

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5133690号
(P5133690)

(45) 発行日 平成25年1月30日 (2013. 1. 30)

(24) 登録日 平成24年11月16日 (2012. 11. 16)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 B 6/03 (2006.01) A 6 1 B 6/03 3 5 0 F

請求項の数 19 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2007-535280 (P2007-535280)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成17年9月22日 (2005. 9. 22)		コーニンクレッカ フィリップス エレク
(65) 公表番号	特表2008-520257 (P2008-520257A)		トロニクス エヌ ヴィ
(43) 公表日	平成20年6月19日 (2008. 6. 19)		オランダ国 5 6 2 1 ベーアー アイン
(86) 国際出願番号	PCT/IB2005/053148		ドーフエン フルーネヴァウツウェッハ
(87) 国際公開番号	W02006/038142		1
(87) 国際公開日	平成18年4月13日 (2006. 4. 13)	(74) 代理人	100087789
審査請求日	平成20年9月19日 (2008. 9. 19)		弁理士 津軽 進
(31) 優先権主張番号	60/617, 187	(74) 代理人	100114753
(32) 優先日	平成16年10月8日 (2004. 10. 8)		弁理士 宮崎 昭彦
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100122769
			弁理士 笛田 秀仙
		(72) 発明者	ツィーグレル アンディ
			ドイツ連邦共和国 2 2 3 3 5 ハンブル
			グ ロントゲンストラッセ 2 4 - 2 6
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ボクセルに依存する補間を用いる画像再構成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影データを再構成する放射線イメージング装置において、
放射線検出器と、
放射線の非平行ビームを視野に投影する放射線源と、
前記投影データのボクセルに依存する補間を実行する補間手段と、
前記補間された投影データを 3 次元的に逆投影する手段と、
を有し、前記補間手段が、
前記放射線検出器及び前記放射線源に対する前記視野内の前記ボクセルの位置に基づいて前記検出器に投影された各ボクセルのフットプリントを補正する手段、
を含み、
前記フットプリントを補正する手段が、
前記検出器に予め指定された基底関数を投影する基底関数手段、
を含み、
前記フットプリントを補正する手段が、
第 1 の光線密度比係数 $s_{xy} = d_{d,xy} / d_{v,xy}$ により軸方向に垂直な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングし、第 2 の光線密度比係数 $s_z = d_{d,z} / d_{v,z}$ により前記軸方向に平行な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングする手段であって、ここで $d_{v,xy}$ 、 $d_{v,z}$ は前記視野内の前記ボクセルの位置における光線密度であり、 $d_{d,xy}$ は前記軸方向に垂直な面における前記検出器

10

20

上の光線密度であり、 d_{d_z} は前記軸方向に平行な面における前記検出器上の光線密度である、当該スケーリングする手段、
 を更に含む、
 放射線イメージング装置。

【請求項 2】

前記フットプリントを補正する手段が、

第 1 の光線密度比係数 $s_{xy} = R_d / R_v$ により軸方向に垂直な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングし、第 2 の光線密度比係数 $s_z = s_{xy} / \cos(\gamma)$ により前記軸方向に平行な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングする手段であって、ここで R_d は前記線源からの前記検出器の距離であり、
 R_v は前記線源からの前記ボクセルの距離であり、 γ は前記軸方向に垂直な面と前記線源から前記ボクセルを指すベクトルとの間の角度である、当該スケーリングする手段、
 を更に含む、請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 3】

前記フットプリントを補正する手段が、

前記検出器上の前記ボクセルの前記フットプリントの座標 (u, w) を座標 $(u * s_{xy}, w * s_z)$ に変更するために前記投影されたボクセルの前記フットプリントを修正する手段であって、ここで u 及び w は、それぞれ前記軸方向に垂直な面及び前記軸方向に平行な面における前記検出器上の前記投影されたボクセルの前記フットプリントの座標である、当該修正する手段、
 を更に含む、請求項 2 に記載の装置。

20

【請求項 4】

ボクセルの中心点から隣接する重複投影の各々の中心までのフラクショナル距離 $frac$ を決定する手段と、

少なくとも前記フラクショナル距離 $frac$ に基づいてインターリーブ係数 I_f を決定する手段と、

前記重複投影の各々に対して補間重み係数を計算する手段と、
 を更に含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

実質的に平行な重複投影からの寄与を結合する手段、
 を更に含む、請求項 1 に記載の装置。

30

【請求項 6】

前記結合する手段が、

ボクセルの中心点から隣接する前記重複投影の各々の中心までのフラクショナル距離 $frac$ を決定する手段、
 を含む、請求項 5 に記載の装置。

【請求項 7】

前記結合する手段が、

少なくとも前記フラクショナル距離 $frac$ に基づいてインターリーブ係数 I_f を決定する手段と、

40

前記重複投影の各々に対して補間重み係数 $W_t = a |.5 - frac| + b$ を計算する手段であって、ここで $frac$ は軸方向に垂直な方向におけるフラクショナル距離であり、 $a = 2 \cdot I_f$ 、 $b = 1 - I_f$ であり、 I_f が前記決定された補間係数である、当該計算する手段と、
 を更に含む、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記計算された補間重み係数を、前記重複投影からの全ての重みの和により正規化する手段であって、 $P_{out} = (W_t \cdot W_0 \cdot P) / \sum (W_t \cdot W_0)$ であり、ここで P_{out} は投影出力値であり、 W_t は前記補間重み係数であり、 W_0 は他の全ての重みを表し、 P は、前記補間された投影値である、当該正規化する手段、
 を更に含む、請求項 7 に記載の装置。

