

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6526676号
(P6526676)

(45) 発行日 令和1年6月5日(2019.6.5)

(24) 登録日 令和1年5月17日(2019.5.17)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 T 1/17 (2006.01)

GO 1 N 23/2252 (2018.01)

GO 1 N 23/223 (2006.01)

GO 1 N 23/20 (2018.01)

GO 1 T 1/17 F

GO 1 N 23/2252

GO 1 N 23/223

GO 1 N 23/20

請求項の数 37 (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2016-539039 (P2016-539039)	(73) 特許権者	511148167
(86) (22) 出願日	平成26年12月11日 (2014.12.11)		サザン イノベーション インターナシ
(65) 公表番号	特表2017-512297 (P2017-512297A)		ョナル プロプライエタリー リミテッド
(43) 公表日	平成29年5月18日 (2017.5.18)		オーストラリア国、ヴィクトリア 305
(86) 国際出願番号	PCT/AU2014/050420		4, カールトン・ノース, ニコルソン・ス
(87) 国際公開番号	W02015/085372		トリート 729, レベル 1
(87) 国際公開日	平成27年6月18日 (2015.6.18)	(74) 代理人	100107766
審査請求日	平成29年12月4日 (2017.12.4)		弁理士 伊東 忠重
(31) 優先権主張番号	61/914, 912	(74) 代理人	100070150
(32) 優先日	平成25年12月11日 (2013.12.11)		弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 データ内の信号を分解する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

検出器出力データ内の個々の信号を分解する装置であって、当該装置は、処理回路を含み、前記処理回路は、検出器出力データを受け取り、前記検出器出力データを変形して階段状データを生成し、前記階段状データに少なくとも部分的に基づいて少なくとも一の信号を検出し、一以上の信号に関連したパラメータを推定する、ように構成され、前記検出器出力データは、複数のサンプルと、少なくとも一の信号を含み、前記処理回路は、前記信号を変形信号に変形することに少なくとも部分的に基づいて、前記検出器出力データを変形するように構成されており、前記信号を前記変形信号に変形することは、立ち上がりエッジ値と下降エッジ値とに少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化し、前記信号の立ち上がり時間が実質的にゼロになるように前記立ち上がりエッジ値を変換し、前記信号の下降時間が実質的に無限大になるように前記下降エッジ値を変換する、装置。

【請求項 2】

推定した前記パラメータは、一以上の前記信号の信号エネルギー又は到着時間である、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記処理回路は、さらに前記階段状データ内の一の信号の振幅を、該一の信号より後の前記階段状データの平均値と、該一の信号よりも前の前記階段状データの平均値との差異にすくなくとも部分的に基づいて決定し、前記一の信号の振幅にすくなくとも部分的に

基づいて、前記信号エネルギーを推定する、ように構成された、請求項2に記載の装置。

【請求項4】

前記処理回路は、さらに 推定された前記信号エネルギーに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データのモデルを生成し、 前記モデルと前記検出器出力データとの差異を決定し、 前記検出器出力データと閾値以上異なる前記モデルの部分を拒否する、ように構成された、請求項3に記載の装置。

【請求項5】

前記処理回路は、さらに、二重指数関数型波形に少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化するように構成され、 前記二重指数関数型波形は、

【数16】

$$p(t) = A.(e^{-at} - e^{-bt})$$

であって、 $p(t)$ は、前記信号であり、 A は、信号エネルギーであり、 a は、前記立ち上がりエッジ値であり、 b は、前記下降エッジ値である、請求項1に記載の装置。

【請求項6】

前記処理回路は、さらに、次の演算によって前記信号の変形を行うように構成される、該演算は、

【数17】

$$y(k) = y(k-1) + x(k) - x(k-1).(e^{-a} + e^{-b}) + x(k-2).e^{-a}.e^{-b}$$

であって、 $x(n)$ は、サンプル n での入力データストリーム値であり、 a 及び b は、信号波形の下降エッジと立ち上がりエッジを決定し、 $y(n)$ は、さらなるスケーリングを必要とする可能性がある階段状データストリームである、請求項1に記載の装置。

【請求項7】

前記処理回路は、さらに、前記信号の立ち上がりエッジを包囲するウィンドウ内にある少なくとも一つのサンプルを削除するように構成される、請求項6に記載の装置。

【請求項8】

前記処理回路は、さらに 一以上の検出メトリックを決定することで少なくとも一の信号を検出するのであって、該一以上の検出メトリックは、期待信号波形を前記階段状データ内のサンプルの一以上のスライディングウィンドウにフィッティングさせ、各ウィンドウについて、前記期待信号波形と、前記階段状データとの間でフィットさせたパラメータを推定することで、決定され、 一以上の前記検出メトリックを分析し、 一以上の前記検出メトリックに基づいて、前記階段状データに任意の信号があるか否かを決定する、ように構成される、請求項6に記載の装置。

【請求項9】

前記処理回路は、さらに 一以上の検出メトリックを閾値と比較する、又は 一以上の検出メトリックを、前記検出メトリックの一以上のスライディングウィンドウに適用される二次近似を用いてモデル化し、該検出メトリックの複数のスライディングウィンドウの二次係数を比較する、ように構成される、請求項8に記載の装置。

【請求項10】

前記処理回路は、さらに 一以上の前記検出メトリックを、前記階段状データと前記期待信号波形の最小二乗フィットにすくなくとも部分的に基づいて決定する、ように構成され、 前記検出メトリックは、

10

20

30

40

【数 18】

$$\hat{x}(k) = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T b(k)$$

であって、 $x(k)$ は、サンプル k についての検出メトリックであり、 $b(k)$ は、サンプル k を中心とした、前記階段状データのセグメントであり、 A は、中央期待パルス波形のベクトルである、請求項8に記載の装置。

【請求項 11】

前記処理回路は、さらに、加算、減算、及び/又はスケーリングを用いて前回の検出メトリックに少なくとも部分的に基づいて一以上の前記検出メトリックを反復的に更新するように構成される、請求項8に記載の装置。

10

【請求項 12】

前記処理回路は、さらに、閾値サンプル数未満で、前記少なくとも一つの信号から離れた信号を破棄するように構成される、請求項1に記載の装置。

【請求項 13】

前記処理回路は、有限インパルス応答フィルタ(FIR)を前記検出器出力データで畳み込むことに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データを変形するように構成される、請求項1に記載の装置。

【請求項 14】

検出器出力データ内の個々の信号を分解する方法であって、検出器出力データを受け取る工程と、前記検出器出力データを変形して階段状データを生成する工程と、前記階段状データに少なくとも部分的に基づいて少なくとも一の信号を検出する工程と、一以上の信号に関連したパラメータを推定する工程と、を含み、前記検出器出力データは、複数のサンプルと、少なくとも一の信号を含み、前記検出器出力データを変形する工程は、前記信号を変形信号に変形することに少なくとも部分的に基づき、前記信号を前記変形信号に変形する工程は、立ち上がりエッジ値と下降エッジ値とに少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する工程と、前記信号の立ち上がり時間が実質的にゼロになるように前記立ち上がりエッジ値を変換する工程と、前記信号の下降時間が実質的に無限大になるように前記下降エッジ値を変換する工程と、を含む、方法。

20

30

【請求項 15】

推定した前記パラメータは、一以上の前記信号の信号エネルギー又は到着時間である、請求項14に記載の方法。

【請求項 16】

前記階段状データ内の一の信号の振幅を、該一の信号より後の前記階段状データの平均値と、該一の信号よりも前の前記階段状データの平均値との差異にすくなくとも部分的に基づいて決定する工程と、前記一の信号の振幅にすくなくとも部分的に基づいて、前記信号エネルギーを推定する工程と、をさらに含む請求項15に記載の方法。

【請求項 17】

推定された前記信号エネルギーに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データのモデルを生成する工程と、前記モデルと前記検出器出力データとの差異を決定する工程と、前記検出器出力データと閾値以上異なる前記モデルの部分拒否する工程と、をさらに含む請求項15に記載の方法。

40

【請求項 18】

前記信号の立ち上がりエッジを包囲するウィンドウ内で少なくとも一つのサンプルを削除する工程を、さらに含む請求項14に記載の方法。

【請求項 19】

一以上の検出メトリックを決定することで少なくとも一の信号を検出する工程であって、該一以上の検出メトリックは、期待信号波形を前記階段状データ内のサンプルの一以上のスライディングウィンドウにフィッティングさせ、各ウィンドウについて、前記期待信号

50

波形と、前記階段状データとの間でフィットさせたパラメータを推定することで、決定される工程と、一以上の前記検出メトリックを分析する工程と、一以上の前記検出メトリックに基づいて、前記階段状データに任意の信号があるか否かを決定する工程と、をさらに含む請求項14に記載の方法。

【請求項 20】

一以上の前記検出メトリックを分析することは、一以上の検出メトリックを閾値と比較する工程、又は一以上の検出メトリックを、前記検出メトリックの一以上のスライディングウィンドウに適用される二次近似を用いてモデル化し、該検出メトリックの複数のスライディングウィンドウの二次係数を比較する工程、請求項19に記載の方法。

【請求項 21】

一以上の前記検出メトリックを、前記階段状データと前記期待信号波形の最小二乗フィットにすくなくとも部分的に基づいて決定する工程を、さらに含み、前記検出メトリックは、

【数 19】

$$\hat{x}(k) = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T b(k)$$

であって、 $x(k)$ は、サンプル k についての検出メトリックであり、 $b(k)$ は、サンプル k を中心とした、前記階段状データのセグメントであり、 A は、中央期待パルス波形のベクトルである、請求項19に記載の方法。

【請求項 22】

加算、減算、及び/又はスケーリングを用いて前回の検出メトリックに少なくとも部分的に基づいて、一以上の前記検出メトリックを反復的に更新する工程を、さらに含む請求項19に記載の方法。

【請求項 23】

二重指数関数型波形に少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する工程を、さらに含み、前記二重指数関数型波形は、

【数 20】

$$p(t) = A \cdot (e^{-at} - e^{-bt})$$

であって、 $p(t)$ は、前記信号であり、 A は、信号エネルギーであり、 a は、立ち上がりエッジ値であり、 b は、下降エッジ値である、請求項14に記載の方法。

【請求項 24】

次の演算によって前記信号の変形を行う工程をさらに含み、該演算は、

【数 21】

$$y(k) = y(k-1) + x(k) - x(k-1) \cdot (e^{-a} + e^{-b}) + x(k-2) \cdot e^{-a} \cdot e^{-b}$$

であって、 $x(n)$ は、サンプル n での入力データストリーム値であり、 a 及び b は、信号波形の下降エッジと立ち上がりエッジを決定し、 $y(n)$ は、さらなるスケーリングを必要とする可能性がある階段状データストリームである、請求項14に記載の方法。

【請求項 25】

有限インパルス応答フィルタ(FIR)を前記検出器出力データで畳み込むことに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データを変形する工程を、さらに含む請求項14に記載の方法。

【請求項 26】

検出器出力データを受け取る手段と、前記検出器出力データを変形して階段状データを生成する手段と、前記階段状データに少なくとも部分的に基づいて少なくとも一の信号を検出する手段と、一以上の信号に関連したパラメータを推定する手段と、を含み、前記検出器出力データは、複数のサンプルと、少なくとも一の信号を含み、前記検出器出力データを変形する手段は、前記信号を変形信号に変形する手段を含み、前記信号を前記変形信号に変形する手段は、立ち上がりエッジ値と下降エッジ値とに少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する手段と、前記信号の立ち上がり時間が実質的にゼロになるように前記立ち上がりエッジ値を変換する手段と、前記下降エッジ値が前記信号の下降時間が実質的に無限大になるように前記下降エッジ値を変換する手段と、を含む、装置。

10

【請求項 27】

推定した前記パラメータは、一以上の前記信号の信号エネルギー又は到着時間である、請求項26に記載の装置。

【請求項 28】

前記階段状データ内の一の信号の振幅を、該一の信号より後の前記階段状データの平均値と、該一の信号よりも前の前記階段状データの平均値との差異にすくなくとも部分的に基づいて決定する手段と、前記一の信号の振幅にすくなくとも部分的に基づいて、前記信号エネルギーを推定する手段と、をさらに含む請求項27に記載の装置。

【請求項 29】

推定された前記信号エネルギーに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データのモデルを生成する手段と、前記モデルと前記検出器出力データとの差異を決定する手段と、前記検出器出力データと閾値以上異なる前記モデルの部分を拒否する手段と、をさらに含む請求項28に記載の装置。

20

【請求項 30】

前記信号の立ち上がりエッジを包囲するウィンドウ内で少なくとも一つのサンプルを削除する手段を、さらに含む請求項26に記載の装置。

【請求項 31】

一以上の検出メトリックを決定することで少なくとも一の信号を検出する手段であって、該一以上の検出メトリックは、期待信号波形を前記階段状データ内のサンプルの一以上のスライディングウィンドウにフィッティングさせ、各ウィンドウについて、前記期待信号波形と、前記階段状データとの間でフィットさせたパラメータを推定することで、決定される手段と、一以上の前記検出メトリックを分析する手段と、一以上の前記検出メトリックに基づいて、前記階段状データに任意の信号があるか否かを決定する手段と、をさらに含む請求項26に記載の装置。

30

【請求項 32】

一以上の検出メトリックを閾値と比較する手段、又は一以上の検出メトリックを、前記検出メトリックの一以上のスライディングウィンドウに適用される二次近似を用いてモデル化し、該検出メトリックの複数のスライディングウィンドウの二次係数を比較する手段、をさらに含む請求項31に記載の装置。

40

【請求項 33】

一以上の前記検出メトリックを、前記階段状データを用いた前記期待信号波形の最小二乗フィットにすくなくとも部分的に基づいて決定する手段を、さらに含む、前記検出メトリックは、

【数 22】

$$\hat{x}(k) = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T b(k)$$

50

であって、 $x(k)$ は、サンプル k についての検出メトリックであり、 $b(k)$ は、サンプル k を中心とした、前記階段状データのセグメントであり、 A は、中央期待波形パルス波形のベクトルである、請求項31に記載の装置。

【請求項34】

加算、減算、及び/又はスケーリングを用いて前回の検出メトリックに少なくとも部分的に基づいて一以上の前記検出メトリックを反復的に更新する手段をさらに含む、請求項31に記載の装置。

【請求項35】

二重指数関数型波形に少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する手段を、さらに含む、前記二重指数関数型波形は、

【数23】

$$p(t) = A.(e^{-at} - e^{-bt})$$

であって、 $p(t)$ は、前記信号であり、 A は、信号エネルギーであり、 a は、立ち上がりエッジ値であり、 b は、下降エッジ値である、請求項26に記載の装置。

【請求項36】

次の演算によって前記信号の変形を行う手段をさらに含む、該演算は、

【数24】

$$y(k) = y(k-1) + x(k) - x(k-1).(e^{-a} + e^{-b}) + x(k-2).e^{-a}.e^{-b}$$

であって、 $x(n)$ は、サンプル n での入力データストリーム値であり、 a 及び b は、信号波形の下降エッジと立ち上がりエッジを決定し、 $y(n)$ は、さらなるスケーリングを必要とする可能性がある階段状データストリームである、請求項26に記載の装置。

