

(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2010-51804

(P2010-51804A)

(43) 公開日 平成22年3月11日 (2010.3.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 3 1 1	4 C 0 9 6
G 0 1 R 33/48 (2006.01)	G 0 1 N 24/08 5 1 0 Y	

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 60 頁)

(21) 出願番号 特願2009-198798 (P2009-198798) (22) 出願日 平成21年8月28日 (2009.8.28) (31) 優先権主張番号 10 2008 044 828.1 (32) 優先日 平成20年8月28日 (2008.8.28) (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)	(71) 出願人 390039413 シーメンス アクチエンゲゼルシャフト Siemens Aktiengesellschaft ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン ヴィッテルスバッハープラッツ 2 Wittelsbacherplatz 2, D-80333 Muenchen, Germany (74) 代理人 100075166 弁理士 山口 巖 (74) 代理人 100133167 弁理士 山本 浩
--	---

最終頁に続く

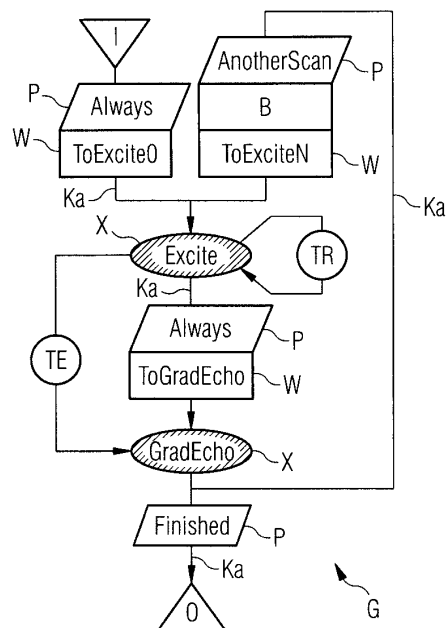
(54) 【発明の名称】 測定シーケンスを形式的に記述して測定シーケンスのプログラミングを自動化するための磁気共鳴シーケンスモデル

(57) 【要約】

【課題】測定シーケンスを自動的に、MRスキャナで測定シーケンスが実行可能であるような態様にする。

【解決手段】磁気共鳴スキャナ(4)で実行する測定シーケンス(100)を形式的に記述するために、有向グラフ(G)として表現可能なシーケンスモデルが構成され、このシーケンスモデルがワークブロック(W)、Xブロック(X)、休止(B)の群から成るブロックに基づいており、有向グラフ(G)が少なくとも、Xブロック(X)、入口点(I)および出口点(O)から成る群で形成されたノードと、エッジ(Ka)と、有向グラフ(G)を経過制御するためのエッジ(Ka)の性質とを含み、決定されるべき多数のパラメータに至るまで測定シーケンスが有向グラフ(G)から自動的にパラメータ化可能である。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気共鳴スキャナ（４）で実行する測定シーケンス（１００）を形式的に記述する方法であって、本方法が有向グラフ（Ｇ）として表現可能なシーケンスモデルで構成されており、

シーケンスモデルがワーブブロック（Ｗ）、Ｘブロック（Ｘ）、休止（Ｂ）の群から成るブロックに基づいており、

有向グラフ（Ｇ）が少なくとも

Ｘブロック（Ｘ）、入口点（Ｉ）および出口点（Ｏ）から成る群で形成されたノードと

、

エッジ（Ｋａ）と、

有向グラフ（Ｇ）を経過制御するためのエッジ（Ｋａ）の性質とを含み、

決定されるべき複数のパラメータ（１１００）に至るまで測定シーケンス（１００）が有向グラフ（Ｇ）から自動的にパラメータ化可能である

測定シーケンスを形式的に記述する方法。

【請求項 2】

経過制御するためのエッジ（Ｋａ）の性質が、

・ワーブブロック（Ｗ）、

・時間測定、

・休止（Ｂ）、

・パスコントロール（Ｐ）

から成る群によって与えられている請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

ノード間のエッジ（Ｋａ）が、

入口点（Ｉ）からパスコントロール（Ｐ）を介してワーブブロック（Ｗ）およびそこからＸブロック（Ｘ）に至る移行部と、

Ｘブロック（Ｘ）からパスコントロール（Ｐ）を介して出口点（Ｏ）に至る移行部と、

Ｘブロック（Ｘ）からパスコントロール（Ｐ）を介してワーブブロック（Ｗ）およびそこからＸブロック（Ｘ）に至る移行部と、

Ｘブロック（Ｘ）からパスコントロール（Ｐ）および休止（Ｂ）を介してワーブブロック（Ｗ）およびそこからＸブロック（Ｘ）に至る移行部と、

Ｘブロックから時間測定を介してＸブロック（Ｘ）に至る移行部と

から成る群によって与えられている請求項 1 又は 2 記載の方法。

【請求項 4】

各Ｘブロック（Ｘ）が受信型（ＥＴ）および／または送信型（ＳＴ）のタイムスライスを表す請求項 1 ないし 3 の 1 つに記載の方法。

【請求項 5】

送信型（ＳＴ）のＸブロック（Ｘ）が反転パルス、励起パルス、リフォーカスパルスまたは混合態様のいずれかを表す請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

有向グラフ（Ｇ）の内部でパスコントロール（Ｐ）の常時 1 つのみを満たしておくことができる請求項 2 ないし 5 の 1 つに記載の方法。

【請求項 7】

各時間測定が、

1 つのＸブロック（Ｘ）の持続時間と、

第 2 Ｘブロック（Ｘ）の中心間で測定されるシーケンス時間と、

1 つの測定シーケンス（１００）の内部で各第 1 Ｘブロック（Ｘ）の中心の時点としてのシーケンス開始時間（Ｔ．３０）と

から成る群のうちの 1 要素である請求項 2 ないし 6 の 1 つに記載の方法。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

さらに、
 有向グラフ (G) の各ブロック (X) についてインデックスを求めるステップと、
 有向グラフ (G) から各ワーブブロック (W) および各 X ブロック (X) について変数
 を求めるステップと、
 有向グラフ (G) から送信型 (ST) および / または受信型 (ET) の各 X ブロック (X) の各中心について零次の傾斜モーメントを求めるステップと
 を含む請求項 1 ないし 7 の 1 つに記載の方法。

【請求項 9】

さらに、有向グラフ (G) からシーケンス方程式を求めるステップを含む請求項 1 ないし 8 の 1 つに記載の方法。

10

【請求項 10】

さらに、有向グラフ (G) から、信型 (ST) および / または受信型 (ET) の各 X ブロック (X) について、励起パルス、リフォーカスパルス、励起パルスおよびリフォーカスパルスからなる混合パルス、反転パルスのうちの少なくとも 1 つパルスの列としてエコー発生パスを求めるステップを含む請求項 1 ないし 9 の 1 つに記載の方法。

【請求項 11】

さらに、有向グラフ (G) から送信型 (ST) および / または受信型 (ET) の各 X ブロック (X) の各中心について一次の傾斜モーメントを求め、これにより測定シーケンス (100) 内でフロー補償および / またはフローエンコーディングが印加可能であるステップを含む請求項 1 ないし 10 の 1 つに記載の方法。

20

【請求項 12】

さらに、有向グラフ (G) から送信型 (ST) および / または受信型 (ET) の各 X ブロックについて拡散重みを求めるステップを含む請求項 1 ないし 11 の 1 つに記載の方法。

【請求項 13】

さらに、有向グラフ (G) から送信型 (ST) および / または受信型 (ET) の各 X ブロック (X) のそれぞれ 1 つの中心について高次の傾斜モーメントを求めるステップを含む請求項 1 ないし 12 の 1 つに記載の方法。

【請求項 14】

さらに、
 1 つの測定シーケンス (100) の内部でサブシーケンス (101) を求め、
 求められたサブシーケンス (101) の内部で分割できないスーパーブロック (102) を識別し、分割できないスーパーブロック (102) が有向グラフ (G) の内部でシーケンス時間を介して結合されている請求項 1 ないし 13 の 1 つに記載の方法。

30

【請求項 15】

請求項 1 ないし 14 の 1 つに記載された測定シーケンス (100) を形式的に記述する方法に従ってパラメータ化されかつ有向グラフ (G) として存在するシーケンスモデルに基づいて磁気共鳴スキャナ (4) で実行する測定シーケンス (100) を自動的に作成する方法であって、パラメータ化が、決定されるべき複数のパラメータ (1100) を含むものにおいて、

40

磁気共鳴スキャナ (4) で測定シーケンス (100) を実行するために満たされねばならない境界条件 (2500) が用意されるステップと、

各ワーブブロック (W) および / または各 X ブロック (X) についてのタイミング値 (T, i) と、決定されるべき複数のパラメータ (1100) 用の許容値とが、ソルバー (2000) によって、境界条件 (2500) を考慮して求められるステップと、

測定シーケンス (100) の形式記述が、磁気共鳴スキャナ (4) で実行可能なタイムスライスの列に自動的に変換されるステップと
 を含む測定シーケンスの自動作成方法。

【請求項 16】

さらに測定シーケンスをインターリーブ実行するために、

50

複数の測定シーケンスを用意するステップと、

複数の測定シーケンスのうち休止（B）を含む各第1つの測定シーケンスの内部で少なくとも1つのサブシーケンス（101）を識別するステップと、

各第1つの測定シーケンスの休止（B）中に、求められたサブシーケンスの少なくとも1つを重なりなしに実行できるように、複数の測定シーケンスのうちそれぞれ別の測定シーケンスからサブシーケンスを求めるステップとを含む請求項15記載の方法。

【請求項17】

境界条件（2500）が、

コントラスト設定と、

画像分解能設定と、

少なくとも1つの断層用の位置設定と、

ハードウェア制約と、

測定時間の最小化と、

患者安全設定と

を含む群のうちの少なくとも1つの要素である請求項15又は16記載の方法。

【請求項18】

形式的な記述を自動変換するステップがプログラム言語への変換を含み、測定シーケンス（100）が磁気共鳴スキャナ（4）でおよび／またはMRスキャナ（4）に接続された制御ユニット（45）で実行可能である請求項15ないし17の1つに記載の方法。

【請求項19】

磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を形式的に記述する装置であって、この装置が、

ワープブロック（W）、Xブロック（X）、休止（B）の群から成るブロックに基づくシーケンスモデルを受け取るシーケンスモデルインタフェースと、

シーケンスモデルに基づいて測定シーケンス（100）を有向グラフ（G）として表現するモニタ（205）とを含み、

有向グラフ（G）が少なくとも、

Xブロック（X）、入口点（I）および出口点（O）から成る群で形成されたノードと

、

エッジ（Ka）と、

有向グラフ（G）を経過制御するためのエッジ（Ka）の性質とを含み、

装置がさらに、シーケンスモデルから出発して、決定されるべき複数のパラメータ（1100）に至るまで有向グラフ（G）から測定シーケンス（100）を自動的にパラメータ化するパラメータ化モジュール（1005）を含む

測定シーケンスを形式的に記述する装置。

【請求項20】

磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を自動的に作成する装置であって、この装置が：

1つのシーケンスモデルから出発して請求項19記載の磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を形式的に記述する装置によって作成される有向グラフ（G）を受け取るグラフ受入インタフェース（910）と、

測定シーケンス（100）の実行時に選択的に満たされねばならない予め定められた境界条件（2500）を受け取る境界条件インタフェースモジュール（915）と、

境界条件（2500）を考慮して選択的に各ワープブロック（W）および／または各Xブロック（X）についてタイミング値（T_i）を求め、かつ決定されるべき複数のパラメータ（1100）についての許容値を求めるソルバー（2000）と、

磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）の形式的な記述を、磁気共鳴スキャナ（4）で実行可能なタイムスライスの列に自動的に変換する変換モジュール（990）と

を含む測定シーケンスの自動作成装置。

10

20

30

40

50

【請求項 21】

装置がさらに：

有向グラフ（G）から各 X ブロック（X）についてインデックスを求めるインデキシングモジュール、

各ワーブブロック（W）についておよび / または各 X ブロック（X）について有向グラフ（G）から変数を決定する変数モジュール、

有向グラフ（G）からシーケンス方程式を求めるシーケンス方程式モジュール、

有向グラフ（G）から送信型（ST）および / または受信型（ET）の各 X ブロック（X）についてエコー発生パスを、励起パルス、リフォーカスパルス、励起パルスおよびリフォーカスパルスからなる混合パルス、反転パルスのうちの少なくとも 1 つパルスの列として決定するエコー経路モジュール、

10

有向グラフ（G）から送信型（ST）および / または受信型（ET）の各 X ブロック（X）の各中心について零次の傾斜モーメント、一次の傾斜モーメントおよび高次の傾斜モーメントのうちの少なくとも 1 つの傾斜モーメントを決定する傾斜モーメントモジュール

、
有向グラフ（G）から送信型（ST）および / または受信型（ET）の各 X ブロックについて拡散重みを求める拡散重みモジュール、

インターリーブ実行されるべき複数の測定シーケンスを受け取るインターリーブモジュール、

複数の測定シーケンスのうち休止（B）を含む各第 1 つの測定シーケンスの内部で少なくとも 1 つのサブシーケンス（101）を識別するサブシーケンス決定モジュール、

20

各第 1 つの測定シーケンスの休止（B）中に、求められたサブシーケンスの少なくとも 1 つを重なりなしに実行できるように、複数の測定シーケンスのうちそれぞれ別の測定シーケンスからサブシーケンスを求めるサブシーケンス算出モジュール、

のうちの少なくとも 1 つのモジュールを含む請求項 20 記載の装置。

【請求項 22】

磁気共鳴スキャナ（4）に接続された演算ユニットおよび / または磁気共鳴スキャナでプログラムが実行されるとき、請求項 1 ないし 14 の 1 つに記載された磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を形式的に記述する方法、および / または請求項 15 ないし 18 の 1 つに記載された磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を自動的に作成する方法を実現するコンピュータプログラム製品。

30

【請求項 23】

磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を自動的に作成するシステムであって、このシステムが、

測定シーケンス（100）を実行することのできる磁気共鳴スキャナ（4）と、

磁気共鳴スキャナ（4）のユーザと対話するためのユーザインタフェース（3000）と、

請求項 19 に記載された磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を形式的に記述する装置と、

請求項 20 または 21 に記載された磁気共鳴スキャナ（4）で実行する測定シーケンス（100）を自動的に作成する装置とを含むシステム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気共鳴用測定シーケンスのプログラミング分野に関する。本発明は特に磁気共鳴シーケンスモデルを用いた測定シーケンスの形式記述を提案し、これにより磁気共鳴用測定シーケンスのプログラミングは大幅に自動化することができる。

【背景技術】

【0002】

50

磁気共鳴スキャナ、簡単にMRスキャナは、または核スピン断層撮影装置も、今日では患者を検査するための臨床ルーチンの確固たる構成要素である。MRスキャナはさらに、動物および/または生物試料の検査にも使用することができる。

【0003】

測定シーケンスはMRスキャナの制御に必要である。

【0004】

MRスキャナ内でMR画像を作成するには高周波励起、HF励起と、スピン、空間エンコーディングとスピン共鳴応答の検出との間に厳密な時間的経過が必要である。励起、作成および検出の時間的経過はパルスシーケンスもしくは測定シーケンスと呼ばれる。個々の測定シーケンス部分はその目的に従って区分することができる。この区分はタイムスライスと称される。つまり1つのタイムスライスは、測定シーケンスの内部で特定目的、例えば核スピンの励起に役立つ確定された時間部分である。タイムスライスはMRスキャナ用制御命令を含む。タイムスライスは、MRスキャナが何をどの時点で行なうのかを正確に確定する。タイムスライスの1系列は、MRスキャナを制御するためのあらゆる命令およびそれらの時間的関連を含むので、MRスキャナで実行することができる。選択的に、MRスキャナに結合された制御ユニットでもタイムスライスの実行が可能である。

【0005】

1つの測定シーケンスはタイムスライスの1系列としてMRスキャナで実行することができる。MRスキャナで実行する測定シーケンスの内部でタイムスライスはスムーズに、すなわち空隙なしに互いに続いている。タイムスライスのそれぞれが特定の長さを有し、パルス形状を有する少なくとも1つのパルスが各タイムスライスに割り当てられている。高周波出力を送信するための送信型と核スピンの共鳴応答を検出するための受信型と核スピンを調整するためのワープ型の群から成る1つの型を各タイムスライスに割り当てることができる。送信型のタイムスライスは、いわゆる励起パルスとして核スピンを励起するのに使用され、核スピンのリフォーカスに使用され、励起にもリフォーカスにも役立つ混合態様でも使用される。さらに、高周波エネルギーを送信するタイムスライスおよび/または高周波信号を受信するタイムスライスがある。さらに、核磁化を反転させるための高周波パルス、いわゆる反転パルスが知られている。

【0006】

異なるアプリケーション用に数多くの測定シーケンスが長年にわたって開発された。例えば、1つの測定シーケンスを選択することによって1つの画像のコントラストに決定的影響を及ぼすことが可能である。例えば高周波励起パルス、傾斜パルス、待機時間、等によるスピンシステムの作成は、得られるMR画像の品質および性質に決定的影響を有する。

【0007】

MRスキャナで実行する測定シーケンスは、臨床ルーチンにおいて代表的には、敏感な時間的関連で重なり合った 10^6 の異なるタイムスライスから成る。測定シーケンスの開発はMR物理学の独自分野へと発展した。

【0008】

MRスキャナで実行する測定シーケンスは従来、シーケンスプログラマによって提供された。これは公知のプログラム言語の1つで、一般にC++で行われ、タイムスライスのすべての性質および時間的経過を記述する。すなわち、完全にパラメータ化しかつMRスキャナで実行するために許容できるパラメータ値で設けるために、測定シーケンスは従来手動で作成された。

【0009】

このように多くのパラメータの管理は煩雑でエラーを生じ易い。シーケンスプログラミングにおけるプログラマのエラーは、例えば、所要のパラメータを1つの値が占めていないことから患者のMR検査がMRスキャナおよび/または監視モジュールによって中断されることを生じることがある。MR画像を得ることができるよう個々のパラメータの間には包括的な例えば時間的関連が存在する。これらの関連が守られないと、希望するMR

10

20

30

40

50

画像は得られない。これらの包括的関連をシーケンスプログラマによって点検することはきわめて時間を要し、エラーを生じ易い。

【 0 0 1 0 】

それに加えて、MRスキャナで実行するための新たな測定シーケンスを開発しなければならない場合、希望するMR画像を作成する許容パラメータセットを発見することが手間のかかるプロセスである。多くの反復ステップにおいてMRスキャナのユーザおよび／またはプログラマは、パラメータセットが全体として互いに調整された許容値を含むことになり、MRスキャナで測定シーケンスが実行可能となるまで、個々のパラメータを変更しなければならない。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

それゆえに、測定シーケンスを極力簡潔かつ包括的に記述したいとの要望がある。つまり測定シーケンス仕様が求められている。同時に、このような簡潔な記述は新たな測定シーケンスを作成するためのプログラマの自由度を制約してはならない。

【 0 0 1 2 】

さらに、測定シーケンスを自動的に、MRスキャナで測定シーケンスが実行可能であるような態様とすることへの要望がある。これは、実際のMRスキャナにとって、測定シーケンス仕様がMRスキャナで実行可能なタイムスライスの列に自動的に変換されることを意味することがある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

本発明の課題は各独立請求項によって解決される。

【 0 0 1 4 】

本発明はまず、測定シーケンスを形式記述もしくは形式化記述する方法を提案する。形式記述を作成するシーケンスモデルが提案される。提案されたシーケンスモデルは、ごく簡潔な測定シーケンス仕様を、形式化記述の態様で明示することを可能とする。さらに、測定シーケンスのこの形式記述はシステムに左右されない。すなわち、形式記述において肝要なのは、測定シーケンスを実行すべきシステムの性質ではない。こうして測定シーケンスの記述およびプログラミングにおいて従来よりも高い程度の抽象化が達成される。

