

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4549552号  
(P4549552)

(45) 発行日 平成22年9月22日 (2010.9.22)

(24) 登録日 平成22年7月16日 (2010.7.16)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G06F</b>	<b>7/556</b>	<b>(2006.01)</b>	G06F	7/556	A
<b>A61B</b>	<b>6/03</b>	<b>(2006.01)</b>	A61B	6/03	350E
<b>G06T</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T	1/00	290B

請求項の数 10 外国語出願 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2001-39370 (P2001-39370)	(73) 特許権者	300019238
(22) 出願日	平成13年2月16日 (2001.2.16)		ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テクノロジー・カンパニー・エルエルシー
(65) 公開番号	特開2001-306301 (P2001-306301A)		アメリカ合衆国・ウィスコンシン州・53188・ワウケシャ・ノース・グランドビュー・ブルバード・ダブリュー・710・3000
(43) 公開日	平成13年11月2日 (2001.11.2)	(74) 代理人	100137545
審査請求日	平成20年2月14日 (2008.2.14)		弁理士 荒川 聡志
(31) 優先権主張番号	09/507521	(72) 発明者	ミン・シー
(32) 優先日	平成12年2月18日 (2000.2.18)		アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ワーケシャ、ストーニー・リッジ・ドライブ、2213番
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自然対数  $\log(X)$  の高速計算のための方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

自然対数関数を計算するための方法であって、1と2の間の仮数領域を均等間隔のN個の小領域に区分するステップと、前記均等間隔のN個の小領域の各々の中心点  $a_i$  (ここで、 $i = 0, \dots, N-1$ ) を事前計算するステップと、各小領域に対して、mをある数に対する2進浮動小数点表現の2進仮数として、mの1次多項式により  $\log(m)$  が小領域内の任意のmに対して事前に選択した精度範囲内で計算されるようにNの値を十分大きく選択するステップと、mの1次多項式を利用して、演算デバイスのメモリ内に格納された特定の数xの2進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算するステップと、を含み、

前記特定の数xが2進仮数mと共に2進指数eを有しており、さらに、前記の特定の数xの2進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算する前記ステップが、メモリ内の、2進指数e及び2進仮数mを含むxの2進表現の仮数mを区分するステップであって、この区分の第1の最上位部分を領域iに対応させ、この区分の第2の下位部分を領域x ( $x$ は仮数mから基準点  $a_i = 1 + (i + 0.5) / N$  までの距離) に対応させている、区分ステップと、mの1次多項式と  $\log(a_i)$  の事前計算値とを用いて、  $\log(x)$  の近似値を計算するステップと、を含んでおり、

$\log(x)$  の近似値を計算する前記ステップが、 $i = 0, \dots, N-1$  に対して次式により近似値を計算するステップを含む、方法。

$$y = -\log(x) \quad b_i + c_i \cdot x + e \cdot \log(2)$$

上式において、

$$b_i = -\log(a_i) + [1 / (4Na_i)]^2 - [1 + (1 / (2N))] (1/a_i)$$

$$c_i = -1/a_i$$

である。

【請求項 2】

$\log(2)$  の値を事前計算するステップと、各  $i$  に対して  $b_i$  及び  $c_i$  の各値を事前計算するステップと、をさらに含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

自然対数関数を計算するための方法であって、1 と 2 の間の仮数領域を均等間隔の  $N$  個の小領域に区分するステップと、前記均等間隔の  $N$  個の小領域の各々の中心点  $a_i$  (ここで、 $i = 0, \dots, N-1$ ) を事前計算するステップと、各小領域に対して、 $m$  をある数に対する 2 進浮動小数点表現の 2 進仮数として、 $m$  の 1 次多項式により  $\log(m)$  が小領域内の任意の  $m$  に対して事前に選択した確度範囲内で計算されるように  $N$  の値を十分に大きく選択するステップと、 $m$  の 1 次多項式を利用して、演算デバイスのメモリ内に格納された特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算するステップと、を含み、

