

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6683051号
(P6683051)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月30日(2020.3.30)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 5/05 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 5/05
A 6 1 B 5/05

A

N

請求項の数 8 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-145180 (P2016-145180)
 (22) 出願日 平成28年7月25日 (2016.7.25)
 (65) 公開番号 特開2018-15036 (P2018-15036A)
 (43) 公開日 平成30年2月1日 (2018.2.1)
 審査請求日 平成31年4月17日 (2019.4.17)

(73) 特許権者 000006747
 株式会社リコー
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 山形 秀明
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
 審査官 磯野 光司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】生体データ処理装置及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

生体センサを用いて測定した生体データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する再構成手段と、

前記空間フィルタを適用するごとに生成された再構成データの中から、収束点の異なる再構成データを抽出し、重み付け加算する加算手段と、

前記加算手段により重み付け加算された再構成データを出力する出力手段と
を有することを特徴とする生体データ処理装置。

【請求項 2】

前記加算手段は、

前記空間フィルタを N 回 (N は 2 以上の整数) 適用した際に生成された再構成データと、前記空間フィルタを (N - 1) 回適用した際に生成された再構成データとを抽出し、重み付け加算することを特徴とする請求項 1 に記載の生体データ処理装置。

【請求項 3】

前記再構成手段は、

前記空間フィルタを i 回 (i は 2 以上の整数) 適用した際に生成された再構成データと、(i - 2) 回適用した際に生成された再構成データとの差分が、所定の条件を満たすまで、前記空間フィルタを適用することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の生体データ処理装置。

【請求項 4】

10

20

生体センサを用いて測定した生体データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する第1の再構成手段と、

前記空間フィルタを適用して再構成データを生成する過程で算出したグラム行列の中から、収束点の異なる再構成データを生成する過程で算出したそれぞれのグラム行列を抽出し、重み付け加算する加算手段と、

前記加算手段により重み付け加算されたグラム行列を用いて、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する第2の再構成手段と、

前記第2の再構成手段により生成された再構成データを出力する出力手段と
を有することを特徴とする生体データ処理装置。

【請求項5】

前記加算手段は、

前記空間フィルタをN回（Nは2以上の整数）適用した際に算出されたグラム行列と、前記空間フィルタを（N-1）回適用した際に算出されたグラム行列とを抽出し、重み付け加算することを特徴とする請求項4に記載の生体データ処理装置。

【請求項6】

前記第1の再構成手段は、

前記空間フィルタをi回（iは2以上の整数）適用した際に生成された再構成データと、（i-2）回適用した際に生成された再構成データとの差分が、所定の条件を満たすまで、前記空間フィルタを適用することを特徴とする請求項4または5に記載の生体データ処理装置。

【請求項7】

生体センサを用いて測定した生体データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する再構成工程と、

前記空間フィルタを適用するごとに生成された再構成データの中から、収束点の異なる再構成データを抽出し、重み付け加算する加算工程と、

前記加算工程において重み付け加算された再構成データを出力する出力工程と
をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項8】

生体センサを用いて測定した生体データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する第1の再構成工程と、

前記空間フィルタを適用して再構成データを生成する過程で算出したグラム行列の中から、収束点の異なる再構成データを生成する過程で算出したそれぞれのグラム行列を抽出し、重み付け加算する加算工程と、

前記加算工程において重み付け加算されたグラム行列を用いて、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する第2の再構成工程と、

前記第2の再構成工程において生成された再構成データを出力する出力工程と
をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、生体データ処理装置及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、生体センサを用いて測定した生体データを空間フィルタ等を用いて処理し、生体内の電流源を再構成する生体データ処理装置が知られている。また、生体内の電流源を再構成する手法として、電流源のピークの位置を高精度に算出可能なR E N S (Recursive Null Steering) アルゴリズムが提案されている。

【0003】

R E N S アルゴリズムは、空間フィルタを複数回適用することで再構成データを生成する手法であり、従来の手法と比較して、電流源のピークが先鋭化された再構成データが得

10

20

30

40

50

られるといった利点がある。

【0004】

このため、例えば、当該R E N Sアルゴリズムを、被検者の脊椎内の電流源の再構成処理に適用することで、脊椎内の神経活動を高精度に可視化することができる。この結果、被検者の脊椎の損傷による神経の伝達障害の有無や、伝達障害の発生箇所等の高度な診断が必要なシーンにおいて、医師等を支援することが可能になる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記R E N Sアルゴリズムの場合、再構成データが1点に収束せず、少なくとも2つの収束点を有するといった特性がある。また、空間フィルタの適用回数を1ずつ増やすごとに異なる収束点の再構成データが交互に算出されるといった特性がある。

10

【0006】

このため、上記R E N Sアルゴリズムを用いて再構成データを生成した場合、空間フィルタの適用回数に応じて再構成データが変動することになる。一方で、空間フィルタの適用回数によって、生体データ処理装置が出力する再構成データが変動したのでは、医師等による上記のような高度な診断において影響を与えるおそれがある。

【0007】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、電流源の再構成において、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の各実施形態に係る生体データ処理装置は、以下のような構成を備える。即ち、生体センサを用いて測定した生体データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、生体内の電流源を再構成し、再構成データを生成する再構成手段と、

前記空間フィルタを適用するごとに生成された再構成データの中から、収束点の異なる再構成データを抽出し、重み付け加算する加算手段と、

前記加算手段により重み付け加算された再構成データを出力する出力手段とを有する。

【発明の効果】

【0009】

30

本発明の各実施形態によれば、電流源の再構成において、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】磁場データ処理システムの全体構成及び外観構成の一例を示す図である。

【図2】被検者の脊椎内の神経を流れる電流を模式的に示した図である。

【図3】再構成データの生成方法を示す図である。

【図4】空間フィルタの適用回数と再構成データの誤差との関係を示す図である。

【図5】空間フィルタの適用回数と再構成データの誤差との関係を示す図である。

【図6】磁場データ処理装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

40

【図7】第1の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図である。

【図8】第1の実施形態におけるR E N Sアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。

【図9】空間フィルタの適用回数と最適化再構成データの誤差との関係を示す図である。

【図10】第2の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図である。

【図11】第2の実施形態におけるR E N Sアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。

【図12】第3の実施形態におけるR E N Sアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。

【図13】第4の実施形態におけるR E N Sアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチ

50

ヤートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、各実施形態の詳細について添付の図面を参照しながら説明する。なお、各実施形態に係る明細書及び図面の記載に際して、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複した説明を省く。

【0012】

[第1の実施形態]

<1. 磁場データ処理システムの全体構成>

はじめに、生体データ処理システムの一例である、磁場データ処理システムについて説明する。図1は、磁場データ処理システムの全体構成及び外観構成の一例を示す図である。

10

【0013】

図1(a)に示すように、磁場データ処理システム100は、磁気センサアレイ110と、磁場データ処理装置120とを有する。

【0014】

磁気センサアレイ110は、複数の磁気センサがアレイ状に配置された生体センサである。磁気センサアレイ110は、被検者の所定の部位に電気刺激を与えることで被検者の脊椎内の神経を電流が流れることで発生する磁場を測定する。

