

前記残差が所定のしきい値を上回る場合、前記測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別することと、

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成することであって、1つ又は複数の前記外れ値データ部分は前記補正された磁気共鳴画像の前記再構成から除外される、再構成することと

を行わせる、磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項2】

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルは、並列イメージング磁気共鳴イメージングプロトコルであり、前記磁気共鳴イメージングシステムは、前記測定された磁気共鳴データを取得するための複数のアンテナ素子をもつ磁気共鳴イメージングアンテナを備え、前記マシン実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、前記時間期間中に、前記測定された磁気共鳴データが、測定されたデータ部分全体として前記複数のアンテナ素子の各々から取得され、前記残差が、前記時間期間の間前記複数のアンテナ素子の各々について計算されるように、前記磁気共鳴イメージングシステムを制御させる、請求項1に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

10

【請求項3】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、前記複数のアンテナ素子の各々について個々に前記残差を計算させ、前記複数のアンテナ素子のうちの1つについての残差が前記所定のしきい値を上回る場合、前記測定されたデータ部分全体は前記外れ値データ部分のうちの1つとして識別される、請求項2に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

20

【請求項4】

前記複数のアンテナ素子の全てにわたる残差の平均値が計算され、前記マシン実行可能命令の実行は、前記残差の平均値が前記所定のしきい値を上回る場合、当該平均値の計算に用いた前記測定されたデータ部分の全体が前記外れ値データ部分のうちの1つとして識別されるように、前記プロセッサを制御する、請求項2に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項5】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、特定の時間期間内に前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って取得されたk空間データが、分布関数を使用してk空間中で最大限に拡散されるように、前記磁気共鳴イメージングシステムを制御させる、請求項1から4のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

30

【請求項6】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記中間磁気共鳴画像が、前記測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数が取得されるとき、繰り返し再構成されるように、前記プロセッサを制御し、前記予測されるデータ部分は、1つ又は複数の前記測定されたデータ部分が取得されるとき、繰り返し計算され、前記残差は、1つ又は複数の前記測定されたデータ部分が取得されるとき、繰り返し計算され、前記測定されたデータ部分は、1つ又は複数の前記測定されたデータ部分が取得されるとき、前記残差が前記所定のしきい値を上回る場合、前記外れ値データ部分のうちの1つとして繰り返し識別される、請求項5に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

40

【請求項7】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記中間磁気共鳴画像の解像度が、ますます増加する数の前記測定された磁気共鳴データが取得されるにつれて、変化されるように、前記プロセッサを制御する、請求項6に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項8】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、測定されたデータ部分が前記外れ値データ部分のうちの1つとして識別された場合、前記測定されたデータ部分を再取得させる、請求項1から7のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

50

【請求項 9】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記残差が、前記測定されたデータ部分の各々を前記予測されるデータ部分と比較するために統計的測度を使用して計算されるように、前記プロセッサを制御する、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 10】

前記統計的測度は、個々の k 空間測定値を、 k 空間中のそれらのロケーションに従って重み付けする、請求項 9 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 11】

前記マシン実行可能命令の実行は、更に、前記プロセッサに、前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記 1 つ又は複数の外れ値データ部分を使用して少なくとも 1 つの外れ値磁気共鳴画像を再構成させる、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。 10

【請求項 12】

前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、
前記補正された磁気共鳴画像を前記中間磁気共鳴画像として設定することと、
前記予測されるデータ部分の前記計算、前記 1 つ又は複数の外れ値データ部分の前記識別、及び前記補正された磁気共鳴画像の前記再構成を繰り返すことと
を行わせる、請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。 20

【請求項 13】

前記マシン実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、前記測定されたデータ部分の各々が、一意の k 空間サンプリングパターンを有するように、前記磁気共鳴イメージングシステムを制御させる、請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。 20

【請求項 14】

磁気共鳴イメージングシステムを制御するプロセッサによる実行のためのマシン実行可能命令を含むコンピュータプログラムであって、前記磁気共鳴イメージングシステムは、イメージングゾーンから対象者の測定された磁気共鳴データを取得し、前記マシン実行可能命令の実行が、前記プロセッサに、

圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンドにより前記磁気共鳴イメージングシステムを制御することであって、前記測定された磁気共鳴データは測定されたデータ部分として取得され、前記測定されたデータ部分の各々は、時間期間中に取得されるが、前記対象者の動きにより損なわれたか又は他の理由により破損されている可能性がある、制御することと、 30

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成することと、

前記中間磁気共鳴画像を使用して、前記測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算することと、

前記予測されるデータ部分を使用して、前記測定されたデータ部分の各々について残差を計算することと、 40

前記残差が所定のしきい値を上回る場合、前記測定されたデータ部分のうちの 1 つ又は複数を外れ値データ部分として識別することと、

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成することであって、1 つ又は複数の前記外れ値データ部分は前記補正された磁気共鳴画像の前記再構成から除外される、再構成することと

を行わせる、コンピュータプログラム。

【請求項 15】

磁気共鳴イメージングシステムを制御する方法であって、前記磁気共鳴イメージングシ 50

ステムは、イメージングゾーンから対象者の測定された磁気共鳴データを取得し、前記方法は、

前記測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンドにより前記磁気共鳴イメージングシステムを制御するステップであって、前記パルスシーケンスコマンドは、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを取得し、前記測定された磁気共鳴データは測定されたデータ部分として取得され、前記測定されたデータ部分の各々は、時間期間中に取得されるが、前記対象者の動きにより損なわれたか又は他の理由により破損されている可能性がある、制御するステップと、

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成するステップと、

前記中間磁気共鳴画像を使用して、前記測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算するステップと、

前記予測されるデータ部分を使用して、前記測定されたデータ部分の各々について残差を計算するステップと、

前記残差が所定のしきい値を上回る場合、前記測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別するステップと、

前記圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、前記測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成するステップであって、1つ又は複数の前記外れ値データ部分は前記補正された磁気共鳴画像の前記再構成から除外される、再構成するステップと

を有する、方法。

【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に関し、特に、圧縮検知磁気共鳴イメージングに関する。

【背景技術】

【0002】

大きい静磁場が、患者の体内の画像を生成するためのプロシージャの一部として原子の核スピンを整列させるために磁気共鳴イメージング（MRI）スキャナによって使用される。この大きい静磁場は、B0場又はメイン磁場と呼ばれる。

【0003】

空間的に符号化する1つの方法は、磁場勾配コイルを使用することである。一般に、3つの異なる直交方向で3つの異なる勾配磁場を生成するために使用される3つのコイルがある。

