

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6588979号
(P6588979)

(45) 発行日 令和1年10月9日 (2019. 10. 9)

(24) 登録日 令和1年9月20日 (2019. 9. 20)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006. 01)
G 0 1 N 24/08 (2006. 01)A 6 1 B 5/055 3 1 2
A 6 1 B 5/055 3 7 6
G 0 1 N 24/08 5 1 0 N
A 6 1 B 5/055 Z D M

請求項の数 14 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2017-525412 (P2017-525412)
 (86) (22) 出願日 平成27年11月5日 (2015. 11. 5)
 (65) 公表番号 特表2018-501832 (P2018-501832A)
 (43) 公表日 平成30年1月25日 (2018. 1. 25)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/075775
 (87) 国際公開番号 W02016/075020
 (87) 国際公開日 平成28年5月19日 (2016. 5. 19)
 審査請求日 平成30年11月1日 (2018. 11. 1)
 (31) 優先権主張番号 14193149.3
 (32) 優先日 平成26年11月14日 (2014. 11. 14)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーエー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhoven
 (74) 代理人 110001690
 特許業務法人M&Sパートナーズ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 追加の180° RFパルスを有するスピンエコーパルスシーケンスを用いた磁気共鳴フィンガー
 プリンティング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得する磁気共鳴システムであって、前記
 磁気共鳴システムは、

マシン実行可能な命令及びパルスシーケンス命令を記憶するメモリであって、前記パル
 スシーケンス命令は前記磁気共鳴システムに磁気共鳴フィンガープリンティング法によっ
 て磁気共鳴データを取得させ、前記パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り
 返しを含み、各パルスシーケンス繰り返しは繰り返し時間の分布から選択される繰り返し
 時間を有し、各パルスシーケンス繰り返しは高周波パルスの分布から選択される高周波パ
 ルスを含み、前記高周波パルスの分布は磁気スピンをフリップ角の分布に回転させ、各パ
 ルスシーケンス繰り返しは、磁気共鳴信号が前記パルスシーケンス繰り返しの終了前のサ
 ンプリング時間に所定期間サンプリングされるサンプリングイベントを含み、前記サンプ
 リング時間はサンプリング時間の分布から選択され、前記磁気共鳴データは前記サンプリ
 ングイベント中に取得され、前記測定ゾーンで使用される磁場の不均一性の影響を低減さ
 せるために、前記パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、前記高周波パ
 ルスと前記サンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて前記磁気共鳴信
 号をリフォーカスする第1の180° RFパルスを含み、前記パルスシーケンス命令の各
 パルスシーケンス繰り返しは、前記サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まり
 との間の第2の時間的中点で実行される第2の180° RFパルスを含む、メモリと、

前記磁気共鳴システムを制御するプロセッサであって、前記マシン実行可能な命令を実

行することによって、前記プロセッサに

・前記磁気共鳴システムをパルスシーケンス命令により制御することにより前記磁気共鳴データを取得させ、

・前記磁気共鳴データを、所定の物質のセットに対して前記パルスシーケンス命令を実行することによって計算された磁気共鳴信号のリストを含む磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより、前記所定の物質のセットの各々の存在量を計算させるプロセッサとを備える、磁気共鳴システム。

【請求項 2】

前記磁気共鳴システムは磁気共鳴イメージングシステムであり、前記測定ゾーンはイメージングゾーンであり、前記磁気共鳴システムは更に、

前記測定ゾーン内にメイン磁場を生成する磁石と、

前記測定ゾーン内に勾配磁場を生成して前記磁気共鳴データを空間符号化する磁場勾配システムと、を備え、

前記パルスシーケンス命令は更に、前記磁気共鳴データの取得中に前記磁気共鳴データの空間符号化を行うように前記磁場勾配システムを制御する命令を含み、前記空間符号化は、前記磁気共鳴データを離散的なボクセルに分割する、請求項 1 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 3】

更に、前記マシン実行可能な命令を実行することによって、前記プロセッサは、前記離散的なボクセルの各々に対するブロッホ方程式を用いて前記所定の物質の各々を単一のスピンのようにモデリングすることにより、前記磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを計算する、請求項 2 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 4】

前記空間符号化は 1 次元であり、前記離散的なボクセルは一群の離散的なスライスであり、前記磁気共鳴データを前記スライスのセットに分割し、前記所定の物質のセットの各々の存在量は、前記スライスのセットの各々の前記磁気共鳴データを前記磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより前記各スライスのセットの各々内で計算される、請求項 2 又は 3 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 5】

前記空間符号化は、パルスシーケンスの実行中に一定の磁場勾配を所定の方向に生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行される、請求項 4 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 6】

前記空間符号化は、少なくとも部分的に前記サンプリングイベント中に 1 次元読み出し勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行される、請求項 4 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 7】

前記空間符号化は 3 次元であり、前記空間符号化は、少なくとも部分的に前記サンプリングイベント中に 3 次元読み出し勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行される、請求項 2 又は 3 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 8】

前記空間符号化はマルチスライス符号化として実行され、前記空間符号化は、前記高周波パルス中にスライス選択勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行され、前記空間符号化は更に、第 1 の 180° RF パルス中に位相選択勾配又はスライス選択勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行され、前記空間符号化は、前記サンプリングイベント中に読み出し勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行される、請求項 2 又は 3 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 9】

前記空間符号化は非デカルト空間符号化として実行され、前記空間符号化は、k 空間を

10

20

30

40

50

非デカルト的にサンプリングするサンプリングイベント中に読み出し勾配を生成するように前記磁場勾配システムを制御することにより実行される、請求項 2 又は 3 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 10】

前記磁気共鳴システムは NMR 分光計であり、更に、前記マシン実行可能な命令を実行することによって、前記プロセッサは、離散的なボクセルの各々に対するブロッホ方程式を用いて前記所定の物質の各々を単一のスピンのとしてモデリングすることにより、前記磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを計算する、請求項 1 に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 11】

離散的なボクセルの各々の前記磁気共鳴データを事前に計算された前記磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより、前記離散的なボクセルの各々の前記所定の組織タイプの各々の存在量を計算することは、

前記磁気共鳴データの各磁気共鳴信号を前記所定の物質のセットの各々からの信号の線形結合として表すことと、

最小化手法を用いて前記線形結合を解くことにより前記所定の物質のセットの各々の存在量を決定することと、により行われる、請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 12】

更に、前記命令を実行することによって、前記プロセッサは、少なくとも 1 つの校正ファントムの前記磁気共鳴データの測定を繰り返し、前記少なくとも 1 つの校正ファントムは、前記所定の物質のセットのうちの少なくとも 1 つの既知のボリュームを含む、請求項 1 乃至 11 の何れか一項に記載の磁気共鳴システム。

【請求項 13】

測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得するための磁気共鳴システムを制御するプロセッサにより実行される、マシン実行可能な命令及びパルスシーケンス命令を記憶するコンピュータプログラムであって、前記パルスシーケンス命令は前記磁気共鳴システムに磁気共鳴フィンガープリンティング法によって前記磁気共鳴データを取得させ、前記パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含み、各パルスシーケンス繰り返しは繰り返し時間の分布から選択される繰り返し時間を有し、各パルスシーケンス繰り返しは高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含み、前記高周波パルスの分布は磁気スピンをフリップ角の分布に回転させ、各パルスシーケンス繰り返しは、磁気共鳴信号が前記パルスシーケンス繰り返しの終了前のサンプリング時間に所定期間サンプリングされるサンプリングイベントを含み、前記サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択され、前記磁気共鳴データは前記サンプリングイベント中に取得され、前記測定ゾーンで使用される磁場の不均一性の影響を低減させるために、前記パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、前記高周波パルスと前記サンプリングイベントとの間の第 1 の時間的中点で実行されて前記磁気共鳴信号をリフォーカスする第 1 の 180° RF パルスを含み、前記パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、前記サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第 2 の時間的中点で実行される第 2 の 180° RF パルスを含み、前記マシン実行可能な命令を実行することによって、前記プロセッサに、

