例来说明本发明,但本发明也能够针对X射线CT装置以外的X射线摄影装置来应用。

[0037] 图1是表示应用了本发明的X射线CT装置的整体概要的图。图1所示的X射线CT装置包括:X射线源100、X射线准直仪102、X射线检测器104、信号收集部108、中央处理装置105、显示装置106、输入装置109、控制部107、台架旋转部101、卧台顶板103。

[0038] 将多个X射线检测器104配置成以X射线源100为大致中心的圆弧状,且X射线检测器104与X射线源100一起搭载于台架旋转部101。在图1中,为了简化说明,示出X射线检测器104为8个的情况,但X射线检测器104的数目是任意的,在实际的装置中,例如是40个左右。此外,在X射线检测器104的前面设置X射线栅格(图1中未图示),防止从X射线源100照射的X射线之中因被摄体200等而散射的X射线入射至X射线检测器104。

[0039] X射线检测器104形成将光子计数方式的X射线检测元件例如如图2所示那样在通道方向和切片方向上进行二维配置的构造。另外,图2示出配置于X射线检测器104的X射线

检测元件110的一部分,切出通道方向上4个、切片方向上3个来进行记述。此外,X射线检测元件110按照使通道方向和X射线探测器104的旋转方向与切片方向和旋转轴方向一致的方式进行配置。

[0040] 该X射线检测元件110如图3的(a)所示那样具有夹着检测层111来设置正负电极112、113且对该电极连接读出电路115(信号收集部108)的构造。检测层111例如由CdTe(碲镉)、CdZnTe(碲镉锌),Si(硅)等半导体材料构成,检测入射的X射线光子,生成与其能量相应的量的电荷。读出电路115读出在检测层111产生的电荷,将因该电荷而产生的电信号与预先设定的能量等级进行比较,判别入射的X射线光子的能量的能量范围。

[0041] 读出电路115按每个入射X射线光子来进行这样的判别,在1视角间,区分成多个能量范围的每一个,对各自的X射线光子数进行计数。从各X射线检测元件110的读出电路115输出的、与各个计数数相应的电信号由信号收集部108作为数字信号来输出。图3的(b)、(c)作为一例将能量范围区分成3个,并示出对X射线光子数进行计数的情形和与其相应的信号。通过这样的X射线探测器104的构造,X射线在由检测层111检测到后,能够按每个能量范围得到与X射线光子数相应的数字信号(数字输出值)。另外,只要能量范围的数目为2个以上就不特别限定,但以下,为了简化说明而说明能量范围为低能量范围和高能量范围这2个范围的情况。

[0042] 中央处理装置105主要处理从信号收集部108输出的数字信号,进行校正、图像重构等数据处理。图4示出作为数据处理装置起作用的中央处理装置105的功能框图。如图所示,中央处理装置(数据处理装置)105具有校正部120、图像重构部130、参数设定部140以及控制各部分的数据的流动的主控制部150,进行图像作成所需的各种运算。中央处理装置各运算通过执行各自对应的运算程序来实现。运算程序被预先保存在中央处理装置105中。或者,通过可移动介质、通信而上载到中央处理装置来执行。另外,图4中虽然未图示,但在中央处理装置105具备保存各种运算所需的数据、参数141的存储装置160作为内部以及/或者外附装置。

[0043] 校正部120包括预处理部121以及计数校正部125,该计数校正部125对按X射线探测器104的每个元件而计数的X射线光子数进行校正。预处理部121将依赖于装置的误差除掉,或进行用于去除被摄体以外的信号的处理,其对来自信号收集部108的数据进行LOG转换、空气校正等公知的预处理。计数校正部125针对构成X射线探测器104的各检测元件按每个能量范围算出应从输出值去除的数字量或者应补充的数字量,在图示的例子中,包括流入量算出部122、能量转移流入量算出部123、能量转移流出量算出部124。计数校正部125使用由这些各算出部122~124算出的数字量,对从信号收集部108输入的X射线探测器104的数字输出值进行校正。这些各算出部的功能在后面详述。

[0044] 图像重构部130基于由校正部120校正后的每个能量范围的投影数据,进行公知的滤波器校正逆投影法、逐次近似法等运算,从而对CT像进行重构。参数设定部140对从输入装置109直接输入的参数、根据所输入的条件等决定的参数进行设定,并交给校正部120、图像重构部130。

[0045] 显示装置106显示图像重构部130所作成的图像等,或显示用于操作者操作的GUI。输入装置109能够包括键盘、鼠标、指示摄影的开始/结束等的各种操作按钮等。

[0046] 接着,根据上述构成,说明拍摄被摄体200而取得重构像的摄影方法(以下,记为实

际摄影)和处理的方法。首先,若从输入装置109输入了实际摄影的开始,则从X射线源100照射X射线。X射线由X射线准直仪102来限定照射区域,向载置于卧台顶板103的被摄体200照射,透过了被摄体200的X射线由X射线检测器104来检测。

[0047] 一面通过使台架旋转部101在旋转方向上旋转从而使针对被摄体200的X射线的照射角度发生变化,一面重复进行该摄影,取得360度的数字信号。摄影例如按每个0.4度在多个视角之间进行。进一步地,在其间,控制部107也进行X射线焦点的位置控制。由信号收集部108来收集这样得到的数字信号。以下将由信号收集部108收集到的数据称为原始数据143。

[0048] 原始数据143被送至中央处理装置105,进行校正处理。图5示出中央处理装置105的校正处理的过程。在校正处理中,首先,对从信号收集部108接收到的原始数据143首先进行计数校正(S501)。计数校正的详细情况后述,按低能量范围和高能量范围的每个数字信号,对计数到的X射线光子数进行校正。此时,读出存储装置160中存储的参数141,进行校正处理的运算。

[0049] 接着,进行LOG转换(S502)。若设转换前的值X、转换后的值Y,则LOG转换例如是式(1)所示的转换。这里,a、b是常数系数。

[0050] [数式1]

$$[0051] \quad Y = a \text{LOG}(X) + b \quad (1)$$

[0052] 接着,进行空气校正(S503)。该校正例如通过从LOG转换后的原始数据中对在正式摄影的事前作成并保存在存储装置160中的、每个能量的灵敏度/X射线分布数据142进行差分来实现。灵敏度/X射线分布数据142例如通过以下方法来作成:不设置被摄体200,从X射线管100照射X射线并按每个能量来取得原始数据,对这些原始数据进行计数校正、针对视角的加法平均处理、LOG转换。

[0053] 在进行以上这样的处理而得到投影数据144后,进行重构处理(S504),例如按每个低能量范围和高能量范围来作成被摄体200的X射线吸收系数分布的重构像145。最后,由显示装置106来显示重构像145(S505)。

[0054] 另外,图5所示的校正处理是一例,但并不限定本发明。例如,也可以存在以下情况:这些校正顺序不同的情况、加入了其他校正的情况以及不存在空气校正S503的情况等。

[0055] 接着,说明计数校正S501的处理的详细情况。在该处理中,进行流入量去除处理、能量转移流入量去除处理、能量转移流出量补充处理中的至少一个校正处理。校正处理虽然对构成X射线检测器的全部X射线检测器元件进行,但在以下的说明中,说明针对图2所示的一个X射线检测元件11(以下,记为对象元件11)的校正处理。

[0056] 首先,参照图6来说明针对对象元件11测量到的计数数不准确的原因。图6中,用方框610来表示对象元件11的高能量范围中的信号,用方框620来表示低能量范围中的信号。同样地,用方框710来表示相邻元件12的高能量范围中的信号,用方框720来表示低能量范围中的信号。

[0057] 若一个对象元件11对规定的能量区域的X射线光子进行了计数,则在该计数数(数字量)中,除了入射到该对象元件11的检测对象能量区域的X射线光子(检测对象光子)以外,还包含:(1)从相邻元件12流入的X射线光子(流入光子)(图6中,用细实线示出的箭头);(2)比入射到该检测元件的检测对象能量区域高的能量区域的X射线光子且是引起能量转

移的X射线光子(能量转移光子)(图6中,用粗实线示出的箭头)的计数数。这些流入光子以及能量转移光子的计数数应从测量值中去除。

[0058] 此外,存在以下X射线光子,即,原本是入射到对象元件11的规定能量区域的X射线光子,由于能量转移到更低的能量区域,所以没有被测量为检测对象能量区域的X射线光子。需要将该未被测量的X射线光子的计数数补充到测量值中。

[0059] 这里,在光子计数方式的检测器中,与积分型的检测元件的串扰不同,能量转移所造成的流出流入是从高的能量范围向低的能量范围的一个方向的移动,低的能量范围的X射线光子不会流入到相同的元件或相邻的元件的高的能量范围。但是,在相邻的元件之间,有时相同能量范围的X射线光子会流出流入。此外,在高的能量范围的X射线光子流入至相邻的元件,并在此被计数为X射线光子的情况下,在流入的一侧成为应去除的流入量,但在流出的一侧(对象元件),已经被计数,所以只要仅考虑能量转移即可,而不需要补充计数数。

[0060] 在本实施方式的校正处理中,考虑这样的光子计数方式的检测器的X射线光子的行为(信号的流出流入)来进行计数校正。以下,说明校正处理的实施方式。

[0061] <<第一实施方式>>

[0062] 本实施方式的特征在于,进行来自其他元件的流入量的去除、同一元件内的能量转移流入量的去除、同一元件内的未测量的值的插值这全部3种处理。以下,参照图7的流程来说明本实施方式的计数校正。

[0063] <参数的决定>(S5011)

[0064] 在校正处理时,首先,求取表示元件间的X射线光子的移动比例的参数以及表示同一元件内的能量转移的比例的参数。前者参数根据能量范围的不同按每个元件来求取以下3种参数:表示在高能量范围中入射到相邻元件12的信号之中的以对象元件11的高能量范围测量的X射线光子的比例的参数 $\alpha_{H,H}$;表示在高能量范围中入射到相邻元件12的信号之中的以低能量范围测量的X射线光子的比例的参数 $\alpha_{H,L}$;和在低能量范围中入射到相邻元件12的信号之中的以对象元件11的低能量范围测量的X射线光子的比例的参数 $\alpha_{L,L}$ 。

[0065] 所谓表示能量转移的比例的参数,指的是针对一个元件,表示将具有高能量范围的能量的入射X射线光子测量为低能量范围的X射线光子的比例,是表示高能量范围的减少的比例的参数 $\beta_{H,L}(x)$,是表示低能量范围的增加的比例的参数 $\gamma_{H,L}(x)$ 。虽然 $\beta_{H,L}(x)$ 和 $\gamma_{H,L}(x)$ 大致上一致,但也有时会不同。例如是:即使在高能量范围中失去能量也留在高能量范围,失去的能量以低能量范围被测量的情况等。

[0066] 这些参数的求取方法,大致来分有3种方法。第1方法是使用仿真的方法,第2方法是实际测量的方法,第3方法是对1个或少数元件进行实际测量且对其他元件进行推测的方法。这些可以适当组合。

[0067] 在仿真法中,例如,如图2的配置这样来进行模拟了对象元件11和相邻元件12的蒙特卡洛仿真。首先,在考虑能量的情况下在X射线入射到相邻元件时对向对象元件流入的X射线光子数进行计数,能够求取参数 $\alpha_{H,H}$ 、 $\alpha_{H,L}$ 、 $\alpha_{L,L}$ 。进一步地,在考虑能量的情况下使X射线入射至对象元件11,通过对X射线光子数的计数结果和输入X射线的频谱进行比较,从而能够求取参数 $\beta_{H,L}$ 和 $\gamma_{H,L}$ 。

