

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5186500号
(P5186500)

(45) 発行日 平成25年4月17日(2013.4.17)

(24) 登録日 平成25年1月25日(2013.1.25)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 23/04 (2006.01)
HO 3 M 1/12 (2006.01)GO 1 N 23/04
HO 3 M 1/12 B

請求項の数 22 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2009-525604 (P2009-525604)
 (86) (22) 出願日 平成19年8月21日(2007.8.21)
 (65) 公表番号 特表2010-501855 (P2010-501855A)
 (43) 公表日 平成22年1月21日(2010.1.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/018450
 (87) 国際公開番号 W02008/024327
 (87) 国際公開日 平成20年2月28日(2008.2.28)
 審査請求日 平成21年4月17日(2009.4.17)
 (31) 優先権主張番号 60/839,307
 (32) 優先日 平成18年8月22日(2006.8.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/725,261
 (32) 優先日 平成19年3月19日(2007.3.19)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 501144003
 アナログ・デバイス・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州ノーウ
 ッド、ワン・テクノロジー・ウェイ(番地
 なし)
 (74) 代理人 100102842
 弁理士 葛和 清司
 (72) 発明者 ブルーアー、ロバート、ジョン
 イギリス国 バークシャー州 アールジー
 17 8 エックスティー、ランボルン、オ
 ックスフォード ストリート 22

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信号変化を特定する方法、および同方法を実現するように配設された回路を含む装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定ウィンドウ全体にわたる、積分器出力変数の変化を推定する方法であって、

a) 前記測定ウィンドウの間に前記変数の複数サンプルを採取するステップ、

b) 各サンプルと対応づけられる重みを定義するステップであって、各重みが前記測定ウィンドウ内での前記サンプルの位置の所定の関数であり、前記重みは、前記ウィンドウの中心領域におけるよりも、前記測定ウィンドウの縁端に向かって量が大きくなり、前記重みがサンプルを修正するのに使用される、前記ステップ、

c) 前記変数の変化の推定値を形成するために、前記サンプルを、前記サンプルに関連した重みを考慮に入れて処理するステップ

を含み、

ここで、測定ウィンドウが第1の部分と第2の部分とに細分割されており、前記第1の部分における少なくとも1つの測定値と、前記第2の部分における少なくとも1つの測定値との間に差分が形成され、

第1の部分からの測定値が、第2の部分からの測定値と対にされて、変数の変化の推定値を形成し、少なくとも2つの推定値が平均化される、

前記方法。

【請求項 2】

各測定値が重み値で修正される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

測定値が、それぞれの重みに従って重みづけされ、重みづけされた測定値が合成されて平均測定値を形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

第 1 の複数の重みつき測定値を合成して、第 1 の平均測定値を形成し、第 2 の複数の重みつき測定値を合成して、第 2 の平均測定値を形成し、変数の変化を、前記第 1 および第 2 の平均測定値を使用して推定する、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

変数の変化を、第 1 および第 2 の平均測定値間の差から推定する、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

変数の変化率の推定値に、平均測定値間の空間的または時間的な間隔をさらに考慮に入れる、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

重みづけが、1 または 0 の大きさを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

重みづけが、第 1 の部分または第 2 の部分の少なくとも 1 つの内の位置の関数として、単調に変化する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

第 1 の部分または第 2 の部分の少なくとも 1 つの内で、そのそれぞれの重みによって修正された、サンプル移動総和を形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

サンプルを対にして、処理に、各対におけるサンプル間の間隔を考慮に入れる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

測定ウィンドウ内のサンプルは、複数のパラメータに従って選択され、第 1 のパラメータは、測定ウィンドウ内のサンプルの数を表わし、第 2 のパラメータは、前記測定ウィンドウの各端から選択されるサンプルの数を表わし、第 3 のパラメータは、対にされたサンプル間の間隔を表わす、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

サンプルの 1 つまたは 2 つ以上が、当該 1 つまたは 2 つ以上サンプルが、期待されるのと異なる、先行のサンプルからの間隔で採取されるように、外部事象によってトリガされる方法であって、間隔の変化を考慮に入れる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

変倍係数が計算され、変数の変化の推定値のための該変倍係数は、使用されるサンプル対の数、およびサンプル対間の間隔の関数である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

変倍係数が、期待されるサンプル間隔から修正された事例に発生するサンプルに応じて修正される、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

測定ウィンドウの間の積分器の出力の変化を推定する装置であって、

a) 前記測定ウィンドウの間に前記積分器の出力の複数のサンプルを採取するように構成されたアナログ・デジタル変換器、

b) 各サンプルに対応づけられた重みに応じて、前記複数のサンプルのサンプル値を処理するように構成されたプロセッサであって、前記重みが、前記測定ウィンドウ内の前記サンプルの位置の所定の関数であり、前記重みが前記測定ウィンドウの中心よりもその縁端に向かって量が大きくなる、前記プロセッサを含み、

ここで、測定ウィンドウが第 1 の部分と第 2 の部分とに細分割されており、前記第 1 の部分における少なくとも 1 つの測定値と、前記第 2 の部分における少なくとも 1 つの測定値との間に差分が形成され、

第 1 の部分からの測定値が、第 2 の部分からの測定値と対にされて、変数の変化の推定

10

20

30

40

50

値を形成し、少なくとも2つの推定値が平均化される、前記装置。

【請求項16】

第1の部分または第2の部分のそれぞれの内に、プロセッサが、サンプルに関連した重みで修正されたサンプル値の移動総和を保持し、前記第1の部分内のサンプルが前記移動総和に加算され、前記第2の部分内のサンプルが移動総和から減算される、またはその逆である、請求項15に記載の装置。

【請求項17】

重みが、第1の部分または第2の部分の少なくとも1つの内の位置の関数として単調に変化する、請求項16に記載の装置。

【請求項18】

重みの変動のし方が、パラメータ化形式で記述される、請求項17に記載の装置。

【請求項19】

CTスキャナと組み合わせた装置であって、検出器内の電流の積分測定値をサンプリングするとともに、測定ウィンドウにおける電流を代表する出力を提供するように配設された、請求項15に記載の装置。