【 0 0 1 5 】

本発明はさらに、MRスキャナで実行可能なタイムスライスの列に測定シーケンスを自動的に変換する方法を提供する。本方法は、形式化記述から、或る程度形式記述から自動的に明らかとなる測定シーケンスの数多くの性質を求める。こうして測定シーケンスプログラマにとってプログラミング労力がかなり減少する。こうして本発明はMRスキャナの制御をかなり簡素化する。本発明に係る方法は、形式的なMRシーケンスモデルから出発して、MRスキャナで直接実行可能な測定シーケンスを作成することを可能とする。

【 0 0 1 6 】

形式化した記述から、ソルバーを用いて、MRスキャナへの制御命令の流れを例えばタイムスライスの列として作成することができる。タイムスライスの列は次にMRスキャナで直接実行することができ、これによりMR検査が促進される。ソルバーの使用と機能を以下で説明する。

【 0 0 1 7 】

本発明の課題は特に、

磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを形式的に記述する方法、

MRスキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成する方法、

測定シーケンスを形式的に記述する方法および／または磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成する方法がコンピュータで実行されるとき、この方法を実現するコンピュータプログラム製品（コンピュータプログラを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体）、

10

20

30

40

50

磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成するシステムによって解決される。

【 0 0 1 8 】

以下、それぞれの方法に関して課題の解決が説明される。その際に説明される特徴、利点または選択的实施形態は、請求される別の対象にも同様に転用することができ、またその逆である。換言するなら、方法の1つに関連して述べられおよび/または請求された特徴を有する(例えばシステムまたは製品に関する)対象請求項も形成しておくことができ、またその逆である。方法の相応する機能的特徴は、システムもしくは装置の相応する対象的モジュール、特にハードウェアモジュールによって形成される。

【 0 0 1 9 】

課題は特に、MRスキャナで実行する測定シーケンスを形式的に記述する方法によって解決される。

【 0 0 2 0 】

本発明に係る方法は、測定シーケンスを有向グラフとして表現することのできるシーケンスモデルに基づいている。シーケンスモデルは有向グラフを構成するためのブロックを使用する。有向グラフはノードと、エッジと、経過制御するためのエッジの性質とを含む。

【 0 0 2 1 】

シーケンスモデルにより、決定されるべき複数のパラメータに至るまで測定シーケンスは有向グラフから自動的にパラメータ化可能となる。

【 0 0 2 2 】

パラメータ化可能とは、測定シーケンスを記述するパラメータが少なくともブレースホルダとして既知であることを意味する。つまり、測定シーケンスの完全記述に必要な全パラメータのリストを明示することができる。特にこのリストは有向グラフから得られる。

【 0 0 2 3 】

決定されるべき複数のパラメータは、これらのパラメータのパラメータ値が一般にユーザによって設定されねばならないことを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

形式的な記述とは、磁気共鳴の物理的関係を形式的態様で表現することである。本発明の枠内で提案される形式的な記述は可能な全測定シーケンスを含む。つまり、提案される形式的な記述はMRスキャナで実行するための可能な全測定シーケンスの記述を包括的に可能とする。すなわち、測定シーケンスのプログラマにとって測定シーケンスプログラミングの自由度が維持されたままであり、但し測定シーケンスは形式的な記述の枠内で、すなわち一種のプログラム言語で記述される。形式的な記述またはシーケンス仕様言語から測定シーケンスは、決定されるべき複数のパラメータに至るまでパラメータ化可能である。

【 0 0 2 5 】

以下において1つのブロックは1つの測定シーケンスの1つのタイムスライスを表す。しかしながらタイムスライスとブロックとの間の本質的違いとして、ブロックの性質は完全に確定されているのではない。それゆえ、1つのブロックは具体的な持続時間なしの1タイムスライス用のブレースホルダまたはコンテナにすぎないのに対して、タイムスライスは具体的な持続時間を有する。

【 0 0 2 6 】

こうしてブロックは、1つのタイムスライスを少なくとも具体的パラメータ値用ブレースホルダとして記述する全性質を用意する。この意味で1つのブロックは1つの測定シーケンスの内部の具体的タイムスライスの抽象化である。

【 0 0 2 7 】

1つのブロックから1つのタイムスライスを得るために、全性質、すなわちブロックをその性質で記述する全パラメータが決定されていなければならない。すなわち、これらのパラメータは具体的値を有していなければならない。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

使用されるシーケンスモデルの枠内でブロックはワーブブロック、Xブロックおよび休止の群のうちの1つの要素とすることができる。ワーブブロック、簡単にWブロックは、ワーブ型の1タイムスライスの代わりとなる。それに対して1つのXブロックは、高周波出力が送信されるおよび/または高周波信号が受信される1タイムスライスの代わりとなる。休止のモデル化と識別は測定シーケンスをインターリーブさせるうえで大切である。休止が時間窓を示し、この時間窓内で他の1つの測定シーケンスの少なくとも諸部分は実行することができ、但し実行しなければならないのではない。

【 0 0 2 9 】

提案されたシーケンスモデル内でブロックはスムーズに、重なりなしに互いに続いている。さらに、シーケンスモデルの枠内で個々のブロックの間で相対的時間関係を、後に説明するように例えばシーケンス時間の態様で定式化することができる。

【 0 0 3 0 】

提案されたシーケンスモデルの他の主要な考えは、ワーブブロックのユニットと後続のXブロックのユニットとを統合して1つのユニット、いわゆるWXブロックとすることである。シーケンスモデル内でWXブロックを観察することの決断は1つの可能性にすぎないが、しかしながらきわめて有意義であることが判明した。それはごく簡潔で洗練された測定シーケンス仕様を可能とする。

【 0 0 3 1 】

別のブロックをWXブロックとして統合するシーケンスモデルも当然考えられる。しかしこのようなシーケンスモデルは、本発明に係る方法に該当するように、このように簡潔な測定シーケンスの表現をおよそ可能としないであろう。それゆえに以下の説明では、WXブロックを1つのユニットと見做す上記シーケンスモデルを論議する。

【 0 0 3 2 】

シーケンスモデルから出発して、1つの測定シーケンスは他のステップにおいて有向グラフとして表現することができる。

【 0 0 3 3 】

有向グラフのノードは、Xブロックと入口点と出口点とから成る群で形成されている。有向グラフのノードとして入口点および出口点の他にXブロックを選択するとの決断は恣意的なものである。有向グラフのノードとしてワーブブロックを記述することも同様に可能であろう。しかしながらその場合測定シーケンスの形式記述は一層複雑となろう。というのも、例えばエコー時間等のシーケンス時間はもはやそう適切に有向グラフのノード間の時間測定として生じないからである。

【 0 0 3 4 】

しかしながらなお指摘しておくなら、有向グラフとしてのシーケンスモデルを基にした形式記述の表現は例示にすぎない。シーケンスモデルから出発してあらゆる別の形式記述、例えば擬似コードまたは例えばC++等のプログラム言語での記述も同様に可能であろう。従って形式記述の選択はシンタクチックな選択にすぎない。或る形式記述から別の形式記述への変換(翻訳)を行うことができる。その意味で有向グラフとしての測定シーケンスの表現はごく簡潔に把握できるので、ユーザおよび/またはシーケンスプログラマにとってのみ快適である。

【 0 0 3 5 】

有向グラフは経過またはアルゴリズムを表現するのに使用することができる。情報学において有向グラフは例えば自動装置の記述に関して知られている。そのことを背景に、有向グラフとしての測定シーケンスの表現はMRスキャナで実行可能なタイムスライスの列からの更なる抽象化である。有向グラフを通行(pass)することによって、有向グラフとして表される測定シーケンスはその時間的経過においてグローバル時間軸上に表現可能である。その際、有向グラフとして表される測定シーケンスの具体的時間経過はまだ完全には確定されていない。さしあたり確定しているのは、例えば特定Xブロック間のシーケンス時間、重なることのないブロック相互のスムーズな接続等の相対的時間関連だけである

10

20

30

40

50

。一般に、有向グラフの経過は測定シーケンスの経過に関するメタ時間計画を提供する。測定シーケンスのメタ時間計画をタイムスライスの列に具体的に変換することは、タイミング問題を解くことによって達成される。本発明によればこのためソルバーを使用することができる。

【0036】

入口点はグラフへのエントリを表す。出口点はグラフ中の経過の終了を示す。

【0037】

有向グラフにおいてノードは有向グラフのエッジを介して結合されている。これらのエッジは、オートマトン理論分野の当業者には周知のトランジションに一致している。

【0038】

入口点から出口点に至る有向グラフの経過もしくは通行が測定シーケンスを記述する。通行 (pass) とは、有向グラフ内のパスコントロールと有向グラフの経過制御するための性質とを考慮した有向グラフのエッジの経過を意味する。測定シーケンスの表現として選択された有向グラフの態様は、測定シーケンスの全ブロックを明確に表記する必要があるがもはやないので、ごく洗練された表現態様であると実証された。

【0039】

本発明に係る有向グラフの態様での測定シーケンスの形式記述もしくはモデル化には、有向グラフのノードとトランジションまたはエッジの他に、有向グラフを経過制御するためのエッジの性質がなお必要である。エッジのこうした性質は、測定シーケンス内の他の性質および関連をその表現時に有向グラフとして表すのに使用される。

【0040】

有向グラフを経過制御するためのエッジの性質は、ワーブブロック、時間測定、休止および/またはパスコントロールとすることができる。ワーブブロックは核スピンシステムの作成に役立つ。休止または休止ブロックはアクションが実行されない測定シーケンス中の時間部分、つまりMRスキャナが実質的に待機する時間部分である。パス (path) コントロールとは、有向グラフの特定部分を実行できるように満たされていなければならない質問のことである。

【0041】

本発明に係る方法がさらにノード間にエッジを含み、これらのエッジは、

- ・入口点からパスコントロールを介してワーブブロックおよびそこからXブロックへの移行部、
 - ・Xブロックからパスコントロールを介して出口点への移行部、
 - ・Xブロックからパスコントロールを介してワーブブロックおよびそこからXブロックへの移行部、
 - ・Xブロックからパスコントロールおよび休止を介してワーブブロックおよびそこからXブロックへの移行部、
 - ・Xブロックから時間測定を介してXブロックへの移行部
- から成る群によって与えられている。

【0042】

従ってエッジは可能なトランジション、すなわち有向グラフの個々のノードの間の移行部を記述する。

【0043】

送信型のXブロックは、本発明によれば励起パルス、リフォーカスパルス、反転パルス、または励起パルスとリフォーカスパルスとの混合態様を表すことができる。励起パルスは、英語でexcitation pulseと称され、スピンシステムを励起する高周波パルスである。リフォーカスパルスは核スピンのコヒーレンスを回復させる。反転パルスは核磁化を反転させるのに使用される。さらに、励起パルスとリフォーカスパルスとの混合態様を表す送信型Xブロックもある。混合態様の送信パルスは誘導エコーに関連して特別興味あるものである。混合態様の送信パルスは、横方向磁化が信号として検知可能であるように、横方向磁化を再び横方向平面に折り返さないのに役立つ。これに関連してHennig, J. "Echoes

10

20

30

40

50

- How to Generate, Recognize, Use or Avoid them in MR-Imaging Sequences" in Concepts in Magnetic Resonance 3 (1 9 9 1)、1 2 5 ~ 1 4 3を参照するように指示する。

【 0 0 4 4 】

本発明によれば有向グラフの内部でパスコントロールの1つのみを常時満たしておくことができる。このような1つの有向グラフ、従って1つの測定シーケンスは、複数のパスコントロールを含むことができる。パスコントロールの1つのみを常時満たしておくことができるとの条件でもって、分岐点で有向グラフの常時1つのどれかのエッジのみを実行できることは確保される。換言すれば、パスコントロールが有向グラフの経過を決定する。

10

【 0 0 4 5 】

有向グラフのエッジの1つのみが経過することはパスコントロールを介して確保される。パスコントロールは論理関数の排他的論理和つまりX O Rの機能を表す。

【 0 0 4 6 】

時間測定は常に、単一のXブロックの持続時間とシーケンス時間とシーケンス開始時間とから成る群のうちの1要素である。Xブロックの持続時間は各Xブロックの初端と終端とによって与えられている。1つのシーケンス時間は2つのXブロックの中心間で測定される。このようなシーケンス時間の例はエコー時間、繰返し時間または反転時間である。シーケンス時間は1つの測定シーケンスのグローバル性質を表す。シーケンスモデルの枠内で測定シーケンスを記述するにはさらにシーケンス開始時間が必要であり、このシーケンス開始時間は1つの測定シーケンスの内部で第1Xブロックの中心が到達する時点を記述する。これら3種類の時間測定でもって、有向グラフの内部で全Xブロックおよび全ワーブブロックの時点は求めることができる。これら3種類の時間測定は測定シーケンスの内部で、MRイメージング時に使用されるようなブロックの相対的時間関係を記述するのに十分である。

20

【 0 0 4 7 】

本発明に係る方法の他の実施態様では、各Xブロックについて、有向グラフの通行から決定されるインデックスが求められる。厳密に言えばこれは各WXブロックについてのインデックスである。

【 0 0 4 8 】

さらに、有向グラフから各ワーブブロックについておよび各Xブロックについて変数が求められる。さらに、有向グラフから送信型および/または受信型の各Xブロックの各中心について零次の傾斜モーメントを決定することができる。

30

【 0 0 4 9 】

インデックスとは全WXブロックに関する連続的添字のことであり、この連続的添字を介して、シーケンスの内部で各Xブロックおよび各ワーブブロックを明確に識別することが可能となる。換言するなら、インデックスはXブロック、従って割り当てられたワーブブロックの参照または非公式に「番地」と理解することができる。

【 0 0 5 0 】

各Xブロックについてインデックスが既知となるや、有向グラフから、各Xブロックおよび各ワーブブロックへの変数の割当てを行うことができる。すなわち、各Xブロックの内部および各ワーブブロックの内部の物理的状況は記述することができる。各Xブロックおよび/または各ワーブブロックの各中心についての零次の傾斜モーメントを何故インデックスおよび変数の割当てから直接決定できるのかは容易に理解される。

40

【 0 0 5 1 】

有向グラフ内の各ブロックについてこの情報を直接明示するのに有向グラフの通行(pass)で間に合うことが、ここでも妥当する。

【 0 0 5 2 】

他の実施形態において本方法はさらに、有向グラフの通行(pass)からシーケンス方程式を求めるステップを含む。1つの測定シーケンスの内部のXブロックおよびワーブブロッ

50

クに対する既に設定されたインデックスおよび変数によって、有向グラフの通行から同様に測定シーケンスのシーケンス方程式を求めることができる。すなわち、有向グラフの明示によって測定シーケンスのシーケンス方程式はすべてパラメータ化して与えられている。

【 0 0 5 3 】

本方法の他の実施態様によれば、本方法はさらに送信型または受信型の各 X ブロックについてエコー発生パスを求めるためのステップを提供することができる。その際、エコー発生パスは励起パルスおよび / または反転パルスおよび / またはリフォーカスパルスおよび / または混合態様の系列から成る。エコー発生パスは有向グラフの通行から明らかとなる。エコー発生パスに関しては既に引用した Hennig の刊行物を参照するように指示しておく。エコー発生パスは有向グラフの通行から巧みに求めることができる。エコー発生パスは、後に述べるようにエコー仕様によって表現することができる。

10

【 0 0 5 4 】

他の実施態様では、有向グラフの通行から送信型および / または受信型の各 X ブロックの各中心について一次の傾斜モーメントを求めることができる。これにより、測定シーケンス内でフロー補償および / またはフローエンコーディングを印加することが可能となる。一次の傾斜モーメントは当業者に周知であり、特に信号の速度依存成分にとって重要である。これらの速度依存成分によって、流動物質、例えば髄液および / または血液の流れによって生じる信号成分を補償し、および / または得られる MR 画像内のこれらの信号成分をまったく適切にエンコーディングし、すなわち表現することが可能となる。これに関連してエンコーディングとは MR 画像内の信号成分の表現のことである。

20

【 0 0 5 5 】

他の実施態様において本発明に係る方法は、送信型および / または受信型の各 X ブロックの各中心について高次の傾斜モーメントを求めることを含む。高次の傾斜モーメントの算出はやはり有向グラフの通行から可能である。それとともに測定シーケンスを有向グラフとして表現することは、測定シーケンスの例えば傾斜モーメント等の物理的性質をモデル化するうえできわめて有益なツールであると再度判明した。

【 0 0 5 6 】

他の実施態様において本発明に係る方法は、有向グラフの通行から送信型および / または受信型の各 X ブロックについて拡散重みを求めることを可能とする。拡散重みとはここでは例えば、信号または信号伝搬の強い優先方向のことである。このような優先方向は患者の解剖学的構造によって予め定めておくことができる。動脈の方向に沿った物質および信号の流れは動脈の壁を横切る信号の流れよりもはるかに強い。それにもかかわらず、動脈の壁を概ね横切る画像内の拡散重みは、脈管構造の状態について説明するので診断上きわめて興味あるものである。このような所見は例えば糖尿病患者にとって重要である。さらに、拡散重みはいわゆる MR ファイバトラッキング研究にとって興味あるものである。

30

【 0 0 5 7 】

本発明はさらに、磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成するための請求項 15 に記載された方法を提供する。こうして測定シーケンスのプログラミングはなお一層自動化することができる。この方法は請求項 1 ないし 14 の 1 つに記載された測定シーケンスの形式記述から出発しており、これにより測定シーケンスは決定されるべき多数のパラメータに至るまでパラメータ化されて存在し、有向グラフとして表現可能である。

40

【 0 0 5 8 】

形式記述によって多数のパラメータは引き続き決定されなければならない。より正確に述べるなら、数多くの解が可能であろう多数のパラメータは引き続き決定されなければならない。さらに、有向グラフ内のブロックから、まずブロック相互の、従ってブロックによって表されるタイムスライスの相対的時間関係のみが与えられている。つまり、ブロックのそれぞれについて具体的タイミング値は欠落している。

【 0 0 5 9 】

50

自動作成方法の課題は、これら多数の不確かなパラメータに、十分に規定された具体的パラメータ値を占めさせることである。これは、測定シーケンスを実行するために満たさねばならない境界条件を考慮して1つの測定シーケンスを自動的に作成するための本発明に係る方法において達成される。本発明によればタイミング値はソルバーによって求められる。ソルバーは、代表的には、数理問題の数値解を見出すソフトウェアモジュールである。例えばMRイメージングにおいてタイミング問題の解に使用することのできるソルバーについて、本出願人の独国特許出願公開第10213848号明細書と独国特許発明第102006034397号明細書を参照するように指示しておく。ソルバーによって解を見出すとき多数のパラメータはまだ未解明である。多数のパラメータは、以下で説明するように測定シーケンスもしくはサブシーケンスの時間的配置、タイミング、種類および数を含む。サブシーケンスもしくは測定シーケンスの個々のパラメータはソルバーによって求めることができる。これは、本開示の枠内で例示的にタイミング値の算出について検討される。

10

【0060】

本方法はさらに、測定シーケンスの形式記述を、磁気共鳴スキャナで実行可能なタイムスライスの列に自動変換することを含む。すなわち、測定シーケンスの内部でブロックのそれぞれはソルバーによって具体的値を備えられる。それゆえに、測定シーケンスの内部で全ブロックの全パラメータは具体的値が備えられる。こうして各ブロックは完全にパラメータ化されており、1つのタイムスライスを記述する全情報を表現する。