[0068] 此外,在实际测量法的情况下,首先,测量照射X射线的频谱。由此,推测不存在被

摄体的情况下的高能量范围和低能量范围的计数的比例 $r_H(x)$ 、 $r_L(x)$ (这里, $r_H(x)+r_L(x)=1$)。 x 表示成为对象的元件的位置。

[0069] 接着,使X射线入射至对象元件11,对实际所测量的高能量范围和低能量范围中的数字输出值 $P_H(x)$ 、 $P_L(x)$ 进行测量。此时,为了避免来自其他X射线检测元件的信号流入,X射线如图8(a)或者(b)所示那样利用针孔、狭缝而缩小成点状或细的狭缝状进行照射。根据其结果,算出要测量的比例 $\beta_{H_L}(x)$ 和 $\gamma_{H_L}(x)$,作为低能量范围的X射线光子。此时,如果不存在信号的流入、流出,则在低能量范围中测量的计数只要成为 $r_L(x)(P_H(x)+P_L(x))$ 即可,但是在存在流入流出时,测量为 $P_L(x)$ 。因此,来自低能量范围的信号会减少 $r_L(x)(P_H(x)+P_L(x))-P_L(x)$ 。另一方面,若以比例 $\beta_{H_L}(x)$ 来表示这个量,则成为 $\beta_{H_L}(x)r_L(x)(P_H(x)+P_L(x))$,所以可知 $\beta_{H_L}(x)$ 可以写成以下的式(2-1)这样。

[0070] 另一方面,向低能量范围的信号增加 $r_H(x)(P_H(x)+P_L(x))-P_H(x)$,若以 $\gamma_{H_L}(x)$ 来表示这个量,则成为 $\gamma_{H_L}(x)r_H(x)(P_H(x)+P_L(x))$,所以可知 $\gamma_{H_L}(x)$ 可以写成以下的式(2-2)这样。

[0071] [数式2]

$$[0072] \quad \beta_{H_L} = \frac{r_L(x)P_L(x) - r_H(x)P_H(x)}{r_H(x)(P_H(x) + P_L(x))} \quad (2-1)$$

$$[0073] \quad \gamma_{H_L} = \frac{r_H(x)P_H(x) - r_L(x)P_L(x)}{r_L(x)(P_H(x) + P_L(x))} \quad (2-2)$$

[0074] 另外,在存在被摄体时,入射至X射线检测器104的X射线的频谱发生变化,但这里使用近似不存在被摄体的情况下的值。

[0075] 接着,如图8(c)或者8(d)所示,照射至少缩小到通道方向的狭缝状、针孔状的X射线,测量相邻元件12的数字输出值 $P_H(m)$ 、 $P_L(m)$,测量 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 。这里,X射线希望比X射线检测元件110的宽度充分窄。此时,若向对象元件11没有信号的流入、流出,则认为在高能量范围有计数 $r_H(x)(P_H(x)+P_L(x))$,在低能量范围有计数 $r_L(x)(P_H(x)+P_L(x))$,所以比例 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 可以写成式(3-1)~式(3-3)这样。

[0076] [数式3]

$$[0077] \quad \alpha_{H_H} = \frac{P_H(m)}{r_H(x)(P_H(x) + P_L(x))} \quad (3-1)$$

$$[0078] \quad \alpha_{H_L} = \frac{P_L(m)}{r_H(x)(P_H(x) + P_L(x))} \quad (3-2)$$

$$[0079] \quad \alpha_{L_L} = \frac{P_L(m)}{r_L(x)(P_H(x) + P_L(x))} \quad (3-3)$$

[0080] 这里,对象元件11的参数 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 算出为与相邻元件12的参数相同。通过这样来求取,即使在相邻元件12在对象元件11的周围有多个的情况下,也能够一次求取参数。另一方面,当然也可以使X射线入射至相邻元件12而直接测量向对象元件11的流出量。

[0081] 此外,作为相邻元件12,在图8中,虽然假设在一个方向(例如通道方向)上相邻的

元件,但是由于有时检测元件的纵横比、通道方向和切片方向的元件间隔会根据检测器的不同而不同,所以也可以针对两个方向,进行上述的实际测量,求取各个参数。此外,在实际测量法中,也可以通过利用仿真来求取X射线的频谱分布,从而计算高能量范围和低能量范围的计数的比例 $r_H(x)$ 、 $r_L(x)$ 。

[0082] 此外,在式(3-1)~式(3-3)中,虽然使用了相邻元件12的校正前的数字输出值 $P_H(m)$ 、 $P_L(m)$,但是通过考虑相邻元件12内的能量转移,从而能够以更高的精度来决定参数。此时,在相邻元件12中,只要使用先前测量的 β_{H_L} 、 γ_{H_L} 和后述的式(4-1)、式(4-2),来算出消除了能量转移的影响的数字输出值 $R_H(m)$ 、 $R_L(m)$,取代数字输出值 $P_H(m)$ 、 $P_L(m)$ 而使用这些消除了能量转移的影响的数字输出值 $R_H(m)$ 、 $R_L(m)$,根据式(3-1)~式(3-3)来求取参数即可。

[0083] 第3方法是减轻针对所有的元件进行实际测量的负担的方法,例如,针对位于X射线检测器的中央的检测元件和位于端部的检测元件等较少数目的检测元件,进行基于上述实际测量法的参数决定,针对处于这些之间的检测元件,利用插值或仿真来推测参数的值。由此,能够减轻实际测量法的负担。

[0084] 以上这样决定的参数 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 、 $\beta_{H_L}(x)$ 、 $\gamma_{H_L}(x)$ 保存在存储装置160中,被用于之后的计数校正计算中。

[0085] <流入量去除处理>(图7:S5012)

[0086] 流入量去除处理是以下处理:在1个X射线光子入射至对象元件11的相邻元件12且此时产生的信号的一部分由对象元件11检测的情况下,将因从其相邻元件12入射的信号而被错误地计数为X射线光子的计数数在还考虑其能量的情况下从对象元件11的X射线光子的计数数中去掉。

[0087] 由此,流入量算出部122根据入射至相邻元件12的X射线光子来算出由对象元件11测量的计数数,即,上述式的“光子流入量”。

[0088] 这里,将对象元件11的流入量去除处理前的高能量范围和低能量范围中的数字输出值分别设为 $P_H(x)$ 、 $P_L(x)$,将准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的高能量范围和低能量范围中的数字输出值分别设为 $R_H(x)$ 、 $R_L(x)$,将相邻元件12的流入量去除处理前的数字输出值设为 $P_H(m)$ 、 $P_L(m)$,将准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的数字输出值设为 $R_H(m)$ 、 $R_L(m)$ 。另外, x 、 m 表示成为校正对象的X射线检测元件的位置 x 以及相邻的元件的位置 m ,当然只要成为对象的X射线检测元件的位置发生改变则位置 x 、 m 就会改变。

[0089] 在对象元件11的高能量范围中,由于因入射到相邻元件12的高能量范围的光子而产生的电荷的一部分能够流出,所以追加与该光子数成比例的计数数。这如图6所示被视作相邻元件12的高能量范围的信号710的一部分(比例: α_{H_H})流入至对象元件11的高能量范围的信号610。因此,流入量能够表示为 $\alpha_{H_H}R_H(m)$ 。同样地,在对象元件11的低能量范围中,追加与入射到相邻元件12的高能量范围的光子数成比例的计数数和与入射到相邻元件12的低能量范围的光子数成比例的计数数。

[0090] 这如图6所示,被视作相邻元件12的高能量范围的信号710的一部分(比例: α_{H_L})和相邻元件12的低能量范围的信号720的一部分(比例: α_{L_L})流入至对象元件11的低能量范围的信号620,所以该流入量能够表示为 $\alpha_{H_L}R_H(m) + \alpha_{L_L}R_L(m)$ 。此时,以低能量范围入射到相邻元件12的信号之中被测量为对象元件11的高能量这一情况由于即使低能量的X射线光子的能量全部进入到对象元件11也是不可能的,所以其比例为零($\alpha_{L_H}=0$)。

[0091] 因此,在流入量去除处理中应校正的数字量“流入量”,针对高能量的X射线光子为 $[R_H(m) \times \alpha_{H_H}]$,针对低能量的X射线光子为 $[R_H(m) \times \alpha_{H_L} + R_L(m) \times \alpha_{L_L}]$ 。

[0092] 计数校正部125使用流入量算出部122算出的上述“流入光子的量”,通过下式(4-1)、(4-2)来进行流入量去除处理。

[0093] [数式4]

$$[0094] \quad R_L(x) = P_L(x) - \alpha_{H_L} R_H(m) - \alpha_{L_L} R_L(m) \quad (4-1)$$

$$[0095] \quad R_H(x) = P_H(x) - \alpha_{H_H} R_H(m) \quad (4-2)$$

[0096] 通过这样从流入量去除处理前的信号值中对从相邻元件12向对象元件11流入的信号做差分,从而能够算出准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的信号值。

[0097] <能量转移流入量去除处理>(图7:S5013)

[0098] 在能量转移流入量去除处理中,当1个X射线光子入射到对象元件11时,对所产生的的电荷的一部分被对象元件11检测为比X射线光子的能量低的能量范围的X射线光子从而被误计数的计数数进行校正。这能够在以下情况下出现:所检测到的X射线光子的信号的一部分被相邻元件12检测的情况、X射线光子的一部分的能量一面被吸收还一面透过对象元件11的情况等。该现象由于被视为在高能量范围中测量的X射线光子数的一部分转移至低能量范围,所以如图6所示,能够视为计数数从高能量范围向低能量范围流入。

[0099] 能量转移流入量算出部123在能量转移流入量去除处理中,为了去掉低能量范围的计数之中从高能量范围向低能量范围流入的X射线光子数,而算出从高能量范围向低能量范围流入的X射线光子数。这里,如图6所示,能够视为高能量范围的信号610的一部分流入至低能量范围的信号620。其比例为 $\gamma_{H_L}(x)$,所以能量转移流入量算出部123算出的流入量为 $\gamma_{H_L}(x) R_H(x)$ 。通过利用式(5),对从流入量去除处理前的信号值中对该流入量做差分,从而能够算出准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的信号值。

[0100] [数式5]

$$[0101] \quad R_L(x) = P_L(x) - \gamma_{H_L}(x) R_H(x) \quad (5)$$

[0102] <能量转移流出量补充处理>(S5014)

[0103] 接着,能量转移流出量补充处理与能量转移流入量去除处理相反,是对高能量范围的计数数之中测量为低能量范围的计数数进行补充的处理。该量(能量转移流出量)若与能量转移流入量去除处理的情况同样地考虑,则为 $\beta_{H_L}(x) R_H(x)$ 。因此,如式(6)这样,通过将该值补充到流入量去除处理前的信号值,从而算出准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的信号值。

[0104] [数式6]

$$[0105] \quad R_H(x) = P_H(x) + \beta_{H_L}(x) R_H(x) \quad (6)$$

[0106] 在图5的计数校正S501中,进行上述流入量去除处理S5012、能量转移流入量去除处理S5013、能量转移流出量补充处理S5014这些全部处理。此时,准确地测量到所入射的X射线光子的能量时的高能量范围和低能量范围中的数字输出值 $R_H(x)$ 、 $R_L(x)$ 写成式(7-1)、(7-2)这样。

[0107] [数式7]

$$[0108] \quad R_L(x) = P_L(x) - \alpha_{H_L} R_H(m) - \alpha_{L_L} R_L(m) - \gamma_{H_L}(x) R_H(x) \quad (7-1)$$

$$[0109] \quad R_H(x) = P_H(x) - \alpha_{H_H} R_H(m) + \beta_{H_L}(x) R_H(x) \quad (7-2)$$