【0004】

MRISキャン中に、1つ又は複数の送信機コイルによって生成された無線周波数（RF）パルスが、いわゆるB1場を引き起こす。追加として印加される勾配場及びB1場は、有効な局所磁場に摂動を引き起こす。次いで、RF信号が、核スピンによって発せられ、1つ又は複数の受信機コイルによって検出される。これらのRF信号は、k空間中で符号化された画像データを含む。k空間の中央領域は、概して、k空間の外側領域よりも多くの画像情報を含む。ナイキストサンプリング定理は、十分条件ではあるが、必要条件ではない。しばしば、許容できる磁気共鳴画像が、ナイキスト定理によって指定されるものに満たないk空間をサンプリングすることによって、再構成され得る。

【0005】

Lustig、Michaelらの総説「Compressed sensing MRI」、IEEE Signal Processing Magazine 25.2 (2008) : 72-82は、磁気共鳴（MR）画像がk空間のスパースサンプリングを使用して取得される圧縮検知（CS）として知られる技法について説明している。

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【0006】

本発明は、独立請求項において、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プロダクト、及び方法を提供する。実施形態が従属請求項において与えられる。

【0007】

本発明の実施形態は、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルを使用して生成された磁気共鳴画像の品質を改善するための手段を提供する。CSを使用した画像の再構成は、反復的プロセスである。得られた画像は、必ずしも、k空間中の元の磁気共鳴データサンプルに一致するとは限らない。本明細書で説明される技法は、画像化されている対象者の動きにより損なわれたか又は他の理由により破損されたデータを識別するために、CSのそれらの特徴を使用する。取得された磁気共鳴データは、最初に、CSイメージングプロトコルに従って画像を再構成するために使用される。これは、中間磁気共鳴画像を生じる。次に、この画像は、(本明細書においては、予測されるデータ部分と呼ばれる)予測されるk空間データを計算するために使用される。k空間中の十分なデータ部分が、中間磁気共鳴画像の再構成を可能にするために測定される。中間磁気共鳴画像は、低い空間解像度、小さい視野を有し、並列イメージングが使用されるとき、高い折り返し度(folding degree)を有する。中間磁気共鳴画像の品質が良くなるほど、外れ値がより正確に識別され得、より高い画像品質を達成するために、圧縮検知再構成におけるより少ない数の反復が必要とされる。中間磁気共鳴画像は、測定された磁気共鳴信号、すなわちk空間データポイント又はデータ部分(k空間プロファイル)から再構成される。測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成することは、カバーされたk空間全体のk空間カバレージ全体が、中間磁気共鳴画像を再構成するために採用されることを含む。全ての実際に測定されたデータ部分のサブセットが、低解像度及び/又は低視野中間磁気共鳴画像を再構成するのに十分である。

10

【0008】

単一のコイル素子の場合、これは、逆フーリエ変換を実行することを伴う。並列イメージング技法が使用されている(すなわち、中間画像を再構成するために使用されるデータが複数のコイル素子から来た)場合、使用されたコイル素子の各々から生じる予測される画像を計算するために、コイル感度が最初に使用される。これらの予測されるコイル画像は、次いで、コイル素子の各々についての予測されるk空間データを計算するために、逆フーリエ変換される。何れの場合も、予測されるk空間データは、測定されたk空間データと直接比較され得る。中間磁気共鳴画像の画像値と予測されるデータ部分とは、中間磁気共鳴画像の再構成と測定されたデータ部分とによって暗示される関係の逆に従って関係付けられる。一例では、それらの関係は(逆)フーリエ変換であるが、中間磁気共鳴画像において、測定されたデータ部分を変換し、予測されるデータ部分を中間磁気共鳴画像から逆変換するために、異なる数学的関係が採用される。例えば、中間磁気共鳴画像の再構成のために、(フィルタ処理された)逆投影が採用され、中間磁気共鳴画像から、順投影によって、予測されるデータ部分が計算される。(フィルタ処理された)逆投影は、一般に、コンピュータ断層撮影の分野から知られている。

20

【0009】

磁気共鳴データは、(k空間データの)測定された部分として、個別時間期間内に取得される。時間期間の各々について残差が計算される。時間期間についての残差が所定のしきい値を上回る場合、その時間期間からのデータは、外れ値データ部分であるものとして識別される。外れ値の識別は、データ部分の値が所定のしきい値を超えて逸脱する根本的な原因に敏感でない。すなわち、データ部分は、動きが生じたのか不整合の別の原因によるのかにかかわらず、外れ値として識別される。

30

【0010】

次いで、補正された磁気共鳴画像が、取得された磁気共鳴データ(測定されたデータ部分)を使用して再構成される。この再構成が実行されたとき、外れ値データ部分は、無視されるか又は使用されない。幾つかの場合には、外れ値データ部分は削除又は除去され得、補正された磁気共鳴画像は完全に再計算され得る。上述したように、CS技法は反復的

40

50

プロセスである。従って、数値的に、補正された磁気共鳴画像の再構成のための開始ポイントとして中間磁気共鳴画像を使用することはより効率的であり、外れ値データ部分はこの再構成中に無視される。

【0011】

一態様では、本発明は、イメージングゾーン内の対象者から、測定された磁気共鳴データを取得するための磁気共鳴イメージングシステムを提供する。磁気共鳴イメージングシステムは、マシン実行可能命令を記憶し、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを取得するために磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成されたパルスシーケンスコマンドを記憶するためのメモリを備える。

【0012】

磁気共鳴イメージングシステムは更に、磁気共鳴イメージングシステムを制御するためのプロセッサを備える。マシン実行可能命令の実行は、プロセッサに、測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンドにより磁気共鳴イメージングシステムを制御させる。測定された磁気共鳴データは、測定されたデータ部分として取得される。測定されたデータ部分の各々は時間期間中に取得される。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、予測されるデータ部分を使用して、測定されたデータ部分の各々について残差を計算させる。

【0013】

予測されるデータ部分は、例えば、測定されたデータがどのようなものであるかを計算して中間磁気共鳴画像を生成するために逆フーリエ変換を実行することによって決定される。k空間中のこれらの予測されるデータポイントは、測定されたデータ部分内の測定されたデータポイントと直接比較され得る。従って、残差は、測定されたデータを予測されるデータと比較するために使用される測度と見なされる。残差は、異なる仕方で計算され得る。例えば、あらゆる单一のデータポイントが比較され得、次いで、合成残差が、平均値又は例えば少なくとも二乗タイプの関数を使用して計算され得る。他の統計的測度も使用される。幾つかの例では、k空間の中央領域など、画像の生成のためにより重要であるk空間の部分が、k空間の周辺におけるデータよりも重く重み付けされ得る。