収集した被検体の投影データから被検体の画像を作成するために、コンピュータ断層撮影 (CT) スキャナにおいて利用されており、

前記特定の数  $x$  が 2 進仮数  $m$  と共に 2 進指数  $e$  を有しており、さらに、特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算する前記ステップが、メモリ内の、2 進指数  $e$  及び 2 進仮数  $m$  を含む  $x$  の 2 進表現の仮数  $m$  を区分するステップであって、この区分の第 1 の最上位部分を領域  $i$  に対応させ、この区分の第 2 の下位部分を領域  $x$  ( $x$  は仮数  $m$  から基準点  $a_i = 1 + (i + 0.5) / N$  までの距離) に対応させている、区分ステップと、 $m$  の 1 次多項式と  $\log(a_i)$  の事前計算値とを用いて、 $\log(x)$  の近似値を計算するステップと、を含んでおり、

$\log(x)$  の近似値を計算する前記ステップが、 $i = 0, \dots, N-1$  に対して次式により近似値を計算するステップを含む、方法。

$$y = -\log(x) \quad b_i + c_i \quad x + e \times \log(2)$$

上式において、

$$b_i = -\log(a_i) + [1 / (4Na_i)]^2 - [1 + (1 / (2N))] (1/a_i)$$

$$c_i = -1/a_i$$

である。

【請求項 4】

$\log(2)$  の値を事前計算するステップと、各  $i$  に対して  $b_i$  及び  $c_i$  の各値を事前計算するステップと、をさらに含む請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

特定の数の 2 進浮動小数点表現を格納するためのメモリを含む演算デバイスであって、1 と 2 の間の仮数領域を均等間隔の  $N$  個の小領域に区分する段階、前記均等間隔の  $N$  個の小領域の各々の中心点  $a_i$  ( $i = 0, \dots, N-1$ ) を事前計算する段階であって、各小領域内において、 $m$  をある数に対する 2 進浮動小数点表現の 2 進仮数として、 $m$  の 1 次多項式により  $\log(m)$  が小領域内の任意の  $m$  に対して事前に選択した確度範囲内で計算されるように、前記  $N$  の値を十分に大きい値とする段階、 $m$  の 1 次多項式を利用して、前記メモリ内に格納された特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算する段階、を行うように構成されており、

特定の数  $x$  が 2 進仮数  $m$  と共に 2 進指数  $e$  を有しており、前記デバイスを、特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算するように構成する段階が、前記デバイスのメモリ内の、2 進指数  $e$  及び 2 進仮数  $m$  を含む  $x$  の 2 進表現の仮数  $m$  を区分し、この区分の第 1 の最上位部分を領域  $i$  に対応させ、この区分の第 2 の下位部分を領域  $x$  ( $x$  は仮数  $m$  から基準点  $a_i = 1 + (i + 0.5) / N$  までの距離) に対応させるように区分する段階、 $m$  の 1 次多項式及び  $\log(a_i)$  の事前計算値を用いて、 $\log(x)$

10

20

30

40

50

の近似値を計算する段階、を行うように前記デバイスを構成することを含む、前記デバイスを、 $\log(x)$ の近似値を計算するように構成する段階が、前記デバイスを、 $i = 0, \dots, N - 1$ において次式により近似値を計算するように構成することを含む、演算デバイス。

$$y = -\log(x) \quad b_i + c_i \quad x + e \times \log(2)$$

上式において、

$$b_i = -\log(a_i) + [1 / (4 N a_i)]^2 - [1 + (1 / (2 N))] (1 / a_i)$$

$$c_i = -1 / a_i$$

である。

【請求項6】

前記数  $x$  が、符号ビットの1ビットと、8ビットの指数と、 $b_{22}$ を最上位ビットとして順に  $b_{22}$ から  $b_0$ までのビットからなる23ビットの2進仮数  $m$ とを有している32ビット表現により表現されており、前記デバイスを、仮数  $m$ を区分するように構成する段階が、 $b_{22}$ から  $b_{16}$ までのビットからなる第1の群を指標  $i$ として選択し、 $b_{15}$ から  $b_0$ までのビットを  $x$ として選択するように前記システムを構成することを含む、請求項5に記載の演算デバイス。

【請求項7】

コンピュータ断層撮影(CT)スキャナ内に存在すると共に、前記CTスキャナが収集した被検体の投影データから被検体の画像を作成する際に対数値計算のために利用されている請求項6に記載の演算デバイス。

