



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104408756 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 11

(21) 申请号 201410603993. 1

(22) 申请日 2014. 10. 30

(71) 申请人 东软集团股份有限公司

地址 110179 辽宁省沈阳市浑南新区新秀街
2号

(72) 发明人 赵大哲 王军搏 韩冬 栗伟
耿欢

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

代理人 王宝筠

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006. 01)

A61B 6/03(2006. 01)

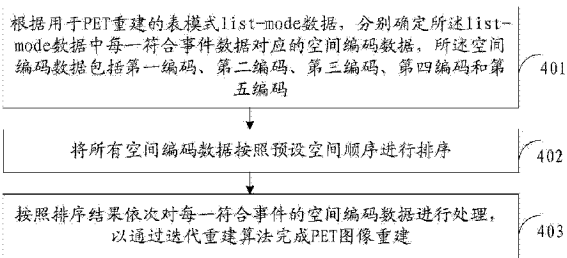
权利要求书5页 说明书21页 附图4页

(54) 发明名称

一种 PET 图像重建方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种 PET 图像重建方法,包括:根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;按照排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建。本发明还公开了一种 PET 图像重建装置。



1. 一种 PET 图像重建方法,其特征在于,包括:

根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;

将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;

按照排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建;

其中,

所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码,所述断层平面为探测器环的环状区域;

所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码,所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码,所述探测器环差为历经环数与 1 的差值,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码,所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述根据用于 PET 重建的 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据前,还包括:

若每个探测器环包含 M 个探测单元,则将符合事件在所述断层平面内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,并对每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 M 个方向编码;

当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 M-1 个投影区域进行编码,以得到 M-1 个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个投影区域进行编码,以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个区域编码;

若存在并排依次放置的 P 个探测器环,则在断层平面轴向方向上,将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码,以得到 Q 个环差编码, $Q \leq P$;

将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;

对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;

其中, M 、 $\frac{M}{2}$ 、 Q 、 P 、 N 、 Z 为自然数。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述将所有空间编码数据按照预设空间

顺序进行排序,包括:

将对应有相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组,并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序;

将所述第一数据组中对应有相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组,并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序;

将所述第二数据组中对应有相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序;

将所述第三数据组中对应有相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序;

将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述按照排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,包括:

按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果;

或,

按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号;

将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号;

将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号;

将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号;

将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号;

和/或,

按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对涉及的所有方向编码按照所述第一预设顺序进行编号;

按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对涉及的所有区域编码按照所述第二预设顺序进行编号;

按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及的所有环差编码按照所述第三预设顺序进行编号;

按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及的所有 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号;

按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及的所有轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号;

其中,所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间。

所述按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据,包括:

根据内存空间编号和 / 或对空间编码的编号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。

6. 一种 PET 图像重建装置,其特征在于,包括:

编码确定单元,用于根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;

事件排序单元,用于将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;

图像重建单元,用于按照所述事件排序单元的排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建;

其中,

所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码,所述断层平面为探测器环的环状区域;

所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码,所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码,所述探测器环差为历经环数与 1 的差值,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码,所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

7. 根据权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:

方向编码单元,用于在所述编码确定单元根据用于 PET 重建的 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据前,若每个探测器环包含 M 个探测单元,则将符合事件在所述断层平面内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,并对

每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 M 个方向编码;区域编码单元,用于当投影方向被划

分为 $\frac{M}{2}$ 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 M-1 个投影区域进行编码,以得到 M-1

个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个投影区域进行编码,以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个区域编码;

环差编码单元,用于若存在并排依次放置的 P 个探测器环,则在断层平面轴向方向上,将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码,以得到 Q 个环差编码, $Q \leq P$;

时间编码单元,用于将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;

轴向编码单元,用于对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;

其中, M 、 $\frac{M}{2}$ 、 Q 、 P 、 N 、 Z 为自然数。

8. 根据权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述事件排序单元,包括:

第一排序子单元,用于将对应具有相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组,并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序;

第二排序子单元,用于将所述第一数据组中对应具有相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组,并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序;

第三排序子单元,用于将所述第二数据组中对应具有相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序;

第四排序子单元,用于将所述第三数据组中对应具有相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序;

第五排序子单元,用于将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。

9. 根据权利要求 8 所述的装置,其特征在于,

所述图像重建单元,包括:

事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

第一迭代计算子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;

迭代结果赋值子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果;

或,所述图像重建单元,包括:

事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

第二迭代计算子单元,用于对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

10. 根据权利要求 9 所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:

第一空间编号单元,用于将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,

并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号；

第二空间编号单元,用于将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号；

第三空间编号单元,用于将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号；

第四空间编号单元,用于将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号；

第五空间编号单元,用于将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号；

和 / 或,

第一编码编号单元,用于按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对涉及的各个方向编码按照所述第一预设顺序进行编号；

第二编码编号单元,用于按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对涉及的各个区域编码按照所述第二预设顺序进行编号；

第三编码编号单元,用于按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及的各个环差编码按照所述第三预设顺序进行编号；

第四编码编号单元,用于按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及的各个 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号；

第五编码编号单元,用于按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及的各个轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号；

其中,所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间；

所述事件数据获取子单元,具体用于根据内存空间编号和 / 或对空间编码的编号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。

一种 PET 图像重建方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理技术领域,尤其涉及一种 PET 图像重建方法及装置。

背景技术

[0002] 当前,正电子发射断层成像 (Positron Emission Computed Tomography, 简称 PET) 技术已经大量应用于肿瘤早期检测、药物筛选等重要的生物医学研究领域,和传统的医学成像模态相比具有明显的优势。PET 技术是通过向人体内注入具有靶向性的放射性示踪剂,并在体外进行湮灭光子信号探测, PET 可以重建出示踪剂的空间分布,从而间接获取人体的生理代谢信息。而基于不同的数据形式和重建方法往往会使 PET 影像重建效果展现出较明显的差异,通常,用于 PET 重建的数据存储格式分为以投影数据为单位的正弦图 (Sinogram) 数据和以符合事件为单位的表模式 (list - mode) 数据。

[0003] 由于正弦图数据存储的是投影数据,其数据量会随着 PET 探测器的数量增加而增加,当结合飞行时间 (Time of Flight, 简称 TOF) 信息时,正弦图数据量还会提高数十倍,重建时间也会随之增加。为解决这一问题,常用的方法是使用断层平面内的投影角度合并、轴向环差合并等降低数据采样的方式来减少正弦图数据对存储空间的需求以及提高迭代算法的重建速度。然而,这些方法会导致重建图像在断层平面内切向空间分辨率或轴向空间分辨率不同程度的下降。而针对 TOF - PET 重建则还要将符合事件时间差划分为若干较大间距的时间间隔 (time - bin) 来对时间信息进行降采样处理,限制了 TOF 重建对成像信噪比的提高能力。

[0004] 相比于正弦图的数据格式,List - mode 格式的数据则能够很好的解决上述问题。List - mode 数据格式,是按照 PET 系统探测到符合事件的时间顺序,将湮灭光子的时间、能量、位置等信息依次存储的数据形式,其数据量的大小只和符合事件计数的多少相关,并不会随着探测器单元数量的增加而增加。同时, list - mode 数据可以自然的与 TOF 重建方法结合,可以进行更精细的 time - bin 划分,从而保留了原始数据的所有信息,使进一步提高数据采集速度、降低药物剂量,提高 PET 成像质量成为可能。

[0005] 然而,基于 list - mode 数据的重建方法也面临着重建速度慢、重建时间随着符合事件计数的增加而明显增加这些问题。List - mode 数据的传统迭代重建方法,是使用正弦图投影数据的最大似然期望最大化 (Maximum Like lihoodExpectation Maximization, 简称 MLEM) 重建算法扩展应用到单个符合事件的 PET 重建中,但是这种方法的重建速度非常缓慢,无法直接在临床上应用。目前, list - mode 数据的快速迭代重建多借鉴基于正弦图投影数据的有序子集期望最大化方法 (Ordered Subsets Expectation Maximization, 简称 OSEM), 通过将 list - mode 数据按照采集的时间顺序进行划分,从而实现基于时间子集的 OSEM 快速迭代重建。由于在 TOF 重建时,每条投影线可以只有少部分作用在图像空间上,而不像非 TOF 重建需要将整条投影线作用到图像空间,在 TOF 重建中使用投影角度合并、轴向环差合并等降采样方法降低数据存储空间和提高重建速度时,可以减小相应方向上的空间分辨率损失,因此,现有技术将这类方法应用到 list - mode 数据的 TOF 重建中,并且将

