

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-289690

(P2007-289690A)

(43) 公開日 平成19年11月8日(2007.11.8)

(51) Int. Cl.

A61B 5/055 (2006.01)

F I

A61B 5/05 350

テーマコード (参考)

4C096

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-107706 (P2007-107706)
 (22) 出願日 平成19年4月17日 (2007. 4. 17)
 (31) 優先権主張番号 11/379, 403
 (32) 優先日 平成18年4月20日 (2006. 4. 20)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、12309 ニューヨー
 ク州、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サー
 クル (番地なし)
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 並列RF送信を伴うMR撮像におけるSAR低減

(57) 【要約】

【課題】対象に対するRFパワー預託を低減させた並列励起パルス設計を提供する。

【解決手段】並列RF送信コイルアレイ(70)の各送信コイル(72)に関するB1磁場マップを収集し、並列RF送信コイルアレイ(70)の複数の送信コイル(72)に関する実効B1磁場マップに基づいて計算アルゴリズムを用いてターゲット励起プロフィールの励起パルススキームを決定し、並列RF送信コイルアレイ(70)の複数の送信コイル(72)のそれぞれの送信コイル(72)に関するSAR低減したRFパルスシーケンスを生成させる。並列RF送信コイルアレイ(70)は、任意の並列式RF送信コイルアレイ幾何学構成を有することが可能である。各実効B1磁場マップは、1つの送信コイル(72)と少なくとも別の1つの送信コイル(72)の間に存在する誘導性結合効果を反映している。

【選択図】図2

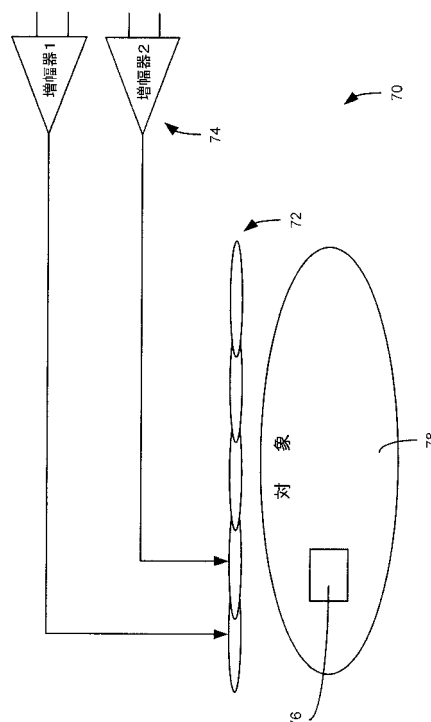


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

MR 撮像中にコンピュータ (20) によって実行した際に該コンピュータ (20) に対して、

任意の並列式 RF 送信コイルアレイ幾何学構成を有することが可能な並列 RF 送信コイルアレイ (70) の各送信コイル (72) に関する B_1 磁場マップを収集する工程と、

並列 RF 送信コイルアレイ (70) の複数の送信コイル (72) に関する少なくとも 1 つの実効 B_1 磁場マップに基づいて計算アルゴリズムを用いてターゲット励起プロファイルの励起パルススキームを決定する工程であって、各実効 B_1 磁場マップは 1 つの送信コイル (72) と少なくとも別の 1 つの送信コイル (72) の間に存在する誘導性結合効果を反映している決定工程と、

並列 RF 送信コイルアレイ (70) の複数の送信コイル (72) のそれぞれの送信コイル (72) に関する少なくとも 1 つの SAR 低減した RF パルスシーケンスを生成させる工程と、

を実行させる命令の組を表したコンピュータ・プログラムをその上に保存して有するコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 2】

前記 MR 撮像中の命令組は前記コンピュータ (20) に対して RF パルスと RF パワー預託の間の 2 次形式関係に基づいて少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させており、該少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスは並列 RF 送信コイルアレイ (70) が生成させる RF 励起プロファイルをターゲット励起プロファイルから大幅に逸脱させることなく撮像ボリューム全体にわたって RF パワー預託を最小化している、請求項 1 に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 3】

前記 MR 撮像中の命令組は前記コンピュータ (20) に対して、最適化アルゴリズムに基づくと共に、送信コイル (72) に関する少なくとも 1 つの実効 B_1 磁場マップ及び RF パルスと RF パワー預託の間の 2 次形式関係を入力として使用することによって、前記少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させている、請求項 1 に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 4】

前記 MR 撮像中の命令組は前記コンピュータ (20) に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル (72) に関する少なくとも 1 つの実効 B_1 磁場マップ、RF パルスと RF パワー預託の間の 2 次形式関係、及び傾斜パルスシーケンスを入力として使用することに基づいて、前記少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させている、請求項 1 に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 5】

前記 MR 撮像中の命令組は前記コンピュータ (20) に対して、最適化アルゴリズムを行列逆変換公式を用いて解くこと、並びに送信コイル (72) に関する少なくとも 1 つの実効 B_1 磁場マップ、RF パルスと RF パワー預託の間の 2 次形式関係、及び傾斜パルスシーケンスを入力として使用することに基づいて、前記少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させている、請求項 1 に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 6】

前記 MR 撮像中の命令組は前記コンピュータ (20) に対して RF パルスと RF パワー預託の間の所定の関係に基づいて前記少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させており、該少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスは並列 RF 送信コイルアレイ (70) が生成させる RF 励起プロファイルをターゲット励起プロファイルから大幅に逸脱させることなく撮像ボリューム全体にわたってパワー預託を最小化している、請求項 1 に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体 (28)。

【請求項 7】

10

20

30

40

50

前記MR撮像中の命令組は前記コンピュータ(20)に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル(72)に関する少なくとも1つの実効B1磁場マップ及びRFパルスとRFパワー預託の間の所定の関係を入力として使用することに基づいて、前記少なくとも1つのSAR低減RFパルスシーケンスを生成させている、請求項1に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体(28)。

【請求項8】

前記MR撮像中の命令組は前記コンピュータ(20)に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル(72)に関する少なくとも1つの実効B1磁場マップ、RFパルスとRFパワー預託の間の所定の関係、及び傾斜パルス状シーケンスを入力として使用することに基づいて、前記少なくとも1つのSAR低減RFパルスシーケンスを生成させている、請求項1に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体(28)。

10

【請求項9】

前記MR撮像中の命令組は前記コンピュータ(20)に対して、撮像ボリューム全体にわたるRFパワー預託の相対的低下を予測させている、請求項1に記載のコンピュータ読み取り可能記憶媒体(28)。

【請求項10】

偏向磁場を印加するためのマグネット(54)、磁場傾斜を誘導するように該マグネット(54)のボアの周りに位置決めした複数の傾斜コイル(72)、複数の送信コイル(72)を有する並列RF送信コイルアレイ(70)、並びにRFパルスを送信しMR画像を収集するためのRF送受信器システム(58)及びRFスイッチ(62)を備えたMRシステムであって、該RFスイッチ(62)はパルスモジュール(38)によって制御されているMRシステムと、

