

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-537113
(P2008-537113A)

(43) 公表日 平成20年9月11日(2008.9.11)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 T 1/161 (2006.01) GO 1 T 1/161 A 2 G O 8 8

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2008-506002 (P2008-506002)
 (86) (22) 出願日 平成18年3月28日 (2006. 3. 28)
 (85) 翻訳文提出日 平成19年10月12日 (2007. 10. 12)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2006/050942
 (87) 国際公開番号 W02006/109203
 (87) 国際公開日 平成18年10月19日 (2006. 10. 19)
 (31) 優先権主張番号 60/671, 158
 (32) 優先日 平成17年4月14日 (2005. 4. 14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

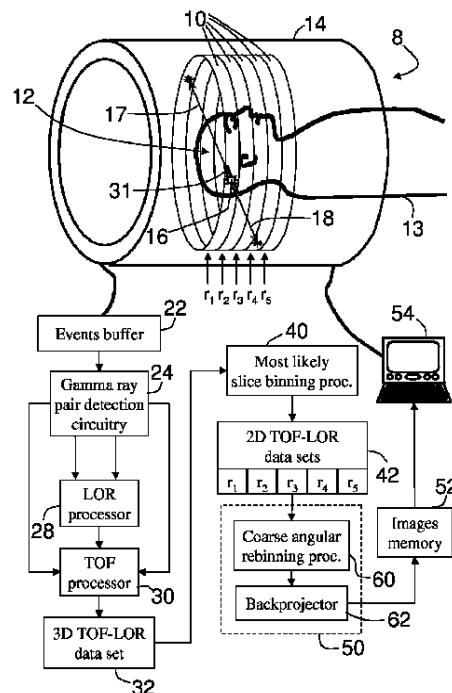
(71) 出願人 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エレク
 トロニクス エヌ ヴィ
 オランダ国 5 6 2 1 ベーアー アイ
 ドーフェン フルーネヴァウツウェッハ
 1
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粗い角度及びスライスリビンングによる三次元飛行時間PET

(57) 【要約】

飛行時間陽電子放出断層 (TOF-PET) 撮像撮像方法において、三次元飛行時間応答線 (TOF-LOR) データが取得される。各々のTOF-LORは飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応している。TOF-LORデータは、飛行時間空間局在化に基づいて複数の二次元TOF-LORデータ集合にスライスビンングされる。スライスビンングされたTOF-LORデータの少なくとも一部は、二次元データ集合に対して傾いている応答線に対応する。TOF-LORデータは、少なくとも10°の角度スパンを各々有する複数の粗い角度ビンに粗く角度リビンングされる。粗く角度リビンングされたTOF-LORデータは画像スライスを生成するように再構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

三次元陽電子放出断層撮像飛行時間応答線 (TOF - LOR) データを取得する段階であって、各々の TOF - LOR は飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する、段階；

前記飛行時間空間局在化に基づいて TOF - LOR をビンニングする前記 TOF - LOR データを複数の二次元 TOF - LOR データ集合にスライスビンニングする段階であって、前記スライスビンニングされた TOF - LOR データの少なくとも一部は前記二次元データ集合に対して傾いている応答線に対応している、段階；及び

前記二次元 TOF - LOR データ集合を三次元再構成画像を規定する対応する画像スライスに再構成する段階；

を有する撮像方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記の TOF - LOR データを取得する段階は複数の放射線検出器リングを用いる、撮像方法であり、前記スライスビンニングする段階は：

前記放射線検出器リングにより規定されるスライスに対応する複数の二次元 TOF - LOR データ集合を三次元再構成画像データ集合に前記 TOF - LOR データをビンニングする段階；

を有する、撮像方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の撮像方法であって、前記スライスビンニングする段階は：

各々の傾いた TOF - LOR を前記 TOF - LOR がスライスビンニングされる前記スライスに投影する段階；

を更に有する、撮像方法。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記 TOF - LOR データを取得する段階は、空間スライスを各々ビンニングする複数の放射線検出器リングを用いる、撮像方法であって、前記スライスビンニングする段階は：

各々の傾いた TOF - LOR を前記 TOF - LOR の少なくとも中央部分を有する空間スライスにビンニングする段階；

を有する、撮像方法。

30

【請求項 5】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記 TOF - LOR データを取得する段階は、空間スライスを各々ビンニングする複数の放射線検出器リングを用いる、撮像方法であって、前記スライスビンニングする段階は：

各々の傾いた TOF - LOR について、前記 TOF - LOR に対応する陽電子 - 電子消滅事象の最も可能性の高い空間位置を決定する段階；及び

各々の傾いた TOF - LOR を前記傾いた TOF - LOR に対応する前記陽電子 - 電子消滅事象の最も可能性の高い空間位置を有する空間スライスにビンニングする段階；