同一空间位置的符合事件进行了合并,使重建时间不会受到符合事件计数增加的影响。此外,现有的采用与正弦图数据重建相似的数据排列方法,即将 list - mode 数据按照投影方向进行划分,并采用 OSEM 算法进行重建,这种方法在一定程度上使 list - mode 数据在空间上实现了顺序分组,理论上可以实现比使用时间顺序子集的 OSEM 方法更快的重建速度。除了在重建算法上的优化和改进,现有技术还在基于图像处理单元 (Graphic Processing Unit, 简称 GPU) 的硬件加速重建方法方面也进行了深入的研究,在加速重建方面起到了较好的效果。

[0006] 前面介绍的以算法优化为基础的快速重建方法能够在图像重建中起到一定的加速作用,但这些方法在重建速度上仍存在较明显的不足。

发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明实施例的主要目的在于提供一种 PET 图像重建方法及装置,以实现提高图像重建速度的目的。

[0008] 为实现上述目的,本发明实施例提供了一种 PET 图像重建方法,包括:

[0009] 根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;

[0010] 将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;

[0011] 按照排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建;

[0012] 其中,

[0013] 所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码,所述断层平面为探测器环的环状区域;

[0014] 所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码,所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

[0015] 所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码,所述探测器环差为历经环数与 1 的差值,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

[0016] 所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码,所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

[0017] 所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

[0018] 优选地,在所述根据用于 PET 重建的 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据前,还包括:

[0019] 若每个探测器环包含 M 个探测单元,则将符合事件在所述断层平面内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,并对每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 M 个方向编码;

[0020] 当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 M-1 个投影区域进行编码,以得到 M-1 个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个投影区域进行编码,以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个区域编码;

[0021] 若存在并排依次放置的 P 个探测器环,则在断层平面轴向方向上,将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码,以得到 Q 个环差编码, $Q \leq P$;

[0022] 将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;

[0023] 对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;

[0024] 其中, M、 $\frac{M}{2}$ 、Q、P、N、Z 为自然数。

[0025] 优选地,所述将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序,包括:

[0026] 将对应有相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组,并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序;

[0027] 将所述第一数据组中对应有相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组,并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序;

[0028] 将所述第二数据组中对应有相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序;

[0029] 将所述第三数据组中对应有相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序;

[0030] 将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。优选地,所述按照排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,包括:

[0031] 按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果;

[0032] 或,按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

[0033] 优选地,所述方法还包括:

[0034] 将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号;

[0035] 将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号;

[0036] 将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号;

[0037] 将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号;

[0038] 将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号;

[0039] 和/或,

[0040] 按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对涉及的方向编码按照所述第一预设顺序进行编号;

[0041] 按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对涉及的区域编码按照所述第二预设顺序进行编号;

[0042] 按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及的环差编码按照所述第三预设顺序进行编号;

[0043] 按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及的各个 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号;

[0044] 按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及的各个轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号;

[0045] 其中,所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间。

[0046] 所述按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据,包括:

[0047] 根据内存空间编号和/或对空间编码的编号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。

[0048] 本发明实施例还提供了一种 PET 图像重建装置,包括:

[0049] 编码确定单元,用于根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;

[0050] 事件排序单元,用于将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;

[0051] 图像重建单元,用于按照所述事件排序单元的排序结果依次对每一空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建;

[0052] 其中,

[0053] 所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码,所述断层平面为探测器环的环状区域;

[0054] 所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码,所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

[0055] 所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码,所述探测器环差为历经环数与 1 的差值,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

[0056] 所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码,所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

[0057] 所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

[0058] 优选地,所述装置还包括:

[0059] 方向编码单元,用于在所述编码确定单元根据用于 PET 重建的 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据前,若每个探测器环包含 M 个探测单元,则将符合事件在所述断层平面内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,

并对每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 M 个方向编码;区域编码单元,用于当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 M-1 个投影区域进行编码,以得到

M-1 个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个投影区域进行编码,以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个区域编码;

[0060] 环差编码单元,用于若存在并排依次放置的 P 个探测器环,则在断层平面 轴向方向上,将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码,以得到 Q 个环差编码, $Q \leq P$;

[0061] 时间编码单元,用于将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;

[0062] 轴向编码单元,用于对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;

[0063] 其中, M 、 $\frac{M}{2}$ 、 Q 、 P 、 N 、 Z 为自然数。

[0064] 优选地,所述事件排序单元,包括:

[0065] 第一排序子单元,用于将对应相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组,并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序;

[0066] 第二排序子单元,用于将所述第一数据组中对应相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组,并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序;

[0067] 第三排序子单元,用于将所述第二数据组中对应相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序;

[0068] 第四排序子单元,用于将所述第三数据组中对应相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序;

[0069] 第五排序子单元,用于将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。

[0070] 优选地,所述图像重建单元,包括:

[0071] 事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

[0072] 第一迭代计算子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空

间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;

[0073] 迭代结果赋值子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果;

[0074] 或,所述图像重建单元,包括:

[0075] 事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

[0076] 第二迭代计算子单元,用于对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

[0077] 优选地,所述装置还包括:

[0078] 第一空间编号单元,用于将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号;

[0079] 第二空间编号单元,用于将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号;

[0080] 第三空间编号单元,用于将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号;

[0081] 第四空间编号单元,用于将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号;

[0082] 第五空间编号单元,用于将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号;

[0083] 和/或,

[0084] 第一编码编号单元,用于按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对涉及的方向编码按照所述第一预设顺序进行编号;

[0085] 第二编码编号单元,用于按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对涉及的区域编码按照所述第二预设顺序进行编号;

[0086] 第三编码编号单元,用于按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及环差编码按照所述第三预设顺序进行编号;

[0087] 第四编码编号单元,用于按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及各个 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号;

[0088] 第五编码编号单元,用于按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及各个轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号;

[0089] 其中,所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间;

[0090] 所述事件数据获取子单元,具体用于根据内存空间编号和/或对空间编码的编

号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。

[0091] 本发明实施例提供的 PET 图像重建方法及装置,通过确定 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,并将所有符合事件的空间编码数据进行排序,保证了 list - mode 数据的空间完全有序性,利用完全空间有序 list - mode 空间编码数据,可以直接对符合事件数据进行空间定位,从而只需对非零数据进行计算,不但节省了计算资源,还加快了重建速度。

[0092] 此外,本方案可以根据所述空间编码数据判断当前符合事件空间位置与上一符合事件空间位置是否相同,若相同则直接将上一计算结果赋值给当前符合事件,从而大幅度削减了重复计算相同位置符合事件的计算量,避免了对相同数据的重复计算,使得在不使用任何数据降采样等近似方法时,就能实现基于 list - mode 数据的快速且准确的图像重建,即使符合事件数成倍增加,也只会增加少量的重建时间。

附图说明

[0093] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0094] 图 1 为本发明实施例 List - mode 数据空间编码示意图;

[0095] 图 2 为本发明实施例投影方向及投影区域第一示意图;

[0096] 图 3 为本发明实施例投影方向及投影区域第二示意图;

[0097] 图 4 为本发明实施例 PET 图像重建方法的流程示意图;

[0098] 图 5 为本发明实施例数据组划分树状图;

[0099] 图 6 为本发明实施例迭代重建算法的实现流程图;

[0100] 图 7 为本发明实施例 PET 图像重建装置的结构示意图。

具体实施方式

[0101] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0102] 在保证 PET 图像质量不受影响的前提下,本发明实施例提出了一种基于完全空间有序 list - mode 数据的 PET 图像重建方法,实现快速的三维迭代重建,该方法从提高重建速度的非顺序数据访问和非重复计算两个主要因素为出发点,通过对 list - mode 数据进行顺序空间编码以实现非顺序数据访问和非重复计算、并结合譬如 OSEM 等迭代重建方法,在不使用任何数据欠采样处理以保证计算精度的同时,实现基于 list - mode 数据的快速图像重建。

[0103] 下面就本发明实施例进行具体介绍。

[0104] 为了获得空间有序 list - mode 数据,需要将 list - mode 数据的空间信息和时间信息完全转换为空间编码数据,即通过计算 list - mode 数据中符合事件的空间信息

和时间差信息获得可以表示符合事件数据完整信息的一组索引编码。这一过程是指,分别确定每一符合事件的空间编码,即对于某一符合事件,根据 list - mode 数据中接收湮灭光子的探测器位置信息和探测器接收两个湮灭光子的时间差信息,计算出这个符合事件所属的投影方向、符合事件在该方向下的投影区域位置、符合事件所属环差、符合事件所属时间区间 (time - bin) 位置及符合事件在所属 time - bin 位置中的轴向位置所分别对应的五个索引编码 参数。