50

【請求項 9】

前記軸方向に垂直にサンプリングレートを増大する焦点スポット変調を提供する放射線源であって、前記焦点スポット変調が、前記軸方向に沿って解像度を増大するように効果的にインターリーブされた少なくとも 2 つの実質的に平行な投影を生成する、当該放射線源、

を更に含む、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記放射線源が配置されたガントリであって、前記ガントリが、前記投影データセットが 180° だけ角度的に離れた対応する対向する投影を含むように前記投影データセットの取得中に関連したイメージング対象の周りで前記放射線源を回転する、当該ガントリと

10

、
前記投影データセットを平行投影視野にリビンングするリビンングプロセッサであって、前記結合手段が 180° の重複投影からの寄与を結合する、当該リビンングプロセッサと、

を更に含む、請求項 7 に記載の装置。

【請求項 11】

投影データを再構成する放射線イメージング方法において、
検出器に予め指定された基底関数を投影するステップと、
前記投影データのボクセルに依存する補間を実行するステップと、
前記補間された投影データを 3 次的に逆投影するステップと、

20

を有し、前記補間を実行するステップが、

前記放射線検出器及び放射線源に対する視野内の前記ボクセルの位置に基づいて各投影されたボクセルのフットプリントを補正するステップ、
を含み、

前記フットプリントを補正するステップが、

第 1 の光線密度比係数 $s_{xy} = d_{d,xy} / d_{v,xy}$ により軸方向に垂直な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングし、第 2 の光線密度比係数 $s_z = d_{d,z} / d_{v,z}$ により前記軸方向に平行な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングするステップであって、ここで $d_{v,xy}$ 、 $d_{v,z}$ は前記視野内の前記ボクセルの位置における光線密度であり、 $d_{d,xy}$ は前記軸方向に垂直な面における前記検出器上の光線密度であり、 $d_{d,z}$ は前記軸方向に平行な面における前記検出器上の光線密度である、当該スケーリングするステップ、

30

を含む、方法。

【請求項 12】

前記基底関数が、
前記ボクセルを前記ボクセルの球対称なフットプリントに投影する球連続基底関数と、
カイザー・ベッセル関数と、
ガウス関数と、
の 1 つである、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

40

前記フットプリントを補正するステップが、
前記フットプリントを補正する手段が、

第 1 の光線密度比係数 $s_{xy} = R_d / R_v$ により軸方向に垂直な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングし、第 2 の光線密度比係数 $s_z = s_{xy} / \cos(\gamma)$ により前記軸方向に平行な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングするステップであって、ここで R_d は前記線源からの前記検出器の距離であり、 R_v は前記線源からの前記ボクセルの距離であり、 γ は前記軸方向に垂直な面と前記線源から前記ボクセルを指すベクトルとの間の角度である、当該スケーリングするステップ、

を含む、請求項 11 に記載の方法。

50

【請求項 1 4】

前記検出器上の前記ボクセルフットプリントの座標 (u, w) を座標 $(u * s_{xy}, w * s_z)$ に変更するために前記投影されたボクセルの前記フットプリントを修正するステップであって、ここで u 及び w は、それぞれ前記軸方向に垂直な面及び前記軸方向に平行な面における前記検出器上の前記投影されたボクセルのフットプリントの座標である、当該修正するステップ、
を更に含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

ボクセルの中心点から隣接する重複投影までのフラクショナル距離 $frac$ を決定するステップと、

10

前記重複投影からの寄与を結合するステップと、
を更に含む、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記フットプリントを補正するステップが、

第 1 の光線密度比係数 $s_{xy} = d_{d,xy} / d_{v,xy}$ により軸方向に垂直な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングし、第 2 の光線密度比係数 $s_z = d_{d,z} / d_{v,z}$ により前記軸方向に平行な面に沿って前記投影されたボクセルの前記フットプリントをスケーリングするステップであって、ここで $d_{v,xy}$ 、 $d_{v,z}$ は前記視野内の前記ボクセルの位置における光線密度であり、 $d_{d,xy}$ は前記軸方向に垂直な面における前記検出器上の光線密度であり、 $d_{d,z}$ は前記軸方向に平行な面における前記検出器上の光線密度である、当該スケーリングするステップ、
を含む、請求項 1 5 に記載の方法。