【請求項20】

合成用のサンプルの選択を、測定ウィンドウ内で発生するサンプル数を記述する第1のパラメータ、第1のサンプルセットに含まれるサンプル数と、第2のサンプルセットに含まれるサンプル数とを記述する第2のパラメータ、および前記サンプルセット間の間隔を記述する第3のパラメータに基づいて行うように配設された、請求項15に記載の装置。

【請求項21】

サンプルの不規則サンプリングを補償するようにさらに配設された、請求項15に記載の装置。

【請求項22】

測定量の推定値を形成するために、連続して発生する、合成用のサンプルを選択する方法であって、第1のパラメータで計算ウィンドウの長さを定義すること、第2のパラメータで前記計算ウィンドウの対向端から選択される測定値の数を定義すること、および第3のパラメータで前記計算ウィンドウの対向端から選択されるサンプル間の間隔を定義することを含み、

ここで、計算ウィンドウが第1の部分と第2の部分とに細分割されており、前記第1の部分における少なくとも1つの測定値と、前記第2の部分における少なくとも1つの測定値との間に差分が形成され、

第1の部分からの測定値が、第2の部分からの測定値と対にされて、変数の変化の推定値を形成し、少なくとも2つの推定値が平均化される、前記方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ある時間周期にわたる信号の変化、またはオーバーサンプリングされた信号の勾配を特定する方法、およびオーバーサンプリングされた信号の勾配または変化を特定する回路を含む装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電流などのパラメータを、その電流を時間軸で積分することによって推定できることが望ましいことが多い。この積分の傾きは、電流の平均値を表わす。次いで、この平均値を、例えば、第1の時点においてサンプルを採取し、第2の時点においてサンプルを採取し、そして、2つの値の間の差をとり差分を得ることによってデジタル化し、それによって、サンプル周期中の勾配を推定する。このように1つまたは2つのサンプルに頼ると、測定値がノイズの影響を受け易くなる可能性がある。信号をオーバーサンプリングすると

10

20

30

40

50

、パラメータの測定値を改善することはできるが、オーバーサンプリングは、計算上のオーバーヘッドを生じる可能性がある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】「Numerical recipes in C: the art of scientific computing」、P662、ISBN 0-521-43105-5

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

本発明の第1の観点によれば、測定ウィンドウ全体にわたる変数の変化を推定する方法であって、

a) 前記測定ウィンドウの間に前記変数の複数のサンプルを採取するステップ；

b) 各サンプルと対応づけられる重みを定義するステップであって、前記重みが測定ウィンドウ内での前記サンプルの位置の関数として変動する、前記ステップ；

c) 前記変数の変化の推定値を形成するために、前記サンプルを、それらの重みを考慮して処理するステップを含む、前記方法が提供される。

【0005】

本発明の第2の観点によれば、測定ウィンドウの間の測定量の変化を推定する装置であって、

20

a) 前記測定ウィンドウの間に前記測定量の複数のサンプルを採取するステップ；および

b) 各サンプルに対応づけられた重みに応じて、前記サンプル値を処理するステップであって、前記重みが、前記測定ウィンドウ内の前記サンプルの位置の関数として変動する、前記ステップを含む、前記装置が提供される。

【0006】

このように、専用ハードウェアにおいて実行可能な計算上簡単な技法を用いながらも、変数/測定量の推定値の、信号対ノイズ比を改善することができる。

おそらくは、測定ウィンドウがCTスキャナ(computerised tomography scanner)からの「視界(view)」を表わし、そのスキャンヘッドが速度変化の影響を受けることが理由で、測定ウィンドウの長さが時間とともに変動する可能性のある場合には、サンプルのそれぞれが時間軸において等間隔ではないことを考慮に入れる必要がある。

30

【0007】

本発明の第3の観点によれば、測定量の推定値を形成するために、連続して発生する、合成用のサンプルを選択する方法であって、第1のパラメータが計算ウィンドウの長さを定義し、第2のパラメータが前記計算ウィンドウの対向端から選択される測定値の数を定義し、第3のパラメータが前記計算ウィンドウの対向端から選択されるサンプル間の間隔を定義する、前記方法が提供される。

【課題を解決するための手段】

【0008】

40

添付の図面を参照して、本発明を例示としてのみ、さらに説明する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、サンプリングウィンドウW1内においてオーバーサンプリングされた信号に対する複数のサンプルを説明する模式図である。

【図2】図2aは、図1のサンプル内で、サンプルS1とS12の間の勾配の計算を、勾配内での誤差が計算に与える影響とともに説明する模式図である。図2bは、図1のサンプル内で、サンプルS1とS8の間の勾配の計算を、勾配内での誤差が計算に与える影響とともに説明する模式図である。

【図3】図3は、平均サンプル値を計算するために、サンプルから再選択することの効果

50

を説明する模式図である。

【図4】図4 aは、図1からオーバーサンプルのプロットを再生した図である。図4 b ~ 4 eは、サンプルウィンドウW内で適用される重み関数の例を示す図である。

【図5】図5は、本発明の方法を実現するように適合されたプロセッサを含む装置を説明する模式図である。

【図6】図6 a ~ 6 dは、図4 b ~ 4 eに示す重み関数の代替表現を示す図である。

【図7】図7は、各測定ウィンドウ内の最後のサンプルに対してサンプル間の時間周期の伸長が発生した、サンプル列を説明する図である。

【図8】図8、8 aおよび8 bは、サンプル列に対するパラメータ化方式を説明する図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0010】

ここで、規則的なサンプルレートで、一連の測定値 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ を得るようにサンプリングするように配設されたADCがあるとして、ここでさらにy値のそれぞれは測定誤差 σ_i を有するが、簡単にするために、それぞれのx値は誤差なしとみなすことができると仮定する。

【0011】

ここで、次式

$$y = a + bx$$

で表わされる直線を、測定値にあてはめることが望ましい場合には、次のカイ二乗関数を使用することができる。

20

【数1】

$$\chi^2(a, b) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - a - bx_i}{\sigma_i} \right)^2$$