[0105] 为了获取每一符合事件的空间编码信息 (即上述五个索引编码参数),在这之前,需要预定义各种编码情况,参见图 1 所示的 List - mode 数据空间编码示意图,下面按照以下顺序依次定义五类索引编码:

[0106] 1、方向编码

[0107] 在本发明实施例中,若每个探测器环包含 M 个探测单元,则将符合事件在断层平面 (探测器环内部区域) 内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,并对每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 或 M 种个方向编码;其中, $\frac{M}{2}$ 、 M 为自然数。

[0108] 具体地,参见图 1(a),外部的环形区域用来表示 PET 探测器环,探测器环内的两条射线之间的区域代表一条投影区域 (譬如阴影区域)。如果每个 PET 探测器环含有 M 个探测单元,那么用 ϕ (其中, $\phi \in \mathbb{N}$) 表示投影角度,由于每一符合事件中成对的湮灭光子是反向运动的,所以以 0 到 180 度为投影角度范围,这里可以取任意位置为 0 度投影角度。由于每一投影角度便对应一个投影方向,可以将投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种, M 通常为偶数,当投影方向总数为 $\frac{M}{2}$ 个,按照投影方向可设置 $\phi = 0, 1, 2, \dots, \frac{M}{2} - 1$ 这 $\frac{M}{2}$ 个方向编码,当投影方向总数为 M 个,按照投影方向可设置 $\phi = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ 这 M 个方向编码。需要说明的是,图 1(a) 只是示意性的,并没有将所有投影方向及某投影方向下的所有投影区域展出。

[0109] 2、区域编码

[0110] 在本发明实施例中,当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $M - 1$ 个投影区域进行编码,以得到 $M - 1$ 个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2} - 1$ 个投影区域进行编码,以得到 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2} - 1$ 个区域编码;其中, M 为自然数。

[0111] 具体地,参见图 1(b),在断层平面内,存在一组相同投影方向下的投影区域,用 Bin ($Bin \in \mathbb{N}$) 表示某一投影方向下的某一投影区域的区域编码,当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时,可得同一投影方向下的 $Bin = 0, 1, 2, \dots, M - 2$ 这 $M - 1$ 个区域编码,当投影方向被划分为 M 种时,可得同一投影方向下的 $Bin = 0, 1, 2, \dots, \frac{M}{2} - 1$ 这 $\frac{M}{2}$ 个或 $Bin = 0, 1, 2, \dots, \frac{M}{2} - 2$ 这 $\frac{M}{2} - 1$ 个

区域编码,。需要说明的是,图 1(b) 只是示意性的,并没有将某投影方向下的所有投影区域展出。

[0112] 为了更方便的说明上述方向编码和区域编码的划分方式,下面举例说明:

[0113] 参见图 2 所示的投影方向及投影区域第一示意图和图 3 所示的投影方向及投影区域第二示意图,这里假设探测器环的探测单元个数 $M = 8$,每个探测单元按照 0、1……7 的顺序进行编号,箭头方向代表投影方向,虚线之间的区域、以及虚线与探测单元之间的区域代表投影区域。

[0114] 图 2 中,比如对于探测单元 0,认为探测单元 0 到探测单元 2、和探测单元 0 到探测单元 3 之间的投影方向相同,此处取探测单元 0 到探测单元 3 之间的投影方向,按照此种方式,使每种投影方向下的每两个探测单元之间的区域作为一个投影区域,在这种投影方向划分方式下,共存在 $\frac{M}{2}=4$ 种投影方向,每种投影方向下存在 $M-1$ 种投影区域,比如图 2 中的第一个图,该投影方向下的 $M-1$ 个投影区域分别为 12 区域、03 区域、74 区域、65 区域、13 区域、04 区域和 75 区域。

[0115] 图 3 中,比如对于探测单元 0,认为探测单元 0 到探测单元 2、和探测单元 0 到探测单元 3 之间的投影方向是两种投影方向,按照此种方式,在一些投影方向下使每两个探测单元之间的区域作为一个投影区域,在一些投影方向下存在三个探测单元之间的区域作为一个投影区域,在这种投影方向划分方式下,对于相邻的两种投影方向,其分别对应的投影区域个数分别为 $\frac{M}{2}=4$ 和 $\frac{M}{2}-1=3$ 种。

[0116] 3、环差编码

[0117] 在本发明实施例中,若存在并排依次放置的 P 个探测器环,则在断层平面轴向方向上,将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码,以得到 Q 个环差编码;其中, $Q \leq P$, $Q、P$ 为自然数。

[0118] 具体地,所述探测器环差 RD 为历经环数与 1 的差值,其中,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的投影区域历经的探测器环数量,具体地,所述探测器环差可通过计算探测到符合事件的两个探测单元所在探测器环编码的差值得到。为方便理解,参见图 1(c),对于包含 P 个探测器环的 PET 探测器(图中 $P = 8$,分别对应探测器环 0、1……7),各环差编码分别定义为 $\text{RingDiff} = 0, 1, 2, \dots, P-1$ ($\text{RingDiff} \in \mathbb{N}$),分别对应于探测器环差 RD 为 0、1、2…… $P-1$ 的情形。例如,若某个符合事件的投影区域在轴向方向上看位于探测器环 0 的 00 区域(实线条形区域),则该投影区域历经的探测器环数量为 1,因此其探测器环差为 0,从而该符合事件对应的环差编码 $\text{RingDiff} = 0$,同样的,投影区域位于探测器环的 11 区域、22 区域……77 区域的符合事件,其对应的探测器环差也为 0,进而对应的环差编码 RingDiff 也为 0;又例如,若某符合事件的投影区域在轴向方向上看位于探测器环的 07 区域(虚线区域),则该投影区域历经的探测器环数量为 8,因此其探测器环差为 $8 - 1 = 7$,从而该符合事件对应的环差编码 $\text{RingDiff} = 7$ 。

[0119] 需要说明的是,在实际使用中,可以从这 P 种探测器环差中选取 Q 种,并对其进行编码,即可以不对所有种类的探测器环差进行编码,只选取部分种类的探测器环差进行编码即可。

[0120] 4、time - bin 编码

[0121] 在本发明实施例中,将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;其中, N 为自然数。

[0122] 具体地,对于每一符合事件, PET 系统会记录两个湮灭光子沿相反方向到达两个探测器单元的时间差,参见图 1(d),按照 PET 系统记录所述时间差的最小时间间隔 t ,可以将断层平面轴向区域(图中探测器环间的区域)划分为若干个以 t 为间隔的时间区间(time - bin),这样便可得到在某一投影方向投影区域上以 t 为间隔的 N 个时间区间(time - bin)。若划分的 time - bin 数量 $N = n+1$,则若用 Timebin($\text{Timebin} \in N$) 表示符合事件的 time - bin 编码,则 $\text{Timebin} = 0, 1, 2, \dots, n$ 。通过利用 list - mode 数据中记录的湮灭光子到达探测器的时间差就可以计算出这一湮灭事件(符合事件)发生时所属的 time - bin 位置。

[0123] 需要说明的是,上述 N 个时间区间(time - bin)是按照最小时间间隔 t 来划分的,而实际上可以选用比最小时间间隔 t 更大的间隔进行 time - bin 的划分,这样起到一定的加速计算的作用,但重建图像质量可能会有很轻微的下降。

[0124] 5、轴向编码

[0125] 在本发明实施例中,对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;其中, Z 为自然数。

[0126] 具体地,在完成 Timebin 空间编码之后,想要确定符合事件的唯一位置,还需要计算出符合事件在一组沿着轴向平行的投影区域中所处的位置。参见图 1(d),对于包含 P 个探测器环的 PET 探测器,当探测器环差 RD 为 0 时,存在 $Z = P$ 种相互平行的投影区域(即图 1(c) 中的 8 个实线条形区域),当探测器环差 RD 为 1 时,存在 $Z = P - 1$ 种相互平行的投影区域,……,当探测器环差 RD 为 $P - 1$ 时,存在 $Z = 1$ 种投影区域。图 1(d) 中是 $P = 8$ 、探测器环差 $RD = 2$ 的情形,其存在 $Z = 8 - 2 = 6$ 种相互平行的投影区域。用 Z_Paral ($Z_Paral \in N$) 表示相同探测器环差 RD 下的 $Z = P - RD$ 种相互平行的投影区域进行轴向空间编码,这样对于任意一组平行投影区域的轴向编码范围为 $Z_Paral = 0, 1, 2, \dots, P - RD$ 。

[0127] 这样,通过使用这五个空间索引编码便可将 list - mode 数据的空间信息和时间信息完全的表示出来。

[0128] 参见图 4,为本发明实施例提供的 PET 图像重建方法的流程示意图,该方法包括以下步骤:

[0129] 步骤 401:根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据,分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码。

