

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4558858号
(P4558858)

(45) 発行日 平成22年10月6日(2010.10.6)

(24) 登録日 平成22年7月30日(2010.7.30)

(51) Int.Cl.

A61B 6/03 (2006.01)
G06T 1/00 (2006.01)

F 1

A 61 B 6/03 350 U
A 61 B 6/03 321 N
G 06 T 1/00 290 B

請求項の数 12 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-184920
 (22) 出願日 平成11年6月30日(1999.6.30)
 (65) 公開番号 特開2000-139900(P2000-139900A)
 (43) 公開日 平成12年5月23日(2000.5.23)
 審査請求日 平成18年6月27日(2006.6.27)
 (31) 優先権主張番号 09/108676
 (32) 優先日 平成10年7月1日(1998.7.1)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC COMPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聰志
 (72) 発明者 ジアング・シー
 アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ワウケシャ、エリン・レーン、1736番
 (72) 発明者 キッショー・アチャリヤ
 アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ブルクフィールド、リッジウェイ・ロード、1325番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】物体の基本断層撮影画像及び後続の断層撮影画像を形成するシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線源と複数の検出器より成る検出器アレイとを備えていて、一周($= 2\pi$)をオーバスキャン角度(θ)だけ越えるオーバスキャン範囲($0 < \theta < 2\pi + \theta_0$)の走査によって取得された投影データを用いて物体の基本断層撮影画像及び後続の断層撮影画像を形成するシステムであって、

前記オーバスキャン範囲のうちの0乃至 2π の範囲の投影データを、各々のセグメントが複数のビューを有するM($M > 2$)個セグメントに分割する分割手段であって、前記オーバスキャン角度の角度範囲($0 \sim \theta_0$ と $2\pi \sim 2\pi + \theta_0$)と、少なくとも一部が重なる複数のセグメントからなるオーバスキャン範囲セグメントと、重ならない複数のセグメントからなる非オーバスキャン範囲セグメントとに分割する分割手段と、

該セグメントに分割された投影データを使用して、各々のセグメント毎に基本画像データを形成する基本画像データ形成手段と、

各々のセグメントの前記基本画像データに基づいて後続の画像データを形成する後続画像データ形成手段と、とを有しており、

後続画像データ形成手段は、

各々のセグメント毎に後続の画像データを形成するために、(1)前記オーバスキャン範囲セグメントに含まれるk番目のセグメントについては、オーバスキャン重み付き画像データ及び単位重み付き画像データを形成して、形成された前記オーバスキャン重み付き画像データと単位重み付き画像データとを線形的に結合することにより、前記k番目

のセグメントのための後続画像データを生成し、

(2) 前記非オーバスキャン範囲セグメントに含まれる k 番目のセグメントについては、既に計算された基本画像データ若しくは k - 1 番目の後続画像データを用いて、前記 k 番目のセグメントのための後続画像データを生成する、ことを特徴とする前記システム。

【請求項 2】

前記オーバスキャン領域セグメントは、前記 0 ~ 2 の領域のセグメント内の、角度 0 ~ θ_0 範囲と角度 $2\pi - 2\theta_0$ + θ_0 範囲とに夫々含まれる複数のブロックであることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記工程 (2) における前記オーバスキャン範囲セグメントに含まれるセグメント k についての前記後続の画像データ P_k は、

【数 1】

$$P_k = O_k - O_{k+M} + \sum_{i=k+1}^{k+M} U_i$$

であり、ここで、 O_k はセグメント k についてのオーバースキャン重み付き画像データであり、 U_i はセグメント i についての単位重み付き画像データであり、 $k < 1$ である請求項 1 乃至 2 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 4】

前記工程 (1) における前記非オーバスキャン範囲セグメントに含まれるセグメント k についての前記後続の画像データ P は、

$P_k = P_{k-1} - O_{k-1} - U_k + O_k + O_{k+M-1} + U_{k+M} - O_{k+M}$ であり、ここで、 O_k はセグメント k についてのオーバースキャン重み付き画像データであり、 U_k はセグメント k についての単位重み付き画像データであり、 $k > 1$ 及び $M > 6$ である請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 5】

k 番目のセグメントにおけるビューの数が、(k + M) 番目のセグメントにおけるビューの数に等しいことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 6】

数 D のプロセッサ・パイプを更に含んでおり、ここで、 θ がビュー角度であるとして、各々のセグメントにおけるビューの数が、 $0 \sim \theta_0$ におけるビューの数よりも大きいか又はこれに等しい請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 7】

データ取得システム (DAS) を更に含んでおり、1 セグメント当たりのビューの数を選択するために、DAS のデータ・サンプリング速度を、1 セグメント当たり選択された数のビューが収集されるように調節するように構成されている請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記調節後のサンプリング速度は、 $R = V / (D * M)$ であり、ここで、R は整数であり、V はガントリの 2π の回転当たりのビューの数である請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