20

コンピュータ(20)であって、

並列RF送信コイルアレイ(70)の複数の送信コイル(72)の各送信コイル(72)に関するRFパルス波形を、RFパルス長が管理されかつ起こりうる励起プロフィール・サイドローブが低減されるように設計すること、

MR撮像中に並列RF送信コイルアレイ(70)の複数の送信コイル(72)に対する独立の制御を介してRFパルスシーケンス最適化アルゴリズムに基づいてSARを調節すること、

を実行するようにプログラムされたコンピュータ(20)と、

30

を備えるMR装置(10)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、全般的にはMR撮像に関し、またさらに詳細には、所望の励起プロフィールを実現するための送信コイルアレイによる並列励起に関する。本発明はさらに、対象に対するRFパワー預託を低減させるための並列励起パルス設計に関する。

【背景技術】

【0002】

人体組織などの物質を均一な磁場(偏向磁場 B_0)にかけると、組織中のスピンの個々の磁気モーメントはこの偏向磁場と整列しようとして、この周りをラーモアの特性周波数によってランダムな秩序で歳差運動することになる。この物質や組織に、 $x-y$ 平面内にありラーモア周波数に近い周波数をもつ磁場(励起磁場 B_1)がかけられると、正味の整列モーメント(すなわち、「縦磁化」) M_z は、 $x-y$ 平面内に来るように回転させられ(すなわち、「傾けられ(tipped)」)、正味の横方向磁気モーメント M_t が生成される。励起信号 B_1 を停止させた後、励起したスピンにより信号が放出され、さらにこの信号を受信し処理して画像を形成させることができる。

40

【0003】

これらの信号を用いて画像を作成する際には、磁場傾斜(G_x 、 G_y 及び G_z)が利用される。典型的には、撮像しようとする領域が、使用する具体的な位置特定方法に従って

50

これらの傾斜を変更させている一連の計測サイクルによりスキャンを受ける。結果として得られる受信したMR信号の組はデジタル化されかつ処理され、よく知られている多くの再構成技法のうちの1つを用いて画像が再構成される。

【0004】

MR撮像では、信号寄与ボリュームのサイズを制限しながら横方向磁化を誘導するために空間選択性励起が広く使用されている。最もよく使用されているスライス選択励起は、信号寄与ボリュームを固定のスライスに限定し、これによって信号収集中の空間エンコードを単純化してスキャン時間を短縮させる。スキャン時間をさらに短縮するために、複数の次元方向での位置特定をもたらす多次元励起が使用されている。その用途には例えば、位置特定式スペクトロスコピー、関心領域に関する縮小FOVスキャン、特有の形状をした目標解剖構造の撮像、及びエコートレン長を短くしたエコープラナー・イメージング(EPI)が含まれる。さらに、B0の不均一性や傾斜非直線性の存在下での励起プロフィール忠実度の改善のため、並びに磁化率アーチファクトの軽減のために、大サイズのボリュームにわたる選択励起によるプロフィール制御(フリップ、位相及び周波数制御)が活用されてきた。

10

【0005】

選択励起は、ボリューム全体にわたり送信し比較的均一なB1磁場を発生させる単一の送信コイル(例えば、バードケージコイル)を用いて実現されるのが一般的である。こうした構成に適合した励起パルスを設計するために極めて高効率のパルスアルゴリズムが開発されている。こうしたパルス設計ツールによって得られる利点があるものの技術的な困難が残っている。励起パルス持続時間、励起プロフィール確度、及びRFパワー吸収(SAR:比吸収率(specific absorption rate);身体内でのRFエネルギーの吸収割合の尺度)に関する問題は、多種多様な用途における際だった問題点のうちの幾つかを示している。1D励起と比較すると、2Dや3D励起による複数次元方向での柔軟なプロフィール制御ではパルス持続時間を抑制するために、パルス化作用の強化が不可欠であると共に、多くの場合に強力な傾斜が必要である。この制約によって、汎用の傾斜によるスキャナに対する多次元励起の利用が妨害される。高周波数での波形挙動の増大や発生源-対象間相互作用に由来してB1磁場の対象依存性が大きいことも、励起プロフィール制御の困難さにつながることもある。高周波数においてRFパワー預託の割合が増大することが、その設計並びにRF送信モジュール及び/または励起パルスの利用に対して大きな影響を有するさらに別の要因となる。

20

30

【特許文献1】米国特許第6989673号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、上述の欠点を克服している、撮像ボリューム内にRF励起を導くための送信コイルアレイの送信コイルに対する独立の制御を提供する。

【0007】

本発明は、複数の送信コイルを調和して駆動することによって多次元励起を高速化しつつSARを制御することを目的とする。本発明は、RFパワー吸収及び多次元パルス長を効果的に管理する一方で所望の励起プロフィールの忠実な生成を容易にするために複数の送信素子の協調を高め、合成B1磁場内にB1の適当な時空的変動を生じさせている。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

一実現形態では本発明は、コンピュータ読み取り可能記憶媒体を含む。本コンピュータ読み取り可能記憶媒体は一例では、MR撮像中にコンピュータによって実行させたときにこのコンピュータに対して:並列RF送信コイルアレイの各送信コイルに関するB1磁場マップを収集する工程と;該並列RF送信コイルアレイの複数の送信コイルに関する少なくとも1つの実効B1磁場マップに基づいて計算アルゴリズムを用いてターゲット励起プロフィールの励起パルススキームを決定する工程と;並列RF送信コイルアレイの複数の

50

送信コイルのそれぞれの送信コイルに関する少なくとも１つのＳＡＲ低減したＲＦパルスシーケンスを生成させる工程と、を実行させる命令の組を表したコンピュータ・プログラムをその上に保存して有する。この並列ＲＦ送信コイルアレイは任意の並列式ＲＦ送信コイルアレイ幾何学構成を有することが可能である。各実効Ｂ１磁場マップは、１つの送信コイルと少なくとも別の１つの送信コイルの間に存在する誘導性結合効果を反映している。

【０００９】

本発明の別の実現形態はＭＲ装置を包含する。本ＭＲ装置は一例では、ＭＲシステム及びコンピュータを備える。このＭＲシステムは、偏向磁場を印加するためのマグネット、磁場傾斜を誘導するように該マグネットのボアの周りに位置決めした複数の傾斜コイル、複数の送信コイルを有する並列ＲＦ送信コイルアレイ、並びにＲＦパルスを送信しＭＲ画像を収集するためのＲＦ送受信器システム及びＲＦスイッチを備える。このＲＦスイッチはパルスモジュールによって制御されている。このコンピュータは、並列ＲＦ送信コイルアレイの複数の送信コイルの各送信コイルに関するＲＦパルス波形を、ＲＦパルス長が管理されかつ起こりうる励起プロフィール・サイドローブが低減されるように設計すること；ＭＲ撮像中にＲＦパルスシーケンス最適化アルゴリズムに基づいて並列ＲＦ送信コイルアレイの複数の送信コイルに対する独立の制御を介してＳＡＲを調節すること、を実行するようにプログラムされている。