[0110] 进一步地,若将表示低能量范围的L设为1,将表示高能量范围的H设为2,则式(7-1)、(7-2)写成下式这样。

[0111] [数式8]

$$[0112] \quad \text{当} n=1 \text{ 时 } P_n(x) = R_n(x) + \sum_{i=n}^2 \alpha_{i-n} R_i(m) + \sum_{i=n+1}^2 \gamma_{i-n}(x) R_i(x) \quad (8-1)$$

$$[0113] \quad \text{当} n=2 \text{ 时 } P_n(x) = R_n(x) + \sum_{i=n}^2 \alpha_{i-n} R_i(m) - \sum_{i=1}^1 \beta_{n-i}(x) R_n(x) \quad (8-2)$$

[0114] 式(8-1)、(8-2)分别是将相邻元件12视为对象元件11的情况下的式子,即在本实施例中,由于使用这2个元件,所以将对象元件11和相邻元件12调换后的式子成立,能够使用这一组式子的联立方程式来求解。

[0115] 此时,通过从n较大的一方开始来求解(从n=2时开始)式子,从而能够算出输出值 $R_H(x)$ 、 $R_L(x)$ 。即,首先,通过先求解n=2时的式(8-2),从而求取式(8-1)的右边的第3项的 $R_H(x)$,所以能够与式(8-2)同样地进行求解。

[0116] 图9示出考虑了这样的计算顺序的计数校正S501的处理。首先,在处理S510中,使用原始数据143之中的高能量范围中的数字信号量 $P_2(x)$ (= $P_H(x)$)来算出校正后的高能量范围中的数字信号量 $R_2(x)$ (= $R_H(x)$)。在处理S510中,通过使用保存在存储装置160中的参数(α, β, γ)141,来进行式(8-1)、(8-2)(n=2时)的计算,从而能够进行流入量去除处理、能量转移流出量补充处理。接着,在处理S520中,使用先前求取到的校正后的高能量范围中的数字信号量 $R_2(x)$ 和原始数据143之中的低能量范围中的数字信号量 $P_1(x)$ (= $P_L(x)$)来算出校正后的低能量范围中的数字信号量 $R_1(x)$ (= $R_L(x)$)。在处理S520中,通过使用存储装置160中保存的参数(α, β, γ)141,来进行式(8-1)、(8-2)(n=1时)的计算,从而能够进行流入量去除处理、能量转移流入量补充处理,针对校正对象元件得到校正后的数字输出值1440。

[0117] 通过以上的计数校正S501(S5012~S5014),能够求取高能量范围的数字信号量 $R_2(x)$ 和低能量范围的数字信号量 $R_1(x)$ (S5015)。在以构成X射线检测器的全部元件为对象进行了该处理后(S5016),前进到LOG转换S502的处理。之后的处理与参照图5已经说明的处理相同。

[0118] 如以上所说明那样,根据本实施方式,通过对因从相邻元件12流入的X射线光子导致的计数差异以及因相同元件内的能量转移导致的计数差异进行计数校正S501,从而能够得到在各能量范围中准确入射的X射线光子数,就会得到正确的投影像。此外,防止因信号从相邻元件流入而使图像模糊,防止分辨率降低。进一步地,在根据这些投影像作成的重构像中,能够防止CT值的定量性降低、伪影产生。

[0119] <<第一实施方式的变更例1>>

[0120] 在第一实施方式中,在计数校正中,进行了流入量去除、能量转移流入量去除、能量转移流出量补充这全部3个处理,但也能够根据检测器的特性等,来省去这些处理中的1个或2个处理。

[0121] 例如,在元件间的串扰极少而能够忽视的范围的情况下,能够省去流入量去除(图7:S5012)。在该情况下,使用上述的式(5)、(6)以及参数 $\beta_{HL}(x)$ 和 $\gamma_{HL}(x)$ 来进行计数校正S501。

[0122] 此外,在元件内的能量转移能够忽视的范围的情况下,省略能量转移流入量去除、

能量转移流出量补充这2个处理,使用上述的式(4-1)、(4-2)以及参数 α 来进行计数校正S501。

[0123] 进一步地,流入量去除以及能量转移流入量去除、流入量去除以及能量转移流出量补充、仅能量转移流入量去除、仅能量转移流出量补充的计数校正S501也包含在本发明中。

[0124] 在进行一个处理的情况下也能得到下面这样的效果。

[0125] 首先,通过进行流入量去除,由某X射线检测元件来检测X射线光子入射到其他X射线检测元件而产生的一部分信号的情况下,由于对于由其他X射线检测元件检测到的X射线光子数来说,也考虑该X射线的能量并通过校正来将其去掉,所以能够得到正确的投影数据。

[0126] 通过进行能量转移流入量去除处理,能够算出原本是更高能量的X射线光子入射却仅检测到一部分的能量所以被测量为低能量范围的X射线光子数。因此,能够通过校正从在某能量范围中测量到的X射线光子数中去掉将更高能量范围的X射线光子错误检测为低能量范围的X射线光子数,从而能够得到正确的投影数据。

[0127] 通过进行能量转移流出量补充处理,从而对于某能量范围的X射线光子来说,算出由于仅检测到一部分的能量所以在更低能量范围中测量到的X射线光子数,并通过校正来补充,从而能够得到正确的投影数据。

[0128] 另外,在第一实施方式中,如图9的流程所示,从高能范围中算出校正后的数字信号量。这是由于,根据式(7-1)可知,在校正后的低能量的数字信号量 $R_L(x)$ 的算出中,使用校正后的高能量的数字信号量 $R_H(x)$ 、 $R_H(m)$ 。具有该 $R_H(x)$ 的式(7-1)右边的第2项和第4项分别指的是流入量去除处理和能量转移流入量去除处理。另一方面,在能量转移流出量补充处理中,为了求取信号量 $R_{LL}(x)$ 是不需要信号量 $R_H(x)$ 的。因此,在包括流入量去除处理和能量转移流入量去除处理中的至少一方的情况下,最好根据高能范围的数字信号量 $R_H(x)$ 来求取,在仅进行能量转移流出量补充处理的情况下,也可以根据高能范围和低能量范围的数字信号量中的任一个来求取。

[0129] <<第一实施方式的变更例2>>

[0130] 在第一实施方式中,虽然记述了预先求取 $\alpha_{H,H}$ 、 $\alpha_{H,L}$ 、 $\alpha_{L,L}$ 、 $\beta_{H,H}(x)$ 、 $\gamma_{H,L}(x)$ 等参数,并用作固定的值的情况,但是也可以构成为能够自动或手动地根据摄影条件等来变更参数。本实施方式的X射线CT装置的特征在于,具备自动或手动地变更参数的功能。

[0131] 图10示出本实施方式的控制部107以及中央处理装置105的功能框图的一例。

[0132] 如图所示,控制部107具备摄影条件设定部170。中央处理装置105的参数设定部140除了图4所示的功能以外,还具备作为参数算出部的功能。另外,在图10中,针对与图4相同的要素以相同符号来示出,省略说明。

[0133] 此外,图10中虽然省略了图示,但计数校正部125具备图4所示的流入量算出部122、能量转移流入量算出部123、能量转移流出量算出部124中的至少一个。

[0134] 在摄影条件设定部170,经由输入装置109来设定被摄体的种类、照射的管电压、X射线滤波器的种类等摄影条件。摄影条件设定部170将所设定的摄影条件的信息交给中央处理装置105的参数设定部140。参数设定部140基于摄影条件来判断能量的硬化、软化的程度,对参数 $\alpha_{H,H}$ 、 $\alpha_{H,L}$ 、 $\alpha_{L,L}$ 、 $\beta_{H,H}(x)$ 、 $\gamma_{H,L}(x)$ 进行变更。

[0135] 一般,通过X射线的被摄体的透过等,在某能量范围内的能量分布发生了变化的情况下等,这些能量发生变化(硬化或软化)。这样的能量的硬化、软化根据被摄体的种类、照

射的管电压、X射线滤波器的种类等而改变。参数设定部140根据从摄影条件推测的能量的变化而使参数 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 、 $\beta_{H_L}(x)$ 、 $\gamma_{H_L}(x)$ 发生变化。例如,在高能量范围中的能量发生了硬化的情况下,由于至检测为止的制动距离变长,所以也可以使 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 $\beta_{H_L}(x)$ 、 $\gamma_{H_L}(x)$ 增加。此外,在低能量范围中的能量发生了硬化的情况下,由于同样地至检测为止的制动距离变长,所以也可以使 α_{L_L} 增加。另一方面,在因散射射线的增加等从而能量发生了软化的情况下,由于制动距离变短,所以这些参数也可以减小。

[0136] 另外,参数设定部140不但可以根据来自摄影条件设定部170的摄影条件的信息,也可以根据由信号收集部108得到的高能量范围和低能量范围的计数数来判断能量的硬化、软化的程度。由此,使参数 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 、 $\beta_{H_L}(x)$ 、 $\gamma_{H_L}(x)$ 发生变化这一情况与根据摄影条件来进行判断的情况相同。

[0137] 此外,在图10中,示出了使用来自摄影条件设定部170的摄影条件从而参数设定部140自动地对参数进行变更的情况,但也可以构成为操作者经由输入装置109直接输入成为参数变更的要因的条件、参数的能量依赖性。进一步地,还能够构成为使参数 α_{H_H} 、 α_{H_L} 、 α_{L_L} 、 $\beta_{H_L}(x)$ 、 $\gamma_{H_L}(x)$ 因能量的硬化、软化以外的要因而发生变化。例如,也可以根据图像的可视性来进行变更。

[0138] <<第二实施方式>>

[0139] 在第一实施方式中,说明了信号仅从1个相邻元件12流入的情况,但在本实施方式中,是考虑了信号从多个相邻元件12流入的实施方式。

[0140] 在本实施方式中,相邻元件12可以与对象元件11相接,也可以不直接相接,可以相对于对象元件11处于任何位置。进一步地,在对象元件11以外,也可以将X射线检测器104的全部X射线检测元件设为对象。图11示出将相邻元件12的范围扩大后的例子。图中,箭头连接的元件全部是对象元件11的相邻元件12。

[0141] 在将对象元件11以外的多个元件全都包含在相邻元件12中进行考虑的情况下,来自这些多个相邻元件12的影响成为各个X射线检测元件的总和。这里,若设第1个至第M个这M个X射线检测元件之中的一个X射线检测元件即第x个(x是1以上M以下的整数)是对象元件11,则将自身以外的全部X射线检测元件看作相邻元件12,上述的式(8-1)、(8-2)能够如式(9-1)、(9-2)这样来记述。

[0142] [数式9]

$$[0143] \quad \text{当} n=1 \text{ 时 } P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^2 \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) + \sum_{i=n+1}^2 \gamma_{i_n}(x) R_i(x) \quad (9-1)$$

$$[0144] \quad \text{当} n=2 \text{ 时 } P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^2 \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) - \sum_{i=1}^1 \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (9-2)$$

[0145] 这里,由于考虑从各相邻元件12的流入的比例的差异,所以将第m(x以外的1以上M以下的整数)个相邻元件12的高能量范围的信号流入至对象元件11的高能量范围的信号的比例记为 $\alpha_{H_H}(m, x)$ 。即,相邻元件12为1个情况下记为 α_{H_H} 的比例,由于按多个相邻元件12的每一个来定义,所以将其记为 $\alpha_{H_H}(m, x)$ 。同等地,将 α_{H_L} 记为 $\alpha_{H_L}(m, x)$,将 α_{L_L} 记为 $\alpha_{L_L}(m, x)$ 。

[0146] 对于这些式(9-1)、(9-2)来说,由于存在x从1至M这M种情况,所以例如使用M行的矩阵来求解。此时,若根据n较大的一个式子来求解,则能够按顺序来求出全部n的 $R_n(x)$ ($n=1, \dots, N$)。

