

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5372008号
(P5372008)

(45) 発行日 平成25年12月18日 (2013.12.18)

(24) 登録日 平成25年9月27日 (2013.9.27)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

A 6 1 B 5/05 3 5 5

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2010-537559 (P2010-537559)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成20年12月4日 (2008.12.4)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2011-505948 (P2011-505948A)		オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5
(43) 公表日	平成23年3月3日 (2011.3.3)		
(86) 国際出願番号	PCT/IB2008/055085	(74) 代理人	100070150
(87) 国際公開番号	W02009/074924		弁理士 伊東 忠彦
(87) 国際公開日	平成21年6月18日 (2009.6.18)	(74) 代理人	100091214
審査請求日	平成23年11月30日 (2011.11.30)		弁理士 大貫 進介
(31) 優先権主張番号	07122849.8	(74) 代理人	100107766
(32) 優先日	平成19年12月11日 (2007.12.11)		弁理士 伊東 忠重
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(72) 発明者	ルーフェン, ヘンリキウス ヘー オランダ国, 5 6 5 6 アーエー アイン ドーフエン, ハイ・テク・キャンパス・ビ ルディング 4 4

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MR 1 受信器における改良されたクロック生成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

核磁気共鳴撮像無線周波数受信器であって、前記受信器は、少なくとも1つの無線周波数受信器コイル装置からアナログ信号を受信するよう適合され、前記無線周波数受信器は、第1のデジタル信号にアナログ磁気共鳴信号を変換するためのアナログ・デジタル変換器、第2のデジタル信号に前記第1のデジタル信号を変換するための再サンプリング及びデジタル復調装置、通信リンクを介して前記第2のデジタル信号を送信するよう適合された通信インタフェース、及びサンプリング・クロックを生成する第1のクロック生成器を備え、前記サンプリング・クロックは、前記アナログ・デジタル変換器の直接クロック源であり、前記第1のクロック生成器はデジタル・タイミング・レファレンスを使用して前記サンプリング・クロックを生成するよう適合され、前記デジタル・タイミング・レファレンスは、前記通信インタフェースにより、前記通信リンクを介してデジタル形式で受信され、前記受信器はシステム・クロックを生成するための第2のクロック生成器を更に備え、前記システム・クロックは再サンプリング及び復調装置の直接クロック源であり、前記第2のクロック生成器は、前記サンプリング・クロックを使用して前記システム・クロックを生成するよう適合される受信器。

【請求項 2】

請求項1記載の受信器であって、データ・クロックを生成するための第3のクロック生成器を更に備え、前記データ・クロックは、前記通信インタフェースの前記直接クロック源であり、前記第3のクロックは、前記サンプリング・クロック又は前記システム・クロ

10

20

ックを使用して前記データ・クロックを生成するよう適合された受信器。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の受信器であって、前記第 1 のクロック生成器及び前記第 3 のクロック生成器は帰還ループを形成し、前記第 1 のクロック生成器は前記帰還ループによって制御される受信器。

【請求項 4】

請求項 3 記載の受信器であって、前記第 2 のクロック生成器は前記帰還ループ内に含まれる受信器。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の何れかに記載の受信器であって、帰還ループが位相ロック・ループである受信器。

10

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の受信器であって、前記通信リンクを介してデジタル形式で受信された前記デジタル・タイミング・レファレンスがシリアル・データ・ビットストリームとして受信される受信器。

【請求項 7】

請求項 6 記載の受信器であって、前記データ・クロックは多位相クロックであり、前記通信インタフェースは、前記多位相クロックからの前記データ・クロックの回復に適合され、前記回復されたデータ・クロックは、前記シリアル・データ・ビットストリームに含まれる前記データを回復するために動作可能である受信器。

20

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の受信器であって、前記受信器は複数の通信インタフェースを備え、前記複数の通信インタフェースは、更なる受信器のデジー・チェイン化に適合される受信器。

【請求項 9】

請求項 8 記載の受信器であって、各通信インタフェースは、中央で生成された多位相クロックから前記データ・クロックを個々に、かつ動的に回復するよう適合された受信器。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 の何れかに記載の受信器であって、複数の受信器チャンネルは受信器内に含まれ、各受信器チャンネルはアナログ・デジタル変換器並びに再サンプリング及びデジタル復調装置を備え、受信器チャンネルは全て、共通のサンプリング・クロックと、共通のシステム・クロックと、前記通信インタフェースとを含む受信器。

30

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 の何れかに記載の受信器であって、前記システム・クロック及び前記サンプリング・クロックは同じ周波数で動作する受信器。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 の何れかに記載の受信器と、制御及びデータ獲得システムとを備えた核磁気共鳴撮像システムであって、前記制御及びデータ獲得システムはマスタ・クロックを備え、前記マスタ・クロックは前記タイミング・レファレンスを前記受信器に前記通信リンクを介して供給する核磁気共鳴撮像システム。

40

【請求項 13】

磁気共鳴撮像受信器コイル装置から無線周波数信号を受信する方法であって、前記方法は核磁気共鳴撮像無線周波数受信器によって行われ、前記方法は、前記無線周波数受信器コイル装置からアナログ核磁気共鳴信号を受信する工程と、アナログ磁気共鳴信号を第 1 のデジタル信号に変換する工程であって、前記変換は、アナログ・デジタル変換器によって行われる工程と、前記第 1 のデジタル信号を第 2 のデジタル信号に再サンプリングし、前記第 2 のデジタル信号を通信リンクを介して通信する工程とを含み、第 1 のクロック生成器はサンプリング・クロックを生成し、前記サンプリング・クロックは前記アナログ・デジタル変換器の直接クロック源であり、前記第 1 のクロック生成器はデジタル・タイミング・レファレンスを使用して前記サンプリング・クロックを生成し、前