・前記磁気共鳴システムをパルスシーケンス命令により制御することにより前記磁気共鳴データを取得させ、

・前記磁気共鳴データを、所定の物質のセットに対して前記パルスシーケンス命令を実行することによって計算された磁気共鳴信号のリストを含む磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより、前記所定の物質のセットの各々の存在量を計算させる、コンピュータプログラム。

【請求項 14】

測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得する磁気共鳴システムを動作させる方

10

20

30

40

50

法であって、前記磁気共鳴システムは、

パルスシーケンス命令を記憶するメモリであって、前記パルスシーケンス命令は前記磁気共鳴システムに磁気共鳴フィンガープリンティング法によって磁気共鳴データを取得させ、前記パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含み、各パルスシーケンス繰り返しは繰り返し時間の分布から選択される繰り返し時間を有し、各パルスシーケンス繰り返しは高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含み、前記高周波パルスの分布は磁気スピンをフリップ角の分布に回転させ、各パルスシーケンス繰り返しは、磁気共鳴信号が前記パルスシーケンス繰り返しの終了前のサンプリング時間に所定期間サンプリングされるサンプリングイベントを含み、前記サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択され、前記磁気共鳴データは前記サンプリングイベント中に取得され、前記測定ゾーンで使用される磁場の不均一性の影響を低減させるために、前記パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、前記高周波パルスと前記サンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて前記磁気共鳴信号をリフォーカスする第1の180°RFパルスを含み、前記パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、前記サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第2の時間的中点で実行される第2の180°RFパルスを含む、メモリを備え、

10

前記方法は、

- ・前記磁気共鳴システムをパルスシーケンス命令により制御することにより前記磁気共鳴データを取得するステップと、

- ・前記磁気共鳴データを、所定の物質のセットに対して前記パルスシーケンス命令を実行することに対応して計算された磁気共鳴信号のリストを含む磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより、前記所定の物質のセットの各々の存在量を計算するステップと、を含む、方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気共鳴イメージング、特に磁気共鳴フィンガープリンティングを実行する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

30

磁気共鳴(MR)フィンガープリンティングは、時間的に分散した複数のRFパルスが、異なる物質又は組織からの信号が測定されたMR信号に対する独自の寄与を有するように印加される新しい技術である。一組又は定数の物質から事前に計算された信号寄与の限定されたディクショナリが、測定されたMR信号と比較され、単一のボクセル内でその組成が決定され得る。例えばボクセルが水分、脂質、及び筋組織のみを含むことが知られている場合には、これらの3つの物質からの寄与のみが考慮されれば十分で、ボクセルの組成を正確に決定するためにほんの少しのRFパルスしか必要とされない。

【0003】

磁気共鳴フィンガープリンティング法は、Maらによる学術論文「Magnetic Resonance Fingerprinting」Nature, Vol. 495, pp. 187~193, doi: 10.1038/nature11971に紹介された。磁気フィンガープリンティング法は、米国特許出願US 2013/0271132 A1及びUS 2013/0265047 A1にも記載されている。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、独立請求項に磁気共鳴イメージングシステム、コンピュータプログラム製品及び方法を提供する。実施形態は従属請求項に記載される。

【課題を解決するための手段】

【0005】

50

MaらによるNatureの論文は、磁気共鳴フィンガープリンティングの基本的な考え方と、例えば本明細書で「事前に計算された磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ」、「磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ」及び「ディクショナリ」と呼ばれるディクショナリ等、この手法を説明するために使用される用語を紹介している。

【0006】

当業者には理解されるように、本発明の態様は、装置、方法又はコンピュータプログラムプロダクトとして具体化され得る。従って、本発明の態様は、全面的にハードウェア実施形態、全面的にソフトウェア実施形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコード等を含む）又は本明細書において全て一般的に「回路」、「モジュール」若しくは「システム」と称され得るソフトウェア及びハードウェア態様を組み合わせた実施形態の形態をとり得る。更に、本発明の態様は、コンピュータ可読媒体上で具現化されたコンピュータ実行可能コードを有する1つ又は複数のコンピュータ可読媒体において具体化されたコンピュータプログラムプロダクトの形態をとり得る。

【0007】

1つ又は複数のコンピュータ可読媒体の任意の組み合わせが利用されてもよい。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ可読信号媒体又はコンピュータ可読ストレージ媒体でもよい。本明細書で使用される「コンピュータ可読ストレージ媒体」は、コンピューティングデバイスのプロセッサによって実行可能な命令を保存することができる任意の有形ストレージ媒体を包含する。コンピュータ可読ストレージ媒体は、コンピュータ可読非一時的ストレージ媒体と称される場合もある。コンピュータ可読ストレージ媒体はまた、有形コンピュータ可読媒体と称される場合もある。一部の実施形態では、コンピュータ可読ストレージ媒体はまた、コンピューティングデバイスのプロセッサによってアクセスされることが可能なデータを保存可能であってもよい。コンピュータ可読ストレージ媒体の例は、フロッピー（登録商標）ディスク、磁気ハードディスクドライブ、半導体ハードディスク、フラッシュメモリ、USBサムドライブ、ランダムアクセスメモリ（RAM）、読み取り専用メモリ（ROM）、光ディスク、磁気光学ディスク、及びプロセッサのレジスタファイルを含むが、これらに限定されない。光ディスクの例は、例えば、CD-ROM、CD-RW、CD-R、DVD-ROM、DVD-RW、又はDVD-Rディスクといったコンパクトディスク（CD）及びデジタル多用途ディスク（DVD）を含む。コンピュータ可読ストレージ媒体という用語は、ネットワーク又は通信リンクを介してコンピュータデバイスによってアクセスされることが可能な様々な種類の記録媒体も指す。例えば、データは、モデムによって、インターネットによって、又はローカルエリアネットワークによって読み出されてもよい。コンピュータ可読媒体上で具現化されたコンピュータ実行可能コードは、限定されることはないが、無線、有線、光ファイバケーブル、RF等を含む任意の適切な媒体、又は上記の任意の適切な組み合わせを用いて送信されてもよい。

【0008】

コンピュータ可読信号媒体は、例えばベースバンドにおいて又は搬送波の一部として内部で具体化されたコンピュータ実行可能コードを備えた伝搬データ信号を含んでもよい。このような伝搬信号は、限定されることはないが電磁気、光学的、又はそれらの任意の適切な組み合わせを含む様々な形態の何れかをとり得る。コンピュータ可読信号媒体は、コンピュータ可読ストレージ媒体ではない及び命令実行システム、装置、若しくはデバイスによって又はそれと関連して使用するためのプログラムを通信、伝搬、若しくは輸送できる任意のコンピュータ可読媒体でもよい。

【0009】

「コンピュータメモリ」又は「メモリ」は、コンピュータ可読ストレージ媒体の一例である。コンピュータメモリは、プロセッサに直接アクセス可能な任意のメモリである。「コンピュータストレージ」又は「ストレージ」は、コンピュータ可読ストレージ媒体の更なる一例である。コンピュータストレージは、任意の不揮発性コンピュータ可読ストレージ媒体である。一部の実施形態では、コンピュータストレージは、コンピュータメモリで