【0015】

磁気センサアレイ110に含まれる複数の磁気センサそれぞれにおいて測定された磁場は、磁場データとして磁場データ処理装置120に送信される。

20

【0016】

磁場データ処理装置120は、生体データ処理装置の一例である。磁場データ処理装置120には、磁場データ処理プログラムがインストールされている。当該プログラムが実行されることで、磁場データ処理装置120は、磁場データ処理部121として機能する。

【0017】

磁場データ処理部121は、磁気センサアレイ110より送信された磁場データを処理し、被検者の脊椎内の各位置を流れる電流値を算出し、再構成データを生成する。磁場データを処理することで、各位置を流れる電流値を算出することを、一般に"電流源を再構成する"という。磁場データ処理部121は、生成した再構成データをデータ格納部122に格納する。

30

【0018】

図1(b)に示すように、磁気センサアレイ110はデュワー130内に配される。デュワー130内には、液体ヘリウムが充填されており、磁気センサアレイ110を極低温で動作させるための冷却が行われている。デュワー130の上面は円弧形状を有しており、仰向けに横たわる被検者140の脊椎付近に下側から当接する。この状態で、被検者140の所定の部位(例えば、左腕)に電極を取り付け、被検者140に電気刺激を与えることで、磁気センサアレイ110では、被検者140の脊椎内の神経を電流が流れることで発生する磁場を測定することができる。

40

【0019】

図1(b)の右側に示すように、磁気センサアレイ110には、複数の磁気センサ(磁気センサ111等)が配されている。本実施形態では、磁気センサアレイ110に対してx y z座標を以下のように定義する。

- ・測定対象である被検者140の胸部から頭部方向に向かう軸をy軸とする。
- ・測定対象である被検者140の背中から胸部に向かう軸をz軸とする。
- ・測定対象である被検者140の右腕から左腕に向かう軸をx軸とする。

【0020】

なお、図1(b)の右側に示す磁気センサアレイ110には、x軸方向に7個、y軸方

50

向に 5 個の磁気センサ（合計 35 個）が配されているが、磁気センサアレイ 110 に配される磁気センサの数はこれに限定されるものではない。以下では、磁気センサアレイ 110 に、M 個の磁気センサが配されているものとして説明する。

【0021】

<2. 再構成データの生成方法>

次に、被検者 140 の脊椎内の神経を流れる電流について説明し、当該電流が流れることで発生した磁場を測定することで得た磁場データに基づき、磁場データ処理装置 120 が再構成データを生成する生成方法について説明する。

【0022】

(1) 被検者の脊椎内の神経を流れる電流

10

図 2 は、被検者の脊椎内の神経を流れる電流を模式的に示した図である。図 2 において、太実線の矢印 200 は、電流の流れる方向を示している。図 2 に示すように、被検者 140 の所定の部位に電気刺激を与えた場合、被検者 140 の脊椎内の神経 210 には、全体として、y 軸方向（被検者 140 の頭部方向）に向かう電流が発生する。

【0023】

曲線 201 ~ 204 は、被検者 140 の生体内の電流回路を概念的に示したものである。図 2 に示すように、被検者 140 の生体内において、電流は、神経 210 内を流れた後、その外側の細胞を回って戻る。

【0024】

つまり、被検者 140 の生体内の電流回路に流れる電流には、神経 210 に対して矢印 211、212 方向に流れ込む電流（「体積電流」と称す）と、神経 210 内を矢印 213、214 方向に流れる電流（「細胞内電流」と称す）とが含まれる。

20

【0025】

このうち、神経 210 内を流れる電流は、矢印 213 方向に流れる細胞内電流と矢印 214 方向に流れる細胞内電流とが対をなしており、この状態のまま、神経 210 内を全体として y 軸方向（矢印 200 方向）に伝達されていく。

【0026】

このため、矢印 200 方向に伝達される細胞内電流を、例えば、観測点 220 で観測すると、はじめに矢印 214 方向に流れる細胞内電流が通過し、続いて、矢印 213 方向に流れる細胞内電流が通過する。この結果、観測点 220 では、はじめに上向きの電流が観測され、続いて下向きの電流が観測されることになる。

30

【0027】

磁気センサアレイ 110 では、上記体積電流と上記細胞内電流とが流れることで発生する磁場を電圧信号として測定し、測定した電圧信号を磁場データとして出力する。また、磁場データ処理装置 120 では、磁気センサアレイ 110 より出力された磁場データに基づいて、電流源（上記体積電流、上記細胞内電流）を再構成し、神経 210 内の各位置での電流値を算出する。

【0028】

(2) 再構成データの生成方法

図 3 は、再構成データの生成方法を示す図である。このうち、図 3 (a) は、磁気センサアレイ 110 に含まれる各磁気センサにより出力された磁場データの一例を示している。

40

【0029】

図 3 (a) に示すように、磁気センサアレイ 110 に含まれる各磁気センサは、x 軸方向の磁場、y 軸方向の磁場、z 軸方向の磁場をそれぞれ電圧信号として測定し、測定した電圧信号を磁場データとして出力する。このため、各磁気センサからは、3 つの磁場データが出力される。なお、磁気センサアレイ 110 全体では、磁場データ 301 として、磁気センサの数 M × 3 の磁場データを含む、磁場データ V(t) が出力される（下式（1）参照）。

【0030】

50

【数1】

$$V(t) = \begin{bmatrix} V_{1,x}(t) & V_{1,y}(t) & V_{1,z}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{M,x}(t) & V_{M,y}(t) & V_{M,z}(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

10

なお、磁場データ $V(t)$ は、被検者 140 に電気刺激が与えられてから（例えば、時刻 t_a から）、時刻 t_b までの間に測定された磁場データ 301 のうち、時刻 t における磁場データであることを表している。

【0031】

図 3 (b) は、磁気センサアレイ 110 より出力された磁場データ 301 のうち、時刻 t の磁場データ $V(t)$ について、磁場データ処理装置 120 が RENS アルゴリズムを実行し、電流源を再構成することで生成した再構成データを示している。なお、図 3 (b) の例は、RENS アルゴリズムにおいて、空間フィルタを 1 回適用した場合の再構成データを示している。

20

【0032】

図 3 (b) に示すように、電流源を再構成することで、 z 座標を固定値とした場合の x y 平面の各位置における電流値を 3 次元で可視化することができる。本実施形態では、電流値が算出された x y 平面の各位置 r (図 3 (b) の各メッシュの位置に対応する) を下式 (2) により表す。なお、本実施形態では各位置 r の数を $m \times n$ 個とし、磁気センサの数 (M) よりも多くなるように設定するものとする。また、本実施形態において下式 (2) の z には、固定値が設定されるものとする。

【0033】

【数2】

30

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

図 3 (c) は、RENS アルゴリズムにおいて、空間フィルタを 8 回適用した場合の再構成データを示している。図 3 (c) に示すように、空間フィルタの適用回数を増やすことで、再構成データが先鋭化される。これにより、医師等は、電流値のピークが、時間の経過とともにどのように遷移したのかを、容易に把握することができる。

40

【0034】

<3. 空間フィルタの適用回数と誤差との関係>

続いて、RENS アルゴリズムにおける空間フィルタの適用回数と再構成データの誤差との関係について図 4 ~ 図 5 を用いて説明する。

【0035】

図 4 ~ 図 5 は、空間フィルタの適用回数と再構成データの誤差との関係を示す図である。図 4 ~ 図 5 において、横軸は空間フィルタの適用回数を示しており、縦軸は、各適用回