【請求項8】

前記CTスキャナが、被検体の画像を作成するために前記演算デバイスを利用して画像再構成装置における自然対数を計算する、請求項7に記載の演算デバイス。

【請求項9】

特定の数の2進浮動小数表現を格納するためのメモリを含む演算デバイスであって、1と2の間の仮数領域を均等間隔の  $N$ 個の小領域に区分する段階、前記均等間隔の  $N$ 個の小領域の各々の中心点  $a_i$  ( $i = 0, \dots, N - 1$ )を事前計算する段階であって、各小領域内において、 $m$ をある数に対する2進浮動小数点表現の2進仮数として、 $m$ の1次多項式により  $\log(m)$ が小領域内の任意の  $m$ に対して事前に選択した確度範囲内で計算されるように、前記  $N$ の値を十分に大きい値とする段階、 $m$ の1次多項式を利用して、前記メモリ内に格納された特定の数  $x$ の2進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$ の値を計算する段階、を行うように構成されており、

コンピュータ断層撮影(CT)スキャナ内に存在すると共に、前記CTスキャナが収集した被検体の投影データから被検体の画像を作成する際に対数値計算のために利用されており、

特定の数  $x$ が、2進仮数  $m$ と共に2進指数  $e$ を有するように格納されており、さらに、前記デバイスを、特定の数  $x$ の2進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$ の値を計算するように構成する段階が、前記デバイスを、メモリ内の、2進指数  $e$ 及び2進仮数  $m$ を含む  $x$ の2進表現の仮数  $m$ を区分する段階であって、この区分の第1の最上位部分を領域  $i$ に対応させ、この区分の第2の下位部分を領域  $x$  ( $x$ は仮数  $m$ から基準点  $a_i = 1 + (i + 0.5) / N$ までの距離)に対応させる段階、 $m$ の1次多項式と  $\log(a_i)$ の事前計算値とを用いて、 $\log(x)$ の近似値を計算する段階、を行うように構成することを含む、

前記デバイスを、 $\log(x)$ の近似値を計算するように構成させることが、前記デバイスを、 $i = 0, \dots, N - 1$ において次式により近似値を計算するように構成させることを含む、演算デバイス。

$$y = -\log(x) \quad b_i + c_i \quad x + e \times \log(2)$$

上式において、

$$b_i = -\log(a_i) + [1 / (4 N a_i)]^2 - [1 + (1 / (2 N))] (1 / a_i)$$

$$c_i = -1 / a_i$$

10

20

30

40

50

である。

【請求項 10】

さらに、 $b_i$  及び  $c_i$  の事前計算値をルックアップ・テーブルに格納するように構成されている請求項 9 に記載の演算デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、演算集約的なアルゴリズムを計算するための方法及び装置に関し、より具体的には、コンピュータ断層撮影画像処理やその他の用途に特に有用な方式で  $\log(x)$ 、又は同様な  $-\log(x)$  を計算するための方法及び装置に関する。

10

【0002】

【発明の背景】

周知のコンピュータ断層撮影 (CT) イメージング・システムの少なくとも 1 つの構成では、X 線源は、デカルト座標系の X - Y 平面 (一般に「画像作成面」と呼ばれる) 内に位置するようにコリメートされたファンビーム (扇形状ビーム) を放出する。X 線ビームは、例えば患者などの画像作成対象物を透過する。ビームは、この対象物によって減衰を受けた後、放射線検出器のアレイ上に入射する。検出器アレイで受け取った減衰したビーム状放射線の強度は、対象物による X 線ビームの減衰に依存する。このアレイの各検出器素子は、それぞれの検出器位置でのビーム減衰の計測値に相当する電気信号を別々に発生させる。すべての検出器からの減衰量計測値を別々に収集し、透過プロフィールが作成される。

20

【0003】

周知の第 3 世代 CT システムでは、X 線源及び検出器アレイは、X 線ビームが画像作成対象物を切る角度が一定に変化するようにして、画像作成面内でこの画像作成対象物の周りをガントリと共に回転する。あるガントリ角度で検出器アレイより得られる一群の X 線減衰量計測値 (すなわち、投影データ) のことを「ビュー (view)」という。また、画像作成対象物の「スキャン・データ」は、X 線源と検出器が 1 回転する間に、様々なガントリ角度、すなわちビュー角度で得られるビューの集合からなる。アキシャル・スキャンでは、この投影データを処理し、画像作成対象物を透過させて得た 2 次元スライスに対応する画像を構成させる。投影データの組から画像を再構成させるための一方法に、当技術分野においてフィルタ補正逆投影法 (filtered back projection) と呼ぶものがある。この処理方法では、スキャンにより得た減衰量計測値を「CT 値」、別名「ハウンスフィールド値」という整数に変換し、これらの整数値を用いて陰極線管ディスプレイ上の対応するピクセルの輝度を制御する。