あってもよい又はその逆でもよい。

【0010】

本明細書で使用する「プロセッサ」は、プログラム、マシン実行可能命令、又はコンピュータ実行可能コードを実行可能な電子コンポーネントを包含する。「プロセッサ」を含むコンピューティングデバイスへの言及は、場合により、2つ以上のプロセッサ又は処理コアを含むと解釈されるべきである。プロセッサは、例えば、マルチコアプロセッサである。プロセッサは、また、単一のコンピュータシステム内の、又は複数のコンピュータシステムの中へ分配されたプロセッサの集合体も指す。コンピュータデバイスとの用語は、各々が一つ又は複数のプロセッサを有するコンピュータデバイスの集合体又はネットワークを指してもよいと理解されるべきである。コンピュータ実行可能コードは、同一のコンピュータデバイス内の、又は複数のコンピュータデバイス間に分配された複数のプロセッサによって実行される。

10

【0011】

コンピュータ実行可能コードは、本発明の態様をプロセッサに行わせるマシン実行可能命令又はプログラムを含んでもよい。本発明の態様に関する動作を実施するためのコンピュータ実行可能コードは、Java（登録商標）、Smalltalk、又はC++等のオブジェクト指向プログラミング言語及び「C」プログラミング言語又は類似のプログラミング言語等の従来の手続きプログラミング言語を含む1つ又は複数のプログラミング言語の任意の組み合わせで書かれてもよい及びマシン実行可能命令にコンパイルされてもよい。場合によっては、コンピュータ実行可能コードは、高水準言語の形態又は事前コンパイル形態でもよい及び臨機応変にマシン実行可能命令を生成するインタプリタと共に使用されてもよい。

20

【0012】

コンピュータ実行可能コードは、完全にユーザのコンピュータ上で、部分的にユーザのコンピュータ上で、スタンドアローンソフトウェアパッケージとして、部分的にユーザのコンピュータ上で及び部分的にリモートコンピュータ上で、又は完全にリモートコンピュータ若しくはサーバ上で実行することができる。後者の場合、リモートコンピュータは、ローカルエリアネットワーク（LAN）若しくは広域ネットワーク（WAN）を含む任意の種類のネットワークを通してユーザのコンピュータに接続されてもよい、又はこの接続は外部コンピュータに対して（例えば、インターネットサービスプロバイダを使用したインターネットを通して）行われてもよい。

30

【0013】

本発明の態様は、本発明の実施形態による方法、装置（システム）及びコンピュータプログラムプロダクトのフローチャート、図及び／又はブロック図を参照して説明される。フローチャート、図、及び／又はブロック図の各ブロック又は複数のブロックの一部は、適用できる場合、コンピュータ実行可能コードの形態のコンピュータプログラム命令によって実施され得ることが理解されよう。相互排他的でなければ、異なるフローチャート、図、及び／又はブロック図におけるブロックの組み合わせが組み合わせられてもよいことが更に理解される。これらのコンピュータプログラム命令は、コンピュータ又は他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサを介して実行する命令がフローチャート及び／又はブロック図の1つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施するための手段を生じさせるようにマシンを作るために、汎用コンピュータ、特定用途コンピュータ、又は他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサへと提供されてもよい。

40

【0014】

これらのコンピュータプログラム命令はまた、コンピュータ可読媒体に保存された命令がフローチャート及び／又はブロック図の1つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施する命令を含む製品を作るように、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置、又は他のデバイスにある特定の方法で機能するように命令することができるコンピュータ可読媒体に保存されてもよい。

【0015】

コンピュータプログラム命令はまた、コンピュータ又は他のプログラム可能装置上で実

50

行する命令がフローチャート及び／又はブロック図の１つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施するためのプロセスを提供するように、一連の動作ステップがコンピュータ、他のプログラム可能装置又は他のデバイス上で行われるようにすることにより、コンピュータ実施プロセスを生じさせるために、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置、又は他のデバイス上にロードされてもよい。

【 0 0 1 6 】

本明細書で使用する「ユーザインタフェース」は、ユーザ又はオペレータがコンピュータ又はコンピュータシステムとインタラクトすることを可能にするインタフェースである。「ユーザインタフェース」は、「ヒューマンインタフェースデバイス」と称される場合もある。ユーザインタフェースは、情報若しくはデータをオペレータに提供することができる及び／又は情報若しくはデータをオペレータから受信することができる。ユーザインタフェースは、オペレータからの入力がコンピュータによって受信されることを可能にしてもよい及びコンピュータからユーザへ出力を提供してもよい。つまり、ユーザインタフェースはオペレータがコンピュータを制御する又は操作することを可能にしてもよい、及びインタフェースはコンピュータがオペレータの制御又は操作の結果を示すことを可能にしてもよい。ディスプレイ又はグラフィカルユーザインタフェース上のデータ又は情報の表示は、情報をオペレータに提供する一例である。キーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、指示棒、グラフィックタブレット、ジョイスティック、ゲームパッド、ウェブカム、ヘッドセット、ギアスティック、ステアリングホイール、ペダル、有線グローブ、ダンスパッド、リモコン、及び加速度計を介したデータの受信は、オペレータから情報又はデータの受信を可能にするユーザインタフェース要素の全例である。

【 0 0 1 7 】

本明細書で使用する「ハードウェアインタフェース」は、コンピュータシステムのプロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置とインタラクトする及び／又はそれを制御することを可能にするインタフェースを包含する。ハードウェアインタフェースは、プロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置へ制御信号又は命令を送ることを可能にしてもよい。ハードウェアインタフェースはまた、プロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置とデータを交換することを可能にしてもよい。ハードウェアインタフェースの例は、ユニバーサルシリアルバス、IEEE 1394ポート、パラレルポート、IEEE 1284ポート、シリアルポート、RS-232ポート、IEEE 488ポート、ブルートゥース（登録商標）接続、無線LAN接続、TCP/IP接続、イーサネット（登録商標）接続、制御電圧インタフェース、MIDIインタフェース、アナログ入力インタフェース、及びデジタル入力インタフェースを含むが、これらに限定されない。

【 0 0 1 8 】

本明細書で使用する「ディスプレイ」又は「ディスプレイデバイス」は、画像又はデータを表示するために構成された出力デバイス又はユーザインタフェースを包含する。ディスプレイは、視覚、音声、及び／又は触覚データを出力してもよい。ディスプレイの例は、コンピュータモニタ、テレビスクリーン、タッチスクリーン、触覚電子ディスプレイ、点字スクリーン、陰極線管（CRT）、蓄積管、双安定ディスプレイ、電子ペーパー、ベクターディスプレイ、平面パネルディスプレイ、真空蛍光ディスプレイ（VF）、発光ダイオード（LED）ディスプレイ、エレクトロルミネッセントディスプレイ（ELD）、プラズマディスプレイパネル（PDP）、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオードディスプレイ（OLED）、プロジェクタ、及びヘッドマウントディスプレイを含むが、これらに限定されない。

【 0 0 1 9 】

磁気共鳴（MR）データは、本明細書においては、磁気共鳴イメージングスキャン中に磁気共鳴装置のアンテナによって原子スピンにより発せられた無線周波数信号の記録された測定結果として定義される。磁気共鳴データは、医療画像データの一例である。磁気共鳴イメージング（MRI）画像は、本明細書においては、磁気共鳴イメージングデータ内

10

20

30

40

50

に含まれる解剖学的データの復元された2次元又は3次元視覚化として定義される。この視覚化は、コンピュータを使用して行うことができる。

【0020】

一態様では、本発明は、測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得する磁気共鳴イメージングシステムを提供する。磁気共鳴システムは、マシン実行可能な命令を記憶するメモリを備える。メモリは更にパルスシーケンス命令を記憶する。パルスシーケンス命令は、所謂パルスシーケンスを実行するために使用される命令を含む。本明細書で使用されるパルスシーケンスは、磁気共鳴イメージングシステムに磁気共鳴法を実行させる一組の命令又は制御コマンドを包含する。パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含む。各パルスシーケンス繰り返しは、繰り返し時間の分布から選択される1つの繰り返し時間を有する。各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含む。高周波パルスの分布は、磁気共鳴スピンを異なるフリップ角の分布で回転させるために使用される。例えば、異なる高周波パルスは、異なる振幅、持続時間又は形状を使用して、特定の磁気スピンを特定の又は異なるフリップ角だけ回転させる。異なる高周波パルスは、異なるタイプの磁気スピんに異なる効果を及ぼし、フリップ角の異なる分布で回転させる。