50

数における、再構成データの誤差の大きさを示している。

【0036】

なお、本実施形態において、「再構成データの誤差」とは、空間フィルタを所定回数適用することで生成された再構成データとの差分を指すものとする。

【0037】

図4は、再構成データの誤差の一例として、空間フィルタを16回適用することで生成された再構成データとの差分を示したものである。図4において、適用回数=1にプロットされた各点は、空間フィルタを1回適用した際に、 x y 平面の各位置 r について算出された電流値と、空間フィルタを16回適用した際に、 x y 平面の各位置 r について算出された電流値との差分（誤差）を示している。

10

【0038】

例えば、空間フィルタを1回適用した際に算出された、位置 $r = (x_1, y_1)$ における電流値を $S_1(x_1, y_1)$ とし、空間フィルタを16回適用した際に算出された、位置 $r = (x_1, y_1)$ における電流値を $S_{16}(x_1, y_1)$ とする。

【0039】

この場合、差分値 $d(x_1, y_1) = S_1(x_1, y_1) - S_{16}(x_1, y_1)$ となる。同様に、各位置 r (x 軸方向に m 点、 y 軸方向に n 点) について差分値を算出することで、図4の適用回数=1には、差分値 $d(x_1, y_1) \sim d(x_m, y_n)$ の各点がプロットされることになる。

【0040】

更に、適用回数=2～15についても、各位置 r (x 軸方向に m 点、 y 軸方向に n 点) について差分値を算出することで、各点がプロットされることになる。

20

【0041】

図4の場合、適用回数=16の電流値 S_{16} との差分をプロットしているため、適用回数=16においては、誤差=0となっている。

【0042】

図4によれば、再構成データの誤差は、適用回数=0～4までの間は、適用回数に応じて小さくなっているのに対して、適用回数=5以降は、適用回数が増加しても小さくなっていない。

【0043】

ただし、図4の場合、適用回数=5以降は、偶数回目の方が、奇数回目よりも、全体的に再構成データの誤差が小さくなっている。例えば、適用回数=6、8、10、12、14の誤差の方が、適用回数=5、7、9、11、13、15の誤差よりも全体的に小さくなっている。更に、適用回数=6、8、10、12、14だけに着目すれば、再構成データの誤差は、適用回数に応じて小さくなっている。

30

【0044】

続いて、図5について説明する。図5は、再構成データの誤差の一例として、空間フィルタを15回適用することで生成された再構成データとの差分を示したものである。図5において、適用回数=1にプロットされた各点は、空間フィルタを1回適用した際に、 x y 平面の各位置 r について算出された電流値と、空間フィルタを15回適用した際に、 x y 平面の各位置 r について算出された電流値との差分（誤差）を示している。

40

【0045】

具体的には、差分値 $d(x_1, y_1) = (S_1(x_1, y_1) - S_{15}(x_1, y_1)) \sim d(x_m, y_n) = (S_1(x_m, y_n) - S_{15}(x_m, y_n))$ の各点が、図5の適用回数=1にプロットされている。同様に、適用回数=2～14について、各位置 r (x 軸方向に m 点、 y 軸方向に n 点) における差分値が、図5の各適用回数にプロットされている。

【0046】

図5の場合、適用回数=15の電流値 S_{15} との差分をプロットしているため、適用回数=15においては、誤差=0となっている。

50

【0047】

図5によれば、再構成データの誤差は、適用回数 = 0 ~ 5までの間は、適用回数に応じて小さくなっているのに対して、適用回数 = 6以降は、適用回数が増加しても小さくなっていない。

【0048】

ただし、図5の場合、適用回数 = 6以降は、奇数回目の方が、偶数回目よりも、全体的に誤差が小さくなっている。例えば、適用回数 = 7、9、11、13の誤差の方が、適用回数 = 8、10、12、14の誤差よりも全体的に小さくなっている。更に、適用回数 = 7、9、11、13だけに着目すれば、再構成データの誤差は、適用回数に応じて小さくなっている。

10

【0049】

図4及び図5に示した上記事象から、R E N Sアルゴリズムを実行することで生成される再構成データには、以下の特性があるといえる。

- ・R E N Sアルゴリズムを実行することで生成される再構成データの場合、少なくとも2つの状態の間を行き来して、再構成データが変動している。つまり、R E N Sアルゴリズムを実行することで生成される再構成データは、少なくとも収束点（空間フィルタの適用回数を増やすことで収束した再構成データ）を2つ有している。
- ・2つの収束点のうち、第1の収束点は、図4に示すように、空間フィルタを偶数回適用することにより生成される再構成データである。また、第2の収束点は、図5に示すように、空間フィルタを奇数回適用することにより生成される再構成データである。

20

【0050】

ここで、第1の収束点と第2の収束点のいずれの再構成データが正解であるのかを確かめることはできない。このため、一方の収束点に着目して空間フィルタの適用回数の上限を決定し、再構成データを出力する構成とすると、仮に他方の収束点が正しい再構成データであった場合に、誤差の大きい再構成データが出力されることになる。

【0051】

また、空間フィルタを偶数回適用したか、奇数回適用したかによって再構成データが変動したのでは、当該再構成データに基づいて医師等が診断を行う際に、負の影響を及ぼすおそれがある。

【0052】

30

そこで、本実施形態における磁場データ処理装置120では、第1の収束点の再構成データと第2の収束点の再構成データとを重み付け加算したうえで出力する。これにより、再構成データの誤差を、低減させることができる。また、収束点を1つにすることで、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることができる。以下、本実施形態における磁場データ処理装置120の詳細について説明する。

【0053】

<4. 磁場データ処理装置のハードウェア構成>

図6は、磁場データ処理装置のハードウェア構成の一例を示す図である。図6に示すように、磁場データ処理装置120は、CPU(Central Processing Unit)601、ROM(Read Only Memory)602、RAM(Random Access Memory)603を備える。CPU601、ROM602、RAM603は、いわゆるコンピュータを形成する。更に、磁場データ処理装置120は、補助記憶部604、表示部605、入力部606、接続部607を備える。なお、磁場データ処理装置120の各部は、バス608を介して相互に接続されている。

40

【0054】

CPU601は、補助記憶部604に格納された各種プログラム（例えば、磁場データ処理プログラム等）を実行するデバイスである。

【0055】

ROM602は不揮発性の主記憶デバイスである。ROM602は、補助記憶部604に格納された各種プログラムを、CPU601が実行するために必要な各種プログラム、

50

データ等を格納する。具体的には、BIOS (Basic Input/Output System) やEFI (Extensible Firmware Interface) 等のブートプログラムなどを格納する。

【0056】

RAM603は、DRAM (Dynamic Random Access Memory) やSRAM (Static Random Access Memory) 等の揮発性の主記憶デバイスである。RAM603は、補助記憶部604に格納された各種プログラムがCPU601によって実行される際に展開される、作業領域として機能する。

【0057】

補助記憶部604は、CPU601により実行される各種プログラムを格納する補助記憶デバイスである。

10

【0058】

表示部605は、各種画面を表示する表示デバイスである。入力部606は、磁場データ処理装置120に各種情報（例えば、被検者140の情報等）を入力するための入力デバイスである。接続部607は、磁気センサアレイ110から送信される磁場データを受信する接続デバイスである。