【００１０】

本発明のまた別の実現形態は、ＭＲ撮像の方法を包含する。撮像ボリューム全体にわたって関心領域及び／または励起プロフィールが決定される。並列ＲＦ送信コイルアレイ向けの少なくとも１つの実効Ｂ１磁場マップに基づいて、ターゲット励起プロフィールのための励起パルススキームが決定される。各実効Ｂ１磁場マップは１つの送信コイルと少なくとも別の１つの送信コイルとの間に存在することがあり得る誘導性結合効果を反映している。並列ＲＦ送信コイルアレイの複数の送信コイルのＲＦパルスはＲＦパワー預託が減少するように独立に制御されている。

【００１１】

本発明に関する別の様々な特徴及び利点は、以下の詳細な説明及び図面から明らかとなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１２】

図面では、本発明を実施するために目下のところ企図される好ましい一実施形態を図示している。

【００１３】

図１を参照すると、本発明を組み込んでいる好ましい磁気共鳴撮像（ＭＲＩ）システム１０の主要コンポーネントを表している。このシステムの動作は、キーボードその他の入力デバイス１３、制御パネル１４及び表示スクリーン１６を含むオペレータ・コンソール１２から制御を受けている。コンソール１２は、オペレータが画像の作成及び表示スクリーン１６上への画像表示を制御できるようにする独立のコンピュータ・システム２０と、リンク１８を介して連絡している。コンピュータ・システム２０は、バックプレーン２０ａを介して互いに連絡している多くのモジュールを含んでいる。これらのモジュールには、画像プロセッサ・モジュール２２、ＣＰＵモジュール２４、並びに当技術分野でフレーム・バッファとして知られている画像データ・アレイを記憶するためのメモリ・モジュール２６が含まれる。コンピュータ・システム２０は、画像データ及びプログラムを記憶するためにディスク記憶装置２８及びテープ駆動装置３０とリンクしており、さらに高速シリアルリンク３４を介して独立のシステム制御部３２と連絡している。入力デバイス１３は、マウス、ジョイスティック、キーボード、トラックボール、タッチ作動スクリーン、光学読取り棒、音声制御器、あるいは同様な任意の入力デバイスや同等の入力デバイスを含むことができ、また入力デバイス１３は対話式幾何学指定のために使用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

システム制御部 3 2 は、バックプレーン 3 2 a により互いに接続させたモジュールの組を含んでいる。これらのモジュールには、C P U モジュール 3 6 や、シリアルリンク 4 0 を介してオペレータ・コンソール 1 2 に接続させたパルス発生器モジュール 3 8 が含まれる。システム制御部 3 2 は、実行すべきスキャンシーケンスを指示するオペレータからのコマンドをこのリンク 4 0 を介して受け取っている。パルス発生器モジュール 3 8 は、各システム構成要素を動作させて所望のスキャンシーケンスを実行させ、発生させる R F パルスのタイミング、強度及び形状、並びにデータ収集ウィンドウのタイミング及び長さを指示するデータを発生させている。パルス発生器モジュール 3 8 は、スキャン中に発生させる傾斜パルスのタイミング及び形状を指示するために 1 組の傾斜増幅器 4 2 と接続させている。パルス発生器モジュール 3 8 はさらに、生理学的収集制御器 4 4 から患者データを受け取ることができ、この生理学的収集制御器 4 4 は、患者に装着した電極からの E C G 信号など患者に接続した異なる多数のセンサからの信号を受け取っている。また最終的には、パルス発生器モジュール 3 8 はスキャン室インタフェース回路 4 6 と接続されており、スキャン室インタフェース回路 4 6 はさらに、患者及びマグネット・システムの状態に関連付けした様々なセンサからの信号を受け取っている。このスキャン室インタフェース回路 4 6 を介して、患者位置決めシステム 4 8 は患者を所望のスキャン位置に移動させるコマンドを受け取っている。

10

【 0 0 1 5 】

パルス発生器モジュール 3 8 が発生させる傾斜波形は、 G_x 増幅器、 G_y 増幅器及び G_z 増幅器を有する傾斜増幅器システム 4 2 に加えられる。各傾斜増幅器は、収集する信号の空間エンコードに使用する磁場傾斜を生成させるように全体を番号 5 0 で示す傾斜コイル・アセンブリ内の物理的に対応する傾斜コイルを励起させている。傾斜磁場コイル・アセンブリ 5 0 は、偏向用マグネット 5 4 及び全身用 R F コイル 5 6 を含むマグネット・アセンブリ 5 2 の一部を形成している。システム制御部 3 2 内の送受信器モジュール 5 8 は、R F 増幅器 6 0 により増幅を受けて送信 / 受信スイッチ 6 2 により R F コイル 5 6 に結合されるようなパルスを発生させている。患者内の励起された原子核が放出して得られた信号は、同じ R F コイル 5 6 により検知し、送信 / 受信スイッチ 6 2 を介して前置増幅器 6 4 に結合させることができる。増幅した M R 信号は、送受信器 5 8 の受信器部分で復調され、フィルタ処理され、さらにデジタル化される。送信 / 受信スイッチ 6 2 は、パルス発生器モジュール 3 8 からの信号により制御し、送信モードでは R F 増幅器 6 0 をコイル 5 6 と電気的に接続させ、受信モードでは前置増幅器 6 4 をコイル 5 6 に接続させている。送信 / 受信スイッチ 6 2 によりさらに、送信モードと受信モードのいずれに関しても独立した R F コイル (例えば、表面コイル) を使用することが可能となる。

20

30

【 0 0 1 6 】

R F コイル 5 6 により取り込まれた M R 信号は送受信器モジュール 5 8 によりデジタル化され、システム制御部 3 2 内のメモリ・モジュール 6 6 に転送される。未処理の k 空間データのアレイをメモリ・モジュール 6 6 内に収集し終わると 1 回のスキャンが完了となる。この未処理の k 空間データは、各画像を再構成させるように別々の k 空間データアレイの形に配置し直しており、これらの各々は、データをフーリエ変換して画像データのアレイにするように動作するアレイプロセッサ 6 8 に入力される。この画像データはシリアルリンク 3 4 を介してコンピュータ・システム 2 0 に送られ、コンピュータ・システム 2 0 において画像データはディスク記憶装置 2 8 内などの記憶装置内に格納される。この画像データは、オペレータ・コンソール 1 2 から受け取ったコマンドに応じて、テープ駆動装置 3 0 上などの長期記憶内にアーカイブしたり、画像プロセッサ 2 2 によりさらに処理してオペレータ・コンソール 1 2 に伝達しディスプレイ 1 6 上に表示させたりすることができる。

40

【 0 0 1 7 】

例示的な一方式は、複数の送信コイルによって R F パルス送信を高速化する方法及びシステムを目的とする。こうした送信コイルアレイを図 2 に表している。送信コイルアレイ

50

・アセンブリ 70 は、並列 RF 送信向けに設計された複数の RF コイルまたは素子 72 と、複数の RF 増幅器 74 と、を含む。好ましい一実施形態では、各送信コイル 72 が専用の 1 つの RF 増幅器 74 によって駆動を受ける。この際に各 RF 増幅器は、MR システムの内部で対象 78 の励起ボリューム 76 を規定及び / またはステアリングするようにそれぞれの RF コイル内に制御された電流が発生するように構成される。図 2 に示すように、送信コイル 72 は実質的に直線状に配列されている。さらに、RF パワー預託をさらに低下させるように RF 増幅器は複数の RF 送信コイルに対して制御された電流を提供する（これについてはさらに詳細に記載することにする）。