20

【0061】

測定シーケンスの形式記述の自動変換とは、コンピュータによってまたは変換プログラムに従うことによってユーザの対話なしでも形式記述を変換できると理解することができる。変換は変換モジュールによって行うことができる。すなわち、測定シーケンスの性質のすべてが既知である。換言するならソルバーは、第1に容認可能な、第2に境界条件を満たすようなタイミング値を求める。決定されるべき多数のパラメータは、境界条件を満足するとともにタイミング問題の容認可能な解でもある値で満たされる。このような解は、代表的には、多くの変数を有する問題である。ソルバーの役目は容認可能な解を見出すことである。ブロックの相対的時間関係のすべてを満たすと同時に境界条件も満たす容認可能な解が存在しない限り、ユーザとの対話が必要となる。ソルバーがこのような解を見出すことができない場合にはじめて、ユーザとの対話となる。しかしながら、1つの測定シーケンスを作成するために必要なユーザ対話の回数は本発明に係る方法によってかなり減少する。自動変換するための本発明に係る方法を用いて手動入力が必要となるのは、予め定められた値および制限をもって容認可能な解を見出すことができない場合だけである。測定シーケンスの形式記述を自動変換することの他の顕著な利点は、例えば、磁気共鳴スキャナで測定シーケンスを実行可能とするプログラム言語内でコードのエラー感受性が著しく減少することにある。

30

【0062】

本発明に係る方法はさらに、測定シーケンスをインターリーブ実行するためのステップを含むことができる。1つの測定シーケンスは多くの各種MR測定、例えば同時に実行される複数の断層の撮影を含む。単一断層の撮影は例えば単一モジュールとして定式化することができよう。次に、複数断層の撮影には単一モジュールの複数のインスタンスが必要であり、インスタンスを同時に実行するために、インスタンスを重なりなしに実行できるようにインターリーブされねばならない。測定シーケンスの内部のこのような1つのモジュールはサブシーケンスと称される。1つのサブシーケンスは1つの測定シーケンスの内部のWXブロックの有意義な1つのサブセットである。それゆえに1つの測定シーケンスは少なくとも1つのサブシーケンスから成る。

40

【0063】

1つの測定シーケンスの内部でサブシーケンスを個別に検討する可能性が有意義である。検討された測定シーケンスは、容易に解決することのできる多数の小さな問題に区分することができる。つまり以下で測定シーケンスに言及する場合、これは単一のサブシーケ

50

ンスを意味することもある。同様に、測定シーケンスは患者の完全検査を表すことができる。

【0064】

この開示の枠内で有向グラフは、サブシーケンスを表現する有向グラフのみを示す。患者の完全MR検査のために、サブシーケンスを表す多数の有向グラフで一般に構成される有向グラフを明示することも当然に可能である。

【0065】

サブシーケンスは分割できないスーパーブロックを含む。1つの測定シーケンスの内部で分割できない最小スーパーブロックは1つのWXブロックである。WXブロックは中断されてはならない。というのも、さもないと核スピンのコヒーレンスが破壊され、規定された高周波信号がもはや作成されないからである。WXブロックの他により大きな分割できないスーパーブロックがあり、これらもやはり中断または分割されてはならない。1サブシーケンスの内部で分割できないスーパーブロックは、相応する有向グラフ内で休止を介して結合されていることを特徴としており、或るサブシーケンスが休止を含まない場合このサブシーケンスは単一のスーパーブロックを含む。

【0066】

測定シーケンスをインターリーブ実行するための本発明に係る方法はまず複数の測定シーケンスを用意することを含む。引き続き、複数の測定シーケンスのうち第1つの測定シーケンスの内部で少なくとも1つのサブシーケンスが識別される。識別されたサブシーケンスが休止を含む。次に、それぞれ別の測定シーケンスからサブシーケンスが求められる。それぞれ別の測定シーケンスとは、用意された測定シーケンスのうち第1つの測定シーケンス以外のあらゆる測定シーケンスのことである。測定シーケンスをインターリーブ実行するために、各第1つの測定シーケンスの休止中に、求められたサブシーケンスの少なくとも1つが重なりなしに実行される。つまり換言するなら、第1つの測定シーケンスの休止時に挿入されるサブシーケンスはそのうちの分割できないスーパーブロックが常に第1つの測定シーケンスの休止中にあるように保証されねばならない。分割できないスーパーブロックの間の休止は、その間に他のサブシーケンスの実行が十分に可能である時間窓である。

【0067】

本発明に係る方法の他の実施態様によれば境界条件が設定されており、境界条件は下記群のうちの少なくとも1つの要素を含む。

- ・コントラスト設定。これは、得られる磁気共鳴画像のコントラストを決定する例えば T_1 コントラスト、 T_2 コントラスト、脂肪抑制等の条件のことである。

- ・画像分解能設定。これは、1つの断層について希望する分解能から明らかとなるような設定のことである。例えば頭蓋冠近傍の頭部内で複数の断層を撮影する場合、断層当り有意な面積は頭蓋冠に近づけば近づくほどますます小さくなり、最後には1点に収斂する。つまり、例えば解剖学的構造から生じるこのような画像分解能設定を考慮するのがまったく有意義である。こうして所要の記憶場所も、相応する分解能を作成するのに必要とされる傾斜強さも、適合することができる。他の設定は、1つの画像で撮影されねばならない少なくとも1つの断層についての位置設定である。つまり、身体内でこの画像が撮影される場所が重要な役割を演じる。そのことは一般に診断上の問題提起のみから既に明らかとなる。

- ・ハードウェア制約は、例えば傾斜増幅器に関しても傾斜の勾配急峻度に関しても許容負荷サイクルから生じる。というのも、特定限界値を上まわってはならず、もしくは過度に急峻な勾配は出力増幅器の過負荷を生じるであろうからである。

- ・測定時間の最小化は、患者の画像を極力短時間で得ることが望ましいので、他の1つの代表的境界条件である。これは特に、拍動する心臓の検査、またはいわゆる息止め撮影、つまり患者が息を止めての撮影にあてはまる。こうして、この目的のために測定シーケンスを実行しなければならない画像撮影時間についてまったく明白な最大値が設定されている。その点をまったく別としても、上で既に述べたように測定時間の最小化のための経済

10

20

30

40

50

的モチベーションも当然にある。

・患者安全設定。これは例えば、過度に急峻な傾斜の結果であり得る末梢神経刺激のリスクから生じる。このような末梢神経刺激は、患者四肢の意図しない動きを生じるので、患者にとって不快である。さらに、患者の意図しない動きは、得られる画像がその場合不鮮明となるのでMR画像の撮影を著しく損なうことがある。さらに、患者が受ける高周波出力が特定限界値を上まわってはならない。というのも、さもないと患者が火傷するからである。組織固有の吸収率に関するこのような限界値は予め定められており、例えば体重1キログラム当たり4ワットの範囲内である。

【0068】

満たさねばならない幾つかの境界条件とは、既にハードウェアによって予め定められた境界条件、もしくはハードウェア自体によって、いわゆる監視モジュール（ウォッチドッグ）によって監視される境界条件とすることができる。測定シーケンスの実際の経過時にこれらの監視モジュールは、限界値を上まわることのないことを確保しよう。1つの測定シーケンスの経過時にこのような1つの監視条件が損なわれると、測定シーケンス全体が中断される。それは第1に患者にとって不快であり、さらには貴重なスキャナ時間が失われる。なぜならば、測定を再度開始しなければならず、状況によってはハードウェアを交換しなければならない、等であるからである。測定シーケンスをタイムスライスに自動変換するときに既にこのような境界条件を監視し守ることによって、持続的測定シーケンスのこのような意図しない中断が監視モジュールによって、可能な限り避けられることが確保される。

10

20

【0069】

本発明の他の実施形態において、形式記述をプログラム言語に自動変換（自動翻訳）するステップを行うことができる。この自動変換ステップはプログラム言語における測定シーケンスプログラミングのエラー感受性を著しく低下させる。最近の測定シーケンスには、値、特に許容値を占めねばならない約 10^6 のパラメータが必要である。プログラマは、これらすべての値を正しく設定するよう傾向的に強く要求される。

【0070】

本発明は、課題の他の解決において、磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを形式的に記述するための請求項19記載の装置を提供する。

【0071】

課題の他の解決において本発明は、MRスキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成するための請求項20記載の装置を提供する。

30

【0072】

請求項20記載の装置はさらに請求項21により改良しておくことができる。

【0073】

本発明はさらに、課題の他の解決において、請求項22記載のコンピュータプログラム製品（コンピュータプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体）を提供する。

【0074】

課題の他の解決によれば、本発明はMRスキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成するシステムを提供する。このシステムは磁気共鳴スキャナと、ユーザインタフェースと、磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを形式的に記述するための請求項19記載の装置とを含む。

40

【0075】

選択的にこのシステムはさらに、磁気共鳴スキャナで実行する測定シーケンスを自動的に作成するための請求項20または21のいずれか記載の装置を含むことができる。

【0076】

MRスキャナで測定シーケンスは実行することができる。ユーザインタフェースはMRスキャナのユーザとの対話用に指定されている。ユーザインタフェースは特に、予め定められた境界条件のもとでタイミング問題用の許容値を見出すことができない場合、測定シ

50

ーケンスを開始し、測定シーケンスを中断しまたはユーザに問合せするのに必要であることがある。

【0077】

こうして両方の装置は既にこのシステム内で実現しておくことができる。その際選択的に一方または両方の装置は既にMRスキャナの一体な構成要素としておよび/またはソフトウェアモジュールとして形成しておくことができる。

【0078】

このシステムは、磁気共鳴スキャナで実行されるべき測定シーケンスを形式的に記述する装置を含むことができる。つまり、実行可能な測定シーケンスの自動作成を介して形式記述方法の処理連鎖全体を既に磁気共鳴スキャナで、および/または本発明に係るシステムで、および/または磁気共鳴スキャナに接続された制御ユニットで実行することも十分に可能である。

【0079】

本発明の保護範囲は添付した特許請求の範囲のみによって決まる。それゆえに以下に詳述する本発明の説明は決して限定するものと理解すべきでなく、説明目的に役立つにすぎない。

【0080】

ここに示す説明から、本発明の範囲から逸脱することなく本発明の個々の特徴および諸利点を組み合わせることができることは当業者にとって自明である。その意味で、図面も限定するものと理解すべきでない。

【図面の簡単な説明】

【0081】

【図1】MRスキャナのブロック線図。

【図2】タイムスライスの列としてのスピンエコーシーケンスを示す図。

【図3】Aは本発明に係るシーケンスモデルの要素ユニットとしての1つのWXブロックを示す図。BはWXブロックの列としてのシーケンス記述を示す図。Cは幾つかの既知測定シーケンスのWブロック、Xブロックの系列を示す図。

【図4】有向グラフからの1つの測定シーケンスのエコー発生パスを示す図。

【図5】AはWXブロックの流れに埋め込まれた1サブシーケンスを示す図。Bは図5Aに示すWXブロック系列から識別されたサブシーケンスと休止を示す図。

【図6】グラジエントエコー測定シーケンスを表す有向グラフを示す図。

【図7A】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7B】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7C】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7D】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7E】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7F】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7G】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7H】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図7I】有向グラフから1グラジエントエコーを撮影するための個別のステップを示す図。

【図8】本発明を用いて1つの測定シーケンスを作成し実行するための経過を示す図。

【発明を実施するための形態】**【0082】**

図1はMRスキャナ4の基本構造とその主要構成要素を示す。MRイメージングによって身体を検査するために、時間的および空間的特性を互いに厳密に調整されたさまざまな時間可変磁場が身体に照射され、照射されたラジオ周波数エネルギーまたは高周波エネルギーに対する核スピンの共鳴応答が生じる。

【0083】

高周波技術で遮蔽された測定室43内に磁石450、例えば普通、液体冷却材で冷却される超電導磁石が設けられている。円筒状孔を有する磁石450が静主磁場47を作成し、この磁場は普通、0.1テスラ～3テスラ以上の磁場強度である。主磁場47は均質性が高く、例えば直径15cmの体積に対して代表的には数ppmの範囲内である。検査されるべき身体または身体部分(図1には図示せず)は患者ベッド49に横たわり、主磁場47の均質領域内に位置決めされる。

10

【0084】

つまり高周波励起による励起時にスピンシステムの共鳴応答が生じる。いわゆる高周波パルスを紹介して高周波励起を実現するのが便利である。このような高周波パルスは、既に述べたように核スピンシステムの励起および/または核スピンシステムのリフォーカスに利用することができる。

【0085】

人体内での核スピンの励起、すなわち一般に人体内でのプロトンの励起は磁気高周波パルスを紹介して行われ、これらのパルスは図1に全身用コイル413として示した高周波アンテナを紹介して照射される。プロトン以外の核、例えばリチウムまたは硫黄のMR検査も当然に可能である。

20

【0086】

全身用コイル413を使用する代わりに、解剖学的構造に適合させた特殊な励起コイルまたは高周波アンテナを例えば頭部用コイルとして使用することも可能である。励起に必要な高周波励起コイルはパルス作成ユニット415によって作成され、このユニットはパルス周波数制御ユニット417によって制御される。高周波増幅器によって増幅後、高周波励起パルスは高周波アンテナに送られる。

【0087】

図1に示す高周波システムは略示されているだけである。場合によっては複数のパルス作成ユニット415、複数の高周波増幅器419および複数の高周波アンテナがMRスキャナ内で利用され、または付加的モジュールが利用される。特にアンテナ群全体を使用することが可能であり、これにより一方で信号対雑音比の改善を達成することができ、および/または試料の性質による雑音効果が優勢である。これに関連して簡単に触れておこなう、当業者に知られているような整相列が可能なアンテナであろう。

30

【0088】

MRスキャナ4が備えている傾斜コイル421でもって、測定時、スライス選択励起と測定信号の空間エンコーディングのため傾斜磁場が照射される。傾斜コイル421が傾斜コイル制御ユニット423によって制御され、このユニットはパルス作成ユニット415と同様にパルス周波数制御ユニット417に接続されている。

40

【0089】

励起された核スピンから出発する信号、つまり共鳴励起に対する応答は、受信コイル、例えば全身用コイル413および/または局所コイル425によって受信され、付設された高周波増幅器427によって増幅され、受信ユニット429によってさらに処理されデジタル化される。送信コイルと同様に、受信する局所コイル425についても、検査すべき身体領域の幾何学形状に適合された小さなコイル、例えば表面コイルの使用が、状況によっては信号対雑音比を改善するうえで好ましいとすることがあてはまる。

【0090】

相反定理により良好な送信器は良好な受信器でもあるので、コイルを送信コイルとして

50

も受信コイルとしても作動させることが可能である。しかしながらコイルを送信コイルおよび受信コイルとして使用する場合、正しい信号転送を確保する必要がある。これは一般に送受信切換器 439 によって行われる。送受信切換器として考慮に値するのは例えばサーキュレータである。

【0091】

画像処理ユニット 431 が測定データから MR 画像を作成し、この画像はモニタ 205 を介してユーザに表示され、または記憶ユニット 435 に記憶される。演算ユニット 437 および / または制御ユニット 45 が MR スキャナ 4 の個々の構成要素を制御する。制御ユニット 45 は、本発明に係る方法を実行できるように形成されている。

【0092】

MR 画像は、k 空間とも称される周波数空間の系統的走査によって得られる。k 空間のこの走査は傾斜パルスおよび励起パルスの好適なシーケンスによって達成される。測定シーケンス 100 は k 空間が掃引されるべき手続を設定し、つまり k 空間軌道を確定する。臨床ルーチンにおいて磁気共鳴を使用するには、診断画像を結果的に迅速、効率的に作成できるように極力効率的な k 空間軌道を見出すのが望ましい。今日では、k 空間を走査するために手間のかかる複雑な戦略を使用する測定シーケンス 100 が数多くある。

【0093】

作成する画像にとって、測定シーケンス 100 の時間的効率の他にさらにコントラスト特性が重要である。選択された測定シーケンス 100 に応じて、素早くまたはゆっくりと応答する組織部分、すなわち緩和する組織部分を励起することができる。そのことは、MR 画像内に生じるコントラストに対して決定的影響を有する。つまり、医師にとって最大の情報ゲインが達成可能であるように、測定シーケンス 100 はその都度選択されたプロトコルに、すなわち選択された臨床検査にやはり適合させねばならない。これは例えば、医師が手術したい癌性組織変化の評価にあてはまる。MR スキャナ 4 用測定シーケンス 100 は、核スピンの物理的性質と各組織とから生じるタイムスライスの列から成る。

【0094】

図 2 はいわゆるスピンエコーシーケンスの単一測定シーケンス 100 の 1 例を示す。1 つのスピンエコーシーケンスの時間的経過が図 2 に示してある。この線図は高周波回路内の活性の時間的経過を上下に示している。さらにその下には、3 つの一般に互いに直交する傾斜システム、1 つの断層を選択（英語で slice select）するための傾斜システム G_s と、いわゆる位相エンコーディング傾斜（英語で phase encode）としての傾斜システム G_p と、応答信号の読取り中オンにされているいわゆる読取り傾斜（英語で read out）との活性が示してある。スピンエコーシーケンスのためスピンシステムはまず 90° パルスで励起され、これにより信号枝内にエコーが作成される。最後に 180° パルスによって、図 1 に示すエコー時間 T_E 後に、1 画像の 1 つの線についての情報を含む 1 つのスピンエコーが作成される。位相エンコーディング傾斜 G_p は示唆したように複数回掃引され、その振幅は掃引ごとに変更される。スライス選択傾斜はこれらすべての掃引にわたってそのまま維持され、リードアウト傾斜にも同じことがあてはまる。

【0095】

個々のタイムスライスタイプが図 2 に左から右へと書き込まれている。スピンエコーシーケンスはまず、 90° パルスが励起側に照射される間に送信型タイムスライス（図面の I）で始まり、スピンシステムを作成するためのワープ型タイムスライス（図面の II）がそれに続く。これに続くのが 180° パルスを有する送信型の再度のタイムスライス（図面の III）であり、他のワープブロック（図面の IV）が続き、最後にエコーを高周波信号として受信する受信型タイムスライス（図面の V）が続く。 180° パルスを有する送信型 ST のタイムスライスは核スピンシステムのリフォーカスに役立つ。受信型 ET のタイムスライス後、シーケンスは繰り返される。スピンエコーシーケンス用にこのようなパスは T_E に至るまで k 空間内の MR 画像用の 1 つの線を提供する。代表的には 1 つの画像について例えば 128 個のラインが撮影される。好適なフーリエ変換によって画像は位置空間内で表現することができ、MR 画像が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 6 】

1つの測定シーケンス100は本発明によれば重なり合わないタイムスライスで構成されており、タイムスライスの間に休止がない。今日、シーケンスプログラミングは事象に基づいており、傾斜パルスと高周波パルスは事象ブロックとして群成される。代表的には、図2の測定シーケンスは事象ブロックとして扱われ、スキャナ4に引き渡される。この処理の欠点として、システムの実時間特性が危うくなることがある。さらに、事象群の数理モデル化がきわめて困難である。

【 0 0 9 7 】

測定シーケンス100を形成するタイムスライスの流れを、

傾斜のみが活性であるワーブブロックWと、

傾斜と合わせて高周波パルスが送信されおよび/またはデータが受信される非ワーブブロックと

の2つの異なる型を有するブロックで表すと望ましいことが判明した。

【 0 0 9 8 】

つまり非ワーブブロックは送信型STおよび/または受信型ETのXブロックである。以下ではこれらのブロックを簡略のためXブロックXと称する。Xブロックの持続中、正しい結果を達成するために傾斜と送信および/または受信活性はごく厳密に協調しなければならない。送信間隔および/または受信間隔の間傾斜は一定に留まるので、多くの測定シーケンスについて厳密な協調は簡単に達成することができる。例えばVERSE、2D励起、螺旋軌道等の労力を要する測定シーケンスは、高周波パルスまたは希望するデータ収集態様に適合したk空間軌道を作成するために傾斜の厳密な切換を必要とする。それゆえに、XブロックXの実行中に厳密な傾斜形状は規定されねばならない。