50

記デジタル・タイミング・レファレンスは前記通信インタフェースにより、前記通信リンクを介してデジタル形式で受信され、システム・クロックが第2のクロック生成器によって生成され、前記システム・ブロックが再サンプリング及び復調装置の直接クロック源であり、前記第2のクロック生成器は、前記サンプリング・クロックを使用して前記システム・クロックを生成する方法。

【請求項14】

請求項13記載の方法であって、第3のクロック生成器により、データ・クロックを生成する工程を更に備え、前記データ・クロックは、前記通信インタフェースの前記直接クロック源であり、前記第3のクロック生成器は、前記サンプリング・クロック又は前記システム・クロックを使用して前記データ・クロックを生成する方法。

10

【請求項15】

請求項13又は14に記載の方法であって、前記通信リンクを介してデジタル形式で受信される前記デジタル・タイミング・レファレンスは、シリアル・データ・ストリームとして受信され、前記データ・クロックは多位相クロックであり、前記方法は更に、前記通信インタフェースにより、前記データ・クロックを前記多位相クロックから回復する工程、及び前記回復されたデータ・クロックを使用して前記シリアル・データ・ビットストリームに含まれるデータを回復する工程を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、核磁気共鳴撮像無線周波数受信器、磁気共鳴撮像受信器コイル装置から無線周波数信号を受信する方法、及びコンピュータ・プログラム・プロダクトに関する。

【背景技術】

【0002】

磁気共鳴撮像(MRI)は、先例のない組織コントラストで、人体のような物体の断面ビューイングを可能にする従来の撮像手法である。MRIは、分子についての微視的な化学及び物理情報を得るために科学者によって使用される分光手法である核磁気共鳴(NMR)の原理に基づく。NMR及びMRIの基準は、非ゼロ・スピンを有する原子核が磁気モーメントを有するということである。医用撮像では、これは、例えば、水のような高濃度で体内に存在しているので、調査される水素原子の核(すなわち、陽子 ^1H)である。ラジオ(無線周波数)波が、強い外部磁場における核に向けられ、これは、陽子の励起及び陽子の緩和につながる。陽子の緩和により、無線信号が発出され、これを検出し、コンピュータ処理して画像を形成する。磁気共鳴(MR)無線周波数(RF)受信コイルは、特定のMR実験において伝送されるRF信号を受信するために必要な部品である。最善のアンテナ素子位置は、走査される人体の近くであり、よって、MR受信コイルの大半は、スキャナ操作者により、患者上に配置される。

30

【0003】

MR受信コイル、又は一般に、増幅器、スイッチ等のような種々の電子部品及びコイルを備えるMR受信チェーンは外部ラジオ波による擾乱に対する感度が非常に高いので、MR受信チェーンは電磁的に遮蔽されなければならない、これは、検査室におけるMR受信チェーン及び別個の技術室における制御システムの空間的に離間していることを必要とする。

40

【0004】

従来のMR受信チェーンは、RFスイッチ、RF増幅器、RF電源、RFケーブル及びRFコネクタ等などの多くの高価なアナログ設計素子を備えたマッシブ・パラレル・アナログ・ソリューションを特徴とする。前述の素子は全て、通常、検査室における受信チェーンと技術室におけるアナログ・デジタル変換器との間の10乃至20メートルの距離にわたって散らばっている。これにより、素子が散らばっていること、及び多くの直流電気部品間の不必要な相互作用により、MRスキャナを、高い費用対効果で設計し、作製するために最も複雑かつ困難な局面のうちの1つになる。

50

【 0 0 0 5 】

前述の課題は、コイルにおける素子数が多い場合（すなわち、従来の配線手法を使用して効果的に組合せる必要がある複数の個々のコイルを含むコイル・システム）において更に重大になっている。更に、MRIシステムでは、各直流電流配線は、直流電流配線の結合効果による画像品質の有害な作用を避けるために、トレーピングを考慮し、注意深く設計する必要がある。

【 0 0 0 6 】

更に、特定のコイル実現形態の実際のワークフロー効果はMRIスキャナの動作に非常に重要である。大部分においてMRIスキャナの患者のスループットが定められるからである。更に、患者は、配線の混乱を軽減し、種々の人体の形状により柔軟に適合させ、より軽量である人間工学的設計、潜在的により短い又はより少ない閉所恐怖症体験のような効率的なワークフローによって主に定められる改良された患者の快適性を有する受信コイルの恩恵を受ける。

10

【 0 0 0 7 】

前述の課題は、受信コイルのデジタル・インタフェースを使用して解決することが可能である。この場合、アナログ・デジタル変換は既にコイル内で行われる。コイル内の高い素子数の場合にも、コネクタ及びケーブルのサイズ及び取り扱いの課題は、数本の光ファイバ又は直流電流配線のみに複数素子情報を効果的に組み合わせることによって解決することが可能である。

【 0 0 0 8 】

20

米国特許第6339717号明細書には、検診システム、特に、ホスト・コンピュータ装置、制御コンピュータ装置、及び画像コンピュータ装置を備えた磁気共鳴システムが開示されている。アナログ・デジタル変換器が、画像信号受信システムのラジオ・コイルの近くに配置され、検診システムは磁気共鳴システムとして適合させる。

【 0 0 0 9 】

米国特許第4879514号明細書には、数個の構成部分以外は全てデジタルである送信器／受信器を備えたMRI装置が開示されている。

技術室から遠隔のデジタル化は、（例えば、受信器コイルの基板上での）適切なデジタル・サンプリングのための局所の（遠隔の）アナログ・デジタル変換器におけるシステム（マスタ）クロックの利用可能性を必要とする。これは、マスタ・システム・クロックの情報が、技術室から検査室における受信器素子に提供されなければならないということの意味している。