【0059】

<5. 磁場データ処理装置の機能構成>

次に、磁場データ処理装置120の機能構成について説明する。図7は、第1の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図である。

【0060】

20

図7に示すように、磁場データ取得部710は、磁場データ取得部710、アーチファクト除去部720、RENSアルゴリズム実行部730を有する。

【0061】

磁場データ取得部710は、磁気センサアレイ110より送信された磁場データを接続部607を介して取得する。アーチファクト除去部720は、取得された磁場データに含まれるアーチファクトを除去し、データ格納部122に格納する。

【0062】

RENSアルゴリズム実行部730は、データ格納部122に格納された磁場データを用いてRENSアルゴリズムを実行する。RENSアルゴリズム実行部730は、設定部731、再構成部732、繰り返し制御部733、加算部734、出力部735を有する。

30

【0063】

設定部731は、RENSアルゴリズムを実行する際の、空間フィルタの適用回数の上限N（Nは2以上の整数）を設定する。

【0064】

再構成部732は、再構成手段（または第1の再構成手段）として機能する。具体的には、再構成部732は、RENSアルゴリズムを実行する際、データ格納部122に格納された磁場データに対して、空間フィルタを適用することで電流源を再構成し、再構成データを生成する。

【0065】

40

繰り返し制御部733は、再構成部732により生成された再構成データに基づいて空間フィルタを生成し、生成した空間フィルタを再構成部732に通知する。これにより、再構成部732では、繰り返し制御部733より通知された空間フィルタを適用して、電流源を再構成する。繰り返し制御部733は、設定部731により設定された適用回数の上限Nに到達するまで、空間フィルタの生成及び再構成部732への通知を繰り返す。これにより、再構成部732では、再構成データをN回生成することになる。

【0066】

加算部734は、再構成部732が生成した再構成データのうち、空間フィルタを（N-1）回適用することで生成した第1の再構成データを取得する。また、加算部734は、空間フィルタをN回適用することで生成した第2の再構成データを取得する。

50

【0067】

更に、加算部734は、加算手段として機能し、取得した第1の再構成データと第2の再構成データとを重み付け加算する。本実施形態において、加算部734は、第1の再構成データ及び第2の再構成データそれぞれに0.5をかけて足し合せる(つまり、加算部734は、第1の再構成データ及び第2の再構成データの平均値を算出する)。なお、第1の再構成データ及び第2の再構成データを重み付け加算することで算出される再構成データを、以下では、"最適化再構成データ"と称す。

【0068】

出力部735は、出力手段として機能し、加算部734により生成された最適化再構成データをデータ格納部122に格納する。また、出力部735は、加算部734により生成された最適化再構成データを、表示部605に表示する。10

【0069】

<6.RENSアルゴリズム実行処理の流れ>

次に、RENSアルゴリズム実行部730によるRENSアルゴリズム実行処理の流れについて説明する。図8は、第1の実施形態におけるRENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。磁場データ取得部710が取得した磁場データについて、アーチファクト除去部720がアーチファクトを除去し、データ格納部122に格納することで、図8に示すフローチャートが開始される。

【0070】

なお、図8に示すフローチャートを開始するにあたっては、設定部731によって、予め空間フィルタの適用回数の上限Nが設定されているものとする。20

【0071】

ステップS801において、再構成部732は、パラメータP(r)に単位行列Iを代入する。また、繰り返し制御部733は、適用回数のカウンタiに"0"を代入する。

【0072】

ステップS802において、再構成部732は、適用回数 = i の場合のグラム行列G_iを、下式(3)に基づいて算出する。

【0073】

【数3】

30

$$G_i = \int L(r)P(r)L^T(r)dr \quad (3)$$

上式(3)において、L(r)は、リードフィールド行列であり、下式(4)に基づいて算出される。

【0074】

【数4】

40

$$L(r) = \begin{bmatrix} l_1^x(r) & l_1^y(r) & l_1^z(r) \\ \dots & \dots & \dots \\ l_M^x(r) & l_M^y(r) & l_M^z(r) \end{bmatrix} \quad (4)$$

上式(4)において、l(r)は磁気センサの位置rにおける感度を表す。

50

【0075】

上述したように、1つの磁気センサは、x方向、y方向、z方向の3方向の磁場を測定することから、上式(4)において、L(r)の各行には、 l^x 、 l^y 、 l^z の3個の感度が含まれる。また、磁気センサアレイ110には、M個の磁気センサが含まれるため、L(r)の各列には、 $l_1 \sim l_M$ のM個の感度が含まれる。

【0076】

ステップS803において、再構成部732は、適用回数 = iの場合のウェイト $w_i(r)$ を下式(5)に基づいて算出する。

【0077】

【数5】

10

$$w_i(r) = G_i^{-1} L(r) [L^T(r) G_i^{-1} L(r)]^{-1} \quad (5)$$

ステップS804において、再構成部732は、下式(6)に基づいて、各位置rの電流値を算出する。

【0078】

【数6】

20

$$S_i(r, t) = w_i^T(r) V(t) \quad (6)$$

なお、上式(6)において、 $S_i(r, t)$ は、空間フィルタの適用回数 = iの場合の、時刻t、位置rにおける電流値を示している。

30

【0079】

ステップS805において、繰り返し制御部733は、カウンタ*i*が、設定部731により予め設定された適用回数の上限Nを超えたか否かを判定する。ステップS805において、適用回数の上限N以下であると判定した場合(ステップS805においてNoの場合)には、ステップS806に進む。

【0080】

ステップS806において、繰り返し制御部733は、カウンタ*i*に1を加算する。

【0081】

ステップS807において、繰り返し制御部733は、パラメータP(r)に下式(7)を代入する。

40

【0082】

【数7】

$$P(r) = \begin{bmatrix} S_x^2(r, t) & 0 \\ 0 & S_y^2(r, t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

50

なお、上式(7)において、 $S_x(r, t)$ とは、ステップS804において算出された電流値のうち、 x 成分の電流値を指す。また、 $S_y(r, t)$ とは、ステップS804において算出された電流値のうち、 y 成分の電流値を指す。

【0083】

繰り返し制御部733は、上式(7)に示すパラメータP(r)を再構成部732に通知し、ステップS802に戻る。

【0084】

一方、ステップS805において、カウンタ*i*が、設定部731により設定された適用回数の上限Nを超えたと判定した場合(ステップS805においてYesの場合)には、ステップS808に進む。

10

【0085】

ステップS808において、加算部734は、下式(8)に基づいて、最適化再構成データの電流値 $S_{opt}(r, t)$ を算出する。

【0086】

【数8】

$$S_{opt}(r, t) = \frac{S_{N-1}(r, t) - S_N(r, t)}{2} \quad (8)$$

20

また、出力部735は、算出した最適化再構成データの電流値 $S_{opt}(r, t)$ を、データ格納部122に格納する。

【0087】

このように、本実施形態においてRENSアルゴリズム実行部730は、設定部731により設定された適用回数の上限分、空間フィルタを適用して、再構成データを生成する。更に、本実施形態においてRENSアルゴリズム実行部730は、適用回数の上限分、生成された再構成データのうち、適用回数=(N-1)の場合の再構成データと適用回数=Nの場合の再構成データとを重み付け加算することで、最適化再構成データを生成する。この結果、本実施形態のRENSアルゴリズム実行部730によれば、出力する再構成データの誤差を低減させることができるとともに、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることができる。