を有する、撮像方法。

40

【請求項 6】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記の各々の二次元 TOF - LOR データ集合を再構成する段階は：

前記画像スライスを生成するように前記 TOF - LOR をフィルタリング逆投影する段階；

を有する、撮像方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記の各々の二次元 TOF - LOR データ集合を再構成する段階は：

前記画像スライスを生成するように前記 TOF - LOR の反復逆投影を用いる段階；

を有する、撮像方法。

50

【請求項 8】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記の各々の二次元 TOF - LOR データ集合を再構成する段階は：

前記二次元 TOF - LOR データ集合の前記 TOF - LOR により規定される空間点の集まりとして近似画像を規定する段階；及び

前記画像スライスを生成するように前記近似画像を逆飛行時間フィルタリングする段階；

を有する、撮像方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の撮像方法であって、前記二次元 TOF - LOR データ集合の前記 TOF - LOR により規定される空間点の集まりとして近似画像を規定する段階は：

前記 TOF - LOR に対応する陽電子 - 電子消滅事象の最も可能性の高い位置として各々の空間点を規定する段階；

を有する、撮像方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の撮像方法であって、前記の各々の二次元 TOF - LOR データ集合を再構成する段階は：

前記二次元 TOF - LOR データ集合の前記 TOF - LOR データを複数の角度ビンに角度ビニングする段階；及び

前記画像スライスを生成するように前記角度ビニングされた TOF - LOR データを再構成する段階；

を有する、撮像方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の撮像方法であって、前記角度ビニングする段階は：

少なくとも約 $\theta = \arctan(2g/r)$ の角度ビンについて一様な角度スパン ($\Delta\theta$) を選択し、ここで、 g は前記 TOF - LOR の統計的幅により除算された空間対象領域の半径であり、 r は前記空間領域に亘る画素数である；

撮像方法。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の撮像方法であって、前記角度ビンの数は、 180° の角度スパンに集合的に亘って約 20 個以下である、撮像方法。

【請求項 13】

請求項 10 に記載の撮像方法であって、各々の角度ビンの角度スパンは少なくとも約 10° である、撮像方法。

【請求項 14】

請求項 1 に記載の撮像方法を実行するための陽電子放出断層撮像スキャナ。

【請求項 15】

請求項 1 に記載の撮像方法を実行するためにプログラムされた処理装置。

【請求項 16】

三次元陽電子放出断層撮像飛行時間応答線 (TOF - LOR) データを取得するための手段であって、各々の TOF - LOR は飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する、手段；

前記飛行時間空間局在化に基づいて TOF - LOR をビニングする前記 TOF - LOR データを複数の二次元 TOF - LOR データ集合にスライスビニングするための手段であって、前記スライスビニングされた TOF - LOR データの少なくとも一部は前記二次元データ集合に対して傾いている応答線に対応している、手段；及び

前記二次元 TOF - LOR データ集合を三次元再構成画像を規定する対応する画像スライスに再構成するための手段；

を有する飛行時間陽電子放出断層撮像スキャナ。

【請求項 17】

10

20

30

40

50

請求項 16 に記載のスキヤナであって、前記の T O F - L O R データを取得するための手段は：

複数の検出器リングであって、前記二次元 T O F - L O R データ集合に対応し、各々の傾いた応答線は 2 つの異なるリングにおける検出器により検出される、検出器リング；を有する、スキヤナ。

【請求項 18】

陽電子放出断層撮像飛行時間応答線 (T O F - L O R) データを取得する段階であって、各々の T O F - L O R は飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する、段階；

前記 T O F - L O R データを少なくとも約 10 ° の角度スパンを各々有する複数の粗い角度ビンに対して粗く角度ビニングする段階；及び

前記画像スライスを生成するように前記の粗く角度ビニングされた T O F - L O R データを再構成する段階；を有する、撮像方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の撮像方法であって、前記粗く角度ビニングする段階は：

少なくとも約 $\theta = \arctan(2g/r)$ の角度ビンについて一様な角度スパン (θ) を選択し、ここで、 g は前記 T O F - L O R の統計的幅により除算された空間対象領域の半径であり、 r は前記空間領域に亘る画素数であり、 θ は少なくとも約 10 ° である；

撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線検出技術に関する。本発明は、特に、飛行時間陽子放出断層撮像法 (T O F - P E T) に関し、以下、特にそれに関連させて説明する。しかしながら、本発明は、一般に、撮像、分光法、及び、同時の放射線粒子出射事象を生成する放射線トレーサ又は撮像剤を用いるものに関する。