各々のプロセッサ・パイプにおけるビューの選択された数は、 $v_k = (\text{セグメント } k \text{ におけるビューの数}) / D$ であり、ここで、 v_k は整数である請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

2 つのビュー分の画像データを同時に形成する畳み込みアルゴリズムを更に含んでいる請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記畳み込みアルゴリズムは、
系列 $y(n)$ を形成し、

10

20

30

40

50

Y (k) を決定し、

N - 1 個の点に対する拡張周波数領域応答を決定するように構成されており、

ここで、 $y (n) = v_i (n) + j v_m (n)$ であり、 Y (k) は $y (n)$ の複素 FFT であり、 n は 0 から N - 1 にわたるサンプル点の番号であり、 i は 0 から N_{v_i} にわたるビューフレーム番号であり、 m は 0 から N_{v_m} にわたるビューフレーム番号であり、 v_i は i 番目のゼロ充填されたビューフレームに対応しており、 v_m は m 番目のゼロ充填されたビューフレームに対応している請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

X 線源と複数の検出器より成る検出器アレイとを備え、一周 (= 2 π) をオーバスキャン角度 (θ) だけ越えるオーバスキャン範囲 ($0 < \theta < 2\pi + \theta_0$) の走査によって取得された投影データを用いて物体の基本断層撮影画像及び後続の断層撮影画像を形成する計算機式断層撮影 (CT) システムで、前記取得された投影データを用いて前記物体の画像を再構成する方法であって、

前記オーバスキャン範囲のうちの 0 乃至 2π の範囲の投影データを、各々のセグメントが複数のビューフレームを有する M ($M > 2$) 個セグメントに分割する分割手段であって、前記オーバスキャン角度の角度範囲 ($0 \sim \theta_0$ と $2\pi \sim 2\pi + \theta_0$) と、少なくとも一部が重なる複数のセグメントからなるオーバスキャン範囲セグメントと、重ならない複数のセグメントからなる非オーバスキャン範囲セグメントとに分割する分割工程と、

該セグメントに分割された投影データを使用して、各々のセグメント毎に基本画像データを形成する基本画像データ形成工程と、

各々のセグメントの前記基本画像データに基づいて、後続の画像データを形成する後続画像データ形成工程、とを有しており、

前記後続画像データ形成工程では、

各々のセグメント毎に後続の画像データを形成するために、

(1) 前記オーバスキャン範囲セグメントに含まれる k 番目のセグメントについては、オーバスキャン重み付き画像データ及び単位重み付き画像データを形成して、形成された前記オーバスキャン重み付き画像データと単位重み付き画像データとを線形的に結合することにより、前記 k 番目のセグメントのための後続画像データを生成し、

(2) 前記非オーバスキャン範囲セグメントに含まれる k 番目のセグメントについては、既に計算された基本画像データ若しくは k - 1 番目の後続画像データを用いて、前記 k 番目のセグメントのための後続画像データを生成することを特徴とする前記方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】

本発明は一般的には、計算機式断層撮影 (CT) イメージングに関し、より具体的には、 CT 透視 (フルオロスコピイ) システムにおけるマルチフレーム画像再構成に関する。

【0002】

【発明の背景】

少なくとも 1 つの公知の CT システム構成においては、 X 線源がファン (扇形) 形状のビームを投射し、このビームは、一般的に「イメージング (撮像) 平面」と呼ばれるデカルト座標系の X - Y 平面内に位置するようにコリメートされる。 X 線ビームは、患者等のイメージング対象の物体を通過する。ビームは、物体によって減弱された後に、放射線検出器の配列 (アレイ) に入射する。検出器アレイの所で受け取られる減弱したビーム放射線の強度は、物体による X 線ビームの減弱量に依存している。アレイ内の各々の検出器素子は、検出器の位置における X 線ビーム減弱量の測定値である個別の電気信号を発生する。すべての検出器からの減弱量測定値が別個に取得されて、透過プロファイルを形成する。

【0003】

公知の第 3 世代 CT システムでは、 X 線源及び検出器アレイは、 X 線ビームが物体と交差する角度が定常的に変化するように、イメージング平面内でイメージング対象の物体の周りをガントリと共に回転する。 1 つのガントリ角度における検出器アレイからの一群の X

10

20

30

40

50

線減弱量測定値、即ち投影データは「ビュー」と呼ばれている。物体の「走査（スキャン）」は、X線源及び検出器が1回転する間に様々なガントリ角度、即ちビュー角度において形成される1組のビューで構成される。アキシャル・スキャン（軸方向走査）の場合には、投影データを処理して、物体を通して得られる2次元スライスに対応する画像を構成する。1組の投影データから画像を再構成する1つの方法は、当業界でフィルタ補正逆投影（filtered back projection）法と呼ばれている。この手法は、走査からの減弱測定値を「CT数」又は「ハンスフィールド（Hounsfield）単位」と呼ばれる整数へ変換し、これらの整数を用いて陰極線管表示装置上の対応するピクセルの輝度を制御するものである。