30

【0088】

<7. 適用例>

続いて、RENSアルゴリズム実行部730により上記RENSアルゴリズム実行処理が実行された場合の、空間フィルタの適用回数と最適化再構成データの誤差との関係について説明する。図9は、空間フィルタの適用回数と最適化再構成データの誤差との関係を示す図である。図9において、横軸は空間フィルタの適用回数を示しており、縦軸は、各適用回数における誤差の大きさを示している。

40

【0089】

なお、上述したとおり、本実施形態では、適用回数=(N-1)の場合の再構成データと適用回数=Nの場合の再構成データとを重み付け加算して出力することから、横軸の適用回数には、(N-1)とNの両方を記載している。

【0090】

例えば、適用回数=0~1にプロットされた各点は、下記(a)、(b)の差分である。

(a) 空間フィルタを0回適用した際の再構成データと1回適用した際の再構成データとの平均値(適用回数=0~1の最適化再構成データ)。

(b) 空間フィルタを15回適用した際の再構成データと16回適用した際の再構成データ。

50

タとの平均値（適用回数 = 15 ~ 16 の最適化再構成データ）。

【0091】

図9から明らかなように、2つの収束点の再構成データを重み付け加算したことで、誤差を低減させることができる。

【0092】

また、RENSアルゴリズムを使用した場合に発生していた、2つの状態の間を行き来する事象を回避し、再構成データを1つの収束点に収束させることができる。この結果、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることができる。

【0093】

<8.まとめ>

10

以上の説明から明らかなように、本実施形態における磁場データ処理装置では、

- ・磁気センサを用いて測定した磁場データに対して、空間フィルタを複数回適用することで、被検者の電流源を再構成し、再構成データを生成する。

- ・空間フィルタを適用するごとに生成された再構成データの中から、第1の収束点に収束する第1の再構成データとして、空間フィルタを（N - 1）回適用した際の再構成データを抽出する。また、第2の収束点に収束する第2の再構成データとして、空間フィルタをN回適用した際の再構成データを抽出する。

- ・抽出した第1の再構成データと第2の再構成データとを重み付け加算して、最適化再構成データを生成し出力する。

【0094】

20

これにより、本実施形態における磁場データ処理装置によれば、電流源の再構成において、空間フィルタの適用に伴って生じる再構成データの変動を抑えることができる。

【0095】

[第2の実施形態]

上記第1の実施形態では、第1の収束点に収束する第1の再構成データと、第2の収束点に収束する第2の再構成データとを抽出して、重み付け加算する構成とした。これに対して、第2の実施形態では、再構成データを生成する過程で算出される、グラム行列Gを重み付け加算し、当該重み付け加算したグラム行列に基づいて最適化再構成データを生成して、出力する。

【0096】

30

図10は、第2の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図である。上記第1の実施形態において図7を用いて説明した機能構成との相違点は、加算部1001、第2再構成部1002である。

【0097】

加算部1001は、適用回数 = (N - 1)の場合に算出されたグラム行列G_{N-1}と、適用回数 = Nの場合に算出されたグラム行列G_Nとを重み付け加算し、最適化グラム行列G_{o_p_t}を算出する。また、加算部1001は、算出した最適化グラム行列G_{o_p_t}を第2再構成部1002に通知する。

【0098】

第2再構成部1002は、第2の再構成手段として機能し、加算部1001より通知された最適化グラム行列G_{o_p_t}を用いて、最適化再構成データの電流値S_{o_p_t}を算出する。

【0099】

図11は、第2の実施形態におけるRENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。図8に示したフローチャートとの相違点は、ステップS1101～S1103である。

【0100】

ステップS1101において、加算部1001は、下式(9)に基づいて、適用回数 = (N - 1)の場合に算出されたグラム行列G_{N-1}と、適用回数 = Nの場合に算出されたグラム行列G_Nとを重み付け加算し、最適化グラム行列G_{o_p_t}を算出する。

50

【0 1 0 1】

【数9】

$$G_{opt} = \frac{G_N - G_{N-1}}{2} \quad (9)$$

ステップS1102において、第2再構成部1002は、ステップS1101において算出された最適化グラム行列 G_{opt} を用いて、下式(10)に基づいて最適化ウェイト $w_{opt}(r)$ を算出する。 10

【0 1 0 2】

【数10】

$$w_{opt}(r) = G_{opt}^{-1} L(r) [L^T(r) G_{opt}^{-1} L(r)]^{-1} \quad (10)$$

20

ステップS1103において、第2再構成部1002は、ステップS1102において算出された最適化ウェイト $w_{opt}(r)$ を用いて、下式(11)に基づいて最適化再構成データの電流値 S_{opt} を算出する。 11

【0 1 0 3】

【数11】

$$S_{opt}(r, t) = w_{opt}^T(r) V(t) \quad (11)$$

30

また、出力部735は、算出した最適化再構成データの電流値 S_{opt} を、データ格納部122に格納する。 12

【0 1 0 4】

このように、再構成データを生成する過程で算出されるグラム行列を重み付け加算する場合でも、上記第1の実施形態と同様の最適化再構成データを得ることができる。この結果、第2の実施形態においても、上記第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。 13

【0 1 0 5】

[第3の実施形態]

上記第1の実施形態では、設定部731により設定された適用回数の上限分、空間フィルタを適用するものとして説明した。これに対して、第3の実施形態では、いずれか一方の収束点に収束する再構成データの変化が、所定の条件を満たすまで空間フィルタを適用する。 14

【0 1 0 6】

図12は、第3の実施形態におけるRENNSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。図8に示すフローチャートとの相違点は、ステップS1201～S1204である。 15

【0 1 0 7】

40

50

ステップ S 1 2 0 1において、繰り返し制御部 7 3 3は、適用回数のカウンタ i が 1 を上回ったか否か（2 以上か否か）を判定する。1 以下であると判定した場合には、ステップ S 8 0 6に進む。一方、適用回数のカウンタ i が 1 を上回った（ i が 2 以上）と判定した場合には、ステップ S 1 2 0 2に進む。

【0 1 0 8】

ステップ S 1 2 0 2において、繰り返し制御部 7 3 3は、空間フィルタを i 回適用した場合の電流値 $S_i(r, t)$ と、空間フィルタを ($i - 2$) 回適用した場合の電流値 $S_{i-2}(r, t)$ との差分 e_{rr} を算出する。

【0 1 0 9】

ステップ S 1 2 0 3において、繰り返し制御部 7 3 3は、ステップ S 1 1 0 1において算出した差分 e_{rr} が、所定の条件を満たしているか否か（例えば、所定の閾値 T_h 未満であるか否か）を判定する。10

【0 1 1 0】

ステップ S 1 2 0 3において、差分 e_{rr} が所定の閾値 T_h 以上であると判定した場合（ステップ S 1 2 0 3においてNoの場合）には、ステップ S 8 0 6に進む。

【0 1 1 1】

一方、ステップ S 1 2 0 3において、差分 e_{rr} が所定の閾値 T_h 未満であると判定した場合（ステップ S 1 2 0 3においてYesの場合）には、ステップ S 1 2 0 4に進む。