【 0 0 9 9 】

XブロックXの冒頭に核スピンの規定された位相を持つことは、シーケンスプログラムの観点から重要である。さらに、Xブロックの実行中に所要の切換を実行可能であるためにXブロックがスタートするとき、傾斜が特定値を有することが大切である。

【 0 1 0 0 】

ワーブブロックWの役目は、核スピンへの特定位相の印加とその終端に特定傾斜値とを達成することである。ここで強調しておくなら、ワーブブロックWがワーブブロックWの初端および終端で既知の傾斜値にどのように達するのかはシーケンスプログラムの観点からは些細なことである。すなわち、厳密な傾斜形状は重要でない。つまり、傾斜形状が重要であるとする、大抵の場合これは、核スピンの位相を特定の仕方で制御したいだけであり、傾斜形状を介してこれに到達できるであろうと考えることを意味している。提案された測定シーケンスの形式記述は傾斜形状の選択において自由度を受け取り、測定シーケンス100の形式記述をシーケンスモデルに基づいてモデル化するにはXブロックの内部の傾斜の初端値と終端値のみが重要である。

【 0 1 0 1 】

それゆえに、各XブロックXをこれに先行する正確に1つのワーブブロックWと結合するのがきわめて望ましいと考えられる。その理由は、核スピンの位相を操作しかつ2つのXブロックの間で傾斜振幅を切換えるために少なくとも1つのワーブブロックWを必要とすることにある。2つのXブロックの間に1つ以上のワーブブロックWが何故必要であるのかは明らかでない。逆に、2つのXブロックXの間に1つ以上のワーブブロックWを使用することは、2つのXブロックの間の傾斜特性の最適計算にとって不必要な制限であるように考えられる。

【 0 1 0 2 】

図3Aは、ワーブブロックWと休止なしにこれに直接続くXブロックXとの系列としてのWXブロックWXの形状を例示的に示す。このような1つのユニットを以下の明細書ではWXブロックWXとも称する。何故ワーブブロックWが時間的にXブロックの背後に配置されないのか、そして何故にワーブブロックWとXブロックXを1つのユニット、WXブロックWXとして統合する必要があるのかの理由を以下でごく手短かに述べる。

【 0 1 0 3 】

ワーブブロックWをXブロックXと関連付けたい限り、ワーブブロックWがXブロックに先行するかまたはその逆であるかをなお決定できなければならない。

Xブロックを実行するには、スピンの1つの位相を、しかも予め定められたように印加し、さらに傾斜について、確定された開始振幅を明示する必要がある。これは、Xブロックの実行後には可能でない。

ワーブブロックWを実行するにはワーブブロックWの性質が既知でなければならない。同様に、ワーブブロックの傾斜の初端振幅と終端振幅が既知でなければならない。これはシーケンスプログラマにも、測定シーケンス100を実行するソフトウェアにもあてはまる。両方の場合において、傾斜用ワーブブロックWの終端振幅となり得るものを見出すために測定シーケンス100の将来のタイムスライスもしくはブロックを分析することは困難である。さらに、測定シーケンス100をサブシーケンス101に分割したい場合、サブシーケンス101の内部では、サブシーケンスの外側で何が起きるのか、または測定シーケンス100のグローバル時間軸t上でサブシーケンスの実行後に何が起きるのかはまったくわからない。それとは逆に、MRスキャナ4および/またはMRスキャナ4に接続された制御ユニット45で測定シーケンス100を実行するソフトウェアにとって、過去のブロックを検討し、最後に実行されたXブロックXの終端振幅を次のワーブブロックWの開始振幅として求めることは簡単である。ワーブブロックWの終端振幅は関連付けられたXブロックXの開始振幅によって与えられている。

Xブロック自体にとって、Xブロック後に何が起きるのかはまったく重要でなく、Xブロックが終了したならすべて片付いている。将来何が起きるのかをXブロックXは知る必要がない。

XブロックX後に傾斜モーメントを操作する理由は、傾斜モーメントのリワインディング、またはXブロックXに将来作用するスポイリング等のプロセスを促進することである。リワインディングとスポイリングは当業者には周知である。リワインディングとスポイリングは所要のモーメントを記憶することによって、またそれぞれ次のワーブブロックWによって所要のモーメントが出されるようにすることによって、比較的簡単に達成される。

【 0 1 0 4 】

つまり要約するなら、測定シーケンス100をワーブブロックWとこれに直接続くXブロックXとのユニット内で実行し、この措置でプログラマの自由度を制限しないことが簡単で望ましいと述べることができる。すなわち、測定シーケンス100のプログラミングはシーケンスモデルにとって特徴的なこの系口を用いて維持される。それゆえに測定シーケンス100全体はXブロックXとこれに関連付けられたワーブブロックWとの流れとして表現することができる。XブロックXと関連付けられたワーブブロックWとのユニットを選択することは、測定シーケンス100を記述するのに必要な最少情報を明示するのに望ましいことが判明した。

【 0 1 0 5 】

以下では、用語「XブロックXの中心」が使用される。送信型STのXブロックでは、この中心が代表的には使用される高周波パルスの非対称性によって規定されている。受信型ETのXブロックXでは、中心が代表的には受信型ETのXブロックの内部でのエコーの位置によって規定されている。XブロックXの中心はシーケンス時間の決定時および測定シーケンス100の内部で傾斜モーメントを計算するうえで重要な時点である。

【 0 1 0 6 】

各XブロックXが単に1つの中心を備えていれば十分と考えられる。XブロックX当り1つ以上の中心を定式化することも当然可能であろう。

【 0 1 0 7 】

本発明に係るシーケンスモデルには3種類の時間測定がある。時間測定の種類とは：

(1) XブロックXの持続時間。

(2) 2つのXブロックXの中心間で測定されるシーケンス時間。このような時間の例は

10

20

30

40

50

繰返し時間 T_R 、エコー時間 T_E 、反転時間 T_I 、エコー間隔である。

(3) 測定シーケンス 100 の内部の各第 1 ブロック X の中心の時点としてのシーケンス開始時間 T_{s0} 。

【0108】

これら個々の時間が図 3 B に示してある。シーケンス開始時間 T_{s0} は第 1 X ブロックの中心によって X と標識され、エコー時間 T_E は第 1 X ブロック X の中心から第 2 X ブロック X の中心にまで達している。繰返し時間 T_R は、測定シーケンス 100 が繰り返される他のシーケンス時間を示す。測定シーケンス 100 のタイミングをこれら 3 種類の時間測定でグローバル時間軸 t 上に完全に記述するには、測定シーケンス 100 の内部の各 X ブロック X で 1 つのシーケンス時間が終了する必要がある。これは実際、公知のすべての測定シーケンス 100 に該当する。さらに繰返し時間 T_R 、(スピン)エコー時間 T_E 、反転時間 T_I の他に、今日一般的な MR スキャナ 4 内で使用されるような EPI (エコープラナーイメージング) 及びターボスピンエコーシーケンス用のエコー間隔と 2 項パルス用の高周波間隔がある。これはシーケンスプログラマが明示しなければならない新たな情報なのではなく、せいぜい所要の表現形式が変化しただけである。それに対して例外をなすのは、測定シーケンス 100 の内部の X ブロック X の第 1 ブロックである。第 1 X ブロック X ではその発生時間がシーケンス開始時間 T_{s0} の態様で既知でなければならない。シーケンス開始時間は第 1 X ブロック X の中心について明示される。この時間測定および / または時点が測定シーケンス 100 の内部の全 X ブロック X について既知である限り、測定シーケンス 100 の内部の全ワーブブロック W の持続時間は計算することができる。この計算は、MR スキャナ 4 および / または MR スキャナ 4 に接続された動作時間制御ユニット 45 で測定シーケンス 100 を実行中にも処理することができる。

10

20

【0109】

指摘しておくなら、 X ブロックの間の時間測定の選択は任意である。個々のワーブブロック W の間の時間測定も同様に可能であろう。しかしながらその場合、シーケンス時間への洗練された変換はもはやそう簡単には可能でないであろう。

【0110】

シーケンスモデルの枠内で測定シーケンス 100 をワーブブロック W と X ブロック X との系列として表現し、両ブロックを WX ブロック WX として統合することで、各エコーについてエコー発生パスは明示することができる。図 3 C は既知シーケンスについてワーブブロック W と X ブロック X との列を示す。最も上の列にグラジエントエコーシーケンス GRE についての列が示してあり、その下にあるのはエコープラナーイメージングシーケンス EPI についての表現、既に図 2 に示したようなスピンエコーシーケンス SE、スピンエコーと EPI 測定シーケンスとの組合せ SE - EPI、そしてターボスピンエコーシーケンス TSE についての表現である。送信型 ST および / または受信型 ET の X ブロック X のそれぞれについて、エコーが作成されたか否か、送信型 ST および / または受信型 ET の X ブロック X のいかなる列がエコー発生に寄与したかが明示されている。E は励起 (英語で excitation) の相応する標識であるのに対して、R はリフォーカスの標識である。これに関連して再度指摘しておくなら、励起パルスとリフォーカスパルスとの混合態様も存在する。これに関連して誘導エコーも重要である。

30

40

【0111】

誘導エコーによって受信型 ET の X ブロック X 当り 1 つ以上のエコー仕様が可能である。このため、各エコー仕様について傾斜モーメント方程式を立てる必要がある。ワーブブロック W と X ブロック X とを統合して 1 つのユニット WX ブロック WX とすることに基づくシーケンスモデルは、各ワーブブロック W とそれに関連付けられた X ブロック X についてシーケンス方程式を立てることを可能とする。これら WX ブロック WX のそれぞれにインデックス i を割り当てることができる。1 ワーブブロック W の持続時間は $T_{w,i}$ である。 X ブロック X の中心前の持続時間は $T_{xs,i}$ である。 X ブロック X の中心後の持続時間は $T_{xe,i}$ である。 X ブロック X 初端の傾斜振幅は $G_{s,i}$ である。 X ブロック X 終端の傾斜振幅は $G_{e,i}$ である。ワーブブロック W の h 次傾斜モーメントは $M_{h,w,i}$ である。

50

XブロックXの中心前のh次モーメントは $M_{h, \text{xs}, i}$ である。Xブロックの中心後のh次モーメントは $M_{h, \text{xe}, i}$ である。純送信型STではない各XブロックXに、エコー発生パスをベクトルとして表現するエコー仕様 ξ が割り当てられている。受信型ETの(必ずしも純ではない)XブロックXの1つのXブロックXは、その中心で変換されねばならない零次の傾斜モーメント $M_{0, \text{Echo}, i}$ を有する。

【0112】

傾斜モーメント方程式が明示された後、受信型ETの各XブロックXについてエコー発生パスも明示することができる。つまり、1つのエコー仕様 ξ がそれについて存在する全WXブロックWXのインデックスiを含む多数のインデックス I_R を作成しなければならない。1つのエコー仕様 ξ がそれについて存在する多数のインデックス I_R から成る特定インデックスkでは、エコー仕様の高周波励起パルスを含むWXブロックに至るまで、WXブロックWXの後方流れを分析しなければならない。励起のためのこのWXブロックWXのインデックスは k_{ex} であり、エコーのインデックスである $k_{ex} < k$ が成り立つ。さらにベクトルsを作成し、これには $N_s = k - k_{ex}$ が成り立ち、これは $i \in \{0, \dots, N_s - 1\}$ の要素 s_i を含み、傾斜モーメント方程式の内部のモーメントの計算にどの係数を使用すべきであるのかを明示する。

10

【0113】

エコー仕様のこのような分析のグラフ表現がターボ傾斜スピンエコーシーケンスTGSEを例に図4の図に示してある。このエコー発生パス、すなわちエコー仕様から、傾斜モーメントを計算するのに必要な情報を求めることができる。この算出は実際には自動的に行うことができる。まったく適切な仕方で、誘導エコーをやはり考慮することが可能である。

20

【0114】

上記リストに記載されたような変数を割り当てることによって、各XブロックXのモーメント方程式とシーケンス方程式は明示することができる。インデックスhのXブロックXの中心の零次の傾斜モーメントは

【数1】

$$M_{0,k} = \sum_{t=0}^{N_s} s_t (M_{0,rs,k_{ex}+t} + M_{0,ws,k_{ex}+t+1} + M_{0,rs,k_{ex}+t+1})$$

30

によって与えられている。このモーメントは次式を満足する：

【数2】

$$M_{0,k} = M_{0Echo,k}$$

【0115】

インデックスkのXブロックXの中心の一次モーメントは $M_{1,k}$ である。この一次の傾斜モーメントは、高周波パルスの中心との距離 δ に関して以下の如く計算することができる：

40

【数3】

$$M_{1,k} = \sum_{t=0}^{N_s} s_t m_{1,t}$$

ここに、

【数 4】

$$\begin{aligned}
 m_{1,t} = & M_{1,rs,k_{xx}+t} + M_{1,w,k_{xx}+t+1} + M_{1,rs,k_{xx}+t+1} \\
 & + M_{0,rs,k_{xx}+t}(T_{s,t}) \\
 & + M_{0,w,k_{xx}+t+1}(T_{s,t} + T_{rs,k_{xx}+t}) \\
 & + M_{0,rs,k_{xx}+t+1}(T_{s,t} + T_{rs,k_{xx}+t} + T_{w,k_{xx}+t+1})
 \end{aligned}$$

そして、

【数 5】

10

$$T_{s,t} = \delta + \sum_{j < t} (T_{rs,k_{xx}+j} + T_{w,k_{xx}+j+1} + T_{rs,k_{xx}+j+1})$$

【0116】

インデックス h の X ブロック X の速度エンコーディング V_k を希望する限り、希望する速度の方向で単位ベクトル e_v を知れば十分である。単位ベクトルが与えられるや、X ブロックの速度エンコーディング k は、

【数 6】

20

$$V \propto e_v \cdot M_{1,k}$$

が成り立つので、一次の傾斜モーメント $M_{1,k}$ を介して直接明示することができる。このような速度エンコーディングは、速度 V_k で移動する信号成分を調べるのに特に興味あるものである。このような信号成分は単離または抑制することができる。付記しておくなら、この拡散重みは個々の X ブロックの詳細を知ることなく既に可能である。むしろこの情報は全 $W \times W$ ブロック $W \times W$ に関する十分な「記帳」から既に到達することができる。

【0117】

同様の方程式は、拡散重みよりも高い傾斜モーメントについて定式化することができる。その場合、X ブロック X に 1 つの拡散値を割り当てねばならないであろう。

30

【0118】

まったく同様に、測定シーケンス 100 の内部で各シーケンス時間測定についてシーケンス方程式を明示することができる。時間測定が例えば、インデックス k_0 の X ブロック X でその測定が始まり、インデックス $k_e > k_0$ の他の X ブロック X で測定が終了するシーケンス時間である限り、このシーケンス時間には次式が成り立つ：

【数 7】

$$T = T_{rs,k_0} - T_{rs,k_e} + \sum_{i=k_0+1}^{k_e} (T_{w,i} + T_{rs,i} + T_{rs,i})$$

40

【0119】

今日、1 つの測定シーケンス 100 はいわゆる「シーケンス核」をループ構造に組込むことによって記述され、このループ構造内でシーケンス核が繰返し実行される。シーケンス核は基礎となる走査技術、例えばグラジエントエコー GE、ターボスピンエコー TSE、true fisp TRUFI、エコープラナーイメージング EPI 等を実装している。測定シーケンス 100 によって測定しなければならない全 MR 画像を生データ線から作成するために、ループ構造はすべての生データ線について十分に規定された仕方でシーケンス核を繰返し呼び出す。いわゆるプロトコルは、例えば視野（英語で field of view FOV）、分解能、エコー時間等の測定シーケンス 100 用の多数の特殊パラメータと一

50

緒にした測定シーケンス 100 である。1つの検査は一般に、順次実行される多数のこのようなプロトコルから成る。1つの測定シーケンス 100 は少なくとも、図 3 A に示すように単一の X ブロック X とこれに関連付けられたワーブブロック W とから成る。同様に 1つのシーケンスは患者の完全検査を表現することができる。つまり 1つの測定シーケンス 100 はこれら両方の極値の間を移動する。1つの測定シーケンス 100 の構造を知るために、W X ブロック W X の全流れをモジュールに区分するのが望ましい。この試みはきわめて高性能であると判明した。

【0120】

W X ブロック W X の全流れは代表的には多くの異なる MR 測定、例えば同時に撮影される複数の断層の撮影から成る。単一の断層の撮影は例えば独自に記述し、独自のモジュールと見做すことができよう。その場合、検査には、すなわち複数の断層を撮影するには、異なるモジュールのタイミングが重ならないようにこのモジュールの複数のインスタンスをインターリーブ実行することが必要であろう。このようなモジュールは、「W X ブロック W X の合理的サブセット」またはサブシーケンス 101 と称することができる。

【0121】

1 サブシーケンス 101 の内部に諸領域が与えられ、これらの諸領域に対してシーケンスプログラマは、別のサブシーケンス 101 が測定を乱すことなく例えば MR スキャナ 4 のハードウェアに作用することを明確に許容する。その理由は、多断層測定における断層のインターリーブと、反転パルスと励起パルスとの間でも例えば実行されることを今日許容する個々の断層の反転測定にある。サブシーケンス 101 の内部のこのような 1 領域は休止 B と称される。X ブロック X とこれに関連付けられたワーブブロック W が 1つのユニットとして実行された後、このような 1つの休止 B は X ブロック X 後、ワーブブロック W 前にのみ現れることができる。休止 B はサブシーケンス 101 を、中断されてはならない分割できないスーパーブロック 102 に区分する。

【0122】

サブシーケンス 101 が開始時間 T . 30 を含み、この開始時間はグローバル時間軸 t 上にサブシーケンス 101 の第 1 X ブロック X が現れる場所を明示する。

【0123】

図 5 A は W X ブロック W X の流れに埋め込まれたサブシーケンス 101 を示す。同様にシーケンス時間が示してあり、このシーケンス時間を介してサブシーケンス 101 の個々の X ブロック X は互いに結合されている。

【0124】

図 5 B は図 5 A と同じサブシーケンスを、但し残りの W X ブロック W X なしに示している。その代わりに、サブシーケンス 101 の分割できないスーパーブロック 102 が示され、スーパーブロックは休止 B を介して結合されている。

【0125】

興味あることに両方の条件（各サブシーケンス 101 がグローバル開始時間 T . 30 を有し、サブシーケンス 101 のスーパーブロック 102 が各サブシーケンス 101 のシーケンス時間測定を介して結合されている）は、多数のサブシーケンス 101 を正しく実行するのに十分である。すなわち、多数のサブシーケンス 101 の実行は他のあらゆるルーブ構造なしに、そして充填時間を計算する必要なしに機能する。

【0126】

サブシーケンス 101 のコンセプトは、任意のサブシーケンス 101 のインスタンスを用いて測定シーケンス 100 を構成することを可能とする。1 サブシーケンス 101 の各インスタンスはパターンを有し、すなわちグローバル時間軸 t 上の特性を有する。短い測定時間を達成するために、または特殊な物理的効果、例えば脂肪信号の局所的飽和を達成するために、時間軸 t 上のサブシーケンス 101 のインスタンスはインターリーブされねばならない。時間軸 t 上のサブシーケンス 101 の指紋はサブシーケンス 101 の内部のスーパーブロック 102 の数と各スーパーブロック 102 の持続時間とによって与えられている。それゆえに、サブシーケンス 101 のインターリーブは全サブシーケンス 101