30

【 0 0 1 0 】

米国特許公開公報第2007/0224698号明細書には、NMR信号の直接デジタル化に適合された共鳴撮像システムが開示されている。

国際公開2007/043009号明細書には、磁気共鳴信号をデジタル・データに変換するよう構成されたアナログ・デジタル変換器、及びデジタル・データの一次周波数帯を変換するよう構成された周波数変換器、及び磁気共鳴信号をピックアップするよう構成された共鳴ピックアップ回路を備えた無線周波数アンテナが開示されている。

【 発明の概要 】

40

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

本発明は核磁気共鳴撮像無線周波数受信器を提供し、受信器は、少なくとも1つの無線周波数受信コイル装置からアナログ信号を受信するよう適合され、無線周波数受信器は、アナログ磁気共鳴信号を第1のデジタル信号に変換するためのアナログ・デジタル変換器と、第1のデジタル信号を第2のデジタル信号に変換するための再サンプリング及びデジタル復調装置と、通信リンクを介して第2のデジタル信号を送信するよう適合された通信インタフェースと、サンプリング・クロックを生成するための第1のクロック生成器とを備える。サンプリング・クロックはアナログ・デジタル変換器の直接クロック源であり、第1のクロック生成器は、デジタル・タイミング・レファレンスを使用

50

してサンプリング・クロックを生成するよう適合され、デジタル・タイミング・レファレンスは、通信インタフェースにより、通信リンクを介してデジタル形式で受信される。受信器はシステム・クロックを生成するための第2のクロック生成器を更に備え、システム・クロックは再サンプリング及びデジタル復調装置の直接クロック源であり、第2のクロック生成器は、サンプリング・クロックを使用してシステム・クロックを生成するよう適合される。

【課題を解決するための手段】

【0012】

例えば、電圧制御された水晶発振器（VCO）によって生成されたサンプリング・クロックが、アナログ・デジタル変換器の直接クロック源であり、通信リンクを介してデジタル形式で受信されるデジタル・タイミング・レファレンスからサンプリング・クロックが直接生成され、アナログ・デジタル変換器に使用されるクロックが、受信器のクロック・システム内で達成可能な最低ジッタを伴う最高精度を有する。デジタル化された信号の品質がADCサンプリング・クロックの品質に大きく依存するので、このことは重要である。本発明による受信器によれば、高品質のアナログ・デジタル変換をもたらすことが可能である。

10

【0013】

本発明の実施例によれば、受信器は、データ・クロックを生成するための第3のクロック生成器を更に備え、データ・クロックは通信インタフェースのための直接クロック源であり、第3のクロック生成器は、サンプリング・クロック又はシステム・クロックを使用してデータ・クロックを生成するよう適合される。このことは、システム・クロック及びデータ・クロックが、サンプリング・クロックに基づいて生成されるということを意味する。前述の通り、ADCサンプリング・クロックの高品質が、MR受信器における獲得されたRF信号の品質をかなり向上させる。よって、第1の選択は、システム・クロック及びデータ・クロックを生成するサンプリング・クロックに基づき、通信リンクを介してデジタル形式で受信されるデジタル・タイミング・レファレンスから直接、サンプリング・クロックを生成することである。システム・クロックのジッタの増加はサンプリング・クロック上のジッタよりもずっと重大でない。このことは、デジタル処理のみに関するからである。比較のために、通常、ジッタに関する精度及び時計の位相雑音に対し、ADCクロックに対する要求は、1 - 10 psであり、システム・クロックに対する要求は100 - 500 psである。

20

30

【0014】

本発明の実施例によれば、第1のクロック生成器及び第3のクロック生成器は、帰還ループを形成し、第1のクロック生成器は、帰還ループによって制御される。あるいは、第2のクロック生成器も帰還ループに含み得る。帰還ループの使用には利点があり、サンプリング・クロック及びシステム・クロックは、中央タイミング・レファレンスに対して一定周波数ロック状態にあり、よって、システムにおける（遠隔）MRI受信器は全て、同期して動作し、それにより、受信器全ての集中リアルタイム（ソフトウェア）制御が可能になる。

40

【0015】

本発明の実施例によれば、帰還ループは位相ロック・ループである。実施例全てにおいて、ADCサンプリング処理の直接クロック源としてVCOベースのサンプリング・クロックを有することにより、サンプリング・クロックに位相雑音を場合によっては付加し得る回路が除外される。

【0016】

本発明の実施例によれば、通信リンクを介してデジタル形式で受信されるデジタル・タイミング・レファレンスはシリアル・ビットストリームとして受信される。

【0017】

本発明の実施例によれば、データ・クロックは多位相クロックであり、通信インタフェースは、多位相クロックからのデータ・クロックの回復に適合され、回復されたデータ・

50

クロックは、シリアル・データ・ビットストリームに含まれるデータを回復するよう使用可能である。

【 0 0 1 8 】

例えば、通信リンクのデータ・クロック回復の基準は、シリアル・データ・レートの周波数での8相クロックである。データ受信器は、8つのクロック位相のうちの1つでデータをサンプリングし、選ばれた位相を動的に調節する。このようにして、データ回復は、局所レファレンス・クロックがデータ・レートに周波数ロックされていなくても機能する。データは次いで、「非直列化され」、クロックが、相応に分割される。その場合、これは、「回復されたデータ・クロック」である。