【0018】

ここで図 3 を参照すると、送信コイルアレイ・アセンブリ 70 を別の実施形態で表している。この実施形態では、送信コイル 72 をラップアラウンド式に配置させている。この際にこれらのコイルは、対象の周りに分散式で配列させている。図 2 に関して図示し説明したのと同様に、各 RF コイル 72 は専用の 1 つの RF 増幅器 74 に接続されている。図 2 ~ 3 が送信コイルアレイのコイルの可能な配列を対として表していること、並びに具体的に図示していないこれ以外の配列も可能であり企図できることは、当業者であれば容易に理解されよう。

【0019】

上で指摘したように、例示的な一方式は、送信コイルによる RF 励起が並列に実行されるように送信コイルアレイを用いて動作可能な方法及びシステムを目的としている。この並列励起によれば、RF パルスの高速化及びターゲット励起の位置特定を通じてスキャン時間の短縮が支援されるのみならず、対象に対する RF パワー預託の低減が支援される。

【0020】

例示的な一方式について小先端角の励起に関連して記載することにするが、この例示的方式は別の励起体系にまで拡張可能であることは当業者であれば理解されよう。単一の送信コイルによって小先端角励起から得られた横方向磁化は励起中に横動させかつ重み付けされる k 空間軌道に対するフーリエ変換によって解析されることがある。

【0021】

【数 1】

$$M(\mathbf{x}) = j\gamma M_0(\mathbf{x}) b(\mathbf{x}) \int_{\mathbf{k}} W(\mathbf{k}) S(\mathbf{k}) e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}} d\mathbf{k}$$

30

（例示の式 1）

上式において、 $S(\mathbf{k})$ は切り替え傾斜によって制御される空間周波数サンプリング軌道を意味し、 $W(\mathbf{k})$ は RF パルスが送信コイルを駆動することによって誘導される空間周波数重みを意味し、また $b(\mathbf{x})$ はコイルの B_1 磁場（すなわち、無線周波数磁場）のパターンによって誘導される空間重みを意味している。

【0022】

並列励起では、一例としてパルス合成器及び増幅器の複数の組によって並列 RF 発生源が形成される。この場合では、複数の RF パルスによって励起中に対応するコイルを駆動し、横方向磁化の生成に影響を及ぼす複数の空間周波数重み及び空間重みを誘導している。小先端角近似の限界内では、例示式 1 によって表される k 空間パースペクティブが直線性の特性に基づいて並列励起の解析にまで拡張される。

【0023】

40

【数 2】

$$M(\mathbf{x}) = j\gamma M_0(\mathbf{x}) \sum_{n=1}^N b^{(n)}(\mathbf{x}) \int_{\mathbf{k}} W^{(n)}(\mathbf{k}) S(\mathbf{k}) e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}} d\mathbf{k}$$

(例示の式 2)

例示式 2 において、 N は送信コイルの総数を表しており、 n はコイル指標を表しており、 $W^{(n)}(\mathbf{k})$ は独立に制御される RF パルスによって誘導される空間周波数重みを意味しており、また $b^{(n)}(\mathbf{x})$ はそれぞれのコイルの実効 B_1 磁場パターンによって誘導される空間重みを意味している。したがって、得られる励起プロフィール $\mu(\mathbf{x})$ は次式となる。

【0024】

【数 3】

$$\mu(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N b^{(n)}(\mathbf{x}) \int_{\mathbf{k}} W^{(n)}(\mathbf{k}) S(\mathbf{k}) e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}} d\mathbf{k}$$

20

(例示の式 3)

一例として、励起中にエコープラナー (k_x, k_y) 横動軌道 (k_x はスロー (slow) 方向また Δ_{k_x} はサンプリング周期) が適用されている 2D 励起の場合を検討してみる。 k 空間重み / サンプリングによって、例示式 3 によって規定されるような N 個の周期関数に重みを付けて重ね合わせた 2D 励起プロフィールが得られる。

【0025】

【数 4】

$$\mu(x, y) = \sum_{n=1}^N b^{(n)}(x, y) \underbrace{\sum_{m=-\infty}^{+\infty} \varphi^{(n)}(x - m\Delta, y)}_{f^{(n)}(x, y)}$$

30

(例示の式 4)

例示式 4 において、表記 $\psi^{(n)}(\mathbf{x})$ 及び Δ はそれぞれ、 $\int W^{(n)}(\mathbf{k}) e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}} d\mathbf{k}$ と $1/\Delta_{k_x}$ を意味している。説明のために z 方向の依存性は排除してある。 k_x 方向での離散的サンプリングのために、 $f^{(n)}(\mathbf{x})$ は周期関数となり x 方向に主ローブとエイリアシングローブが生じる。

【0026】

各励起周期中において一例では、RF パルスの印加によって対象内に RF エネルギー消費が生じる。 ξ を 1 回の全励起周期中に対象に吸収される RF エネルギーの総量であるとすると、RF パルスサンプル間隔と整合した細分性で定量化したときに、 ξ は一例では次式で表現される。

【0027】

40

【数 5】

$$\xi = \sum_{p=0}^{P-1} \int \frac{1}{2} \sigma(\mathbf{x}) |\mathbf{E}(\mathbf{x}, p\Delta t)|^2 \Delta t d\mathbf{v}$$

上式において、 σ は組織伝導性を表しており、また p 、 Δt 及び P はそれぞれ、サンプル間隔指標、持続時間（例えば、 $2\mu\text{sec}$ ）及び総数を意味している。さらに適当な質量計測及び時間平均スケールファクタによる ξ の正規化によって一例では、例えばFDA（Food and Drug Administration）及びIEC（International Electrotechnical Commission）によるガイドラインの規定に従った頭部、胴体部、四肢あるいは全身で平均したSAR（比吸収率：身体内でのRFエネルギーの吸収割合の尺度）が提供される。SARは一例では、RFパワー預託、RFパワー消費、及び/またはRFパワー吸収に関連する。IECガイドラインに関する検討の一例は、I.60601-2-33（Medical Electrical Equipment - Part 2: Particular Requirements for the Safety of Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnosis. International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, P.O. Box 121, CH-1211, Geneva 20, Switzerland, 2nd Edition, 2002）に見られる。

【0028】

対象内部のRF磁場がその磁場を一括して駆動する並列RFパルスに対して線形に応答する場合、 ξ は一例ではさらに、RFパルスサンプルについて2次形式で表現することが可能である。