20

【請求項 1 7】

前記重複投影の各々に対して補間重み係数 $W_t = a |.5 - frac| + b$ を計算するステップであって、ここで $frac$ は軸方向に垂直な方向におけるフラクショナル距離であり、 $a = 2 \cdot I_f$ 、 $b = 1 - I_f$ であり、 I_f が予め決定された補間係数である、当該計算するステップ、
を更に含む、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記計算された補間重み係数を、前記重複投影からの全ての重みの和により正規化するステップであって、 $P_{out} = (W_t \cdot W_0 \cdot P) / \sum (W_t \cdot W_0)$ であり、ここで P_{out} は投影出力値であり、 W_t は前記補間重み係数であり、 W_0 は他の全ての重みを表し、 P は、前記補間された投影値である、当該正規化するステップ、
を更に含む、請求項 1 7 に記載の方法。

30

【請求項 1 9】

請求項 1 1 に記載の方法を実行するコンピュータ断層撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願明細書は、診断用イメージングの分野に関する。対象のコンピュータ断層撮影イメージングに特定の応用を見つけ、特にこれを参照して記載される。しかしながら、他のタイプのコンピュータ断層撮影イメージング、単光子放出コンピュータ断層撮影 (SPECT)、ポジトロン放出断層撮影 (PET)、及び 3 次元 X 線イメージング等にも応用を見つけることができる。

40

【背景技術】

【0002】

一般に、コンピュータ断層撮影システムは、典型的には、検査されるべき対象の周りで一緒に回転する、放射線の円錐又は楔形ビームを投影する X 線源と 2 次元 X 線検出器とを有する。幾つかの方向から、前記対象は、前記 X 線源から発散する X 線ビームで照射される。これらのそれぞれの方向において、前記 X 線検出器は、前記対象を通過した X 線放射

50

線を受け、当該方向に対する減衰プロファイルを形成する。前記減衰プロファイルは、当該方向における前記対象を通る前記X線の経路に沿ったX線の吸収による前記対象内の入射X線の減衰を表す。

【0003】

典型的には、CT画像の再構成のプロセスにおいて、再構成されるべき各ボクセルに対して、前記ボクセルを通過した放射線光線に沿った放射線を受ける検出器素子がサンプリングされる。前記ボクセルを通る光線が1より多い検出器素子に受けられる場合、ボクセルに独立な補間(voxel independent interpolation)が、前記検出器素子間で行われる。しかしながら、ボクセルに独立な補間は、いくらか問題がある。例えば、共通の光線に沿って位置する2つのボクセルであって、一方が前記線源に近く、他方が前記線源から遠い(前記検出器に近い)当該2つのボクセルを考慮する。順投影(forward projection)において、測定中に、前記2つのボクセルは、これらの2つの位置における異なる光線密度により前記検出器素子における測定値に対して異なって寄与する。逆投影(back projection)において、しかしながら、逆投影値は、前記検出器に対する補間がボクセルに独立なので、前記2つのボクセルに対して同じである。特に、非平行ビーム幾何学構成の場合、サンプリングされる光線の中心及び各ボクセルの中心は一致しない。前記逆投影は、データ取得のモデルに適合しない。これは、結果として再構成画像においてアーチファクトを生じる。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

本発明は、前述の制限等を克服する改良された装置及び方法を検討する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一態様によると、投影データを再構成する放射線イメージング装置が開示される。ある手段は、前記投影データのボクセルに依存する補間(voxel dependent interpolation)を実行する。ある手段は、前記補間された投影データを3次的に逆投影する。

【0006】

本発明の他の態様によると、投影データを再構成する放射線イメージング方法が開示される。前記投影データのボクセルに依存する補間が実行される。前記補間された投影データは3次的に逆投影される。

30

【0007】

本発明の1つの利点は、各ボクセルに対して動的な補間カーネルを適用することにある。

【0008】

他の利点は、エイリアシング(aliasing)を減少することにある。

【0009】

他の利点は、実質的に同じ視野(view)から投影された複数の光線を重み付けして、ボクセル単位(voxel-by-voxel basis)でインターリーブすることにある。

【0010】

40

他の利点は、増大された解像度にある。

【0011】

更に他の利点は、減少された画像アーチファクトにある。

【0012】

好適な実施例の以下の詳細な記載を読むと、多くの追加の利点及び利益が当業者に明らかになる。

【0013】

本発明は、様々な構成要素及び構成要素の構成、並びに様々な処理動作及び処理動作の構成で実現することができる。図面は、好適な実施例の説明の目的のみであり、本発明を限定することを意図されない。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

図1を参照すると、コンピュータ断層撮影スキャナ10は、一実施例においてはX線管である、放射線源12を収容又は支持し、放射線源12は、スキャナ10により規定される検査領域14に放射線ビームを投影する。検査領域14を通過した後に、前記放射線ビームは、放射線検出器アレイ16により検出され、放射線検出器アレイ16は、検出器素子又は画素18のアレイを含み、検査領域14を通過した後に前記放射線ビームを検出するように構成される。検出器素子18は、好ましくは、画素の長方形マトリクスに配置される。放射線源12の典型的なX線管実施例において、前記X線管は、放射線検出器アレイ16の面積を実質的に満たすように検査領域14を通過するにつれて拡大する円錐ビーム、楔形ビーム又は他のビーム幾何学構成を持つ発散するX線ビームを生成する。