[0130] 其中,

[0131] 所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码,所述断层平面为探测器环的环状区域;

[0132] 所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码,所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

[0133] 所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码,所述探测器

环差为历经环数与 1 的差值,所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

[0134] 所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码,所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

[0135] 所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

[0136] 在步骤 401 之前,已经介绍了五个索引编码参数的定义方式,在此基础上,根据 PET 系统记录的每个符合事件的空间和时间信息,可分别计算出每个符合事件对应的包含这五种索引编码参数的空间编码信息。

[0137] 在步骤 401 中,具体按照下述方式确定每一符合事件数据对应的空间编码,下面结合图 1 及相关实例进行具体说明:

[0138] 1、根据所述 list - mode 数据中符合事件的空间信息,确定所述符合事件在所述断层平面内的实际投影方向,并根据所述实际投影方向确定所述符合事件数据对应的方向编码。

[0139] 假设 PET 系统包括 8 个探测器环,且每个探测器环包含 32 个探测单元。

[0140] 对于符合事件 A,根据 list - mode 数据可计算出该符合事件 A 的实际投影方向,结合图 1(a),假设其实际投影方向为实线箭头指向的方向,根据上述方向编码的定义方式,可确定该实际投影方向对应的方向编码 ϕ ,这里可以假设 $\phi = 6$ 。这样,通过计算 list - mode 数据中符合事件在断层平面内的投影方向,按照投影方向对符合事件数据进行编号,便可使在断层平面内投影方向相同的符合事件数据具有相同的方向编号。

[0141] 2、根据所述 list - mode 数据中符合事件的空间信息,确定所述符合事件在所述实际投影方向下的实际投影区域,并根据所述实际投影区域确定所述符合事件数据对应的区域编码。

[0142] 对于符合事件 A,根据 list - mode 数据可计算出该符合事件 A 的实际投影区域,假设实际投影区域为图 1(b) 中右边的阴影条框,根据上述区域编码的定义方式,可确定该实际投影区域对应的区域编码 Bin,这里假设 $\text{Bin} = 12$ 。这样,对具有相同方向编号 ϕ 的符合事件数据,可分别确定其在断层平面内的区域编码 Bin。

[0143] 3、根据所述 list - mode 数据中符合事件的空间信息,确定所述符合事件在所述实际投影方向下的实际探测器环差,并根据所述实际探测器环差确定所述符合事件数据对应的环差编码。

[0144] 对于符合事件 A,根据 list - mode 数据可计算出该符合事件 A 的实际探测器环差,结合图 1(c),若探测器环数 $P = 8$ 、符合事件 A 的探测器环差 $\text{RD} = 2$,根据上述环差编码的定义方式,可确定符合事件 A 的环差编码 $\text{RingDiff} = 2$ 。这样,可分别对具有相同方向编号的符合事件数据,按照空间顺序确定其在 PET 轴向的环差编号。

[0145] 4、利用所述 list - mode 数据中所述符合事件的两个湮灭光子分别到达不同探测单元的时间差,确定所述符合事件发生时所属的实际时间区间,并根据所述实际时间区间确定所述符合事件数据对应的 time - bin 编码。

[0146] 结合图 1(d),假设符合事件 A 中两个湮灭光子分别到达不同探测单元的时间差为

0, 则符合事件发生时所属的实际时间区间为中间的时间区间, 根据上述 time - bin 编码的定义方式, 假设 time - bin 编码范围为 $\text{Timebin} = 0, 1, 2L, n = 0, 1, 2 \dots 6$, 则中间时间区间对应的 time - bin 编码为 $\text{Timebin} = 3$ 。这样, 便将 list - mode 数据中处于断层平面内相同投影方向且具有相同探测器环差的符合事件数据的时间差信息转换为 time - bin 编码信息。

[0147] 5、根据所述 list - mode 数据中符合事件的空间信息, 确定所述符合事件在所述实际时间区间内的实际轴向投影区域, 并根据所述实际轴向投影区域确定所述符合事件数据对应的轴向编码。

[0148] 结合图 1(d), 对于符合事件 A, 根据 list - mode 数据可进一步在环差编码 $\text{RingDiff} = 2$ 时对应的 6 种相互平行的轴向投影区域中确定符合事件 A 的实际轴向投影区域, 即确定符合事件 A 在 $\text{Timebin} = 3$ 所对应的时间区间内的具体位置, 根据上述轴向编码的定义方式, 假设确定的实际轴向投影区域为 6 种投影区域中的第 2 条 (阴影部分), 则符合事件 A 的轴向编码 $Z_Paral = 1$ 。

[0149] 可见, 利用方向编码 $\phi = 6$ 、区域编码 $\text{Bin} = 12$ 、环差编码 $\text{RingDiff} = 2$ 、time - bin 编码为 $\text{Timebin} = 3$ 、轴向编码 $Z_Paral = 1$ 这五个空间索引编码便可将符合事件 A 的符合事件数据的空间信息和时间信息完全的表示出来。

[0150] 步骤 402: 将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序。

[0151] 当步骤 401 完成了对 list - mode 数据的空间索引编码后, 还需要将 list - mode 空间编码数据按照空间分布进行顺序排列。首先需要确定符合事件的索引编码 ϕ 、Bin、RingDiff、Timebin 和 Z_Paral 之间的排列顺序, 这一排列顺序不是任意的, 因为不同的排列方式可能导致 PET 图像重建时间上的巨大差异。通过分析和前期工作的验证, 认为更有利于提高重建速度的空间编码索引顺序为 ϕ 、Bin、RingDiff、Timebin 和 Z_Paral 。

[0152] 当确认了五项索引编码的顺序后, 首先, 将所有符合事件空间编码数据按照方向

编码 ϕ 分至 $\frac{M}{2}$ (或 M) 个组中, 并将这 $\frac{M}{2}$ (或 M) 个组按照一定顺序进行排序, 其中每组

空间编码数据都具有相同的投影方向, 即每一组数据内的符合事件在断层平面内投影方向均相同, 而每组数据中的符合事件都由某方向下的投影区域位置、符合事件所属环差、符合事件所属 time - bin 位置和符合事件在 time - bin 中所处的轴向位置对应的各个编码来表示, 这样, 在每组数据中只需要根据除方向编码外的其它四项索引编码就可以确定其中某一符合事件的相关信息。然后, 分别将每个方向分组中的空间编码数据按照投影区域

的区域编码 Bin 分至 $M-1 (\frac{M}{2} \text{ 或 } \frac{M}{2} - 1)$ 个组中, 并将这 $M-1 (\frac{M}{2} \text{ 或 } \frac{M}{2} - 1)$ 个组按照一定顺

序进行排序。再然后, 分别将每个投影区域分组中的空间编码数据按照环差编码 RingDiff 分至 P 个组中, 并将这 P 个组按照一定顺序进行排序。再然后, 分别将每个环差分组中的空间编码数据按照 time - bin 编码 Timebin 分至 N 个组中, 并将这 N 个组按照一定顺序进行排序。最后, 分别将每个 time - bin 分组中的具有某轴向编码 Z_Paral 的各个空间编码数据按照一定顺序进行排序。这样, 最终实现了从时间顺序排列的 list - mode 数据到完全空间有序数据集的转化。

[0153] 为了更方便的了解各个空间编码数据的排序方式, 下面结合图 5 所示的数据组划

分树状图进行说明：

[0154] 1、将对应相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组，并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序。

[0155] 如前所述，若方向编码包括 $\frac{M}{2}$ 种，则可以将所有空间编码数据最多（这里可能不包含某种投影方向）划分为 $\frac{M}{2}$ 个第一数据组，分别为第一数据组 1、第一数据组 2……、第一数据组 $\frac{M}{2}$ ，且每一第一数据组中包括具有相同投影方向的所有空间编码数据（如图 5）。

将这些第一数据组按照第一预设顺序譬如方向编码（从大到小或从小到大）进行排序，这里假设从左到右为最终的排序结果。

[0156] 另外，本发明实施例可将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间，并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号；和/或，按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间，并对涉及的各个方向编码按照所述第一预设顺序进行编号。其中，各个第一连续内存空间之间可以是相互连续的内存空间也可以是相互不连续的内存空间。

[0157] 可以理解的是，在断层平面内投影方向相同的空间编码数据具有相同的方向编号，这些具有相同方向编码的空间编码数据被划分到对应的第一数据组中，通过将不同第一数据组存储到计算机存储空间的不同位置，再按照投影方向对存储数据的内存空间进行顺序编号，使得断层平面内投影方向一致的空间编码数据处于一块连续的计算机存储空间中，这样能够通过断层平面内某一特定投影方向找到对应的内存空间编号，进而找到该特定投影方向下的所有空间编码数据；当然，也可以按照投影方向对涉及的各个方向编码进行顺序编号，这样能够通过断层平面内某一特定投影方向找到对应的方向编码的编号，进而找到该特定投影方向下的所有空间编码数据。