測定誤差がないとすると、aおよびbの値は、これらのパラメータに対する導関数が最小化できるので、推定することができる。

【数2】

30

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a} = 0 = -2 \sum_{i=1}^N \frac{y_i - a - bx_i}{\sigma_i^2}$$

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial b} = 0 = -2 \sum_{i=1}^N \frac{x_i (y_i - a - bx_i)}{\sigma_i^2}$$

40

【0012】

さらに、以下のように定義できることがわかっている（例えば、非特許文献1を参照）。

【数 3】

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}$$

$$Sx = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_i^2}$$

10

$$Sy = \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\sigma_i^2}$$

$$Sxx = \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}$$

20

$$Sxy = \sum_{i=1}^N \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2}$$

【 0 0 1 3 】

次に、

【数 4】

30

$$\Delta = S Sxx - (Sx)^2$$

とすると、

【数 5】

$$a = \frac{SxxSy - SxSxy}{\Delta}$$

40

$$b = \frac{SSxy - SxSy}{\Delta}$$

が得られる。

【 0 0 1 4 】

簡単のために、サンプルは 10 個であり、 σ_i は一定であるとする。
ここで、次のことがわかる：

50

・ S の計算には、それぞれ 1 回の乗算および減算、ならびに 10 回の積算またはさらに 1 回の乗算を必要とする。この値は、 が測定ウィンドウ間で同一であると仮定できる場合には、計算は一度だけ必要である。

・ S x の計算は、

【数 6】

$$\frac{1}{\sigma_i^2}$$

が先行する S の計算から予め計算されている場合には、簡略化することができる。これが 10
あてはまる場合には、10 回の乗算と 10 回の積算に簡略化することができる。

・ S y の計算は、同様に、10 回の乗算と 10 回の積算とに簡略化することができる。

・ S x x の計算も、20 回の乗算と 10 回の積算とに簡略化することができる。

・ S x y の計算も、20 回の乗算と 10 回の積算とに簡略化することができる。

【0015】

の計算は、さらに 2 回の乗算と 1 回の減算である。a および b の計算は、それぞれ、さらに 2 回の乗算、1 回の減算および 1 回の除算である。

このように、10 個のサンプルから値 a および b を推定するには、50 回の積算、67
回の乗算、3 回の除算および 3 回の減算を必要とする。勾配 b だけを必要とする場合でも、
なお S、S x、S y、S x x および S x y を計算しなくてはならず、処理パワーは実質 20
上、節約されない。

【0016】

さらに、

【数 7】

$$\frac{1}{\sigma^2}$$

が 1 に等しく簡略化されても、b の推定には、なお 50 回の積算と 20 回を超える乗算を 30
含む。これは計算上、不経済であるとともに、中間値を保持するために多数のメモリを必要とする。これは、多数の並列データストリームを含み、リアルタイムで動作するシステムに使用するには適していない。

ノイズが存在しないと、實際上、(量子化誤差を除き)測定誤差がなくなり、単に 2 個の測定値を採取し、一方から他方を差し引くだけで十分となり、それによって、先に述べた最小二乗法のオーバーヘッドを回避する可能性がある。

【0017】

しかしながら、ノイズが存在すると、そのような簡単な処理の結果は、誤りとなる可能性がある。

図 1 について考察する。ここでは、サンプルウィンドウ W_1 があり、その中には複数の 40
サンプル、この場合には $S_1 \sim S_{12}$ 、が採取されている。各サンプルは、誤差 を有し、各サンプルは、その名目値から \pm の範囲内にあるという統計確率がある(通常、サンプルの 95% がこの条件を満足する)。

【0018】

本発明者らは、その他の要因が、勾配計算における誤差に影響を与えることに気づいた。ここで、図 2 a および 2 b について考察すると、最終結果における誤差、すなわち開始値と終了値の間の差分の線の勾配は、測定値における個々の誤差だけではなく、測定点間の距離にも依存することがわかる。

図 2 a は、サンプル S_1 と S_{12} を比較している。これらのサンプルは、x 軸において 50
11 単位(単位は、時間または距離、あるいは回転量を表わすことがある)だけ離されて

いる。

【 0 0 1 9 】

したがって、鎖線 2 0 で表わされているように、勾配は、
【 数 8 】

$$b = \frac{S_1 - S_{12}}{11}$$

となるが、測定に伴う誤差は、真の勾配 b' が点線 2 2
【 数 9 】

10

$$b' = \frac{(S_1 - \sigma) - (S_{12} + \sigma)}{11}$$

によって表わされた可能性があるか、または表わされるべきであったことを、意味する可能性もあり、

したがって勾配における差分または誤差は次のようになる。
【 数 1 0 】

20

$$\Delta b = \frac{2\sigma}{11} = 0.1818\sigma$$

【 0 0 2 0 】

同様の考察が図 2 b にも当てはまり、
【 数 1 1 】

30

$$b = \frac{S_1 - S_8}{7} = \frac{S_1 - S_{12}}{11}$$

$$b' = \frac{(S_1 - \sigma) - (S_8 + \sigma)}{7}$$

したがって、
【 数 1 2 】

40

$$\Delta b = \frac{2\sigma}{7} = 0.2857\sigma$$

となる。

【 0 0 2 1 】

したがって、勾配の推定値は、測定値間の「距離」が減少すると、 b で表わされているように、より不確かになりやすい。

50

しかしながら、信号パワーは、採取されたサンプル数と共に直線的に増大するのに対して、ガウシアンノイズのパワーは、採取されたサンプル数の平方根として増大するので、ノイズの影響は、信号の複数のサンプルを採取することによって低減できることが知られている。

【 0 0 2 2 】

点 S_1 および S_{12} において複数のサンプルを採取することは、取得制約のために不可能であるかもしれないが、測定ウィンドウの内部で複数のサンプルを採取することは可能である。

しかしながら、サンプルは、計算上、簡単な方法で処理される必要がある。本発明者らは、サンプル値を重み関数で修正して、勾配の満足できる推定値を、サンプル値の単なる加算と減算によって得ることができることに気づいた。