【0014】

幾つかの事例では、磁気共鳴イメージングシステムによって測定されたデータは、2つ以上のアンテナ素子を使用して取得される。例えば、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルは、並列イメージング方法である。この場合、予測されるデータ部分を計算することは、より複雑になる。画像を計算するための重み付けは、逆に実行され、次いで、各アンテナ素子によって取得されたデータを計算するために使用されなければならない。次いで、各アンテナによって取得されたデータについての残差がある。残差の値は、アンテナの各々についてのデータ内の最大残差又は何らかの他の統計的測度を探すことによって、見つけられ得る。例えば、対象者による動きがあった場合、その動きが、異なるアンテナからの1つ又は幾つかのデータセット中のデータを極めて重度に破損したにすぎない可能性がある。

【0015】

マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別させる。残差がどんな測度であるかに応じて、測定されたデータ部分全体が外れ値データ部分として識別される。従って、並列イメージング技法がある場合、1つのアンテナによって取得されたデータは、アンテナ又はアンテナ素子の全てからのデータを、外れ値データ部分であるものとして識別させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して、補

10

20

30

40

50

正された磁気共鳴画像を再構成させる。

【0016】

1つ又は複数の外れ値データ部分は、補正された磁気共鳴画像の再構成から除外される。1つ又は複数の外れ値データ部分の除外は、異なるやり方で実行され得る。一事例では、画像は、外れ値データ部分であるものとして識別されなかったデータのみを使用する圧縮検知イメージングプロトコルを使用して、完全に再構成され得る。ただし、これは、数値集約的である。別の代替形態は、外れ値データ部分を除くデータの全てを使用して中間磁気共鳴画像を更に改良するために圧縮検知プロトコルが使用され得ることである。これは、あまり数値集約的でないという利点を有する。

【0017】

この実施形態は、対象者が特定の測定されたデータ部分のための時間期間中に移動していたデータを拒否する優れたジョブを圧縮検知プロトコルが行うという利益を有する。対象者の移動は、中間磁気共鳴画像内にゴーストアーティファクト又はエイリアシングアーティファクトを生じる。残差を計算するプロセスは、動きアーティファクトの原因となるこれらのデータ部分を識別する有効なジョブを行う。

【0018】

別の実施形態では、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルは、並列イメージング磁気共鳴イメージングプロトコルである。磁気共鳴イメージングシステムは、測定された磁気共鳴データを取得するための複数のアンテナ又はアンテナ素子をもつ磁気共鳴イメージングアンテナを備える。時間期間中に、測定された磁気共鳴データは、測定されたデータ部分全体として複数のアンテナ素子の各々から取得される。残差は、時間期間の間複数のアンテナ素子の各々について計算される。

【0019】

例えば、それらの各々における複数のアンテナ素子の各々についての残差が特定のしきい値又は基準を上回る場合、その時間期間に対応するデータは、外れ値データ部分であるものとしてフラグを付けられ得る。圧縮検知では、複数のアンテナ素子の局所感度は、幾つかのアンテナ素子を他のアンテナ素子よりも対象者の動きに敏感にする。複数のアンテナ素子の各々からの残差を検査することによって、これは、圧縮検知イメージング中に対象者の動きを識別する改善された方法を提供する。

【0020】

別の実施形態では、残差は、複数のアンテナ素子の各々について個々に計算される。複数のアンテナ素子のうちの1つについての残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分全体は、測定された磁気共鳴データから除去されるか、又は外れ値データ部分として識別される。

【0021】

別の実施形態では、残差は複数のアンテナの全てにわたる平均値である。残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分全体は外れ値データ部分のうちの1つとして識別される。

【0022】

別の実施形態では、特定の時間期間内に圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って取得されるk空間データが、分布関数を使用して最大限に拡散される。例えば、k空間中のサンプルポイントが、ランダム又は擬似ランダム関数を使用して分布され得る。他の場合には、ポアソン分布など、より明確にされた分布が、k空間の中央領域内にk空間データ又はサンプルポイントを集中するために使用され得る。

【0023】

別の実施形態では、中間磁気共鳴画像は、測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数が取得されるとき、繰り返し再構成される。予測されるデータ部分は、1つ又は複数の測定されたデータ部分が取得されるとき、繰り返し計算される。残差は、1つ又は複数の測定されたデータ部分が取得されるとき、繰り返し計算される。測定されたデータ部分は、1つ又は複数の測定されたデータ部分が取得されるとき、残差が所定のしきい値を上回る

10

20

30

40

50

場合、外れ値データ部分として繰り返し識別される。

【0024】

この実施形態は、測定された磁気共鳴データが取得されているとき、外れ値データ部分が臨機応変に取得されるという利益を有する。これは、磁気共鳴イメージングシステムのオペレータが対象者の問題又は移動を補正することを可能にする。それは、オペレータ（又は制御コンピュータ）が、測定された磁気共鳴データの取得の終了の前に、測定された磁気共鳴データの部分を再取得することも可能にする。例えば、データの取得が終了された後に外れ値データ部分が識別された場合、戻って、まったく同じ位置における対象者に関するデータを再取得することは不可能である。その場合、これは、より高い品質の磁気共鳴画像を生じる。

10

【0025】

別の実施形態では、中間磁気共鳴画像の解像度は、ますます増加する数の測定された磁気共鳴データが取得されるにつれて、変化させられる。測定された磁気共鳴データの取得中に、 k 空間データの一部分のみがサンプリングされる。より低い数の k 空間サンプルがあるとき、中間磁気共鳴画像は依然として構成されるが、それは、より低い解像度を有する。より多くの測定された磁気共鳴データが取得されるにつれて、中間磁気共鳴画像の品質は改善される。これは、測定されたデータ部分のうちの幾つかのみが取得されるとき、測定されたデータ部分のうちの1つが外れ値データ部分であるように割り当てられるべきであることは直ちに明白にならないという幾つかの結果を有する。ただし、 k 空間内のサンプルの量が増加するにつれて、以前の測定されたデータ部分のうちの幾つかが後で外れ値データ部分に割り当てられることが可能である。従って、中間磁気共鳴画像の解像度を変更することは、外れ値データ部分を識別するより動的でフレキシブルな方法を可能にする。