【請求項37】

有限インパルス応答フィルタ(FIR)を前記検出器出力データで畳み込むことに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データを変形する手段を、さらに含む請求項26に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的には、(典型的にはノイズの多い)検出器出力データから信号のパラメータを決定する方法及び装置に関する。用途としては、特に、排他的な意味ではないが、放射線検出器からのものであって、パルス累積により影響を受けたデータの回復に用いる。

【背景技術】

【0002】

放射線、振動、その他の種類のエネルギーの正確な検出および測定が、多様な産業において用いられている。これらの産業には、国土安全保障、科学計測、医療診断、材料分析、気象学、貨物物流、情報通信技術(ICT)及び選鉱産業が含まれる。これらのおよび他の産業においては、そのような検出及び測定を用いて、材料、構造、製品、情報、信号、その他の試料の分析を行う。撮像、分光分析又はその他のモダリティに基づく伝送が、そのような分析を行うのに使用され得る。

【0003】

鉱石および石油の探査においては、ボーリング検層技術によりガンマ線および中性子を用いて、石および鉱石鉱床の地下組成を決定する。岩石層の多孔性および密度についての

10

20

30

40

50

データを原子核ボーリング検層技術から決定することができ、その後、これを用いて、地質学的貯留槽およびその内容物（例えば、石油、ガス又は水）の存在の検出に役立つ。

【0004】

貨物物流においては、X線走査が用いられ、安全性を目的として荷物を走査する（つまり、禁制品又は爆発物の検出）だけではなく、価格設定及び積荷目録作成のために重さ、体積及び荷重の配分を測定するのに用いられる。

【0005】

音響航法と測距(SONAR)を、航行および水域内の物体の場所を見つけるのに用いてもよい。音波検出と測距(SODAR)を、大気乱流による音波散乱、例えば、地上の多様な高さにおける風速と、大気圏下層の熱力学的構造とを測定するのに用いることができる。

10

【0006】

超音波を、医療画像用途または他の用途に用いてもよい（例えば、胎児の画像の形成、所定の種類の物体の欠陥した位置発見及び/若しくは厚さの測定、又は（例えば、製造環境における）物体のリアルタイムでの位置発見）。

【発明の概要】

【0007】

本発明は、入力放射線検出事象のパラメータをリアルタイムに正確に推定することのできるデジタル信号処理技術に関する。これにより、累積事象からの情報の回復が可能となる。

【0008】

20

本発明の第一観点によると、検出器出力データ内の個々の信号を分解する方法及び装置である。当該方法は、検出器出力データを受け取る工程と、前記検出器出力データを変形して階段状データを生成する工程と、前記階段状データに少なくとも部分的に基づいて少なくとも一の信号を検出する工程と、一以上の前記信号に関連したパラメータを推定する工程と、を含む。当該装置は、当該方法の工程を行うように構成される処理回路を含む。

【0009】

本発明の第二観点によると、階段状の検出器出力データ内の個々の信号を分解する方法及び装置である。当該方法は、階段状の検出器出力データを受け取る工程と、前記階段状データに少なくとも部分的に基づいて少なくとも一の信号を検出する工程と、一以上の前記信号に関連したパラメータを推定する工程と、を含む。第二観点における当該装置も、当該方法の工程を行うように構成される処理回路を含む。

30

【0010】

いくつかの実施形態においては、推定した前記パラメータは、前記信号の一以上の信号エネルギー又は到着時間である。

【0011】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、前記階段状データ内の一の信号の振幅を、該一の信号より後の前記階段状データの平均値と、該一の信号よりも前の前記階段状データの平均値との差異に基づいて、すくなくとも部分的に決定する工程と、前記一の信号の振幅にすくなくとも部分的に基づいて、前記信号エネルギーを推定する工程と、をさらに含む。

40

【0012】

全てのデータを十分に特徴付けすることはできない可能性がある（特徴付けされないデータを用語「破損データ」とする。）と理解される。そのような破損データは任意で拒否してよい。そのため、いくつかの実施形態においては、当該方法は、推定された前記信号エネルギーに少なくとも部分的に基づいて、検出器出力データのモデルを生成する工程と、前記モデルと前記検出器出力データとの差異を決定する工程と、前記検出器出力データと閾値以上異なる前記モデルの部分を拒否する工程と、をさらに含む。

【0013】

本発明の一実施形態例においては、当該方法は、検出器インパルス応答と組み合わせた前記信号パラメータを用いて前記検出器出力データのモデルを生成する工程を含む。当該

50

方法は、十分には正確ではないと見なされるエネルギー推定を削除することを含んでよい。一実施形態においては、当該方法は、全ての十分に正確なエネルギー推定をヒストグラムに提示する工程を含んでよい。

【 0 0 1 4 】

いくつかの実施形態においては、前記検出器出力データは、少なくとも一の信号を表す複数のサンプルを含み、当該方法は、前記信号を階段状信号に変形することに少なくとも部分的に基づき、前記検出器出力データを変形する工程を、さらに含む。前記信号を前記階段状信号に変形する工程は、立ち上がりエッジ値と下降エッジ値とに少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する工程と、前記信号の立ち上がり時間が実質的にゼロになるように前記立ち上がりエッジ値を変換する工程と、前記信号の下降時間が実質的に無限大になるように前記下降エッジ値を変換する工程と、を含む。

10

【 0 0 1 5 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、二重指数関数型波形に少なくとも部分的に基づいて、前記信号をモデル化する工程を、さらに含み、前記二重指数関数型波形は、

【数 1】

$$p(t) = A.(e^{-at} - e^{-bt})$$

であって、 $p(t)$ は前記信号であり、 A は前記信号エネルギーであり、 a は前記立ち上がりエッジ値であり、 b は前記下降エッジ値である。

20

【 0 0 1 6 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、次の演算によって前記信号の変形を行う工程をさらに含み、該演算は、

【数 2】

$$y(k) = y(k-1) + x(k) - x(k-1).(e^{-a} + e^{-b}) + x(k-2).e^{-a}.e^{-b}$$

であって、 $x(n)$ は、サンプル n で入ってくるデータストリーム値であり、 a 及び b は、信号形状の下降エッジと立ち上がりエッジを決定し、 $y(n)$ は、さらなるスケールリングを必要する可能性がある階段状データストリームである。

30

【 0 0 1 7 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、前記信号の立ち上がりエッジを包囲するウィンドウ内で少なくとも一つのサンプルを削除する工程を、さらに含む。

【 0 0 1 8 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、一以上の検出メトリックを決定することで少なくとも一の信号を検出する工程であって、該一以上の検出メトリックは、期待信号形状を前記階段状データ内のサンプルの一以上のスライディングウィンドウにフィッティングさせ、前記期待信号形状と、各ウィンドウについての前記階段状データとの間でフィットさせたパラメータを推定することで、決定される工程と、一以上の前記検出メトリックを分析する工程と、一以上の前記検出メトリックに基づいて、前記階段データに任意の信号があるか否かを決定する工程と、をさらに含む。

40

【 0 0 1 9 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、一以上の検出メトリックを閾値と比較する工程、又は一以上の検出メトリックを、前記検出メトリックデータの一以上のスライディングウィンドウに適用される二次近似を用いてモデル化し、該検出メトリックの複数のスライディングウィンドウの二次係数同士を比較する工程と、をさらに含む。

【 0 0 2 0 】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、一以上の前記検出メトリックを、前記階

50

段状データを用いた前記期待信号形状の最小二乗フィットにすくなくとも部分的に基づいて決定する工程を、さらに含み、

前記検出メトリックは、

【数 3】

$$\hat{x}(k) = (A^T A)^{-1} A^T b(k)$$

であって、 $x(k)$ は、サンプル k についての検出メトリックであり、 $b(k)$ は、サンプル k を中心とした、前記階段状データのセグメントであり、 A は、中央期待パルス波形のベクトルである。

10

【0021】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、加算、減算、及び/又はスケーリングを用いて前回の検出メトリックにすくなくとも部分的に基づいて、一以上の前記検出メトリックを反復的に更新する工程を、さらに含む。

【0022】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、閾値サンプル数未満で、前記すくなくとも一つの信号から離れた信号を破棄する工程を、さらに含む。

【0023】

いくつかの実施形態においては、当該方法は、有限インパルス応答フィルタ(FIR)を前記検出器出力データで畳み込むことにすくなくとも部分的に基づいて、検出器出力データを変形する工程を、さらに含む。

20

【0024】

当該方法は、データにおけるエネルギー推定変動とモデル化したデータの妥当性の評価を任意に含む。

【0025】

いくつかの実施形態においては、当該装置は、当該方法の各工程を行うように構成される処理回路を含む。他の実施形態においては、当該装置は、当該方法の各工程を行う他の手段を含む。

【0026】

30

本装置は、パルス累積回復が有用である任意の適切な装置を含む。例えば、金属検出器、地雷検出器、医用画像装置、鉱石検出装置、油井検層装置、不発弾検出器、貨物スクリーニング装置、蛍光X線装置又はX線回折装置でよい。この観点の本装置は、デジタル形式データを受け取り、上記の信号処理方法を行うように構成されるプロセッサを含む。本装置は、データを受け取るように構成されるアナログデジタル変換器(ADC)を含んでよい。ADCは、データを受け取り、データをデジタル形式に変換し、デジタル化されたデータをプロセッサに転送する。これは、検出器はアナログデータを出力し、検出器はデジタルデータを出力することが必要ない点で、特に有用性がある。

【0027】

プロセッサは、例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ(若しくはこれのアレイ)、デジタル信号プロセッサ(若しくはこれのアレイ)又はこれら両方の組み合わせを含む。本装置は、アナログデジタル変換器(ADC)を含むアナログフロントエンドを含んでよい。

40

【0028】

本装置は、例えば、プロセッサとデータ通信を行う電子計算装置を含んでよい。この電子演算装置は、プロセッサを制御するとともに、プロセッサの出力を表示するためのものである。本装置は、放射線検出器を含んでよい。

【0029】

用語「信号(signal)」は、個々の信号の総和を含む出力信号全体ではなく、個々の検出事象に対応する出力を示すものとして、この文脈では「パルス(pulse)」と交換可能であ

50

ると理解される。また、信号の時間的位置（又はタイミング）は、信号の最大値の時間（又は時間軸上の位置）、信号の前エッジに応じたもの等、種々の方法で測定、又は表現され得ることも理解される。典型的には、これは、到達時間(arrival time)（「到達時間(time of arrival)」）又は検出時間(detection time)と記載する。

【0030】

用語「検出器データ(detector data)」は、検出器に由来するデータ（その後処理されるのが関連するものによるのか又は他の電子部品によるのかにかかわらず、また、それらが検出器内にあるか又は検出器の外部にあるかにかかわらず）を示すと理解される。

【0031】

本発明は、種々の検出器タイプ及び検出器出力データ形式を用いて幅広い範囲の実施に適用され、様々な出力が生成されるようにする。例えば、一実施形態においては、検出器出力データはX線貨物スクリーニング装置によって生成してよい。このX線貨物スクリーニング装置は、多数のLYSO検出器と、個々の信号の分解により、スクリーニング装置を通過する物体の三次元X線減衰画像の生成を可能とする。他の実施形態においては、検出器出力データは、走査型電子顕微鏡のエネルギー分散型分光法検出器により生成されてよい。個々の信号の分解により、検出器で測定されるX線パルススペクトルヒストグラムのエネルギービン(bin)に配置することが可能となる。ヒストグラムは、その後、さらなるソフトウェア処理を経て、サンプル材料の組成物を定量的に決定する。

【0032】

本発明が適用される産業における重要なメトリクス(metrics)には次のものが含まれる。

- ・ ある技術により扱われ得る入力計数率(ICR)
- ・ ある技術のスループット(つまり、出力計数に対する入力計数の関係)
- ・ ある技術で達成可能な(低い計数率での)最適なエネルギー分解能
- ・ 計数率の上昇に伴うエネルギー分解能の低下
- ・ 非常に高い出力計数率で達成し得る最適なエネルギー分解能
- ・ 計数率についてのピーク位置及びピーク分解能の安定性
- ・ 時間についてのピーク位置及びピーク分解能の安定性
- ・ 低いエネルギーパルスの検出
- ・ ダイナミックレンジ(つまり、低いエネルギー事象及び高いエネルギー事象の両方を検出する。)
- ・ ある技術のパルス波形のばらつきを扱える能力

【0033】

従来技術の信号プロセス方法に対して進歩性のある改善を提供することにより、本発明の種々の実施態様が以上のこれらの指標に対処すると理解される。

【0034】

本明細書(及びこれに続く特許請求の範囲)を通じて、文脈上必須とされない限りは、用語「含む(comprise)」及びその変形(「含む(comprises)」、「含む(comprising)」等)は、記述されるもの(integer)若しくは工程又は一群のもの若しくは工程を包含することを示唆し、他のもの若しくは工程又は一群のもの若しくは工程を排除することを示唆しないと理解される。