10

【0015】

イメージング対象は、前記イメージング対象を検査領域14内に移動する寝椅子20又は他の支持台上に配置される。前記寝椅子は、図1のZ方向として示される軸方向 O_z に沿って直線状に移動可能である。放射線源12及び放射線検出器16は、視野の角度範囲を与えるためにガントリ22の回転が検査領域14の周りで放射線源12の回転を生じるように、回転するガントリ22において検査領域14に対してそれぞれ反対側に取り付けられる。各検出器素子は、前記線源から前記検出器素子まで延在する線、光線、狭い円錐又は他の実質的に線状の投影に沿って取られた減衰線積分に対応する信号を検出するので、取得されたデータは投影データと称される。図1において回転するガントリ22に取り付けられた放射線源16が示されているが、しかしながら、X線検出器アレイ16を、静止したガントリ24の周りに取り付けられたX線検出器素子の2次元バンドにより置き換えることも考えられる。

20

【0016】

一実施例において、軸方向投影データセット(axial projection data set)は、寝椅子20が静止している間に回転するガントリ22を用いて取得される。前記軸方向投影データセットは、前記軸又はZ方向に垂直な検出器素子の行又は列に対応する複数の軸方向スライス(axial slices)を含む。随意に、追加の軸方向スライスは、繰り返される軸方向スキャンを実行し、各軸方向スキャンの間に寝椅子20を移動することにより取得される。

30

【0017】

他の実施例において、螺旋投影データセットは、寝椅子20上に配置された前記イメージング対象の周りで放射線源12の螺旋軌道を生成するように寝椅子20の連続的な直線運動と同時にガントリ22を回転することにより取得される。

【0018】

典型的には、スキャン中に、各投影に沿って伝わる放射線の一部は、前記イメージング対象により吸収され、前記放射線の一般的に空間的に変化する減衰を生成する。放射線検出器アレイ16の前記検出器素子は、前記放射線ビームにわたり放射線強度をサンプリングし、放射線吸収投影データを生成する。放射線源12が検査領域14の周りで回転するようにガントリ22が回転すると、投影データの複数の角度視野が取得され、集合的に、バッファメモリ26に記憶される投影データセットを規定する。

40

【0019】

マルチスライススキャナにおける線源に焦点を合わせた取得(source-focused acquisition)の幾何学構成に対して、バッファメモリ26に記憶された投影データセットの投影又は減衰線積分の読み出し(readings)は、 $P(\alpha, \beta, n)$ としてパラメータ化されることができ、ここで α は回転するガントリ22の位置により決定される放射線源12の線源角度であり、 β は扇内の角度であり($\beta \in [-\phi/2, \phi/2]$ ここで ϕ は扇角度)、 n は O_z 方向における検出器行数である。

【0020】

再構成プロセッサ30は、フィルタ逆投影(filtered backprojection)、反復的再構

50

成又は他の画像再構成手法を使用して前記投影データセットを1つ以上の再構成画像に再構成し、前記1つ以上の再構成画像は再構成画像メモリ32に記憶される。前記再構成画像は、ビデオプロセッサ34により処理され、ユーザインターフェース36に表示されるか、又は別の方法で処理され、若しくは使用される。一実施例において、ユーザインターフェース36は、放射線技師、技術者又は他のオペレータが、選択された軸方向、螺旋又は他のコンピュータ断層撮影イメージングセッションを実施するようにコンピュータ断層撮影スキャナコントローラ38と相互作用することを可能にする。

【0021】

図2及び3を参照すると、第1のボクセル v_1 及び第2のボクセル v_2 は、検出器アレイ16上の同じ位置に投影される。各投影は、結果として視野(FOV、field of view)内のボクセル v_1 、 v_2 の位置に依存して異なるフットプリント(fingerprint)を生じる。図2において見られることができるように、第2のボクセル v_2 より検出器アレイ16の近くに位置する第1のボクセル v_1 は、検出器アレイ16上により小さなフットプリントを作成し、およそ9つの画素又は検出器素子18と交差する。図3に見られるように、第1のボクセル v_1 より検出器アレイ16から離れて位置する第2のボクセル v_2 は、およそ30画素18の検出器アレイ16上のより大きなフットプリントを作成する。例えば、前記FOVにおける光線密度の変化のため、検出器16から離れて位置するボクセルは、より大きなフットプリントを作成し、検出器16の近くに位置するボクセルは、より小さなフットプリントを作成する。前記光線密度の変化のため、ボクセル v_1 、 v_2 は、図2及び3に見られるように測定に異なって寄与し、これは、下でより詳細に論じられるように、アーチファクトを減少するために前記再構成ステップにおいて考慮される。