30

【0004】

コンピュータ断層撮影 (CT) 画像処理において、負の自然対数関数  $-\log(x)$  は重要であり且つ演算集約的なアルゴリズムである。周知のシステムでは、この関数は 5 次多項式を用いて近似されている。しかし、この多項式により消費される処理時間は全体の画像処理時間の 20% を超えており、なおかつ比較的大きな近似誤差及び誤差標準偏差を生じさせている。

40

【0005】

正の浮動小数点数  $x$  は次式のように表現できる。

【0006】

$$x = m \times 2^e \quad \text{式 (1)}$$

上式において、 $m$  ( $1 < m < 2$ ) は仮数であり、 $e$  は 2 進の指数である。

【0007】

式 (1) を用いると、 $-\log(x)$  は次式

$$y = -\log(x) = -\log(m) - e \times \log(2) \quad \text{式 (2)}$$

により表記できる。

【0008】

50

次の式は、領域  $1 < m < 2$  において有限次数の多項式を用いて  $\log(m)$  の近似をしたものである。一般的に言って、多項式の次数が高いほどその近似が良好となるが、演算負荷の大きさは多項式の次数に比例する。例えば、現在使用されている 5 次多項式では、次式により表記される。

【0009】

$$\log(m) \approx (a_0 + a_1m + a_2m^2 + a_3m^3 + a_4m^4 + a_5m^5) \quad \text{式(3a)}$$

すなわち、

$$y = -\log(x) \quad \text{10}$$

$$\approx -[a_0 + m(a_1 + m(a_2 + m(a_3 + m(a_4 + a_5m))))] + e \times a_6 \quad \text{式(3b)}$$

。

【0010】

式(3b)において、 $a_0 \sim a_6$  は事前計算された定数である。 $-\log(x)$  を計算するためには、6 回の加算と 6 回の乗算が必要であり、さらに仮数及び指数の抽出が必要である。

【0011】

より効率的かつより正確に画像を処理するために、IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) の浮動小数点精度に一致した数値確度を達成しながら、 $-\log(x)$  の計算に使用する近似の複雑性を低下させるための方法及び装置を提供することが望ましい。

【0012】

【発明の概要】

したがって、本発明の実施の一形態では、自然対数関数を計算するための方法であって、1 と 2 の間の仮数領域を均等間隔の  $N$  個の小領域に区分するステップと、均等間隔の  $N$  個の小領域の各々の中心点  $a_i$  (ここで、 $i = 0, \dots, N-1$ ) を事前計算するステップと、各小領域に対して、 $m$  をある数に対する 2 進浮動小数点表現の仮数として、 $m$  の 1 次多項式により  $\log(m)$  が小領域内の任意の  $m$  に対して事前に選択した確度範囲内で計算されるように、 $N$  の値を十分大きく選択するステップと、 $m$  の 1 次多項式を利用して、演算デバイスのメモリ内に格納された特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対する  $\log(x)$  の値を計算するステップと、を含む方法である。

【0013】

この実施形態及び本明細書に記載したその他の実施形態により、IEEE の浮動小数点精度に一致した数値確度を達成しながら、自然対数を計算するために使用する近似の複雑性を低下できることが理解されよう。

【0014】

【発明の実施の形態】

図 1 及び図 2 を参照すると、「第 3 世代」の CT スキャナに典型的なガントリ 12 を含むものとして、コンピュータ断層撮影 (CT) イメージング・システム 10 を示している。ガントリ 12 は、このガントリ 12 の対向面上に位置する検出器アレイ 18 に向けて X 線ビーム 16 を放出する X 線源 14 を有する。検出器アレイ 18 は、投射され被検体 22 (例えば、患者) を透過した X 線を一体となって検知する検出器素子 20 により形成される。検出器アレイ 18 は、単一スライス構成で製作される場合とマルチ・スライス構成で製作される場合がある。各検出器素子 20 は、入射した X 線ビームの強度を表す電気信号、すなわち患者 22 を透過した X 線ビームの減衰を表す電気信号を発生させる。X 線投影データを収集するためのスキャンの間に、ガントリ 12 及びガントリ上に装着されたコンポーネントは回転中心 24 の周りを回転する。