【0004】

画像内にノイズ構造を形成するいくつかの再構成処理工程が知られている。例えば、「シネ（cine）」スキャンの際、即ち患者は静止したままの状態で所定の数のスライスのデータを取得する走査の際に、アンダースキャン重み付け（「USW」）を用いて、患者の解剖学的構造が走査中に動いたときに生ずるモーション・アーティファクトを減少させる。アンダースキャン重み付けアルゴリズムは典型的には、収集されたデータに対して、ビュー角度及び検出器チャネル・インデクスの関数として重み付けする。詳しく述べると、フィルタリング及び逆投影の前に、ビュー角度及び検出器角度の両方の関数であるアンダースキャン重み係数に従ってデータに重み付けする。具体的には、投影データは、先ずフィルタリングされ、次いで重み付けされ、その後に逆投影されて、各々の画像を形成する。

【0005】

全走査時間を短縮するために、「ヘリカル・スキャン（螺旋走査）」を行うこともできる。ヘリカル・スキャンを行うためには、患者を移動させながら所定の数のスライスのデータを取得する。このようなシステムは、1回のファン・ビーム・ヘリカル・スキャンから単一の螺旋を形成する。ファン・ビームによって悉くマッピングされた螺旋から投影データが得られ、投影データから各々の所定のスライスにおける画像を再構成することができる。

【0006】

ヘリカル・スキャン用の再構成アルゴリズムは典型的には、螺旋重み付け（「HW」）アルゴリズムを用いており、このアルゴリズムは、収集されたデータに対して、ビュー角度及び検出器チャネル・インデクスの関数として重み付けする。詳しく述べると、フィルタリング及び逆投影の前に、ビュー角度及び検出器角度の両方の関数である螺旋重み係数に従ってデータに重み付けする。アンダースキャン重み付けの場合と同様に、HWアルゴリズムでは、投影データは、フィルタリングされ重み付けされ逆投影されて、各々の画像を形成する。

【0007】

シネ・スキャンの場合及びヘリカル・スキャンの場合においては、連続して同じ重みが割り当てられることがあっても、同じ投影データが繰り返しフィルタリングされ重み付けされ逆投影される。例えば、投影データ P_1 が w_1 で重み付けされて第1の画像 I_1 を形成すると共に、 w_2 で重み付けされて第2の画像 I_2 を形成することがある。しかしながら、第2の画像 I_2 は、投影データ P_1 を再びフィルタリングし重み付けし逆投影しなければ形成することができない。アンダースキャン重み付けアルゴリズム及び螺旋重み付けアルゴリズムは両者とも、各々の画像 I_1 及び I_2 が投影データ P_1 から独立に形成されることを要求する。従って、螺旋重み付けアルゴリズムでも、アンダースキャン重み付けアルゴリズムでも、かなりの冗長な計算が必要である。

【0008】

画像形成のある種の面を改善する再構成手法が知られている。例えば、投影データに関してオーバーラップする画像を再構成することに関連する計算の冗長性を減少させるために、オーバースキャン重み付けが用いられている。具体的に述べると、オーバースキャン重み付けでは、収集された投影データがビュー角度の関数としてのみ重み付けされる。従って、計算冗長性を完全に解消するわけではないが、オーバースキャン重み付けは、画像再構成に必要な計算を減少させる。更に、オーバースキャン重み付けは、360°のCTス

10

20

30

40

50

キャン中に患者の解剖学的構造が動いたときに生ずるモーション・アーティファクトを減少させることができている。患者の動きは、最初の投影でのビューと最終の投影でのビューとを不整合且つ不連続にするものである。しかしながら、オーバースキャン重み付けは、幾分かのモーション・アーティファクトをうまく減少させるが、例えば他の螺旋重み付けアルゴリズムほどには有効ではない。従って、オーバースキャン重み付けは、ヘリカル・スキャンの際には除外されることがしばしばである。

【0009】

CT透視システム（「CTフルオロ」）では、逐次的な画像フレームを形成することが知られている。フレームは、ビューと同様に、イメージング対象の物体を通して得られる2次元スライスに対応する。具体的には、投影データを処理して、物体の画像フレームを構成する。典型的には、フレーム・レートが増大し得るように、投影データは重み付けされない。しかしながら、重み付け無しの投影データは、形成される画像に顕著な暗影（シェーディング）及び縞（ストリーキング）を生ずることが知られている。このような暗影及び縞を減少させるために、螺旋重み付けアルゴリズムを用いて、各々のフレームに対応する投影データに対して重み付けすることができる。しかしながら、投影データがフィルタリングされ、重み付けされて逆投影されることが頻繁になるにつれて、フレーム・レートは低下する。このように、フレーム・レートは、CTフルオロ・システムの計算能力までに制限される。