[0147] 本实施方式是将第一实施方式中的相邻元件的范围拓宽而一般化了的方式,与第一实施方式相同,能够在各能量范围准确地得到所入射的X射线光子数,从而能够得到正确的投影像。此外,第一实施方式的变更例1、2也能够同样地应用到本实施方式。

[0148] <<第三实施方式>>

[0149] 本实施方式的特征在于,以所检测的能量范围为N个(N是3以上的整数)的X射线检测器作为对象这一点。

[0150] 使用图12来说明本实施方式中的信号的交换(流出流入)。在图12中,以方框610来示出对象元件11的第N能量范围的信号,以方框615来示出第n能量范围的信号,以方框620来示出第1能量范围的信号。这里n是2至(N-1)的整数。此外,在图12中虽然省略,但在第N至第1能量范围之间存在第2至第(N-1)能量范围,其中一个是第n能量范围。这些能量范围按照第N、第(N-1)、……、第1顺序来表示从高到低的能量。

[0151] 同样地,以方框710来示出相邻元件12的第N能量范围的信号,以方框715来示出第n能量范围的信号,以方框720来示出第1能量范围的信号。这里,与对象元件11同样地,在第N至第1能量范围之间,存在第2至第(N-1)能量范围,其中一个是第n能量范围。

[0152] 此外,参数 α_{i_j} (i, j :满足 $i \geq j$ 的1至N的整数)与第一实施方式同样地表示从第i能量范围的相邻元件12的信号向第i能量范围的对象元件11的信号流入的比例,参数 β_{i_j} (i, j :满足 $i > j$ 的1至N的整数)表示从第i能量范围的对象元件11的信号向第j能量范围的同一元件11的信号的流入流出之中从第i能量范围流出的比例,参数 γ_{i_j} 表示在同一流入流出中向第j能量范围流入的比例。这些比例虽然也在图12中记述仅第N、第n、第1能量范围之间的交换,但是实际上在第N、第(N-1)、……、第1的全部能量范围中存在流入流出。

[0153] 使用图12,首先,考虑第N能量范围的信号610。在最高能量范围的信号610中,来自相邻元件12的流入成为仅从第N能量范围的信号710。另一方面,在对象元件11之中,没有来自其他能量范围的流入,但存在从第1向第(N-1)能量范围的流出。因此,若与第一实施方式的 $n=2$ 的情况同样地考虑,则在信号610中, $P_n(x)$ 和 $R_n(x)$ 写成式(10)那样。

[0154] [数式10]

[0155] 当n为N时

$$[0156] \quad P_n(x) = R_n(x) + \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n} R_i(m) - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (10)$$

[0157] 接着,考虑第n(n是2以上(N-1)以下的整数)能量范围的信号615。从相邻元件12,从第n(信号715)至第N(信号710)能量范围流入。

[0158] 另一方面,来自对象元件11的其他能量范围的流入从第(n+1)至第N(信号610)能量范围,流出向第1(信号620)至第(n-1)能量范围。因此,在第n能量范围的信号615中, $P_n(x)$ 和 $R_n(x)$ 写成式(11)那样。

[0159] [数式11]

[0160] 当n为2~(N-1)时

[0161]

$$P_n(x) = R_n(x) + \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n} R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i_n}(x) R_i(x) - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (11)$$

[0162] 接着,考虑最低的能量范围即第1能量范围的信号620。从相邻元件12,从第1(信号720)至第N(信号710)能量范围流入。另一方面,来自对象元件11的其他能量范围的流入虽然从第2至第N能量范围开始,但是没有流出。因此,在信号620中, $P_n(x)$ 和 $R_n(x)$ 写成式(12)那样。

[0163] [数式12]

$$[0164] \quad \text{当}n\text{为}1\text{时} P_n(x) = R_n(x) + \sum_{i=n}^N \alpha_{i-n} R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i-n}(x) R_i(x) \quad (12)$$

[0165] 图13示出基于以上的信号的交换的计数校正部125的处理。首先,在处理S531中,使用原始数据143之中的第N能量范围中的数字信号量 $P_N(x)$ 来算出校正后的第N能量范围中的数字信号量 $R_N(x)$ 。在处理S531中,使用存储装置160中保存的参数(α, β, γ)141,通过进行式(10)的计算,来进行流入量去除处理、能量转移流出量补充处理。这里,式(10)关于对象元件11来记述,但对于其他所有的元件也成立。在假设X射线检测器104包括M个X射线检测元件110的情况下,形成M个式子,通过求解这些的联立方程式,从而能够求取校正后的数字信号量 $R_n(x)$ ($x=1, \dots, M$)。这里,在M个X射线检测元件110中当然也包含相邻元件12。

[0166] 接着,在处理S532中,使用先前求出的校正后的第N能量范围中的数字信号量 $R_N(x)$ 和原始数据143之中的第(N-1)能量范围中的数字信号量 $P_{N-1}(x)$ 来算出校正后的第(N-1)能量范围中的数字信号量 $R_{N-1}(x)$ 。在处理S532中,也使用存储装置160中保存的参数(α, β, γ)141,通过进行式(11)的计算,来进行流入量去除处理、能量转移流入量补充处理、能量转移流出量补充处理。

[0167] 进一步地,在处理S533中,为了算出校正后的第(N-1)至第1能量范围的数字信号量 $R_i(x)$ (这里i是2以上(N-2)以下的整数),与处理S532同样地进行处理。即,在处理S533中,使用原始数据143之中的数字信号量 $P_i(x)$ 、先前求取的校正后的第(i+1)至第N能量范围的数字信号量 $R_{i+1}(x)$ 、 $R_{i+2}(x)$ 、 \dots 、 $R_N(x)$ 、和存储装置160中保存的参数(α, β, γ)141,来进行式(11)的计算,从而进行流入量去除处理、能量转移流入量补充处理、能量转移流出量补充处理。在这些处理S532和S533中,也与处理S531的情况相同,通过求解M个式(11)的联立方程式来得到校正后的数字信号量。

[0168] 最后,在处理S534中,算出校正后的第1能量范围中的数字信号量 $R_1(x)$ ($=R_L(x)$)。在处理S534中,使用先前求取的校正后的第2至第N能量范围的数字信号量 $R_2(x)$ 、 $R_3(x)$ 、 \dots 、 $R_N(x)$ 和存储装置160中保存的参数(α, β, γ)141,通过进行式(12)的计算来进行流入量去除处理、能量转移流入量补充处理。在本处理中也对全部的X射线检测元件110使用式(12)根据求取到的M个的联立方程式来求取校正后的数字信号量。

[0169] 如以上,针对全部的校正对象元件,在求取了校正后的第1至第N能量范围中的数字信号量 $R_1(x)$ 、 $R_3(x)$ 、 \dots 、 $R_N(x)$ 后,前进到LOG转换S502的处理。之后的处理与第一实施方式(图5的流程)中说明的相同。

[0170] 根据本实施方式,即使能量范围为2以上的多个情况下,也能够进行流入量去除处理、能量转移流入量去除处理、能量转移流出量补充处理,由此能够在各能量范围中准确地得到所入射的X射线光子数。通过这样来防止能量范围中的X射线光子数的计数错误,从而能够得到正确的投影像。进一步地,在对该投影像进行重构而得到的重构像中,能够防止CT

值的定量性的降低、伪影的产生。

[0171] 在本实施方式中,第一实施方式的变更例1、2能够同样地应用到本实施方式。即,可以仅进行计数校正中所包含的3个处理即流入量去除处理、能量转移流入量去除处理、能量转移流出量补充处理中的任意1个或2个处理,也可以使参数不为常数而是能自动或者手动地变更参数。

[0172] <<第三实施方式的变更例1>>

[0173] 针对第三实施方式,也与第二实施方式同样,相邻元件12的范围不仅是通道方向或切片方向的附近的元件,还能够如图11所示,扩展到多个元件。

[0174] 即,在本实施方式中,相邻元件12可以与对象元件11直接相接也可以不直接相接,可以相对于对象元件11位于任何位置。进一步地,也可以将对象元件11以外的X射线检测器104的全部X射线检测元件设为对象。

[0175] 若将第1个至第M个这M个X射线检测元件之中的一个X射线检测元件,即第x个(x是1以上M以下的整数)设为对象元件11,将自身以外的全部X射线检测元件设为相邻元件12,则来自多个相邻元件12的影响成为各个X射线检测元件的总和,所以上述的式(10)~(12)能够如式(1-1)~(1-3)这样来记述。此时,将第m(x以外的1以上M以下的整数)个参数 α_{i_j} (i和j是满足 $1 \leq i \leq j \leq N$ 的整数)记为 $\alpha_{i_j}(m, x)$ 。

[0176] 当n为2以上(N-1)以下时

$$[0177] \quad P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i_n}(x) R_i(x) - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (1-1)$$

[0178] 当n为N时

$$[0179] \quad P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n_i}(x) R_n(x) \quad (1-2)$$

[0180] 当n为1时

$$[0181] \quad P_n(x) = R_n(x) + \sum_{m=1, m \neq x}^M \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n}(m, x) R_i(m) + \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i_n}(x) R_i(x) \quad (1-3)$$

[0182] 这些式子是将第一实施方式中由计数校正部125进行的计算(式(7-1)、(7-2))扩展至多个能量范围以及多个相邻元件(一般化)而得到的。

[0183] <<第三实施方式的变更例2>>

[0184] 在第三实施方式中,说明了为了针对多个能量范围分别进行计数校正,而使用式(10)~(12)这样的M次的联立方程式的情况,但也可以不利用联立方程式,而通过各种近似来进行校正。

[0185] 作为一例,也可以根据检测到的相邻元件12的数字输出值 $P_i(m)$ ($i=1, \dots, n$)来近似算出。在该近似中,将向对象元件11的第n能量范围的流入量视为

$$[0186] \quad \text{流入量} \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n} R_i(m) \rightarrow \text{近似} \rightarrow \text{流入量} \sum_{i=n}^N \alpha_{i_n} P_i(m)。$$

[0187] 由此,式(10)~式(12)写成下式(13-1)~(13-3)这样。此时,通过从n较大的一方开始求解,就能够不按联立方程式,而使按各个能量范围的每个式子来决定。这样的近似特别是在能量范围的数目多时、高速进行处理时是有效的。

[0188] [数式13]

$$[0189] \quad \text{当n为N时 } R_n(x) = \frac{P_n(x) - \sum_{i=n}^N \alpha_{i-n} P_i(m)}{1 - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n-i}(x)} \quad (13-1)$$

$$[0190] \quad \text{当n为2以上 (N-1) 以下时 } R_n(x) = \frac{P_n(x) - \sum_{i=n}^N \alpha_{i-n} P_i(m) - \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i-n}(x) R_i(x)}{1 - \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{n-i}(x)} \quad (13-2)$$

$$[0191] \quad \text{当n为1时 } R_n(x) = P_n(x) - \sum_{i=n}^N \alpha_{i-n} P_i(m) - \sum_{i=n+1}^N \gamma_{i-n}(x) R_i(x) \quad (13-3)$$

[0192] 在这样求取对象元件11的校正后的数字输出值 $R_n(x)$ 时,不使用其他X射线检测元件110的校正后的数字输出值也是可以的,不作为联立方程式也是可以的。但是,此时, α_{i-j} (i 和 j 是 i 满足 $1 \leq i \leq j \leq N$ 的整数),基于相邻元件12的数字值 $P_i(m)$ ($i=1, \dots, n$)定义为流入至对象元件11的信号量,需要在实际测量前决定。