【0022】

図1ないし3の参照を続け、更に図4を参照すると、フットプリント手段48は、前記光線密度の変化を考慮するために検出器アレイ16上のボクセル v フットプリントを補正し、この結果、前記補正されたフットプリントの下に位置する画素18のみが補間される。より具体的には、基底関数(basis function)手段50は、各ボクセル v に対して検出器16上に予め指定された基底関数を投影する。一般に、スキャンされる対象の連続的な μ 値分布 $f(x)$ は、グリッド点 x_i を持つグリッド上に配置される係数 c_i 及び基底関数 $b(x)$ の和により近似されることができ、即ち、

$$f'(x) = \sum_i c_i b(x - x_i)$$

であり、ここで c_i は画像表現の係数のセットであり、

$b(x)$ は単位ボクセル基底関数である。

【0023】

好ましくは、前記基底関数は、ボクセル v を検出器16上の球対称プロブ(blob)に投影する、カイザー・ベッセル関数のような、球対称な連続基底関数である。球ボクセルの回転対称性は、前記画像表現の投影の効率的な計算を可能にする。しかしながら、基底関数が、ボクセルを楕円形、立方体又は他の適切な幾何学的形状に投影する他の適切な関数であってもよいことも考えられる。

【0024】

スケーリング手段52は、前記投影を光線密度の比によりスケーリングする。一般に、各ボクセル v に対して、検出器16上のプロブのフットプリントのサイズは、軸方向 O_z に垂直な面における第1の光線密度比係数 s_{xy} と軸方向 O_z に平行な面における第2の光線密度比係数 s_z とを用いてスケーリングされ、

$$s_{xy} = d_{d,xy} / d_{v,xy}$$

$$s_z = d_{d,z} / d_{v,z}$$

であり、ここで、 $d_{v,xy}$ 、 $d_{v,z}$ はボクセル位置における光線密度であり、

$d_{d,xy}$ は軸方向 O_z に垂直な面における検出器16上の光線密度であり、

$d_{d,z}$ は軸方向 O_z に平行な面における検出器16上の光線密度である。

【0025】

円錐ビーム幾何学構成が、焦点を中心に合わせられた(focus centered)検出器とともに

に使用される一実施例において、光子レートの密度 (density of photon rate) は、線源 12 からの検出器 16 の距離と線源 12 からのボクセル v の距離とに依存して変化する。スケール手段 52 は、軸方向 O_z に垂直な面内のプロットプリントに第 1 の比係数 s_{xy} を適用し、

$$s_{xy} = R_d / R_v$$

と計算され、

ここで、 R_d は検出器 16 から線源 12 までの距離であり、

R_v はボクセル v から線源 12 までの距離である。

スケール手段 52 は、軸方向 O_z に平行な面内のプロットプリントに第 2 の比係数 s_z を適用し、

$$s_z = s_{xy} / \cos(\gamma)$$

と計算され、

ここで、 s_{xy} はガントリの面において適用される前記第 1 の比係数であり、

γ は軸方向 O_z に垂直な面と線源 12 からボクセル v を指すベクトルとの間の角度である。

。

【0026】

プロット修正手段 54 は、前記プロットプリント $F(u, w)$ を変更し、ここで u 及び w はそれぞれ軸方向 O_z に垂直な面及び軸方向 O_z に平行な面における検出器 16 上の座標である。前記プロットの修正されたプリントは、 $F(u * s_{xy}, w * s_z)$ により表される。前記修正されたプリントは、データ取得のモデルに正確に適合する検出器 16 上の補間カーネル 56 を示す。例えば、前記修正されたプリントの下に位置する画素 18 が補間される。補正された修正プリント又は補正された投影データは、補正投影データメモリ 58 に記憶される。

【0027】

プロットのボクセルに依存してスケールされたプリントを持つ再構成画像は、ボクセルに独立な再構成より少ないアーチファクトを示す。

【0028】

図 1 及び 4 の参照を続け、更に図 5 を参照すると、インターリーブ手段又はプロセス 60 は、補間重み係数に基づいて実質的に平行な重複光線 (redundant rays) からの寄与を結合する。好ましくは、リビンギング (rebinning) プロセッサ 62 は、円錐から平行なビーム幾何学構成に補正された投影データを平行な視野のセットにリビンギングする。各視野は、等間隔の π 線を含み、 π 線は、前記回転軸に垂直であり、スキャン FOV と交差する、軸平面に含まれる線積分として規定される。前記リビンギングは、 $P(\alpha, \beta, n) \rightarrow P(\theta, l, n)$ と表されることができ、ここで θ は、読み出しとアイソセンタとの間の距離と指定する l によりパラメータ化された平行読み出しからなる投影数をパラメータ化し、 n は検出器行数である。リビンギングされた平行光線投影データセット $P(\theta, l, n)$ は、リビンギングデータメモリ 64 に記憶される。

【0029】

1 より多い π パートナ (π -partners) 又は重複光線又は重複 π パートナ又は寄与する投影 66、68 が、同じ角度 θ 及びわずかに異なる位置 70、72 でボクセル v と交差する場合、重複光線 66、68 は、解像度を増大するためにインターリーブされることができる。重複は、所定のボクセルと交差する一般に平行な光線を意味するように使用される。前記重複光線は、反対方向から前記ボクセルを横断してもよく、又は互いからわずかにオフセットされてもよい。好ましくは、 π パートナグループ化手段 74 は、最大インターリーブに対して前記重複 π パートナと一緒にグループ化する。前記グループ化された π パートナは、重複 π パートナメモリ 76 に記憶される。