10

【0021】

各パルスシーケンス繰り返しは更に、磁気共鳴信号がパルスシーケンス繰り返しの終了前のサンプリング時間に所定時間サンプリングされるサンプリングイベントを含む。サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択される。磁気共鳴データはサンプリングイベント中に取得される。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスとサンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて、磁気共鳴信号をリフォーカスする第1の180°高周波パルスを含む。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第2の時間的中点で実行される第2の180°高周波パルスを含む。

20

【0022】

2つの180°高周波パルスを使用することの利点は、これによって測定ゾーンで 사용되는磁場の不均一性の影響が低減されることである。

【0023】

磁気共鳴システムは更に、磁気共鳴システムを制御するプロセッサを備える。マシン実行可能な命令を実行することによって、プロセッサは、パルスシーケンス命令により磁気共鳴システムを制御することにより磁気共鳴データを取得する。更に、マシン実行可能な命令を実行することによって、プロセッサは、磁気共鳴データを磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより所定の物質のセットの各々の存在量を計算する。磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリは、所定の物質のセットに対してパルスシーケンス命令を実行することに応答して計算された磁気共鳴信号のリストを含む。

30

【0024】

パルスシーケンス命令が実行される時、パルスシーケンス繰り返しが1つずつ実行される。これによって、サンプリング時間中に各パルスシーケンス繰り返しのためにデータが取得される。磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリは、特定の物質について予想される磁気共鳴信号を含む。サンプリング時間の全てにおいて測定された実際の磁気共鳴信号は、様々な物質からの磁気共鳴信号の結合体である。磁気共鳴フィンガープリンティング法では、様々な物質の組成の可能性が考えられる。各物質について考えられるフィンガープリントは実際の測定された物質と比較され、物質の組成は磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを使用してデコンボリューションされ得る。

40

【0025】

概して磁気共鳴フィンガープリンティング法は、取得される少ない量のデータ又は磁気共鳴データによって被検体の組成を決定するために用いられる。これによって、この手法は従来の磁気共鳴法よりも迅速なものとなる。2つの180°高周波パルスを使用するこ

50

とによって、この手法はより正確なものとなり、取得されなければならないデータ量が低減される。通常、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリが計算される場合は、磁場の不均一性を考慮に入れる必要がある。ボクセルサイズが空間場の変動と比較して小さい場合は、多くの様々な磁場について計算された信号応答を含むディクショナリは、十分に良好なマッチを提供することができる。大きなボクセルサイズでは、フィンガープリントは所定の物質のセットの各々に対して基本的にぼやけたものとなる。2つの180°高周波パルスを使用することによって、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリの計算が単純化され、その結果がより正確なものとなる。

【0026】

別の実施形態では、パルスシーケンス命令によって、磁気共鳴イメージングシステムは磁気共鳴フィンガープリンティング法に従って磁気共鳴データを取得する。パルスシーケンス命令は、磁気共鳴データの測定をパルス繰り返しごとに様々な繰り返し時間、様々なフリップ角及び様々な測定時間で実行する命令を含む。これによって、良好なサンプリングを提供するパルス時間の有用な分布が提供され、様々な成分と磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリとの照合が可能になる。

【0027】

RFパルス（フリップ角）のシーケンス、繰り返し時間等はランダム又は疑似ランダムであり得る。RFパルスの疑似ランダムシーケンス又は考えられるRFパルスの分布から選択されたRFパルスでは、RFパルスのシーケンスは、その符号化パワーを最大化して、様々な種についての潜在的MR応答間で最高の多様性を得るように選択される。主要なポイントは、パルスシーケンスは単一の値ではなく、繰り返し時間及びフリップ角の範囲を含むことである。これは、結果として得られる磁気共鳴信号が組織によって異なり、フィンガープリントに類似するように選択される。

【0028】

k空間サンプリングは異なり得る。例えば、1次元の均一なk空間サンプリング、1次元の不均一なk空間サンプリング、及び1次元のランダムなk空間サンプリング等である。x及びy勾配のないzスライス選択及びサンプリング（即ち、一度にzスライス全体）等の1次元スライス選択を使用する場合は、k空間の1つの点（原点）だけがサンプリングされると言える。スライス選択のためではなく、やはりx及びy勾配を使用せずにz方向へのk空間サンプリングのためにz勾配が使用され得る。この場合は、k空間は1次元であり、サンプリングはk空間における点の均一又は不均一分布を使用して実行され得る。別の実施形態では、パルスシーケンスは一連のパルス繰り返しを含む。一連のパルス繰り返しのうちの各パルス繰り返しは、ランダムな持続時間、持続時間の分布から事前に選択される持続時間、又は疑似ランダムな持続時間を有する。事前に選択される持続時間は、結果として得られる一連のRFパルスがランダム又は疑似ランダムに見えるように分布から選択されるが、他の特性を最適化するようにも選択される。例えば、既に上で述べられたように、RFパルスは、シーケンスの符号化パワーを最大化して、様々な種についての潜在的MR応答間で最高の多様性を得るように選択される。

【0029】

別の実施形態では、磁気共鳴システムはNMR分光計である。

【0030】

別の実施形態では、磁気共鳴システムは磁気共鳴イメージングシステムである。

【0031】

別の実施形態では、測定ゾーンはイメージングゾーンである。

【0032】

別の実施形態では、磁気共鳴イメージングシステムは更に、イメージングゾーン内に磁場を生成する磁石を備える。磁気共鳴イメージングシステムは更に、イメージングゾーン内に勾配磁場を生成して磁気共鳴データを空間符号化する磁場勾配システムを備える。メイン磁場はB0磁場と呼ばれることも多い。パルスシーケンス命令は更に、磁気共鳴データの取得中に磁気共鳴データの空間符号化を行うように磁場勾配システムを制御する命令

を含む。空間符号化は磁気共鳴データを離散的なボクセルに分割する。この実施形態は、被検体の結果的な空間組成をより迅速に決定する手段を提供するという理由で有益である。

【 0 0 3 3 】

別の実施形態では、磁気共鳴システムは更に、測定ゾーン内にメイン磁場を生成する磁石を備える。

【 0 0 3 4 】

別の実施形態では、更に、マシン実行可能な命令を実行することによって、プロセッサは、各離散的なボクセルに対するブロッホ方程式を用いて各所定の物質を単一のスピンのとしてモデリングすることにより、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを計算する。例えば、各離散的なボクセルでは、ブロッホ方程式、及びパルスシーケンス命令を使用した磁気共鳴システムのシミュレーションを用いることにより仮想スピンのモデリングされ得る。そして、各サンプリング時間において計算された磁気共鳴データは、モデリングされた特定タイプのスピンのための磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリである。これは、測定ゾーンが単一のボクセルにのみ分割されている場合に特に上手く機能する。空間符号化のための勾配磁場が存在しない場合にも適用される。例えば、磁気共鳴システムは、試料に関する化学分析を行う所謂 NMR システムであり得る。

【 0 0 3 5 】

別の実施形態では、方法は更に、各離散的なボクセルに対するブロッホ方程式を用いて各所定の物質を 5 及び 1 の間のスピンのとしてモデリングすることにより、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを計算することを含む。

【 0 0 3 6 】

別の実施形態では、方法は更に、各離散的なボクセルに対するブロッホ方程式を用いて各所定の物質をモデリングすることにより、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを計算することを含む。