【 0 0 1 9 】

本発明の実施例によれば、受信器は複数の通信インタフェースを備え、複数の通信インタフェースは、更なる受信器のデジィ・チェイニングに適合される。デジィ・チェイニングは、使用された通信リンクの帯域によって定められる限度まで行うことが可能であり、ほぼ任意の数の受信器及びコイルは、信号出力ファイバ・リンクに接続することが可能である。デジィ・チェイニングにより、内部配線の長さが削減され、場合によっては、配線を完全に取り除くことが可能になる。無線データ伝送手法を備えたMR受信器の使用は更に、配線の削減を可能にする。

【 0 0 2 0 】

本発明の実施例によれば、通信インタフェースはそれぞれ、個々に割り当てられた多位相クロックを備える。

【 0 0 2 1 】

本発明の実施例によれば、システム・クロック及びサンプリング・クロックは同じ周波数で動作する。これは、再サンプリング機能を破棄することが可能であるという利点を有する。例えば、1.5T陽子MRIシステムの場合、サンプリング・クロック及びシステム・クロックは50MHzであり、サンプリング・クロックからシステム・クロックを生成するためのPLLはバイパスすることが可能である。

【 0 0 2 2 】

別の局面では、本発明は、制御及びデータ獲得システム、並びに本発明による受信器を備える核磁気共鳴撮像システムに関し、制御及びデータ獲得システムはマスタ・クロックを備え、マスタ・クロックは、通信リンクを介して受信器にタイミング・レファレンスを供給する。これは、技術室における制御及びデータ獲得システム、並びに、検査室に配置された受信器部分に核磁気共鳴撮像システムを離すことを可能にし、受信器、並びに制御及びデータ獲得システムは光ファイバ・ディジタル・リンクによって接続される。システムの集中制御は制御及びデータ獲得システムによって可能であり、RF感応性電気素子は、検査室のみに於いて非常に効果的に遮蔽されて配置される。

【 0 0 2 3 】

別の局面では、本発明は、磁気共鳴撮像受信器コイル装置から無線周波数信号を受信する方法に関し、方法は核磁気共鳴撮像無線周波数受信器によって行われ、方法は、無線周波数受信器コイル装置からアナログ核磁気共鳴信号を受信する工程、及びアナログ核磁気共鳴信号を第1のディジタル信号に変換する工程であって、変換は、アナログ・ディジタル変換器によって行われる工程と、第1のディジタル信号を第2のディジタル信号に再サンプリングし、復調する工程と、第2のディジタル信号を通信リンクを介して通信する工程とを含み、第1のクロック生成器はサンプリング・クロックを生成し、サンプリング・クロックはアナログ・ディジタル変換器の直接クロック源であり、第1のクロック生成器はディジタル・タイミング・レファレンスを使用してサンプリング・クロックを生成し、ディジタル・タイミング・レファレンスは通信インタフェースにより、通信リンクを介してディジタル形式で受信される。システム・クロックは第2のクロック生成器によって生成され、システム・クロックは再サンプリング及び復調装置の直接クロック源であり、第2のクロック生成器はサンプリング・クロックを使用してシステム・クロックを生成する。

【 0 0 2 4 】

本発明の実施例によれば、方法は、第 3 のクロック生成器により、データ・クロックを生成する工程を更に含み、データ・クロックは通信インタフェースのための直接クロック源であり、第 3 のクロック生成器は、サンプリング・クロック又はシステム・クロックを使用してデータ・クロックを生成する。

【 0 0 2 5 】

本発明の実施例によれば、通信リンクを介してデジタル形式で受信されるデジタル・タイミング・レファレンスはシリアル・データ・ビットストリームとして受信され、データ・クロックは多位相クロックであり、上記方法は、多位相クロックからのデータ・クロックを通信インタフェースによって回復する工程、及び回復されたデータ・クロックを使用してシリアル・データ・ビットストリームに含まれるデータを回復する工程を更に含む。

10

【 0 0 2 6 】

別の局面では、本発明は、本発明による方法を行うためのコンピュータ実行可能な命令を含むコンピュータ・プログラム・プロダクトに関する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図 1】従来技術の M R I システムを示す図である。

【図 2】受信コイル・アセンブリの近くで、又は受信コイル・アセンブリ内で一体化されたデジタル受信器を備えた M R I システムを示す図である。

20

【図 3】M R I システムにおける一体化デジタイザを備えた複数のコイル素子を示す図である。

【図 4】本発明による M R I 受信器を示す図である。

【図 5】本発明による M R I 受信器の更なる実施例を示す図である。

【図 6】クロック回復システムの更なる詳細を示す図である。

【図 7】A D C から通信インタフェースへのデータ・フローを示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

以下では、本発明の好ましい実施例は、例として、図面を参照してのみ、更に詳細に説明している。

30

【実施例】

【 0 0 2 9 】

図 1 は、従来技術の M R I システム 1 0 0 を示す。従来技術システムは 2 つの部分、すなわち、検査室 1 0 4 に配置された電気構成部分、及び技術室 1 0 2 に配置された電気構成部分に分離される。前述の分離の理由は、検査室において、M R I 磁石が、その勾配コイル 1 2 6、その送信コイル素子 1 2 4、及び受信コイル素子 1 2 2 とともに配置される。M R 撮像の目的で核を励起するためには、高周波 R F パルスを送信コイル素子 1 2 4 を介して印加され、受信コイル素子 1 2 2 によって検出されなければならない。検査室の遮蔽により、大きな擾乱なしでの R F 信号の高品質受信が可能であるということが確実になる。このことは、検査室 1 0 2 に配置された電気構成部分及び技術室 1 0 2 に配置された電気構成部分の直流電流分離も必要とする。