20

【0026】

別の実施形態では、マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、測定されたデータ部分が外れ値データ部分のうちの1つとして識別された場合、測定されたデータ部分を再取得させる。これは、生成された磁気共鳴画像の品質の改善を提供することの利益を有する。

【0027】

別の実施形態では、残差は、測定されたデータ部分の各々を予測されるデータ部分と比較するために統計的測度を使用して計算される。例えば、測定されたデータ部分は、 k 空間中の個々の測定値を含む。 k 空間内のこれらの個々の測定値は互いに比較され得、統計的測度は、残差を計算するために使用される。

30

【0028】

別の実施形態では、統計的測度は、個々の k 空間測定値を、 k 空間中のそれらのロケーションに従って重み付けする。これは、残差においてより価値がある、画像再構成にとってより重要である k 空間測定値を提供する手段を提供するので、有益である。例えば k 空間内で、 k 空間の中央領域は、 k 空間の外側領域よりも多くの信号電力を含む。 k 空間の中央領域を選好する分布など、 k 空間領域の中心がより重み付けされる場合、これは、補正された磁気共鳴画像を再構成するときに動きを拒否するより正確な手段を提供する。

40

【0029】

別の実施形態では、マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、1つ又は複数の外れ値データ部分を使用して少なくとも1つの外れ値磁気共鳴画像を再構成させる。幾つかの事例では、対象者の動きは周期的であるか、又は、対象者は、移動するか、若しくは幾つかの位置間を進む不随意の動きを有する。外れ値データ部分であるものとして識別された磁気共鳴イメージングデータを使用することは、対象者の異なる動き状態に関して解決され、対象者上でナビゲータ又は外部センサーを使用しない圧縮検知イメージングの方法を可能にする。少なくとも1つの外れ値磁気共鳴画像の再構成は、中間外れ値磁気共鳴画像が構成され、次いで残差が同じやり方で計算される、補正された磁気共鳴画像を構成するために使用されたものと同じ

50

方法に従い得る。このようにして、対象者の様々な位置は、対象者の異なる位置を表す幾つかの異なる画像に各々分割され得る。

【0030】

k 空間データのみを使用して動きの異なる位相を識別するために動き変換を使用することも可能である。この場合、 k 空間データは、幾つかのグループに分割され得、次いで、これらのグループは、それらの各々についての外れ値磁気共鳴画像を補正するために使用され得る。

【0031】

別の実施形態では、マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、補正された磁気共鳴画像を中間磁気共鳴画像として設定させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、予測されるデータ部分の計算、1つ又は複数の外れ値データ部分の識別、及び補正された磁気共鳴画像の再構成を繰り返させる。この実施形態では、補正された磁気共鳴画像が補正されると、これは、次いで、追加の外れ値データ部分を再び探索するために使用され得る。例えば、対象者が移動し、ゴーストアーティファクト又は何らかのアーティファクトが磁気共鳴画像内にある場合、最大の動きをそれら中に有する磁気共鳴データの部分は、外れ値データ部分として識別される。補正された磁気共鳴画像が再構成されると、依然として、補正された磁気共鳴画像におけるアーティファクト又は欠陥の原因となる磁気共鳴データの部分がある。補正された磁気共鳴画像は、次いで、中間磁気共鳴画像として使用され得、プロセスは再び開始され得る。

【0032】

以前には補正された磁気共鳴画像であった中間磁気共鳴画像は、次いで、中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分の各々についての新しい予測されるデータ部分を作成するために使用され得る。次いで、新しい予測されるデータ部分を使用して残りの測定されたデータ部分の各々について計算される新しい残差があり得る。次いで、最終的に、測定されたデータ部分は、残差に基づいて、それらのうちの1つ又は複数が外れ値データ部分として識別されるべきであるかどうかを識別するために再検査され得る。例えば、残差が新しい所定のしきい値を上回る場合かである。測定されたデータ部分が再び調べられた後、次いで、新しい補正された磁気共鳴画像が、圧縮検知磁気イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して構成され得、この場合、1つ又は複数の外れ値データ部分として識別されるデータは、補正された磁気共鳴画像の再構成から再び除外される。しかしながら、この場合、測定された磁気共鳴データのより大きい部分が1つ又は複数の外れ値データ部分に属するものとして識別される可能性が極めて高い。

【0033】

そのようなプロセスは何回も繰り返されるか、又は、ループが数回繰り返され得ることも可能であり、補正された磁気共鳴画像が収束するかどうかがわかる。例えば、幾つかの反復内で、各反復からの補正された磁気共鳴画像は、前の画像と比較され得、それは、2つの画像がどのくらい異なるかという統計的測度又は測定値を使用してわかる。画像がしきい値を下回って異なる場合、収束したと方法は見なされ得る。

【0034】

別の実施形態では、測定されたデータ部分のサンプルの各々が、一意の k 空間サンプリングパターンを有する。あらゆる測定されたデータ部分を用いて同じ k 空間サンプリングをサンプリングする代わりに、測定されたデータ部分の各々は、 k 空間の異なる部分をサンプリングする。

【0035】

別の態様では、本発明は、磁気共鳴イメージングシステムを制御するプロセッサによる実行のためのコンピュータプログラムプロダクトを提供する。磁気共鳴イメージングシステムは、イメージングゾーンから対象者の測定された磁気共鳴データを取得するために構成される。マシン実行可能命令の実行は、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマ

10

20

30

40

50

ンドにより磁気共鳴イメージングシステムを制御させる。測定された磁気共鳴データは、測定されたデータ部分として取得される。測定されたデータ部分の各々は時間期間中に取得される。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成させる。

【0036】

マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、予測されるデータ部分を使用して、測定されたデータ部分の各々について残差を計算させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成させる。1つ又は複数の外れ値データ部分は、補正された磁気共鳴画像の再構成から除外される。

10

【0037】

別の態様では、本発明は、磁気共鳴イメージングシステムを制御する方法を提供する。磁気共鳴イメージングシステムは、イメージングゾーンから対象者の測定された磁気共鳴データを取得するために構成される。本方法は、測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンドにより磁気共鳴イメージングシステムを制御するステップを有する。パルスシーケンスコマンドは、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを取得するように構成される。測定された磁気共鳴データは、測定されたデータ部分として取得される。測定されたデータ部分の各々は時間期間中に取得される。