【背景技術】

【0002】

P E T においては、放射線医薬品が、人間の患者又は他の撮像対象物に投与される。放射線医薬品は、2 つの逆方向に向けられたガンマ線を生成するように、電子 - 陽電子消滅事象において周囲の撮像対象物の電子と急速に相互作用する前に、非常に短い距離を進む陽電子を放出する放射線減衰事象をもたらす。ガンマ線は、反応線 (L O R) を規定する 2 つの実質的に同時の放射線検出事象として撮像対象物の周りの放射線検出器により検出される。

【0003】

それらのガンマ線は“実質的に同時に”検出されるが、含まれる 2 つの放射線検出器が他の放射線検出器より電子 - 陽電子消滅事象に近い場合、2 つの放射線検出事象間には小さい時間差が存在する。ガンマ線は光の速度で進むため、検出器間のこの時間差は、典型的には、数ナノ秒又はそれ以下である。T O F - P E T においては、放射線検出器は、この小さい飛行時間差の測定を可能にするように十分に高速で動作し、その時間差は、L O R の部分に電子 - 陽電子消滅事象を局在するように用いられる。

【0004】

再構成速度及び精度における一因子は角度ビニング分解能 (a n g u l a r b i n n i n g r e s o l u t i o n) である。代表的な P E T スキヤナは、検出器の 1 つ又はそれ以上のリングを有し、各々の検出器のリングは 600 乃至 700 個の検出画素を有する。それ故、検出器のリングの横断面において取得される L O R データの角度分解能 (取得される角度ビンサイズ) は約 0.5 ° 乃至 1 ° である。大きい角度ビンサイズに各々亘っている少数の角度ビンに対して L O R データをリビニングすることにより、再構成速度は大きくなる。しかしながら、角度リビニングは、一般に、角度リビニング L O R データ

10

20

30

40

50

の低下した角度分解能に略相応した程度まで画像分解能を低下させるように見込まれるものである。

【0005】

三次元PETにおいては、放射線検出器の多重リングが、複数のスライスについて撮像データを供給するように撮像対象物を囲んでいる。反対向きのガンマ線は、一般に、同じ又は異なるリングにおける放射線検出器により検出されることが可能である。同じリングの放射線検出器により検出されるガンマ線の対は、そのリングを有する面内に局在された陽電子電子消滅事象から発せられたものである。しかしながら、異なるリングの放射線検出器により検出されるガンマ線の対は、ガンマ線を検出したリングにより境界付けられたボリューム内に局在された陽電子電子消滅事象から発せられたものである。一再構成方法においては、同じリングにより検出された同時のガンマ線に対応するLORデータのみが処理される。この方法は、各々のスライスが別個に再構成されることを可能にするが、結果的に大量のLORデータを捨てることになる。2つの異なる検出器リングを用いて取得されたLOR投影を含むLORデータ全てを活用するように、逆投影又は他の再構成が三次元的に実行され、そのことは、演算集約的であり、大量のデータ記憶を必要とする。

10

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0006】

下記では、上記の制約及び他の制約を克服する改善された装置及び方法について検討している。

20

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

一特徴にしたがって、撮像方法を提供する。三次元陽電子放出断層撮像 - 飛行時間 - 応答線 (TOF - LOR) データが取得される。各々のTOF - LORは飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する。TOF - LORデータは、飛行時間空間局在化に基づく複数の二次元TOF - LORデータにスライスビニングされる。スライスビニングされたTOF - LORデータの少なくとも一部は、二次元データの集合に対して傾いている応答線に対応する。二次元TOF - LORデータの集合は、三次元再構成画像を規定する対応する画像スライスに再構成される。

30

【0008】

他の特徴にしたがって、陽電子放出断層撮像 (PET) スキャナについて、本明細書の最初の段落に記載している撮像方法を実行することについて開示している。

【0009】

他の特徴にしたがって、本明細書の最初の段落に記載している撮像方法を実行するようにプログラムされた処理器について開示している。

【0010】

他の特徴にしたがって、飛行時間陽電子放出断層撮像スキャナについて開示している。三次元陽電子放出断層撮像 - 飛行時間 - 応答線 (TOF - LOR) データを取得するための手段について開示している。各々のTOF - LORは、飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する。飛行時間空間局在化に基づいて複数の二次元TOF - LORデータの集合にTOF - LORデータをスライスビニングする手段について開示している。スライスビニングされたTOF - LORデータの少なくとも一部は、二次元データの集合に対して傾いている応答線に対応する。三次元再構成画像を規定する画像スライスに対応する二次元TOF - LORデータの集合を再構成するための手段について開示している。

40

【0011】

一特徴にしたがって、撮像方法を提供している。陽電子放出断層撮像 - 飛行時間 - 応答線 (TOF - LOR) データが取得される。各々のTOF - LORは、飛行時間空間局在化を伴う応答線に対応する。TOF - LORデータは、少なくとも約10°の角度スパンを各々有する複数の粗い角度ピンに粗く角度リビニングされる。粗く角度ビニングされた