[0193] 以上,以X射线CT装置为例来说明了本发明的X射线摄影装置的实施方式,但本发明并不限于此,而是能够应用于搭载了将入射到检测元件的放射线按每个能量来区分从而进行光子数的计数的光子计数方式的放射线检测器的所有装置中。作为本发明所能够应用的装置的例子,列举无损伤检查用的X射线CT装置、X射线圆锥束CT装置、双能CT装置、X射线图像诊断装置、X射线图像摄影装置、X射线透视装置、乳腺X射线摄影、数字减影装置、核医学检查装置、放射线治疗装置等。此外,并不限于X射线检测器,在检测各种波长的光子的光检测器中也能够应用。此时,光可以是可见光、红外线、紫外线,伽马线等等任何的波长。

[0194] 进一步地,本发明不限定为上述实施方式,在实施的阶段中,在不脱离其主旨的范围内能够进行各种变形来实施。进一步地,在上述实施方式中包含各种阶段,通过公开的多个构成要素的适当组合,能得到各种实施方式。例如,也可以从实施方式所示的所有构成要素中删除几个构成要素。

[0195] 产业上的可利用性

[0196] 根据本发明,在搭载了按每个能量范围来区分入射到X射线检测元件的放射线从而进行计数的光子计数方式的放射线检测器的X射线摄影装置中,对各能量范围中的X射线光子数的计数错误进行校正,能够得到正确的投影像。进一步地,在搭载了该放射线检测器的CT装置中,能够抑制CT值的定量性降低、伪影产生。

[0197] 标号说明:

[0198] 100X射线源,101台架旋转部,102X射线准直仪,103卧台顶板,104X射线检测器,105中央处理装置,106显示装置,107控制部,108信号收集部,109输入装置,110X射线检测元件,111检测层,112、113电极,115读出电路,120校正部,121预处理部,122流入量算出部,123能量转移流入量算出部,124能量转移流出量算出部,125计数校正部,130图像重构部,140参数设定部,160存储装置,170摄影条件设定部。