【図面の簡単な説明】

【0035】

本発明をより明確に確定するため、いくつかの実施形態を、例示の実装態様によって、添付の図面を参照し、記載する。

【0036】

【図1】図1は、本発明の一実施形態による、パルス累積回復を行うように構成される分光装置例を示す。

【図2】図2は、図1のシリコンドリフトダイオード(SDD)検出器の模式切欠き図である。

【図3】図3は、図2に示す種類のシリコンドリフトダイオードから出力された約100 μ sの

10

20

30

40

50

データ例を図示するグラフである。

【図 4】図4は、本発明の別の実施形態による、パルス累積回復を行うように構成されるX線微量分析装置例を示す。

【図 5】図5は、図4のX線微量分析装置で用いられ得る、EDSシステムが取り付けられる電子顕微鏡の模式図である。

【図 6】図6は、サンプルから出射する蛍光X線を測定するように構成されるSDD検出器を用いて収集したX線エネルギースペクトルを示す。

【図 7】図7は、図1の分光装置の機能的な構成要素の模式図である。

【図 8 A】図8Aは、1000マイクロ秒の時間範囲における検出器出力データのデジタルプロセスによる波形例を図示する。

10

【図 8 B】図8Bは、100マイクロ秒の時間範囲における検出器出力データのデジタルプロセスによる波形例を図示する。

【図 8 C】図8Cは、10マイクロ秒の時間範囲における検出器出力データのデジタルプロセスによる波形例を図示する。

【図 9 A】図9Aは、パルス累積回復の形成例を図示する。ここでは、「テイルエンド累積回復」を図示する。

【図 9 B】図9Bは、パルス累積回復の形成例を図示する。ここでは、「ピーク累積回復」を図示する。

【図 9 C】図9Cは、パルス累積回復の形成例を図示する。ここでは、「多重ピーク累積回復」を図示する。

20

【図 1 0】図10は、本発明の一実施形態による、信号検出プロセスのモデル例を図示する。

【図 1 1】図11は、図10に示したエネルギー検出プロセスのより詳細な数学モデルを図示する。

【図 1 2】図12は、一実施形態による、パルス波形変形を用いた、検出器データのパラメータを示すヒストグラムを決定するプロセス例を示す。

【図 1 3】図13は、検出器で受け取られる放射のパルス波形例を示す。

【図 1 4 A】図14Aは、パルス波形変形プロセスにおいて、検出器のインパルス応答を階段状データ(積分データとも呼ばれる)に変形した結果例を示す。

【図 1 4 B】図14Bは、パルス波形変形プロセスにおいて、検出器のインパルス応答を階段状データ(積分データとも呼ばれる)に変形した結果例を示す。

30

【図 1 5】図15は、変形されたパルス例の立ち上がりエッジを示す。

【図 1 6 A】図16Aは、SDD検出器から収集されたデータについての、検出メトリックの性能を示す。

【図 1 6 B】図16Bは、SDD検出器から収集されたデータについての、検出メトリックの性能を示す。

【図 1 7】図17は、本発明の一実施形態による、パルス累積回復プロセスで生成された検出器出力モデル検証のためのプロセス例を示す。

【図 1 8 A】図18Aは、有限応答フィルタが、積分された検出器データに畳み込まれる一例を示す。

40

【図 1 8 B】図18Bは、有限応答フィルタが、積分された検出器データに畳み込まれる一例を示す。

【図 1 8 C】図18Cは、有限応答フィルタが、積分された検出器データに畳み込まれる一例を示す。

【図 1 9】図19は、一実施形態によるパルス累積回復プロセスにおいて、積分長と積分要素との変化に応じた入力計数率に対する出力計数率のプロット例を示す。

【図 2 0】図20は、一実施形態によるパルス累積回復プロセスにおいて、削除されたサンプルの数を変更することによって達成し得る、主ピークの半値全幅(FWHM)の最適化例を示す。

【図 2 1】図21は、パルス構造例を示す。

50

【図 2 2】図22は、例えば、図16Aに示されるように、検出器データ内の多数のパルスの到着に関連する $A^T A$ の行列構造例を示す。ここでは、システム行列はAで表す。 $A^T A$ の逆行列を必要とする行列は、正方行列である。ここでは、所与のデータフレームにおいて、行数は、信号数に等しい。

【図 2 3】図23は、 $A^T A$ の逆行列の構造を示す。

【発明を実施するための形態】

【0037】

本発明の利点及び特徴並びにこれを達成する方法は、以下の好ましい実施形態の詳細な説明及び添付の図面を参照することで、より容易に理解し得る。本発明は、多くの異なる形式で具現化され得るので、本明細書に記載する実施形態に限定して解釈されるべきではない。むしろ、これらの実施形態は、本開示が徹底的かつ完全となるように開示しており、本技術分野の当業者に発明の概念を十分に提供するものであり、本発明は、添付の特許請求の範囲によってのみ定義される。明細書全体に亘り、類似の参照番号は、類似の構成要素を示す。

【0038】

図面及び明細書は本質的に例示的なものとみなし、限定的なものとしてみなさない。明細書全体に亘り、類似の参照番号は、類似の構成要素を示す。

【0039】

さらに、添付の図面に示す構成部材の大きさ及び厚さは、よりより理解と記載の分かりやすさのための任意なものである。本発明は、図示した大きさ及び厚さには限定されない。

【0040】

放射線、振動、その他の種類のエネルギーの正確な検出と測定に依存する医療診断及び処置方法には、フローサイトメトリー、血液学、腫瘍免疫学及び化学療法、出生前診断、遺伝学、白血病診断、遺伝子配列並びに骨密度測定が含まれる。特に、SPECT(単一光子放射コンピュータ断層撮影)、PET(陽電子放射コンピュータ断層撮影)及びX線走査CT(X線コンピュータ断層撮影)により進化した医療画像撮影が可能である。

【0041】

分光法を、材料の分析のために用いてよい。材料についての情報を、試料中の要素からの放射線の放出又は試料中の要素による放射線の吸収を分析することにより、得ることができる。放射線の放出は、何らかの形式の入射放射による誘導放出又は構成要素からの自然放出の結果であり得る。

【0042】

二つの誘導放出分光法技術として、蛍光X線(XRF)及び荷電粒子励起X線(PIXE)がある。これらの技術は、ICT及び鉱物探査並びに処理産業における材料分析に用いられる。これらの技術においては、高エネルギー光子又は粒子による誘導によって材料を活性化した後、その材料から放出された二次(又は蛍光)X線の検出及び分析を行うことにより、材料についての情報を得る。

【0043】

例えば、ガンマ線分光法は、一つの分光法であり、放出された電磁放射線がガンマ線の形式をとる。ガンマ線分光法においては、結果として生じる放射の検出は、シンチレーション結晶(例えば、タリウム活性ヨウ化ナトリウム、 NaI(Tl))を用いて行われてよいが、他の多くの種類の検出器も利用し得る。 NaI(Tl) 結晶は、入射ガンマ線放射に従って、紫外光子を生成する。その後、これらの光子は、対応する電気信号又はパルスを生成する光電子増倍管(PMT)に指向されてよい。その結果、光子と検出器との間の相互作用に起因してパルス状信号が発生する。これらのパルス状信号の波形は、入射ガンマ線放射、検出する結晶及びPMTによって決定される。これらのパルス状信号の基本的形式は、検出器インパルス応答と呼ばれる。

【0044】

光電子増倍管からの出力は電気信号であり、シンチレーション結晶に到着する個別のガ

10

20

30

40

50

ンマ線に応答して発生した所定の形態の入力信号の合計を表す。検出器出力（詳細には構成信号の振幅）を経時的に分析することにより、材料の化学組成についての情報を推定することが可能である。

【 0 0 4 5 】

上記全ての方法による分析を行うためには、入射放射線、振動、その他のエネルギー形態に反応して発生する個々の信号の特徴付けが必要となる。特に関心のある信号パラメータには、信号振幅、数及び発生時期又は時間的位置（到着時間、最大値の時間又はその他）が含まれる。検出される二回の入射事象の到着時間が検出器の応答時間よりも大きい時間で異なる場合、検出器出力の分析は比較的容易である。しかし、多くの用途においては、高フラックス入射事象を回避することができないか、又は回避することが望ましい場合があるため、分析は合理的な期間で行い得る。到着時間差が小さくなると、その結果得られる全ての信号の特徴付けが困難になる。

10

【 0 0 4 6 】

特に、信号分析は、パルス累積として知られる現象に影響を受ける[例えば、G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, 3rd edition, Chapter 17, pp. 632-634, 658 and 659, John Wiley and Sons, New York 2000]を参照)。それによると、検出器の時間的分解時間内において大体同時に到着する、検出される複数の入射事象による複数の信号は、合計されて単一の信号として計数されてしまう可能性がある。その検出器は、最初の検出から回復する(つまり、信号が基準値に戻るための)十分な時間がなく、後続の事象を正確に検出しない。

20

【 0 0 4 7 】

入射ガンマ線又はX線のエネルギーは、検出器によって生成されるパルス状信号の振幅で反映される。検出器信号内に特定のエネルギーが存在しているということは、ガンマ線又はX線の発生元である材料中に特定の要素が存在していることを示す。そのため、重畳した複数の事象からの単一のシンチレーション事象による大きな振幅信号を区別できない場合、後続の分光分析の精度に重大な影響を与える可能性がある。

【 0 0 4 8 】

アナログパルス整形回路(つまり、パルス整形増幅器、遅延ライン回路及び弁別器)を用いて、放射線検出器の出力を分析してもよい。しかし、検出器出力の直接的なデジタル処理、それに続く、デジタルパルス分析技術を用いることが望ましいだろう。デジタルパルス処理についての最適なフィルタリング技術の設計及び実装において、放射線検出器の出力におけるパルス累積を扱うアプローチであれば、デジタル及びアナログシステムの両方と矛盾しないだろう。

30

【 0 0 4 9 】

特定のパルス整形電子機器では、検出器の応答時間を小さくし、最終スペクトルの累積率を低くする[A. Pullia, A. Geraci and G. Ripamonti, Quasioptimum γ and X-Ray Spectroscopy Based on Real-Time Digital Techniques, Nucl. Inst. and Meth. A 439 (2000) 378-384]。しかし、この技術は、典型的に、検出器応答時間によって制限されてしまう。

【 0 0 5 0 】

別のアプローチとして、「パルス累積拒否」がある。この「パルス累積拒否」は、高速デジタルフィルタ及び論理回路を用いて、累積事象を検出し、破損データを破棄する。パルス累積のない信号が、分析に用いられる。しかし、検出器上への放射入射率の上昇と共に、パルス累積の発生可能性も高くなり、データを破棄する必要性も高くなる。したがって、パルス累積拒否の場合、有用性が限定的である。なぜならば、より多くの入射する放射線フラックスが分光分析に必要な時間を減殺するを停止する前に、拒否されなくてはならないデータの割合が上昇した状態に早期に到達するためである。多くのアプリケーションにおいて、80%程度の情報がデッドタイム及びパルス累積の影響で失われる[D.M. Scates and J.K. Hartwell, Appl. Radiat. Isot. 63, 465-473(2005)]。

40

【 0 0 5 1 】

50

より洗練したアプローチとしては、検出器からの単一パルスのプロファイルについての情報を利用する、又は信号のパラメータを数学的にモデル化することである。原理的には、単一事象に由来する信号又はパルスをパルス累積により発生したものから区別することができる。そのような分析方法[R.J. Komar and H.-B. Mak, Digital signal processing for BGO detectors, Nucl. Inst. and Meth. A336 (1993) 246-252]においては、サンプルプロファイルから離れた信号が、次の分析のために選択される。この分析では、分解及び振幅の異なる二つのパルスを、相互作用の処理を介して、フィッティングすることが含まれる。一旦、フィッティングが決定されると、個々のパルスの特性がフィッティングパラメータから分かるので、接近して起きた二つの信号から生じるパルスを、対応する個別の信号に分解することができる。しかし、このアプローチでは、パルス累積が二つより多い信号の重畳により生じる状況には対応していない。相互作用的な最適化は計算量が多く、このプロセスを実行するための時間により、大体の状況において、それが非実用的になってしまう。

【 0 0 5 2 】

パルス累積はまた、地震データ収集においても問題となる。Naoki Saito (in Super resolution of Noisy Band-Limited Data by Data Adaptive Regularization and its Application to Seismic Trace Inversion, CH2847-2/90/0000-123, 1990)は、地震トレースにおける接近するスパイクを分解することに関する。開示の技術においては、データ適合調整を用いてノイズ存在下における欠損周波数情報を回復させ、反復を繰り返すことにより、向上した分解能を得る。しかし、このアプローチの場合、計算量が多い。

【 0 0 5 3 】

より複雑な信号処理方法を実装することに関心に向けて、検出器の分解能、タイミング及び高計数率でのスループットをさらに改善するものがある[R. Novak and M. Vencelj, IEEE Trans. Nucl. Sci. 56(6), 3680-3687 (2009)]。しかし、より進んだ「最適な」でデジタルパルス処理技術の性能は、そのような技術のもととなる仮定に高く依存する[S. Riboldi, R. Abbiati, A. Geraci and E. Gatti, IEEE Trans. Nucl. Sci. 52(4), 954-958 (2005)]。

【 0 0 5 4 】

大量の計算量を必要とする方法は、最大スループットに限界があり、所定の環境における処理技術の実用的な実装については課題を呈している。

【 0 0 5 5 】

図1は、本発明の一実施形態による、パルス累積回復を行うように構成される分光装置例を示す。図1において、本発明の一実施例によるパルス累積回復を実行するように構成される分光装置を提供する。分光装置100は、エネルギー分散型のS線分光法でのX線の検出及び測定に用いられる種類のシリコンドリフトダイオード(SDD)検出器で形成される検出器110と、信号処理部114と、表示用のコンピュータ116と、信号処理部114の出力をコンピュータ116に結合するケーブル112とを、含む。

【 0 0 5 6 】

図2は、図1のシリコンドリフトダイオード(SDD)検出器110の模式切欠き図である。検出器110は、高抵抗の高純度のn型シリコン174によって構成される。このn型シリコン174は、深さが450 μm のオーダーであり、10-150mm²の活性表面積を有する。検出器110の入射面222(すなわち、X線放射が使用時において通常入射する窓側)の活性領域は、同質のp型シリコンの肉薄の接合224によって被覆される。検出器110の後側280(すなわち、デバイス側)はp型同心ドリフトリング電極282a及び282bを一体型分圧器(図示せず)と共に有する。

【 0 0 5 7 】

前面および後面上に均一間隔で配置された電極の構造により、横断する電気ポテンシャル場を検出器110の厚さを横切る方向に生成する。さらに、同心リング電極282a及び282bのパターンにより、強力なラジアル収集場を生成する。これらの電極により、ラジアル電

10

20

30

40

50

場および横断電場双方が発生し、「収集チャンネル」が発生する。

【0058】

X線284が検出器110に入射して検出器110と相互作用すると、電子ホール対が発生する。発生した対の数は、入射X線のエネルギーに比例する。検出器110内の電気ポテンシャル場によって規定された収集チャンネル286に沿って自由電子が検出器110を通じてドリフトし、中央の電子収集陽極288において収集される。中央陽極288上に収集された電荷は、第一段増幅プロセスにおいて電界効果トランジスタ(FET)190によって増幅される。電界効果トランジスタ(FET)190は、検出器110に統合されている。その後、陽極288から出力された信号は、デジタル化された検出器出力データ(図3を参照)として信号処理部114によって増幅及び整形される。

10

【0059】

シリコンドリフトダイオード検出器110の構造の望ましい利点は、陽極288のキャパシタンスが低いため、電子ノイズが低くなることである。その結果、いくつかの他のX線検出器(例えば、Si-PINフォトダイオード又はSi(Li)結晶)の場合よりもエネルギー分解能が向上し、計数率も高くなる。

【0060】

図3は、図2に示す種類のシリコンドリフトダイオード検出器から出力された約100 μ sのデータを示す。上述したように、パルス整形及び増幅電子機器により、陽極188上に収集された電荷は増幅及び整形されている。図3は、その結果得られた信号を示す。300でのこのデジタル化された検出器出力においては、単一のX線の検出から得られる信号形状であることが明らかである。しかし、多数のX線事象が立て続けに検出器と相互作用する状況がある。そのような状況は、302aおよび302bで明らかであるが、次の事象の発生前に検出器110が一つの事象から回復せず(すなわち、信号が基準値に戻らない)、パルス累積につながっている。それゆえに、分光法装置100はパルス累積が発生し易いため、上記したような信号処理部114を用いて、検出器110の出力中のパルスの位置および振幅を決定する。