【0030】

図 4 ないし 5 の参照を続け、更に図 6 を参照すると、フラクショナル距離 (fractional distance) 決定手段 80 は、ボクセル v の中心点 82 から重複隣接光線 66、68 の各々の中心までのフラクショナル距離 $\text{frac } d_1$ 、 d_2 を計算する。ボクセル v が 2 つの投

10

20

30

40

50

影間にある場合、例えば、投影 6 6、6 8 がボクセル v にわずかに触れている場合、フラクショナル距離 d_1 、 d_2 は、それぞれ $1/2$ に等しい。このような位置は、最小の好ましい位置であり、最小の補間重み係数を持つ。ボクセル中心 8 2 が投影光線 6 6、6 8 の 1 つに直接的に位置する場合、フラクショナル距離 d_1 、 d_2 の 1 つは 0 に等しい。このような投影に対して、最大の補間重み係数が与えられる。例えば、ボクセル中心 8 2 に最も近い光線は、重く重み付けされ、ボクセル v にわずかに触れる光線は軽く重み付けされる。

【0031】

インターリーブ係数決定手段 8 4 は、重複 π パートナ 6 6、6 8 の各セットに対してインターリーブ係数 I_f を決定する。インターリーブ係数 I_f は、最も効率的なインターリーブを達成するために、所定のボクセル v の逆投影中に前記補間された光線の重みを修正するために予め決定される。例えば、インターリーブ係数 I_f が 0 に等しくなるように選択される場合、インターリーブされた重みは生じず、通常の補間が使用される。インターリーブ係数 I_f が 1 より小さくなるように選択される場合、投影出力値 P_{out} は、重複 π パートナ又はインターリーブされた光線が存在しない場合には通常の補間に戻る。 I_f の値が 1 に近づく場合、インターリーブされた光線は、投影出力値 P_{out} を計算するために重く使用される。一般に、補間係数 I_f 値は、前記補間された光線が中点位置に正確に配置される場合に特異点を避けるために 1 より小さくなるように選択される。好ましくは、補間係数 I_f 値は、正規化において特異点を避けるために $[1 - (\text{最小の非ゼロ } W_t)]$ より小さい。インターリーブ係数 I_f は、 $u(I_{uf})$ 及び $w(I_{wf})$ 方向において定められることができる。随意に、インターリーブ係数値 I_f は視野毎に変化する。

【0032】

補間重み係数手段 8 6 は、各寄与する投影 6 6、6 8 に対して補間重み係数 W_t を生成し、即ち、

$$W_t = a |.5 - \text{frac}| + b$$

であり、ここで frac は ' x ' 方向における補間インデックスのフラクショナル部分 (fractional part) であり、

$a = 2 \cdot I_f$ であり、

$b = 1 - I_d$ であり、

I_f は前記補間係数である。

【0033】

正規化手段 9 0 は、他の重みが当技術分野において周知である再構成プロセス 3 0 において正規化されるのと同じように、寄与する投影 6 6、6 8 からの全ての重みの和によりボクセル v に対する計算された寄与を正規化し、即ち、

$$P_{out} = (W_t \cdot W_0 \cdot P) / \sum (W_t \cdot W_0)$$

であり、ここで P_{out} は投影出力値であり、

W_t は前記補間重み係数であり、

W_0 は他の全ての重みであり、

P は、 u 次元補間が値 frac を使用する場合の補間された投影値である。

【0034】

バックプロジェクタ (backprojector) 9 2 は、正規化された投影出力 P_{out} を再構成画像メモリ 3 2 に逆投影する。

【0035】

図 1 を再び参照し、図 4 ないし 5 の参照を続けると、インターリーブプロセス 6 0 は、当技術分野において既知である二重焦点スポット変調 (DFS、dual focal spot modulation) を用いるイメージングシステムにおいて重複光線 6 6、6 8 からの寄与を結合する。DFS は、 O_w 方向における放射線源 1 2 の二重焦点スポット変調の使用により O_w 方向 (軸方向 O_z に垂直な方向) においてより高いサンプリングレートを達成するために使用される。焦点スポットは、放射線源 1 2 のアノード 1 0 2 の斜めの面 1 0 0 上の 2 つの位置 FS 1 と FS 2 との間でシフトされる。子午面 (meridian plane) 1 0 4 上の黒丸は、

焦点スポット F S 1 を使用して取得されたサンプルを示し、子午面 1 0 4 上の白い正方形は、焦点スポット F S 2 を使用して取得されたサンプルを示す。もちろん、他の多重焦点スポット変調も考えられる。