[0158] 2、将所述第一数据组中对应相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组，并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序。

[0159] 如前所述，若同一投影方向下的投影区域的区域编码包括 $\frac{M}{2}$ 种，则对于第一数据组 1，可以将第一数据组 1 中的所有空间编码数据最多（这里可能不包含某种投影区域）划分为 $\frac{M}{2}$ 个第二数据组，分别为第二数据组 11、第二数据组 12……、第二数据组 1 $\frac{M}{2}$ ，且每一第二数据组中包括相同投影方向下的具有相同投影区域的空间编码数据（如图 5）。将这些第二数据组按照第二预设顺序譬如区域编码（从大到小或从小到大）进行排序。同样地，其它第一数据组也按照上述方式分组和排序，在此不再赘述。

[0160] 另外，本发明实施例可将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间，并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号；和/或，按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间，并对涉及的各个区域编码按照所述第二预设顺序进行编号；其中，所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间。

[0161] 可以理解的是，将同一投影方向下区域编号相同的所有空间编码数据存储到计算

机存储空间同一区域,再按照区域编码对存储数据的内存空间进行顺序编号,使得断层平面内区域编码一致的空间编码数据处于一块连续的计算机存储空间中,这样能够通过断层平面内某一特定投影区域找到对应的内存空间编号,进而找到该特定投影区域下的所有空间编码数据;当然,也可以按照断层平面内投影区域对涉及的所有区域编码进行顺序编号,这样能够通过某一特定投影区域找到对应的区域编码的编号,进而找到该特定投影区域下的所有空间编码数据。

[0162] 3、将所述第二数据组中对应有相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序。

[0163] 如前所述,若同一投影方向下的环差编码包括 P 种,则对于第二数据组 11,可以将第二数据组 11 中的所有空间编码数据最多(这里可能不包含某种环差)划分为 P 个第三数据组,分别为第三数据组 111、第三数据组 112……、第三数据组 11P,且每一第三数据组中包括相同投影方向下的具有相同探测器环差的空间编码数据(如图 5)。将这些第三数据组按照第三预设顺序譬如环差编码(从大到小或从小到大)进行排序。同样地,其它第二数据组也按照上述方式分组和排序,在此不再赘述。

[0164] 另外,本发明实施例可将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号;和/或,按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及的所有环差编码按照所述第三预设顺序进行编号;其中,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间。

[0165] 可以理解的是,将同一投影方向下环差编号相同的所有空间编码数据存储到计算机存储空间的同一区域,再按照环差编码对存储数据的内存空间进行顺序编号,使得断层平面内环差编码一致的空间编码数据处于一块连续的计算机存储空间中,这样能够通过某一特定探测器环差找到对应的内存空间编号,进而找到该特定探测器环差下的所有空间编码数据;当然,也可以按照探测器环差对涉及的所有环差编码进行顺序编号,这样能够通过某一特定探测器环差找到对应的环差编码的编号,进而找到该特定探测器环差下的所有空间编码数据。

[0166] 4、将所述第三数据组中对应有相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序。

[0167] 如前所述,若同一投影方向下的 time - bin 编码包括 N 种,则对于第三数据组 111,可以将第三数据组 111 中的所有空间编码数据最多(这里可能不包含某种发生符合事件的初始 time - bin 位置)划分为 N 个第四数据组,分别为第四数据组 1111、第四数据组 1112……、第四数据组 111N,且每一第四数据组中包括相同投影方向下的具有相同初始 time - bin 位置的空间编码数据(如图 5)。将这些第四数据组按照第四预设顺序譬如 time - bin 编码(从大到小或从小到大)进行排序。同样地,其它第三数据组也按照上述方式分组和排序,在此不再赘述。

[0168] 另外,本发明实施例可将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号;和/或,按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及的所有 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号;其中,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间。

[0169] 可以理解的是,将同一投影方向下 time - bin 编码相同的所有空间编码数据存储到计算机存储空间中的同一区域,再按照 time - bin 编码对存储数据的内存空间进行顺序编号,使得 time - bin 编码一致的空间编码数据处于一块连续的计算机存储空间中,这样能够通过发生符合事件的特定初始 time - bin 位置找到对应的内存空间编号,进而找到该特定初始 time - bin 位置下的所有空间编码数据;当然,也可以按照所述初始 time - bin 位置对涉及的各个 time - bin 编码进行顺序编号,这样能够通过某一特定初始 time - bin 位置找到对应的 time - bin 编码的编号,进而找到该特定初始 time - bin 位置下的所有空间编码数据。

[0170] 5、将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。

[0171] 每一第四数据组中包括相同环差编码且相同 time - bin 编码下的一个或多个空间编码数据,这些空间编码数据对应的轴向编码可能全部不同、也可能部分或全部相同。如果这些空间编码数据对应的轴向编码全部不同,则可以将这些空间编码数据按照第五预设顺序譬如轴向编码(从大到小或从小到大)进行排序;如果这些空间编码数据对应的轴向编码部分相同且部分不同,则可以将这些具有不同轴向编码的空间编码数据按照第五预设顺序譬如轴向编码(从大到小或从小到大)进行排序、并将具有相同轴向编码的空间编码数据按照数据获取时间(或其他方式)进行排序,参见图 5,比如,空间编码数据 11111 至 1111Z 是按照轴向编码从大到小排列的,其中,数据 11111 与 11112 的轴向编码相同,由于 PET 系统先获取到数据 11111 后获取到数据 11112,因此数据 1111 排序在先、数据 11112 排序在后;如果这些空间编码数据对应的轴向编码全部相同,则可以将这些具有相同轴向编码的空间编码数据按照数据获取时间(或其他方式)进行排序。

[0172] 另外,本发明实施例可将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号;和/或,按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及的各个轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号;其中,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间,所述第五连续内存空间由一个或多个内存单元组成。

[0173] 基于上述排序,最终的数据排序结果为 11111、11112……1111Z……,即图 5 中最后一排从左到右的排序结果。

[0174] 步骤 403:按照排序结果依次对每一符合事件的空间编码数据进行处理,以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建。

[0175] 对于步骤 403 提到的迭代重建算法,具体实现如图 6 所示,该图展示了 OSEM 等迭代重建算法的实现基本流程。首先对设定的初始估计图像进行前向投影计算,用其得到的理论投影值与实测投影值进行比较,从而得到投影校正因子,投影校正因子经过反向投影计算之后得到图像校正因子,将其作用于初始估计图像后,便实现了一次迭代计算,经过了多次迭代,估计图像逐渐收敛,直至其被修正为符合一定要求的重建图像。

[0176] 由于在现有的正弦图投影数据的迭代重建中,需要按照一定的空间顺序遍历所有可能的投影来完成前向及逆向投影计算,而这一过程中,大都是在对数据空间中的零元素进行计算,浪费了计算资源;而现有的常规 list - mode 数据重建方法可以只对非零元素计算,但其数据空间无序特点导致了重建速度的缓慢。而使用本发明实施例中完全空间有序数据集进行图像重建,则消除了这两方面的缺陷。

[0177] 在本发明实施例中,具体可选择下述两种方式中的一种实现步骤 403:

[0178] 方式一:按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;判断当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据是否不同;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果。

[0179] 方式二:按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

[0180] 可以理解的是,对于方式一,当空间编码数据的数量为低数据量和中等数据量的情况时,由于符合事件空间编码重复的比例很小,所以判断连续两个符合事件编码是否相同以及投影计算这部分操作,其对计算速度的提升作用没有或不大,只有在空间编码数据的数据量较大时,由于空间编码重复的比例逐渐增加,所以加速作用才能逐渐体现出来。对于方式二,没有判断连续两个符合事件编码是否相同,对于每一符合事件空间编码数据均需逐一进行投影计算处理,当空间编码数据的数量为低数据量和中等数据量的情况时,也可以选择方式二,其处理效果与方式一相比差距不大。

[0181] 在上述两种方式中,为了按照排序结果依次获取每一空间编码数据,具体可根据内存空间编号和/或对空间编码的编号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。即,既可以按照内存空间编号查找内存中的空间编码数据,也可以按照空间编码中各个编码的编号查找内存中的空间编码数据,还可以结合内存空间编号和空间编码中各个编码的编号查找内存中的空间编码数据。比如,对于第三种结合两类编号查找的方式,在实际应用中,具体可以根据内存空间编号顺序定位于排序在前的存储在第一连续内存空间的具有相同投影方向的第一数据组,再依次根据区域编码编号、环差编码编号、time - bin 编码编号和轴向编码编号按顺序逐一定位该第一数据组中的空间编码数据,当然还有其它结合方式,在此不再一一赘述。