20

【0038】

本方法は更に、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成するステップを有する。本方法は更に、中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算するステップを有する。本方法は更に、予測されるデータ部分を使用して、測定されたデータ部分の各々について残差を計算するステップを有する。本方法は更に、残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別するステップを有する。本方法は更に、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成するステップを有する。1つ又は複数の外れ値データ部分は、補正された磁気共鳴画像の再構成から除外される。

30

【0039】

本発明の上述の実施形態のうちの1つ又は複数は、組み合わせられた実施形態が相互排他的でない限り、組み合わせられることを理解されたい。

【0040】

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。

40

【0041】

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

50

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、U S Bサムドライブ、ランダムアクセスメモリ（R A M）、読み取り専用メモリ（R O M）、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、C D - R O M、C D - R W、C D - R、D V D - R O M、D V D - R W、又はD V D - Rディスクといったコンパクトディスク（C D）及びデジタル多用途ディスク（D V D）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、R F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。

【0042】

10

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。

【0043】

20

「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、任意の揮発性又は不揮発性コンピュータ可読ストレージ媒体である。

【0044】

本明細書で使用される「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。

【0045】

30

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（登録商標）、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

40

50

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。

【 0 0 4 6 】

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。

10

【 0 0 4 7 】

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。

20

【 0 0 4 8 】

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、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。

30

【 0 0 4 9 】

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、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 5 0 】

本明細書で使用される「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、トラックバー

40

50

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、ウェブコム、ヘッドセット、ペダル、有線グローブ、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。

【0051】

本明細書で使用される「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/又は装置とインターフェースを介して制御することを可能にするインター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、制御電圧インターフェース、MIDIインターフェース、アナログ入力インターフェース、及びデジタル入力インターフェースを含むが、これらに限定されない。

10

【0052】

本明細書で使用される「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（VFD）、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。

20

【0053】

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、医療イメージングデータの一例である。磁気共鳴（MR）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に含まれる解剖学的データの再構成された2次元又は3次元視覚化として定義される。

30

【0054】

医療イメージングデータは、本明細書においては、医療イメージングシステムを使用して取得された2次元又は3次元データとして定義される。医療イメージングシステムは、本明細書においては、患者の身体構造に関する情報及び2次元又は3次元医療イメージングデータの構成設定を取得するために適応された装置として定義される。医療イメージングデータは、医師による診断に有用である視覚化を構成するために使用することができる。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。

40

【図面の簡単な説明】

【0055】

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。

【図1】磁気共鳴イメージングシステムの一例を示す図である。

【図2】図1の磁気共鳴イメージングシステムを使用する更なる方法を示す図である。

【図3】図1の磁気共鳴イメージングシステムを使用する更なる方法を示す図である。

【図4】図1の磁気共鳴イメージングシステムを使用する更なる方法を示す図である。

【図5】図1の磁気共鳴イメージングシステムを使用する更なる方法を示す図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0056】

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。

【0057】

図1は、磁気共鳴イメージングシステム100の一例を示す。磁気共鳴イメージングシステムは、磁石と呼ばれる、メイン磁石104を備える。磁石104は、ボア106がそれを貫通する超伝導円筒型磁石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ある。円筒磁石104のボア106内には、磁場が、磁気共鳴イメージングを実行するのに十分強く均一であるイメージングゾーン108がある。

10

【0058】

磁石のボア106内には、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ために、磁気共鳴データの取得のために使用される磁場勾配コイル110のセットもある。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つの直交空間方向で空間的に符号化するためのコイルの3つの別個のセットを含む。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、ランプされるか又はパルス化される。

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無線周波数コイル114である。無線周波数コイルは、無線周波数アンテナ又はアンテナとも呼ばれる。無線周波数アンテナは、複数のコイル素子を含む。複数のコイル素子は、アンテナ素子とも呼ばれる。無線周波数アンテナは、チャネル又はアンテナとも呼ばれる。無線周波数コイル114は、無線周波数トランシーバ116に接続される。無線周波数コイル114及び無線周波数トランシーバ116は、別個の送信及び受信コイル並びに別個の送信機及び受信機と置き換えられる。無線周波数コイル114及び無線周波数トランシーバ116は代表的なものであることを理解されたい。無線周波数コイル114は、専用送信アンテナ及び専用受信アンテナをも表すように意図される。同様に、トランシーバ116は、別個の送信機及び受信機をも表す。この例では、無線周波数コイル114は、複数の受信/送信コイル素子をも有し、無線周波数トランシーバ116は、複数の受信/送信チャネルを有する。

30

【0060】

無線周波数コイル114は、幾つかのコイル素子115を備えるものとして示される。コイル素子115は、別個に磁気共鳴データを取得するために使用される。無線周波数コイル114は、従って、並列イメージング磁気共鳴技法のために使用される。この図には示されていないが、磁気共鳴イメージングシステム100は、ボディコイルをも備える。ボディコイルは、それが、個々のコイル素子115と同時に、取得されたデータをとり、コイル感度のセットを計算するために使用され得るので、並列イメージング技法において有用である。

40

【0061】

磁気共鳴データは、イメージングゾーン108内から取得される。多くの場合、イメージングゾーン108の領域は、関心領域109に限定される。例示的な関心領域が図に示される。異なるコイル素子115は関心領域109から異なる距離にあることがわかる。従って、異なるコイル素子115は、対象者118の様々な動きに多かれ少なかれ敏感である。

【0062】

磁石104のボア106内には、イメージングゾーン108において対象者を支持する

50

対象者支持体 120 がある。関心領域 109 は、イメージングゾーン 108 内で見ることができる。

【0063】

トランシーバ 116 及び勾配コントローラ 130 は、コンピュータシステム 140 のハードウェアインターフェース 142 に接続されるものとして示される。コンピュータシステムは更に、ハードウェアシステム 142 と通信しているプロセッサ 144 と、メモリ 150 と、ユーザインターフェース 146 とを備える。メモリ 150 は、プロセッサ 144 に 10 つてアクセス可能であるメモリの任意の組み合わせである。これは、フラッシュ RAM、ハードドライブ、又は他のストレージデバイスなど、メインメモリ、キャッシュメモリ、更には不揮発性メモリなどのようなものを含む。幾つかの例では、メモリ 150 は、非一時的コンピュータ可読媒体であると見なされる。メモリ 150 は、プロセッサ 144 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マシン実行可能命令 160 を記憶するものとして示される。メモリ 150 は更に、パルスシーケンスコマンド 162 を含むものとして示される。本明細書で使用されるパルスシーケンスコマンドは、時間の関数として磁気共鳴イメージングシステム 100 の機能を制御するために使用されるコマンドに変換されるコマンド又はタイミング図を包含する。パルスシーケンスコマンドは、特定の磁気共鳴イメージングシステム 100 に適用された磁気共鳴イメージングプロトコルの実装形態である。