【 0 0 3 7 】

別の実施形態では、空間符号化は 1 次元である。離散的なボクセルは一群の離散的なスライスである。方法は更に、磁気共鳴データをスライスのセットに分割するステップを含む。所定のスライスのセットの各々の存在量は、スライスのセットの各々についての磁気共鳴ディクショナリを磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することによりスライスのセットの各々内で計算される。

【 0 0 3 8 】

別の実施形態では、空間符号化は、パルスシーケンスの実行中に磁場勾配を所定の一方方向にのみ生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。この結果、磁気共鳴データはスライスごとに一方方向にのみ符号化される。そして、これは所謂磁気共鳴フィンガープリントチャートを作成するために使用される。磁気共鳴フィンガープリントチャートでは、所定の物質のセットの各々の存在量は 1 次元の拡がりによって計算される。

【 0 0 3 9 】

別の実施形態では、空間符号化は、少なくとも部分的にサンプリング時間中に 1 次元読み出し勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。これは、例えば当該次元に沿った各物質の分布を位置の関数として生成するために使用される。これは磁気共鳴フィンガープリントチャートを生成するためにも使用される。

【 0 0 4 0 】

別の実施形態では、空間符号化は 3 次元である。空間符号化は、少なくとも部分的にサンプリング時間中に 3 次元勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。これは、各所定の物質の 3 次元分布が被検体に対して空間分解的に決定され得るという理由で有益である。

【 0 0 4 1 】

別の実施形態では、空間符号化はマルチスライス符号化として実行される。空間符号化

10

20

30

40

50

は、高周波パルス中にスライス選択勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。空間符号化は更に、第1の180°高周波パルス中に位相又はスライス選択勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。空間符号化は更に、サンプリング時間中に読み出し勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。

【0042】

別の実施形態では、空間符号化は非デカルト空間符号化として実行される。空間符号化は、k空間を非デカルト的にサンプリングするサンプリングイベント中に読み出し勾配を生成するように磁場勾配システムを制御することにより実行される。

【0043】

別の実施形態では、各離散的なボクセルの磁気共鳴データを事前に計算された磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより、各離散的なボクセル内の各所定の組織タイプの存在量を計算することは、次のステップにより行われる。第1のステップは、磁気共鳴データの各磁気共鳴信号を所定の物質のセットの各々からの信号の線形結合として表すステップである。次のステップは、最小化手法を用いて線形結合を解くことにより所定の物質のセットの各々の存在量を決定することである。

【0044】

別の実施形態では、最小二乗法は、特定の物質の負の値が拒否されるように変形され得る。

【0045】

別の実施形態では、更に、命令を実行することによって、プロセッサは少なくとも1つの較正ファントムの磁気共鳴データの測定を繰り返す。少なくとも1つの較正ファントムは、所定の物質のセットのうちの少なくとも1つの既知のボリュームを含む。

【0046】

1次元に沿って磁気共鳴データを測定するシステムと共に使用される場合は、各較正ファントムは較正軸を有する。この場合には、少なくとも1つの較正ファントムは、較正軸が所定の方向に位置合わせされている時に所定の物質のセットのうちの少なくとも1つの既知のボリュームを含む。他の場合、例えば3次元又は2次元イメージングが行われるシステムにおいて較正ファントムが使用される場合は、所定の物質は較正ファントム内における既知の濃度で均一に分布される。

【0047】

別の態様では、本発明は、磁気共鳴システムを制御するプロセッサにより実行されるマシン実行可能な命令及びパルスシーケンス命令を含むコンピュータプログラム製品を提供する。磁気共鳴システムは、測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得するために使用される。パルスシーケンス命令は、磁気共鳴システムに磁気共鳴フィンガープリンティング法に従って磁気共鳴データを取得させる。パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含む。各パルスシーケンス繰り返しは、繰り返し時間の分布から選択される繰り返し時間を有する。各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含む。

【0048】

高周波パルスの分布は、磁気スピンをフリップ角の分布で回転させる。各パルスシーケンス繰り返しは、磁気共鳴信号がパルスシーケンス繰り返しの終了前のサンプリング時間に所定時間サンプリングされるサンプリングイベントを含む。サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択される。磁気共鳴データはサンプリングイベント中に取得される。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスとサンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて、磁気共鳴信号をリフォーカスする第1の180°高周波パルスを含む。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第2の時間的中点で実行される第2の180°高周波パルスを含む。

【0049】

マシン実行可能な命令を実行することによって、プロセッサは、パルスシーケンス命令を使用して又はこれにより磁気共鳴システムを制御することにより磁気共鳴データを取得する。更に、マシン実行可能な命令を実行することによって、プロセッサは、磁気共鳴データを磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより所定の物質のセットの各々の存在量を計算する。磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリは、所定の物質のセットに対してパルスシーケンス命令を実行することに応答して計算された磁気共鳴信号のリストを含む。

【 0 0 5 0 】

別の態様では、本発明は、測定ゾーン内の被検体から磁気共鳴データを取得する磁気共鳴システムを動作させる方法を提供する。磁気共鳴システムは、パルスシーケンス命令を記憶するメモリを備える。パルスシーケンス命令は、磁気共鳴システムに磁気共鳴フィンガープリンティング法に従って磁気共鳴データを取得させる。パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含む。各パルスシーケンス繰り返しは、繰り返し時間の分布から選択される繰り返し時間を有する。各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含む。

10

【 0 0 5 1 】

高周波パルスの分布は、磁気スピンをフリップ角の分布で回転させる。各パルスシーケンス繰り返しは、磁気共鳴信号がパルスシーケンス繰り返しの終了前のサンプリング時間に所定時間サンプリングされるサンプリングイベントを含む。サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択される。磁気共鳴データはサンプリングイベント中に取得される。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスとサンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて、磁気共鳴信号をリフォーカスする第1の180°高周波パルスを含む。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第2の時間的中点で実行される第2の180°高周波パルスを含む。

20

【 0 0 5 2 】

方法は、磁気共鳴イメージングシステムをパルスシーケンス命令によって制御することにより磁気共鳴データを取得するステップを含む。方法は更に、磁気共鳴データを磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリと比較することにより所定の物質のセットの各々の存在量を計算するステップを含む。磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリは、所定の物質のセットに対してパルスシーケンス命令を実行することに応答して計算された磁気共鳴信号のリストを含む。

30

【 0 0 5 3 】

本発明の上述した実施形態の1つ又は複数は、相互に排他的でない限り組み合わされることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 4 】

以下において、本発明の好適な実施形態が、単なる例として次の図面を参照して説明される。

【 0 0 5 5 】

40

【図1】図1は、磁気共鳴イメージングシステムの一例を示す。

【図2】図2は、図1の磁気共鳴イメージングシステムを動作させる方法を示す。

【図3】図3は、パルスシーケンスの一例を示す。

【図4】図4は、パルスシーケンスの別の例を示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 6 】

図において似通った参照番号を付された要素は、等価な要素であるか、同じ機能を実行するかの何れかである。先に考察された要素は、機能が等価である場合は、後の図においては必ずしも考察されない。

【 0 0 5 7 】

50

図1は、磁石104を含む磁気共鳴イメージングシステム100の一例を示す。磁石104は、それを貫通するボア106を有した超伝導円筒型磁石104である。異なるタイプの磁石の使用も可能であり、例えば、分割円筒磁石及び所謂開放磁石の両方を使用することも可能である。分割円筒磁石は、クライオスタットが2つの部分に分割されて、磁石の等平面へのアクセスを可能にする点を除いて、標準的な円筒磁石に類似し、斯かる磁石は、例えば荷電粒子ビーム療法と共に使用される。開放磁石は、2つの磁石部分を有し、被検体を受容するのに十分な大きさの空間を間に有して一方が他方の上にあり、2つの部分の領域の配置は、ヘルムホルツコイルのものと類似する。被検体が閉じ込められる度合いが低いことから、開放磁石が普及している。円筒磁石のクライオスタットの内部には、超伝導コイルの一群が存在する。円筒磁石104のボア106内部には、磁気共鳴イメージングを行うのに十分な程、磁場が強く均一であるイメージングゾーン108が存在する。