のグローバル時間軸 t 上の指紋もしくは特性に依存している。

【0127】

長期ハードウェア制約と患者制約、例えば出力増幅器および組織固有の吸収率（英語で SAR）の開閉サイクル RF のゆえに、各ワープブロック W および / または X ブロック X の長さはワープブロック W の前のグローバル時間軸 t 上で起きるすべてのことに依存している。換言するなら、長期制約が記述する制約は測定シーケンス 100 の推移全体にわたって守られねばならないものである。

【0128】

1 サブシーケンス 101 の時間軸特性はサブシーケンス 101 のインターリーブに依存している。つまりシーケンスタイミングを正しく記述し計算するには、サブシーケンス 101 のタイミング問題とサブシーケンスインターリーブの問題とを一緒に検討することが必要である。少なくともサブシーケンス 101 の数が既知であり、各サブシーケンス 101 の WX ブロック WX およびスーパーブロック 102 の数も既知である限り、完全問題記述を明示することが可能である。不幸にもこの問題は、現在利用可能な演算能力を考慮する限り一般に解決可能でない。この問題の解決をさらに困難にするものは、個々の WX ブロック WX について求められたタイミング値 T_i を磁気共鳴スキャナ 4 の時間格子に適合させねばならない事実である。この要件が一方の問題を解決するための境界条件として既に定式化されている限り、タイミング問題の数値解はほぼ不可能とさえなる。

【0129】

これに関連して本出願人の出願 DE 102008044827.3 を参照するように指示する。この出願は、1つの測定シーケンス 100 の内部のタイムスライスに磁気共鳴スキャナ 4 の時間ラスタに適合するための解決を提案している。今日までに紹介されたシーケンスモデルは 1つの測定シーケンス 100 の数多くの観点、例えばタイミング定義、すなわち測定シーケンス 100 の内部の相対的時間経過の規定、エコー仕様、零次、一次および高次の傾斜モーメント等を記述する。このシーケンスモデルはサブシーケンス 101 もしくはサブシーケンスモデルの MR 測定を撮影することを可能とし、これらの測定はサブシーケンス 101 用の、従って測定シーケンス 100 用にも、特定用途向けプログラム言語の基礎と見做すことができる。

【0130】

本発明は、サブシーケンスモジュールを記述し作成するための効率的方法を紹介する。これは、形式化記述によって達成される。付加的に簡単かつ簡潔に書きとめる形式化記述は、最終的に、形式化記述から完全 MR 測定、従って測定シーケンス 100 全体を極力完全にパラメータ化するのに役立つ。こうして形式と柔軟性との最適混合を達成することができる。旧来のスキャナは測定シーケンス 100 を記述するための形式を有するが、しかしシーケンスプログラマ用にごく僅かな柔軟性を提供するにすぎない。それに続く記述式はシーケンスプログラマに対してプログラミングにおいて大きな柔軟性を提供する。しかしこの柔軟性は高いプログラミング労力と引き換えに得られる。

【0131】

有向グラフ G の 1つの測定シーケンス 100 の形式記述は自動装置または状態機械の意味でも理解することができる。記述されたシーケンスモデルは、シーケンスプログラマに対してサブシーケンス 101 の仕様を記述することを可能とする。これらのサブシーケンス 101 はソフトウェアライブラリーを作成するのに使用される。ソフトウェアライブラリーはサブシーケンス 101 を実行し、シーケンスに左右されないプラグインをシーケンスデータで、すなわちシーケンス記述で行う。シーケンスに左右されない実行プラグインでは例えば、値を占めると測定シーケンス 100 を記述する C++ クラスを考えることができ、測定シーケンスは MR スキャナ 4 および / または MR スキャナ 4 に接続された制御ユニット 45 で実行することができる。この実行プラグインは、さまざまなハードウェアおよびソフトウェアプラットフォームでシーケンスを実行し、測定シーケンス 100 を素描する機能を提供する。さらに、形式記述は数多くのソルバー用の入力値として役立つ。このような機能拡張は、シーケンス記述を変更する必要なしに、他の実行プラグインとして

10

20

30

40

50

定式化しかつ使用することができる。

【 0 1 3 2 】

図 5 B にグラジエントエコー G R E 型の 1 つの測定シーケンス 1 0 0 が示してある。それゆえに 1 つの測定シーケンスの形式化記述の目的は、各 W X ブロックを明確に明示する必要もなしに全 W X ブロック W X を仕様する効率的方式を見出すことである。さらに、サブシーケンス 1 0 1 の記述はパラメータ化して存在すべきであろう。

【 0 1 3 3 】

シーケンスモデルを基にした 1 つの測定シーケンスの本発明に係る形式記述においてグラジエントエコー状 G R E サブシーケンスは図 6 に示すような有向グラフ G として表現することができる。臨床上使用されるような実際の測定には、3 D 実験用に例えば 6 5 5 3 6 個のラインの生データが必要であり、個々の W X ブロック W X によってグローバル時間軸 t 上に生データを表現することは不当に長くなる。それに対して有向グラフ G の態様のパラメータ化したグラフ表現は、多くの k 空間ラインとまったく同様に撮影されている。

【 0 1 3 4 】

この有向グラフ G およびそれと関連したプログラム言語もしくはデータモデルは以下で、単一のサブシーケンス 1 0 1 から成る 1 つの測定シーケンス 1 0 0 の可能な 1 例としてのグラジエントエコーシーケンス G R E を用いて説明される。有向グラフ G のこの形式記述は、以下で示すように完全かつ自動的に機械可読フォーマットに変換することができる。

【 0 1 3 5 】

1 つの測定シーケンス 1 0 0 の有向グラフ G は、従ってサブシーケンス 1 0 1 の有向グラフも、相対的関連、例えば個々の W X ブロック W X のもとでの時間関連を再現し、完全にパラメータ化することができ、すなわち具体的値を占めることができる。シーケンスモデルの基本原理は、ワーブブロック W、X ブロック X、休止 B の群から成るブロックにシーケンスモデルが基づいている事実である。1 サブシーケンス 1 0 2 の有向グラフ G はノードとエッジ K a と有向グラフ G を経過制御するためのエッジの性質とを含む。ノードは X ブロック X と入口点 I と出口点 O とから成る群を含む。入口点 I と出口点 O は、入口点 I としての有向グラフ G の初端と出口点 O としての有向グラフ G の終端とを示すので、一定の仕方特殊位置を占める。それゆえに、図 6 の有向グラフの選択されたグラフ表現において入口点 I は下向きの三角形として示してある一方、出口点 O は上向きの三角形である。有向グラフ G が終了するや、1 サブシーケンス 1 0 2 または 1 つの測定シーケンス 1 0 0 の他の有向グラフ G にジャンプすることができる。有向グラフの残りのノード、つまり入口点 I および / または出口点 O ではないノードは、X ブロック X によって与えられている。図 6 と以下ではこれらのノードが楕円で示してある。有向グラフのノードはエッジ K a を介して結合される。さらに、エッジ K a は有向グラフ G を経過制御するための性質を備えている。エッジ K a は同様に、自動装置の状態モデルまたはグラフ理論の方から知られているようなトランジションである。経過制御するためのエッジ K a の性質は測定シーケンス 1 0 0 の特徴的性質を描写する。経過を制御するためのエッジ K a のこれらの性質は、ワーブブロック W、時間測定、休止 B およびパスキントロール P から成る群によって与えられている。測定シーケンス 1 0 0 をパラメータ化すべき有向グラフ G では、まったく特定のトランジションのみが許容されている。これらの許容トランジションとは：入口点 I からパスキントロール P を介して X ブロック X に至る移行部。さらに、X ブロック X からパスキントロール P を介して出口点 O に至る移行部。さらに、X ブロック X からパスキントロール P を介してワーブブロック W に、またそこから X ブロック X に至る移行部が許容されている。さらに、X ブロック X からパスキントロール P および休止 B を介してワーブブロック W に、そしてそこから X ブロック X に至る移行部、最後に X ブロック X から時間測定を介して X ブロック X に至る移行部である。

【 0 1 3 6 】

有向グラフ G のエッジ K a は線によって与えられている。時間測定は有向グラフ G 内で円によって与えられており、この円内にその都度測定されるべきシーケンス時間、例えば

エコー時間 T_E または繰返し時間 T_R が明示されている。

【0137】

パスコントロール P は、有向グラフ G のエッジ K_a を進むことができるように満たされていなければならない質問の意味で理解することができる。

【0138】

経過制御するためのエッジ K_a の性質に含まれるワーブブロック W は、図 6 の有向グラフに長方形として示してある。さらに、経過制御するための有向グラフ G のエッジ K_a の時間測定性質は有向グラフに円で示してある。

【0139】

1 つの測定シーケンス 100 を実行する原理は、 WX ブロックを実行し、どの WX ブロック WX が次に実行されるべきであるのかを発見するためにパスコントロール P を使用し、測定シーケンス 100 の出口点 O に達するまでこれを繰り返すことである。

【0140】

有向グラフ G の内部のシーケンス時間、例えば図 6 のエコー時間 T_E または繰返し時間 T_R は、動作時間についてワーブブロックの長さを計算するのに使用される。有向グラフ G の全要素、つまりノードとエッジ K_a と経過制御のためのエッジ K_a の性質は、測定シーケンス 100 もしくはサブシーケンス 101 のまったく特定の機能を表す。

【0141】

ワーブブロック W と WX ブロック WX は、1 つの測定シーケンス 100 の内部の、有向グラフから具体的ワーブブロック W もしくは X ブロック X として作成することのできる全ワーブブロック W および X ブロック X の制御構造を表す。換言するなら、有向グラフ G 内に表されたワーブブロックおよび X ブロック X は両方の型のブロック相互の相対関係を確定し、それらの具体的持続時間を決定するのではない。有向グラフ G 内で表されたワーブブロック W および X ブロック X から、磁気共鳴スキャナ 4 で実行可能なタイムスライスを作成するには、それらの持続時間を確定する必要がある。それゆえに各 X ブロックのノードが時間インデックス機能を備えている。この時間インデックス機能は、1 つの測定シーケンス 100 の内部で X ブロック X の群成を統合することを可能とする。

【0142】

有向グラフ G の「展開」時、有向グラフ G の $1X$ ブロック X の利用された各インスタンスについて各 1 つの時間変数 $T_{xs, i}$ 、 $T_{xe, i}$ が生じる。時間インデックス機能は、これら時間変数の値を相互に区別できるか否か、どのように区別できるのかを確定するのに使用される。こうして例えば、 X ブロック X に割り当てられたすべての時間変数が同一値を持つべきであることを確定することができる。選択的に例えば、 X ブロック X に割り当てられたすべての時間変数がさまざまな値を持つことを許容することができる。さらに例えば、1 つのターボスピンエコーシーケンスの内部の 1 つのリフォーカスパルスの持続時間が確かにエコー番号と共に変化するが、しかしエコートレイン番号と共に変化するのでないことを確定することができる。こうして、今日では高いプログラミング労力でのみ変換することのできる測定シーケンス 100 は、場合によってはソルバー 2000 用境界条件 2500 と組合せて、ごく簡単に実現することができる。このような測定シーケンスは、例えば VET 測定シーケンス (VET : 英語で "variable encoding time")、または可変読取り帯域幅を有する測定シーケンス 100 である。

【0143】

図 4 に示す例のグラジエントエコーシーケンス GRE は、励起 ("Excite" と称される) するための送信型 ST の X ブロック X と図面に "GradEcho" と称した受信型 ET の X ブロック X とを含む。ノード "Excite" は図面で "Excite0" で表されているワーブブロック W を介して、つまりシーケンス入口点 I から到達することができ、且つ、図面で "ToExciteN" で表されている第 n エコー励起へのワーブブロック W を介してグラジエントエコー X ブロック "GradEcho" から到達することができる。それに対して、エコーを作成するための X ブロック "GradEcho" は専ら励起パルス "Excite" からグラジエントエコーへのワーブブロック "ToGradEcho" を介して到達することができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 4 】

シーケンス時間の測定は、既に述べたようにXブロックXの間で規定されている。シーケンス時間の名前は記述の一部である。このような名前は例えばエコー時間TE、繰返し時間TRまたは反転時間TIとすることができる。ワーブブロックWの長さを決定するには十分なシーケンス時間が存在しなければならない。1シーケンス時間の少なくとも1つの測定は各Xブロックで終了しなければならない。例外となるのは1つのサブシーケンス101の内部の第1XブロックXであり、そのグローバル時間tはシーケンス開始時間T.30を介して規定されている。各シーケンス時間測定がさらに3つの機能と関連付けられており、これらの機能は有向グラフGのグラフ表現からは明らかとならない。これらはまず第一に、グローバル時間軸t上の特定XブロックXでシーケンス時間の測定を開始するか否かを明示するシーケンス時間測定の1つの条件である。シーケンス時間を測定するための他の条件は、グローバル時間軸t上の特定XブロックXでシーケンス時間の測定を停止させるか否かを明示することである。そして最後は、定められたシーケンス時間にインデックスを割り当てることをシーケンスプログラマに可能とする時間インデックス機能である。図6に示すグラジエントエコーサブシーケンスGREの例では、シーケンス時間としてエコー時間TEと反復時間TRが設けられている。エコー時間TEは常に励起パルス"Excite"からグラジエントエコー"GradEcho"まで測定される。それに対してTRは1つの励起パルス"Excite"から次の励起パルスまで測定される。繰返し時間TRの測定は第1励起パルス"Excite"について停止されてはならない。さらに、繰返し時間TRの測定は最後の励起パルス"Excite"について開始されてはならない。

10

20

【 0 1 4 5 】

入口点Iは単純にエントリポイント、すなわちサブシーケンス102の開始、従って測定シーケンス100の開始を表す。それとは対照的に出口点Oはサブシーケンス101もしくは測定シーケンス100の終了を示す。選択的休止Bでもってシーケンスプログラマは、別のサブシーケンス101とのインターリーブを明確に許容する可能性を有する。休止Bは図6の例において、第1励起パルス"Excite"を例外に各励起パルス"Excite"の前にある。当業者に知られているようなtrue-fisp測定シーケンスTRUFIではこのような休止Bが設けられていない。なぜならば、定常状態とも称される所要の準定常状態がこれによって破壊されるであろうからである。それゆえに、TRUFI測定シーケンスには休止Bが欠落している。

30

【 0 1 4 6 】

パスコントロールPは有向グラフGの内部できわめて重要な役割を演じる。パスコントロールPは、サブシーケンス101の内部でWXブロックWXが実行される順序を規定する。各XブロックXが少なくとも1つの後続要素を有する。WXブロックWXが実行されたなら、可能な全後続要素のパスコントロールPが、任意の順序で、可能な後続要素のうちいずれが実際の後続要素であるのかが質問される。質問されたパスコントロールPのうち1つのみがこの質問にイエスで答えることができる。パスコントロールPの内部でサブシーケンスインデックスが点検され変更される。別のすべての機能はローカルであるが、サブシーケンス101の内部で経過制御はサブシーケンス101全体に妥当するグローバル知識を必要とする。それゆえに、サブシーケンス101の内部でWXブロックWXの正しい順序を確保するために、一般にサブシーケンス101の内部ですべてのパスコントロールPが協調しなければならない。それゆえに、1群のパスコントロールPを定式化することはシーケンスプログラマにとってきわめて困難な課題と考えられる。

40

【 0 1 4 7 】

指摘しておくなら、測定シーケンス100の有向グラフGとしての表現は難なくインターリーブ構造を表現することができる。インターリーブ構造の古典的定式化とは異なり、有向グラフGとしての表現はパスコントロールPによって一層強力である。インターリーブ構造によって、有向グラフGとして表現できるような制御構造のそれぞれは1つの測定シーケンス100のこの形式記述の枠内で定式化することができない。図6に示す例においてこれは例えば、図面に"Always"で示された常時満たされていなか

50

ればならないパスコントロール、つまり励起パルス"Excite"後に常にグラジエントエコー"GradEcho"が撮影されることを確保するパスコントロールである。図示例のグラジエントエコー状シーケンス G R E は、すべてのグラジエントエコー"GradEcho"がまだ撮影されていない限り、他のグラジエントエコー"GradEcho"を撮影する。最後のグラジエントエコー"GradEcho"が撮影されたなら、サブシーケンスは有向グラフ G に"Finished"で表してある終わらせるためのパスコントロール P で終了する。

【 0 1 4 8 】

さらに、サブシーケンス 1 0 2 または測定シーケンス 1 0 0 で再選別機能を実行することができる。可能なこの再選別機能は有向グラフ G のグラフ表現には示されていない。再選別機能の役目は与えられた多数のサブシーケンスインデックスからサブシーケンスインデックスを計算することである。この再選別機能は任意の順序で各ワーブブロック W の前に実行される。不必要な複雑さを避けるために、再選別機能の出力されたインデックスが、排他的にパスコントロール P によって変更されるインデックスでないことを確保するのが有意義である。図 6 に示す例のグラジエントエコー状シーケンス G R E では k 空間ラインと分割インデックスはグラジエントエコーのインデックスから計算される。掃引時に例えば 5 つのグラジエントエコーが作成され、つまりエコートレインが 5 つのエコーの長さであるグラジエントエコーシーケンス G R E の内部のグラジエントエコーでは、いずれの群の k 空間ラインがこれらのエコーのそれぞれについて撮影されるかを確かめておかねばならない。エコー番号から次に、いずれの k 空間ラインをエンコーディングすべきであるのかを求めることができる。この種の再選別は当業者には十分知られている。同様に、さまざまなエコーへの個々の k 空間ラインの選択された分配から直接的に生じる縁等の可能な強調をどのように実行すべきかも当業者には知られている。

【 0 1 4 9 】

次に有向グラフ G の個々の要素の協働を示すために、図 6 に有向グラフ G として示したようなグラジエントエコー状シーケンス G R E 用 k 空間ラインの撮影がステップごとに検討される。有向グラフ G 内の実際の位置はその都度の要素を太く表示することによって示してある。同様に、後続の図ではその都度の位置がグローバル時間軸 t 上にある。

【 0 1 5 0 】

図 7 A は有向グラフ G の入口点 I でのエントリを示す。このステップではまずサブシーケンス 1 0 1 用シーケンス開始時間 T . 3 0 がグローバル時間軸 t 上で確定される。

【 0 1 5 1 】

図 7 B は有向グラフ G 内の他の 1 ステップであり、常時満たされていなければならないパスコントロール"Always"の後にワーブブロック"ToExcite0"に達している。このワーブブロック"ToExcite0"は第 1 励起パルス"Excite"に先行している。

【 0 1 5 2 】

図 7 C では第 1 励起パルス"Excite"に達しており、第 1 k 空間ライン用にスピンスステムの励起が行われる。

【 0 1 5 3 】

図 7 D は、第 1 励起パルス"Excite"に達してエコー時間 T E のシーケンス時間測定が開始されることを示す。これは"Excite"ブロックから出発し、図の下側で有向グラフ G に太く示してある。

【 0 1 5 4 】

図 7 E は、励起ブロック"Excite"に達してさらにシーケンス時間の他の測定、つまり繰返し時間 T R の測定が開始されることを示す。こうして、励起ブロック"Excite"から出発するすべての時間測定が開始されている。

【 0 1 5 5 】

図 7 F では、常時満たされるべきパスコントロール"Always"が有向グラフ G 内でワーブブロック"ToGradEcho"への前進を強いる。それゆえに、常時満たされるべきパスコントロール"Always"が有向グラフ G 内で太く示してある。図の上側部分のグローバル時間軸 t 上で、X ブロック"Excite"の後続要素を発見するためのパスコントロール P のこの点検は

疑問符によってグローバル時間軸 t に示唆してある。つまり、励起ブロック "Excite" による励起後にグラジエントエコー "GradEcho" が常時強いられる。グラジエントエコー "GradEcho" に達し、つまりグラジエントエコー "GradEcho" を撮影するために受信型 X ブロックに達すると、シーケンス時間 T_E の測定が停止される。そのことが図 7 G で明らかとなる。