40

【 0 0 3 0 】

技術室では、勾配増幅器 1 0 6 及び R F 増幅器 1 0 8 が配置される。何れの増幅器も、勾配コイル 1 2 6 及び送信コイル素子 1 2 4 により、M R I 走査を行うために十分なエネルギーを供給するために必要である。勾配増幅器 1 0 6 及び R F 増幅器 1 0 8 は制御及びデータ獲得システムによって制御される。制御及びデータ獲得システム自体は、デジタイザ 1 1 4、送信器制御部 1 1 6、勾配制御部 1 1 8 及び走査制御コンピュータ 1 2 0 を備えた受信器を含む。更に、受信コイル素子 1 2 2 は、同軸アナログ・リンク 1 2 8 を介して制御及びデータ獲得システムに接続される。更に、受信コイル素子 1 2 2 によって獲得された M R I 画像を再構成するために使用される再構成器 1 1 0 が更に、制御及びデータ

50

獲得に接続される。

【 0 0 3 1 】

M R I システムを構成する別々の部分（勾配波形生成器、送信 R F パルス生成器、R F 受信器のデジタル化部）は全て、中央の安定タイミング・レファレンス（すなわち、システム・タイミング・レファレンス 1 1 2）に同期化される。図 1 に示す従来技術の M R I システムでは、前述のレファレンスが、生成され、デジタル・エレクトロニクス全てを収容するラック内の種々のサブシステムにマスタ・クロックとして配信される。

【 0 0 3 2 】

図 1 に示すシステムの欠点は、例えば、検査室 1 0 4 と技術室 1 0 2 との間で、通常、1 0 乃至 2 0 メートルの長さの電気接続が必要であるという点である。このことにより、検査室と技術室との間の配線に外部 R F フィールドが結合し得るという高い可能性による高い誤差傾向がもたらされる。更に、受信コイル素子 1 2 2 によって検出された微弱性 M R 信号は、M R I システム 1 0 0 の感度を減少させる長いケーブルによって更に減衰させられる。更に、より増加した数の受信器チャネルへのスケーリングに関連付けられた費用及び複雑度は、技術室における集中受信器へのアナログ接続を使用して実現されるとすばやく増大する。

【 0 0 3 3 】

前述の課題に対する解決策は図 2 に示す。これは、一体化デジタル受信器を備えた M R I システムを示す。図 1 と図 2 との間の相違点は、図 1 の M R I システム 1 0 0 において、獲得された M R 信号のデジタル化が受信器及びデジタイザ 1 1 4 により、技術室 1 0 2 において行われる一方、図 2 では、デジタル化は、一体化デジタイザ 2 0 4 を備えた受信コイル素子において既に行われているという点である。これは、受信コイル・アセンブリと固定システム（エレクトロニクス）との間の従来技術の M R システムのアナログ接続 1 2 8 がデジタル光ファイバ接続 2 0 2 で置き換えられるということの意味する。これは、光ファイバ・リンク 2 0 2 を介して光デジタル信号を受信することができる更なるネットワーク・ハブ 2 0 0 が技術室 1 0 2 において存在することを必要とする。しかし、図 2 に示すデジタル・システム及び従来技術システムにおいてシステム・タイミング・レファレンス 1 1 2 によって生成されるタイミング情報は、検査室における一体化デジタイザ 2 0 4 を備えた受信コイル素子に技術室 1 0 2 から転送する必要がある。タイミング・レファレンスが、一体化デジタイザ 2 0 4 を備える受信コイル素子にどのようにして供給されるかという問題は、着信デジタル・データストリームから、一体化デジタイザ 2 0 4 を備えた受信コイル素子がクロックを再構成するという点である。ファイバ・リンク 2 0 2 を介した着信デジタル・データストリームは、周波数においてシステム・タイミング・レファレンス 1 1 2、すなわちマスタ・クロックにロックされる。

【 0 0 3 4 】

図 3 は、M R I システムにおける一体化デジタイザを備えた複数のコイル素子を示す。図 3 に示すコイル素子は、デジタイザ・チェーン化され、デジタル受信器の使用の更なる利点が明らかになる。各受信器はそれ自身のデジタイザを有するので、単純なデジタル・ファイバ・リンクを使用してコイル素子を相互接続することが可能であり、これは、一方で、コイル素子の効率的な直流電流減結合を確実にし、更に、ケーブルの混乱等なしで素子を相互接続する容易なやり方を提供する、

図 3 には、技術室 1 0 2 における制御及びデータ獲得システムにあるネットワーク・ハブ 2 0 0 を示す。更なるネットワーク・ハブ 3 0 0 は検査室 1 0 4 にあり、技術室 1 0 2 におけるネットワーク・ハブ 2 0 0 及び検査室 1 0 4 におけるネットワーク・ハブ 3 0 0 は高速ファイバ・リンク 2 0 2 によって接続される。検査室 1 0 4 におけるネットワーク・ハブ 3 0 0 には、一体化デジタイザを備えた複数のコイル素子が中速ファイバ・リンク 3 0 2 によって接続される。各コイル素子は例えば、複数のアンテナ素子 3 0 6 及びデジタイザ 3 0 4 を備える。アンテナ素子 3 0 6 により、R F 信号は、それぞれの励起パルス系列後にピックアップされ、これは勾配コイル及び送信コイル素子を伴う。ピックアップされた R F 信号は、そのうえに、デジタイザ 3 0 4 によってデジタル化される。