【 0 0 3 6 】

リビニングプロセッサ 6 2 は、2 つの変調された焦点スポット F S 1 及び F S 2 の投影 6 6 及び 6 8 を平行ビーム幾何学構成にリビニングする。π パートナグループ化手段 7 4 は、最大のインターリーブに対して前記重複 π パートナと一緒にグループ化する。フラクショナル距離決定手段 8 0 は、ボクセル v の中心点 8 2 から重複する隣接光線 6 6 及び 6 8 の各々までのフラクショナル距離 $\text{frac } d_1$ 、 d_2 を計算する。インターリーブ係数決定手段 8 4 は、重複 π パートナ 6 6 及び 6 8 の各々のセットに対してインターリーブ係数 I_f を決定する。

10

【 0 0 3 7 】

補間重み係数手段 8 6 は、各寄与する投影 6 6、6 8 に対して補間重み係数 W_t を生成し、即ち

$$W_t = a |.5 - \text{frac}| + b$$

であり、ここで frac は 'x' 方向における補間インデックスのフラクショナル部分であり、

$$a = 2 \cdot I_f \text{ であり、}$$

$$b = 1 - I_d \text{ であり、}$$

I_f は前記補間係数である。

【 0 0 3 8 】

20

もちろん、180°の視野からの光線が同様に結合されることができるとも考えられる。例えば、4 つの光線が、前記ボクセルに対するフラクショナル距離に基づいて重み付けされ、前記重みの合計が正規化される。

【 0 0 3 9 】

正規化手段 9 0 は、寄与する投影 6 6、6 8 からの全ての重みの和によりボクセル v に対して計算された寄与を正規化し、即ち、

$$P_{out} = (W_t \cdot W_0 \cdot P) / \sum (W_t \cdot W_0)$$

であり、ここで P_{out} は投影出力値であり、

W_t は前記補間重み係数であり、

W_0 は他の全ての重みであり、

30

P は、u 次元補間値 frac を使用する場合の補間された投影値である。

【 0 0 4 0 】

バックプロジェクタ 9 2 は、正規化された投影出力 P_{out} を再構成画像メモリ 3 2 に逆投影する。

【 0 0 4 1 】

再構成プロセス 3 0 においてインターリーブプロセス 6 0 により得をするために、投影サンプルが、元のネイティブの幾何学的サンプリング位置及び (U 及び W における) 方向に可能な限り近くに配置されるべきであると理解されるべきである。例えば、U 方向におけるリビニングは、好ましくは、スキャン中心の近くの元のサンプル位置を保持し、即ち、スキャン中心の近くのマッチする光線を用いて $dU = S d\alpha$ である ($d\alpha$ は取得された投影における前記光線の元の角度間隔である)。同様に、W 方向において実行されるリビニングは、好ましくは、前記円錐の中心の近くの元のサンプル位置を保持する。

40

【 0 0 4 2 】

本発明は、好適な実施例を参照して記載されている。明らかに、前述の詳細な記載を読み、理解すると、修正及び変更が他に思いつく。本発明が、添付の請求項又はこれらの同等物の範囲内にある限り全てのこのような修正及び変更を含むものとして解釈されることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【図 1】コンピュータ断層撮影イメージングシステムの概略的な表現図を示す。