50

TOF - LORデータは、画像スライスを生成するように再構成される。

【0012】

一有利点は、高速TOF - LOR画像再構成を提供することにある。

【0013】

他の有利点は、高分解能TOF - LOR画像再構成を提供することにある。

【0014】

他の有利点は、異なる検出器リングにより取得されるLORデータの取得データを捨てることなく、スライス毎に基づくTOF - LOR画像再構成を可能にすることにある。

【0015】

他の有利点は、画像分解能の付随損失を伴うことなく、粗い角度リビニングを用いて高速TOF - LOR画像再構成を提供することにある。

【0016】

多数の付加有利点及び恩恵については、以下の詳細説明を読むことにより、当業者に明らかになるであろう。

【0017】

本発明は、種々の構成要素及び構成要素形の構成において並びに種々の処理操作及び処理操作の構成において具現化されることが可能である。図は、単に好適な実施形態を例示するためのものであり、本発明を限定するように意図されていない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1を参照するに、飛行時間陽子放出断層撮像(TOF - PET)スキャナ8は、撮像領域12を内部に撮像対象物が配置される撮像部位12を捉えるように配置されている放射線検出器の複数のリング10を有する。図1においては、撮像対象物は人間の患者13の頭部であるが、他の解剖学的部位が撮像されることが可能であり、更に、撮像対象物は人間でないことが可能である。図1においては、 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 にそれぞれ指数付けされた5つの放射線検出器リング10が、説明の簡単化のために示されているが、典型的には、20乃至60個又はそれ以上の検出器リングが、高分解能の三次元撮像のために備えられる。更に、放射線検出器リング10は模式的に示されているが、典型的には、放射線検出器は、スキャナ8のハウジング14内に収容され、それ故、外側からは見えないようになっている。典型的には、各々の放射線検出器リング10は、数百個の放射線検出器、例えば、リング当たり600乃至700個の範囲内の放射線検出器の画素を有する。

【0019】

適切な放射線医薬品が、TOF - LOR撮像の初期化に先だって患者又は他の撮像対象物に投与される。その放射線医薬品は、陽電子を放出する放射性崩壊事象が行われる放射性物質を有する。陽電子は、撮像対象物の近くの電子と共に即座に消滅する。一例示としての陽電子 - 電子消滅事象16について、図1に模式的に示している。各々の陽電子 - 電子消滅事象は、511 keVのエネルギーを有する2つの反対向きのガンマ線を生成する。その例示としての陽電子 - 電子消滅事象はガンマ線17、18を生成する。複数の粒子が反対向きの軌道又は予測可能な相対的軌道に沿って放出されるように放射性崩壊を有する他の放射線医薬品についてまた、検討されている。ガンマ線は、光速で、即ち、 3×10^8 m/secの速度で進む。撮像領域12は、典型的には、約2m又はそれ以下の直径又は他の特徴的寸法を有するため、陽電子 - 電子消滅事象の陽電子から複数の放射線検出器10の検出器の一へのガンマ粒子についての飛行時間は約数ナノ秒又はそれ以下である。それ故、2つの反対向きのガンマ線は、放射線検出器の2つに実質的に同時に衝突する。

【0020】

それらの2つのガンマ線は、同じ放射線検出器リングにおける放射線検出器により検出されることが可能である。この場合、対応するLORは放射線検出器リングの面内にあり、陽電子 - 電子消滅事象は放射線検出器リングにより規定される空間スライス内にあるこ

10

20

30

40

50

とが容易に理解できる。

【0021】

しかしながら、一般に、それら2つのガンマ線は2つの異なる放射線検出器リングにより検出されることが可能である。例えば、図示されているガンマ線17、18は、放射線検出器リング10のうち2つの異なる放射線検出器リングにより検出される。特に、ガンマ線17は放射線検出器リング r_1 により検出される一方、ガンマ線18は放射線検出器リング r_4 により検出される。この場合、対応するLORは、検出器リング10の何れの一と同一平面上にはなく、陽電子-電子消滅事象16は、検出器リング r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 により規定される4つの空間ライスの何れの一に位置付けられることが可能である。

10

【0022】

放射線検出器は、検出の正確な局在化及び粒子エネルギーを決定するように、例えば、Angerロジック又は他の処理を用いて、各々の粒子検出を局在化する。そのロジックは、放射線検出器エレクトロニクスに一体化される、PETハウジング14内に收容される、又はスキャナから離れて位置付けられることが可能である。その結果として得られる放射線検出事象は事象バッファ22のリストに記憶され、各々の検出事象はTOF処理を容易にするように検出時間によりタグ付けされる又は註釈付けされる。ガンマ線対検出回路24は、対応する電子-陽電子消滅事象に属す実質的に同時のガンマ線検出の対を特定するように放射線検出事象を処理する。この処理は、例えば、エネルギー窓(即ち、約511keVに設定された選択エネルギーフィルタリング窓の外側に放射線検出事象を捨てる)及び同時検出回路(即ち、選択時間フィルタリング間隔より大きい間隔だけ互いから時間的に離れた放射線検出事象の対を捨てる)を有することが可能である。