【 0 1 5 6 】

図 7 H はさらに、常時満たされるべきパスコントロール "Always" 後にワーブブロック "ToGradEcho" がグラジエントエコー "GradEcho" に先行して実行されることを示す。

【 0 1 5 7 】

図 7 I では X ブロック "GradEcho" が実行され、これについてグラジエントエコーが撮影される。そのことは有向グラフ G でもグローバル時間軸 t 上でも認めることができる。X ブロック X の実行後、有向グラフ G は等価で並置された 2 つのパスコントロール P に達する。これらのパスコントロール P は一方で、サブシーケンス 1 0 1 の終了を示すパスコントロール "Finished" である。さらにこれは、 k 空間ラインの他の撮影を示すパスコントロールである。このパスコントロールは有向グラフ G に "AnotherScan" で示してある。他の k 空間ラインを撮影すべきである場合、まず休止 B が続き、これにやはりワーブブロック "ToExciteN" が続く。N は、このワーブブロックが第 n 励起に先行することを示す。すべての k 空間ラインが走査され、つまりすべてのグラジエントエコー "GradEcho" が記録されてはじめて、サブシーケンス 1 0 1 が終了し、サブシーケンス 1 0 1 を終了させるためのパスコントロール "Finished" が唯一のものとして満たされている。次に有向グラフ G の出口点 O に達する。次の k 空間ライン用の励起パルス "Excite" に達するや、繰返し時間 T_R のシーケンス時間測定が停止される。これはエコー時間 T_E の測定とまったく同様に起きる。しかしながら、図の上側部分の時間推移から明らかとなるように繰返し時間 T_R は 1 サブシーケンス 1 0 1 の内部、従って 1 つの測定シーケンス 1 0 0 の内部の 2 つのスーパーブロック 1 0 2 を結合する。

【 0 1 5 8 】

特別指摘しておくなら、有向グラフ G に表現可能な形式記述もしくは形式化記述を、MR スキャナ 4 で実行されるべき 1 つの測定シーケンス 1 0 0 用に使用すると、有向グラフ G から、決定されるべき多数のパラメータ 1 1 0 0 に至るまで既に完全にパラメータ化された測定シーケンス 1 0 0 のパラメータ化を抽出することが可能となる。

【 0 1 5 9 】

図 7 に関連して上で詳しく示したように、1 つのサブシーケンス 1 0 1 の内部で、従って 1 つの測定シーケンス 1 0 0 の内部でも、個々の WX ブロック WX の相対関係を有向グラフ G から求めることができる。さらに、決定されるべき多数のパラメータ 1 1 0 0 に至るまでサブシーケンス 1 0 1 もしくは測定シーケンス 1 0 0 を完全にパラメータ化するために、1 つのサブシーケンス 1 0 1 もしくは 1 つの測定シーケンス 1 0 0 の相応する有向グラフ G は最小量の所要情報を表現する。特に、有向グラフ G として表される 1 つの測定シーケンス 1 0 0 をグローバル時間軸 t 上に表現または「ロールアウト」するのに、他のループ構造はもはや必要でない。

【 0 1 6 0 】

こうして、シーケンスモデルに基づく測定シーケンス 1 0 0 の表現は、従ってサブシーケンス 1 0 2 の表現も、シーケンスプログラマ用の特定用途向けプログラム言語の基礎である。有向グラフ G に与えられた測定シーケンス 1 0 0 の仕様は、シーケンスプログラマが提供しなければならない所要の最少情報を含む。このシーケンス記述は、まったく普通の仕方、ソフトウェアを作成するためのビルトシステムによって使用することができる。ビルトシステムとは、原始コードファイルにライブラリを一体化しかつ実行可能なソフトウェアを作成するシステムのことである。さらに、シーケンスに左右されないソフトウェアモジュールが、有向グラフ G として表される測定シーケンス 1 0 0 のデータストリームを入力データとして使用することが可能である。こうして、このデータストリームをさまざまな仕方、分析することが可能である。

【 0 1 6 1 】

これに関連して考えられるソルバー 2000 は有向グラフ G から測定シーケンス 100 の構造を求め、次に例えば、作成されたシーケンス方程式を考慮して測定シーケンス用タイミング問題を解き、許容されたもしくは好適なタイミング値 T_i を求める。ソルバー 2000 には以下でなお詳しく言及される。さらに、新規な測定シーケンス 100 を有向グラフ G として直接定式化することが考えられる。さらに、外部ソフトウェアモジュールが有向グラフ G の仕様を読み込んでそれを表現し、またはさまざまなタイミング値 T_i およびコントラスト設定についてファントム像を計算し、好適なタイミング値 T_i およびそのパラメータの選択を MR スキャナ 4 のユーザに容易とすることが考えられる。シーケンスに左右されないソフトウェアモジュール、例えばソルバー 2000 等について、図 7 に示すようにソルバーが予め定められた有向グラフ G をグローバル時間軸 t 上で展開させ、有向グラフ G から与えられたシーケンス方程式によって有向グラフ G の全タイミング問題を解くことが十分に考えられる。この解はすべてのワーブブロック W およびすべての X ブロック X について各持続時間を含むことができる。X ブロックの持続時間からワーブブロック W の持続時間は暗黙裡に明らかとなる。次にソルバー 2000 は求めたタイミング値 T_i を好適なサイトで各ブロックに挿入し、次に有向グラフ G を再び展開する。こうしていまや有向グラフ G のすべての性質が仕様されている。すなわち、決定されるべき多数のパラメータ 1100 はさしあたり、作成された有向グラフ G から既知でなかったが、いまや具体的値を占めている。

10

【0162】

MR スキャナ 4 で実行されねばならない測定シーケンス 100 に関連してソルバー 2000 は以下の如く記述することもできる。ソルバー 2000 は一般に、十分に規定されたセットの入力値から MR 測定用の全パラメータを求めるソフトウェアモジュールである。十分に規定された入力値のこのようなセットが本発明によれば、有向グラフ G の態様の測定シーケンス 100 の形式化記述によって提供される。そのことから、決定されるべき多数のパラメータ 1100 用の許容値と一緒にタイミング問題を解くことができ、なお決定されるべきパラメータ 1100 が具体的値を占めることになる。これらの具体的値はソルバー 2000 によって決定される。ソルバー 2000 は付加的に、MR スキャナ 4 で測定シーケンス 100 を実行するために満たされねばならない境界条件 2500 をなお考慮する。こうして特に測定シーケンス 100 はソルバー 2000 によって完全に許容値を占めている。いまや記述または測定シーケンス仕様は任意のプログラム言語に自動的に変換することができる。このプログラム言語は次に例えば磁気共鳴スキャナ 4 で直接に実行可能、および / または MR スキャナ 4 に接続された制御ユニット 45 で実行可能とすることができる。境界条件 2500 は以下の要素を含むことができる：MR 画像用コントラスト設定。これは一般に診断上の問題提起から生じる。なぜならば、特定の診断上の問題提起に答えるために例えば T_1 方向であるからである。そうする代わりに、例えば T_2 重み付け、または MR 画像内の適切な脂肪抑制が可能である。これらのコントラスト設定はエコー時間 TE の選択されるべき値、繰返し時間 TR、反転時間 TI 等に対する影響を直接有する。これらの事実は当業者には周知である。本発明によればこのようなコントラスト設定は数学問題として、例えばタイミング問題を解くときソルバー 2000 によって考慮されねばならない数学的副次条件の態様で、実行と解とのためにソルバー 2000 に与えることができる。それに加えて、満たされねばならない境界条件 2500 の他の可能性は画像分解能設定である。これには例えば、所要の画像分解能を生じる解剖学的事実が含まれる。例えば患者の前立腺を検査するにはきわめて高い分解能が必要であるが、しかしながらごく小さな目標範囲内でのみ必要でもある。目標範囲は視野または英語で field of view FOV とも称される。さらに、検査すべき断層の位置設定が守られねばならない。心臓の検査に適した断層が選択されねばならない。

20

30

40

【0163】

さらに、既にスキャナ 4 のハードウェアの性状からいわゆるハードウェア制約として生じる境界条件 2500 がある。これに含まれるのは例えば、傾斜コイルに傾斜電流を供給する電力増幅器の最大出力と、MR スキャナ 4 を作動保持するのに必要な冷却出力である

50

。例えば冷却出力が少なすぎることからMRスキャナ4が過熱されると、持続的作動時に測定シーケンス100が監視モジュールによって中断され、最初から開始されねばならなくなる。患者を検査することのできない死時間が生じるので、既に経済的理由のみからでもMR測定のこのような中断は望ましくない。さらに、MRスキャナ4のハードウェアの部品が破損する虞がある。他の可能な境界条件2500の1つは、1つの測定シーケンス100を実行するのに必要な測定時間を最小にする設定である。これは一方で経済的に動機付けられている。というのも、単位時間当たり患者処理量の高まりはMRスキャナの費用を一層迅速に償却するからである。しかしさらに、例えば患者が息を止める測定のため最大測定時間を設定する検査もある。さらに、特に測定シーケンスの推移全体にわたっても守られねばならない一連の患者安全設定がある。損傷または被害から患者を保護するための条件から、既に述べたように例えば傾斜の最大勾配急峻度が生じる。さらに、他の患者安全設定は送信された高周波出力が最大値を上まわらないこととすることができる。照射された高周波出力が強すぎると、上で既に検討したように患者が火傷することがある。これらの限界値を守ることは実際には、いかなる出力が既に患者に放出されたのかを一緒に記述することによって例えばノードモデルで実現することができる。このような方法は当業者には周知であり、それゆえにここでは詳しく説明しない。

10

20

30

40

50

【0164】

本開示に関連して述べたように、MRスキャナ4で実行可能な1つの測定シーケンス100を形式的に記述するための本発明に係る方法は、1つの測定シーケンス100の形式記述から出発する1つの測定シーケンス100を自動的に作成してMRスキャナで実行するための本発明に係る方法も、シーケンスプログラムの作業を著しく容易とする。一方で、測定シーケンス100を完全に記述するのに必要なパラメータの管理は著しく簡素となる。というのも、測定シーケンス100を決定するパラメータの大部分は有向グラフGから自動的に求めることができるからである。さらに、決定されるべき多数のパラメータ1100でもって所要のすべてのパラメータは少なくともブレースホルダーとして既知である。すなわち換言するなら、具体的値を求めることなくパラメータは既知である。つまりプログラムは臨床ルーチンにおいて1つの測定シーケンス100について多数のパラメータにかかわりあう必要がない。決定されるべき多数のパラメータ1100の許容値の決定は次にソルバー2000によって行うことができる。ソルバー2000は有向グラフGに形式記述されたような与えられたパラメータおよびそれらの関係から、決定されるべきパラメータ1100を求め、これらを許容値が占めるようにする。すべてのパラメータが記述されたなら、これらのパラメータを測定シーケンス100の完全仕様に変換することが当然可能である。従来、許容パラメータ値の算出は時間のかかるプロセスであった。ユーザは測定シーケンスを実行するための多数のパラメータ値を提案する。ユーザのこの入力

は従来、試験モジュールによって点検され、特にハードウェア制約および/または傾斜制約が点検される。その際に問題が生じた場合、MRスキャナのユーザはMRスキャナ4の窓またはユーザインタフェース3000の制御素子を介してその旨指摘された。これは例えばモニタ205を介して行うことができる。次にユーザの介入が必要であった。これは代表的には新たな1つの測定シーケンス100についてしばしば必要であった。その限りで、磁気共鳴スキャナ4のユーザと相互に作用し合って許容値を求めることは時としてきわめて時間と努力を必要とした。本発明に係る両方の方法が使用される限り、ユーザの手間は著しく減少する。決定されるべきパラメータ1100の量は一般に少ない。これらの値は代表的には、例えばエコー時間TE、繰返し時間TR等のいわゆるハイレベルパラメータである。従って、ユーザの設定すべきパラメータはユーザにとって直観的に扱わねばならないパラメータである。最後に、パラメータはMR画像のコントラスト特性と直接結合されている。

【0165】

図8は本発明の好ましい実施形態によるシステムのブロック線図であり、このシステムは本発明に係る両方の方法を含む。システムの構成要素は実線で互いに結合されており、相互に通信することができる。図8では関与するモジュールを接続された長方形でネット

ワークが表現されている。ユーザインタフェース 3000 を介してユーザとの対話が可能である。ユーザインタフェース 3000 は、有向グラフ G を表現するのに適したモニタ 205 を含む。このシステムは、有向グラフ G を受け取るためにグラフ受入インタフェース 910 を含む。グラフはシーケンスモデルによって提供される。選択的に、グラフ受入インタフェース 910 は形式記述装置の入力を受け取ることができる。さらにこのシステムは境界条件インタフェースモジュール 915 を含む。このモジュールはユーザおよび / またはハードウェアによって与えられる境界条件 2500 を受け取る。パラメータ化モジュール 1005 が有向グラフ G の構造を用いて測定シーケンス 100 のパラメータ化を求める。境界条件 2500 と決定されるべき多数のパラメータ 1100 とからソルバー 2000 は 1 セットのタイミング値 T_i を求め、このセットはタイミング問題を解き、かつ決定されるべき多数のパラメータ 1100 の許容値を含む。 10

【0166】

ソルバー 2000 は当然に、1 つの測定シーケンス 100 の全パラメータ、例えば選択された断層の内部の 2 mm の分解能を確定するのに使用することもできよう。ソルバー 2000 がパラメータ値用固定バリヤを設定するのでなく、費用機能もしくは刑罰機能と合わせて可変限界を有するパラメータ範囲を設定すると有利であると実証することができた。刑罰機能によって、所定限界からの偏差がどのように深刻に評価されるのかを定式化することができる。ソルバー 2000 は次に解を求め、可変限界はソルバー 2000 によって、同時に極力僅かな刑罰機能において変更することができる。予め定められた境界条件 2500 のもとでこのような解が可能でない場合にのみ、インタフェース 3000 を介して MR スキャナ 4 のユーザとの対話が必要である。ユーザは、決定されるべきパラメータ 1100 の値および / または境界条件 2500 を設定しおよび / または変更する可能性を有する。ソルバー 2000 によって求められたパラメータ値から測定シーケンス 100 の完全記述が得られる。変換モジュール 990 によって測定シーケンス 100 はタイムスライスに変換することができ、これらのタイムスライスは本発明に係るシステムの一部としての MR スキャナ 4 で実行することができる。 20

【0167】

全体として本発明は MR スキャナ 4 のユーザとの所要の対話の回数を著しく減らす。その限りで、作業がシーケンスプログラマにとって簡素になるだけではない。さらに、MR スキャナ 4 のユーザの作業も著しく簡素になる。ユーザは本発明でもって診断上の問題提起に集中する時間を多く持つことになる。 30

【0168】

さらに、測定シーケンス 100 の選択された形式記述から一連のまったく新しいアプリケーションが得られる。測定シーケンス 100 を例えばグラフで記述することも可能である。さらに、有向グラフ G で測定シーケンス 100 をほぼ完全にパラメータ化することによって測定シーケンス 100 の分析は容易となる。完全シーケンス仕様をプログラム言語に自動的に変換 (翻訳) するステップは変換モジュール 990 によって行われ、容易にかつ周知の如くの実現することができる。それゆえに以下では、当業者に知られているような FLASH シーケンスの仕様が XML に与えられている。 40

【0169】

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<iSeq xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
      xsi:noNamespaceSchemaLocation="iSeq.0.08.xsd" version="0.08" ID="iSeq_Demo">
  <SubSeq ID="SubSeq_FLASH">
    <XNode ID="XNode_FLASHTxExcite" xcalc="Tx_Excite" tindex="SeqTimeIndex_Tx">
      <PlotInfo>
        <BoundingBox height="40" width="80" x="100" y="260" />
      </PlotInfo>
    </XNode>
    <XNode ID="XNode_FLASHRxGradEcho" xcalc="Rx_GradEcho"
            tindex="SeqTimeIndex_Rx">
      <PlotInfo>
        <BoundingBox height="40" width="80" x="100" y="460" />
      </PlotInfo>
    </XNode>
    <Entry warp="Warp_ToExcite0" to="XNode_FLASHTxExcite">
      <PlotInfo>
        <EntryBox height="40" width="40" x="60" y="20" />
        <LabelBox height="40" width="80" x="40" y="140" />
        <ToConnectorPoint x="80" y="220" />
        <ToConnectorPoint x="140" y="220" />
      </PlotInfo>
    </Entry>
    <Connection to="XNode_FLASHRxGradEcho" from="XNode_FLASHTxExcite"
               ctrl="PathCtrl_Always" warp="Warp_ToGradEcho" break="false">
      <PlotInfo>
        <LabelBox height="80" width="98" x="100" y="340" />
      </PlotInfo>
    </Connection>
    <Connection to="XNode_FLASHTxExcite" from="XNode_FLASHRxGradEcho"

```

10

20

30

```

        ctrl="PathCtrl_AnotherScan" warp="Warp_ToExciteN" break="true">
<PlotInfo>
    <LabelBox height="120" width="100" x="160" y="60" />
    <FromConnectorPoint x="140" y="540" />
    <FromConnectorPoint x="300" y="540" />
    <FromConnectorPoint x="300" y="20" />
    <FromConnectorPoint x="200" y="20" />
    <ToConnectorPoint x="200" y="220" />
    <ToConnectorPoint x="140" y="220" />
</PlotInfo>
</Connection>
<Exit ctrl="PathCtrl_Finished" from="XNode_FLASHRxGradEcho">
    <PlotInfo>
        <ExitBox height="40" width="40" x="120" y="660" />
        <LabelBox height="40" width="80" x="100" y="580" />
    </PlotInfo>
</Exit>
<SeqTimeDef time="SeqTime_TE" tindex="SeqTimeIndex_TE">
    <Meas to="XNode_FLASHRxGradEcho" starts="SeqTimeCond_Always"
        ends="SeqTimeCond_Always" from="XNode_FLASHTxExcite">
        <PlotInfo>
            <LabelBox height="40" width="40" x="20" y="360" />
            <FromConnectorPoint x="40" y="280" />
            <ToConnectorPoint x="40" y="480" />
            <StartPort right="false" />
            <EndPort right="false" />
        </PlotInfo>
    </Meas>
</SeqTimeDef>
<SeqTimeDef time="SeqTime_TR" tindex="SeqTimeIndex_TR">
    <Meas to="XNode_FLASHTxExcite" starts="SeqTimeCond_NotAtLastScan"
        ends="SeqTimeCond_NotAtFirstScan" from="XNode_FLASHTxExcite">
        <PlotInfo>
            <LabelBox height="40" width="40" x="220" y="260" />
            <FromConnectorPoint x="200" y="240" />
            <FromConnectorPoint x="240" y="240" />
            <ToConnectorPoint x="240" y="320" />
            <ToConnectorPoint x="200" y="320" />
        </PlotInfo>
    </Meas>
</SeqTimeDef>

```

```

        <StartPort right="true" />
        <EndPort right="true" />
    </PlotInfo>
</Meas>
</SeqTimeDef>
<Reorder IDREF="Reorder_FLASH3d" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_BandwidthTimeProductExcite" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_DurationExcite" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_TimeIndexModeTx" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_TimeIndexModeRx" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_TimeIndexModeTE" />
<N4SeqInfo IDREF="N4SeqInfo_TimeIndexModeTR" />
<PlotInfo>
    <Font size="12" />
</PlotInfo>
</SubSeq>
<TxBlockCalc ID="Tx_Excite" block="TxBlock_ConstGradId">
    <RunFuncParams>
        <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Excite" />
        <Property IDREF="Property_SlicePosition" />
        <Property IDREF="Property_BandwidthTimeProductExcite" />
        <Property IDREF="Property_Gamma" />
        <SubSeqGlobalStorage IDREF="SubSeqGlobalStorage_RFSpoil" />
    </RunFuncParams>
</TxBlockCalc>
<RxBlockCalc ID="Rx_GradEcho" block="RxBlock_ConstGradId">
    <RunFuncParams>
        <BaseMoment IDREF="BaseMoment_ReadOut" />
        <BaseMoment IDREF="BaseMoment_DeltaPE" />
        <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Delta3D" />
        <Property IDREF="Property_DirectionPE" />
        <Property IDREF="Property_Direction3D" />
        <Property IDREF="Property_SlicePosition" />
        <Property IDREF="Property_ImageSamplesRO" />
        <Property IDREF="Property_ImageSamplesPE" />
        <Property IDREF="Property_ImageSamples3D" />
        <Property IDREF="Property_ImagePixelSize2D" />
        <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />

```

10

20

30

40