## 【 0 0 1 5 】

ガントリ 1 2 の回転及び X 線源 1 4 の動作は、C T システム 1 0 の制御機構 2 6 により制御される。制御機構 2 6 は、X 線源 1 4 に電力及びタイミング信号を供給する X 線制御装置 2 8 と、ガントリ 1 2 の回転速度及び位置を制御するガントリ・モータ制御装置 3 0 とを含む。制御機構 2 6 内にはデータ収集システム ( D A S ) 3 2 があり、これによって検出器素子 2 0 からのアナログ・データをサンプリングし、このデータを後続の処理のためにデジタル信号に変換する。画像再構成装置 3 4 は、サンプリングされデジタル化された X 線データを D A S 3 2 から受け取り、高速で画像再構成を行う。再構成された画像はコンピュータ 3 6 に入力として渡され、コンピュータにより大容量記憶装置 3 8 内に格納される。

10

## 【 0 0 1 6 】

コンピュータ 3 6 はまた、キーボードを有するコンソール 4 0 を介して、オペレータからのコマンド及びスキャン・パラメータを受け取る。付属の陰極線管ディスプレイ 4 2 により、オペレータはコンピュータ 3 6 からの再構成画像やその他のデータを観察することができる。コンピュータ 3 6 は、オペレータの発したコマンド及びパラメータを用いて、D A S 3 2、X 線制御装置 2 8 及びガントリ・モータ制御装置 3 0 に対して制御信号や制御情報を提供する。さらにコンピュータ 3 6 は、モータ式テーブル 4 6 を制御してガントリ 1 2 内での患者 2 2 の位置決めをするためのテーブル・モータ制御装置 4 4 を操作する。詳細には、テーブル 4 6 により患者 2 2 の各部分はガントリ開口 4 8 を通過できる。

20

## 【 0 0 1 7 】

画像再構成装置 3 4 では、画像を作成するために負の自然対数関数  $-\log(m)$  を用いている。本発明の実施の一形態では、上記式 ( 3 a ) の関数  $\log(m)$  は、次式のように表記できる。

$$\log(m) = \log(a) + \frac{\log(m)'|_{m=a}}{1!} (m-a) + \frac{\log(m)''|_{m=a}}{2!} (m-a)^2 + \dots$$

$$+ \frac{\log(m)^{(n)}|_{m=a}}{N!} (m-a)^n \quad (4a)$$

30

## 【 0 0 1 9 】

すなわち、

## 【 0 0 2 0 】

## 【 数 2 】

$$\log(m) \approx \log(a) + \frac{(m-a)}{a} - \frac{(m-a)^2}{2a^2} + \dots \quad (4b)$$

40

## 【 0 0 2 1 】

。

## 【 0 0 2 2 】

上式において、a は既知の基準点である。上記関数の誤差 ( e r r o r ) は次式により表記できる。

## 【 0 0 2 3 】

## 【 数 3 】

$$\text{error} \leq \left| \frac{\log(m)^{(n+1)} \Big|_{m=a}}{N!} (m-a)^{n+1} \right| \quad (5)$$

【 0 0 2 4 】

【 0 0 2 5 】

( $m - a$ ) < 1 であるため、誤差を最小にするためには 2 つの方式がある。その 1 つは近似の次数を上げることであり、もう一方は  $m$  から  $a$  までの距離を最小にすることである。仮数  $m$  は 1 と 2 の間にあるため、本発明の実施の一形態では、1 と 2 の間の領域を均等間隔の  $N$  個の小領域に区分する。これらの小領域の各々の中心を事前計算し、これを式 (4 a) 及び式 (4 b) における基準点として使用する。十分に多くの小領域に区分することによって、低い次数の多項式関数により C T イメージング目的のための十分な確度が得られる。詳細には、小領域の数を十分に大きく選択することにより、具体的な任意の小領域内における任意の  $m$  に対して  $\log(m)$  の値を 1 次多項式により当該小領域内で事前に選択した確度範囲内で計算できる。例えば、コンピュータ 3 6 は、そのメモリ内に格納した特定の数  $x$  の 2 進浮動小数点表現に対して、 $m$  の 1 次多項式を用いて  $\log(x)$  の値を計算する。