50

【図 2】検出器に投影された第 1 のボクセルを概略的に図示する。

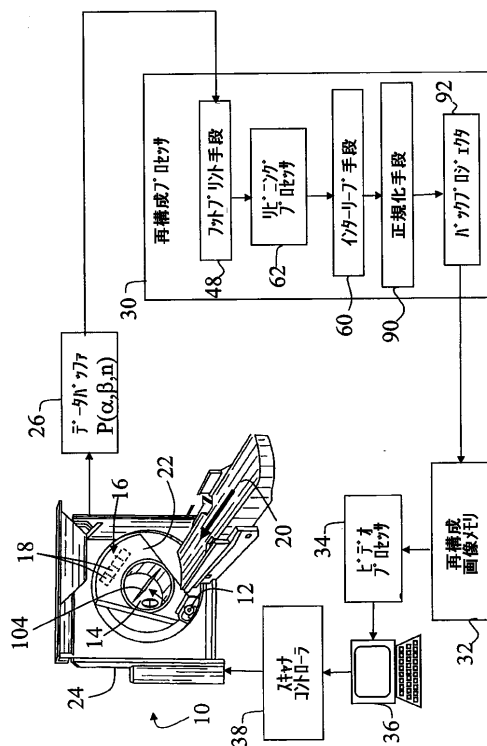
【図 3】検出器に投影された第 2 のボクセルを概略的に図示する。

【図 4】コンピュータ断層撮影システムの一部の概略的な表現図を示す。

【図 5】 O_U 方向に垂直にかつ O_Z 方向に沿って見られる二重焦点スポットを概略的に図示する。

【図 6】2 つの実質的に平行な π パートナにより交差されるボクセルを概略的に図示する。

【図 1】



【図 2】

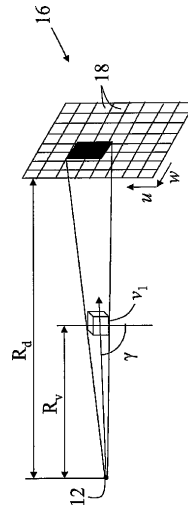
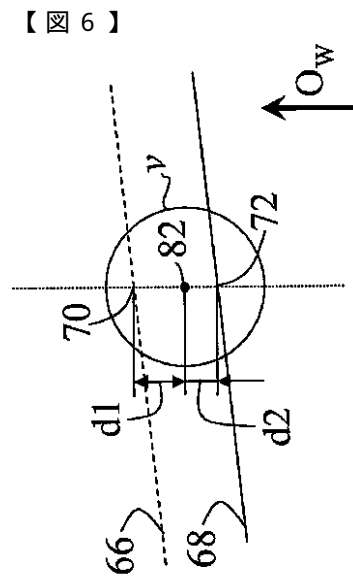
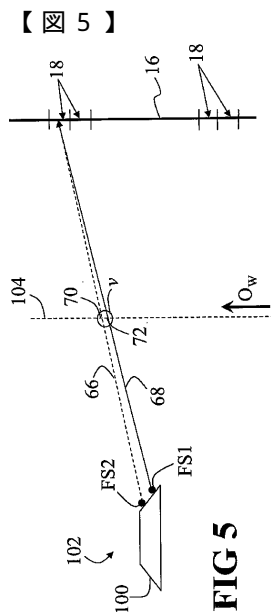
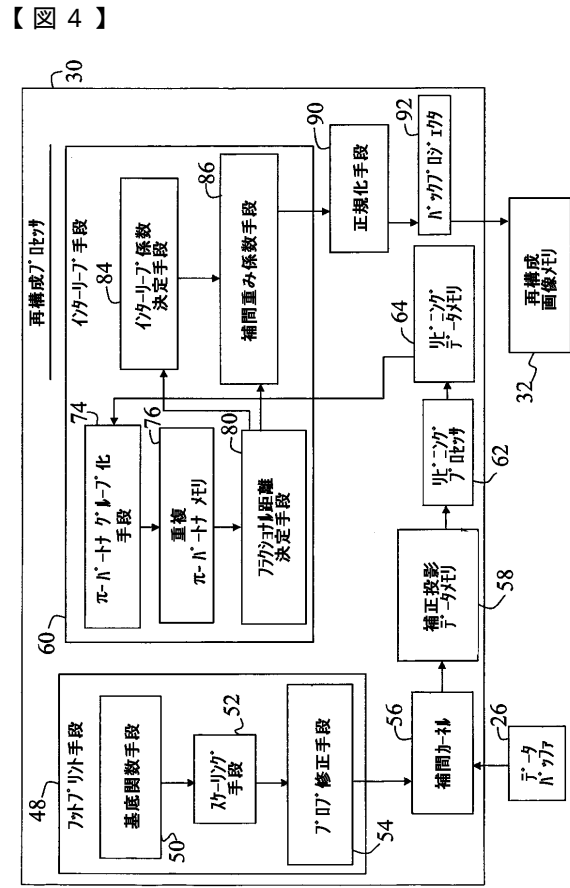
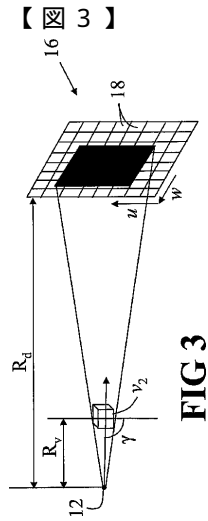


FIG 2



フロントページの続き

- (72)発明者 コーレル トマス
ドイツ連邦共和国 2 2 3 3 5 ハンブルグ ロントゲンストラッセ 2 4 - 2 6
- (72)発明者 ニールゼン ティム
ドイツ連邦共和国 2 2 3 3 5 ハンブルグ ロントゲンストラッセ 2 4 - 2 6
- (72)発明者 ブロクサ ロランド
ドイツ連邦共和国 2 2 3 3 5 ハンブルグ ロントゲンストラッセ 2 4 - 2 6
- (72)発明者 ホイシエル ドミニク ジェイ
アメリカ合衆国 オハイオ州 4 4 2 0 2 オーロラ サークルウッド ドライブ 8 6 4

審査官 泉 卓也

- (56)参考文献 特開2 0 0 4 - 0 8 9 7 2 0 (J P , A)
特開平1 0 - 2 9 0 7 9 8 (J P , A)
特開2 0 0 3 - 3 3 4 1 8 8 (J P , A)
特開平0 8 - 1 6 8 4 8 4 (J P , A)
特開2 0 0 1 - 3 4 6 7 9 1 (J P , A)
国際公開第2 0 0 4 / 0 7 0 6 6 1 (W O , A 1)
Matej, S.; Lewitt, R.M., Practical considerations for 3-D image reconstruction using
spherically symmetric volume elements, IEEE Transactions on Medical Imaging, 米国, 1
9 9 6 年 2 月, Volume: 15 Issue: 1, pp.68-78
Mueller, K.; Yagel, R.; Wheller, J.J., Anti-aliased three-dimensional cone-beam re
construction of low-contrast objects with algebraic methods, IEEE Transactions on Medi
cal Imaging, 米国, 1 9 9 9 年 1 月, Volume: 18 Issue: 6, pp.519-537

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

A61B 6/00

G01T 11/00