【0010】

言うまでもなく、ヘリカル・スキャン画像再構成の計算冗長性を減少させることができることを望ましい。また、CT透視螺旋画像再構成において、フレーム当たりのビューの数の変更を容易にすると共に、フレーム当たりのビューの数とフレーム・レートとの間の妥当な兼ね合いを提供することも望ましい。

【0011】

【発明の概要】

これらの目的及びその他の目的は、一態様では、ヘリカル・スキャン投影データを複数のセグメントに分割して、不变のセグメントに含まれている画像データを各々の後続の画像の形成のために再度フィルタリングし重み付けし逆投影する必要がないようにするセグメント化アルゴリズムを実現するシステムにおいて達成できる。具体的には、本発明の一態様によれば、セグメント化アルゴリズムは、投影データを複数のセグメントに分割する。次いで、重み付けアルゴリズムをセグメント投影データに対して適用して、重み付き画像データ及び単位重み画像データを形成する。

【0012】

基本画像投影データから後続の画像が形成される。詳しく述べると、不变のセグメントからの画像データを基本画像データから利用して、フィルタリングし重み付けし逆投影することなく後続の画像を形成することができる。

計算効率を向上させるために、セグメント当たりのビューの数から選択するようにしてセグメントの数を変更することができる。詳しく述べると、DASのサンプリング速度を調節してセグメント当たりのビューの数を変化させることができる。代替的には、セグメント同士でセグメント当たりのビューの数を変化させてもよい。

【0013】

以上に述べた漸増式再構成アルゴリズムを用いることにより、各々の画像を独立に形成することを必要とせずに、ヘリカル・スキャン・データから後続の画像の再構成を行うことが可能になる。更に、CTフルオロ螺旋画像再構成における計算コスト及び画像の形成の経費が低減される。このようなアルゴリズムはまた、処理時間を短縮すると共に、ビューの数とフレーム・レートとの間の妥当な兼ね合いを提供する。加えて、本発明による画像アルゴリズムは、画質を大幅に低下させることのないものと考えられる。

【0014】

【好ましい実施態様の詳しい説明】

図1及び図2には、計算機式断層撮影(CT)イメージング・システム10が、「第3世

10

20

30

40

50

代」CTスキャナにおいて典型的なガントリ12を含んでいるものとして示されている。ガントリ12はX線源14を有しており、X線源14は、ガントリ12の対向する側に設けられている検出器アレイ18に向かってX線ビーム16を投射する。検出器アレイ18は複数の検出器素子20によって形成されており、これらの検出器素子20は全体で、患者22を通過する投射されたX線を検知する。各々の検出器素子20は、入射するX線ビームの強度を表す電気信号、従って患者22を通過する間でのX線ビームの減弱量を表す電気信号を発生する。X線投影データを取得するための1回の走査の間に、ガントリ12及びガントリ12に装着されている構成部品は、回転中心24の周りを回転する。

【0015】

ガントリ12の回転及びX線源14の動作は、CTシステム10の制御機構26によって制御される。制御機構26はX線制御装置28及びガントリ・モータ制御装置30を含んでいる。X線制御装置28はX線源14に対して電力信号及びタイミング信号を供給し、ガントリ・モータ制御装置30はガントリ12の回転速度及び位置を制御する。制御機構26内に設けられているデータ取得システム(DAS)32が、検出器素子20からのアナログ・データをサンプリングして、このデータを後続の処理のためにデジタル信号へ変換する。画像再構成装置34が、サンプリングされてデジタル化されたX線データをDAS32から受け取って、高速画像再構成を実行する。再構成された画像はコンピュータ36への入力として印加され、コンピュータ36は大容量記憶装置38に画像を記憶させる。

【0016】

コンピュータ36はまた、キーボードを有しているコンソール40を介して、操作者からコマンド(命令)及び走査用パラメータを受け取る。付設されている陰極線管表示装置42によって、操作者は、再構成された画像、及びコンピュータ36からのその他のデータを観測することができる。操作者が供給したコマンド及びパラメータはコンピュータ36によって用いられて、DAS32、X線制御装置28及びガントリ・モータ制御装置30に制御信号及び情報を供給する。加えて、コンピュータ36は、モータ式テーブル46を制御するテーブル・モータ制御装置44を動作させて、患者22をガントリ12内に位置決めする。具体的には、テーブル46は、患者22の各部をガントリ開口48を通して移動させる。