10

【 0 0 2 6 】

事前計算した基準点からなる組を用いた 1 次多項式に基づく  $\log(m)$  の近似は、次式で表される。

20

【 0 0 2 7 】

$$\log(m) \approx \log(a_i) + [(m - a_i) / a_i] \quad \text{式 (6)}$$

ここで、 $i = 0, \dots, N - 1$

$$1 \leq a_i < 2$$

上式において、 $a_i$  は所与の仮数  $m$  に最も近い基準点である。

【 0 0 2 8 】

本発明の実施の一形態では、6 回の演算処理を要するような式  $i = \text{round}((m - 1) \times N)$  を用いて小領域の指標を計算せずに、以下のようにして演算負荷を減少させている。区分アルゴリズムによりメモリ内の 2 進浮動小数点数の仮数を 2 つの小領域に分割する。この 2 つの小領域は、指標  $i$  と、仮数  $m$  から基準点  $a_i$  までの距離である  $x$  を有する。指標  $i$  及び  $x$  はコンピュータ・システムに格納された IEEE 浮動小数点数から直接抽出され、これにより演算時間が短縮されかつ確度が向上する。実施の一形態では、仮数の区分は図 3 の例示のように行われる。図において、指標  $i$  は 0 から 1 2 7 までの範囲にあり、各領域は図 3 に示すデータから抽出される情報を表している。さらに詳細には、単精度 IEEE 浮動小数点数において、 $b_{31}$  は符号ビット、 $b_{30}$  は指数  $e$  の最上位ビット、 $b_{23}$  は指数  $e$  の最下位ビット、 $b_{22}$  は仮数  $m$  の最上位ビット、 $b_0$  は仮数  $m$  の最下位ビットをそれぞれ表す。(ビット  $b$  の番号付けに対して異なる指定を使用することを所望する場合には、当業者によって記述に関して表記上の一貫性のために必要となる適当な変更を行うことができる。) この単精度の実施形態では、指数  $e$  は  $b_{30}$  から  $b_{23}$  までのビットから直接抽出され、領域  $i$  は  $b_{22}$  から  $b_{16}$  までのビットから直接抽出され、また  $x$  (仮数  $m$  から基準点  $a_i$  までの距離) は  $b_{15}$  から  $b_0$  までのビットから直接抽出される。

30

40

【 0 0 2 9 】

図 3 に示す抽出を用いて、各小領域における式 (6) の最大誤差は次式により推定される。

【 0 0 3 0 】

$$\text{error} \approx [1 / (2 a_i^2)] \times [1 / (2 N)]^2 \quad \text{式 (7 a)}$$

ここで、 $i = 0, \dots, N - 1$

$$1 \leq a_i < 2$$

50

。

## 【0031】

式(7a)から、第1次近似の誤差は常に正であり、誤差に偏りのあることが分かる。最大誤差を最小限にするために、実施の一形態では、式(7a)の平均誤差を式(6)から減算する。したがって、不偏誤差は次式で表される。

## 【0032】

$$| \text{error} | = [ 1 / ( 4 N a_i ) ]^2 \quad \text{式(7b)}$$

ここで、 $i = 0, \dots, N - 1$

$$1 - a_i < 2$$

。

## 【0033】

式(6)から式(7b)を減算することにより、次式により表される  $-\log(x)$  の不偏の1次多項式関数が得られる。

## 【0034】

$$y = -\log(x) - b_i + c_i x + e x \log(2) \quad \text{式(8)}$$

ここで、 $i = 0, \dots, N - 1$

$$b_i = -\log(a_i) + [1/(4Na_i)]^2 - [1+(1/(2N))] (1/a_i)$$

$$c_i = -1/a_i \quad \text{式(9)}$$

。

## 【0035】

上式において、 $a_i = 1 + (i + 0.5) / N$ であり、また  $x$  は仮数  $m$  から基準点までの距離である。値  $x$  は、IEEE浮動小数点データから直接抽出される。実施の一形態では、 $\log(2)$  と、 $b_i$  及び  $c_i$  とが事前計算され、初期化時点においてルックアップ・テーブル内に記憶されている。実施の一形態では、 $b_i$  の値は  $\log(a_i)$  の事前計算値から決定される。比較してみると、式(8)による演算に必要な時間は、式(3b)による5次近似を計算するのに必要な時間の1/3だけでよい。

## 【0036】

$m$  と  $x$  の関係を考慮に入れながら、 $\log(x)$ 、あるいは  $-\log(x)$  の近似値を  $m$  の1次多項式及び  $\log(a_i)$  の事前計算値を用いて計算する。