【 0 0 3 5 】

図 3 にみられるように、ネットワーク・ハブ 3 0 0 (この場合、集信装置としての役目も担う) に直接、複数のディジタイザ 3 0 4 を接続することが可能である。あるいは、更なるディジタイザ及びネットワーク・ハブへの接続のために少なくとも 1 つの入力及び 1 つの出力を各ディジタイザが有するように複数のディジタイザ 3 0 4 をデージー・チェーン化することが可能である。

【 0 0 3 6 】

制御及びデータ獲得システムのマスタ・クロックからのタイミング・レファレンスが、一体化ディジタイザ 3 0 4 を備えた個々のコイル素子に、高速ファイバ・リンク 2 0 2 及びネットワーク・ハブ 3 0 0 によって供給される。好ましくは、各ディジタイザ 3 0 4 は、それぞれの中速ファイバ・リンク 3 0 2 を介してデータ・ストリームから個々にそのシステム又はサンプリング・クロックを再構成する。

【 0 0 3 7 】

図 4 は、本発明による M R I 受信器を示す。図 4 における受信器は、デジタル受信器であり、技術室 (図示せず) における制御及びデータ獲得システムにファイバ・リンク 2 0 2 によって接続された光ファイバ・シリアル通信インタフェース 4 0 0 を備える。光ファイバ・シリアル通信インタフェース 4 0 0 は、ファイバ・リンク 2 0 2 によって受信されたデータ通信のシリアル・データ・レートからサンプリング・クロックを抽出するための電圧制御発振器 4 0 6、並びに位相検出器 4 0 2 及びループ・フィルタ 4 0 4 と組み合わせて使用される。受信器シリアル・データ・レートから抽出されたサンプリング・クロックは、アナログ・デジタル変換器 4 0 8 に R F 入力によって入ってくる R F 信号をサンプリングするために使用される。

【 0 0 3 8 】

再サンプリング及びデジタル復調装置 4 1 4 により、再サンプリング及びデジタル復調目的で使用されるシステム・クロックを生成するために、更なる P L L (位相ロック・ループ) 4 1 0 が、サンプリング・クロックからシステム・クロックを生成するために使用される。前述の生成されたシステム・クロックは次いで更に、通信インタフェース 4 0 0 及びファイバ・リンク 2 0 2 を介した通信に使用されるシリアル・データ・ブロックを生成するために更なる P L L 4 1 2 によって更に使用することが可能である。更に、位相検出器 4 0 2、ループ・フィルタ 4 0 4、V C X O 4 0 6、P L L 4 1 0 及び P L L 4 1 2 は、生成されたサンプリング・クロックに対して高い安定性を保証するループを形成する。ジッタ及び位相雑音の規定に対する A D C サンプリング・クロックの品質は、それにより、V C X O、ループ・フィルタ及び位相検出器によってのみ定められる。ループ・フィルタ及び位相検出器を適切に設計することにより、V C X O 構成部分の品質が、サンプリング・クロックの位相雑音及びジッタを定める唯一の要因であるということが確実にされる。

【 0 0 3 9 】

図 4 に示す手法は、V C X O 周波数を A D C サンプリングとして直接使用し、P L L を使用して A D C サンプリング・クロックからシステム・クロックを導き出す。サンプリング・クロックの品質は、V C X O のみに依存する。A D C サンプリング・クロック品質は、獲得された R F 信号の品質にとって最大の重要度のものである。非常に重要な特性である。システム・クロックのジッタの増加はサンプリング・クロック上のジッタよりもずっと重大でない。このことは、デジタル処理のみに関するからである。

完全に説明するために、再サンプリング及びデジタル復調装置 4 1 4 に関し、受信器は、R F 入力によって獲得される M R 信号が、M R 信号キャリア周波数よりもずっと低い帯域幅を通常有するということを利用するということを述べておかなければならない。例えば、約 2 M H z の M R 信号帯域幅を含む 6 4 M H z のキャリア周波数が、陽子の 1 . 5 T システムにおいて使用される。デジタル化された 6 4 M H z 信号がファイバ・リンク 2 0 2 を介して、技術室における制御及びデータ獲得システムに送信された場合、再サンプリング及びデジタル復調が行われる。実際に、サンプリング・クロックの周波数は、

10

20

30

40

50

エイリアシングを避け、アンチエイリアシング帯域通過フィルタ実現形態を容易にするよう選ばなければならない。

【 0 0 4 0 】

更に、アナログ・デジタル変換器 4 0 8 とデジタル復調器との間に再サンプリング機能を挿入することにより、復調器及び通信インタフェース 4 0 0 が動作する周波数と無関係に A D C 4 0 8 のサンプリング周波数を選ぶことが可能になる。このように無関係にあることにより、アナログ及びデジタル領域における設計上の自由度が更にもたらされる。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、本発明によるデジタル M R 受信器の更なる実施例を示す。図 4 の M R 受信器と図 5 の M R 受信器との間の相違点は、図 4 において、サンプリング・クロックをまず P L L 4 1 0 に入力してシステム・クロックを生成し、結果として生成されたシステム・クロックを更なる P L L 4 1 2 に更に入力してシリアル・データ・クロックを生成する。図 5 に示すデジタル M R 受信器では、サンプリング・クロックが入力される P L L 5 0 0 は 1 つのみ使用される。P L L 5 0 0 は、サンプリング・クロックからシリアル・データ・クロックを生成し、これを位相検出器 4 0 2 に入力して帰還ループをもたらす。ファイバ・リンク 2 0 2 を介した制御及びデータ獲得システムへのデジタル化 M R 信号の通信のためにシリアル・データ・クロックを通信インタフェース 4 0 0 によって更に使用する。再サンプリング及びデジタル復調装置 4 1 4 が必要とするシステム・クロックを生成するために、シリアル・データ・クロックがデバイダ 5 0 2 に入力される。シリアル・データ・クロック及びシステム・クロックを生成するために 1 つの P L L のみが使用されるので、これは、最適化された更なる M R 受信器を提供する。システム・クロックは、単純な除算によってのみ、シリアル・データ・クロックから導き出される。例えば、A S I C インテグレーション及び使用クロック比のような実現形態の手法に依存して、図 5 に示すような前述の手法は、より効率的であり得る。