```

    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <Property IDREF="Property_ImagePixelSize3D" />
    <Property IDREF="Property_OversamplingPE" />
    <Property IDREF="Property_Oversampling3D" />
    <Property IDREF="Property_Gamma" />
    <Property IDREF="Property_NumberOfChannels" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Lin" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Par" />
    <SubSeqGlobalStorage IDREF="SubSeqGlobalStorage_RFSpoil" />
  </RunFuncParams>
</RxBlockCalc>
<WarpBlockCalc ID="Warp_ToExcite0" block="WarpBlock_WarpM0">
  <RunFuncParams>
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Zero" />
    <SeqGlobalStorage IDREF="SeqGlobalStorage_M0Store" />
  </RunFuncParams>
</WarpBlockCalc>
<WarpBlockCalc ID="Warp_ToExciteN" block="WarpBlock_WarpM0">
  <RunFuncParams>
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Zero" />
    <SeqGlobalStorage IDREF="SeqGlobalStorage_M0Store" />
  </RunFuncParams>
</WarpBlockCalc>
<WarpBlockCalc ID="Warp_ToGradEcho" block="WarpBlock_WarpM0">
  <RunFuncParams>
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Delta3D" />
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_DeltaPE" />
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_Excite" />
    <BaseMoment IDREF="BaseMoment_ReadOut" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Lin" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Par" />
    <SeqGlobalStorage IDREF="SeqGlobalStorage_M0Store" />
  </RunFuncParams>
</WarpBlockCalc>
<PathCtrlCalc ID="PathCtrl_Finished">
  <RunFuncParams>

```

10

20

30

40

```

    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
</PathCtrlCalc>
<PathCtrlCalc ID="PathCtrl_AnotherScan">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
  </RunFuncParams>
  <SeqRunIndexOut IDREF="SeqIndex_Scan" />
</PathCtrlCalc>
<PathCtrlCalc ID="PathCtrl_Always">
  <RunFuncParams />
</PathCtrlCalc>
<SeqTimeCondCalc ID="SeqTimeCond_NotAtLastScan">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
</SeqTimeCondCalc>
<SeqTimeCondCalc ID="SeqTimeCond_NotAtFirstScan">
  <RunFuncParams>
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
</SeqTimeCondCalc>
<SeqTimeCondCalc ID="SeqTimeCond_Always">
  <RunFuncParams />
</SeqTimeCondCalc>
<SeqTimeIndexCalc ID="SeqTimeIndex_Tx">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_TimeIndexModeTx" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
</SeqTimeIndexCalc>

```

10

20

30

40

```

<SeqTimeIndexCalc ID="SeqTimeIndex_Rx">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_TimeIndexModeRx" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
</SeqTimeIndexCalc>
10
<SeqTimeIndexCalc ID="SeqTimeIndex_TE">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_TimeIndexModeTE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
20
</SeqTimeIndexCalc>
<SeqTimeIndexCalc ID="SeqTimeIndex_TR">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_TimeIndexModeTR" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamples3D" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
30
</SeqTimeIndexCalc>
<ReorderCalc ID="Reorder_FLASH3d">
  <RunFuncParams>
    <Property IDREF="Property_KSpaceSamplesPE" />
    <SeqRunIndex IDREF="SeqIndex_Scan" />
  </RunFuncParams>
  <SeqRunIndexOut IDREF="SeqIndex_Lin" />
  <SeqRunIndexOut IDREF="SeqIndex_Par" />
40
</ReorderCalc>
<SeqTime ID="SeqTime_TE" />
<SeqTime ID="SeqTime_TR" />
<TXBlock ID="TxBlock_ConstGradId" />
<RXBlock ID="RxBlock_ConstGradId" />
<WarpBlock ID="WarpBlock_WarpM0" />
<SeqRunIndex ID="SeqIndex_Scan" />

```

```

<SeqRunIndex ID="SeqIndex_Par" />
<SeqRunIndex ID="SeqIndex_Lin" />
<DataType ID="DataType_Int64" />
<DataType ID="DataType_NonNegativeFloat" />
<DataType ID="DataType_UnitVector3dXYZ" />
<DataType ID="DataType_PositiveInteger" />
<DataType ID="DataType_NonNegativeInteger" />
<DataType ID="DataType_PositiveFloat" />
<DataType ID="DataType_SeqTimeVar" />
<DataType ID="DataType_Vector3dXYZ" />
<Unit ID="Unit_SRT" />
<Unit ID="Unit_PercentOver100" />
<Unit ID="Unit_mm" />
<Unit ID="Unit_HzPerPixel" />
<Unit ID="Unit_MHzPerT" />
<Unit ID="Unit_One" />
<Property ID="Property_KSpaceSamples3DCS" DataType="DataType_Int64" Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_SlicePositionCS" DataType="DataType_Int64" Unit="Unit_mm" />
<Property ID="Property_KSpaceSamples3D" DataType="DataType_PositiveInteger"
Unit="Unit_One" />
  <Property ID="Property_ImagePixelSize3D" DataType="DataType_PositiveFloat"
Unit="Unit_mm"
  />
  <Property ID="Property_SlicePosition" DataType="DataType_Vector3dXYZ" Unit="Unit_mm" />
  <Property ID="Property_ImagePixelSize2D" DataType="DataType_PositiveFloat"
Unit="Unit_mm"
  />
  <Property ID="Property_Oversampling3D" DataType="DataType_NonNegativeFloat"
    Unit="Unit_PercentOver100" />
  <Property ID="Property_KSpaceSamplesPE" DataType="DataType_PositiveInteger"
    Unit="Unit_One" />
  <Property ID="Property_BandwidthTimeProductExcite" DataType="DataType_PositiveFloat"
    Unit="Unit_One" />
  <Property ID="Property_Gamma" DataType="DataType_PositiveFloat" Unit="Unit_MHzPerT" />
  <Property ID="Property_OversamplingPE" DataType="DataType_NonNegativeFloat"
    Unit="Unit_PercentOver100" />
  <Property ID="Property_ImageSamples3D" DataType="DataType_PositiveInteger"
    Unit="Unit_One" />

```

```

<Property ID="Property_Direction3D" DataType="DataType_UnitVector3dXYZ" Unit="Unit_One"
  />
<Property ID="Property_NumberOfChannels" DataType="DataType_PositiveInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_ImageSamplesRO" DataType="DataType_PositiveInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_ImageSamplesPE" DataType="DataType_PositiveInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_DirectionRO" DataType="DataType_UnitVector3dXYZ" Unit="Unit_One"
  />
<Property ID="Property_DirectionPE" DataType="DataType_UnitVector3dXYZ" Unit="Unit_One"
  />
<Property ID="Property_TimeIndexModeTx" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_TimeIndexModeRx" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_TimeIndexModeTE" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<Property ID="Property_TimeIndexModeTR" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_BandwidthTimeProductExcite" DataTy-pe="DataType_PositiveFloat"
  Unit="Unit_One" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_DurationExcite" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_SRT" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_TimeIndexModeTx" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_TimeIndexModeRx" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_TimeIndexModeTE" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<N4SeqInfo ID="N4SeqInfo_TimeIndexModeTR" DataType="DataType_NonNegativeInteger"
  Unit="Unit_One" />
<BaseMomentCalc ID="BaseMoment_Zero" />
<BaseMomentCalc ID="BaseMoment_Excite">
  <Property IDREF="Property_Direction3D" />
  <Property IDREF="Property_BandwidthTimeProductExcite" />
  <Property IDREF="Property_ImagePixelSize3D" />
  <Property IDREF="Property_ImageSamples3D" />

```

10

20

30

40

```

    <Property IDREF="Property_Gamma" />
</BaseMomentCalc>
<BaseMomentCalc ID="BaseMoment_ReadOut">
    <Property IDREF="Property_DirectionRO" />
    <Property IDREF="Property_ImagePixelSize2D" />
    <Property IDREF="Property_ImageSamplesRO" />
    <Property IDREF="Property_Gamma" />
</BaseMomentCalc>
<BaseMomentCalc ID="BaseMoment_DeltaPE">
    <Property IDREF="Property_DirectionPE" />
    <Property IDREF="Property_Gamma" />
    <Property IDREF="Property_OversamplingPE" />
    <Property IDREF="Property_ImageSamplesPE" />
    <Property IDREF="Property_ImagePixelSize2D" />
</BaseMomentCalc>
<BaseMomentCalc ID="BaseMoment_Delta3D">
    <Property IDREF="Property_Direction3D" />
    <Property IDREF="Property_Gamma" />
    <Property IDREF="Property_Oversampling3D" />
    <Property IDREF="Property_ImageSamples3D" />
    <Property IDREF="Property_ImagePixelSize3D" />
</BaseMomentCalc>
<SeqGlobalStorage ID="SeqGlobalStorage_M0Store" />
<SubSeqGlobalStorage ID="SubSeqGlobalStorage_RFSpoil" />
</iSeq>

```

10

20

30

【 0 1 7 0 】

上記XMLコードは、図6に示した有向グラフGについてのFLASHシーケンスを記述する。全シーケンス方程式および傾斜モーメント方程式を含む形式記述から、有向グラフGから各XブロックXのモーメントも求めることができる。例えば以下では原始コードが、FLASHシーケンスを記述する個々の量についてC++で明示される。

【 0 1 7 1 】

3D方向の傾斜モーメント、BaseMoment_Delta3D

```
#ifndef GET_MANUAL_INCLUDE
```

40

```
#include "GradCalc.h"
```

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
double myDeltaM0;
```

```
Success = GradCalc::deltaMoment (myDeltaM0,
```

```
PROPERTY (Gamma),
```

10

```
PROPERTY (ImageSamples3D) * PROPERTY (ImagePixelSize3D),
```

```
PROPERTY (Oversampling3D)
```

```
);
```

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
BASEMOMENT (Delta3D).setDirection (PROPERTY (Direction3D));
```

```
BASEMOMENT (Delta3D).setValue (myDeltaM0);
```

20

```
Success=true;
```

```
#endif
```

【 0 1 7 2 】

位相エンコーディング方向の傾斜モーメント、Base_MomentDeltaPE

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

```
#include "GradCalc.h"
```

```
#endif
```

30

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
double myDeltaM0;
```

```
Success = GradCalc::deltaMoment (myDeltaM0,
```

```
PROPERTY (Gamma),
```

```
PROPERTY (ImageSamplesPE) * PROPERTY (ImagePixelSize2D),
```

```
PROPERTY (OversamplingPE)
```

```
);
```

40

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
BASEMOMENT (DeltaPE).setDirection (PROPERTY (DirectionPE));
```

```
BASEMOMENT(DeltaPE).setValue(myDeltaM0);
```

```
Success=true;
```

```
#endif
```

【 0 1 7 3 】

傾斜モーメント 励起、BaseMoment_Excite

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

```
#include "GradCalc.h"
```

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
double myGSAmpl;
```

```
int64_t myCalcDuration = 25600;
```

```
Success = GradCalc::constGSAmplitude ( static_cast<uint64_t>(myCalcDuration),
```

```
PROPERTY(BandwidthTimeProductExcite),
```

```
PROPERTY(ImageSamples3D) *
```

```
PROPERTY(ImagePixelSize3D),
```

```
PROPERTY(Gamma),
```

```
myGSAmpl
```

```
);
```

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
BASEMOMENT(Excite).setDirection(PROPERTY(Direction3D));
```

```
BASEMOMENT(Excite).setValue(myGSAmpl*static_cast<double>(myCalcDuration));
```

```
Success=true;
```

```
#endif
```

【 0 1 7 4 】

読取り方向の傾斜モーメント、BaseMoment_ReadOut

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

```
#include "GradCalc.h"
```

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
double myDeltaM0;
```

```
Success = GradCalc::deltaMoment ( myDeltaM0,
                                   PROPERTY(Gamma),
```

```
PROPERTY(ImagePixelSize2D)*PROPERTY(ImageSamplesRO),
                                   0.0
                                   );
```

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
BASEMOMENT(ReadOut).setDirection (PROPERTY(DirectionRO));
```

```
BASEMOMENT(ReadOut).setValue (myDeltaM0*static_cast<double>(PROPERTY(ImageSamplesRO)));
```

```
Success=true;
```

```
#endif
```

10

20

【 0 1 7 5 】

零次モーメント、BaseMoment_Zero

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
BASEMOMENT(Zero).setDirection(vec3{0,0,1});
```

```
BASEMOMENT(Zero).setValue(0);
```

```
Success=true;
```

```
#endif
```

30

【 0 1 7 6 】

XブロックXを構成するためのFLASHサブシーケンス原始コード、
励起パルス、Tx_Excite

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

40

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
CTRL_STRUCT(AdditionalPhase) = 90+SUBSEQGLOBALSTORAGE(RFSpoil).CurrentPhase;
```

```
CTRL_STRUCT(Asymmetry) = 0.5;
```

```
CTRL_STRUCT(BandwidthTimeProduct) = PROPERTY(BandwidthTimeProductExcite);
```

```
CTRL_STRUCT(FlipAngle) = 90;
```

```
CTRL_STRUCT(Gamma) = PROPERTY(Gamma);
```

```
CTRL_STRUCT(SlicePosition) = PROPERTY(SlicePosition);
```

10

```
Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(Excite), 1.0);
```

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
#endif
```

【 0 1 7 7 】

グラジエントエコーの読取り、Rx_GradEcho

20

```
#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
```

```
#include "GradCalc.h"
```

```
#include "FreqPhaseCalc.h"
```

```
#include "StdRxCtrlSettings.h"
```

```
#endif
```

```
#ifdef GET_MANUAL_BODY
```

```
double myPhaseIncPE;
```

30

```
Success = FreqPhaseCalc::KSpacePhaseInc
```

```
{
```

```
    myPhaseIncPE,
```

```
    PROPERTY(DirectionPE)*PROPERTY(SlicePosition),
```

```
    PROPERTY(ImagePixelSize2D)*PROPERTY(ImageSamplesPE),
```

```
    PROPERTY(OversamplingPE)
```

```
};
```

40

```
CHECK_SUCCESS (Success, false);
```

```
double myPhaseInc3D;
```

```
Success = FreqPhaseCalc::KSpacePhaseInc
```

```

        myPhaseInc3D,
        PROPERTY(Direction3D)*PROPERTY(SlicePosition),
        PROPERTY(ImagePixelSize3D)*PROPERTY(ImageSamples3D),
        PROPERTY(Oversampling3D)
    };

CHECK_SUCCESS (Success, false);

double myAdditionalPhase = 0;

int32_t myCenterLinNo = PROPERTY(KSpaceSamplesPE)/2;
int32_t myCenterParNo = PROPERTY(KSpaceSamples3D)/2;

int32_t myLinNo = static_cast<int32_t>(SUBSEQINDEX(Lin)) - myCenterLinNo;
int32_t myParNo = static_cast<int32_t>(SUBSEQINDEX(Par)) - myCenterParNo;

Success = FreqPhaseCalc::applyPEOffcenter
(
    myAdditionalPhase,
    FreqPhaseCalc::ADCAppliesPhase,
    myPhaseIncPE,
    myLinNo,
    myPhaseInc3D,
    myParNo
);

CHECK_SUCCESS (Success, false);

double myDeltaMOPE;

Success = GradCalc::deltaMoment
(
    myDeltaMOPE,
    PROPERTY(Gamma),
    PROPERTY(ImagePixelSize2D)*PROPERTY(ImageSamplesPE),
    PROPERTY(OversamplingPE)
);

CHECK_SUCCESS (Success, false);

```

```

double myDeltaM03D;

Success = GradCalc::deltaMoment
(
    myDeltaM03D,
    PROPERTY(Gamma),
    PROPERTY(ImagePixelSize3D)*PROPERTY(ImageSamples3D),
    PROPERTY(Oversampling3D)
);
CHECK_SUCCESS (Success, false);

myAdditionalPhase += SUBSEQGLOBALSTORAGE(RFSpoil).CurrentPhase;

SUBSEQGLOBALSTORAGE(RFSpoil).NextPhaseInc += 50;
SUBSEQGLOBALSTORAGE(RFSpoil).CurrentPhase +=
SUBSEQGLOBALSTORAGE(RFSpoil).NextPhaseInc;

CTRL_STRUCT(AdditionalPhase) = myAdditionalPhase;
CTRL_STRUCT(Gamma) = PROPERTY(Gamma);
CTRL_STRUCT(SlicePosition) = PROPERTY(SlicePosition);
CTRL_STRUCT(ReadOutImageSamples) = PROPERTY(ImageSamplesRO);
CTRL_STRUCT(PartialFourierFactor) = 1.0;

CTRL_STRUCT(EchoSpec).push_back(ExcitationRF);

Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(ReadOut), 1.0);
CHECK_SUCCESS (Success, false);

Success = CTRL_STRUCT(EchoM0).addBaseMoment (BASEMOMENT(DeltaPE), myLinNo);
CHECK_SUCCESS (Success, false);

Success = CTRL_STRUCT(EchoM0).addBaseMoment (BASEMOMENT(Delta3D), myParNo);
CHECK_SUCCESS (Success, false);
#endif

```

【 0 1 7 8 】

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
if (SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().isEmpty())
{
    Success = rCtrl.M0.addBaseMoment (BASEMOMENT(Zero), 1);
    CHECK_SUCCESS (Success,false);
}
else
{
    Success = rCtrl.M0.addBaseMomentLinearCombination
(SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment());
    CHECK_SUCCESS (Success,false);

    SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().clear();
}
#endif

```

10

20

ワープロックWを構成するためのF L A S Hサブシーケンス原始コード
 第1励起のためのワープロック"ToExcite0"、Warp_ToExcite0
 【 0 1 7 9 】
 ワープロック"ToExciteN"、Warp_ToExciteN

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
if (SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().isEmpty())
{
    Success = rCtrl.M0.addBaseMoment (BASEMOMENT(Zero), 1);
    CHECK_SUCCESS (Success,false);
}
else
{
    Success = rCtrl.M0.addBaseMomentLinearCombination
(SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment());
}

```

30

40

```

CHECK_SUCCESS (Success,false);

SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().clear();
}
#endif

```

【 0 1 8 0 】

ワークブロック "ToGradEcho"、Warp_ToGradEcho

10

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

```

```

#ifdef GET_MANUAL_BODY
int64_t myLinNo = SUBSEQINDEX(Lin);
int64_t myParNo = SUBSEQINDEX(Par);
int64_t myCenterLinNo = PROPERTY(KSpaceSamplesPE)/2;
int64_t myCenterParNo = PROPERTY(KSpaceSamples3D)/2;

```

20

```

Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(DeltaPE), myLinNo - myCenterLinNo);
CHECK_SUCCESS (Success,false);

```

```

Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(Delta3D), myParNo - myCenterParNo);
CHECK_SUCCESS (Success,false);

```

30

```

Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(Excite), -0.5);
CHECK_SUCCESS (Success,false);

```

```

Success = CTRL_STRUCT(M0).addBaseMoment (BASEMOMENT(ReadOut), -0.5);
CHECK_SUCCESS (Success,false);

```