20

【0061】

いくつかの実装態様例においては、分光法装置は、実装態様に応じて多数の異なる形式をとり得る。例えば、金属検出器、地雷検出器、撮像装置(例えば、医用画像装置)、鉱石検出装置、油井検層装置、不発弾検出器、貨物スクリーニング装置、積荷スクリーニング装置、蛍光X線装置、X線回折装置、X線吸収分光法装置、X線後方散乱装置、小角度中性子散乱装置、粉末回折計装置、中性子反射率計装置、石油探査装置、走査電子顕微鏡装置、半導体放射検出器(例えば、シリコンドリフト検出器装置、テルル化カドミウム亜鉛検出器装置若しくは高純度ゲルマニウム(HPGe)検出器装置)、振動検出器(地震反射装置など)、無線検出および測距(RADAR)装置、音響航法と測距(SONAR)装置、要素検出および測定装置、放射安全検出装置、生物学的検定法装置(フローサイトメトリー装置、ラジウムノアッセイ等)又は超電導装置(超電導トンネル接合装置、超電導熱量計等)がある。

30

【0062】

本発明の一実施形態によれば、図4は410に模式的に示す本発明の別の実施形態によるパルス蓄積回復を行うように構成されるX線微量分析装置例を示す。X線微量分析装置410は、(エネルギー分散分光分析(EDS)システム414が取り付けられた)電子顕微鏡412で形成される検出器と、(図1のものに相当する)信号処理ユニット404と、表示のためのコンピュータ406と、信号処理ユニット404の出力をコンピュータ406に結合するケーブル402と、を含む。信号処理ユニット404は、上記のように、電子顕微鏡412の出力中のパルスの位置及び振幅を決定する。

40

【0063】

図5は、EDSシステム514が取り付けられた電子顕微鏡412の模式図あり、図4のX線微量分析装置で使用され得る。電子銃520は電子ビームを生成してよい。この電子ビームは、連続する一対のコンデンサレンズ522aおよび522bによって集光される。その結果集光された電子ビーム524はアパチャ526を通過して電子顕微鏡の真空チャンバ528中に入り、電子ビーム524は、チャンバ528内のステージ532上に取り付けられた試料530に入射する。走査コ

50

イル584を用いて、集光された電子ビーム524を試料530を横切る方向に走査してよい。

【 0 0 6 4 】

電子ビーム524が試料530に入射すると、試料530から電子が放出され、その結果、電子カスケードが高いエネルギー軌道から低いエネルギー軌道に遷移し、X線が放出される。これらのX線は、試料530を構成する要素に固有の波長を有するため、これらの要素の特徴付けに用いてよい。

【 0 0 6 5 】

放出されたX線の分析は、EDSシステム514によって開始する。EDSシステム514は、電子顕微鏡412の外部に取り付けられる。EDSシステム514は、シリコンドリフトダイオード(SDD)検出器536を含む。シリコンドリフトダイオード(SDD)検出器536は、低温指部538の端部に取り付けられる。低温指部538を用いて、いくつかの実装態様においては、検出器536の表面を例えば、-25℃まで冷却する。SDD検出器536からの出力信号が、パルス整形電子機器(図示せず)によって増幅及び処理される。このパルス整形電子機器は、EDSシステム514の本体540内に収容される。最終的に、蛍光X線のエネルギーが、信号処理ユニット404によって決定される。EDSシステム514は、SDD検出器536と試料530との間の距離にわたって自動制御が可能のように、自動可変移動ステージ542上に取り付けられる。

【 0 0 6 6 】

図3は、EDSシステム514から出射されたX線から形成され、シリコンドリフトダイオード(SDD)検出器536によって取得されるデジタル時系列を示す。個々のパルス300の下の領域により、出射X線に起因して検出器上に累積したエネルギーが規定される。

【 0 0 6 7 】

図6は、X線エネルギースペクトル例を示す。X線エネルギースペクトルは、SDD検出器(図2、図4及び図5を参照)を用いて収集される。SDD検出器は、あるサンプルから出射された蛍光X線を測定するように構成される。X線管により、蛍光X線の放出を活性化してよい。蛍光X線の相対的エネルギーをX軸に沿って示す。このスペクトル中のエネルギーチャンネルの合計数は8,192チャンネルである。Y軸は、各エネルギーチャンネルにおいて記録された事象数を対数目盛り上において示す。

【 0 0 6 8 】

図6のスペクトルは、60秒のデータ収集合計を表す。SDD検出器の入力計数率(ICR)(検出器と各秒毎に相互作用する事象数)は、1秒あたり約153,200事象であった。SDD検出器の出力計数率(OCR)(毎秒あたりにEDSシステムから出てくる事象数)は、1秒あたりおよそ131,700事象であった。システムデッドタイム(ICRとOCRとの間の差)は14%であった。このX線スペクトルのエネルギー分解能は、主要ピークにおける半値全幅値(FWHM)として規定され、159電子電圧(eV)又は2.48%であった。

【 0 0 6 9 】

自然発生する(主に55Feである)鉄からの最も一般的な蛍光X線のエネルギーは6.40keVである。図6のエネルギースペクトルにおいて、このX線の発光ピークは、およそチャンネル2,550のところ、650において見られる。55Feの特性で公知である別の蛍光X線の発光ピークは7.06keVであり、図6のX線エネルギースペクトルの652において視認することができる。サンプル(または周囲空気)中の他の要素からのそれほど一般的ではない蛍光X線も、654においてエネルギースペクトル中に見得る。

【 0 0 7 0 】

二つのさらなる別個のピークを、チャンネル5,000とチャンネル5,500との間のところに(656及び658において)視認することができる。これらのピークは、高いエネルギー蛍光X線に起因するのではなく、より低いエネルギー特性ピークの55Feが(650及び652において)それぞれ6.40keV及び7.06keVであることによる信号の重畳に起因する。パルス累積に起因するこれらのピークの重畳は、放射事象が立て続けに検出器に到着したために、後続信号の到着前に検出器が最初の事象から十分に回復できない(検出器出力信号が基準値に戻らない)場合において、SDD検出器の出力において発生する。

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

SDD検出器のデジタル化出力にパルス累積が発生した場合、X線エネルギースペクトル中にピークが累積し、その結果、これらのピークが正確な材料特徴づけと干渉し得る。なぜならば、これらのピークは、サンプルに由来する他の蛍光X線からのスペクトルピークを被覆し得るからである。そのため、上記のような信号処理部114を用いて、SDD検出器の出力中のパルスの位置および振幅を決定する。

【0072】

本発明のアプローチは、他の多数の分野において利用することが可能である。いくつかの実装態様において、パルス累積は、地震データ処理において問題となる。いくつかのアプローチは、（良好な結果は得られる場合であっても）計算が大量に必要である。本発明の方法は、過度の計算オーバーヘッドを発生させることなく地震データの処理に用いることが可能であるため、いくつかの技術を用いた場合にいくつかの用途における結果が良くなかった場合でも、比較的高速かつ低コストの代替的アプローチを得ることができる。

【0073】

本発明の別の実施形態においては、音響エネルギーを用いて、非限定的な例としての石油のための地盤調査を行うのに用いられる反射地震学システムが用いられる。音響反射又は反射地震学は、地震学の原理を用いる地球物理学的調査技術であり、地下環境の特性を決定する。反射地震学は、爆発、振動器又は特殊設計の空気銃を用いて、開始点から地球の地下内に地震波を伝える(ignite)ことによって行われる。このようにして生成された地震波は、地球を通じて伝導する一種の弾性波である。異なる種類の地下物質(花崗岩、頁岩、ガス、石油等)は異なる音響インピーダンスを有するため、伝えられる地震波が物質間(つまり、異なる音響インピーダンスを有する物質間)の境界に衝突すると、波エネルギーの一部は境界を透過し、波エネルギーの別の一部は、境界から反射する。反射波の振幅は、境界に入射する波の大きさ、波が境界と交差する角度及び二つの物質間のインピーダンスコントラストに依存する。

【0074】

境界から反射して地球表面に戻ってくる地震波の一部は、地震計アレイにより検出される。地震計アレイは複数の個々の受振器を含む。それらの受振器は、反射した地震波により誘発された地動を、電気信号に変換する。使用時において、受振器は地球表面に結合され、ケーブルに接続される。その後、受振器から出力される電気信号をさらなる分析及び処理用に記録ステーション記録する。記録ステーションはパルス処理基板を含む。そのパルス処理基板は、図1のパルス処理基板114に相当し、受振器から出力される電気信号を受信及び処理して、受振器の出力中の個々の信号を分解するように構成される。

【0075】

この技術のいくつかの用途において、反射した地震波形態を記憶するために、複数の音響検出器についての単一の爆発点を用いる可能性があることに留意されたい。他の用途においては、音響検出場所と共に複数の爆発場所を用いて、地下環境のよりロバストなモデルを決定し得る。

【0076】

本発明の他の実施形態による同等のシステムとしては、海洋環境における調査を行うのに用いられるものでもよい。本実施形態において、このシステムは、励起源として、圧縮空気銃アレイをけん引する船舶を含む。これらの銃は低周波音響パルス(300Hzおよび250dBまで)を海洋中に出射して、海底中の地震波を刺激する。このシステムはまた、反射地震波を検出する複数の地震ケーブルも含む。これらのケーブルは典型的には、並列的に用いられ、本実施形態においては、長さは少なくとも6キロメートルであり、相互に150メートルの間隔を開けて配置され、水中聴音器を備える。これらの水中聴音器は、各ケーブルに沿って一定間隔で配置され、海底の特徴から反射する音響信号を記憶する。この実施形態によれば、このシステムは図1のパルス処理基板114と同等の(船舶上の)パルス処理基板を含む。このパルス処理基板は、これらの水中聴音器の出力中の個々の信号を分解するため、水中聴音器の出力を受信及び処理する。

【0077】

反射地震学は地上環境及び海洋環境の両方における炭化水素調査の主な形式である。他の資源(石炭、鉱石、鉱物及び地熱エネルギーを含む)発見するのに用い得る。深さ数十メートルまでの浅い地下特徴をより多く検出するために、弾性波の代わりに電磁波を用い得る。これは、地下探知レーダと呼ばれる技術である。本発明の他の実施形態によれば、このような全てのシステムは、図1のパルス処理基板114と同等なパルス処理基板を含む。このパルス処理基板は、検出器の出力中の個々の信号を分解するため、音響又はレーダ検出器の出力を処理する。

【0078】

本発明の方法は、多数の材料又は製品分析分野においても用いることができる。いくつかの実装形態において、半導体処理及び作製では高分解能測定装置及び技術を用いて、サンプルのパラメータを評価する。例えば、シリコンの半導体基板に付着した薄膜(酸化膜、金属、誘電体等)について、種々の測定が行われる。非破壊技術は、厚さの評価、不純物の特定、及び膜の反射率の決定において特に有用であり、作製時における高収率を確保する。半導体作製において特に有用な一種のデータとしては、ドーパント(ヒ素、リン、ホウ素等)のイオン注入の量及びプロファイルに関するものがある。このデータは、蛍光X線測定を多様な小角度で行い、Si(Li)検出器などのエネルギー分散固体検出器を用いて収集してよい。本発明の方法を、この分野におけるそのような検出器の出力を処理するのに用いてもよい。

【0079】

自動デオキシリボ核酸(DNA)シーケンシングにおいて、任意の所与の時間において検出領域中にヌレオクチドが一つだけ存在することを保証することによって、パルス累積(つまり、デッドタイム)の問題を回避してもよい。しかし、そのようにする必要性は実質的に低減し、本発明の方法の利用によりデータ収集の大幅な高速化が可能となる。

【0080】

同様に、微小電子回路の広範は利用に起因して、高分解能測定が可能な高度な分析技術が必要となっている。いくつかの実装態様においては、フォトルミネセンス分光法を半導体(特に、局所的結晶欠陥による構造的な不連続が起きやすい化合物(ガリウムヒ素等)のもの)中のフォトルミネセンスを測定する。いくつかの他の実装態様においては、そのような欠陥はフォトルミネセント出力として検出の変化として検出し、単一光子アバランシェダイオード(SPAD)検出器を用いて計測する。このような検出器からの出力を処理することにより、調査中のサンプルのフォトルミネセント寿命遅延特性の計測が可能となる。いくつかの実装態様においては、GaAs基板中のフォトルミネセンスが急激に低下することにより高反復率のパルスレーザ源の利用が可能となり、データ収集速度として500,000計数/秒が理論的に可能となる。実際には、より高速な市販の時間/振幅変換器の変換デッドタイムは有限であるため、パルス累積によりこのような用途における最大データ収集速度は約100,000計数/秒に制限される。本発明の方法をこのような検出器からのデータ処理に用いれば、これらの用途におけるデータ収集速度は大幅に大きくなる。

【0081】

当業者であれば、上記の放射線検出器の配置は単なる実施形態例である容易に理解するだろう。本発明は、本明細書で記載されるように、例えば、放射線、振動、その他の種類のエネルギーについてのあらゆる検出器システムに同様に適用してよい。

【0082】

いくつかの実装態様において、本発明はそれらに限定されないが、本発明が適用可能な他の種々の配置には次のものが含まれる。

【0083】

(1) 多様な他の種類の有機又は無機のシンチレータ(例えば、それらには限定されないが、フッ化バリウム(BaF_2)、フッ化カルシウム(CaF_2)、ゲルマニウム酸ピスマス(BG0)、タングステン酸カドニウム(CdWO_4)、ヨウ化セシウム(CsI)、タリウム活性化CsI(CsI(Tl))、ナトリウム活性化CsI(CsI(Na))、酸硫化ガドニウム($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$)、臭化ランタン(LaBr_3)、塩化ランタン(LaCl_3)、タングステン酸鉛(PbWO_4)、ヨウ化ルテチウム(LuI_3)、ケイ酸ル

10

20

30

40

50

テチウム(LSO)、タリウム活性化ヨウ化ナトリウム(NaI(Tl))、イットリウム・アルミニウム・ガーネット(YAG)、硫化亜鉛(ZnS)、タングステン酸亜鉛(ZnWO_4))を用いる放射線の検出。

【0084】

(2) ガンマ線光子により累積したエネルギーによって半導体に生成される荷電キャリア(電子及び正孔)の検出に依拠する固体(半導体)検出器を用いる放射線の検出。例えば、リチウムドープシリコン、ゲルマニウム、テルル化カドニウム又はテルル化カドニウム亜鉛からできている検出器。

【0085】

(3) 走査電子顕微鏡(SEM)における電子検出。SEM画像化には、二つの種類の電子検出器を用いてよい。シンチレータタイプの検出器(Everhart-Thornley)は、二次電子の画像化に用いられる。この検出器は、信号対雑音比の改善のため、正の電圧で帯電し、検出器に電子を引き付ける。また、後方散乱電子のための検出器は、シンチレータタイプの検出器又は固体検出器でよい。