20

【0023】

ガンマ線の対が識別されるとき、応答線(LOR)処理器28は、2つのガンマ線検出を接続する空間応答線(LOR)を特定するように2つのガンマ線検出事象に関する空間情報を処理する。それらの2つのガンマ線は全く逆の経路に沿って放出されるために、その電子-陽電子消滅事象はLORのどこかで起こる必要があるように認識される。

【0024】

TOF-PETにおいては、検出器リング10の放射線検出器は、2つの“実質的に同時の”ガンマ線検出間の飛行時間差を検出するのに十分な高時間分解能を有する。飛行時間処理器30は、LORに沿って陽電子-電子消滅事象を局在化するように2つのガンマ線検出事象の時間の間の時間差を解析する。histoprojectionのような飛行時間応答線(TOF-LOR)が、飛行時間情報に基づいて決定される。図1においては、例示としての陽電子-電子消滅事象16に対応するhistoprojection31が示されている。例示としての陽電子-電子消滅事象16は、ガンマ線17を検出する放射線検出器と比較して、ガンマ線18を検出する放射線検出器により近いため、ガンマ線18についての飛行時間は、ガンマ線17についての飛行時間より短く、それ故、TOF-LOR又はhistoprojection31は、ガンマ線18を検出する放射線検出器の方にLORに沿って、対応するように移動される。

30

【0025】

TOF-LOR31は、放射線検出器の有限時間分解能のために非ゼロであるLORデータの取得に沿って有限の長さを有する。一部の実施形態においては、各々のTOF-LORは、LORに沿って陽電子-電子消滅事象の陽電子を表すガウス分布又は他の確率分布を具現化する又は表す。他の実施形態においては、TOF-LORは、LORに沿って確率分布の半値全幅(FWHM)のような統計的幅において一定値を具現化する又は表す。TOF-LORデータは、TOF情報に基づいてLORに沿った陽電子-電子消滅事象の局在化の他の適切な表示を用いることが可能である。多数の陽電子-電子消滅事象について集められた、得られるTOF-LORデータは、三次元TOF-LORデータ32の集合として記憶される。

40

【0026】

50

図1を継続して参照するに、そして図2を更に参照するに、尤度スライスビニング処理器40は、TOF-LORの飛行時間局在化に基づいて複数の二次元TOF-LORデータの集合42に三次元TOF-LORデータの集合32をビニングする。スライスビニングは、TOF-LORデータ32を放射線検出器リングにより規定される空間スライスにビニングする。5つの検出器リング10を用いる例示としての実施形態については、尤度スライスビニング処理器40は、検出器リング r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 のそれぞれに対応する5つの二次元TOF-LORデータ集合42に三次元TOF-LORデータ32をビニングする。

【0027】

そのスライスビニングは、TOF-LORの少なくとも中央部分に含まれる空間スライスに各々のTOF-LORをビニングする。各々のTOF-LORが基本的陽電子-電子消滅事象を表すガウス分布又は他の確率分布を表す場合、陽電子-電子消滅事象の尤度空間位置を表す確率分布のガウスピーク、他の平均値又は中央値を決定することは容易である。スライスビニング処理器40は、その場合、TOF-LORに対応する陽電子-電子消滅事象の尤度空間位置を有する空間スライスに各々のTOF-LORを適切にビニングする。

【0028】

図2においては、例示としてのTOF-LORが、TOF-LOR31の殆ど又は全てを有する放射線検出器リング r_3 により規定されるスライスに適切にビニングされるように示されている。一部の実施形態においては、そのスライスビニングは、そのTOF-LORデータ32がスライスビニングされるスライスへの各々のTOF-LORの投影を含む。これについては図2に示して、図2においては、例示としてのTOF-LOR31が、検出器リング r_3 により規定されるスライス内にあるスライスビニングされたTOF-LOR31を規定するように検出器リング r_3 により規定されるスライスに投影される。他の検討された実施形態においては、そのTOF-LORは、二次元データ集合において一般に大きいTOF-LORを生成するスライスに対して適切に回転される。任意に、そのTOF-LORは、各々のスライスにおいて生じる事象の確率にしたがって重み付けされる各々のスライスへの寄与度を有する2つ又はそれ以上のスライスにビニングされることが可能である。