【0017】

公知の螺旋再構成アルゴリズムは、螺旋補外(HE)アルゴリズム及び螺旋補間(HI)アルゴリズムに大きく分類することができる。これらのアルゴリズムは典型的には、画像を再構成するために投影データに対して重み係数を適用する。この重み係数は一般的には、ファン角度及びビューアングルの両方に基づいている、即ち依存している。HEアルゴリズム及びHIアルゴリズムは、概ね許容可能な画質を提供するが、かなりの計算冗長性があり、再構成速度が重要問題となるときにはかなりのハードウェア経費を要求する。例えば、1回転のうちの僅かの角度部分しか離隔していないような新たな画像を形成するために、元の画像を形成するのに用いられた殆どすべての投影を再び重み付けしフィルタリングし逆投影しなければならない。具体的には、逐次的な画像の投影中にかなりの量のオーバーラップが生じている場合でも、ガントリの1回転当たりn個の画像を形成するためには、単一の画像を形成するのに必要な計算量のn倍がガントリの1回転中に必要とされる。

【0018】

セグメント化アルゴリズムに関する以下の議論では、ヘリカル・スキャン又はシネ・スキャンを用いるCTフルオロ・システムを特定的に参照することがある。しかしながら、本発明のセグメント化アルゴリズムは、これらののようなシステムと組み合わせた実施に限定されているわけではなく、他のCTシステムにも利用することもできる。更に、一実施例では、本発明のセグメント化アルゴリズムは、コンピュータ36において実現されて、例えば大容量記憶装置38に記憶されているデータを処理する。言うまでもなく、代替的な他の多くの実現方法が可能である。

【0019】

10

20

30

40

50

本発明の一実施例によれば、基本画像用の基本画像データを形成するのに用いられるべき投影データが、複数のセグメントに分割される。詳しく述べると、基本画像を形成するために、ガントリ 1 2 が完全な 1 回転に 0° のビュー角度を加えた分だけ回転し、即ち $(0^\circ, 2^\circ + 0^\circ)$ の範囲にわたって回転して、投影データが取得される。角度 0° は、ヘリカル・スキャンの際の 360° を超えた分のガントリ回転の角度を表す。ビュー V は、 2° のガントリ回転当たりの収集されるビューの数を表し、ビュー V_L は、 $(0^\circ, 0^\circ)$ のビュー角度に含まれるビューの数である。セグメント化アルゴリズムは、 2° の角度範囲毎に投影データを M 個のセグメントに分割する。例えば、システム 1 0 の速度がガントリの 1 回転当たり 1 秒であり、D A S 3 2 のデータ取得期間が 5 秒である場合には、投影データは $5M$ 個のセグメントに分割される。より詳しく述べると、セグメント化アルゴリズムは、変更されたセグメントから後続の画像を形成すると共に、隣接するセグメントの間でビューの数を異なるようにすることを含めて、様々な値からセグメントの量（数）及びサイズを選択することを可能にする。セグメントの量及びサイズは、 k 番目のセグメントに含まれているビューの数が $(k + M)$ 番目のセグメントと同一となり、任意のセグメントに含まれているビューの量が、 V_L 内のビューの数よりも大きいか又はこれに等しくなるように選択される。
10

【0020】

投影データをセグメントに分割して該データをフィルタリングした後に、各々のセグメントのフィルタリング後の投影データに対してオーバースキャン重み付けアルゴリズムを適用して、各々のセグメントについて、オーバースキャン重み付け画像データ及び単位画像データを形成する。詳しく述べると、オーバースキャン重み付けアルゴリズムは、異なるビュー角度 0° において取得されている各々のセグメントの投影データに対して重み係数 $w(0^\circ)$ を適用して、各々のセグメント毎にオーバースキャン重み付け画像 O_k を形成する。重み付けの目的のために、各々のセグメントについての最初のビュー角度 0° がゼロに設定されることに留意されたい。次いで、各々のセグメントの投影データに対して単位重み係数を適用し、各々のセグメント毎に単位重み付き画像 U_k を形成する。具体的には、フィルタリング後の投影データに、作成された重み係数を乗算し、次いで逆投影する。
20

【0021】

基本画像データからのセグメント画像データを利用して、後続の画像データが形成される。より詳しく述べると、一実施例では、セグメント k についての角度範囲は $(0^\circ, 2^\circ + 0^\circ)$ であり、領域 $(0^\circ, 0^\circ)$ 及び $(2^\circ, 2^\circ + 0^\circ)$ に対応する重み付けは互いに相補的である。具体的には、後続の画像の第 1 の投影について、ビュー角度 0° が選択される。後続の画像に寄与する投影データは、 $(0^\circ, 2^\circ + 0^\circ)$ の範囲にある。セグメント化アルゴリズムを実行することにより、各々のビュー角度 0° に基づく更新された重み係数と、 $(0^\circ, 2^\circ + 0^\circ)$ の範囲内のオーバースキャン重み係数 $w(0^\circ)$ とが作成される。詳しく述べると、セグメント化アルゴリズムは、以前にフィルタリングされ重み付けされ逆投影された基本画像の投影データに対して適用される更新された重み係数を決定して、後続の画像が、基本画像の投影データのすべてを再びフィルタリングし重み付けし逆投影することはせずに、形成されるようとする。
30