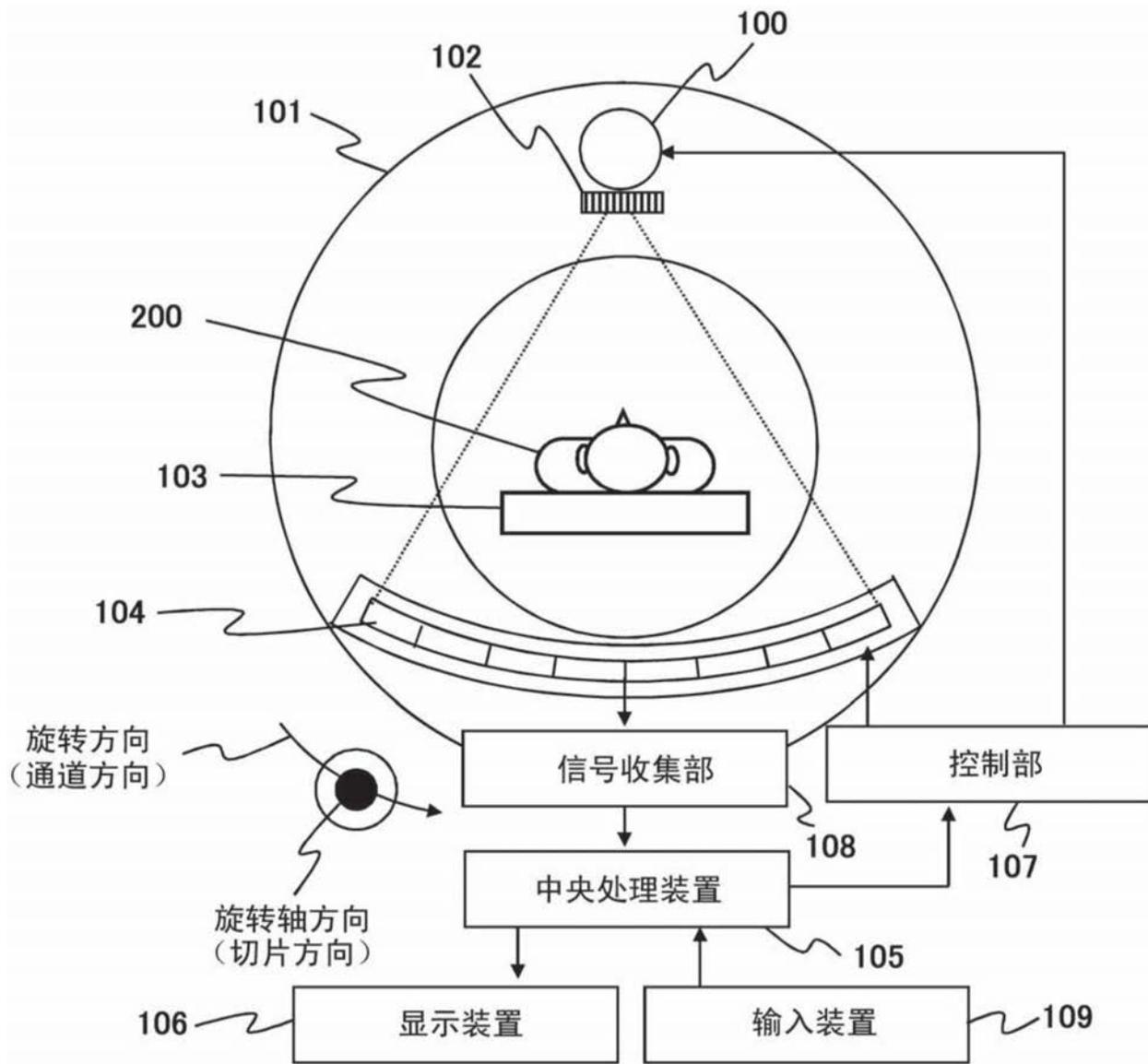


图1

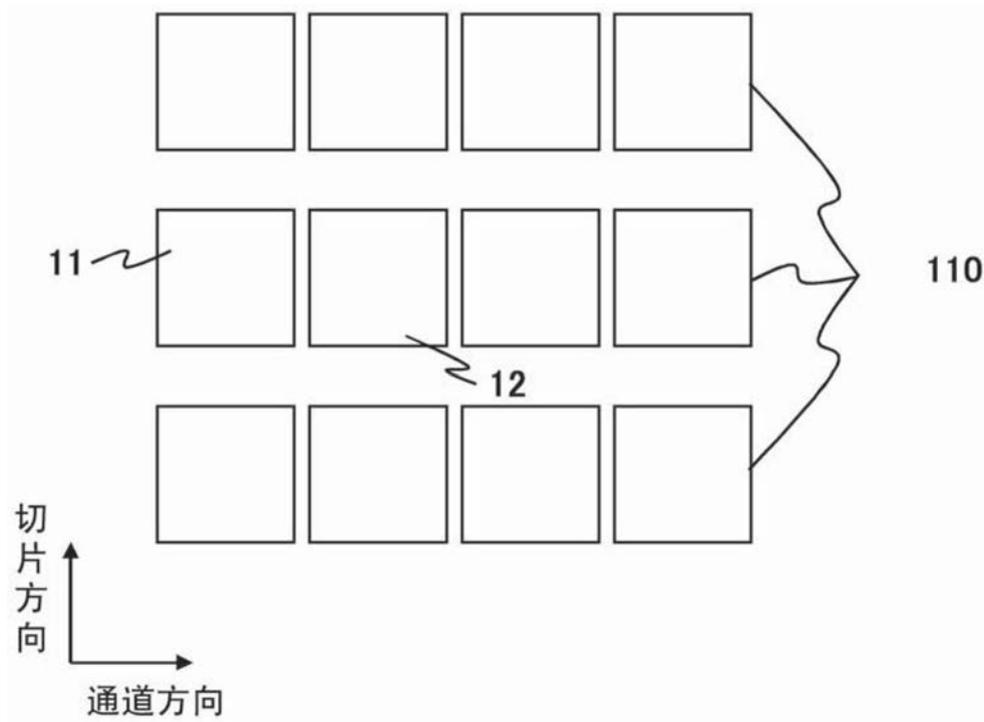


图2

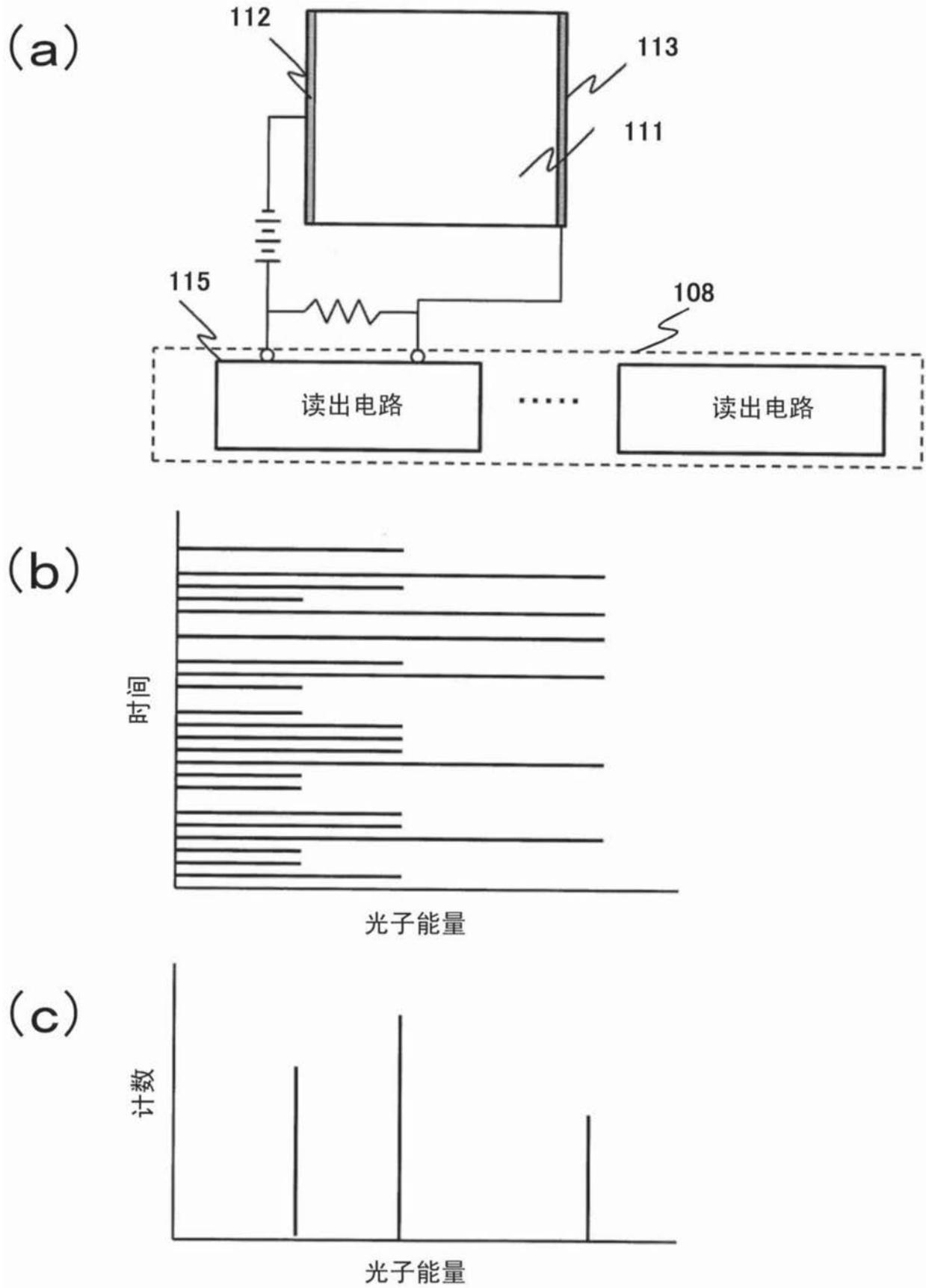


图3

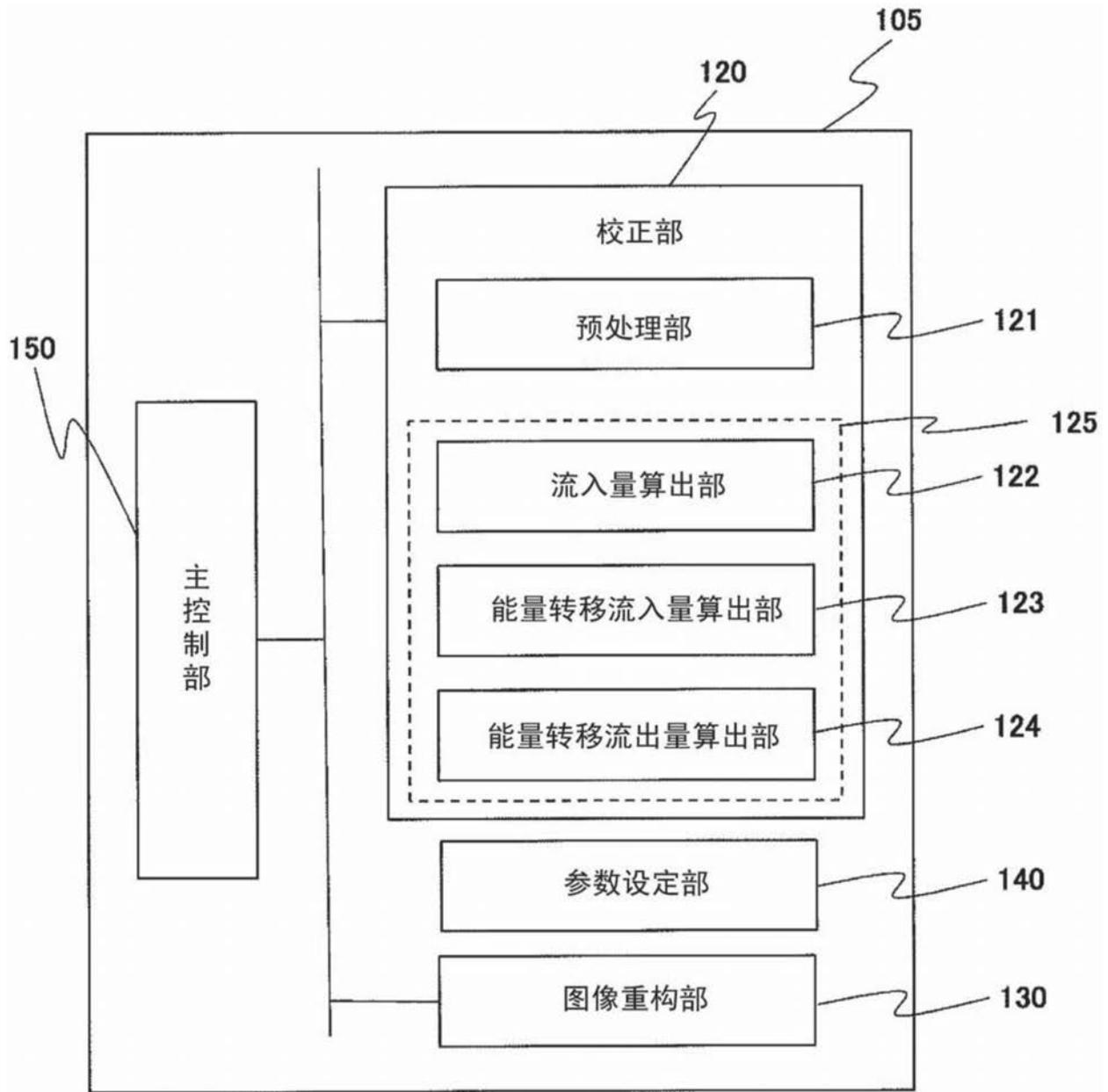


图4