【 0 0 4 2 】

図 4 及び図 5 に示していないのは、ファイバ・リンク 2 0 2 によって受信されたデータ・ビットの適切なサンプリングを担う独立したデータ回復回路である。これは、図 4 及び図 5 に示す回路が、光ファイバ 2 0 2 によって受信されたデータ・ストリームとの周波数ロックを有するクロックを得るために使用され、そういうものとして、データ・ストリームが生成されたレファレンス・マスタ・クロックとの周波数ロックを有する。

【 0 0 4 3 】

データ・クロック回復回路をサンプリング及びシステム・クロック回復回路と組み合わせない理由は、シリアル・データ回復回路が更に、「回復されたクロック」を供給し得るという点である。「回復されたクロック」はしかし、位相ジャンプを含み得る。位相ジャンプは、A D C サンプリング・クロック品質に悪影響を及ぼす。更に、デジタイズ受信器モジュール（1 対 1 のトポロジ又はスター・トポロジ）を有することが非常に望ましく、これは、異なるデータ位相を備えたモジュールそれぞれにおける通信のための複数のシリアル・データ回復装置が必要であるということを意味する。前述のデータ・ストリームそれぞれの回復のために V C X O を使用すると、費用、サイズ、及び電力消費において法外になる。

【 0 0 4 4 】

図 6 は、システム対データ・クロック再生が無関係であることに関する詳細を示す。図 6 中で重要であるのは、通信リンクのデータ・クロックの再生である。図 4 と比較すれば、P L L 4 1 2 は、通信リンク・インタフェース 6 0 0 によって受信されたシリアル・データ・レートの周波数において、又は前述の周波数近くで 8 位相クロックを生成するよう適合される。

【 0 0 4 5 】

各通信リンク・インタフェースでは、回復されたデータ・クロックは、P L L 4 1 2 から出力された 8 位相の局所レファレンス・クロックから導き出される。回復されたデータ

・クロックを次いで使用して、通信リンク・インタフェース 600 に入力されるデータ・ストリームに含まれるデータを回復することが可能である。データ回復は、局所レファレンス・クロックがデータ・レートに周波数ロックされていなくても、機能する。この場合、データ受信のための正しい位相を求めることは動的処理であり、したがって、回復されたクロックは、 $1/8 \times$ シリアル・データ周期の位相ジャンプを含む。データは次いで、「非直列化され」、クロックが、相応に分割される。これは、図 6 に示すような再生されたデータ・クロックをもたらす。

【0046】

再生されたデータ・クロックが、システム位相検出器のレファレンスとして使用されない主たる理由は上述の通りであり、すなわち、クロックは、動的位相選択から生じるジャンプを含み得る。前述のジャンプは、非常に低い周波数のものであり得、したがって、ループ・フィルタによって除去されない。これは、ADC サンプリング・クロックの受け入れられない位相ジャンプをもたらすので、データ・ストリームに符号化されたデータを回復するために使用された回復されたデータ・クロックの判定は、ADC サンプリング・クロックの判定と互いに分離される。ADC サンプリング・クロックは、回復されたデータ・クロックに依存しない。

更に、図 6 には、更なるディジタル受信器をデジタイズ・チェーン化するために使用することが可能な更なる通信リンク・インタフェース 602 も示す。各通信リンク 602 はデータ回復を独立して行う。これは、各受信器のデータ回復回路が個々に、後続ディジタル受信器との通信を行うことができるということを意味する。

【0047】

図 7 は、ADC から通信インタフェースへのデータ・フローのブロック図を示す。前述のフローは通常、再サンプリング及びディジタル復調装置内で行われ、3つの主要工程を含む。まず、ADC から受信されたデータが、再サンプリングに入力され、再サンプリングされ、そのうえ、ディジタル復調器に入力される。最後に、復調器によって処理された信号は、処理され、符号化され、通信インタフェースに供給される。前述の通り、再サンプリングは任意である。更なる符号化も同様である。しかし、光ディジタル・ネットワークを介してデータの効率的な伝送を可能にするためにデータ帯域幅をかなり削減するために、復調器が必要である。復調器の更なる目的は、画像再構成の目的で使用されるベースバンド・データを供給することである。

【0048】

参照符号リスト

- 100 MRI システム
- 102 技術室
- 104 検査室
- 106 勾配増幅器
- 108 RF 増幅器
- 110 再構成器
- 112 マスタ・クロック
- 114 デジタイザ
- 116 送信器制御部
- 118 勾配制御部
- 120 走査制御部
- 122 アナログ受信コイル
- 124 送信コイル
- 126 勾配コイル
- 128 アナログ・リンク
- 200 ネットワーク・ハブ
- 202 デジタル・リンク
- 204 デジタル受信コイル