【0029】

下で、スライスビニングのための1つの適切な方法の一数的実施例について説明する。この実施例においては、各々のLORは、時間 t_1 において生じる放射線検出事象により決定される第1端点 (x_1, y_1, z_1) と、時間 t_2 において生じる放射線検出事象により決定される第2端点 (x_2, y_2, z_2) とを有する。飛行時間情報は、時間差 $t = t_2 - t_1$ により数値化される。尤度スライス (z_{ML}) は次式のように適切に決定され、

$$z_{ML} = (z_1 + z_2) / 2 - c (t / 2) ((z_2 - z_1) / d) \quad (1)$$

ここで、“ c ”は光の速度であり、 d はLORの長さであり、次式で与えられる。

【0030】

$$d = ((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2) \quad (2)$$

z_{ML} の第1項はLORの第1及び第2端点間の平均スライス位置であり、第2項はLOR情報を説明する補正又は調節項である。

【0031】

図2を継続して参照するに、ビニングされる画像空間スライスに対するLORの角度はで表される。飛行時間情報についてのガウスクーネル表現を用いて、飛行時間 $(FWHM_{TOF})$ の空間不確定性が、飛行時間の時間的不確定性に光速 $(c = 3.0 \times 10^{11} \text{ mm/sec})$ を乗算することにより演算される。尤度スライスビニング処理器40によるスライスの置き間違いの尤度の評価は、次式のように適切に演算される。

【0032】

$$FWHM_{slic e} = \sin () \cdot FWHM_{TOF} \quad (3)$$

15°の軸方向開き角度 ($\theta_{max} = 7.5^\circ$) 及び $FWHM_{TOF} = 300 \text{ psec}$ (90mm) を有するシステムにおける最も傾いた LOR (即ち、 $\theta < 7.5^\circ$) を有する TOF-LOR スキャナについては、次式のようなものである。

【0033】

$$FWHM_{slice} = \sin(7.5^\circ) \cdot (90 \text{ mm}) = 12 \text{ mm} \quad (4)$$

これは最大のスライス置き間違いである。あまり傾いていない (即ち、 $\theta < 7.5^\circ$) LOR については、誤差はより小さい。有利であることに、スライス置き間違い誤差は、PET スキャナの視野内の TOF-LOR の位置にのみ弱く依存し、飛行時間分解能により実質的に決定される。

【0034】

二次元 TOF-LOR データ集合 42 の各々は、対応する画像スライスを生成するように二次元再構成処理器 50 により再構成される。再構成された画像スライスは、画像メモリ 52 に記憶されている三次元再構成画像を集合的に規定する。三次元再構成画像は、ユーザインターフェース 54 において表示され、プリントされ、記憶され、イントラネット又はインターネットにおいて通信され、又は用いられる。例示としての実施形態においては、ユーザインターフェース 54 はまた、放射線技師又は他のユーザが TOF-PET スキャナ 8 を制御することを可能にする。他の実施形態においては、別個の制御器又は制御コンピュータを備えることが可能である。

【0035】

図 1 を継続して参照するに、二次元再構成処理器 50 は、複数の粗い角度ビンに対して二次元 TOF-LOR データをリビンングする粗い角度リビンング処理器 60 を有する。一部の実施形態においては、各々の角度ビンは少なくとも 10° の角度スパンを有する。一部の実施形態においては、角度ビンの数は、180° の角度スパンに集合的に亘っている約 20 個以下のビンである。逆投影器 62 は、再構成画像スライスを生成するように粗く角度的にリビンングされた TOF-LOR データを逆投影する。一部の実施形態においては、逆投影器 62 は、一回の反復において再構成画像スライスを生成するフィルタリング逆投影器である。他の実施形態においては、逆投影器 62 は、画像スライスを生成するように二次元 TOF-LOR データの反復逆投影を用いる。他の再構成アルゴリズムはまた、再構成画像スライスを生成するように粗く角度的にリビンングされた TOF-LOR データを再構成するように用いられることが可能である。

【0036】

図 3 を参照するに、例えば、少なくとも約 10° の角度スパンを有するビンを用いる粗いリビンングは、再構成画像の分解能を実質的に低下させることはない。飛行時間ガウスカーネルについては、空間飛行時間分解能は $FWHM_{TOF}$ で適切に表される。個の画素に亘っている半径 R の対象領域が考慮される (即ち、 $x \cdot R =$ であり、ここで、 x は図 3 に示す画素サイズである)。 $g = R / FWHM_{TOF}$ を定義し、ここで、R は対象領域の半径であり、角度リビンングのための誤差が画素サイズ x より小さい場合には、分解能は低下しない。角度ビンについての均一な角度スパンに対しては、これは、少なくとも約 $\theta = \arctan(2g)$ の角度ビンについて均一な角度スパン () を選択することにより達成される。これは、LOR の角度に依存しない対称的なガウス確率分布を表す TOF-LOR について導き出される。