【0 1 1 2】

ステップ S 1 2 0 4において、加算部 7 3 4は、下式（12）に基づいて、最適化再構成データの電流値 $S_{opt}(r, t)$ を算出する。20

【0 1 1 3】

【数 1 2】

$$S_{opt}(r, t) = \frac{S_{i-1}(r, t) - S_i(r, t)}{2} \quad (12)$$

30

このように、第 3 の実施形態によれば、いずれか一方の収束点に収束する再構成データの変化が、所定の閾値 T_h 未満となるまで空間フィルタを適用する。これにより、第 3 の実施形態によれば、いずれか一方の収束点に収束する再構成データが、一定程度収束するまで、空間フィルタを適用させることができ、最適化再構成データの誤差を所望する値に抑えることができる。

【0 1 1 4】

[第 4 の実施形態]

上記第 3 の実施形態では、いずれか一方の収束点に収束する再構成データの変化が、所定の閾値 T_h 未満となるまで空間フィルタを適用した後、第 1 の再構成データと第 2 の再構成データとを抽出して、重み付け加算する構成とした。40

【0 1 1 5】

これに対して、第 4 の実施形態では、いずれか一方の収束点に収束する再構成データの変化が、所定の閾値 T_h 未満となるまで空間フィルタを適用した後、再構成データを生成する過程で算出された、グラム行列 G を重み付け加算する。そして、当該重み付け加算したグラム行列に基づいて最適化再構成データを生成し、出力する。

【0 1 1 6】

図 1 3 は、第 4 の実施形態における R E N S アルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャートである。図 1 2 に示したフローチャートとの相違点は、ステップ S 1 3 0 1 ~ S 1 3 0 3 である。

【0 1 1 7】

50

ステップ S 1 3 0 1において、加算部 1 0 0 1は、下式(13)に基づいて、適用回数 = (i - 1)の場合に算出されたグラム行列 G_{i-1} と、適用回数 = iの場合に算出されたグラム行列 G_i とを重み付け加算し、最適化グラム行列 G_{opt} を算出する。

【0 1 1 8】

【数 1 3】

$$G_{opt} = \frac{G_i - G_{i-1}}{2} \quad (13)$$

10

ステップ S 1 3 0 2において、第2再構成部 1 0 0 2は、ステップ S 1 3 0 1において算出された最適化グラム行列 G_{opt} を用いて、上式(10)に基づいて最適化ウェイト $w_{opt}(r)$ を算出する。

【0 1 1 9】

ステップ S 1 3 0 3において、第2再構成部 1 0 0 2は、ステップ S 1 3 0 2において算出された最適化ウェイト $w_{opt}(r)$ を用いて、上式(11)に基づいて最適化再構成データの電流値 S_{opt} を算出する。

【0 1 2 0】

20

また、出力部 7 3 5は、算出した最適化再構成データの電流値 S_{opt} を、データ格納部 1 2 2に格納する。

【0 1 2 1】

このように、再構成データを生成する過程で算出されるグラム行列を重み付け加算する場合でも、上記第3の実施形態と同様の最適化再構成データを得ることができる。このため、第4の実施形態においても、上記第3の実施形態と同様に、最適化再構成データの誤差を所望する値に抑えることが可能となる。

【0 1 2 2】

[変形例]

上記第1の実施形態では、第1の収束点に収束する再構成データとして、空間フィルタを(N - 1)回適用した際の再構成データを抽出し、第2の収束点に収束する再構成データとして、空間フィルタをN回適用した際の再構成データを抽出した。しかしながら、抽出する再構成データは、2回分に限定されない。例えば、第1の収束点に収束する再構成データとして、空間フィルタを(N - 3)回、(N - 1)回適用した際の再構成データを抽出するようにしてもよい。また、第2の収束点に収束する再構成データとして、空間フィルタを(N - 2)回、N回適用した際の再構成データを抽出するようにしてもよい。

30

【0 1 2 3】

また、上記第1の実施形態では、収束点の異なる再構成データとして、連続して生成された再構成データを抽出する構成とした。しかしながら、抽出する再構成データは、連続して生成された再構成データでなくてもよい。例えば、空間フィルタを(N - 4)回、(N - 3)回、(N - 1)回、N回適用した際の再構成データを抽出する構成としてもよい。

40

【0 1 2 4】

いずれにしても、第1の収束点に収束する再構成データと、第2の収束点に収束する再構成データとから、それぞれ再構成データを抽出して重み付け加算すればよい。なお、第1の収束点に収束する再構成データとして抽出する再構成データの数と、第2の収束点に収束する再構成データとして抽出する再構成データの数とは同じでなくてもよい。

【0 1 2 5】

また、上記第1の実施形態では、RENSアルゴリズムを実行することで生成される再構成データが、第1及び第2の収束点を有するものとして説明したが、第3の収束点を有

50

している場合であっても同様である。つまり、複数の収束点それぞれに収束する再構成データを抽出して、重み付け加算することで、上記第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0126】

また、上記第1の実施形態では、第1の収束点に収束する再構成データと、第2の収束点に収束する再構成データとを重み付け加算するにあたり、重み係数を0.5に設定する場合について説明したが、重み係数は0.5に限定されない。

【0127】

また、上記第1の実施形態では、磁気センサアレイを用いて測定した磁場データから生成される再構成データについて説明した。しかしながら、他の生体センサ（例えば、脳波計）を用いて測定した生体データについても同様に適用することができる。10

【0128】

なお、上述したこれらの変形例は、上記第1の実施形態だけでなく、上記第2乃至第4の実施形態においても、同様に適用することができる。

【0129】

なお、上記実施形態に挙げた構成等に、その他の要素との組み合わせなど、ここで示した構成に本発明が限定されるものではない。これらの点に関しては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で変更することが可能であり、その応用形態に応じて適切に定めることができる。

【符号の説明】

【0130】

1 0 0	: 磁場データ処理システム
1 1 0	: 磁気センサアレイ
1 2 0	: 磁場データ処理装置
1 2 1	: 磁場データ処理部
7 1 0	: 磁場データ取得部
7 2 0	: アーチファクト除去部
7 3 0	: R E N S アルゴリズム実行部
7 3 1	: 設定部
7 3 2	: 再構成部または第1再構成部
7 3 3	: 繰り返し制御部
7 3 4	: 加算部
7 3 5	: 出力部
1 0 0 1	: 加算部
1 0 0 2	: 第2再構成部

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0131】

【特許文献1】特許第3599396号公報

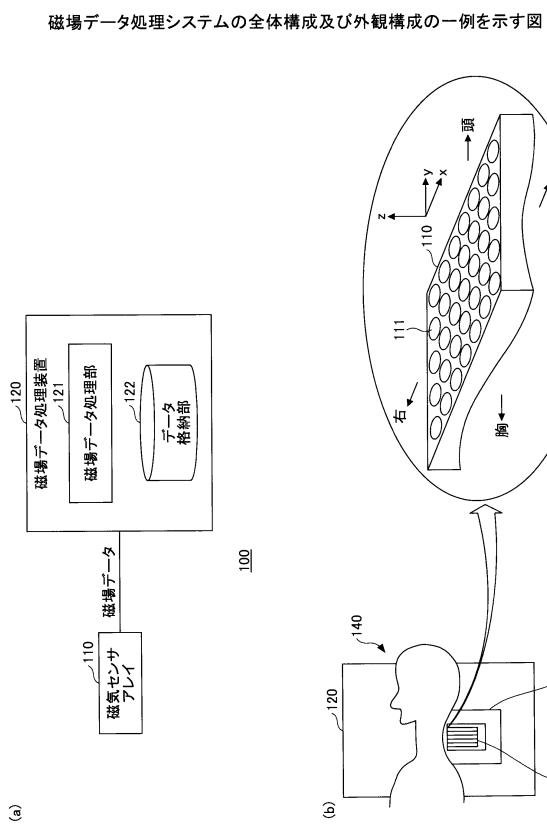
【非特許文献】

【0132】

【非特許文献1】Isamu Kumihashi and Kensuke Sekihara, "Array-Gain Constraint Minimum-Norm Spatial Filter with Recursively Updated Gram Matrix For Biomagnetic Source Imaging", IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL.57, NO.6, JUNE 2010