【0086】

(4) フローサイトメトリでの光学放射検出。フローサイトメトリにおいて、検出器は、典型的には、シリコンフォトダイオード又は光電子倍增管(PMTs)を含む。シリコンフォトダイオードは、光学信号が強い場合の前方散乱を計測するのに用いられる。PMTsは、より好感度の機器であり、散乱光及び蛍光の読み取りに最適である。

【0087】

図7は、図1の分光法装置の機能要素の概略図である。図7を用いて、図1の装置で用いるパルス累積回復の信号処理方法についてより詳細に説明する。図7を参照すると、放射線検出器750は、アナログフロントエンド(AFE)754を介してパルス処理基板752に接続される。AFE754は、アナログデジタル変換を行うことにより、放射線検出器750で生成された信号をデジタル化することを目的とする。本実施形態においては、125MHzで12-bitの変換精度である。

【0088】

一旦、放射線の出力をAFE754によりデジタル化したら、パルス累積回復の信号処理方法を実施する。AFE754により生成されるデジタル信号は、パルス処理フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)に入る。その後、パルス処理FPGA756は、本実施形態のパルス処理方法を実施する。デジタル信号処理(DSP)コプロセッサ758を用いて、パルス処理方法を実施するパルス処理FPGA756を補助してよい。パルス処理FPGA756により必要とされる変数及びパルス処理方法の中間工程で生成されるデータはメモリ760に記憶される。この信号処理は、データ/制御インタフェース762を介して制御される。データ/制御インタフェース762は、制御プロセッサ764とともに、この信号処理の実装態様を修正するのに用いてもよい。この信号処理方法からの出力データは、データ/制御インタフェース762を介してディスプレイ766に表示され得る。ディスプレイ766は、コンピュータに設けられてよい。コンピュータは、必要に応じて、後処理及びシステム制御を行うのに用いてよい。

【0089】

図8a、図8b及び図8cは、それぞれ、1000マイクロ秒、100マイクロ秒、10マイクロ秒の時間範囲にわたる、検出器出力データのデジタル化により生じる波形例を図示する。これらの図における種々のピークはそれぞれガンマ線の検出に対応する。いくつかのピークは、単一のガンマ線の存在を示す個別の信号又はパルス(870、872)として表れる。他のピークは、二つのピーク(876)又は三つ以上のピーク(874)の累積によるものである。

【0090】

図9a、図9b及び図9cは、パルス累積の形態例を図示する。すなわち、図9a、図9b及び図9cは、本発明の実施形態による、「テイルエンド累積回復(tail-end pile-up)」、「ピーク累積(peak pile-up)」、「多重ピーク累積(multiple peak pile-up)」をそれぞれ図示する。図9a、図9b及び図9cに示されるように、パルス累積の影響が、時間tに対するエネルギーEとしてプロットされる例示の信号又はパルスにより示されている。図9aはい

10

20

30

40

50

わゆる「テイルエンド累積」を図示する。これは、用いられるパルス調整の種類に依存して、一つのパルス981のテイル(tail)が著しい正又は負のバイアスを(図示された実施形態においては正)次のパルス982の振幅に提供し得る。二つのパルス間の時間ずれ Δt が(パルスが広がる時間間隔全体に対して)相対的に大きくても、信号エンベロープ又は結果として生じる波形984は、第二パルス982の到着時に著しくゼロを超えている。

【0091】

二つのパルスの中で、真にゼロである信号状態がないと、第一パルスのテイルが、第二パルスの振幅を誤ってつり上げるため、分析に間違いが起きてしまう。図9bは、パルス累積の第二の形態、「ピーク累積」を図示する。ここでは、二つのパルス986とパルス988が時間的に近接して到着している(つまり、パルス間の時間ずれ Δt が、パルスが広がる時間間隔全体に対して小さい)。結果として生じる出力波形990は、その成分パルスのいずれかよりも幾らか振幅の大きい単一パルスとして事実上現れる。検出器を通じた光束事象が極端に多い状況においては、検出器の反応時間内に多数の事象が到着して、多重ピーク累積をもたらすことがまれではない。そのようなケースは、図9cによって図示されている。多数の信号又はパルス(992で示されるようなもの)が、ランダムな時間間隔 Δt で到着し、足し合わされて結果として生じる波形994を生成する。波形994から、その成分信号のパラメータを抽出するのは難しい。

【0092】

この実施形態による、パルス累積に対処する方法の一つのコンポーネントは、信号又はパルスの所定のパラメータを推測することである。これらのパラメータは、信号(パルス)数、到着時間及び検出器データストリームの全ガンマ線のエネルギーである。本実施形態によれば、このデータストリームにおける信号を数学的にモデル化することにより、これらのパラメータが推定される。

【0093】

< 信号モデル化 >

図10は、本発明の実施形態例による、事象検出プロセスのモデル化例を図示する図である。放射線、その他のエネルギー事象 $g(t)$ 1000は、測定プロセス $m(t)$ で表される検出器1002に入射し、結果として検出器からの出力データ $y(t)$ 1004が生じる。サンプリングプロセス1006を加えることで、デジタル検出データ又は「時系列」 $x[n]$ 1008を生成する。

【0094】

上記のモデルに対して、エネルギー事象検出の物理的プロセスについての情報を追加することができる。図11は、本発明の実施形態例による、図10に示されたエネルギー検出プロセスのより詳細な数学的モデルを図示する。検出器への入力 $g(t)$ は、式(1)により特徴付けられる。ここで、入力 $g(t)$ は、ランダム振幅 α と到着時間 τ を持つ、デルタ関数に近い不特定数 N のインパルスと考える。そのような入力の実装形態例は1110で示す。

【数4】

$$g(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \delta(t - \tau_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

【0095】

検出器は、入力事象(incoming events)に対する特定応答を有すると考える。この特定応答を検出器インパルス応答 $d(t)$ と呼び、1112で図示する。検出器インパルス応答をデジタル化したもの(digitized version)を、 $d[n]$ で示す。

【0096】

検出器からの出力を1116で示す。検出器からの出力は式(2)により特徴付けられる。ここで、検出器出力 $y(t)$ は、未知のエネルギー α と未知の到着時間 τ を持つ、不特定数の信号の所定形式 $d(t)$ の合計である。また、ランダムノイズ $\omega(t)$ の発生源を考慮する。1118で示すデジタル検出器データ $x[n]$ は、アナログデジタル変換器によって生成される。

【数 5】

$$y(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i d(t - \tau_i) + \omega(t) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

【0097】

アナログデジタル変換器306の出力での、デジタル信号 $x[n]$ は、1118で示すように、式(3)により与えられる。

【数 6】

10

$$x[n] = \sum_{i=1}^N \alpha_i d(n - \Delta_i) + \omega(n) \quad (3)$$

【0098】

ここで、 $d[n]$ は、信号の所定形式 $d(t)$ の離散時間形式であり、 Δ_i は i 番目の信号へのサンプル内の遅れであり、 $\omega(n)$ はノイズの離散時間形式である。デジタル信号 $x[n]$ は次の式(4)の行列形式で記載してもよい。

20

【数 7】

$$x = A\alpha + \omega \quad (4)$$

【0099】

ここで、 A は、 $m \times N$ 行列であり、この行列の成分は次により与えられる。

【数 8】

30

$$A(n, i) = \begin{cases} d(n - \Delta_i) & \Delta_i \leq n < \min(m, \Delta_i + T - 1) \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases} \quad (5)$$

【0100】

また、 T は、サンプルの $d[n]$ の長さであり、 m はデジタル信号 $x[n]$ の総サンプル数であり、 α は N 個の信号エネルギーのベクトルであり、 ω は長さ m のノイズベクトルである。行列 A は、次の式(6)のようにも示せる。

【数 9】

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & & \\ 0 & \vdots & & \\ d(1) & & & \vdots \\ d(2) & 0 & & \\ \vdots & d(1) & & \\ d(T) & & & \\ 0 & \vdots & \ddots & 0 \\ \vdots & d(T) & & d(1) \\ & & & d(2) \\ & & & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & d(r < T) \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{第 } \Delta_1 \text{ 行} \\ \leftarrow \text{第 } \Delta_2 \text{ 行} \\ \leftarrow \text{第 } \Delta_N \text{ 行} \end{array} \quad (6)$$

【 0 1 0 1 】

ゆえに、行列Aの列は信号波形の多重の場合を含む。個々の列について、信号波形の始点は、信号の時間的位置によって定められる。いくつかの実装形式においては、データ内の信号が位置2、40、78、125で到着する場合、行列Aの1列目は、1行目に0、2行目に信号形式の第一データ点、3行目に信号形式の第二データ等を有する。2列目は、40行目まで0を有し、それに続いて、信号形式を有する。3列目は、78行目まで0を有する。4列目は、125行目まで0を有し、その後に、信号形式を有する。従って、行列Aのサイズは、特定される信号の数（これが、列数になる）によって決定される。また、行数は、「時系列」のサンプル数に依存する。

【 0 1 0 2 】

本実施形態の信号処理方法は、ゆえに、検出器データのいくつかの未知のパラメータを正確に推定しようと試みている。これらの未知のパラメータは、検出器出力の構成信号数Nだけではなく、各構成信号のエネルギー α 及び到着時間 τ をも含む。

【 0 1 0 3 】

<パルス波形変形>

今まで、パルス累積拒否プロセスは検出器インパルス応答の全体波形を用いて、個々のパルスエネルギーを推定していた。結果として、計算は、(大体)全体で45×45の行列の分解を含む行列方程式の解を求めている。

【 0 1 0 4 】

本発明は、まず、さらなる処理用のより単純な形式に、信号を予め含める、又は変形することによって、従来技術の方法の計算上及び実装上の課題を回避する。これは、典型的な検出データの曲線ピーク波形とは対照的なステップ関数に実質的に類似する。これにより、従来技術の方法の計算負荷を顕著に低減し、非常に高い入力計数率で受信した信号を処理し、いったん処理されたら、非常に高い出力計数率を有する信号の出力を可能にする。

【 0 1 0 5 】

AFEにより生成されるデジタル信号は、パルス処理フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)送られる。FPGA756は、パルス波形変形器を含む。図12は、本実施形態による、パルス波形変形を用いた検出器データのパラメータを図示するヒストグラムを決定する処理例を示す。図12で図示される工程は、パルス処理FPGA756、若しくはDSPコプロセッサ

758などの他のコンポーネント及び/又は制御プロセッサ764により行ってよい。ブロック1220では、パルス処理FPGA756がパルス波形変形をもちいて、検出器データを処理して、パルスの下降時間を無限大に向けて伸長する。ブロック1222では、パルス処理FPGA756はさらに検出器データを処理して、パルスの存在を検出する。ブロック1224では、パルス処理FPGA756は、検出したパルスのエネルギー及び/又は関心のある他のパラメータを推定する。ブロック1226では、パルス処理FPGA756は、詳細を下記に記載する検証プロセスを通じて、推定の正確性を検証する。最終的に、ブロック1228では、パルス処理FPGA756は、検証したエネルギー推定を用いて、さらなる後処理用にユーザにより利用され得るヒストグラムを構築する。

【0106】

10

図13は、検出器で受信した放射のパルス波形例を示す。前述したように、また、図13を参照すると、データストリームは、パルス1330を含む。パルス1330の形状は、典型的には、急激な立ち上がりエッジ1332と、エッジ1332が達するピーク1334と、その後の、基準値に戻るよう下降する徐々に下降するエッジ1336とからなる。パルス波形変形器モジュールは、時間領域において各パルスの立ち上がりエッジを圧縮し、下降エッジを伸長する働きをする。理想的には、立ち上がりエッジは、瞬間的なものになるように圧縮され、下降エッジは無限大になるように伸長される。一方、検出器パルス波形の特徴により、どの程度まで理想形が達成され得るのかを決定する。

【0107】

パルス波形変形器は、ある範囲にある任意の数のパルス波形を適切な変形演算を用いて、所望のステップ波形に変形することができる。例えば、ガウス関数又は単一指数関数のパルス波形を用いる。しかし、下記に記載する好ましい実施形態では、検出器における検出事象の物理プロセスを最もよく表現する二重指数関数的波形を用いて信号パルスをモデル化する。これにより、検出事象の最も洗練、正確な特徴付けを提供する。

20

【0108】

<実装態様1 - 二重指数関数>

検出器パルス波形例は、図13に示すように、二重指数関数的波形でモデル化され得る。

【数10】

30

$$p(t) = A.(e^{-at} - e^{-bt}) \quad (7)$$

【0109】

ここで、 $p(t)$ はパルスであり、 A はパルスエネルギーであり、 a と b はパルス波形の下降及び立ち上がりエッジを決定する。

【0110】

二重指数関数的パルス波形に対して、パルス波形変形器は、入力データストリームについて次の式(8)の操作を行う。

【数11】

40

$$y(k) = y(k-1) + x(k) - x(k-1).(e^{-a} + e^{-b}) + x(k-2).e^{-a}.e^{-b} \quad (8)$$

【0111】

ここで、 $x(n)$ はサンプル n での入力データストリーム値であり、 a と b は、パルス波形の下降及び立ち上がりエッジを決定し、 $y(n)$ は、さらなるスケールリングを必要とする可能性があるステップデータストリームである。

【0112】

これは、標準的な無限インパルス応答(IIR)フィルタ構造で実装し得る。

50

【0113】

従来用いられていたパルス波形変形は、典型的には個々のパルスを分解しようと試みることによって、パルス累積の発生を減らして、スループットを改善することを目的としていた。一方、上記のようにテイルエッジ(tailing edge)を無限大に向けて伸長すると、パルス累積が顕著に増加する。所与のパルスについて、そのパルスの後に到着する各パルスが、そのパルスの無限に長いパルス応答に累積される。この処理方法は、このため、当業者には非生産的かつ非直観的であるように思われる。しかし、この中間処理工程により、検出器データがこの変形状態で提示されると、次の処理段階において、検出器データの計算的分析をかなり簡単にすることが可能となる。

【0114】

図14aと図14bは、パルス波形変形プロセスにおいて、検出器インパルス応答データをステップデータ(積分データとも呼ばれる)に変形した結果例を示す。

【0115】

< サンプルの削除 >

(立ち上がりエッジ時間をゼロに圧縮し、下降エッジ時間を無限大に伸長することによって)当初パルスストリームを理想的なステップ波形にする変形は、モデル化による制限、二次効果又は、パルス波形変形を実装するのに利用可能なリソースについての制限により、必ずしも達成することができるわけではない。特に、図15は、複数のサンプルで起きる変形されたパルスの立ち上がりエッジ例を示す。