【0022】

例えば、図 3 (a) は、本発明の一実施例に従って第 1 の画像を形成するためのオーバースキャン重み係数対ビュー角度を示すグラフである。図 3 (b) は、ビュー角度 0° から開始する後続の画像を形成するためのオーバースキャン重み係数対ビュー角度を示すグラフである。具体的には、 0° は、後続の画像の第 1 の投影が位置しているビュー角度を表し、グラフの曲線は、後続の画像の形成のための投影データに対して適用される重みを示している。
40

【0023】

図 3 に示すように、各セグメントの大部分についての重み係数は、基本画像と k 番目の後続の画像との間で不变のままである。例えば、図 3 に示すように、セグメント 3 からセグメント 6 の重み係数は、基本画像と k 番目の画像との間で不变である。その結果、 k 番目
50

の画像は、

【 0 0 2 4 】

【 数 3 】

$$P_k = O_k - O_{k+M} + \sum_{i=k+1}^{k+M} U_i$$

【 0 0 2 5 】

10

となる。ここで、 O_k は、セグメント k についてのオーバースキャン重み付き画像データであり、そして U_i は、セグメント i についての単位重み付き画像データであり、 $k > 1$ である。

加えて、 $M > 6$ 且つ $k > 1$ である場合には、 k 番目の画像は、

$$P_k = P_{k-1} - O_{k-1} - U_k + O_k + O_{k+M-1} + U_{k+M} - O_{k+M}$$

となる。ここで、 O_k は、セグメント k についてのオーバースキャン重み付き画像データであり、そして U_k は、セグメント k についての単位重み付き画像データであり、 $k > 1$ 及び $M > 6$ である。

【 0 0 2 6 】

20

従って、以前にフィルタリングされ重み付けされ逆投影された基本画像の投影データが、後続の画像を形成するために単純に再利用される。逆に、セグメント 1 及びセグメント 2 、即ち $(0, 1, 2, \dots, k-1, 0)$ の投影データに対して適用されるオーバースキャン重み係数と、セグメント 7 及びセグメント 8 、即ち $(2, 3, 4, \dots, k-1, 0)$ の投影データに対して適用されるオーバースキャン重み係数とは、第 1 の画像と後続の画像との間で異なっている。従って、重み付けアルゴリズムは、これらの範囲内では重み係数及び画像データを形成する。より具体的には、重み付けアルゴリズムは更新された重み係数を作成し、この更新された重み係数は、基本画像データに適用されるときには、変更されたセグメントにおいては基本画像データを再び重み付けして、後続の画像に対するこの基本データの寄与が図 3 (b) に示すオーバースキャン重み係数に従うものとなるようになる。しかしながら、このような基本画像データは再びフィルタリングされることはない。従って、後続の画像の相当の部分が、以前に取得された基本画像データを再びフィルタリングし、再び重み付けし又は再び逆投影することなく形成される。これにより、相当の量のフィルタリング、乗算及び逆投影が省かれ、システムの計算効率が向上する。より詳しく述べると、後続の画像を形成するためにフィルタリングを要求する投影データは、基本画像データを形成するために以前にフィルタリングされていなかったセグメントの投影データのみである。上述のように、これは大した量のデータではない。

30

【 0 0 2 7 】

一実施例では、セグメントの数 M は、各々のセグメントが同一の数のビュー v_k を含むように選択される。しかしながら、このような選択は、実用的でない可能性がある。例えば、ガントリの 1 回転に含まれるビューの数 N が、セグメントの数 M で割り切れないことがある。加えて、システム 10 は、画像再構成用に並列に用いられる複数のプロセッサ、即ち処理パイプ D を含んでいる可能性があり、その場合、各々のセグメントに含まれるビューの数がプロセッサの数で割り切れないことがある。

40

【 0 0 2 8 】

もう 1 つの実施例では、D A S 3 2 のサンプリング速度を調節して、2 の回転当たりの圧縮後のビューの数 v を、プロセッサ・パイプの量 D とセグメントの数との積で除算した結果が整数となるようにする。表 1 は、D A S サンプリング速度が通常 1 回転当たり 984 である場合の実施例を示しており、表 1 に示すように、D A S 3 2 のサンプリング速度を調節して、1 セグメント当たりの選択された数のビューが所与の画像フレーム・レートで収集されるようにすることができる。

50

【0029】

【表1】

表 1

画像フレーム・レート/秒	DASトリガ速度/秒	圧縮後のビューナンバー/秒	セグメント当たりのビューナンバーの数	プロセッサ当たりのビューナンバーの数	984からのDAS速度の変化%
8	960	640	80	10	-2.4%
7	1008	672	96	12	+2.4%
7	924	616	88	11	-6.1%
6	1008	672	112	14	+2.4%
6	936	624	104	13	-4.9%