10

【 0 0 2 3 】

図 3 について考察すると、値 S_1 、 S_2 、 S_{11} および S_{12} が、処理のために採取されている。

S_1 および S_2 を平均化して、新しいサンプル S_A を得ることができ、これは、 x 座標 =

【 数 1 3 】

$$\frac{1}{2}$$

20

、 y 座標 =

【 数 1 4 】

$$\frac{S_1 + S_2}{2}$$

、すなわち

【 数 1 5 】

30

$$\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2}$$

とみなすことができる。

同様に S_{11} および S_{12} を平均化して、新しいサンプル S_B を得ることができ、これは、

【 数 1 6 】

40

$$y = \frac{S_{11} + S_{12}}{2}$$

、すなわち

【数 17】

$$\left(\frac{x_{11} + x_{12}}{2}, \frac{y_{11} + y_{12}}{2} \right)$$

とみなすことができる。すなわち、
勾配 $b = S_B - S_A =$

【数 18】

$$\frac{\frac{S_{11} + S_{12}}{2} - \frac{(S_1 + S_2)}{2}}{10.5 - 0.5}$$

10

【0024】

勾配計算は、図 2 a および 2 b で計算されたのと同様であり、実線 30 で表わされている。

ここで、誤差の影響を考慮すると、 は

20

【数 19】

$$\frac{\sqrt{2}}{2}$$

だけ減少しているが、複合サンプル S_A および S_B の間の距離は、図 2 a の場合の 11 から 10 に減少している。

【数 20】

$$\Delta b = \frac{\sqrt{2}\sigma}{2.10} = 0.0707\sigma$$

30

【0025】

ここで、 S_1 、 S_2 、 S_3 および S_{10} 、 S_{11} 、 S_{12} を含めると、 の値は

【数 21】

$$\frac{\sqrt{3}}{3}$$

40

に減少し、有効距離は 9 単位に減少し、以下を得る。

【数 22】

$$\therefore \Delta b = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{\sigma}{9} = 0.06415\sigma$$

ここで、 S_9 、 S_{10} 、 S_{11} 、 S_{12} に対して、 S_1 、 S_2 、 S_3 および S_4 を含め

50

ると、 の値は

【数 2 3】

$$\frac{\sqrt{4}}{4}$$

に減少し、有効距離は 8 に減少し、したがって以下を得る。

【数 2 4】

$$\Delta b = \frac{\sqrt{4}}{4} \times \frac{\sigma}{8} = 0.0625\sigma$$

10

【0 0 2 6】

ここで、 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 と、 S_8 、 S_9 、 S_{10} 、 S_{11} および S_{12} とを含めると、 の値は

【数 2 5】

$$\frac{\sqrt{5}}{5}$$

20

だけ減少し、有効距離は 7 に減少し、したがって以下を得る。

【数 2 6】

$$\Delta b = \frac{\sqrt{5}}{5} \times \frac{\sigma}{7} = 0.0639\sigma$$

30

より多くのサンプルを含めても、勾配の誤差は、サンプルの各組において 4 個のサンプルを使用する場合と比較して増加していることがわかる。

【0 0 2 7】

ここで、すべてのサンプルを対にして $S_1 \sim S_6$ と、 $S_7 \sim S_{12}$ とすると、各複合サンプルについて、誤差は

【数 2 7】

$$\frac{\sqrt{6}}{6}$$

40

だけ減少し、複合サンプル間の有効距離は 6 となり、したがって以下を得る。

【数 2 8】

$$\Delta b = \frac{\sqrt{6}}{6} \times \frac{\sigma}{6} = 0.0680\sigma$$

これは、 S_1 、 S_2 、 S_3 ならびに S_{10} 、 S_{11} および S_{12} だけを使用するよりも悪くなっている。

50

このことは、より多くのサンプルを使用すると勾配の推定値を悪化させる可能性があるという驚くべき結果を実証している。

【 0 0 2 8 】

本発明者らは、このことを認識して、様々な読取り値の寄与を重みづけして、一部のサンプルの寄与は無視できるようにすべきであることを提案する。

重みづけは、X方向およびY方向の両方で行い、複合サンプル点の位置が、サンプルそれぞれの、それに対する相対的な寄与を反映するようにする。

【 0 0 2 9 】

高スループットディジタルシステムにおいて、重み関数の実装が容易であることが有益である。特に実装の容易な重み関数が、図 4 b に示されており、この場合には、重み関数は 0 か 1 のいずれかの値を有する。図 4 b の例においては、重み関数は、サンプル S_1 、 S_2 、 S_3 ならびに S_{10} 、 S_{11} および S_{12} に対して 1 の値をとる。その他のサンプルに対して、重み関数は 0 の値をとる。重み関数は、サンプリングウィンドウの中間点のまわりに対称である。この関数は、サンプルの値の移動総和 (running total) を維持する加算器を使用して、全体をハードウェアで実現することができる。すなわち、単一チャネルに対して、ハードウェア加算器は、ウィンドウの開始時に初期化して、次いで、時間が経過するとともに、ウィンドウを通して S_1 、 S_2 および S_3 を合計することができる。

【 0 0 3 0 】

次いで、ハードウェア加算器は、サンプル $S_4 \sim S_9$ を無視して、次いで、減分モード (decrement mode) に設定されて、サンプル S_{10} が到着すると、現在保持中の S_1 、 S_2 および S_3 の合計からその分を減らす。続いて、サンプル S_{11} が発生すると、これも現在総和から減らし、最後にサンプル S_{12} が発生すると、これも減らされる。そうすると、ハードウェア積算装置の出力は、勾配の変倍された推定値を表わす。この例においては、ハードウェア積算装置における値は、実質上、 S_2 と S_{11} の間で測定された勾配を表わすことになる。次いで出力は、 S_1 から S_{12} を減算すると発生したであろう値に出力を再変倍するために、例えば、一定値をディジタル乗算することによる、変倍が必要である。次いで、この値を、 S_1 から S_{12} を減算するだけに対応する単一の値を期待している、下流の処理回路に送ることができる。このようにして、より古いデータ処理システムとの整合性を維持しながら、信号対ノイズ性能における改善が得られた。