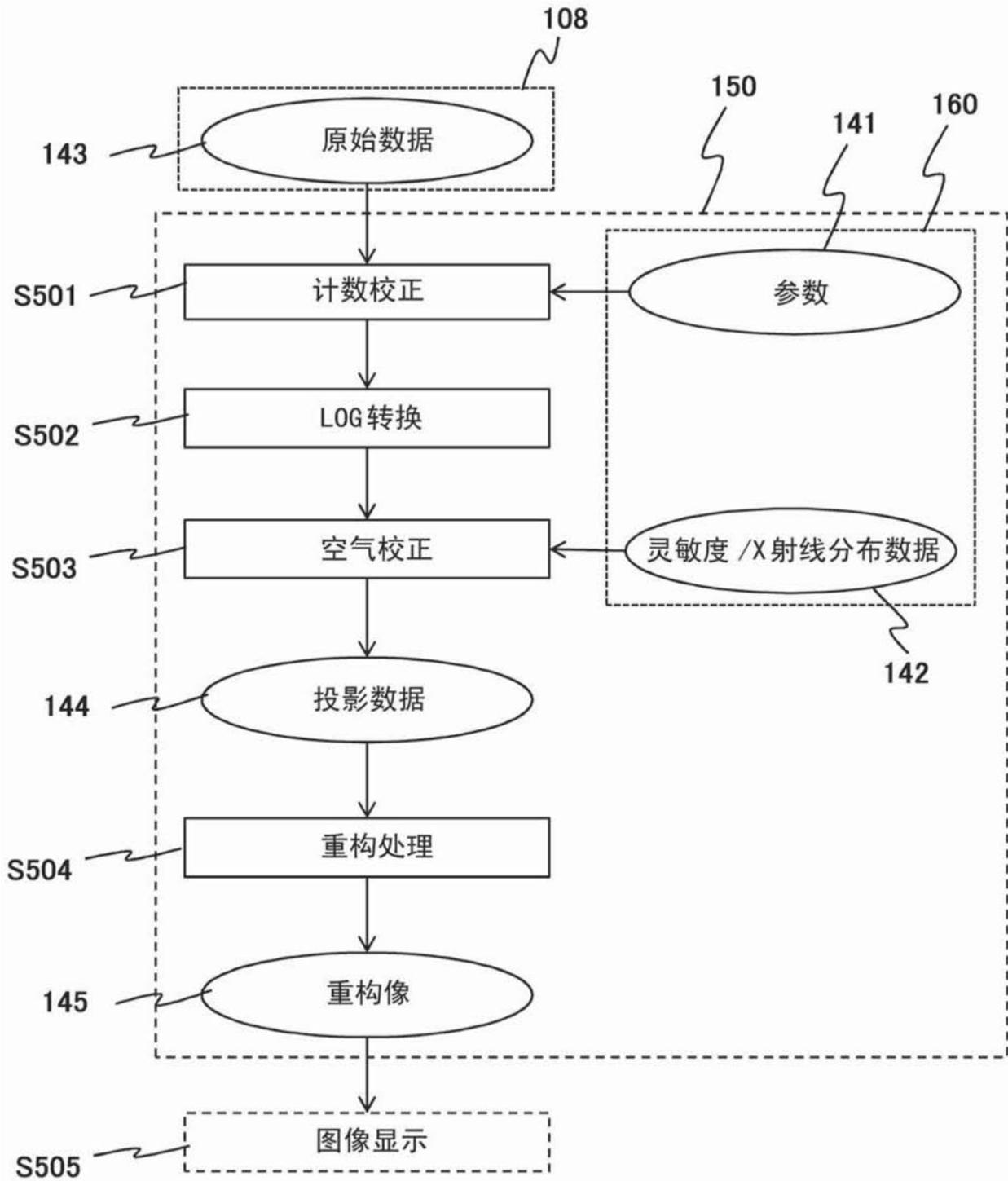


图5

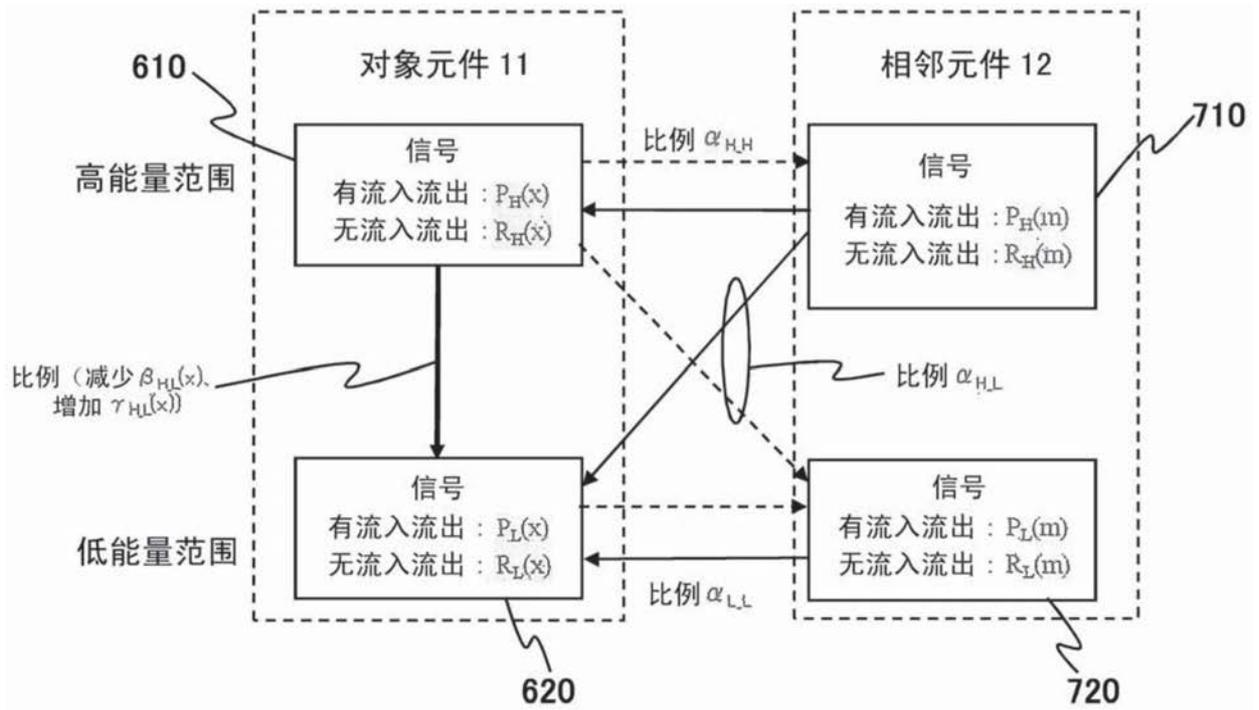


图6

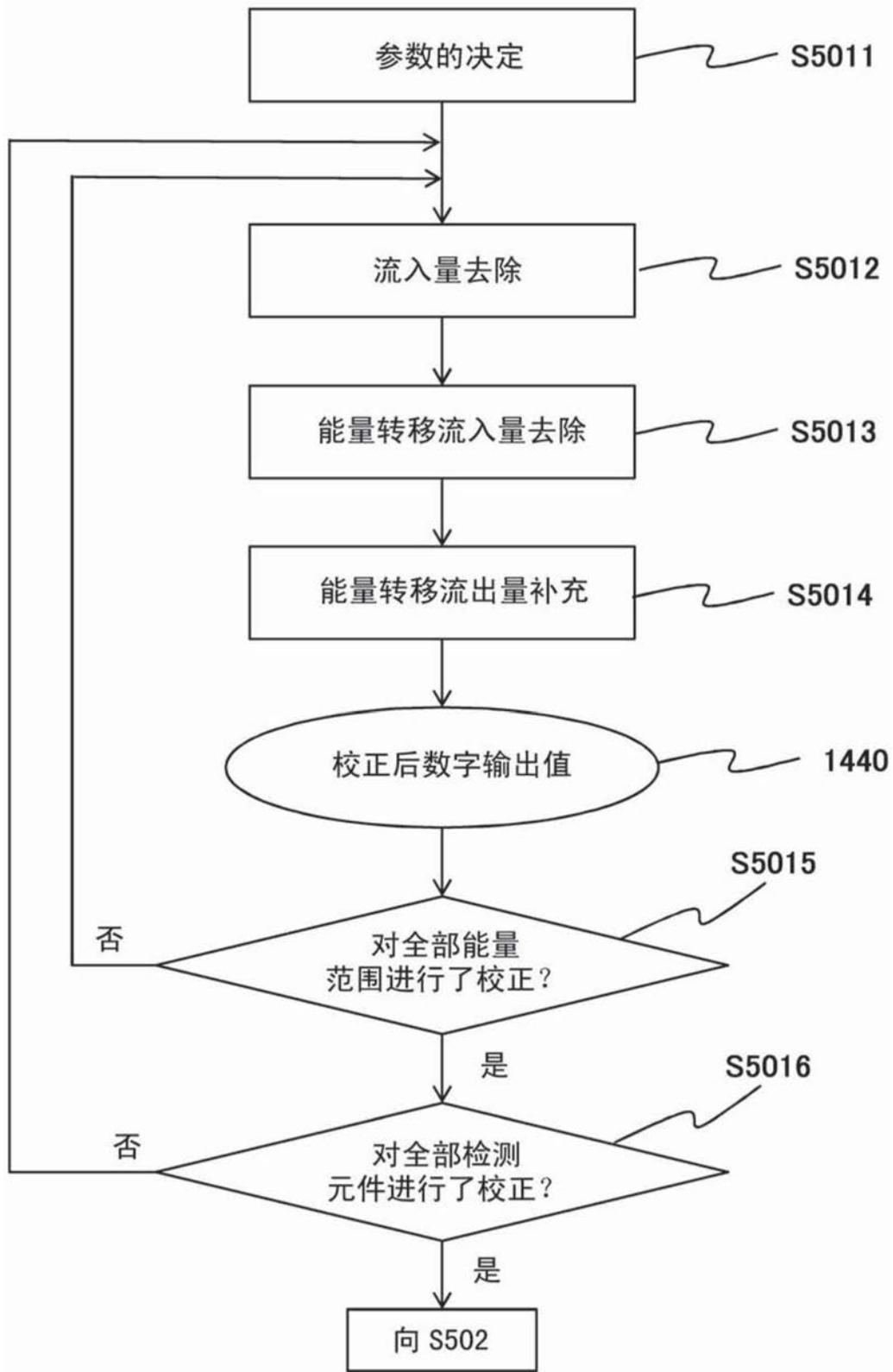


图7

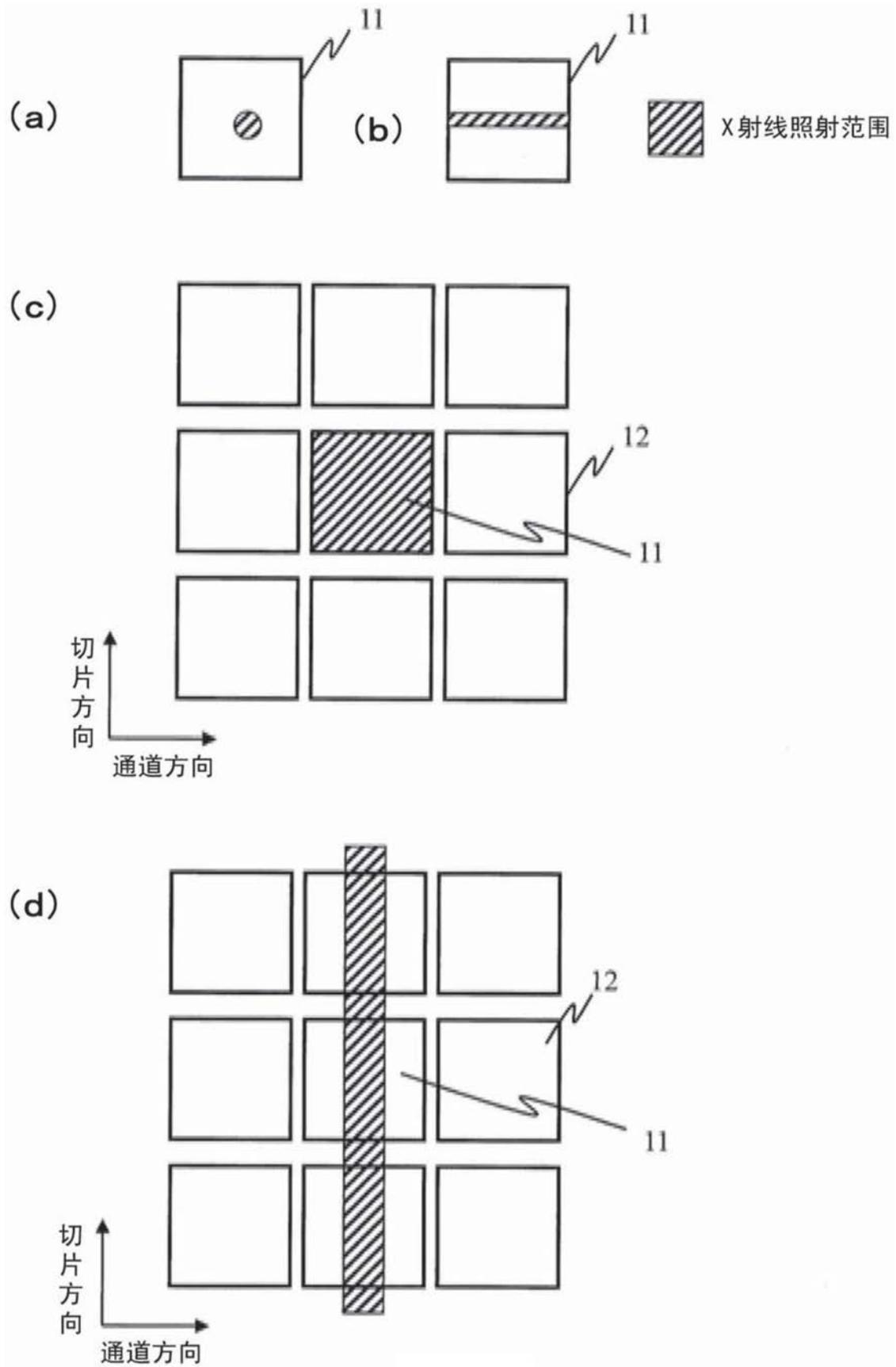


图8

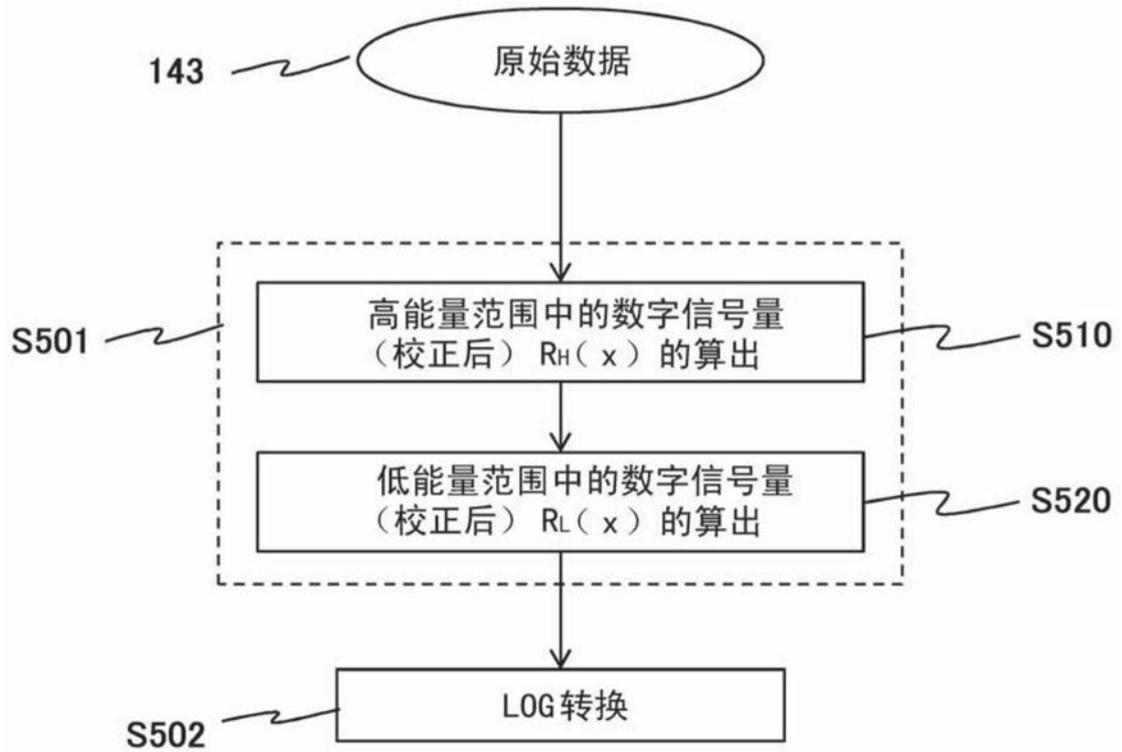