10

20

30

40

【0030】

代替的な実施例では、各々のセグメントが多数のビューを含んでおり、非一様なサイズ（隣接するセグメント同士で異なるサイズ）を有していてもよい。詳しく述べると、各々のセグメントのサイズを変化させて、各々のセグメントにおけるビューの数をパイプの数 D で除算したものが整数になるようにし、且つ M 個のセグメントに含まれているビューの総数が、ガントリ 12 の 2 の回転当たりのビューの数に等しくなるようにすることができる。加えて、これらのセグメントは、 k 番目のセグメントに含まれるビューの数が $(k + M)$ 番目のセグメントと同一であり、且つ任意のセグメント内のビューの数が v_L よりも

50

大きい又はこれに等しくなければならないという制約に合わなければならぬ。実例を表2に掲げる。

【0031】

【表2】

表 2

画 像 フレーム ・レート	セグメント内のビューの数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	88	80	80	88	80	80	80	88	80	80
7	80	96	96	96	96	96	96	96	96	96
6	104	112	112	104	112	112	104	112	112	104

(下に続く)

画 像 フレーム ・レート	セグメント内のビューの数								
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	80	80	88	80	80	80	88	88	88
7	96	96	96	96	96	96	96	7つ毎に8	7つ毎に8
6	112	112	104	112	112	104	112	3つ毎に10	4つ毎に8

10

20

30

40

【0032】

もう1つの実施例では、システム10は、多数のビューの画像データを同時に形成する畳み込み(コンボリューション)アルゴリズムを含んでいる。詳しく述べると、複素FFT畳み込みアルゴリズムが、画像データから2つのビューを同時に形成する。より詳しく述べると、N個の要素から成る1つのビューが長さNの複素系列の実数部として扱われ、N個の要素から成る第2のビューが長さNの複素系列の虚数部として扱われる。具体的には、系列 $y(n)$ が形成され、系列 $y(n)$ は、

$$y(n) = v_i(n) + j v_m(n)$$

であり、ここで、

n はサンプル点の番号であり、 $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ 、

50

i はビューフレーム番号であり、 $i = 0, 1, 2, \dots, N_{v-1}$ 、
 m はビューフレーム番号であり、 $i = 0, 1, 2, \dots, N_{v-1}$ 、
 v_i は i 番目のゼロ充填ビューフレームに対応しており、
 v_m は m 番目のゼロ充填ビューフレームに対応している。

v_i 及び v_m は同じビューフレームに由来していてもよいし、異なるビューフレーム、又は立体 (volumetric) 計算機式断層撮影の異なるスライスに由来していてもよい。

【0033】

系列 $y(n)$ を形成した後に、 $y(n)$ の複素 FFT である $Y(n)$ が算出される。次いで、 N 個の点に対する畳み込みカーネルの拡張周波数領域応答が算出される。ここで、応答は、

$$H(k) = H(N - k)$$

となり、ここで、 $k = N/2, \dots, N-1$ であり、 $H(k)$ は、カーネル $h(n)$ の実数 FFT であって、偶関数である。

拡張周波数領域応答 $H(k)$ を用いて $Z(k)$ が以下のように算出される。

【0034】

$$Z(k) = Y(k) \cdot H(k)$$

$Z(k)$ に逆複素 FFT である $z(n)$ が算出され、この結果が実数(Real)の $z(n)$ 及び虚数(Imaginary) の $z(n)$ の各部又は各要素に分離される、即ち単離される。詳しく述べると、各部は、

$$C_{vi} = \text{Real } z(n),$$

$$C_{vm} = \text{Imaginary } z(n)$$

となり、ここで、 C_{vi} は、畳み込み後の i 番目のビューフレームであり、そして C_{vm} は、 m 番目のビューフレームである。

【0035】

畳み込みアルゴリズムを用いると、実行しなければならない順複素 FFT 及び逆複素 FFT の演算回数が減少する。例えば、4つのビューフレームを処理する場合に、公知の畳み込みアルゴリズムは、4回の順実数 FFT 演算と4回の逆実数 FFT 演算とを実行しなければならない。しかしながら、記載した畳み込みアルゴリズムは、2回の順複素 FFT 演算と2回の逆複素 FFT 演算とを要求するのみで画像データを形成する。その結果として、計算効率が向上し、画像を形成するのに必要な時間量を減少させることができる。

【0036】

以上に述べたアルゴリズムは、CT フルオロ画像再構成において画質を劣化させずに計算効率を向上させることを容易にするものである。このようなアルゴリズムはまた、処理時間を短縮すると共に、ビューフレームの数とフレームレートとの間の妥当な兼ね合いを提供する。