【0029】

【数 6】

$$\xi = \sum_{p=0}^{P-1} \mathbf{w}_p^* \Phi \mathbf{w}_p$$

（例示の式 5）

上式において、 Φ は正定値行列であり、またベクトル $\mathbf{w}_p = [\mathbf{w}_p^{(1)} \dots \mathbf{w}_p^{(N)}]$ は第 p 番目の間隔に関して N 個のコイルの全RFパルスサンプルを集合させたものである。2次形式関係及び/または所定の関係は一例では、送信コイルアレイが生成したRF励起プロファイルをターゲット励起プロファイルから大幅に逸脱させることなく撮像ボリューム全体にわたるRFパワー預託を低下させている少なくとも1つのRFパルスシーケンスの生成のための基準（basis）の役割をする。

【0030】

スピン励起プロファイル及びRFパワー吸収に対する上述の例示的な解析を用いて、対象内においてRFパワー吸収を確実に低くしながら所望の励起プロファイルを生成する並列RFパルスの設計を検討するための例示的な説明を進めることにする。このRFパルス設計問題及び/または最適化アルゴリズムは一例では、条件付き（constrained）最適化として定式化される。一例では、最適化アルゴリズムは関数の最小値並びに該最小値を実現するパラメータを決定している計算アルゴリズムを含む。別の例では、最適化アルゴリズムは、関数の最大値並びに該最大値を実現するパラメータを決定している計

算アルゴリズムを含む。

【 0 0 3 1 】

具体的には、F D A 及び I E C による S A R 規定に直接結びついた例示式 4 及び 5 で ξ によって表した総吸収 R F エネルギーを、例示的な最適化で最小化しようとする例示的な測定基準として利用している。ターゲット励起プロファイルを $\mu(x)$ とすると、例示式 3 は例示的なパルス設計制約条件を意味することになる。

【 0 0 3 2 】

例証を目的として、上述した 2 D の例を再び検討してみる。例示式 4 で特徴付けられるこの場合では、並列 R F パルスは、対応する B_1 プロフィールによって重み付けされかつ重ね合わされたときにターゲットプロファイルを合成させるような周期的パターンを誘導する。したがってこの制約条件は画素 $(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y)$ が次の形式であることを前提としている。

【 0 0 3 3 】

【 数 7 】

$$\underbrace{\begin{bmatrix} b^{(1)}(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y) & \dots & b^{(N)}(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y) \\ \vdots & & \vdots \\ b^{(1)}((p_1 + mL) \Delta_x, p_2 \Delta_y) & \dots & b^{(N)}((p_1 + mL) \Delta_x, p_2 \Delta_y) \\ \vdots & & \vdots \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}_{p_1, p_2}} \underbrace{\begin{bmatrix} f^{(1)}(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y) \\ \vdots \\ f^{(N)}(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y) \end{bmatrix}}_{\mathbf{f}_{p_1, p_2}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mu(p_1 \Delta_x, p_2 \Delta_y) \\ \vdots \\ \mu((p_1 + mL) \Delta_x, p_2 \Delta_y) \\ \vdots \end{bmatrix}}_{\boldsymbol{\mu}_{p_1, p_2}} \quad (20)$$

(例示の式 6)

この 2 D の例では、 $b^{(n)}$ 及び μ はそれぞれ、 B_1 磁場分布とターゲット励起プロフィールを意味している。 $f^{(n)}$ は、その周期が粗い k_x 方向サンプリングによって設定される $L \Delta_x$ であるような第 n 番目の R F パルスに関連する周期的パターンを意味している。

【 0 0 3 4 】

S A R 低減した並列励起パルスの設計は一例では、例示式 6 のタイプの例示の式の組を集合させることによって与えられる線形制約条件を受ける ξ の例示的な最小化を目的としている。ターゲットプロフィールの空間分解能要件と整合するように画素サイズを選択すると、 $f^{(n)}$ はフーリエ変換によって R F パルスの第 n 番目のサンプルに関係付けられる。当業者であれば理解するであろう P a r s e v a l の理論を用いると ξ は、 $f^{(n)}$ に関するサンプルの 2 次形式として記述することが可能であり、また最適化アルゴリズムは、視野域内部に各画素ごとに 1 つとした独立のより小さい最適化アルゴリズムの組み合わせとして等価的に示すことが可能である。

【 0 0 3 5 】

【 数 8 】

$$\text{minimize } \mathbf{f}_{p_1, p_2}^* \boldsymbol{\Phi} \mathbf{f}_{p_1, p_2} \quad \text{subject to } \mathbf{C}_{p_1, p_2} \mathbf{f}_{p_1, p_2} = \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_2}$$

(例示の式 7)

これらの下位アルゴリズムの各々は一例では、次式によって解かれる。

【 0 0 3 6 】

10

20

30

40

【数 9】

$$\mathbf{f}_{p_1, p_2} = \Phi^{-1} \mathbf{C}_{p_1, p_2}^* \left(\mathbf{C}_{p_1, p_2} \Phi^{-1} \mathbf{C}_{p_1, p_2}^* \right)^{-1} \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_2}$$

【0037】

【数 10】

$$\xi_{\min} = 1/P \sum \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_2}^* \left(\mathbf{C}_{p_1, p_2} \Phi^{-1} \mathbf{C}_{p_1, p_2}^* \right)^{-1} \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_2}$$

10

(例示の式 8)

一例では、例示式 7 及び 8 は送信コイルに対する少なくとも 1 つの実効 B 1 磁場マップに基づいてターゲット励起プロファイルに対する励起パルススキームを決定している計算アルゴリズムを用いて実現されている。

【0038】

RF パルスと SENSE 再構成の解法の間相反性を示す追加的な結果を導き出すことができる。SENSE 再構成に関する例示的な検討は、K. P. Pruessmann、M. Weiger、M. B. Scheidegger 及び P. Boesiger による「SENSE: sensitivity encoding for fast MRI」(Magn. Reson. Med., 42: 952~962, 1999) に提示されている。一例では SENSE SNR (信号対雑音比) と同様に、一例では SAR に対する並列励起高速化の影響は「結合させた (coupled)」画素 (すなわち、 $\mathbf{C}_{p_1, p_2}$ 行列の構成に関与する画素) からなる 1 つの集合について同時に調べられと共に、この影響がこの集合の SAR に対する寄与に関する高速化した場合と高速化しないその対照の場合との比を用いて記述される。

20

【0039】

【数 11】

30

$$\delta SAR^{accelerated} / \delta SAR^{unaccelerated} = g_t^2 R,$$

上式において、

【0040】

【数 12】

$$g_t = \left[\boldsymbol{\mu}_{p_1, p_1}^* \left(\mathbf{C}_{p_1, p_1} \Phi^{-1} \mathbf{C}_{p_1, p_1}^* \right)^{-1} \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_1} / \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_1}^* \left(\text{DIAG} \left(\mathbf{C}_{p_1, p_1} \Phi^{-1} \mathbf{C}_{p_1, p_1}^* \right) \right)^{-1} \boldsymbol{\mu}_{p_1, p_1} \right]^{1/2}$$

40

(例示の式 9)

例示式 9 において、DIAG は対角から外れた行列エントリーのすべてをゼロに設定する演算子である。高速化率 R の出現は、フリップ角を維持した状態での送信持続時間の短縮に関連する通常スケール変換を反映している。因子 g_t は高速化に関する追加的な影響を取り込んでいる。 g_t 因子は一例ではターゲットプロファイルに対して依存性を有するが、一般に考えられている例示的な結論は、分子の逆行列の最大固有値が常に分母の逆行列