【0064】

パルスシーケンスコマンド 162 は、プロセッサ 144 が磁気共鳴イメージングシステム 100 の様々な構成要素に送るコマンドの形態であるか、又は、プロセッサ 144 が磁気共鳴イメージングシステム 100 を制御するために使用するコマンドに変換されるデータ若しくはメタデータである。

【0065】

コンピュータメモリ 150 は更に、測定された磁気共鳴データを構成する幾つかの測定されたデータ部分 164 を含むものとして示される。コンピュータストレージ 150 は更に、コイル感度のセット 166 を含むものとして示される。コイル感度 166 の存在は、オプションである。単一のアンテナがある場合、コイル感度がなくてもよい。コイル感度は、ボディコイルから生成された画像と比較して、コイル素子の各々からの磁気共鳴データから生成された画像を比較することによって、測定される。コイル感度のセット 166 はまた、幾つかの場合には、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って画像を生成する過程において決定される。

【0066】

コンピュータメモリ 150 は更に、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコル及び測定されたデータ部分 164 を使用して再構成された中間磁気共鳴画像を含むものとして示される。コンピュータメモリ 150 は更に、予測されるデータ部分 170 を含むものとして示される。予測されるデータ部分 170 は、k 空間中の測定された値を予測するために中間磁気共鳴画像 168 の逆フーリエ変換を実行することによって決定される。複数のコイル素子 115 がある場合、全体的な中間磁気共鳴画像への予測される寄与を推論するために、コイル感度のセットを使用することによって、予測されるコイル画像が最初に計算される。

【0067】

次いで、中間又は予測されるコイル画像は、各個々のコイル素子又はアンテナ素子 115 についての予測されるデータ部分を計算するためにフーリエ変換される。次いで、予測されるデータ部分 170 は、全体的なプロセス又は各個々のアンテナ素子 115 の何れかについての各測定されたデータ部分 164 及び残差 172 と比較される。次いで、残差 172 は、測定されたデータ部分から幾つかの外れ値データ部分 176 を識別するために、所定のしきい値 174 と共に使用される。コンピュータメモリは更に、補正された磁気共鳴画像 178 を含むものとして示される。補正された磁気共鳴画像は、外れ値データ部分 176 を除く測定されたデータ部分 164 を使用して構成される。これは、幾つかの異な

10

20

30

40

50

るやり方で実行される。ある場合には、補正された磁気共鳴画像は、測定されたデータ部分 164 から外れ値データ部分 176 が除去されている画像を再構成するために、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルを使用して完全に再構成される。

【0068】

他の場合には、中間磁気共鳴画像 168 は、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って画像を構成する反復的プロセスのための開始ポイントとして使用される。外れ値データ部分 176 は、補正された磁気共鳴画像 178 の再構成において使用されないが、それらは、補正された磁気共鳴画像 178 を計算する数値的な反復のためのシード又は開始ポイントとして使用された中間磁気共鳴画像 168 において使用された。

【0069】

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。図 2 に示されているステップは、例えば、マシン実行可能命令 160 によって実施され得る。最初にステップ 200 において、磁気共鳴イメージングシステム 100 が、測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンド 162 により制御される。測定された磁気共鳴データは、測定されたデータ部分 164 として取得される。測定されたデータ部分の各々は時間期間中に取得される。次にステップ 202 において、中間磁気共鳴画像 168 が、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データ 164 を使用して再構成される。

【0070】

次にステップ 204 において、予測されるデータ部分 170 が、中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分 164 の各々について計算される。前に述べたように、これは、測定されたデータを予測するために逆フーリエ変換を使用して行われる。次にステップ 206 において、残差 172 が、予測されるデータ部分 170 を使用して、測定されたデータ部分 164 の各々について計算される。次にステップ 208 において、1つ又は複数の外れ値データ部分 176 が、所定のしきい値 174 を上回る残差 172 を有する測定されたデータ部分から識別される。最後に、ステップ 210 において、補正された磁気共鳴画像 178 が、圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データ 164 を使用して再構成される。これは、画像再構成から外れ値データ部分 176 を除外することによって行われる。同じく上述したように、これは、幾つかの異なるやり方で実行される。

【0071】

図 3 は、図 1 の磁気共鳴イメージングシステム 100 を動作させる更なる方法を示すフローチャートを示す。方法は、ステップ 200' から始まる。ステップ 200' において、磁気共鳴イメージングシステム 100 が、測定された磁気共鳴データの一部分のみが取得されるようにパルスシーケンスコマンド 162 により制御される。これは、1つ又は複数の測定されたデータ部分 164 である。ステップ 202 ~ 208 は、完全な測定された磁気共鳴データとは対照的に、取得された測定されたデータ部分の全てを用いて方法が実行されることを除いて、図 2 に示されているようなものと同等である。ステップ 208 が実行された後、ステップ 300 が実行される。ステップ 300 において、外れ値データ部分として識別された測定されたデータ部分の再取得のスケジューリングが実行される。方法は、次いで、決定ボックス 302 に進む。決定ボックス 302 は、幾つかの異なる質問に答える。最初の質問は、全ての測定されたデータ部分が取得されたかである。答えがはいである場合、方法はステップ 210 に進み、補正された磁気共鳴画像が構成される。

【0072】

答えがいいえである場合、方法はステップ 200' に戻り、1つ又は複数の測定されたデータ部分の別のグループが取得される。代替として、決定ボックス 302 はまた、十分な磁気共鳴データが取得されたかを質問する。答えがはいである場合、方法は、この場合もステップ 210 に進む。答えがいいえである場合、方法は、同じくステップ 200' に戻る。圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルは、k 空間の完全な取得なしに磁気共鳴画像を再構成することが可能である。幾つかの場合には、外れ値データ部分として識別さ

10

20

30

40

50

れたデータを単にドロップするか又は無視するだけで十分である。しかしながら、あまりに多くの外れ値データ部分が識別された場合、識別された外れ値データ部分を精査し、そのうちの1つ又は複数を取得することが、有益である。