本発明の様々な実施例に関する以上の記述から、発明の目的が達せられたことは明らかである。本発明を詳細に記述すると共に図解したが、これらは説明及び例示のみを意図したものであり、限定のためのものであると解釈してはならないことを明瞭に理解されたい。例えば、ここに記載した CT システムは、CT フルオロ・システムである。しかしながら、他の多くの CT システムを用いてもよい。同様に、 w 及び k の値は画質の評価の最終段階として選択されるものとしてここには記載されているが、これらの値のいずれか又はすべてを予め選択してコンピュータに記憶させておいてもよい。更に、記載のオーバースキャン重みは、非線形関数に従って決定されており、即ち $w(\cdot)$ は \cdot に比例していない。しかしながら、オーバースキャン重みを線形関数によって形成してもよいし、又は別の非線形関数によって形成してもよい。加えて、本発明は、ヘリカル・スキャンと関連して記載されているが、本発明をシネ・スキャンに用いてもよい。従って、本発明の要旨は特許請求の範囲によって限定されるものとする。

【図面の簡単な説明】

【図1】CTイメージング・システムの見取り図である。

【図2】図1に示すシステムの概略ブロック図である。

10

20

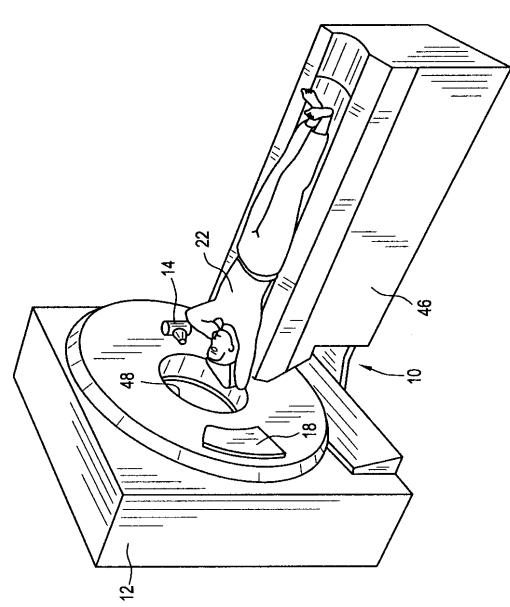
30

40

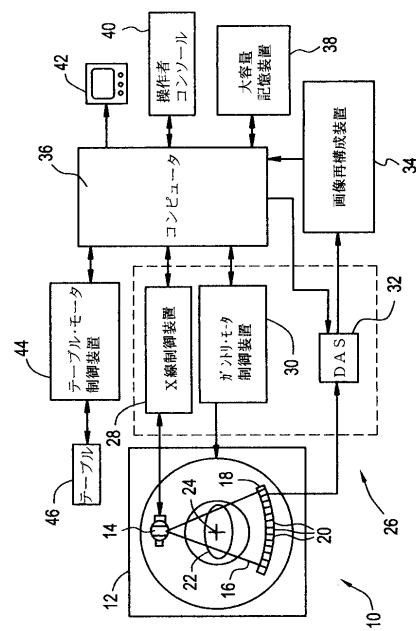
50

【図3】本発明の一実施例に従って基本画像から後続の画像を形成するためのオーバースキャン重み係数対ビュー角度を示すグラフである。

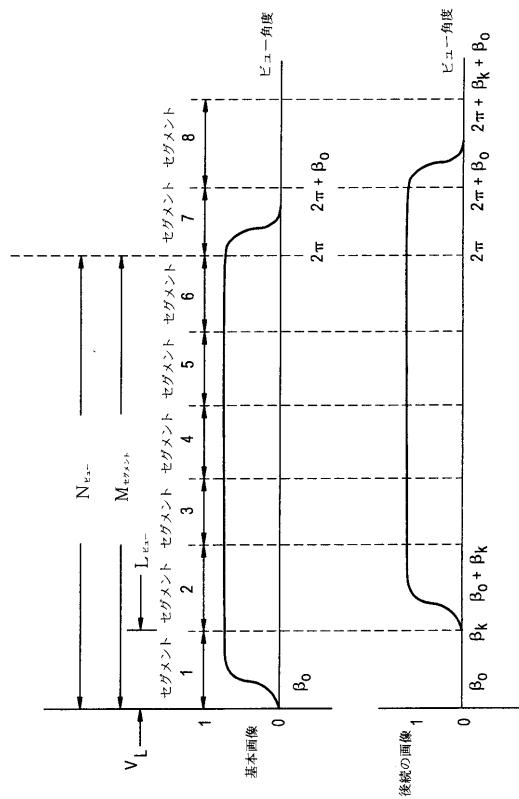
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 サンディープ・ダッタ

アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ニュー・バーリン、サウス・パインウッド・クリーク・ワイ
107、3150番

審査官 遠藤 孝徳

(56)参考文献 特開平8-24252(JP,A)

特開平4-266744(JP,A)

特開平8-196532(JP,A)

特表平9-510370(JP,A)

特開平9-285460(JP,A)

特開平7-194590(JP,A)

特開平8-263638(JP,A)

特開平8-294482(JP,A)

特開平6-54841(JP,A)

特開平4-288149(JP,A)

特開平5-23329(JP,A)

特開平10-57369(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/00 - 6/14

G06T 1/00