50

のものと比べて大きいか等しいということであり、このことは最悪のケースではある種の S A R ペナルティがあり、かつ別のケースではペナルティの可能性があることが示唆される。例示式 9 は一例では、撮像ボリウム全体にわたる R F パワー預託の相対的低下を定量化する役割をする。

【 0 0 4 1 】

例示的なシミュレーション研究によって、比較可能な励起プロフィールを生成する際に、記載した R F パルス設計による並列励起は S A R に関する成績が従来のボリウムコイル励起を大幅に上回る傾向があることが確認されている。例示的な別のシミュレーション研究は、8 素子送信アレイの内部にある 2 4 c m 直径の均一な円筒状物体に関して例示式 8 に基づいて計算した 2 D パルスを用いている並列励起を目的としたものである。例えば 10 図 4 は、例示的な第 1 の 8 素子送信アレイの内部にある円筒状物体に対する例示的な並列励起 ($R = 6$ による励起) を表している。この中心部分には、2 8 c m 直径のシェル上にアジマス方向に分散させたアレイの 8 つの下側に重ねた素子 4 0 1、4 0 2、4 0 3、4 0 4、4 0 5、4 0 6、4 0 7 及び 4 0 8、並びにこれにより得られた平坦な励起プロファイル 20 を例示的に図示している。周囲にあるプロファイルは、これらの素子を別々に駆動した場合のこれら素子からの例示的な励起プロファイルである。別の高速化率をもつ平坦なターゲットプロファイルを実現するための 2 D パルスも例示式 8 に基づいて計算してこのシミュレーション研究で使用した。すべての場合において、(g_t 因子の空間分布を示すように「結合させた」画素の各集合ごとに 1 つの g_t 値とした) 対応する g_t マップを 20 例示式 9 に基づいて計算した。この例示的な研究は、全体の幾何学構成は同じであるが素子をより幅広くして重ね合わせるようにした例示的な第 2 の送信アレイに関して繰り返した。

【 0 0 4 2 】

図 5 は、並列送信に付随する R F パワー預託の例示的特性の図である。図 5 は、図 4 に示したアレイを用いた $R = 4$ 及び $R = 6$ のそれぞれにおける g_t マップ 5 0 2 及び 5 0 4 を表している。図 5 にはさらに、例示的な第 2 の 8 素子送信アレイを用いた $R = 4$ 及び $R = 6$ のそれぞれにおける g_t マップ 5 0 6 及び 5 0 8 を表している。例示的なスケールバ 30 ー 5 1 0 (例えば、カラースケールバーまたはグレイスケールバー) をレファレンスとすることがある。第 1 のアレイに関する $R = 1$ 、4 及び 6 における正規化 ξ_{min} / R はそれぞれ、1、0 . 8 5 及び 1 . 0 1 であった。第 2 のアレイに関する $R = 1$ 、4、及び 6 における対応する ξ_{min} / R 値はそれぞれ、0 . 9 7、0 . 9 1 及び 1 . 2 0 であった。30 ξ_{min} / R に関して、例示的な第 1 のアレイは高速化式の場合における成績が $R = 1$ では若干下回ったのを除けば例示的な第 2 のアレイより優っていた。この 2 つの例示的なアレイは $R = 1$ よりも $R = 4$ においてより良好な成績を示した。

【 0 0 4 3 】

一例として「結合させた」画素間の雑音相関が知覚される S N R に影響を及ぼさないような S E N S E 再構成の場合と異なり、一例として並列励起では総消費 R F エネルギーは一般に (B_1 プロフィール制御式及び傾斜軌道制御式の) 「画素結合」による影響を受ける。所与のターゲットプロファイルについて、これがいずれかの方向で S A R を変化させることがある。並列励起パルスの例示的な最適化は一例では、高い S A R 効率を実現させる 40 役割をする。

【 0 0 4 4 】

例示的な一方式では、設計される R F パルスは、同期して繰り出される適当な傾斜変化に付随して励起が完了した際に所望の励起プロフィールを生成する合成 B_1 磁場の空間的変動と時間的変動の両方を誘導するように合成され、増幅され、かつ対応する送信素子に並列に供給される。このことは、 B_1 磁場の時間的変動だけを操作するためにコイル幾何学構成並びに駆動ポート位相 / 規模ターゲット B_1 磁場の空間的均一性のオフセットの設計、並びに励起中に繰り出される R F パルスが制約をうけているような従来の方式と対照 50 的である。励起のために B_1 の適当な時空的変動を誘導することは R F 励起性能に対して重大な問題を引き起こすことは当業者であれば理解されよう。すなわち、並列励起は、所

望の励起プロフィールを生成する確度を大幅に犠牲にすることなく励起の高速化及び／またはSARの制御に対応している。

【0045】

まとめると、送信素子を駆動するRFパルスは最適化アルゴリズムを用いて計算することが可能であり、k空間サンプリング密度低減の手段によって多次元励起を高速化する能力はエイリアシングロープの抑制にかかっていると共に適当に設計された駆動RFパルス（空間周波数領域重み）によって実現でき、また駆動RFパルス波形の2次関数を最小化することによってSAR管理を実現することが可能であり、これによって生じるRFパワー預託を最小にした電場Eを誘導しながら所望の励起プロフィール及び／または高速化を実現するようにRFパルスを協調させる方法が追求される。

10

【0046】

例示的な用途の観点からすると、目下の並列励起方式が特に利用可能であるようなエリアの1つは高速イメージングである。例えば関心対象の解剖構造が局所領域内に限定されているような例示的状况下では、その領域に「スポットライトを当てた」多次元励起が、信号収集にかかる空間エンコードの負担軽減によって撮像の高速化を可能にする。従来の励起と比べて例示的な改善を示すことによって、数倍短縮させた並列励起によって、例えば従来では多次元パルスの実際の利用の障害となっていた時間コストの障壁を打破する一方で撮像ボリューム規定／ステアリングが支援される。並列収集方式の使用と比較して、並列励起方式に基づいた集束式イメージングは幾何学的因子によって記述される特有のSNR劣化を受けない。この2つの方式を組み合わせる使用することが可能であり、これによればスキャン時間短縮のためのさらに大きな能力を提供することができる。記述した例示的な実験は2D位置特定に焦点を当てているが、並列励起方式は磁場不完全性が誘導する影響や非フーリエ空間エンコードに関する補正を含む例示的なユーティリティを用いることによって一般的な2D励起プロフィールの生成及び高速化に適用される。例示的な方式は3D収集に適用可能である。

20

【0047】

高磁場イメージングでは、一例では励起プロフィールの管理及びRFパワー預託の調節の両方の目的で、送信システム並びに駆動方式及び／または構成を使用することができる。励起パルス及び送信コイルの扱いの一体化を実現することによって、例示的な方式は励起プロフィール制御を容易にしている。分散式の並列システム、励起の高速化、及びSARの管理を用いた送信によってさらに、大きい磁場強度におけるパワー預託に対する解決法が提供される。