[0182] 举例说明:

[0183] 参见图 5,按照符合事件空间编码数据的排序结果,首先获取符合事件空间编码数据 11111,结合 TOF 信息和数据 11111 进行前向及逆向投影计算以完成本次计算,然后获取符合事件空间编码数据 11112,并比较数据 11112 与数据 11111 的空间编码信息是否相同,若相同,则直接将数据 11111 的计算结果作为数据 11112 的计算结果,若不同,则在上次计算结果的基础上,结合 TOF 信息和数据 11112 进行前向及逆向投影计算以完成本次计算,依次类推,再获取符合事件空间编码数据 11113,并作上述同样的处理,直到完成对每个符合事件空间编码数据的迭代计算。

[0184] 可见,本发明实施例基于完全空间有序 list - mode 数据的前向投影和逆向投影计算,与基于正弦图投影数据和常规 list - mode 数据的重建方式相比,不同点在于:第一,用空间编码数据完全替代原始 list - mode 符合事件数据;第二,符合事件空间编码数据由空间顺序的 ϕ 、Bin、RingDiff、Timebin、Z_Paral 这五项索引编码构成,可以直接对符合事件数据进行空间定位;第三,当处理完一个符合事件后,便继续处理下一个符合事件,而是

否需要对这一符合事件进行具体的计算,可以借助数据集的空间有序性来判断,即,判断下一符合事件与当前符合事件空间位置(对应空间编码数据)是否相同,如果相同,则只需将当前符合事件的计算结果赋值给下一符合事件,从而避免了不必要的重复计算。这种操作的优势在于,提高了重建计算的速度,同时在数据量大幅增加时,重建时间基本保持不变。

[0185] 本发明实施例提供的 PET 图像重建方法,通过确定 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,并将所有空间编码数据排序,保证了 list - mode 数据的空间完全有序性,利用完全空间有序 list - mode 的空间编码数据,可以直接对符合事件数据进行空间定位,从而只需对非零数据进行计算,不但节省了计算资源,还加快了重建速度。

[0186] 此外,本方案可以根据所述空间编码数据判断当前符合事件空间位置与上一符合事件空间位置是否相同,若相同则直接将上一计算结果赋值给当前符合事件,从而大幅度削减了重复计算相同位置符合事件的计算量,避免了对相同数据的重复计算,使得在不使用任何数据降采样等近似方法时,就能实现基于 list - mode 数据的快速且准确的图像重建,即使符合事件数成倍增加,也只会增加少量的重建时间。

[0187] 此外,为了对比传统基于时间有序子集的 list - mode 重建算法、传统基于空间有序子集的 list - mode 重建算法以及本发明实施例提出的重建方法在重建速度上的差异,分别对符合事件计数为 1×10^7 个、 4×10^7 个和 7×10^7 个的 list - mode 数据集进行重建对比。其中,三种方法都结合 22 个数据子集的 OSEM 算法,并对同一水模扫描数据进行 TOF 重建,经过一次迭代计算后,获得分辨率为 $256 \times 256 \times 65$ 的图像,各重建方法的重建时间如下表所示:

[0188] 使用不同数据量三种 TOF 重建算法重建时间对比(单位:秒)

[0189] (Core i7 - 3770 四线程,16GB RAM)

[0190]

符合事件 计数 重建方法	1×10^7 个	4×10^7 个	7×10^7 个
时间有序子集 list-mode 重建 方法	208.206	213.990	219.881
空间有序子集 list-mode 重建 方法	26.855	74.862	138.815
本发明重建方 法	15.818	19.977	23.759

[0191] 可见,与现有重建方法相比,本发明实施例重建方法的重建速度明显高于现有图

像重建方法。

[0192] 参见图 7, 本发明实施例还提供了 PET 图像重建装置的结构示意图, 该装置 700 包括:

[0193] 编码确定单元 701, 用于根据用于 PET 重建的表模式 list - mode 数据, 分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据, 所述空间编码数据包括第一编码、第二编码、第三编码、第四编码和第五编码;

[0194] 事件排序单元 702, 用于将所有空间编码数据按照预设空间顺序进行排序;

[0195] 图像重建单元 703, 用于按照所述事件排序单元 702 的排序结果依次对每一符合事件空间编码数据进行处理, 以通过迭代重建算法完成 PET 图像重建;

[0196] 其中,

[0197] 所述第一编码为符合事件在断层平面内的投影方向对应的方向编码, 所述断层平面为探测器环的环状区域;

[0198] 所述第二编码为所述符合事件在所述投影方向下的投影区域对应的区域编码, 所述投影区域为探测到符合事件的两个探测单元之间的区域;

[0199] 所述第三编码为所述符合事件所具有的探测器环差对应的环差编码, 所述探测器环差为历经环数与 1 的差值, 所述历经环数为在断层平面轴向方向上的所述投影区域历经的探测器环数量;

[0200] 所述第四编码为发生所述符合事件的 time - bin 位置对应的 time - bin 编码, 所述 time - bin 位置为沿着所述投影方向在投影区域上按照 list - mode 数据时间差信息划分的各个时间区间中的一个;

[0201] 所述第五编码为所述符合事件在所述 time - bin 位置中的轴向位置对应的轴向编码。

[0202] 进一步地, 所述装置 700 还包括:

[0203] 方向编码单元, 用于在所述编码确定单元 701 根据用于 PET 重建的 list - mode 数据, 分别确定所述 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码前, 若每个探测器环包含 M 个探测单元, 则将符合事件在所述断层平面内的投影方向划分为 $\frac{M}{2}$ 种或 M 种,

并对每种投影方向进行编码以得到 $\frac{M}{2}$ 或 M 个方向编码;

[0204] 区域编码单元, 用于当投影方向被划分为 $\frac{M}{2}$ 种时, 将所述断层平面内相同投影方向下的 M-1 个投影区域进行编码, 以得到 M-1 个区域编码, 当投影方向被划分为 M 种时, 将所述断层平面内相同投影方向下的 $\frac{M}{2}$ 个或 $\frac{M}{2}-1$ 个投影区域进行编码, 以得到 $\frac{M}{2}$ 个或

$\frac{M}{2}-1$ 个区域编码;

[0205] 环差编码单元, 用于若存在并排依次放置的 Q 个探测器环, 则在断层平面轴向方向上, 将相同投影方向下的 Q 种探测器环差进行编码, 以得到 P 个环差编码, $Q \leq P$;

[0206] 时间编码单元, 用于将断层平面轴向区域划分为与断层平面轴向平行的 N 个时间

区间,并对相同投影方向下的 N 个时间区间进行编码,以得到 N 个 time - bin 编码;

[0207] 轴向编码单元,用于对相同投影方向下的具有相同探测器环差 RD 的 Z 种轴向投影区域进行轴向编码,以得到 Z 个轴向编码, $Z = P - RD$;

[0208] 其中, M 、 $\frac{M}{2}$ 、 Q 、 P 、 N 、 Z 为自然数。

[0209] 其中,所述事件排序单元 702,包括:

[0210] 第一排序子单元,用于将对应相同方向编码的所有空间编码数据划分到同一第一数据组,并将各个所述第一数据组按照第一预设顺序进行排序;

[0211] 第二排序子单元,用于将所述第一数据组中对应相同区域编码的所有空间编码数据划分到同一第二数据组,并将各个所述第二数据组按照第二预设顺序进行排序;

[0212] 第三排序子单元,用于将所述第二数据组中对应相同环差编码的所有空间编码数据划分到同一第三数据组,并将各个所述第三数据组按照第三预设顺序进行排序;

[0213] 第四排序子单元,用于将所述第三数据组中对应相同 time - bin 编码的所有空间编码数据划分到同一第四数据组,并将各个所述第四数据组按照第四预设顺序进行排序;

[0214] 第五排序子单元,用于将所述第四数据组中的所有空间编码数据按照第五预设顺序进行排序。

[0215] 其中,所述图像重建单元 703,包括:

[0216] 事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

[0217] 第一迭代计算子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据不同,则结合飞行时间 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果;

[0218] 迭代结果赋值子单元,用于若当前符合事件的空间编码数据与上一符合事件的空间编码数据相同,则将上一符合事件前向投影或逆向投影结果作为当前符合事件前向投影或逆向投影结果;

[0219] 或,所述图像重建单元,包括:

[0220] 事件数据获取子单元,用于按照排序结果依次获取每一符合事件的空间编码数据;