【0116】

理想的に変形されたパルス波形による計算負荷軽減での利点を得るために、計算を若干修正してもよい。一つの望ましい修正としては、(実際に変形されたパルスデータが理想的に変形されたパルス波形とは異なる場合に)各パルスの立ち上がりエッジを計算から除外するようにすることである。曲線的な形状は理論的にはモデル化することができるが、これは計算量が多くなる。より望ましいオプションとしては、立ち上がりエッジ周辺にある設定ウィンドウ内にあるサンプルを削除することで、モデル化されていないパルスの立ち上がり時間により起こる問題及び到着時間推定における任意のエラーも回避する。あまりに多くのサンプルが削除されてしまうと、累積が再度問題となる。ほとんどのサンプルが削除されないと、計算に含まれる移行的なパルスがあるかもしれない、推定エラーにつながる。データストリームのこれらの部分を削除することによって、変形が理想的であったかように振幅の推定が行われる一方で、結果の劣化は小さなものとなる。一以上の事象が第一事象の削除領域の間に到着する場合は、削除領域をクラスタにおける事象の重複する全ての削除領域をカバーするように伸長する。クラスタを単一事象として扱うが、累積としてフラグが付される。

【0117】

< 信号検出 >

その後、変形されたデータストリームはパルスが存在するかどうか分析される。デジタル化された検出器波形における信号の検出は、「検出メトリック」モデルを固定数のデータ点にフィッティングすることによって達成される。この固定長の「検出ウィンドウ」がデジタル検出器データを連続的に進む(rolled)。検出ウィンドウのサイズは、4から128以上のサンプルまで変化してよいが、最適なウィンドウのサイズは、64以上のサンプル用いる処理コストに起因して、4から64サンプルの間である。

【0118】

検出は、データの一以上のスライディングウィンドウセグメントを用いて、期待パルス波形の最小二乗フィットを行うことによって、実装する。用語「スライディングウィンドウ」は、一般的に、データの有限長の複数のセグメント(例えば、複数のウィンドウ)について、数学的な計算を反復して行うプロセスを示す。数学的な計算は、複数のウィンドウについて連続的に行い、各ウィンドウは、隣接するウィンドウと重複があってよい。いくつかの実施形態においては、二つの隣接するウィンドウの開始点から終了点が一つのサンプルしか異なっていなくてもよい。本実施形態においては、(各ウィンドウ位置での)推定

10

20

30

40

50

パラメータフィットが、検出メトリックとして用いられてよい。

【 0 1 1 9 】

ウィンドウセグメントを用いて、期待されるパルス波形をフィッティングする最小二乗推定器は、次の式(9)のように与えられる。

【 数 1 2 】

$$\hat{x}(k) = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T b(k) \quad (9)$$

【 0 1 2 0 】

10

ここで、 $x(k)$ は、サンプル k についての検出メトリック(metric)であり、 $b(k)=[y(k-N/2), \dots, y(k), \dots, y(k+N/2-1)]^T$ 、つまり、サンプル k を中心としたステップデータストリームのセグメントであり、 A は、中央期待パルス波形のベクトルである。

【 0 1 2 1 】

前述のパルス波形変形プロセスの結果により、変形パルス波形は、ステップ関数によって、厳密に近似される。パルス波形が理想的なステップ関数に含まれている、又はそれに変形されていると考え、実装における計算負荷を顕著に減らすことができる一方、パフォーマンスの低下が若干あるにとどまる。期待パルス波形ベクトル A が長さ N のゼロ平均のステップ関数である場合、例えば、

【 数 1 3 】

20

$$A = [-1, -1, -1, \dots, -1, 1, 1, 1, \dots, 1]^T \quad (10)$$

である。それにより、 $(A^T A)^{-1}$ 項は定数であり、 $A^T b(k)$ 項は、 $A^T b(k-1)$ 項と密に関連し、そして次によって与えられる。

【 数 1 4 】

$$A^T \cdot b(k+1) = A^T \cdot b(k) + y(k + \frac{N}{2}) - 2 \cdot y(k) + y(k - \frac{N}{2}) \quad (11)$$

30

【 0 1 2 2 】

つまり、理想パルスをステップデータストリームにフィッティングする最小二乗推定器は、加算又は減算及び単純なスケールリングを用いて前回の推定から反復的に更新され得る。

【 0 1 2 3 】

パルス検出メトリックが分析され、パルスが存在するのかわからないかを決定する。パルスが存在しない場合には、検出メトリックはノイズを意味する単なるゼロである。パルスがパルス検出メトリックウィンドウに進入すると、検出メトリックは、ゼロから増加し、パルスがウィンドウの中央にあるときに最大値に達し、パルスがウィンドウから出ていくに従ってゼロに戻る。ウィンドウに複数のパルスが存在する場合には、検出メトリックは、複数のピークを呈する。そこで、二つのテストを組み合わせることでパルスを検出する。

40

【 0 1 2 4 】

(1) 第一テストは、単一ノイズ閾値テストであり、ノイズによる偽のトリガを排除する。検出メトリックは、単一の閾値と比較される。検出メトリックが閾値より小さい場合は、パルスはないと見なす。検出メトリックが閾値を超える場合は、一以上のパルスが存在する可能性がある。閾値は、ノイズによる偽のトリガの可能性が許容可能な程度に低いことを確保するような適切なレベルに設定する。パルス処理FPGA756は、例えば、信号におけるノイズの変動(variance)に基づいて、偽のトリガの可能性を決定する。パルス処理

50

FPGA756がその変動に基づいて閾値を設定すると、可能性は許容可能なレベルに設定されるだろう。

【 0 1 2 5 】

(2) 第二テストは、検出メトリックにある顕著なピークの探索である。これは、ピークの傾斜が正から負に変化するとき起きる。ピークの近傍においては、検出メトリックは二次近似によってモデル化され得る。二次近似は、検出メトリックストリームのスライディングウィンドウセグメントで行われる。ステートマシーンをを用いて、二次係数を監視し、検出メトリックがピークに遭遇したか判定してもよい。二次係数のさらなる処理は、パルスのサブサンプルの到着時間の推定である。

【 0 1 2 6 】

ピークが存在し、それがノイズにより引き起こされたものではなさそうであることがこれらのテストにより示される場合は、信号検出事象が宣言される。ステップデータストリームにおけるパルスの位置にフラグが付され、その位置がエネルギー推定器に転送される。

【 0 1 2 7 】

SSD検出器より収集されたデータについての検出メトリックのパフォーマンスが図16aと図16bに示される。検出メトリックは、新たな信号の到着に対して即座に反応しており、X線の立ち上がりエッジが通過した後すぐに安定した状態値へ下降している。互いに近接して到着する同じようなサイズのパルスについての検出制限は、 $(N_{DW}/2-1)$ である。ここで、 N_{DW} は、サンプルにおける検出ウィンドウの長さである。8サンプルの検出ウィンドウと60Hzのデジタルレートを用いると、パルスペア検出制限は50nsのオーダとなるだろう。

【 0 1 2 8 】

検出アルゴリズムは、二次モデルを、5サンプルの検出メトリックのスライディングウィンドウにフィットさせる。ピークが宣言されるようにするために、アルゴリズムは分解を検討し、曲率が許容範囲内であり、定数が閾値より大きく、線形項が正から負に変化した場合はピークを宣言する。一実施形態においては、検出ウィンドウについて5サンプルを用いる。これは、単純なFPGA動作となるためである。 $(-2, -1, 0, 1, 2)$ と $(4, 1, 0, 1, 4)$ の係数を用いて、FPGAでは些細なビットシフトを用いてよい。しかし、任意のサンプル数が検出ウィンドウについて選択されてよい。

【 0 1 2 9 】

< パルスエネルギー推定 >

一群のパルス(累積あり又は累積なし)の振幅の推定は、次の方程式により、ステップデータストリームのあるセクションの最小二乗分解によって行われる。

【 数 1 5 】

$$\hat{x} = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b \quad (12)$$

【 0 1 3 0 】

ここで、bはステップデータストリームのセグメントであり、Aは、式(6)で記載した形式のシステム行列であり、この行列の列はパルス波形を含み、パルス検出プロセスによって決定される期待パルス位置にアラインされており、xは、パルスの振幅の推定値である。

【 0 1 3 1 】

パルスの立ち上がりエッジをほぼゼロ時間に圧縮し、パルスの下降時間を無限大に延長する場合は、システム行列Aは、図23に示すような、 $(A^T \cdot A)^{-1}$ が狭帯域幅で対角帯となるような形式のものである。累積項は、すぐそばの隣接するパルスを除いては大部分分解されている。 $(A^T \cdot A)^{-1}$ のゼロではない項は分析的に決定される。これにより、計算負荷と実装複雑性を顕著に低減することができる。

【 0 1 3 2 】

所与のパルスについて結果として生じる振幅推定値は、パルスが到着した後（であるが、次のパルスの前）のステップデータストリームの平均値と等しく、パルスの立ち上がりエッジの前（であるが、前のパルスの到着後）のステップデータストリームの平均値より低い。

【0133】

< 累積長 >

振幅推定計算に含まれるサンプル数を制限することは、所与のパルスとそのすぐそばの隣接する二つのパルスとの間のデータ全長を用いてパルスの振幅を推定するよりも利点がある。低周波数ノイズ、DCオフセット、計数率による分解能の低下は、推定において用いられるデータを信号のどちらか一方の最大サンプル数Nに制限することによって低減される。

10

【0134】

関心対象とする信号の一方側において、Nサンプルよりも近くで信号が起きる場合は、計算部分について利用可能なサンプル数はNよりも小さくなる。一実施形態においては、受け入れ可能と思われる信号振幅推定について、その計算に含まれる最小サンプル数よりも大きいはずである。これは、ノイズによる推定値の変動(variance)が所望のレベルにまで低減したことを保証する。最小閾値よりも近くに到着したパルスは破棄される。出力スペクトルの分解能を保つためである。これは、計数率が増加するのに応じてデッドタイムが増加する影響がある可能性がある。

【0135】

20

振幅推定が一旦なされたら、さらに、データの検証、拒否、フォーマット化及び提示が行われ得る。

【0136】

< 検証 >

リアルタイムの信号処理アルゴリズムの最終段階は、検証段階である。この段階では、前段のアルゴリズム段階（パルス波形、事象数、到着時間及び事象エネルギー）によって推定された全てのパラメータを組み合わせ、検出器データの「ノイズフリー」モデルを再構築する。パルス処理FPGA756は、検出器出力 $y(t)$ のモデルに、計算したパラメータをセットする(placing)ことによって、このノイズフリーモデルを構築する。例えば、一実施形態においては、パルス処理FPGA756は、検出器インパルス応答 $d(t)$ 、未知のエネルギー α 及び未知の到着時間 τ を組み合わせ、式(2)を用いて検出器出力 $y(t)$ をモデル化する。他の実施形態においては、パルス処理FPGA756は、式(7)に示される $p(t)$ に基づいて検出器インパルス応答 $d(t)$ の形式をモデル化し、その後、パルス処理FPGA756は式(2)にそれを代入して、モデル $y(t)$ を再構築する。この検出器データのモデルを実際のデジタル化された時系列データから差し引くことで、パルス処理FPGA756は、推定パラメータの正確性を判定し得る。データセットの直線フィッティングからの残差を調べるように、残差の大きさが小さい場合は、パラメータはデータをよく表しているといえる。しかし、残差の大きいポイントが観察される場合は、検出器データの推測は不十分であり、データのその部分は拒否される。

30

【0137】

40

検証段階によって検出されるもっともよくあるエラー形式は、データストリームにおける事象数の推定エラーである。二つの事象が50ns未満の間隔で到来すると、これらは一つの事象として登録される。しかし、このエラーは、残差信号において、「ブリップ(blip)」を生じさせるので、十分に推定されていない事象は破棄され得る。

【0138】

< スペクトル生成 >

検出器データのプロセスが一旦完了すると、データはヒストグラムにまとめられる。このヒストグラムは、データ中の特定された全ての検出事象について推定されたエネルギーのスペクトルを表す。

【0139】

50

各検出事象を許可する、又は拒否するため、潜在的なノイズに匹敵する変動推定についての本発明の方法は、従来技術の方法よりもより正確で制御可能なものである。いくつかの実装態様においては、特定のデータ収集期間から全ての変動推定をソートし、最善の80%を使用することができる。これがデッドタイムを20%に固定し、(所与のスループットについて)最善の推定のみをスペクトルで使用することを保証する。変動又は許容可能な事象を変更することによって、デッドタイムを調整し、改善したスペクトルを得るのが非常に容易である。

【0140】

統合空間で処理を引き受ける(undertaking)重要な利点は、システム行列Aの構造にある。(図23で示されるような狭帯域幅を有する) $\text{inv}(A^T A)$ の単純な対角帯性質によって、QR分解又は特異値分解(SVD)を介したより正確、及び/又は安定した逆変換が可能となり得る。あるいは、事象の波形、数、相対位置が一旦決定されたら、逆行列を計算する、及び/又はルックアップテーブルを用いることができる可能性がある。このアプローチは、ハードウェアが非常に効率的である。

【0141】

フルSVD行列変換を行う重要な利点は、検出されたX線のエネルギーについて、変動推定又は「信頼度」を抽出することができる点にある。 $\text{inv}(A^T A)$ の成分の振幅は、X線のエネルギーの推定における変動の例示である。X線のエネルギーはより高い信頼性を有するものとして知られる事象であり、対角帯においてより少ないエントリーを有することになるだろう。

【0142】

< 信号処理による効果 >

本アルゴリズムを実装したものは多くの効果を有する。多くの効果には、次のものが含まれる。

- ・ 同じハードウェアを用いても、より低い計算負荷で多くのことを達成する。
- ・ より高いADCサンプリング率又は多チャンネル動作を可能にする。
- ・ 入力及び出力計数率がいずれもより高くなる。
- ・ 潜在的に非常に低いエネルギー事象を検出する。
- ・ エネルギー推定でのエラー基準が一定の分解能を維持するのに役立つ。
- ・ よりよいエネルギー分解能/率のパフォーマンスを可能にする。
- ・ 多くの検出器における複数の形式に対処する。

【0143】

< 別の信号処理方法 >

上記に記載した実施形態は、本発明による一の信号処理方法を提示した。しかし、実装態様を変更し、上記に記載の実施形態の詳細に説明された方法と同様の概念を用いて、別の方法を実装してもよい。

【0144】

最初のデータ処理段階において、パルス変形段階の変形型(variant)が行われてよく、同様に階段状データ出力の結果を生じるが、より複雑な処理を伴う。図17は、本発明の一実施形態によるパルス累積回復処理により生成される検出器出力モデルの検証プロセス例を示す。図17に示すように、有限インパルス応答フィルタ(FIR)が、積分検出器データに畳み込まれる。この操作は、指数関数的に下降するテイルコンポーネントを「無限大」の下降時間に延長することと、立ち上がりエッジのコンポーネントをゼロ時間に圧縮することの、いずれか一方、望ましくは両方を行ってよい。これにより、はるかに鋭いエッジが結果として生じ、そのエッジで正確なパルス到着時間推定を行うため、正確なサブサンプルの到着時間推定を通じて、パルスのエネルギー推定での全体的な改善につながる。

【0145】

図17を参照して、検出器出力モデルを生成し、そのモデルを検証するプロセスを記載する。ブロック1702において、ADC1006がデジタル化データ $x[n]$ を生成する(図10参照)。ブロック1704において、パルス処理FPGA756は、放射線検出器750をキャリブレートする。ブ