10

【0058】

磁石のボア106内部には、磁気共鳴データの取得のために使用されて、磁石104のイメージングゾーン108内で磁気スピンを空間的に符号化する磁場勾配コイル110のセットも存在する。磁場勾配コイル110は、磁場勾配コイル電源112に接続される。磁場勾配コイル110は代表的なものであることが意図される。一般的に、磁場勾配コイル110は、3つの直交する空間方向に空間的に符号化を行うための3つの別々のコイルセットを含む。磁場勾配電源は、電流を磁場勾配コイルに供給する。磁場勾配コイル110に供給される電流は、時間の関数として制御され、傾斜がつけられる又はパルス出力される。

20

【0059】

イメージングゾーン108に隣接するのは、イメージングゾーン108内の磁気スピンの配向を操作するため及び同じくイメージングゾーン108内のスピンから無線伝送を受信するための高周波コイル114である。高周波アンテナは、複数のコイル素子を含む。高周波アンテナは、チャンネル又はアンテナとも呼ばれる。高周波コイル114は、高周波送受信器116に接続される。高周波コイル114及び高周波送受信器116は、別個の送信及び受信コイル並びに別個の送信器及び受信器によって置き換えられてもよい。高周波コイル114及び高周波送受信器116は、代表的なものであることが理解される。高周波コイル114は、専用送信アンテナ及び専用受信アンテナも表すように意図される。同様に、送受信器116は、別個の送信器及び複数の受信器も表す。高周波コイル114は、複数の受信/送信素子も有し、高周波送受信器116は、複数の受信/送信チャンネルを有する。

30

【0060】

被検体支持体120は、イメージングゾーン108内で被検体支持体及び被検体118を移動させることができるオプションのアクチュエータ122に取り付けられる。このようにして被検体118の大部分又は被検体118全体を撮像することができる。送受信器116、磁場勾配コイル電源112及びアクチュエータ122は全てコンピュータシステム126のハードウェアインターフェース128に接続されているものとされる。コンピュータストレージ134は、磁気共鳴フィンガープリンティング法を実行するパルスシーケンス命令140を含むものとして示される。

40

【0061】

パルスシーケンス命令は一連のパルスシーケンス繰り返しを含む。各パルスシーケンス繰り返しは、繰り返し時間の分布から選択される繰り返し時間を有する。各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスの分布から選択される高周波パルスを含む。高周波パルスの分布は、磁気共鳴スピンを異なるフリップ角の分布に回転させるように使用される。異なる高周波パルスは、例えば特定の磁気スピンを特定の又は異なるフリップ角に回転させるように異なる振幅、持続時間又は形状を使用する。異なる高周波パルスは、異なるタイプの磁気スピンに異なる効果を及ぼし、磁気スピンをフリップ角の異なる分布に回転させる。各パルスシーケンス繰り返しは更に、磁気共鳴信号がパルスシーケンス繰り返しの終

50

了前のサンプリング時間に所定時間サンプリングされるサンプリングイベントを含む。サンプリング時間はサンプリング時間の分布から選択される。磁気共鳴データはサンプリングイベント中に取得される。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、高周波パルスとサンプリングイベントとの間の第1の時間的中点で実行されて、磁気共鳴信号をリフォーカスする第1の180°高周波パルスを含む。パルスシーケンス命令の各パルスシーケンス繰り返しは、サンプリングイベントと次のパルス繰り返しの始まりとの間の第2の時間的中点で実行される第2の180°高周波パルスを含む。コンピュータストレージ134は更に、磁気共鳴イメージングシステム100を制御するためにパルスシーケンス命令140を使用して取得された磁気共鳴データ142を含むものとして示される。コンピュータストレージ134は更に、磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ144を含むものとして示される。コンピュータストレージは更に、磁気共鳴データ142及び磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ144を使用して再構成された磁気共鳴画像146を含むものとして示される。

10

【0062】

コンピュータメモリ136は、プロセッサ130が磁気共鳴イメージングシステム100の動作及び機能を制御することを可能にするオペレーティングシステムや他の命令等のコードを含む制御モジュール150を含む。

【0063】

コンピュータメモリ136は更に、磁気共鳴フィンガープリントディクショナリ生成モジュール152を含むものとして示される。フィンガープリント生成モジュール152は、各ボクセルに対してブロッホ方程式を使用して1つ以上のスピンをモデリングして磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ144を構築する。コンピュータメモリ136は更に、磁気共鳴データ142及び磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ144を使用して磁気共鳴画像146を再構成する画像再構成モジュールを含むものとして示される。例えば、磁気共鳴画像146は、被検体118内の1つ以上の所定の物質の空間分布のレンダリングである。

20

【0064】

図1の例は、磁気共鳴イメージングシステム又は装置100が核磁気共鳴(NMR)分光計と等価となるように変形され得る。装置100は、勾配コイル110及び勾配コイル電源112がない場合はイメージングゾーン108において0次元測定を実行する。

30

【0065】

図2は、図1の磁気共鳴イメージングシステム100を動作させる方法を示すフローチャートを示す。まずステップ200において、磁気共鳴データ142は、磁気共鳴イメージングシステムをパルスシーケンス命令140により制御することにより取得される。次にステップ202において、磁気共鳴データ142を磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ144と比較することにより所定の物質のセットの各々の存在量が計算される。存在量は、例えば磁気共鳴画像146にプロット又は表示される。

【0066】

磁気共鳴(MR)フィンガープリンティングは、MR測定と複数の事前に計算されたディクショナリエントリとを比較することにより組織タイプを決定するための新しく非常に有望な手法である。

40

【0067】

本発明は、MRフィンガープリンティングを、複雑さが軽減されたスキャナ並びに専用のシーケンス及び再構成アルゴリズムのMRと組み合わせて、非常に効率的ながん検診又は定量的な大規模測定への新しい機会を開くという考えに基づいている。

【0068】

磁気共鳴フィンガープリンティングは、正確な組織特性評価への高い可能性を有する。現在の技術は今もなおMR画像のボクセル解析に基づいているため、時間も費用もかかる。

【0069】

50

一部の例によれば、

1. ハードウェア費用及びエネルギー消費を低減し、
2. 患者スループットを向上させる

と同時に、特定の組織タイプの存在を効率的に検出及び定量化する手法が提供される。

【0070】

これによって早期のがん検出や体脂肪定量化のための新たな応用が可能になる。

【0071】

例として次の特徴の1つ以上を含む可能性がある：

1. ハードウェア要件が低いMRIシステム：低性能のx及びyコイルが考えられる；これらのコイルは完全に省略されることもある（z勾配コイルが非常に効率的に設計される）
2. B₀非依存磁気共鳴フィンガープリンティング専用の画像取得シーケンス
3. 異なる組織タイプの相対及び絶対体積を測定する専用の再構成アルゴリズム
4. 結果を視覚化するディスプレイデバイス

【0072】

ボクセルに基づいて医用画像を生成及び解析するのではなく、本明細書に記載される一部の例示的な方法は、zスライス全体の組織成分分析をもたらす。（数秒間の）1回の特定のフィンガープリント測定は、面内（x, y）勾配を使用せずに実行される。スライス全体の組織組成及び組織成分の相対存在量は、結果として生じる信号から自動的に決定される。