【 0 0 3 1 】

図 4 b に示す重み関数は、実装が特に簡単であり、また、全体として、またはウィンドウの中間点から測定して、0 周期の範囲を表わす単独値によってパラメータ化しやすい。図 4 に示す関数をパラメータ化する一例においては、この関数を

【 数 2 9 】

$$Fn_i(A, B)$$

で表わすことができ、ここで A は、測定ウィンドウに取り込まれるサンプルの数を表わし、B は、非ゼロ重みが適用される第 1 の部分 4 1 (サンプルセットとみなすことができる) で発生するサンプル数を表わす。ハードウェアまたはシステムは、このパラメータ化から、非ゼロ重みづけが適用される測定ウィンドウ内の第 2 の部分 4 2 の存在を推論することができる。後述するように、このパラメータ化方式は拡張可能である。

【 0 0 3 2 】

パラメータ化によって、コントローラが、異なる重みづけ / 結果合成関数が必要と判定した場合に、重み関数を、迅速に修正することが可能となる。重み信号は、サンプルが発生するときにそれを数えて、制御パラメータに基づいて、勾配を計算する目的でサンプルを 1 で乗算すべきか、または破棄すべきかを決定するカウンタを使用して、容易に再生が可能である。

【 0 0 3 3 】

より複雑な勾配を使用してもよく、図 4 c に示すものはステップ状関数を表わし、この場合には、関数の中心部分はこのでもゼロの値にされているが、関数の端の近くでサンプルに異なる重みが与えられる。図 4 c に示す関数は、サンプル S_1 および S_{12} を、サンプル S_2 および S_{11} の値の 2 倍に重みづけする。その他のすべてのサンプル $S_3 \sim S_{10}$ は、ゼロに重みづけされる。ここで、複合サンプルの有効 X 位置は、 S_1 と S_2 の間の $1/3$ 、および S_{12} と S_{11} の間の $1/3$ において、すなわち、ここで示す例においては、それぞれ $1/3$ および 10.67 の X 値で、発生することがわかる。

【 0 0 3 4 】

図 4 d はさらに別の変形形態を示し、この場合には、階段形 (staircase) によってデジタルドメインに複製することのできる線形関数が、ウィンドウの中間点から両方に延びている。最後に図 4 e は、ウィンドウの中間点を中心として円滑に変化する関数を示している。 $\div 2$ 、 $\div 4$ 、 $\div 8$ などの変倍が、アナログ・デジタル変換器からのデジタルワードを、1、2、3 およびその他ビットだけ、最低位ビットに向かってシフトするだけで達成できるので、概して放物形の関数は、デジタルドメイン内で容易に実現することができる。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、本発明を実現するように適合されたプロセッサを含む、測定回路を説明する模式図である。測定回路は、例えば、X 線 CT スキャナ内部のチャンネルとしてもよい。通常、CT スキャナは、フォトダイオードアレイと対応づけられたシンチレーション (scintillation) 結晶 (図示せず) を有する。フォトダイオードアレイは、通常、64 または 128 などの多数のフォトダイオードを含む。図 5 は、1 つのそのようなフォトダイオード 50 を説明する模式図である。使用に際して、フォトダイオード 50 からの電流が、積分器 52 によって積分されて、測定ウィンドウ内のダイオードを通過して流れる電流の推定値を得ることができる。先行技術の CT スキャナにおいては、リセット回路が、積分器 52 と対応づけられており、各測定ウィンドウの始めに操作されて、図 1 の S_{12} に対応する 1 つのサンプルだけを、各測定ウィンドウの終わりににおいて取り込む必要があり、また S_{12} の値が、フォトダイオード 50 を通過する電流に直接的に関連するようにされる。しかしながら、リセット電圧に影響するノイズや、サンプル S_{12} の単独測定によって、測定ウィンドウで勾配を誤って計算する可能性が生じる。

【 0 0 3 6 】

本発明において、積分器 52 の出力は、マルチプレクサ 56 を経由して、アナログ・デジタル変換器 54 に供給される。マルチプレクサによって、いくつか、例えば 64 個または 128 個のフォトダイオードからの信号を、単一のアナログ・デジタル変換器に、時間多重方式で送出することが可能になる。簡単にするために、ここでは、チャンネルの一つにおいて発生することだけを考慮するだけでよい。

【 0 0 3 7 】

図 1 および 4 について述べたように、積分器 52 からの出力はオーバーサンプリングされて、複数のサンプルが単一の測定ウィンドウ W 内で採取される。図 1 では、採取された 12 個のそのようなサンプルを示したが、これは例示的な数であり、サンプルの数は、通常、8 ~ 20 の範囲である。アナログ・デジタル変換器からの出力は、プロセッサ 60 に供給される。通常、アナログ・デジタル変換器は、300 ~ 500 ナノ秒程度毎に変換結果を供給することができる。プロセッサ 60 は、アレイ内のそれぞれ、およびすべてのチャンネルからのチャンネル出力を、100 ~ 300 マイクロ秒の範囲である毎サンプリングウィンドウの終わりににおいて、利用可能にするように、各チャンネルからのサンプルを処理するために、リアルタイムで動作する必要がある。時間的に効率的な方法で行うために、プロセッサは、各チャンネルに対する値の移動総和をハードウェア内に蓄積して、チャンネルメモリに格納する。メモリは、他の構成要素と比較して、シリコンチップ上で比較的大きな容積を占め、そのために必要なメモリ量を最小に維持するのが有利であることが、当業者には知られている。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