【0037】

図 4 は、粗い角度リビンングのための一方法を示している。TOF-LOR 31 (スライスビンング後) が図 4 に示され、実線で描かれたガウスプロファイルとして TOF 情報が示されている。TOF-LOR 31 は、スライス面における角度 θ におけるものである。角度リビンング TOF-LOR 31 は、インデックス n で表される角度ビン θ_n に対してリビンングされる。角度リビンング TOF-LOR 31 についての TOF 情報が、破線で描かれたガウスプロファイルとして示されている。図 4 に示している座標 S は、TOF-LOR 31 の応答線とスキャナの中央との間の径方向の距離である。座標 I は、応答線に沿った TOF-LOR 31 の位置を示している。座標 S 及び I は

10

20

30

40

50

、角度リビニング T O F - L O R 3 1 の対応する径方向座標及び T O F 座標である。

【 0 0 3 8 】

図 5 を参照するに、ビニング処理器 4 0、6 0 により実行される T O F - L O R ビニング操作の順序を変えることが可能である。図 5 は、尤度スライスリビニング処理器 4 0 及び二次元再構成処理器 5 0 により適切に実行される統合された三次元 T O F - P E T 再構成処理のブロック図を示している。近接する方向を有する T O F - L O R データが各々の角度についての異なる予備画像に対して付加される。予備画像は、その予備画像に付加される各々の“近接する” T O F - L O R について、時間差を用いて演算される各々の T O F - L O R に対応する陽電子 - 電子消滅の尤度点及び各々の角度に対して生成される。

【 0 0 3 9 】

図 1 を再度、参照するに、当業者は、粗い角度リビニングを有する二次元再構成処理器 5 0 を二次元 T O F - L O R データ集合に直接、適用することができることを理解することができるであろう。例えば、検出器の単独のリングを有する T O F - P E T スキャナは、二次元 T O F - L O R データ集合を直接、取得する。1 つの検出器リングを有する P E T スキャナは、粗い角度リビニングの恩恵を受ける高速二次元再構成を与えるように、1 つのスライスからのみデータを取得するため、そのような二次元 T O F - L O R データ集合は、スライスビニングを用いることなく、二次元再構成処理器 5 0 に直接、入力されることが可能である。

【 0 0 4 0 】

本発明については、好適な実施形態に関連して詳述している。上記の詳細説明を読んで理解するとき、当業者にとって、修正又は変形が可能であることは明らかである。同時提出の特許請求の範囲又は同等のものについて範囲内でそのような修正及び変形の全てを本発明が網羅するように意図されている。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 1 】

【 図 1 】粗い角度リビニング及び尤度スライスリビニングを用いる T O F - P E T システムの図である。

【 図 2 】飛行時間局在化に基づいて三次元 T O F - L O R データ集合を複数の二次元 T O F - L O R データ集合にビニングするためのスライスビニングを示す図である。

【 図 3 】二次元 T O F - L O R データの粗い角度リビニングのために最小ピンサイズを導き出すことを示す図である。

【 図 4 】粗い角度リビニングのための一方法を示す図である。

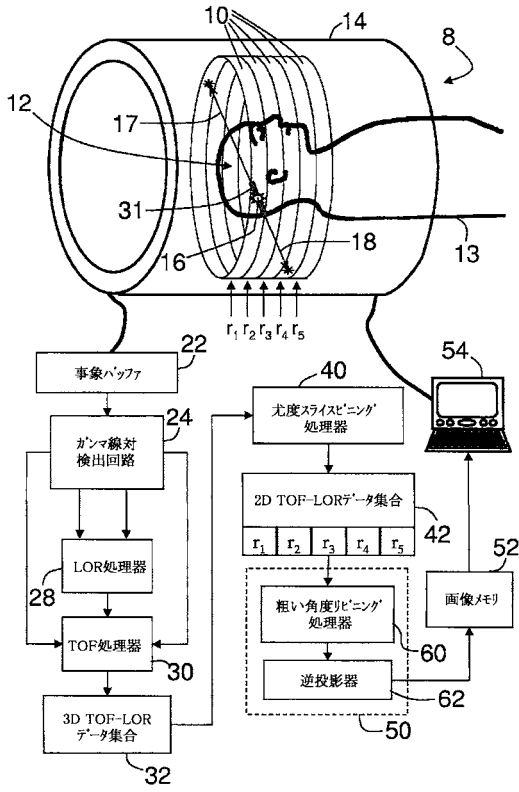
【 図 5 】図 1 の T O F - L O R システムの二次元再構成処理器及び尤度スライスリビニング処理器により適切に実行される統合された三次元 T O F - L O R 再構成処理のブロック図である。