```

Success = SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().addBaseMoment
(BASEMOMENT(DeltaPE), static_cast<double>(myCenterLinNo) -
static_cast<double>(SUBSEQINDEX(Lin)));
CHECK_SUCCESS (Success,false);

```

40

```

Success = SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().addBaseMoment
(BASEMOMENT(Delta3D), static_cast<double>(myCenterParNo) -
static_cast<double>(SUBSEQINDEX(Par)));
CHECK_SUCCESS (Success,false);

Success = SEQGLOBALSTORAGE(M0Store).LKBaseMoment().addBaseMoment
(BASEMOMENT(ReadOut), 0.5);
CHECK_SUCCESS (Success,false);
#endif

```

10

【 0 1 8 1 】

F L A S H サブシーケンス原始コード：パスコントロール
常時満たされるべきパスコントロール、"Always"

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
TAKE_THIS_PATH(true);
Success=true;
#endif

```

20

【 0 1 8 2 】

パスコントロール「他のスキャン?」、"AnotherScan"

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
if (SUBSEQINDEX(Scan) < PROPERTY(KSpaceSamplesPE)*PROPERTY(KSpaceSamples3D)-1)
{
    TAKE_THIS_PATH(true);
    SUBSEQINDEX(Scan)++;
}
else
{
    TAKE_THIS_PATH(false);
}

Success=true;
#endif

```

30

40

【 0 1 8 3 】

終了のためのパスコントロール、"Finished"

50

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#ifdef iSeqDemo_KsmStorageSingleton
#include "KsmStorageSingleton.h"
#include "KsmStorageSingletonString.h"
#endif
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
10
if (SUBSEQINDEX(Scan) == PROPERTY(KSpaceSamplesPE)*PROPERTY(KSpaceSamples3D)-1)
{
    TAKE_THIS_PATH(true);
}
else
{
    TAKE_THIS_PATH(false);
20
}

Success=true;

#ifdef iSeqDemo_KsmStorageSingleton
{
    KsmStorageSingletonString myKey = KsmStorageSingletonString("demo message
from Reorder_FLASH3d");

30

    IKsmStorageSingletonEntry * myEntryPtr = KsmStorageSingle-
ton::getObject(myKey);

    if (myEntryPtr)
    {
        KsmStorageSingletonString * pStr = dy-
namic_cast<KsmStorageSingletonString*>(myEntryPtr);

```

```

        if (pStr)
        {
            PR_INFO ("\'%s\' = \'%s\'", myKey.str.c_str(), pStr->str.c_str());
        }
        else
        {
            PR_WARN ("\'%s\' from KsmStorageSingleton is of wrong type",
                    myKey.str.c_str());
        }
    }
    else
    {
        PR_WARN ("can not get \'%s\' from KsmStorageSingleton",
myKey.str.c_str());
    }
}
#endif
#endif

```

10

20

【 0 1 8 4 】

F L A S H サブシーケンス原始コード：シーケンス時間測定条件
時間測定条件「常時」、SeqTimeCond.Always

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
    SET_SEQ_TIME_MARK(true);
    Success = true;
#endif

```

30

【 0 1 8 5 】

時間測定条件「第1スキャンでない」、SeqTimeCond.NotAtFirstScan

```

#ifdef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY
    SET_SEQ_TIME_MARK(SUBSEQINDEX(Scan) != 0);
    Success = true;
#endif

```

40

50

【 0 1 8 6 】

時間測定条件「最終スキャンでない」、SeqTimeCond_NotAtLastScan

```
#ifndef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY

SET_SEQ_TIME_MARK(SUBSEQINDEX(Scan)+1 !=
PROPERTY(KSpaceSamplesPE)*PROPERTY(KSpaceSamples3D));

Success = true;

#endif
```

10

【 0 1 8 7 】

インデックスの初期化、SeqTimeIndex_AlwaysZero

```
#ifndef GET_MANUAL_INCLUDE
#endif

#ifdef GET_MANUAL_BODY

SET_SEQ_TIME_INDEX(0);

Success = true;

#endif
```

20

【 0 1 8 8 】

これに関連してなお指摘しておくなら、本発明に係る方法は形式記述の自動変換に基づいて測定シーケンス 1 0 0 用シーケンス記述を提供することができ、このシーケンス記述は M R スキャナ 4 の実際のハードウェアで直接使用することができる。こうして本発明に係る両方の方法はスムーズに実際の M R スキャナ 4 に挿入することができる。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 8 9 】

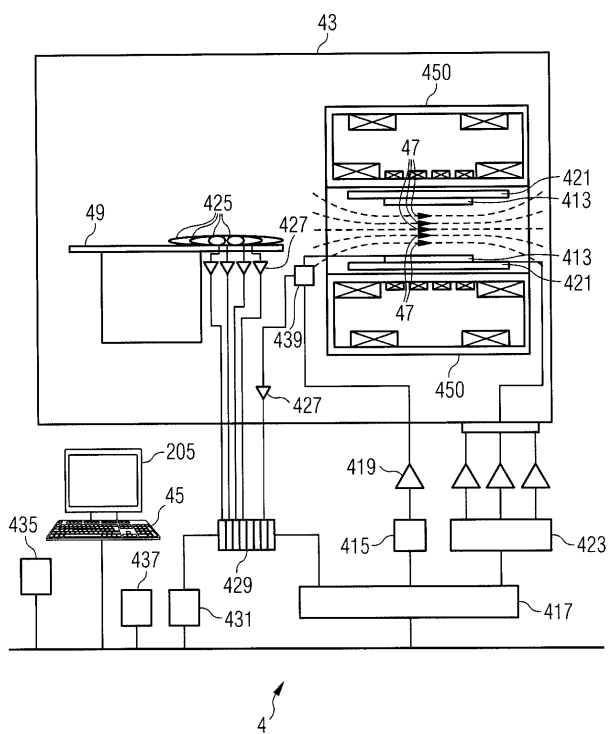
4 スキャナ
 4 5 制御ユニット
 1 0 0 測定シーケンス
 1 0 1 サブシーケンス
 1 0 2 スーパーブロック
 9 1 0 グラフ受入インタフェース
 9 1 5 境界条件インタフェースモジュール
 9 9 0 変換モジュール
 1 0 0 5 パラメータ化モジュール
 1 1 0 0 パラメータ
 2 0 0 0 ソルバー
 2 5 0 0 境界条件
 3 0 0 0 ユーザインタフェース
 B 休止
 E T 受信型
 G 有向グラフ
 I 入口点

40

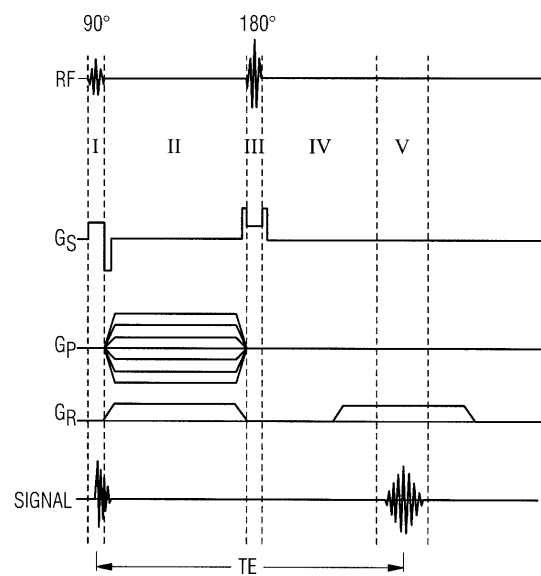
50

K a エッジ
O 出口点
P パスコントロール
S T 送信型
T . 3 0 シーケンス開始時間
T . i タイミング値
X Xブロック
W ワーブブロック

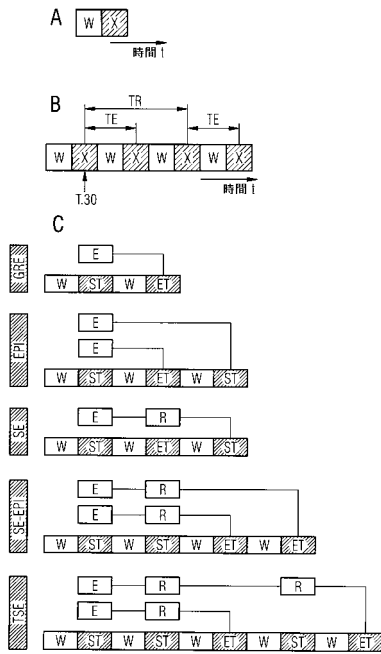
【 図 1 】



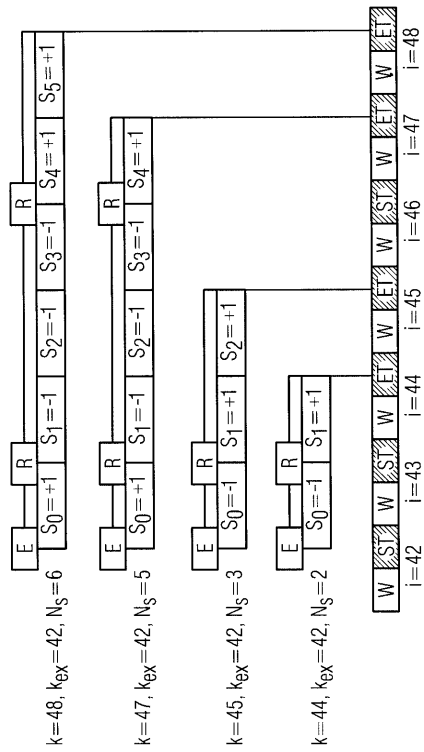
【 図 2 】



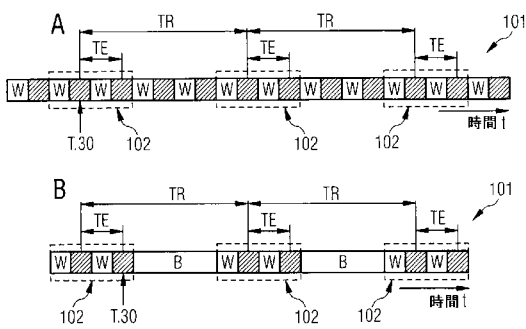
【図 3】



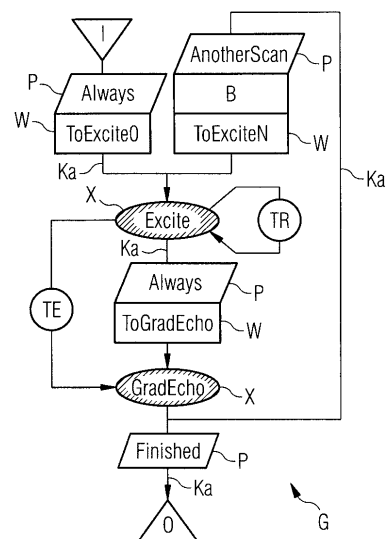
【図 4】



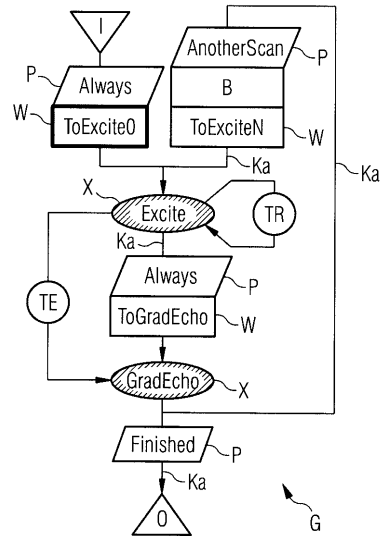
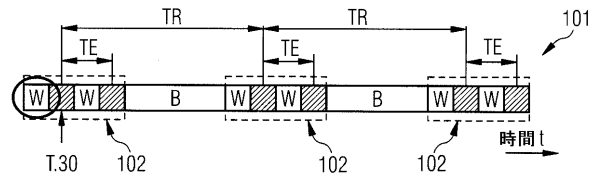
【図 5】



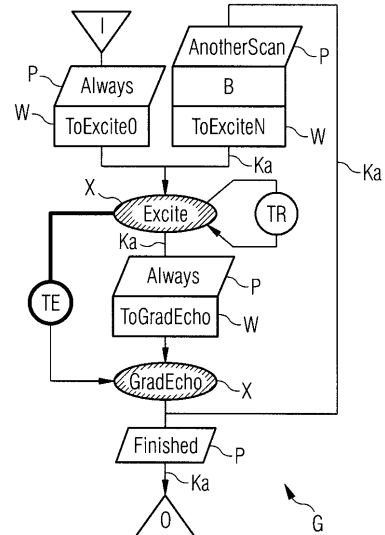
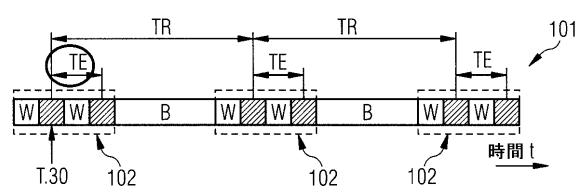
【図 6】



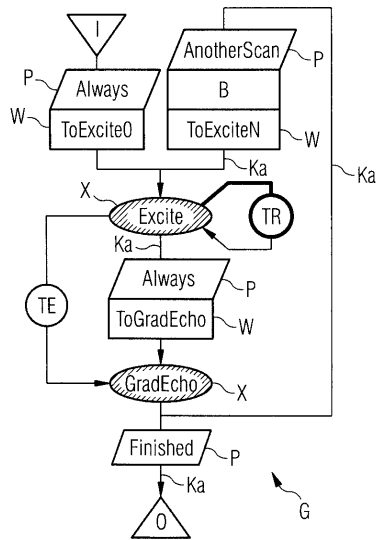
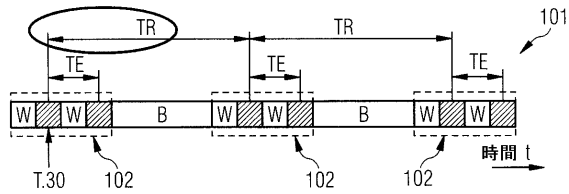
【 図 7 B 】



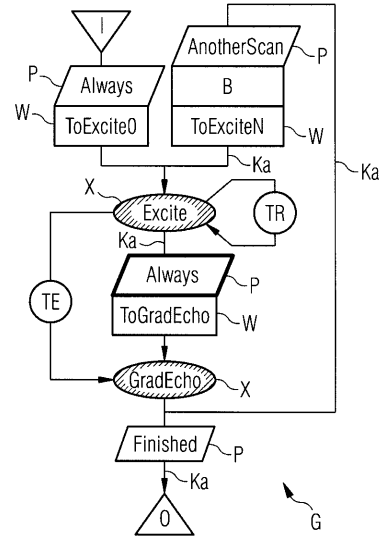
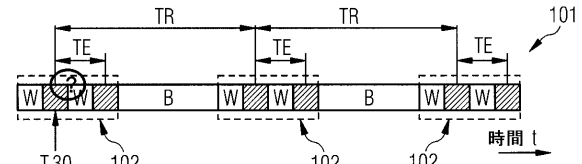
【 図 7 D 】



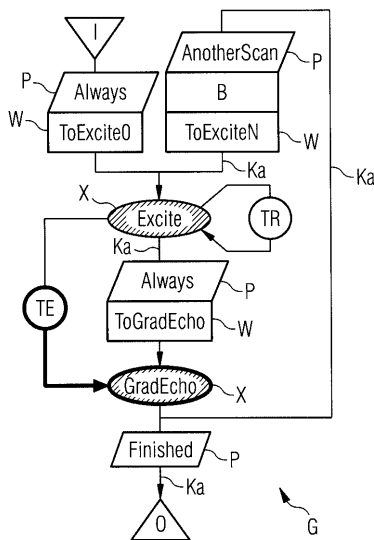
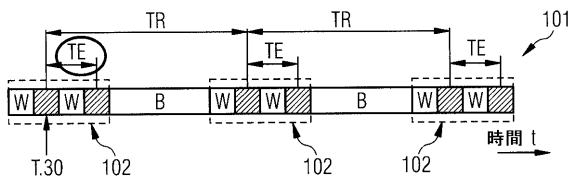
【図 7 E】



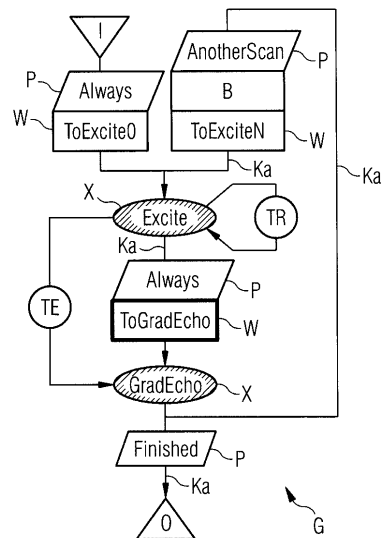
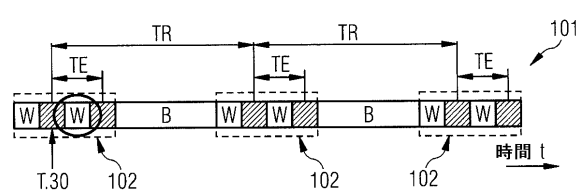
【図 7 F】



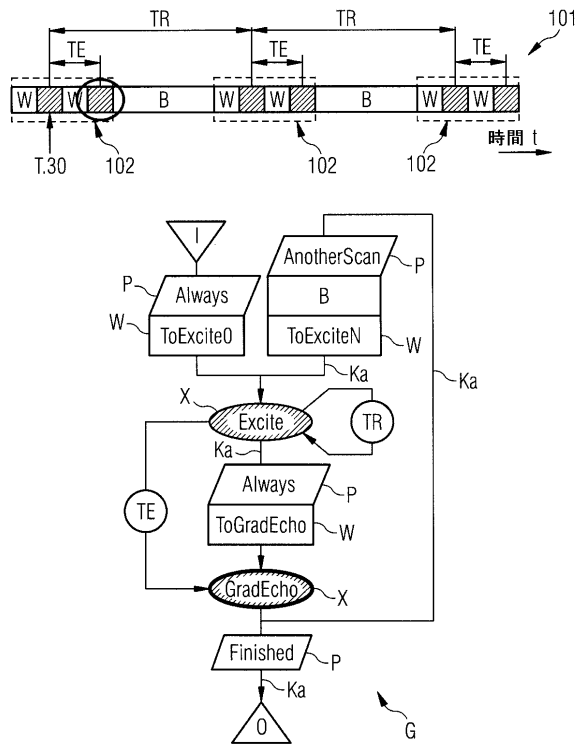
【図 7 G】



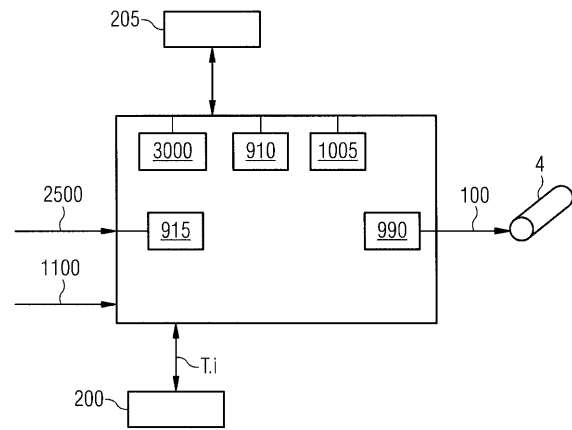
【図 7 H】



【図 7 I】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 オリファー ハイト

ドイツ連邦共和国 9 1 7 1 0 グンツェンハウゼン クラッカーシュトラッセ 5 アー

(72)発明者 トーマス クルーゲ

ドイツ連邦共和国 9 6 1 1 4 ヒルシャイト マルクスシュトラッセ 1 アー

F ターム(参考) 4C096 AB50 AD06 AD07 BA50 BB40