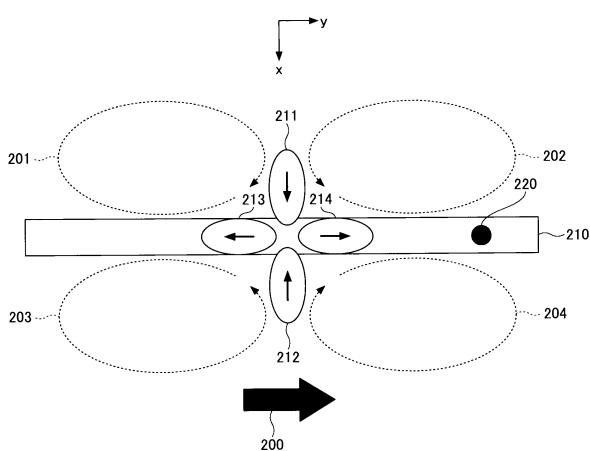
40

【図1】



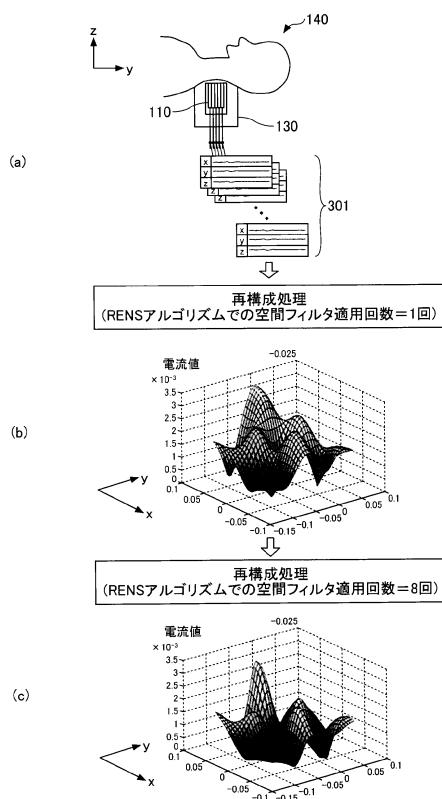
【図2】

被検者の脊椎内の神経を流れる電流を模式的に示した図



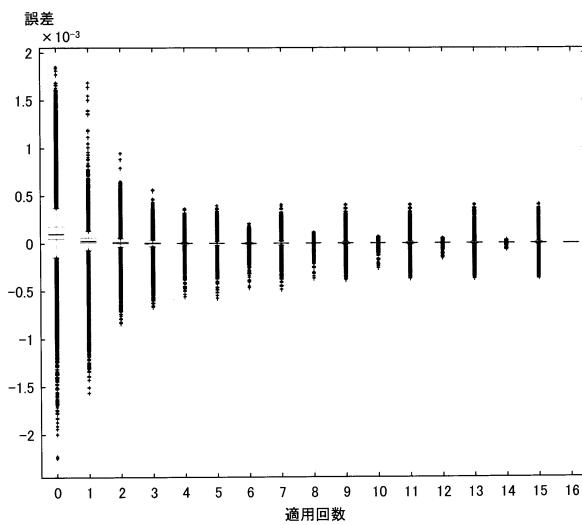
【図3】

再構成データの生成方法を示す図

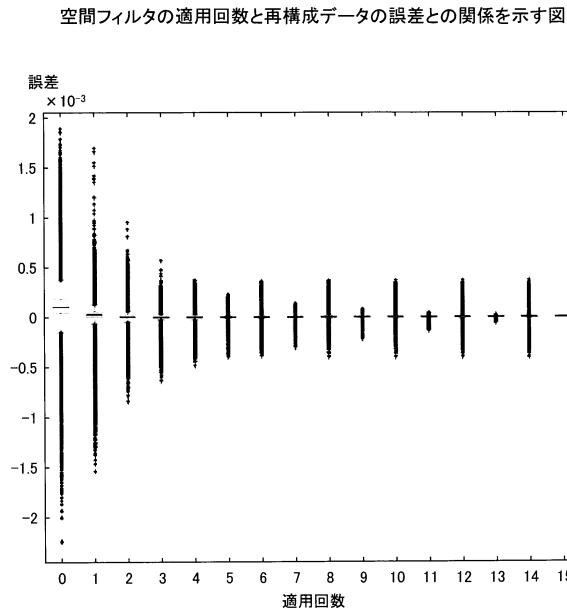


【図4】

空間フィルタの適用回数と再構成データの誤差との関係を示す図

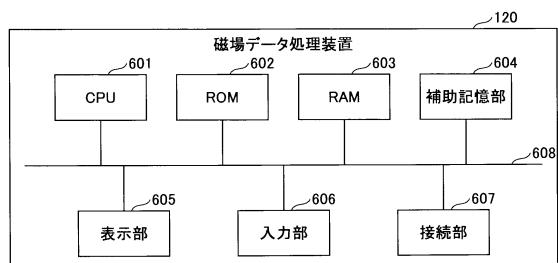


【図5】



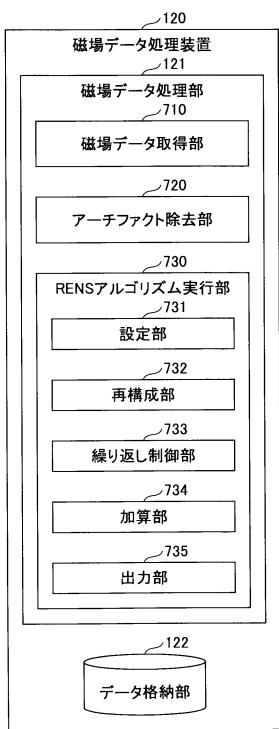
【図6】

磁場データ処理装置のハードウェア構成の一例を示す図

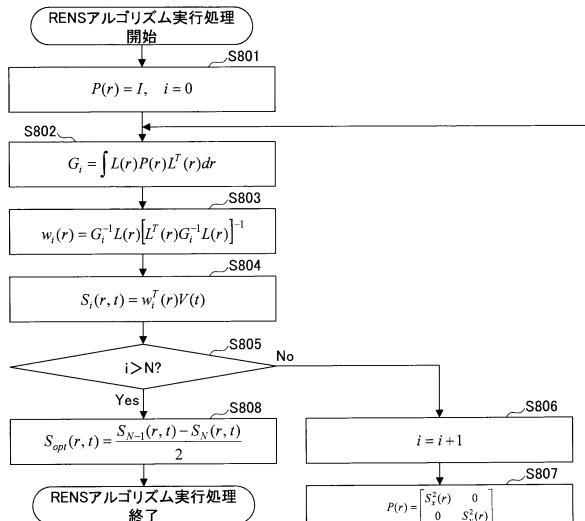


【図7】

第1の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図



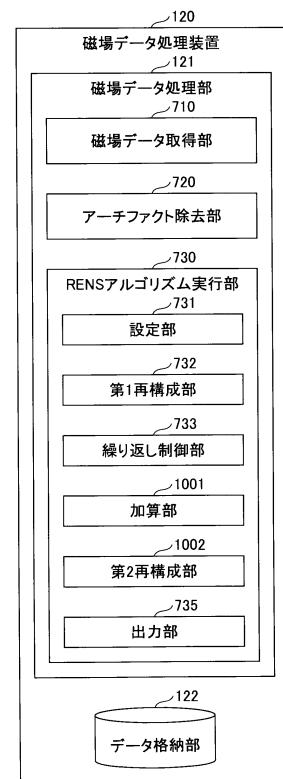
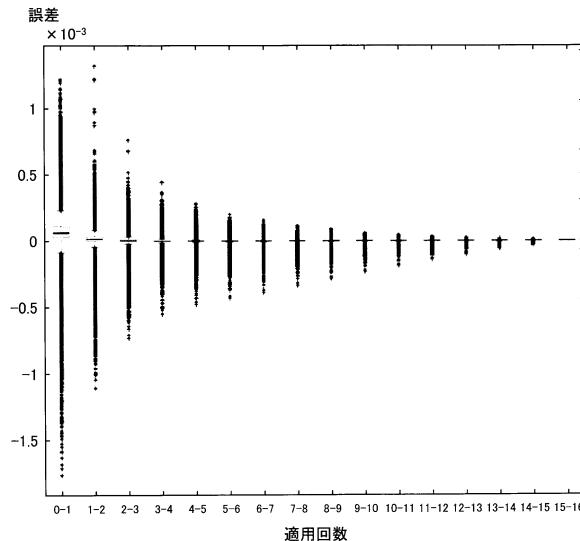
【図8】

第1の実施形態における
RENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャート

【 図 9 】

【図10】

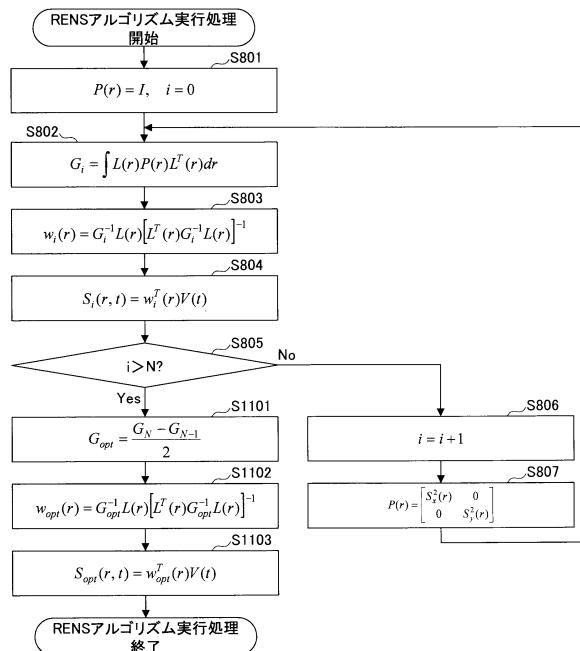
空間フィルタの適用回数と最適化再構成データの誤差との関係を示す図 第2の実施形態における磁場データ処理装置の機能構成を示す図



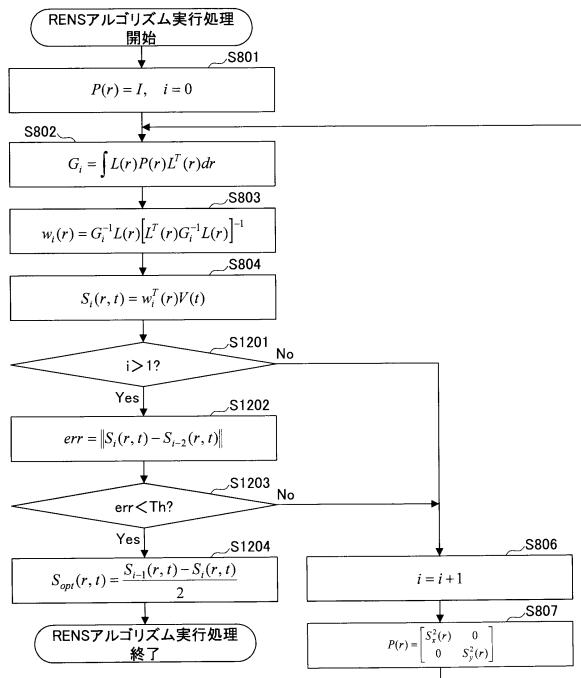
【図 1 1】

【図12】

第2の実施形態における
RENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャート

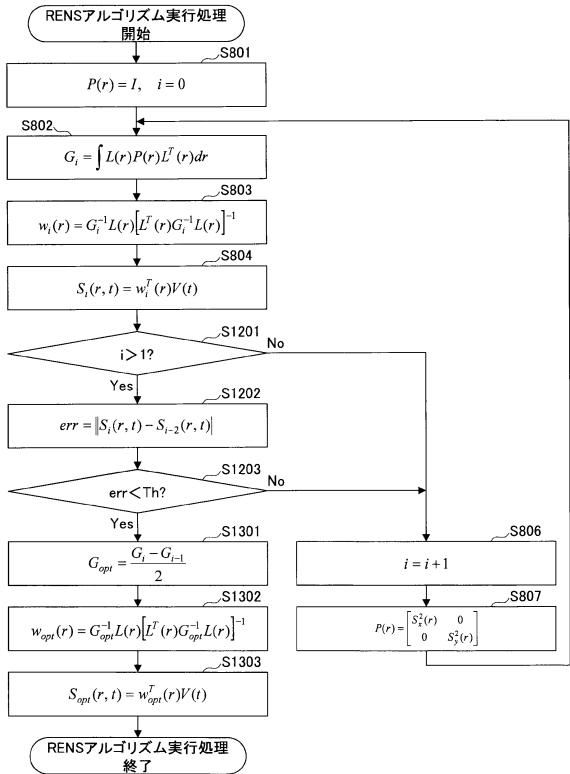


第3の実施形態における RENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャート



【図 1 3】

第4の実施形態における
RENSアルゴリズム実行処理の流れを示すフローチャート



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-113252(JP,A)

河田 芳秀、外5名、腰椎部の神経電気活動イメージング、臨床神経生理学、2012年、Vol.40, No.2, pp.82-87, ISSN(Print):1345-7101, DOI:10.11422/jscn.40.82

KUMIHASHI, Isamu et al., Array-Gain Constraint Minimum-Norm Spatial Filter With Recursively Updated Gram Matrix For Biomagnetic Source Imaging, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010年, Vol.57, No.6, pp.1358-1365, ISSN(Print):0018-9294, DOI:10.1109/TBME.2010.2040735

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 61 B 5 / 04 - 5 / 053

J S T P l u s / J M E D P l u s / J S T 7 5 8 0 (J D r e a m I I I)

S c o p u s

医中誌W E B