【0073】

使用されるMRシーケンスは、好ましくは2つの要件を満たす。第1に、組織特異的パラメータ（例えばT₁及びT₂値であるが、他にも考えられる）に敏感であり、関心組織を符号化し、測定された信号をディクショナリ（MRフィンガープリンティング）と照合することにより定量的組織特性評価を可能にする。第2に、信号は非組織特異的なパラメータ変動（例えばB₀変動）から独立しており、その結果、組織成分の照合がスライス全体にわたって可能である。

【0074】

図4は、T₁及びT₂に敏感であるがB₀変動から独立なスキャンシーケンスの一例を示す。シーケンスは、フリップ角 θ_1 及び遅延時間t₁のランダムに又はさもなければ自由に選択されたリストに基づいている。フリップ角 θ_1 の第1のRFパルスの後、2t₁の遅延の後にエコーが生成され、信号が記録される（ADC1）。長さ2t₁の別のエコーステップによって、フリップ角 θ_2 及び遅延t₂のフィンガープリントシーケンスの次のパートが始まる前にディフェージングが確実に再除去される。

【0075】

測定点ADC_i後の追加的なエコーは、可能な限り短くt_{1b}=t_{2b}=...で維持され得る。z勾配コイルを使用して各RFパルスについてスライス選択勾配がオンにされる。

【0076】

図3は、例示的なパルスシーケンス300の一部を示す。パルスシーケンス300は、パルスシーケンス命令140を生成又は計算するために使用される。このタイミング図では、第1のパルスシーケンス繰り返し302が示され、第2のパルスシーケンス繰り返し304が示されている。各パルス繰り返しは高周波パルス306から始まる。パルス繰り返しの持続時間はパルス繰り返しによって異なる。高周波信号が測定される持続時間310がある。高周波パルス306及び測定持続時間310の間の時間も特定の高周波パルス306の振幅及び/又は形状と同様に異なる。このパルスシーケンス300は、繰り返し302、304につき2つの180°リフォーカスパルス308、309も示す。第1のリフォーカスパルス308は、高周波パルス306と測定持続時間310との間の時間的中点に位置する。第2の高周波パルス309は、測定持続時間310及び次のパルス306の始まりの間の中点に位置する。第1のリフォーカスパルス308は、高周波信号を測

10

20

30

40

50

定 3 1 0 が行われる時にリフォーカスさせる。第 2 のリフォーカスパルス 3 0 9 は、信号を次のパルス 3 0 4 が始まる時にリフォーカスさせる。

【 0 0 7 7 】

従来の M R F シーケンスと同様に、各サンプリング点 $A D C_i$ は、実際に k 空間の非常に速い一連の多重サンプリングから構成される。これはデカルト、スパイラル、又は任意の他の種類の k 空間サンプリングである。

【 0 0 7 8 】

このシーケンスの背景にある考え方は次の通りである。つまり、リフォーカス 180° パルス 3 0 8、3 0 9 によって、 i パルス及びサンプリング $A D C_i$ の時に全てのスピ
ンが確実にリフォーカスされるというものである。従って、 B_0 変動により生じるディフ
10 フェージングは、 i パルス及び $A D C_i$ サンプリングの時点で除去され、測定された信号
が B_0 から独立になる。また、ディフェージング効果を考慮する必要がない場合は信号の
事前計算が簡単である。この場合は、単一スピンの挙動をモデリングすることができ、各
時間ステップ t_1 、 t_{1b} 、 t_2 、 t_{2b} 等について、スピンの進化を時定数 T_1 及び T_2
2 の単純関数で記述することができる。

【 0 0 7 9 】

2 つのリフォーカスパルス 3 0 8 及び 3 0 9 を使用することの効果は、磁場の何れの不均
一性の影響も低減される又は最小限にされることである。これによって最終の磁気共鳴
フィンガープリンティングチャートにおける信号対雑音が低減され、事前に計算された磁
20 気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを作成することも容易になる。この補償
がなければ、事前に計算された磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリを作成
するために使用される計算に不均一性の影響を含めることが必要である。

【 0 0 8 0 】

図 3 に示されたパルスシーケンス 3 0 0 は、磁場勾配によって、例えば測定ゾーン又は
イメージングゾーン全体が一度に取得された全データを有する 0 次元測定に有用である。
0 次元測定は、例えば磁気共鳴イメージングシステムではなく N M R 分光計に有用である
。空間符号化を実行する磁場勾配を含むより複雑なパルスシーケンスが作成されてもよい
。

【 0 0 8 1 】

図 4 は、パルスシーケンス 4 0 0 の別の例を示す。この例には 3 つの異なるタイムライ
ンが示されている。第 1 のタイムライン 4 0 2 は、高周波パルスタイムラインを表示する
。タイムライン 4 0 4 は磁場勾配がいつ印加されるかを示す。4 0 6 と表示された第 3 の
タイムラインは、測定 3 1 0 がいつ行われるかを示す。勾配タイムライン 4 0 4 上には表
示された 3 つのタイプのボックスが存在する。A と表示されたボックス 4 0 8、B と表示
されたボックス 4 1 0、及び C と表示されたボックス 4 1 2 である。A と表示されたボッ
クス 4 0 8 は、高周波パルス 3 0 6 と重なる。B と表示されたボックスは、 180° 高周
波パルス 3 0 8、3 0 9 と重なる。C と表示されたボックス 4 1 2 は、測定 3 1 0 と重なる。
各ボックスは、異なる実施形態の説明に従って磁場勾配を設定する又は変化させる期
間を表す。原則として、高周波タイムライン 4 0 2 は、磁気共鳴フィンガープリンティ
ング法を様々な磁気共鳴モダリティ又は手法を用いて適用できるように、殆どの磁気共鳴法
40 及び k 空間サンプリング方式と共に使用することができる。

【 0 0 8 2 】

例えば、勾配タイムライン 4 0 4 の間に一定の磁場勾配が印加された場合は、磁場勾配
が印加された方向に沿ったスラブ内の空間符号化が行われる。別の例では、読み出し勾配
はボックス C 4 1 2 の間にのみ印加される。例えば、1 次元又は 3 次元磁気共鳴フィン
ガープリントを取得するために 1 次元又は 3 次元読み出し勾配が印加され得る。別の例では
マルチスライス符号化が使用され得る。期間 A 4 0 8 の間の高周波パルス 3 0 6 の間にス
ライス選択勾配が印加され得る。空間符号化は更に、第 1 の 180° 高周波パルス 1 8 0
の間に位相又はスライス選択を行うように磁場勾配システムを制御することにより実行さ
れ得る。次に期間 C 4 1 2 の間に読み出し勾配が印加され得る。当業者は、図 4 に示され
50

た例を用いて、タイムライン 402 に示された基本高周波パルスが一般にどのようにして大抵の磁気共鳴イメージングサンプリング法に適用され得るのが分かる。

【0083】

測定された MR 信号（全ての ADC_i 値のリスト）は、ボリウム内で予想される T₁ 及び T₂ の全ての組み合わせについて事前に計算されたディクショナリと比較される。ディクショナリは、T₁ 及び T₂ の異なる組み合わせについて上記のフィンガープリンティングシーケンスに対するブロッホ方程式を解くことにより作成される。

【0084】

スライス全体の組織組成を決定するために、信号は、N 個のディクショナリエントリの（複素）線形結合として以下のように表される。

【数 1】

$$S = \sum_{k=0}^N a_k d_k$$

【0085】

ここで s は信号ベクトルであり、d_k はディクショナリエントリである。係数 a_k 0 は再構成アルゴリズムによって決定される。これは、a_k 0 の場合に、

【数 2】

$$\|Da - s\|_2$$

を最小化せよとの最小二乗問題を解くことにより達成される。ここで D はディクショナリエントリ d_k を列に有するディクショナリ行列であり、a は検出された信号への個々の潜在的組織成分 / 組織タイプの寄与度を示す係数のベクトルである。