【0073】

図4は、図1の磁気共鳴イメージングシステム100を動作させる更なる方法を示す。図4中の方法は、図2に示されている方法と同様であり、ステップ210の後に実行される追加のステップがある。ステップ210の後にステップ400が実行される。ステップ400において、1つ又は複数の外れ値磁気共鳴画像が、1つ又は複数の外れ値データ部分から構成される。外れ値データ部分が、図2に示されているように、別個に取得された磁気共鳴データとして扱われ、中間磁気共鳴画像と残差と補正された磁気共鳴画像とを構成するために別個に使用されることに留意されたい。幾つかの場合には、残差は、対象者118による過渡的な動きに起因するものであり得る。しかしながら、幾つかの場合には、所定のしきい値を上回る残差は、対象者118の周期的な動き又は不随意の周期的な動きに起因する。この場合、外れ値データ部分は、対象者118の周期的な動きの異なる位相を表す一連の画像を作るために使用され得る。

【0074】

図5は、図1の磁気共鳴イメージングシステムを動作させる更なる方法を示すフローチャートを示す。図5に示されている方法は、図2に示された方法と同様である。ステップ200～210は、図2中にあるように実行される。ステップ210の後に、方法はステップ500に進む。ステップ500は、補正された磁気共鳴画像と中間磁気共鳴画像との間の収束の試験が実行される決定ボックスである。補正された磁気共鳴画像が所定の測度又は統計的試験内に中間磁気共鳴画像に収束した場合、方法はステップ502に進み、方法は終了する。2つの画像が十分に収束しなかった場合、方法はステップ504に進む。ステップ504において、補正された磁気共鳴画像は、中間磁気共鳴画像であるものとして設定され、方法はステップ204に戻る。

【0075】

予測されるデータ部分が、以前には補正された磁気共鳴画像であったものを使用して、測定されたデータ部分の各々について再計算される。方法は、次いで、通常は再びステップ206、208及びステップ210を通って進む。ステップ208において、中間磁気共鳴画像が変化するにつれて、外れ値データ部分として識別されるより多くのデータ部分がある。この例示的な方法では、他の反復において外れ値データ部分として前に識別された測定されたデータ部分は、外れ値データ部分として識別され続ける。ただし、この方法の幾つかの他の例では、残差及び予測されるデータ部分を計算するステップは、あらゆる反復についてのあらゆる单一の測定されたデータ部分について繰り返される。方法は、次いで、ステップ500に進む。画像が収束した場合、方法はステップ502において終了し、画像が収束しない場合、反復は、ステップ504に戻ることによって続く。幾つかの例では、反復の最大数が設定される。

【0076】

CS再構成は、(所与のスペース性制約を受ける)画像更新を計算するために、測定されたデータと再投影された画像との間の差が使用される反復的再構成である。再構成アルゴリズムは矛盾するデータを单一の画像にマージすることを試みるので、データ取得中の動きは画像アーティファクトを引き起こす。CSは一般に標準的な再構成よりも少数のデータを使用するので、動きアーティファクトに対するその感度は、標準的な再構成の感度よりも高い。

【0077】

例は、動きのための単純なモデルを導入することによって、動きアーティファクトに対するCS再構成の安定性を改善する。中間磁気共鳴画像は物体の静的時間位相を表し、このようにして、このモデルは、物体が静止している、物体の静的時間位相を、考えられる動き位相と区別する: 静的位相からのデータポイントが画像更新の計算において考慮に入れられ、動き位相中に取得されたデータポイントが無視されることが可能である。測定さ

10

20

30

40

50

れたデータ部分は別個の時間期間中に取得される。外れ値データ部分として識別された測定されたデータ部分は、物体が動いている可能性のある時間を表す。

【0078】

圧縮検知 (CS) 再構成は、(適切に選択された) 領域における再構成された画像のスパース性を課す。これは、再構成された画像が測定されたデータと一致しているという通常の基準の次の追加の要件である。結果として、CSは、標準的な再構成よりも少数のデータからの画像の再構成を可能にし、従って、加速されたイメージングを可能にするか、又は利用可能なデータが限定される場合に画像を再構成することを可能にする。

【0079】

例は、CS中のデータ取得中の動きによって引き起こされるゴーストアーティファクトを低減する。 10

【0080】

上述のように、例は、動きのための単純なモデルを導入することによって、動きアーティファクトに対するCS再構成の安定性を改善する。このモデルは、物体の静的時間位相を、考えられる動き位相と区別する：好ましくは、静的位相 / 期間からのデータポイントが画像更新の計算において考慮に入れられ、動き位相中に取得されたデータポイントは無視される。

【0081】

静的時間位相及び動き時間位相へのデータセットのセグメンテーションは、幾つかのやり方で行われ得る： 20

a) 外部センサー(例えばカメラ、呼吸ベルト、PPU、...)からのデータを使用することによってこの方法は、実際の再構成が開始する前にそれが適用され得るので極めて効率的であるが、それは、追加のセンサーが必要とされるという欠点を有する。

b) 測定されたデータ自体を使用し、測定されたデータ部分を識別することによって：この目的で、測定されたデータ(測定されたデータ部分)と残差の形態の再投影された画像との間の差の分布が分析される。標準的なCS再構成は、この差を処理するただ1つのやり方を有する：それから画像更新を算出する。

【0082】

例は、CSアルゴリズムに、追加のオプションとしてデータ拒否を導入する：差のパターンがデータ取得の時間パターンに相關している場合、動きがこの差の原因であった可能性がある。この場合、データセットのその部分は、拒否され(=動き位相に割り当てられ)、更なる再構成において無視され得る。拒否又は無視されたデータは、外れ値データ部分であるものに割り当てられる。このようにして、動きアーティファクトは大幅に低減され得る。 30

【0083】

MRIスキャンが、可変密度サンプリング及び適切なサブサンプリングを使用して実行される。これらのデータに基づいて、CS再構成が開始される。

異なるCSアルゴリズム実装形態が考えられる。

(1) 最初に全ての利用可能なデータに基づいて、中間磁気共鳴画像が、反復的CS再構成アルゴリズムを使用して再構成される。このアルゴリズムは、スパース化変換及び対応する正則化を使用する。必要なコイル感度情報がk空間データの中心部から導出され得る。全ての測定されたデータは、最初は正しいと見なされる。これは、反復的プロセッジャ中に、測定されなかった位置におけるデータのみが更新されることを意味する。 40

(2) あるレベルの収束において、データ拒否(外れ値データ部分の識別)が(画像更新算出の次に)アクティブにされる：短い時間間隔(例えば1つのTSEショット)において取得された全てのデータについて残差が加算され、動きイベントについて検査するために残差パターンが分析される。