10

20

30

【 図 1 】



【 図 2 】

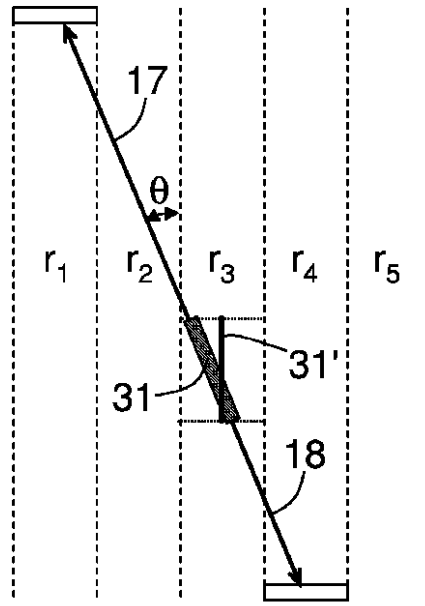
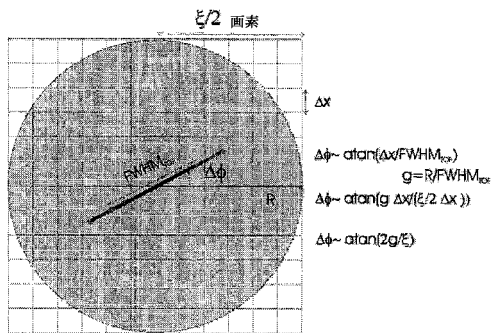


Fig. 2

【 図 3 】



【 図 4 】

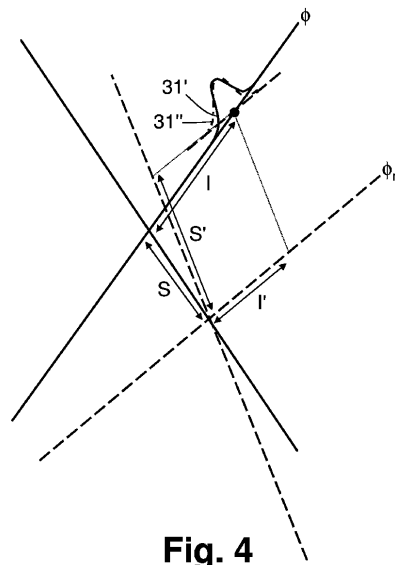
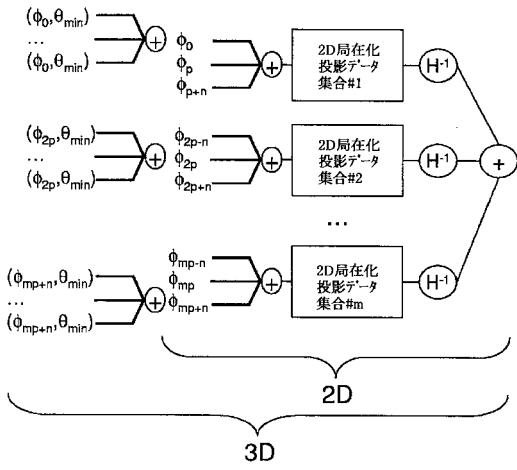


Fig. 4

【 図 5 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2006/050942

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G06T11/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06T		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	VANDEBERGHE S ET AL: "Fast reconstruction of 3D time-of-flight PET data by axial rebinning and transverse mashing" PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY IOP PUBLISHING UK, vol. 51, no. 6, 21 March 2006 (2006-03-21), pages 1603-1621, XP002391135 ISSN: 0031-9155 the whole document ----- -/--	1-19
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *G* document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 20 July 2006		Date of mailing of the international search report 14/08/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Werling, A

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2006/050942

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MULLANI N ET AL: "Sensitivity improvement of TOFPET by the utilization of the inter-slice coincidences" IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE USA, vol. ns-29, no. 1, February 1982 (1982-02), pages 479-483, XP009069755 ISSN: 0018-9499	1-7, 10, 12-17
Y	abstract; figures 3,4	8,9
Y	MOSES W W: "Time of flight in PET revisited" IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 50, no. 5, 5 October 2003 (2003-10-05), pages 1325-1330, XP002326927 ISSN: 0018-9499 page 1327, left-hand column, paragraph 1; figure 2	8,9
X	POLITTE D G ET AL: "Image-reconstruction of data from Super PETT I: a first-generation time-of-flight positron-emission tomograph" IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE USA, vol. NS-33, no. 1, February 1986 (1986-02), pages 428-434, XP009069855 ISSN: 0018-9499	18
A	page 429, right-hand column - page 431, left-hand column; figure 2	19

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ファンデンベルヘ, ステファーン イェー セー
アメリカ合衆国, 19147 ペンシルヴァニア州, フィラデルフィア, サウス・テンス・ストリート 935, アpartment 1

Fターム(参考) 2G088 EE02 FF07 GG17 JJ02 KK15 KK35 LL30