图9

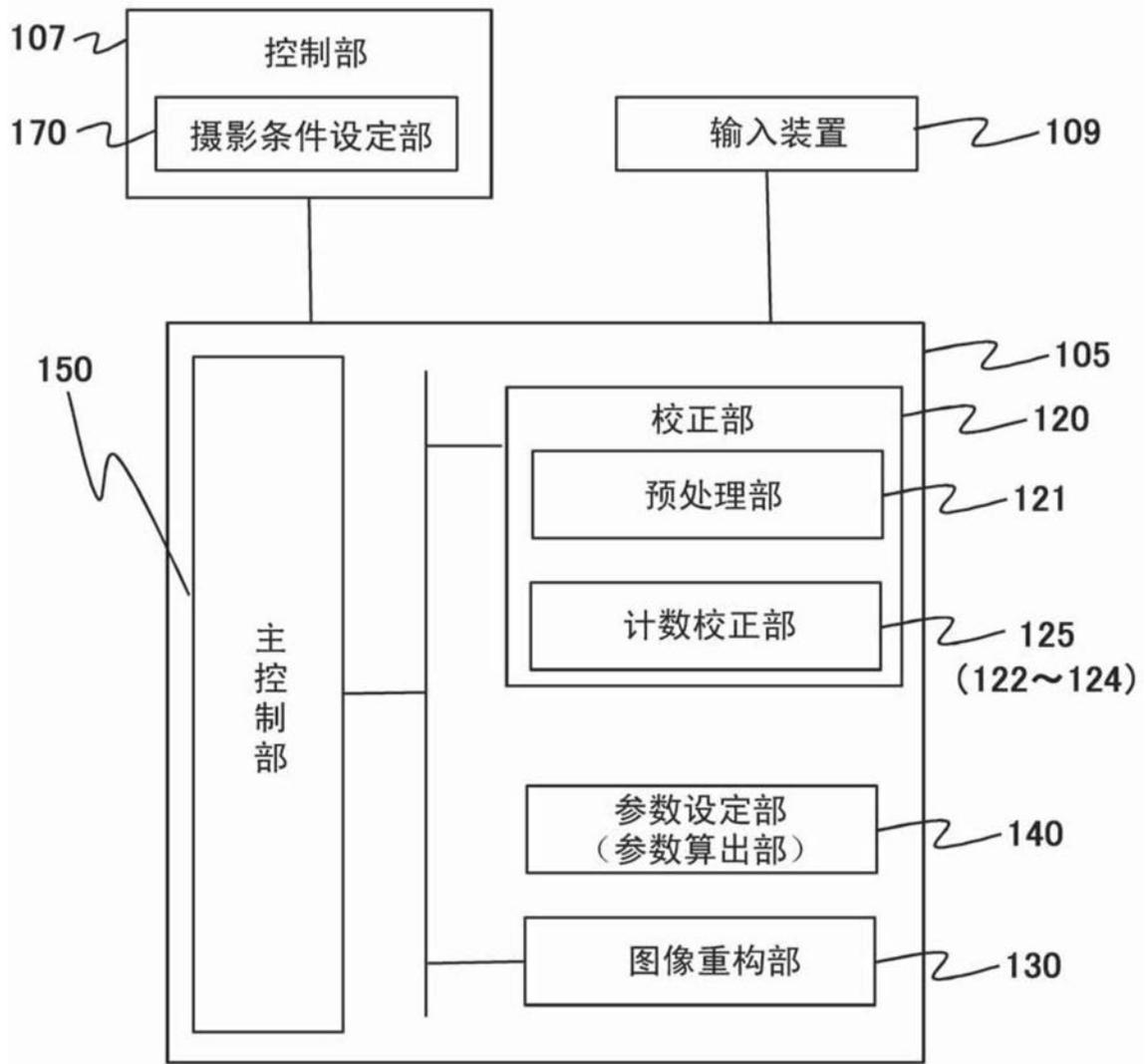


图10

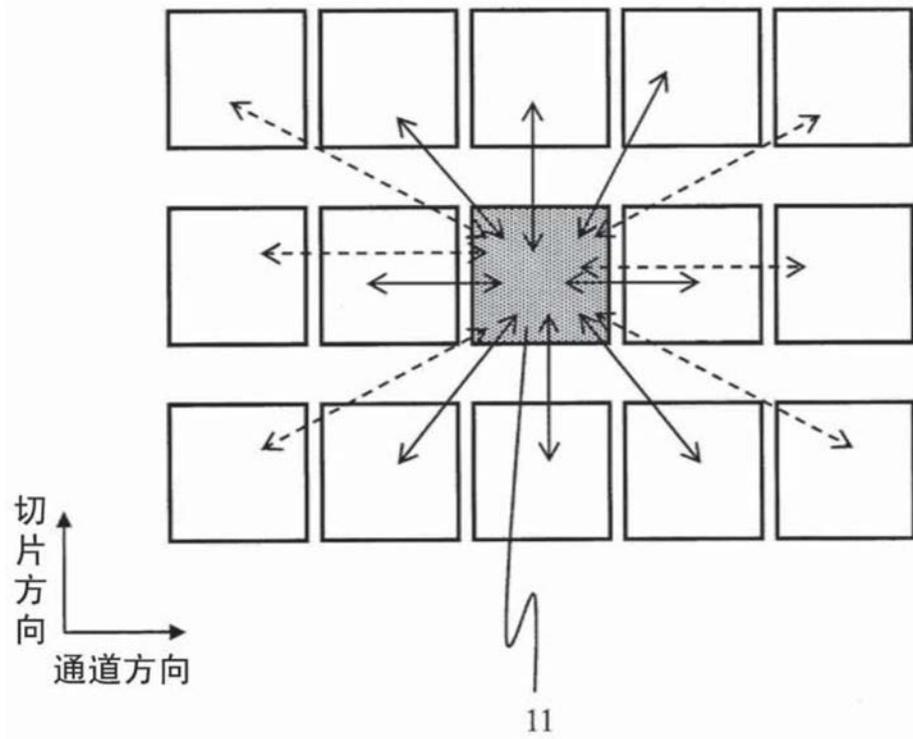


图11

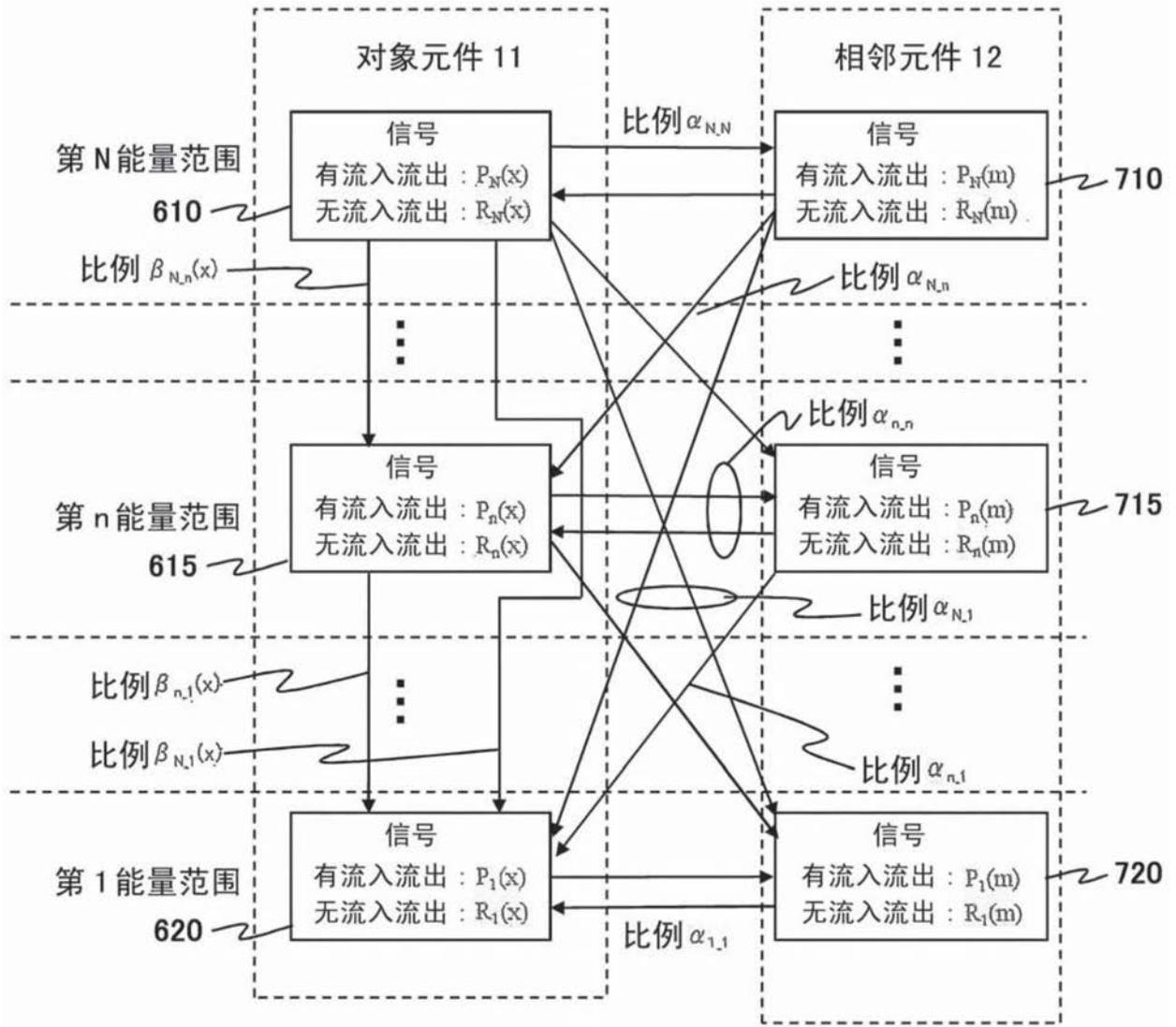


图12

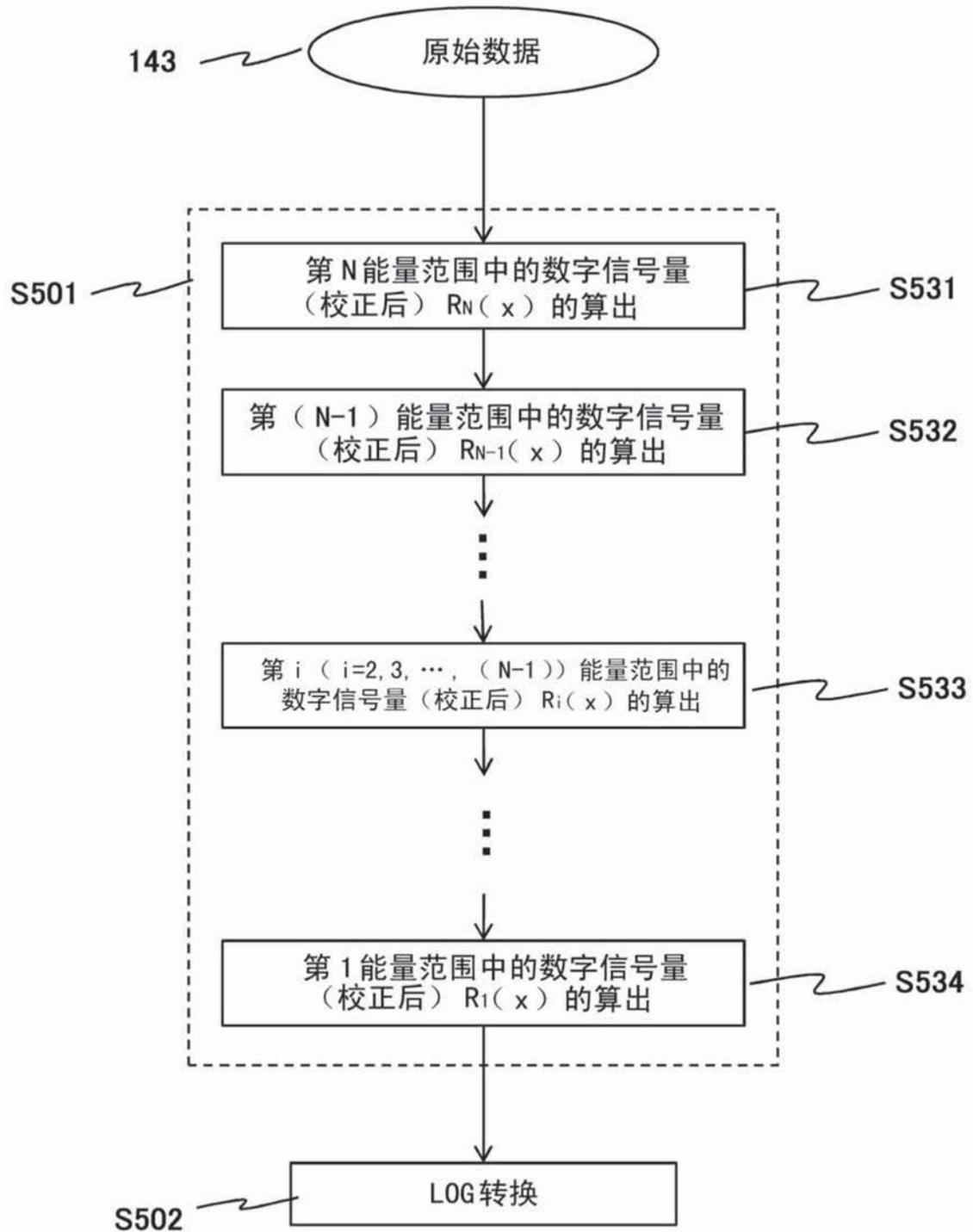


图13