[0221] 第二迭代计算子单元,用于对于当前获取的符合事件的空间编码数据,结合 TOF 信息和当前符合事件的空间编码数据进行前向及逆向投影计算以获得当前符合事件前向投影及逆向投影结果。

[0222] 进一步地,所述装置 700 还包括:

[0223] 第一空间编号单元,用于将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对各个第一连续内存空间按照所述第一预设顺序进行编号;

[0224] 第二空间编号单元,用于将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对各个第二连续内存空间按照所述第二预设顺序进行编号;

[0225] 第三空间编号单元,用于将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对各个第三连续内存空间按照所述第三预设顺序进行编号;

[0226] 第四空间编号单元,用于将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对各个第四连续内存空间按照所述第四预设顺序进行编号;

[0227] 第五空间编号单元,用于将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对各个第五连续内存空间按照所述第五预设顺序进行编号;

[0228] 和/或,

[0229] 第一编码编号单元,用于按照方向编码将各个所述第一数据组分别存储到各个第一连续内存空间,并对涉及的方向编码按照所述第一预设顺序进行编号;

[0230] 第二编码编号单元,用于按照区域编码将各个所述第二数据组分别存储到各个第二连续内存空间,并对涉及的区域编码按照所述第二预设顺序进行编号;

[0231] 第三编码编号单元,用于按照环差编码将各个所述第三数据组分别存储到各个第三连续内存空间,并对涉及的各个环差编码按照所述第三预设顺序进行编号;

[0232] 第四编码编号单元,用于按照 time - bin 编码将各个所述第四数据组分别存储到各个第四连续内存空间,并对涉及的各个 time - bin 编码按照所述第四预设顺序进行编号;

[0233] 第五编码编号单元,用于按照轴向编码将所述第四数据组中的每个空间编码数据分别存储到各个第五连续内存空间,并对涉及的各个轴向编码按照所述第五预设顺序进行编号;

[0234] 其中,所述第二连续内存空间属于所述第一连续内存空间,所述第三连续内存空间属于所述第二连续内存空间,所述第四连续内存空间属于所述第三连续内存空间,所述第五连续内存空间属于所述第四连续内存空间;

[0235] 所述事件数据获取子单元,具体用于根据内存空间编号和/或对所述空间编码的编号,按照编号顺序依次获取内存空间内的每一符合事件的空间编码数据。

[0236] 本发明实施例提供的 PET 图像重建装置,通过确定 list - mode 数据中每一符合事件数据对应的空间编码数据,将所有符合事件的空间编码数据进行排序,保证了 list - mode 数据的空间完全有序性,利用完全空间有序 list - mode 空间编码数据,可以直接对符合事件数据进行空间定位,从而只需对非零数据进行计算,不但节省了计算资源,还加快了重建速度。

[0237] 此外,本方案可以根据所述空间编码数据判断当前符合事件空间位置与上一符合事件空间位置是否相同,若相同则直接将上一计算结果赋值给当前符合事件,从而大幅度削减了重复计算相同位置符合事件的计算量,避免了对相同数据的重复计算,使得在不使用任何数据降采样等近似方法时,就能实现基于 list - mode 数据的快速且准确的图像重建,即使符合事件数成倍增加,也只会增加少量的重建时间。

[0238] 通过以上的实施方式的描述可知,本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法中的全部或部分步骤可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品可以存储在存储介质中,如 ROM/RAM、磁碟、光盘等,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者诸如媒体网关等网络通信设备,等等)执行本发明各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0239] 需要说明的是,对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,

所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0240] 还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0241] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