ブロック1706において、パルス処理FPGA756は、デジタル化データ $x[n]$ を積分する。ブロック1708において、パルス処理FPGA756は、積分信号を有限インパルス応答フィルタ(FIR)と畳み込んで、信号のテイル及び立ち上がりエッジのコンポーネントをキャンセルするようにする。ブロック1710においては、パルス処理FPGA756は、検出メトリックを用いてパルスを局所化し、階段状波形を積分データに合致させる。ブロック1712においては、パルス処理FPGA756は、検出パルスのエネルギー及び/又は関心のある他のパラメータを推定する。ブロック1714では、パルス処理FPGA756は、それらのパラメータに基づいてモデルを推定し、そのモデルを検証する。

【0146】

テイル指数を無限大に伸長したか、及び/又は立ち上がりエッジを圧縮したデータの処理により、従来技術の方法に比べて行列計算における顕著な効率のよい節約につながる。この方法は、パルスエネルギー推定アルゴリズムにおいて可能な単純化のうち最良のものを達成しようとする試みによってもたらされたかもしれないが、上記の実施形態ほどには効率的ではないかもしれない。

【0147】

別の即時の信号処理について、次のパラメータを変更して、例えば、出力データ特徴を制御してよい。

【0148】

1) 積分ウィンドウ：エネルギーが積分される最大サンプル数。積分ウィンドウは、パルスの間隔がフルウィンドウを許可しない場合には、狭められる(reduced)

【0149】

2) 最大変動を制御する積分因子。最大変動は、積分因子 ≥ 1 に設定される。積分因子=1、最大変動は $2/(\text{積分長(IntLength)})$ であるので、立ち上がりエッジの一方側のエネルギーが積分長(IntegrationLength)の数のサンプル数について正確に積分し得る場合にのみパルスは受け入れられる。因子が増加すると、積分ウィンドウが狭いパルスが検証データに含まれ得る。これは、エネルギー分解能でありそうなペナルティを伴って、利用可能な出力計数率を上げることであり、ペナルティは、計数率とともに変化する傾向にあり、高い計数率の時には、特定された最大積分長を達成するにはパルスが近すぎやすい。

【0150】

図18は、本実施形態によるパルス処理FPGA756によって行われる検出器データのパルス処理の種々のステージで形成される波形例である。図18aは、パルス積分ブロック1706でのパルス処理FPGA756の出力例を図示する。図18bは、ブロック1708でのパルス処理FPGA756によるFIRフィルタの係数例を図示する。図18cは、パルス処理FPGA756が図18bのFIRフィルタの係数で積分信号を畳み込んだ後の、パルス処理FPGA756の出力例である。パルス処理FPGA756に行うパルス処理シーケンスによって、立ち上がりエッジの圧縮すると同時に、下降エッジを無限大に伸長するのと同じ効果があることが分かる。

【0151】

図19は、実施形態による、パルス累積回復プロセスにおいて積分長及び積分因子の変化に応じた、入力計数率に対する出力計数率のプロット例である。ここでは、二つの傾向がある。一つは、積分長が大きくなるにつれ利用可能な計数率が減少することである。もう一つは、積分因子が増加するにつれ、利用可能な計数率は上昇することである。

【0152】

適度な積分長に対してであっても、デッドタイムは早期に50%に届くことに留意する。これは、積分長さを制限せずに、デッドタイムが10%に固定されるよりも、実質的に悪い結果となる。さらに、積分長を大きくするにつれて、FWHM(エネルギー分解能劣化につながる)が大きくなり、ピーク位置がシフトされる。これは、積分長がエネルギー分解能に影響を与える可能性があるので、重要なのであるがピーク位置を修正するキャリブレーションが必要かもしれない。

【0153】

積分因子に関しては、積分因子が1から1.5に増加するにつれて、FWHMは若干変化するに

10

20

30

40

50

とどまるため、より多くのパルスが受け入れ可能になる。この結果は、1.0より大きい因子を、FWHMの大幅な劣化がなく利用可能な計数率を向上させるものとして考慮されるべきことを示唆している。

【0154】

立ち上がりエッジの周辺の設定ウィンドウ内にあるサンプルの削除に関しては、図20は、一実施形態によるパルス累積回復処理における削除サンプル数を変化させることにより得られるFWHMの最適化例を明示する。FWHMの劣化が4サンプル削除の場合に明らかであるため、削除の最適数は、大体6から10までである。10を超えると、FWHMにおける顕著な改善がなく、利用可能な最大利用可能計数率が下がる。

【0155】

テイルを伸長及び立ち上がりエッジの圧縮の両方を行うことが、ステップ関数に信号を近似する最大限の簡易化を確保する最適化処理としては望ましい。しかし、その一方又は他方が必須ではない場合もある。いくつかの実装形態においては、サンプルレート(LYSO検出器クリスタルのもの、単一指数関数的下降パルスのもの、スローADCサンプルレート等)に対して立ち上がりエッジが急激に下降する場合、前側のエッジ圧縮は必要ないかもしれない。同様に、非常に下降が遅いパルス(液体窒素内に置かれている検出器、非常に大きいキャパシタを有するもの等)については、下降テイルが既に非常に長くなるため、望ましいパルス波形に類似させる無限大への伸長は必要ないかもしれない。

【0156】

テイル指数をキャンセルすると、パルス波形をステップ関数に近似することつながるが、立ち上がり時間は、検出器と電子機器の前から存在している立ち上がり時間によって支配される。これは数十サンプルであり得るため、重複につながる。図21は、パルス構造例を示す。この例では、立ち上がり時間は50サンプルのオーダであり、かなりの可能性でパルスの重複及び累積したパルスの区別化に失敗することに通ずる。この場合、 $A^T A$ の構造は、図22で示される。各行のデータは主対角の左へは、概ね一定であり、対角上でわずかに減少し、対角を超えると減少する。しかし、いくつかの実装態様においては、パルスが重複する(約50-60サンプルよりも近接する)ときは、対角上から外れた成分が依然として多くある。 $A^T A$ の逆行列は、図23に図示される対角構造を有するバンドを有しており、バンド幅は2-5のオーダであり、これはいくつかのパルスが重複するかによる。

【0157】

便宜上、本明細書においては特に好ましい実施形態に関連して発明を記載している。しかし、本発明は幅広い実装態様に適用可能である。他の構成及び配置も本発明の範囲に含まれるものとして考慮されると理解される。本明細書で記載した構成及び配置への種々の修正、変換、変形及び/又は追加も、本発明の境界及び範囲に含まれるものとして考慮される。

【0158】

情報及び信号は、任意の多様な異なるテクノロジー及び技術を用いて表してよい。例えば、上記記載を通じて参照した、データ、指示、コマンド、情報、信号、ビット、シンボル及びチップは、電圧、電流、電磁波、磁場若しくは磁粉、光学場若しくは光学粒子、又はこれらの任意の組み合わせで表してよい。

【0159】

本明細書で開示した実施形態に関連して記載した、種々の例示の論理ブロック、モジュール、回路及びアルゴリズム工程は、電子ハードウェア、コンピュータソフトウェア又はこれらの組み合わせで実装してもよい。このハードウェアとソフトウェアの相互互換性を明確に示すため、種々の例示のコンポーネント、ブロック、モジュール、回路及び工程がそれらの機能の観点から一般的に上記に記載されている。そのような機能が実装されるのがハードウェアとしてか、ソフトウェアとしてかについては、特定のアプリケーション及びシステム全体に課される設計上の制約に依存する。記載した機能は各特定のアプリケーション用にさまざまな方法で実装してよいが、そのような実装態様の決定を、本発明の実施形態の範囲から逸脱させるものとして解釈するべきではない。

【0160】

本明細書で開示した実施形態に関連して記載した、種々の例示のブロック、モジュール及び回路は、本明細書で記載した機能を行うように設計された、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)若しくは他のプログラマブル論理デバイス、ディスクリートゲート若しくはトランジスタ論理、ディスクリートハードウェアコンポーネント又はこれらの任意の組み合わせを用いて実装、又は行ってよい。汎用プロセッサは、マイクロプロセッサでよいが、別の選択肢としては、従来型のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ又はステートマシーンでよい。プロセッサは、計算機デバイスの組み合わせとして実装されてよく、例えば、DSP及びマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、DSPコアに連動する一以上のマイクロプロセッサ又は他の構成がある。

10

【0161】

本明細書で開示した実施形態に関連して記載した方法又はアルゴリズムの工程及び機能は、直接的にハードウェアで、プロセッサで実行されるソフトウェアモジュールで、又はこれら二つの組み合わせで具体化してよい。ソフトウェアで実装される場合、機能は、有形の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体上の一以上の指示又はコードとして、記憶又は送信してよい。ソフトウェアモジュールは、ランダムアクセスメモリ(RAM)、フラッシュメモリ、読み出し専用メモリ(ROM)、電氣的プログラマブルROM(EPROM)、電氣的消去・書き込み可能ROM(EEPROM)、レジスタ、ハードディスク、リムーバブルディスク、CD ROM、その他本技術分野では既知の任意の記録媒体形式に存在してよい。記録媒体をプロセッサと結合し、プロセッサが情報をそこから読み出したり、情報をそこに書き込むことができる。別の選択肢としては、記録媒体をプロセッサに統合してもよい。本明細書で用いられるディスク(disk and disc)には、コンパクトディスク(CD)、レーザディスク、光学ディスク、デジタル多用途ディスク(DVD)、フロッピー(登録商標)ディスク及びブルーレイ(登録商標)ディスクが含まれる。ここでは、ディスク(disk)は通常、磁氣的にデータを再生する一方、ディスク(disc)は通常、レーザを用いて光学的にデータを再生する。上記の組み合わせもコンピュータ読み取り可能媒体の範囲に含まれるべきである。プロセッサ及び記録媒体は、ASIC内に存在してもよい。このASICは、ユーザ端末に存在してもよい。別の選択肢としては、プロセッサ及び記録媒体は、ユーザ端末内のディスクリートコンポーネントとして存在してよい。

20

30

【0162】

本開示を要約することを目的として、本発明の所定の観点、効果及び新規な特徴が本明細書で記載されている。そのような全ての効果が本発明のある特定の実施形態で必ずしも達成される必要はないと理解される。ゆえに、本明細書で教示、示唆されている可能性のある他の特徴を必ずしも達成することなく、本明細書で教示される一の効果又は複数の効果を達成又は最適化するように、本発明を具体化又は実行してよい。

【0163】

上記に記載した実施形態の種々の修正は容易に明らかとなり、本明細書で規定した一般原理を本発明の精神及び範囲を逸脱することなく他の実施形態に適用してよい。ゆえに、本発明が、本明細書で示した実施形態に制限されることを意図しておらず、本明細書で開示した原理及び新規な特徴と矛盾を生じないもっとも広い範囲に従うことを意図している。

40

【図 1】

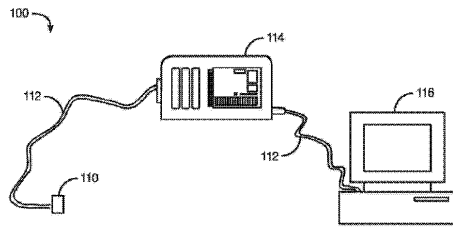


Figure 1

【図 2】

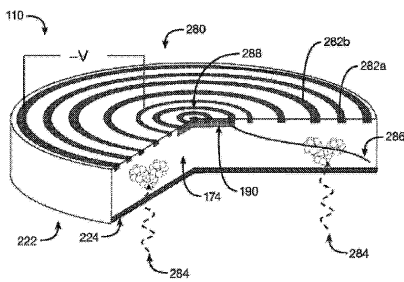
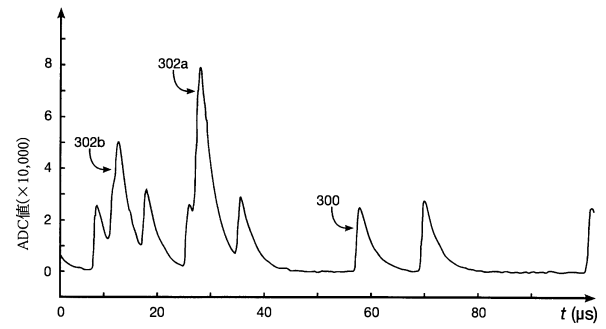


Figure 2

【図 3】



【図 4】

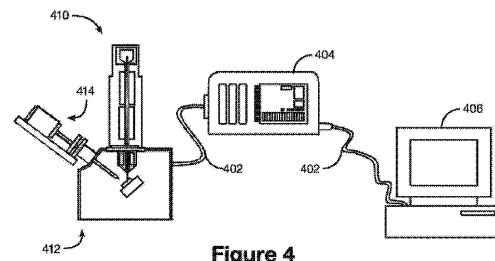


Figure 4

【図 5】

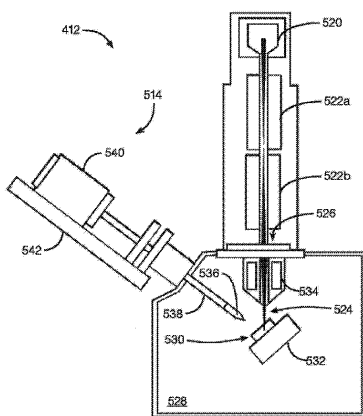
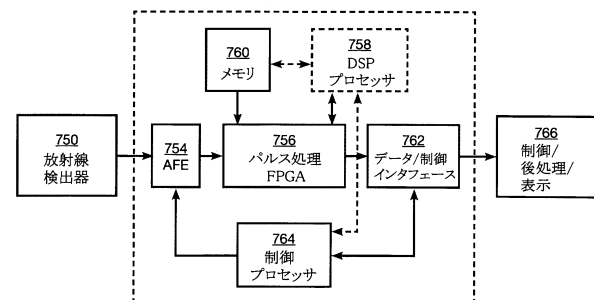


Figure 5

【図 7】



【図 8 a】

【図 6】

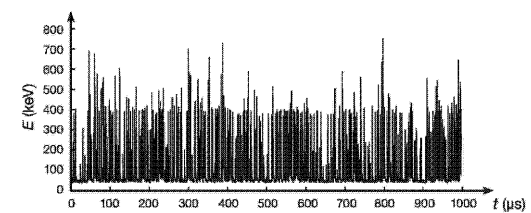
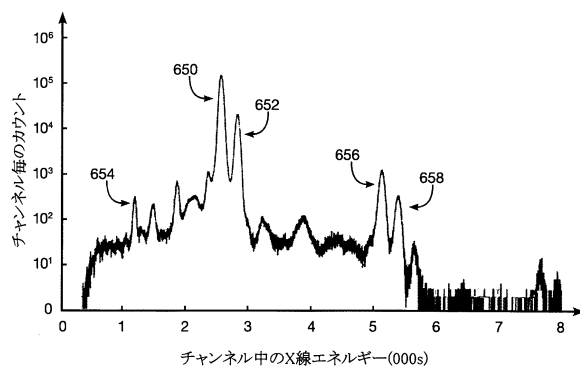