## 【0037】

本発明の実施の一形態では、その画像再構成装置34は、CTイメージング・システム10により収集した投影データから被検体を画像化する際に、ソフトウェアまたはファームウェアにより本発明の1つまたは複数の方法を用いた対数値計算をするように構成されている。

## 【0038】

本発明の様々な実施形態に関する以上の記述から、IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)浮動小数点精度と一致した数値確度を維持しながら、 $-\log(x)$  を計算するために使用する近似の複雑性を低下させることができることは明らかである。したがって、CTイメージング・システム10により処理される画像では処理がより効率的となると共に、ディテール(細部)が失われることがない。本発明の具体的な実施形態を詳細に記載し図示してきたが、これらは説明および例示のためのものに過ぎず、本発明を限定する意図ではないことを明瞭に理解されたい。例えば、 $\log(x)$  及び  $-\log(x)$  に対する改良型の演算の実施形態は、演算の正確性を維持させながら効率を上昇させることを必要とする任意の演算システムに組み込むことができる。さらに、本発明は、本明細書において詳細に検討したものと比べてより高い精度またはより低い精度を有する浮動小数点数と共に使用するのに適している。こうした異なる精度に対応させるために必要となる修正は、本明細書に記載した本発明を完全に理解すれば、当業者には明らかであろう。したがって、本発明の精神及び範囲は特許請求の範囲の各項及びこれと法的に等価なものによって限定されるべきである。

## 【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【図1】CTイメージング・システムの外観図である。

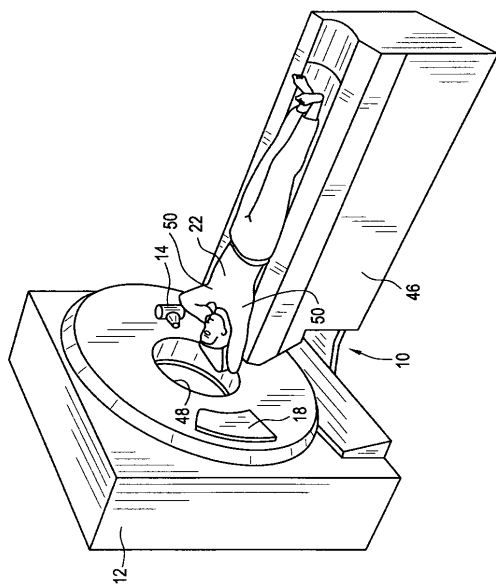
【図2】図1に示すシステムのブロック図である。

【図3】本発明の実施の一形態により区分され、IEEEの単精度2進浮動小数点形式で格納されている数を表した図である。

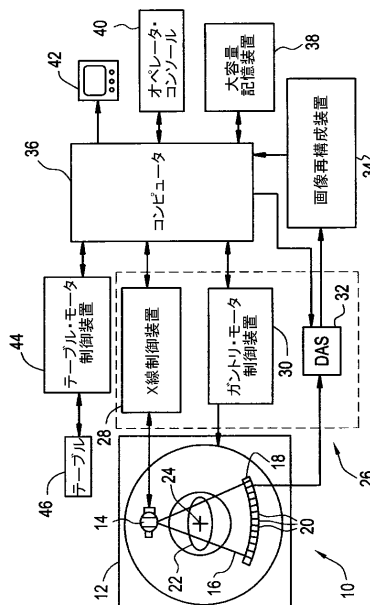
【符号の説明】

- 10 CTイメージング・システム
- 12 ガントリ
- 14 X線源
- 16 X線ビーム
- 18 検出器アレイ
- 20 検出器素子
- 22 患者
- 24 回転中心
- 26 制御機構
- 32 データ収集システム(DAS)
- 42 陰極線管ディスプレイ
- 48 ガントリ開口

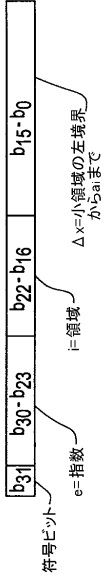
【図1】



【図2】



【 図 3 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 シャロン・シャオロン・ワン  
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ブルックフィールド、マウンテン・ドライブ、3325番

審査官 田中 友章

(56)参考文献 特開平03-113532(JP,A)  
特開平07-168700(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 7/556

A61B 6/03

G06T 1/00