本発明は、各チャネルについての移動総和を保持し、したがってチャネル当り1つのメモリだけを必要とし、このメモリは、通常、アナログ・ディジタル変換器54としての同一数のビットに加えて、他のビット2個を有して、移動総和を形成するときのメモリオーバーフローを回避する。すなわち、各チャネルに対して、プロセッサは、そのチャネルのメモリ内に格納された結果を採取して、現在サンプル値を、適当にそれに加算するか、またはそれから減算する。すなわち、各チャネルは、それに関連づけられる単一のメモリを必要とするだけである。例えば、16ビット出力を有する変換器に対して、各チャネルメモリは、最大18ビット幅であることだけが必要である。本発明は、図4bに示す重み関数
10
が実装されるときには、3回の加算、3回の減算、および各チャネル毎に実行される再変倍のための、任意選択で1回の積算だけを、先行技術と比較するとノイズ耐性の改善された勾配推定値を得るために、必要とする。

【 0 0 3 9 】

その他の関数も、パラメータ化形式で記述するか、または代替的にプロセッサ60が使用するためにルックアップテーブルに格納することもできる。

本発明の態様によっては、積分器は、その動作の限界に近づいた時にのみに、リセットされる。リセットは、測定ウィンドウの間に発生する可能性があり、したがって、リセットがサンプル6とサンプル7の間で発生したとすると、サンプル7~12がサンプル6から、リセットの大きさだけオフセットされることになる。これは、リセットのすぐ後に続いて、積分器出力値に対する値を格納し、次いで、サンプルウィンドウの残部に対して、
20
最終サンプル値とリセット値の間の差を表わすさらなるオフセットを、続いてサンプリングされた値のそれぞれに加えることによって、対応することができる。

【 0 0 4 0 】

図4b~4eにおいて、グラフは、重み係数の大きさを表わしているが、その符号は、測定ウィンドウ内のサンプルの位置によって暗示される。同じ重み関数を、図6a~6dに示すように、重みの符号（加算または減算）を明示して表現することもできる。重みは、ウィンドウ内で単調に変動することがわかる。

このように、オーバーサンプリングされた信号に対して勾配を計算する方法を提供することが可能であり、この方法は、ハードウェアにおいて実行するのに、計算的に高速、かつ簡潔である。
30

【 0 0 4 1 】

これまで、サンプルは、測定ウィンドウ内で時間的に等しい間隔で発生すると仮定した。しかしながら、CTスキャナの文脈においては、スキャニングヘッドは非常に重く、機械的に駆動される。その結果として、スキャニングヘッドの回転の速度が変動する可能性がある。したがって、それは、スキャニングヘッドが所定の位置に到達したときに発生する同期パルスから、オーバーサンプリングをトリガすることが望ましい。各同期パルスは、1つの測定ウィンドウの終わりと、次のウィンドウの始めをマークする。スキャニングヘッドの回転の速度が、適当に既知であるとする、サンプルのすべてが測定ウィンドウの範囲内で採取されることを確実にするように、オーバーサンプリングの速度を設定することができる。しかしながら、最後のオーバーサンプリングされたサンプルと、同期パルスと一致する次のサンプルとの間の時間周期は、測定ウィンドウ内のその他のサンプルのいずれに対するサンプル間の時間周期よりも大きい時間周期を有する可能性があるといえるのであり、実際ほとんど確実に有するのである。この周期の長さは、サンプル間周期および伸長時間の合計である。

【 0 0 4 2 】

このことは、測定ウィンドウW2およびW3を定義する3つの同期パルスP1、P2およびP3を示す、図7においてより明確にわかる。簡単にするために、ここでは、各測定ウィンドウ内で8個のサンプルだけを使用すると仮定し、図7においては、サンプルはS7-0~S7-14と名づける。S7-0は、第1のトリガーパルスP1と一致しており、それから、サンプルは、 t_s 秒毎にサンプルS7-6まで発生し、このサンプルS7-
40
50

6 は、同期パルス P 2 の前に発生する最後のサンプルである。すなわち、P 1 が時間 $t = 0$ を定義するものとみなすと、S 7 - 1 は、 $t = t_s$ において、S 7 - 2 は $t = 2 t_s$ において、S 7 - 6 は $t = 6 t_s$ において発生する。サンプル S 7 - 7 は、サンプル S 7 - 6 から、正常サンプリング周期 t_s よりも大きく間隔が空けられているのがわかる。

【 0 0 4 3 】

サンプル S 7 - 7 は、 $t = 7 t_s + \text{stretch old}$ において発生し、ここで「stretch old」とは、S 7 - 6 と S 7 - 7 の間のサンプル周期がそれだけ延長された、追加の時間を表わす。サンプル S 7 - 7 は、測定ウィンドウ W 2 の終わりにおけるサンプルを表わすとともに、測定ウィンドウ W 3 の開始を行うものとみなすことができる。サンプル S 7 - 7 の発生に続いて、同期パルス P 3 以前の最終サンプリング事例であるサンプル S 7 - 3 が発生するまで、 t_s だけ間隔の空けられた正規の時間周期において、再びサンプルが採取される。再び、サンプル S 7 - 13 とサンプル S 7 - 14 の間には、測定ウィンドウ W 3 内で発生する他のいずれのサンプル間よりも、大きな間隔がある。サンプル周期は、伸長された (stretched) とみなすことができ、任意所与の測定ウィンドウ、特にウィンドウ W 3 に対して、2 つの伸長周期 (stretch period) を、同期パルス P 2 に先行する周期を「stretch old」とし、ウィンドウ W 3 内であり、かつ同期パルス P 3 の直前に発生する伸長周期を「stretch new」として定義することができる。

次いで、勾配の計算を、伸長周期を考慮するように修正することができる。

【 0 0 4 4 】

この計算そのものもパラメータ化することができる。

第 1 に、第 2 および第 3 のパラメータを、勾配を計算するためのプロセスを記述するのに使用することができる。これらには、O、P、および Q のラベルが付与されている。