Figure 8a

【図 8 b】

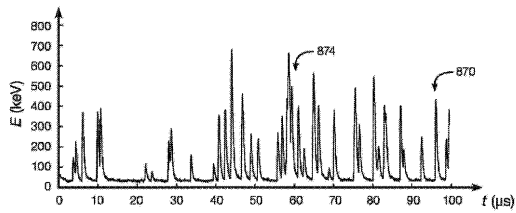


Figure 8b

【図 9 b】

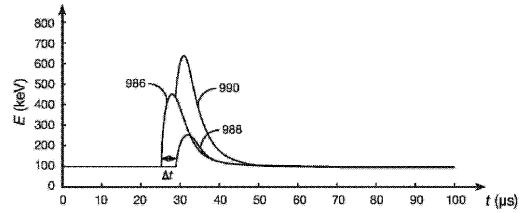


Figure 9b

【図 8 c】

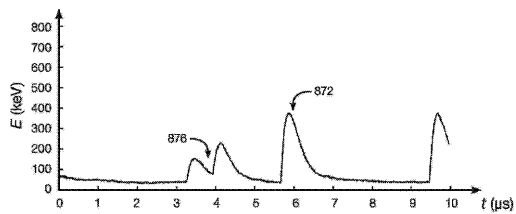


Figure 8c

【図 9 c】

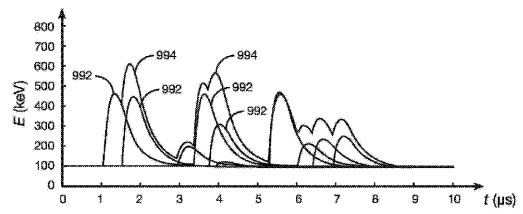


Figure 9c

【図 9 a】

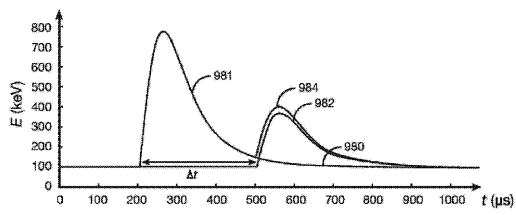


Figure 9a

【図 10】

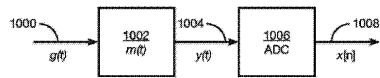
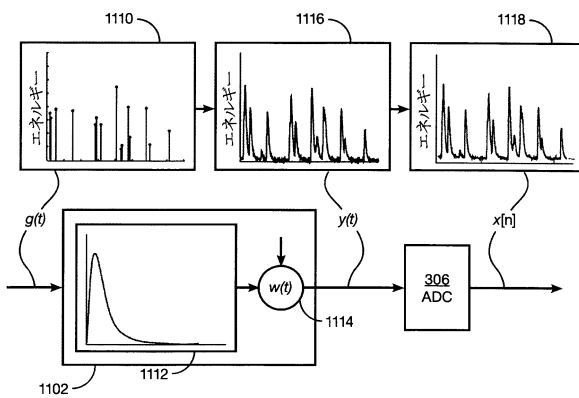


Figure 10

【図 11】



【図 12】



【図 13】

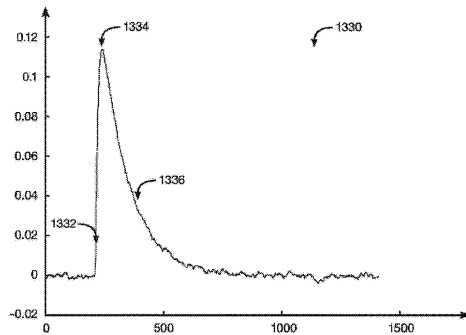
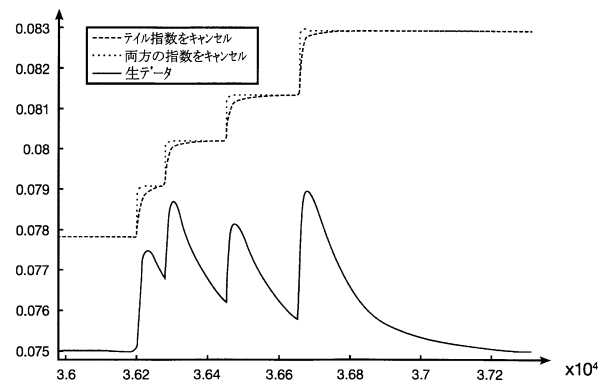
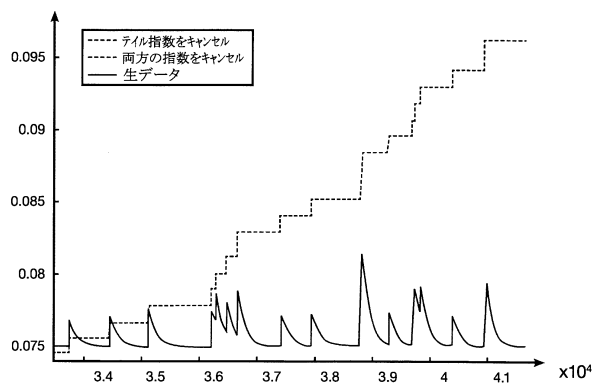


Figure 13

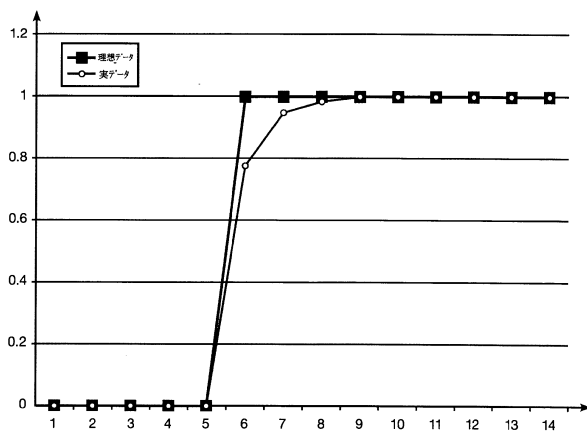
【図 14 B】



【図 14 A】



【図 15】



【図 16 a】

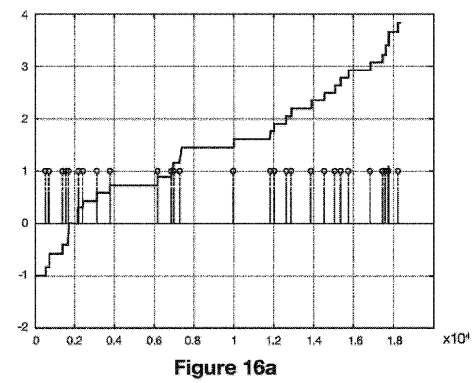


Figure 16a

【図 16 b】

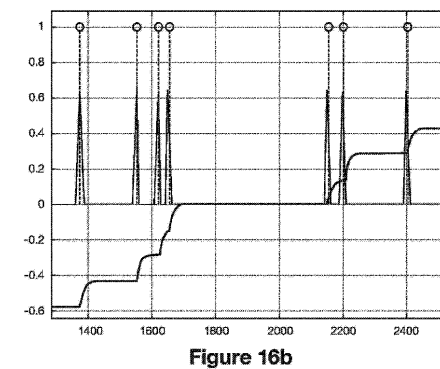
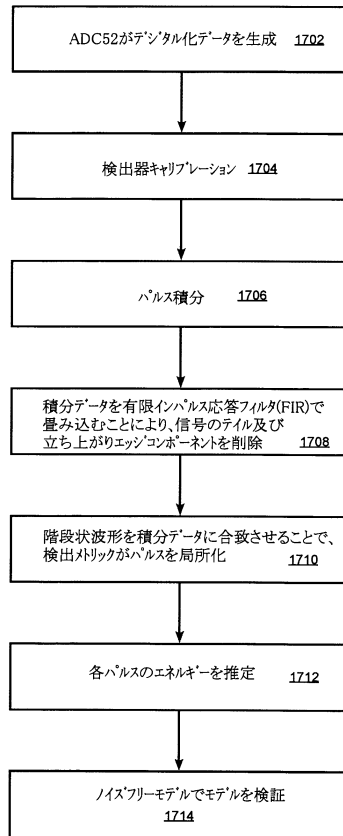


Figure 16b

【図 17】



【図 18 a】

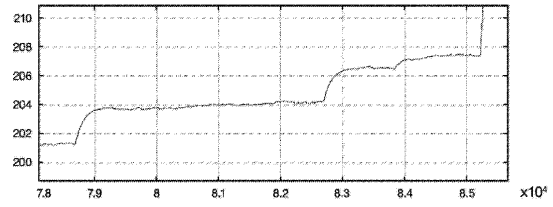


Figure 18a

【図 18 b】

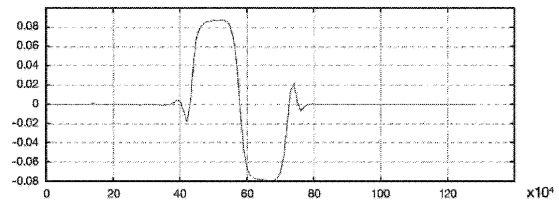


Figure 18b

【図 18 c】

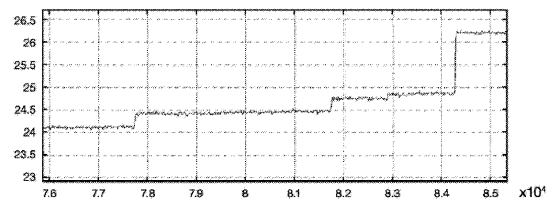
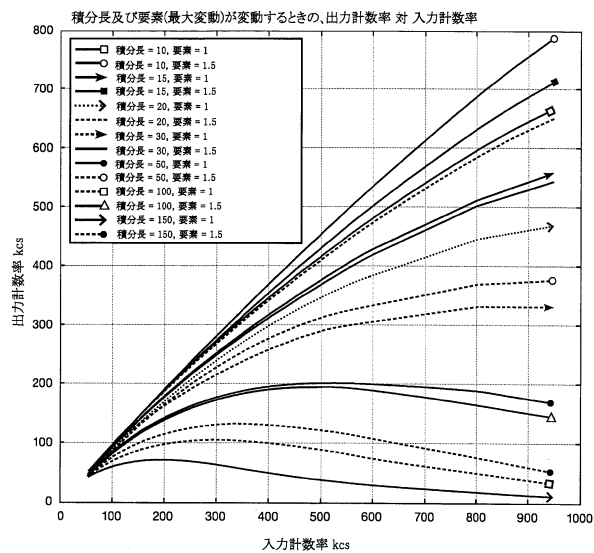
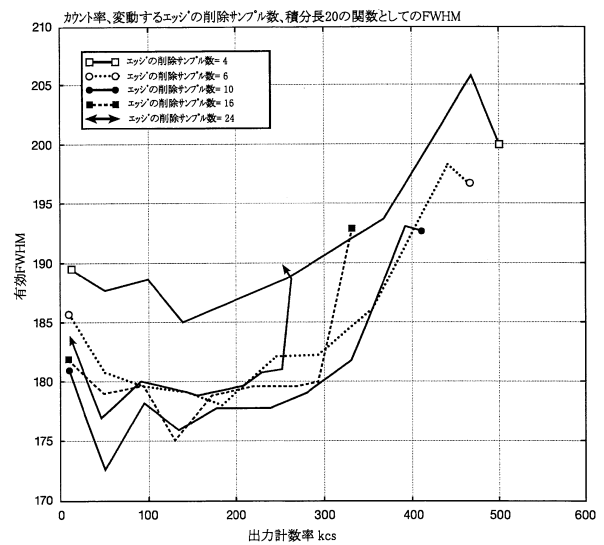


Figure 18c

【図 19】



【図 20】



【図 2 1】

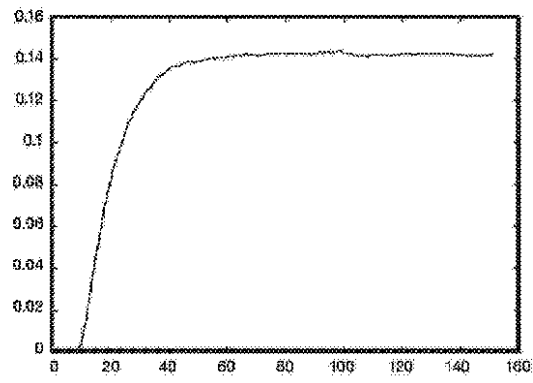


Figure 21

【図 2 2】

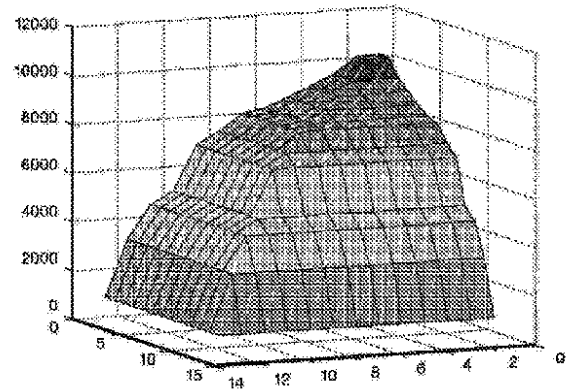


Figure 22

【図 2 3】

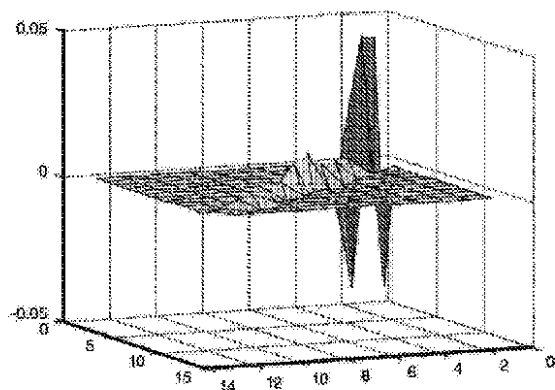


Figure 23

フロントページの続き

- (72)発明者 スカラー, ボール アンドリュー バジル
オーストラリア国, ヴィクトリア 3068, フィッツロイ・ノース, パーク・ストリート 17
4
- (72)発明者 マクリーン, クリストファー チャールズ
オーストラリア国, ヴィクトリア 3550, ケニントン, ティンバートップ・ドライヴ 21
- (72)発明者 トニッセン, シェーン マイケル
オーストラリア国, ヴィクトリア 3031, ケンジントン, ニュートン・ストリート 80

審査官 藤本 加代子

- (56)参考文献 特表2010-538245(JP, A)
特開2009-229127(JP, A)
特表2008-513740(JP, A)
特表2011-503550(JP, A)
国際公開第2012/171059(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/00 - 1/16
G01T 1/167 - 7/12
G01N 23/00 - 23/2276
H03K 5/00 - 5/26
G06F 17/00 - 17/50