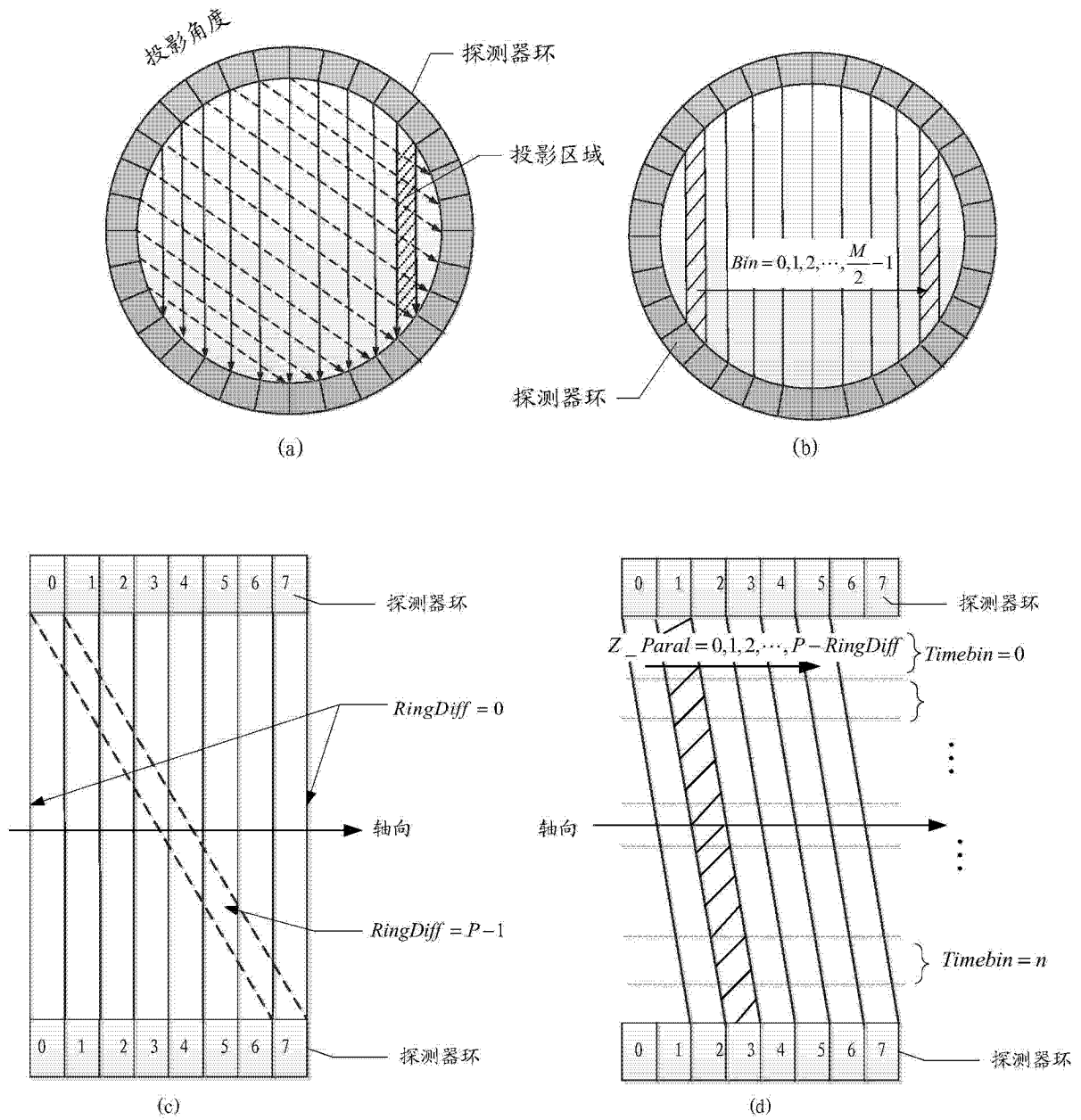


图 1

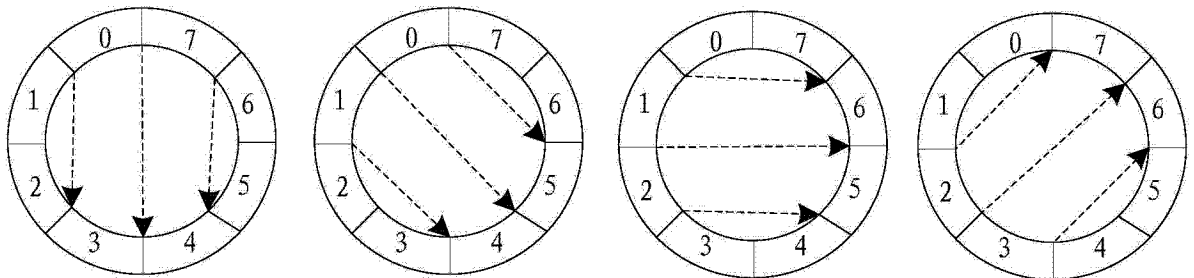


图 2

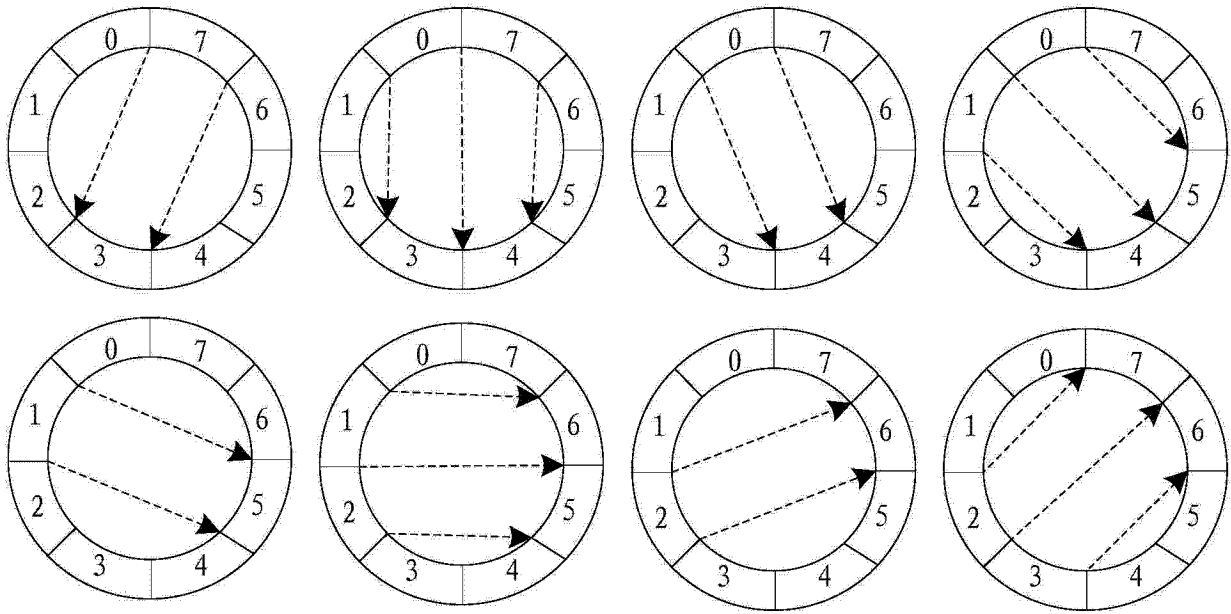


图 3

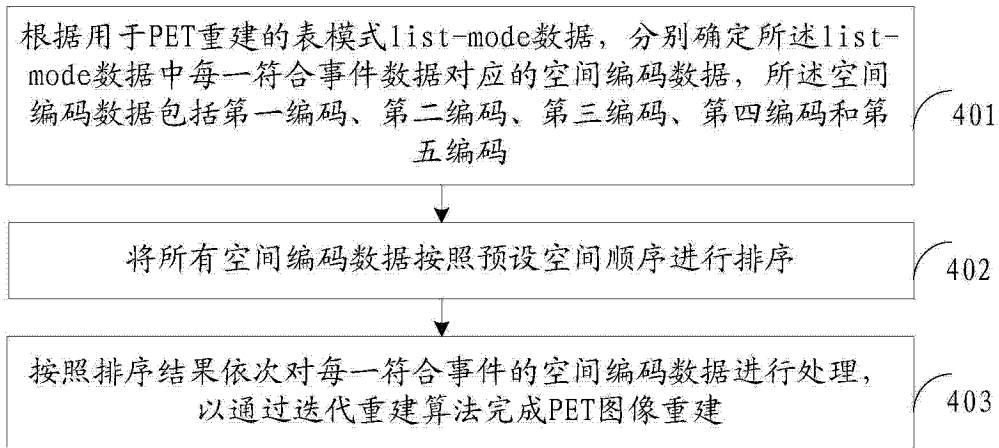


图 4

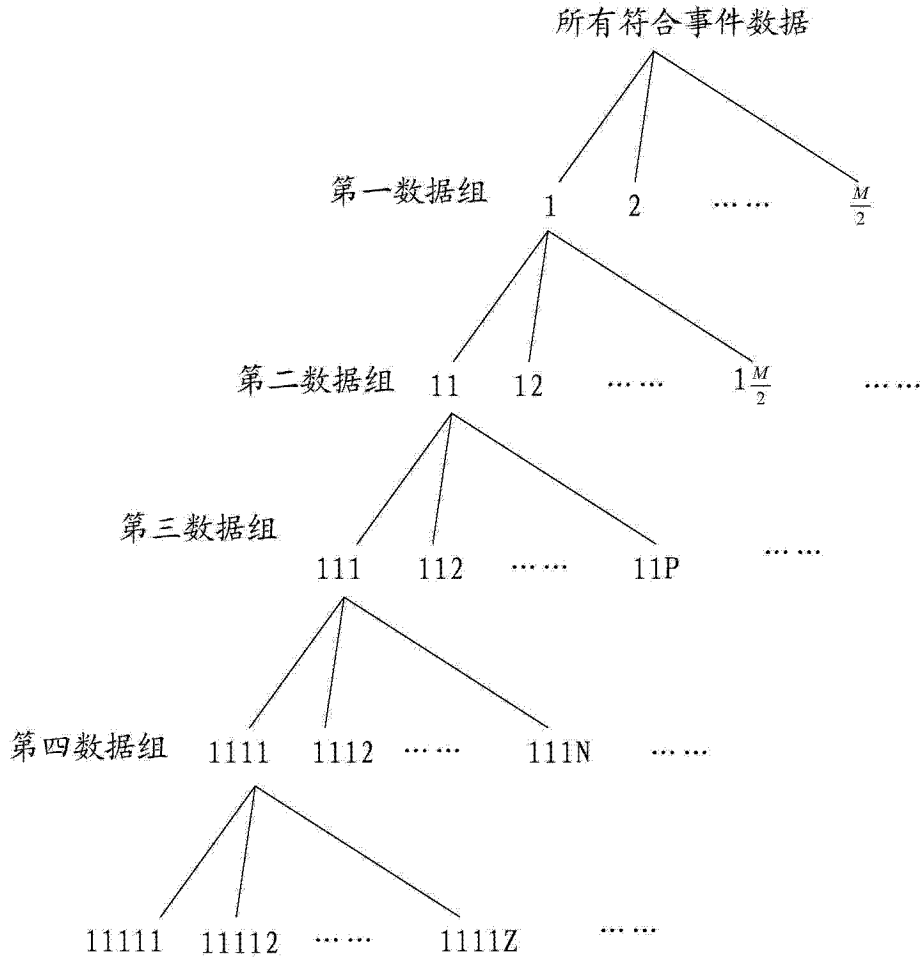


图 5

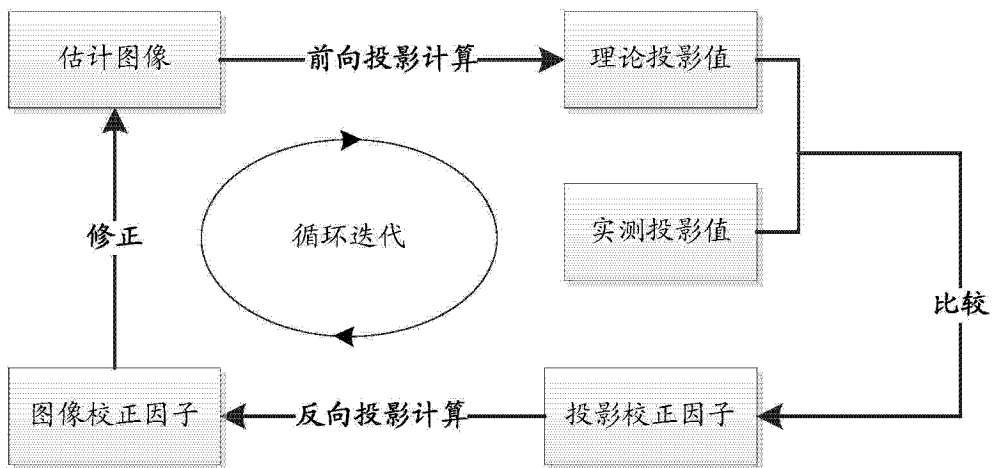


图 6

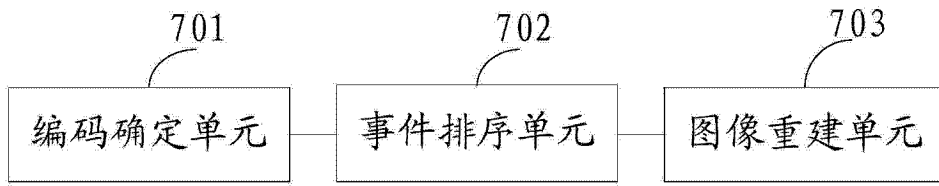


图 7