30

【0048】

したがって一実施形態では本発明は、コンピュータ読み取り可能記憶媒体上に保存されており、かつコンピュータによって実行させたときに該コンピュータに対して、送信コイルアレイの各送信コイルに関する B_1 磁場マップを収集する工程と、所望の励起プロフィールを実現するためにこの B_1 磁場マップから励起パルススキームを決定する工程と、を実行させる命令を有するコンピュータ・プログラムの形で具現化される。このコンピュータに対してはさらに、撮像中のRFパワー預託を低下させるようにそれぞれの各送信コイルに合わせて調整したRFパルスシーケンスを生成させている。

40

【0049】

別の態様では、本発明はMRシステムを備えたMR装置を含む。このMRシステムは、偏向磁場を印加するためのマグネットと、磁場傾斜を印加するようにマグネットのボアの周りに位置決めされた複数の傾斜コイルと、RFコイル・アセンブリにRF信号を送信しMR画像を収集するようにパルスモジュールによって制御を受けるRF送受信器システム及びRFスイッチと、を有する。複数の送信コイルを有する送信コイルアレイも開示している。本装置はさらに、複数の送信コイルに対する独立の制御を介してMR撮像中の対象へのRFパワー預託(SAR)を調節するようにプログラムされたコンピュータを含む。

【0050】

本発明の別の態様では、MR撮像の方法は、対象内部で関心領域を決定する工程と、対

50

象に対する R F パワー 預託が低下するように送信コイルアレイの複数の独立の送信コイルによって R F 励起を制御する工程と、を含む。

【 0 0 5 1 】

対応する R F パルス合成器及び増幅器を伴った複数の送信コイルからなるシステムを開示する。さらに、撮像ボリューム全体にわたる R F パワー 預託を動的に制御するために各送信コイルに特異的な R F パルスを設計する方法も開示しており、この方法によれば、送信コイルによる並列励起による対象に対する R F パワー 預託の管理を可能にさせる一方で所望の励起プロファイルの忠実な生成が容易になる。本発明はさらに、スキャン時間の短縮を支援すると共に、任意のコイルアレイ幾何学構成に適用可能である。

【 0 0 5 2 】

コンピュータ読み取り可能記憶媒体 2 8 は一例では、M R 撮像中にコンピュータ 2 0 によって実行させたときにコンピュータ 2 0 に対して次の処理を実行させる命令の組を表したコンピュータ・プログラムをその上に保存して備えている。並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 の各送信コイル 7 2 ごとに 1 つの B 1 磁場マップが収集される。並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 は、任意の並列式 R F 送信コイルアレイ幾何学構成を有することが可能である。計算アルゴリズムを用いて、並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 の複数の送信コイル 7 2 に関する少なくとも 1 つの実効 B 1 磁場マップに基づいて、ターゲット励起プロファイルに関する励起パルススキームが決定される。各実効 B 1 磁場マップは、ある送信コイル 7 2 と少なくとも別の 1 つの送信コイル 7 2 との間に存在する誘導性結合効果を反映している。並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 の複数の送信コイル 7 2 のそれぞれの送信コイル 7 2 ごとに少なくとも 1 つの S A R 低減した R F パルスシーケンスが生成される。

10

20

【 0 0 5 3 】

M R 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 2 0 に対して R F パルスと R F パワー 預託の間の 2 次形式関係に基づいて少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスを生成させている。この少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスは、並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 が生成させる R F 励起プロファイルをターゲット励起プロファイルから大幅に逸脱させることなく、撮像ボリューム全体にわたって R F パワー 預託を最小化している。

【 0 0 5 4 】

M R 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 2 0 に対して、最適化アルゴリズムに基づくと共に、送信コイル 7 2 に関する少なくとも 1 つの実効 B 1 磁場マップ及び R F パルスと R F パワー 預託の間の 2 次形式関係を入力として使用することによって少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスを生成させている。

30

【 0 0 5 5 】

M R 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 2 0 に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル 7 2 に関する少なくとも 1 つの実効 B 1 磁場マップ、R F パルスと R F パワー 預託の間の 2 次形式関係、及び傾斜パルスシーケンスを入力として用いることに基づいて、少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスを生成させている。

【 0 0 5 6 】

M R 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 2 0 に対して、最適化アルゴリズムを行列逆変換公式を用いて解くこと、並びに送信コイル 7 2 に関する少なくとも 1 つの実効 B 1 磁場マップ、R F パルスと R F パワー 預託の間の 2 次形式関係、及び傾斜パルスシーケンスを入力として用いることに基づいて、少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスを生成させている。

40

【 0 0 5 7 】

M R 撮像中の命令組は一例ではコンピュータ 2 0 に対して、R F パルスと R F パワー 預託の間の所定の関係に基づいて少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスを生成させている。この少なくとも 1 つの S A R 低減 R F パルスシーケンスは、並列 R F 送信コイルアレイ 7 0 が生成させる R F 励起プロファイルをターゲット励起プロファイルから大幅に逸脱させることなく、撮像ボリューム全体にわたってパワー 預託を最小化している。

50

【 0 0 5 8 】

MR 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 20 に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル 72 に関する少なくとも 1 つの実効 B1 磁場マップ、及び RF パルスと RF パワー預託の間の所定の関係を入力として用いることに基づいて、少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させている。

【 0 0 5 9 】

MR 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 20 に対して、最適化アルゴリズムを解くこと、並びに送信コイル 72 に関する少なくとも 1 つの実効 B1 磁場マップ、RF パルスと RF パワー預託の間の所定の関係、及び傾斜パルスシーケンスを入力として用いることに基づいて、少なくとも 1 つの SAR 低減 RF パルスシーケンスを生成させている。

10

【 0 0 6 0 】

MR 撮像中の命令組は一例では、コンピュータ 20 に対して、撮像ボリューム全体にわたる RF パワー預託の相対的低下を予測させている。

【 0 0 6 1 】

MR 装置 10 は一例では、MR システム及びコンピュータ 20 を備える。この MR システムは、偏向磁場を印加するマグネット 54 と、磁場傾斜を誘導するようにマグネット 54 のボアの周りに位置決めされた複数の傾斜コイル 72 と、複数の送信コイル 72 を有する並列 RF 送信コイルアレイ 70 と、RF パルスを送信し MR 画像を収集するための RF 送受信器システム 58 及び RF スイッチ 62 と、を備える。RF スイッチ 62 はパルスモジュール 38 によって制御される。コンピュータ 20 は、並列 RF 送信コイルアレイ 70 の複数の送信コイル 72 の各送信コイル 72 に関する RF パルス波形を、RF パルス長が管理されかつ起こりうる励起プロフィール・サイドローブが低減されるように設計すること、並びに MR 撮像中に RF パルスシーケンス最適化アルゴリズムに基づいて並列 RF 送信コイルアレイ 70 の複数の送信コイル 72 に対する独立の制御を介して SAR を調節することを実行するようにプログラムされている。