【0086】

各ディクショナリエントリは特定の組織タイプに割り当てられる。従って、係数 a_k は、各成分に関連する「スピンの数」の観点からの異なる組織成分の相対存在量の推定値を提供する。

【0087】

別のステップでは、これらの相対「スピン数」は、異なる組織タイプのスピン密度が知られている場合は、組織成分の相対体積又は相対質量の変換された推定値であり得る。

【0088】

一部の実施例では、システムは空間分解画像を生成しない。空間分解能は、図 4 に示された RF パルスをスライス選択的に印加することにより、z 方向（又は他の単一方向）にのみ得られる。しかし、各スライスについて、組織タイプの組成は決定され、数字、棒グラフ等で視覚化され得る。マルチスライススキャンの場合は、異なる成分の存在量は z 位置の関数として表示され得る。

【0089】

他の実施例では、システムは、特定の組織タイプが発見された場合（例えば、疑わしい腫瘍、潜在的腫瘍）にオペレータに警告するようにプログラムされる。システムはまた、特定された組織の総体積 / 相対存在量、例えばある種の転移や脂肪区分を表示するようにプログラムされ得る。

【0090】

一実施例では、MRI システムは、x 又は y 勾配コイルを含まない。z 勾配コイルのみが提供される。

【0091】

一実施例では、MRI システムは、勾配コイルを全く含まない。専用の MR 磁石と非対称の巻線とにより静的な z 勾配が与えられる。

【0092】

一実施例では、体表面近くに配置された空間的に敏感なローカル受信コイルを使用することにより、少し高い空間分解能、好ましくは面内空間分解能が得られ得る。

【0093】

10

20

30

40

50

一実施例では、患者テーブルが段階的に自動で移動する間に複数の測定が行われる。このようにして、体の大部分又は体全体がスキャンされ得る。

【0094】

別の実施例では、患者は移動テーブル技術を用いて高感度受信アレイ内を進む（「洗車アプローチ」）ことで空間分解能及びS N Rが改善され、余分な受信器にかかる費用が低減される。

【0095】

一実施例では、既知の物質の既知のボリュームを用いたゲージ測定が1回実行され、物質の体積／質量を測定により決定された相対体積／質量の値と関連付ける比例定数が決定される。このようにして、その後に測定された全ての相対体積／質量が絶対組織体積／質量に変換され得る。

10

【0096】

本発明は、図面及び前述の記載において詳細に図示及び説明されたが、このような図示及び記載は、説明的又は例示的であって限定するものではないと見なされるべきである。すなわち本発明は、開示された実施形態に限定されるものではない。

【0097】

開示された実施形態のその他の変形が、図面、本開示及び添付の請求項の検討から、請求項に係る発明を実施する当業者によって理解されて実現され得る。請求項において、「comprising（含む、備える）」という単語は、他の要素又はステップを除外するものではなく、不定冠詞「a」又は「an」は、複数を除外するものではない。単一のプロセッサ又は他のユニットが請求項に記載された幾つかのアイテムの機能を果たす。特定の手段が相互に異なる従属請求項に列挙されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせが有利に用いられないことを示すものではない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に若しくは他のハードウェアの一部として供給される光記憶媒体又はソリッドステート媒体等の適当な媒体に保存／分配されてもよいが、インターネット又は他の有線若しくは無線の電気通信システムを介して等の他の形式で分配されてもよい。請求項における任意の参照符号は、本発明の範囲を限定するものと解釈されるべきではない。

20

【符号の説明】

【0098】

30

100 磁気共鳴システム

104 磁石

106 磁石のボア

108 測定ゾーン又はイメージングゾーン

110 磁場勾配コイル

112 磁場勾配コイル電源

114 高周波コイル

116 送受信器

118 被検体

120 被検体支持体

40

122 アクチュエータ

124 所定の方向

125 スライス

126 コンピュータシステム

128 ハードウェアインターフェース

130 プロセッサ

132 ユーザインターフェース

134 コンピュータストレージ

136 コンピュータメモリ

140 パルスシーケンス命令

50

- 1 4 2 磁気共鳴データ
- 1 4 4 磁気共鳴フィンガープリンティングディクショナリ
- 1 4 6 磁気共鳴画像
- 1 5 0 制御モジュール
- 1 5 2 磁気共鳴フィンガープリントディクショナリ生成モジュール
- 1 5 4 画像再構成モジュール
- 3 0 0 パルスシーケンス命令
- 3 0 2 第 1 のパルスシーケンス繰り返し
- 3 0 4 第 2 のパルスシーケンス繰り返し
- 3 0 6 R F パルス
- 3 0 8 第 1 の 180° リフォーカスパルス
- 3 0 9 第 2 の 180° リフォーカスパルス
- 3 1 0 測定又は高周波信号
- 4 0 0 パルスシーケンス
- 4 0 2 R F パルスタイムライン
- 4 0 2 磁場勾配タイムライン
- 4 0 4 読み出しタイムライン
- 4 0 8 期間 A
- 4 1 0 期間 B
- 4 1 2 期間 C

10

20

【図 1】

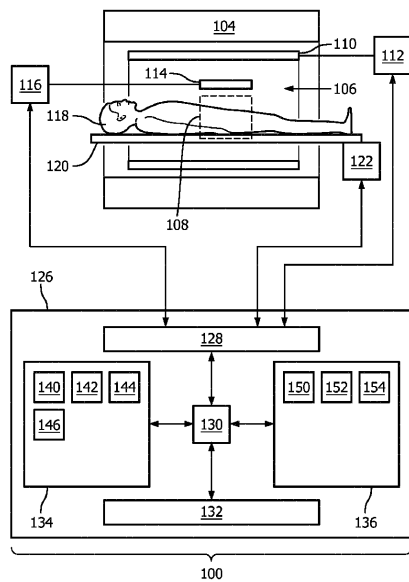


FIG. 1

【図 2】

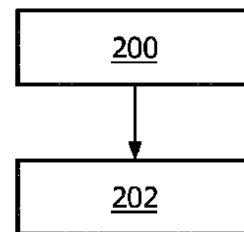


FIG. 2

【図 3】

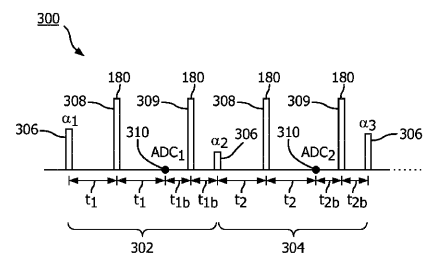
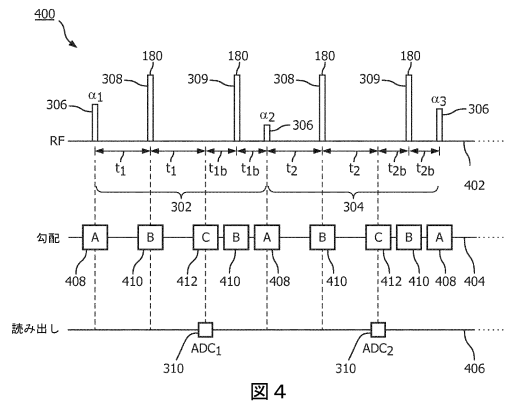


FIG. 3

【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 アムソー トーマス エリック
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス ビルディング
5
- (72)発明者 ドネヴァ マリヤ イワノワ
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス ビルディング
5
- (72)発明者 コーケン ピーター
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス ビルディング
5
- (72)発明者 ケアupp ヨヘン
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス ビルディング
5
- (72)発明者 ボルネート ペーター
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス ビルディング
5

審査官 伊藤 昭治

- (56)参考文献 国際公開第2016/074946(WO, A1)
特表2015-528384(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 6 1 B 5 / 0 5 5
G 0 1 N 2 4 / 0 8