O は、サンプルウィンドウ内のサンプル数、または連続する計算ウィンドウにおける類似点の間の距離を定義する反復長を表わす。

P は、サンプルウィンドウの始めおよび終わりから選択されるサンプル数を示し、

Q は、勾配計算プロセスの一部として対にされたサンプル間の「距離」を表わす。

【 0 0 4 5 】

このことは、図 8 においてより平易に示されており、この場合には、同期パルス P 1 と同期パルス P 2 の間の周期として定義される各測定ウィンドウ内で、サンプル S 0 ~ S 15 が採取される。この例においては簡単にするために、各同期パルスと同期して発生するパルスを S 0 のラベルを付与してある。すなわち、各サンプルウィンドウは、その中に 16 のサンプルを有し、したがって $O = 16$ である。ここでは、最初の 3 つのサンプルおよび最後の 3 つのサンプルを使用し、したがって $P = 3$ である。実質的には、各対を 14 サンプルだけ隔てて、3 つのサンプル対を形成し、したがって $Q = 14$ となる。すなわち、サンプル対、S 0 と S 14、S 1 と S 15、および S 2 と S 0 (次のウィンドウから) である。ここで、

$$(S_0 - S_{14}) + (S_1 - S_{15}) + (S_2 - S_0^*)$$

を形成し、式中で「*」は、S 0 は次のサンプルウィンドウから来ること、すなわち、図 8 における S 15 に続くことを示す。

【 0 0 4 6 】

次いで、勾配を得るために、この計算の結果が変倍または正規化される。なお、このパラメータ化方式は、図 8 b に示すように、拡張できるとことに留意すべきであり、図 8 b は、パラメータ化 O、P、Q = 16、3、16 に対して使用したサンプル対を示す。ここで、サンプルは測定ウィンドウの中間点のまわりに対称に配置されたままであることがわかる。このような状況においては、O は、連続する計算ウィンドウにおける類似点間の長さを定義すると考えるのが有用である。

【 0 0 4 7 】

先行する視界からのサンプルを使用する場合には、アルゴリズムは、現在視界の第 1 の同期パルスに先行する伸長を有するときに、「stretch old」に対応する必要がある。勾配が、先述したように、すなわち移動総和を形成するだけにより計算される場合には、サ

10

20

30

40

50

ンプル点のいくつかの間で発生する伸長を考慮に入れるために、正規化係数を修正する必要がある。正規化係数 F は、次のように定義できる：

【数 3 0】

$$F = \frac{O_{sub} + "stretch new"}{(P \cdot Q \cdot sub) + \left(\left((Q + P - O) / 2 - \frac{1}{2} \right) "stretch old" \right) + \left(\left((Q + P - O) / 2 + \frac{1}{2} \right) "stretch new" \right)}$$

ここで、「sub」は、「stretch old」および「stretch new」の値と同一単位での、データサンプル間の時間間隔を表わす。上記の式は、サンプルがウィンドウ中間点のまわりに対称に配置されるように選択される場合に、有効である。

10

【0 0 4 8】

この正規化係数は、次の場合に適用される：

データサンプルに適用された重み係数が 1 または 0 の値だけを有し、

係数は、一定の傾きに対して正しい（ゼロオーダー曲率補正）。

【0 0 4 9】

正規化係数がどのように変動するかを説明するのに 2 つの例を考えるのが有用である。

ここで、3 0 0 n S 毎にサンプリングし、変換ウィンドウは 1 6 サンプルを有し、各範囲の始め、および終わりにおいて使用されるサンプル数は 3 であり、対にされたサンプル間の距離は 1 4 であるとする。

20

すなわち、

$$O \cdot sub = 300nS$$

$$O = 16$$

$$P = 3$$

$$Q = 14$$

【0 0 5 0】

伸長がまったく発生しない場合には、

【数 3 1】

$$(Q + P - O) / 2 = \frac{1}{2}$$

30

となり、したがって次式を得る。

【数 3 2】

$$F = \frac{300nS}{3 \cdot 300nS + (\frac{1}{2} - \frac{1}{2}) \cdot 0 + (\frac{1}{2} + \frac{1}{2}) \cdot 0} = 1/3$$

40

これは、1 対のサンプルの代わりに 3 対のサンプルが使用され、伸長は発生していないので、直感的に正しい。

【0 0 5 1】

1 5 0 n S（すなわち、サンプル周期の半分）の伸長が、各サンプルウィンドウの終わりにおいて、一貫して発生する場合には、この例の場合には、S 2 から S 0 * のサンプルが長すぎる事がわかる。

【数 3 3】

$$F = \frac{(300 + 150)nS}{(3 \times 300nS) + (\frac{1}{2} - \frac{1}{2}) + (\frac{1}{2} + \frac{1}{2}).150nS}$$

$$F = \frac{450}{1050}$$

10

$$F = 0.428$$

変倍係数の値が増大している理由は、サンプル対の2つが、最終サンプル対（伸長時間を含むもの）と比較して実質的に過小重みであり、したがって、より長い重み係数が適当であるためである。

【0052】

20

この式はまた、サンプルが隣接の測定ウィンドウから来る、図8bに示す場合にも有効であり、このような状況下で、「stretch old」および「stretch new」が異なる値をとり得ることを考慮に入れることが必要になる。

次いで、チャンネルメモリにおける値は、結果を再変倍するために、係数Fで乗算される。

重み係数が異なるか、または曲率が非ゼロである場合に、その他の正規化係数を使用することができる。

【図 1】

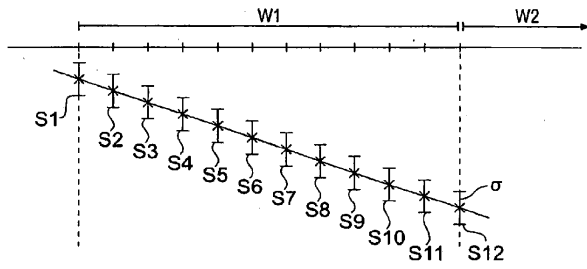
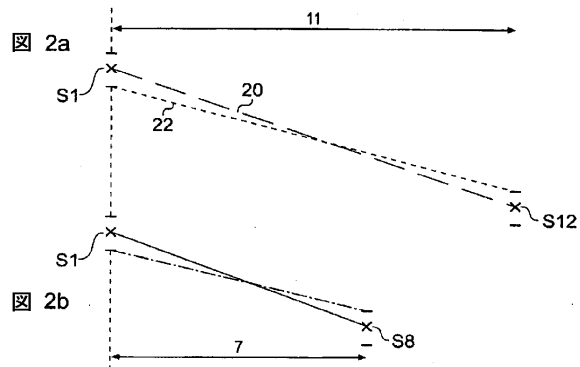