このステップでは、同じ動きイベントによって影響を及ぼされる同じ時間間隔に由来する、個々であるが時間的に相關してもいる外れ値を識別するために、各プロファイルについての自然時間フットプリント情報が使用される。それらは、以下のプロセッジャにおいて 50

低く重み付けされるか又は拒否される。

(3) C S 反復は、あるレベルの一貫性又は信用されるべきデータの最小数が到達され、反復が停止されるまで続けられる。

【0084】

このプロセスは更に、動きの場合、コイル感度マップ(C S M)もアーティファクトの対象であり得るので、C S Mを更新することによっても改善され得る。そのようにして、同じく、C S Mは、矛盾する測定データを識別し、潜在的に完全に拒否して、最終的にアーティファクトのない画像を再構成するために、反復的プロシージャにおいて埋め込まれた(自動較正を介した)データから推定される。中央領域からのラインが動きを受けない場合、C S Mを更新することは必要でない。

10

【0085】

更なる要因は、対応するプロファイルの時間フットプリントの適切な選択である。すなわち、k空間中のサンプリングパターンだけでなく、データ取得の時間順序も重要である: C S のための可変密度サンプリングパターンの生成の後に、個々のサンプルが、適宜に時間的に分布されなければならない。ここで、所望の画像コントラストに関する考慮事項は、重要な並びに適切なサンプリングダイバーシティである。これは、個々の時間フットプリントに潜在的にグループ化され得る、その後取得されるk空間サンプルが、再構成を極めて不安定にする、k空間中にかなりの程度の局所ホールを生じる大きすぎるアンダーサンプリングを回避するために、k空間にわたって大きく分布されることを意味する。

20

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。

【0087】

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。

30

【符号の説明】

【0088】

100 磁気共鳴システム

40

104 メイン磁石

106 磁石のボア

108 イメージングゾーン

109 関心領域

110 磁場勾配コイル

112 勾配コイル電源

114 無線周波数コイル

115 コイル素子

116 トランシーバ

118 対象者

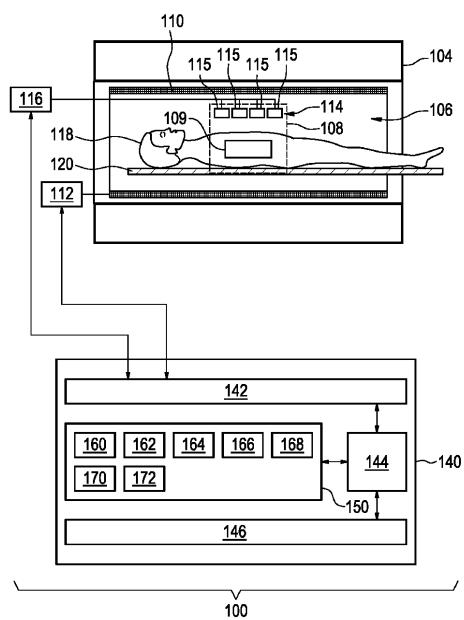
120 対象者支持体

50

1 2 2	構造的支持体	
1 2 4	変調器	
1 2 6	スイッチャユニット	
1 2 8	電流充電器	
1 3 0	勾配コントローラ	
1 3 2	接続	
1 3 4	勾配コイル冷却システム	
1 3 6	磁場センサー	
1 4 0	コンピュータシステム	
1 4 2	ハードウェアインターフェース	10
1 4 4	プロセッサ	
1 4 6	ユーザインターフェース	
1 5 0	コンピュータメモリ	
1 6 0	マシン実行可能命令	
1 6 2	パルスシーケンスコマンド	
1 6 4	測定されたデータ部分	
1 6 6	コイル感度のセット	
1 6 8	中間磁気共鳴画像	
1 7 0	予測されるデータ部分	
1 7 2	残差	20
1 7 4	所定のしきい値	
1 7 6	外れ値データ部分	
1 7 8	補正された磁気共鳴画像	
2 0 0	測定された磁気共鳴データを取得するためのパルスシーケンスコマンドにより磁気共鳴イメージングシステムを制御する	
2 0 0'	測定された磁気共鳴データを部分的に取得するためのパルスシーケンスコマンドにより磁気共鳴イメージングシステムを制御する	
2 0 2	圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して中間磁気共鳴画像を再構成する	
2 0 4	中間磁気共鳴画像を使用して、測定されたデータ部分の各々について、予測されるデータ部分を計算する	30
2 0 6	予測されるデータ部分を使用して、測定されたデータ部分の各々について残差を計算する	
2 0 8	残差が所定のしきい値を上回る場合、測定されたデータ部分のうちの1つ又は複数を外れ値データ部分として識別する	
2 1 0	圧縮検知磁気共鳴イメージングプロトコルに従って、測定された磁気共鳴データを使用して、補正された磁気共鳴画像を再構成する	
3 0 0	外れ値データ部分として識別された測定されたデータ部分の再取得をスケジュールする	
3 0 2	全ての測定されたデータ部分が取得されたか？又は、十分な磁気共鳴データが取得されたか？	40
4 0 0	1つ又は複数の外れ値磁気共鳴画像を1つ又は複数の外れ値データ部分から構成する	
5 0 0	補正された磁気共鳴画像が所定の測度内に中間磁気共鳴画像に収束したか？	
5 0 2	終了する	
5 0 4	補正された磁気共鳴画像を中間磁気共鳴画像として設定する	

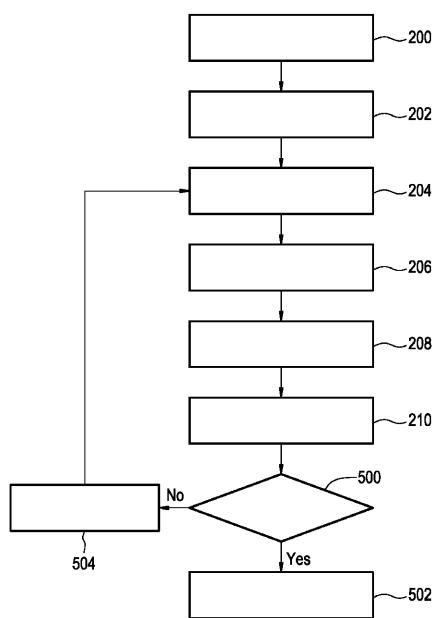
【図1】

FIG. 1



【図5】

FIG. 5



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 Z D M

(72)発明者 ボルネット ペーター

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 伊藤 昭治

(56)参考文献 特開2016-123853 (JP, A)

特開2015-205037 (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 0

G 0 1 R 3 3 / 5 4