20

【 0 0 6 2 】

本明細書に記載した工程または動作は一例である。本発明の精神を逸脱することなくこうした工程または動作に対する変更形態を存在させ得る。例えばその工程を異なる順序で実施することや、工程の追加、削除または修正が可能である。

【 0 0 6 3 】

本発明を好ましい実施形態に関して記載してきたが、明示的に記述した以外に等価、代替及び修正が可能であり、これらも添付の特許請求の範囲の域内にあることを理解されたい。また、図面の符号に対応する特許請求の範囲中の符号は、単に本願発明の理解をより容易にするために用いられているものであり、本願発明の範囲を狭める意図で用いられたものではない。そして、本願の特許請求の範囲に記載した事項は、明細書に組み込まれ、明細書の記載事項の一部となる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 4 】

【 図 1 】 本発明と一緒に使用するための MR 撮像システムのブロック概要図である。

【 図 2 】 本発明の一態様による線形送信コイルアレイ・アセンブリを表したブロック図である。

40

【 図 3 】 本発明の別の態様によるラップアラウンド型の送信コイルアレイ・アセンブリを表したブロック図である。

【 図 4 】 例示的な送信アレイの内部にある例示的な円筒状物体に関する例示的な並列励起を表した図である。

【 図 5 】 並列送信に付随する RF パワー預託の例示的特性を表した図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 5 】

10 好ましい磁気共鳴 (MR) システム

12 オペレータ・コンソール

50

1 3	キーボードその他の入力デバイス	
1 4	制御パネル	
1 6	表示画面	
1 8	リンク	
2 0	単独のコンピュータ・システム	
2 2	画像プロセッサ・モジュール	
2 4	C P Uモジュール	
2 6	メモリモジュール	
2 8	ディスク記憶装置	
3 0	テープ駆動装置	10
3 2	単独のシステム制御部	
3 4	高速シリアルリンク	
3 6	C P Uモジュール	
3 8	パルス発生器モジュール	
4 0	シリアルリンク	
4 2	傾斜増幅器組	
4 4	生理学的収集制御器	
4 6	スキャン室インタフェース回路	
4 8	患者位置決めシステム	
5 0	傾斜コイル・アセンブリの全体	20
5 2	マグネット・アセンブリ	
5 4	偏向用マグネット	
5 6	全身用 R F コイル	
5 8	送受信器モジュール	
6 0	R F 増幅器	
6 2	送信 / 受信スイッチ	
6 4	前置増幅器	
6 6	メモリモジュール	
6 8	アレイプロセッサ	
7 0	送信コイルアレイ・アセンブリ	30
7 2	複数の R F コイルまたは素子	
7 4	複数の R F 増幅器	
7 6	励起ボリューム	
7 8	対象	
3 2 a	バックプレーン	
4 0 1	下側に重ねた素子	
4 0 2	下側に重ねた素子	
4 0 3	下側に重ねた素子	
4 0 4	下側に重ねた素子	
4 0 5	下側に重ねた素子	40
4 0 6	下側に重ねた素子	
4 0 7	下側に重ねた素子	
4 0 8	下側に重ねた素子	
5 0 2	g t マップ	
5 0 4	g t マップ	
5 0 6	g t マップ	
5 0 8	g t マップ	
5 1 0	例示的なスケールバー	

【図 1】

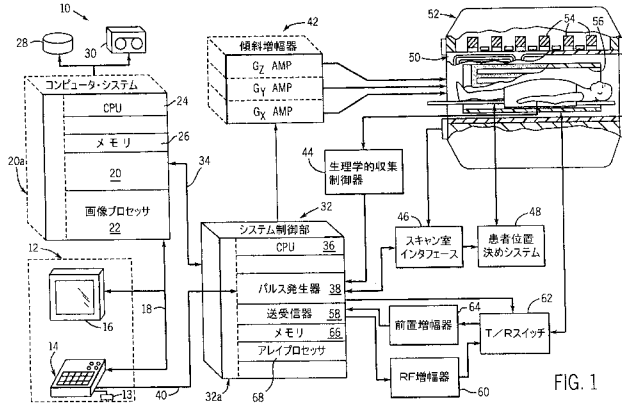


FIG. 1

【図 2】

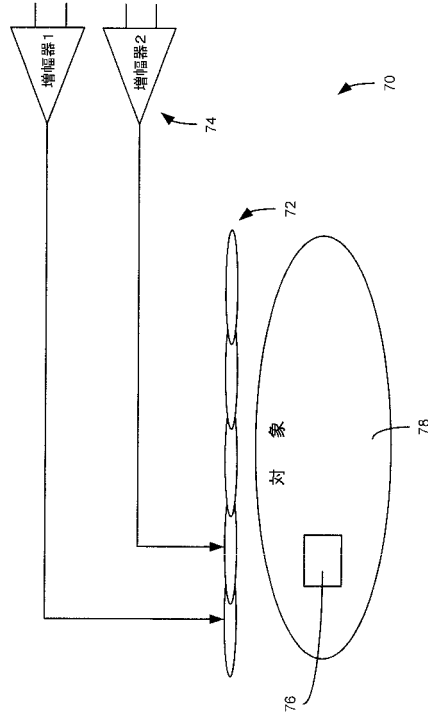


FIG. 2

【図 3】

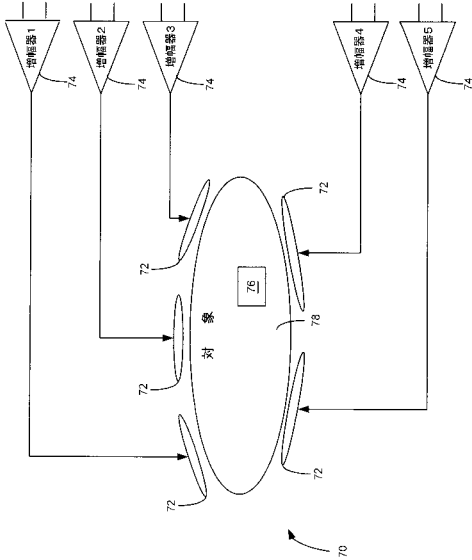


FIG. 3

【図 4】

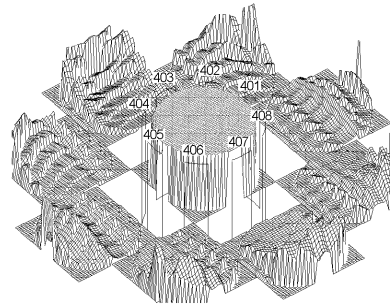


FIG. 4

【図 5】

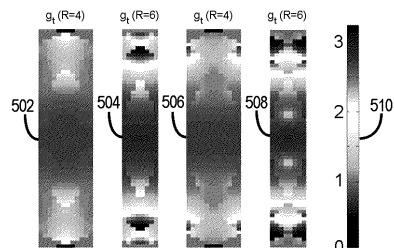


FIG. 5

フロントページの続き

(72)発明者 ユードン・ズ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、アパートメント・ジー、ホーランド
・レーン、 3 1 番

F ターム(参考) 4C096 AB34 AB39 AB46 AD06 AD07 AD10 BA41 BA42 BB03 BB10
BB32 CC01 CC06 FB01