図 1

【図 2】



【図 3】

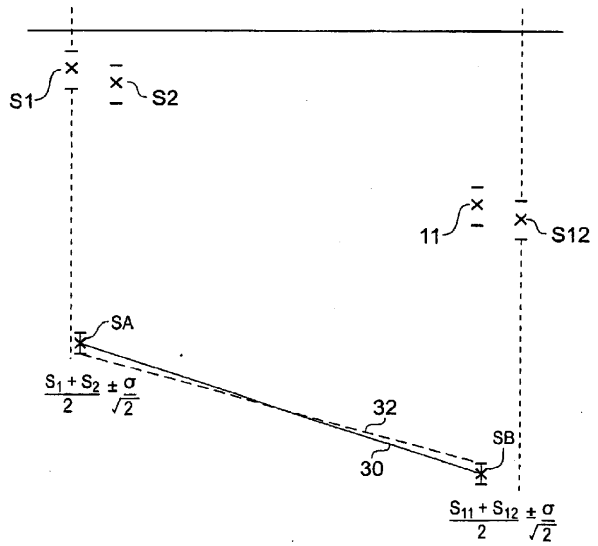
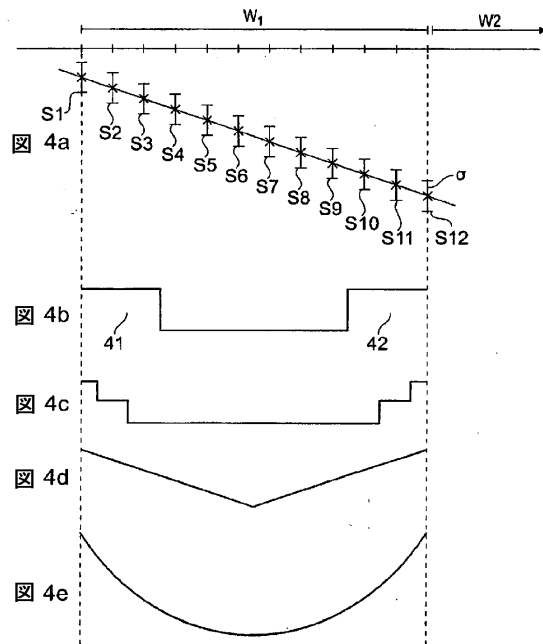
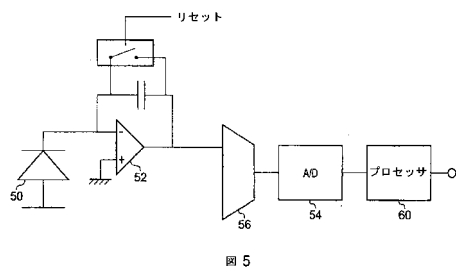


図 3

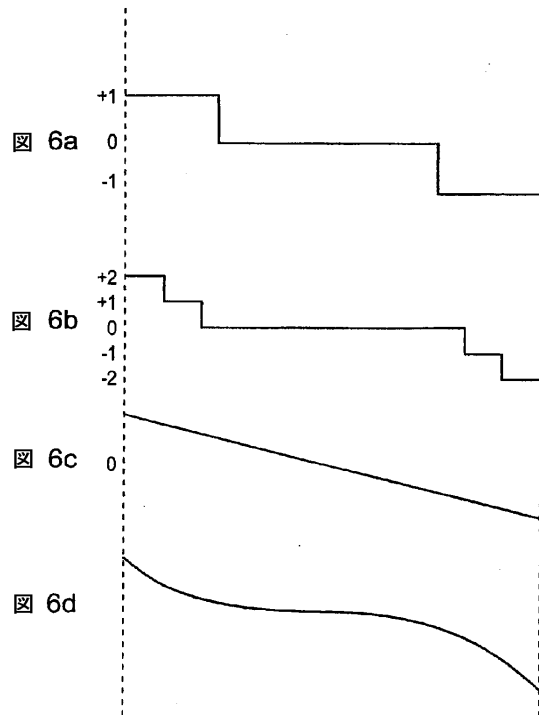
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

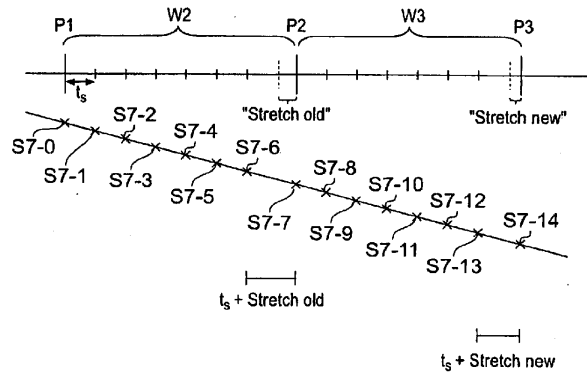
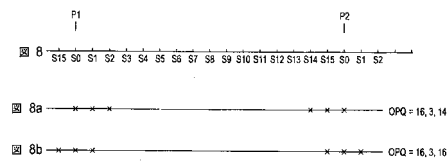


図 7

【図 8】



フロントページの続き

- (72)発明者 コルン, マイケル, シー., ダブル.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02421、レキシントン、バックマン ドライブ 21
- (72)発明者 ライデン, コリン, ジェラード
アイルランド国 シーオー. コーク、ボルティモア、ザ コープ
- (72)発明者 ゲリー, アラン, ブイ.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01810、アンドーバー、フォーブス レーン 10

審査官 豊田 直樹

- (56)参考文献 特開平05-190431(JP, A)
特許第3477777(JP, B2)
特開2001-128964(JP, A)
特開昭53-126292(JP, A)
特開昭53-067393(JP, A)
特公昭63-063224(JP, B2)
特開平10-262960(JP, A)
特開2002-330956(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 23/00 - 23/04
A61B 6/00 - 6/14