10

20

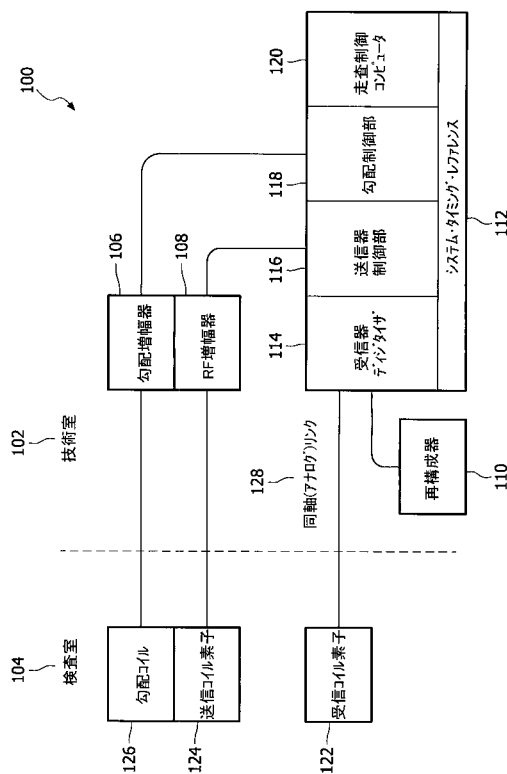
30

40

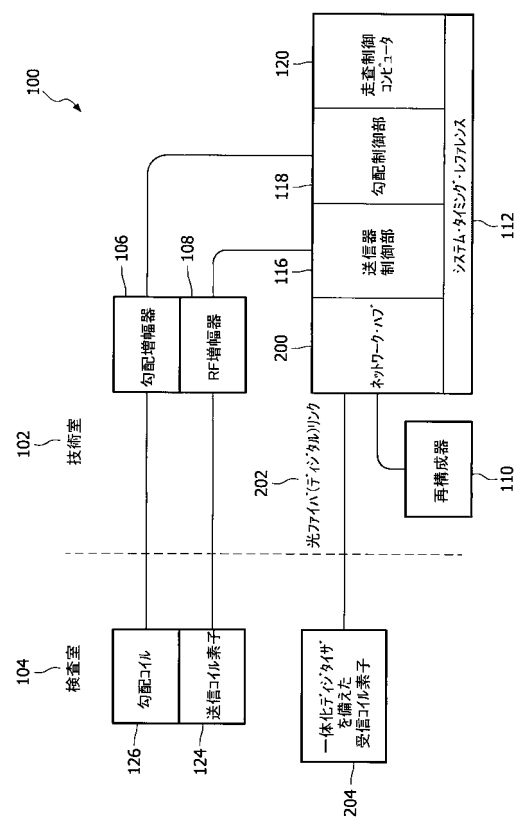
50

- 3 0 0 ネットワーク・ハブ
- 3 0 2 リンク
- 3 0 4 デジタイザ
- 3 0 6 アンテナ素子
- 4 0 0 通信インタフェース
- 4 0 2 位相検出器
- 4 0 4 ループ・フィルタ
- 4 0 6 V C X O
- 4 0 8 A D C
- 4 1 0 P L L
- 4 1 2 P L L
- 4 1 4 再サンプリング及びデジタル復調装置
- 5 0 0 P L L
- 5 0 2 デバイダ
- 6 0 0 通信インタフェース
- 6 0 2 通信インタフェース

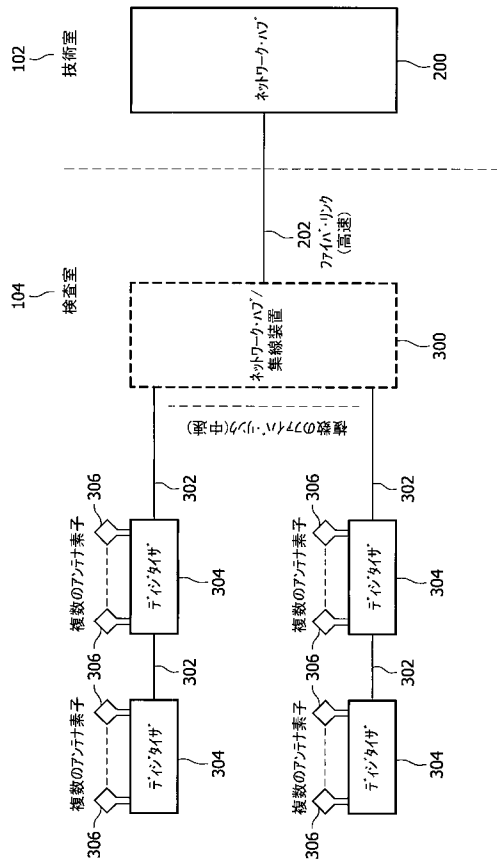
【図 1】



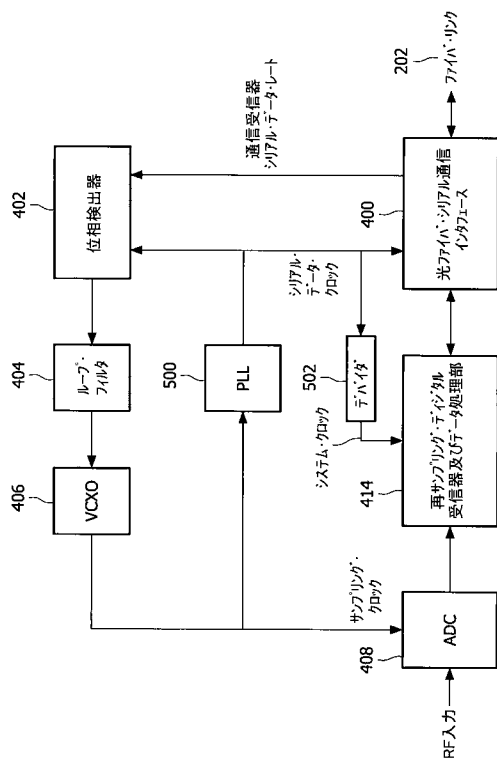
【図 2】



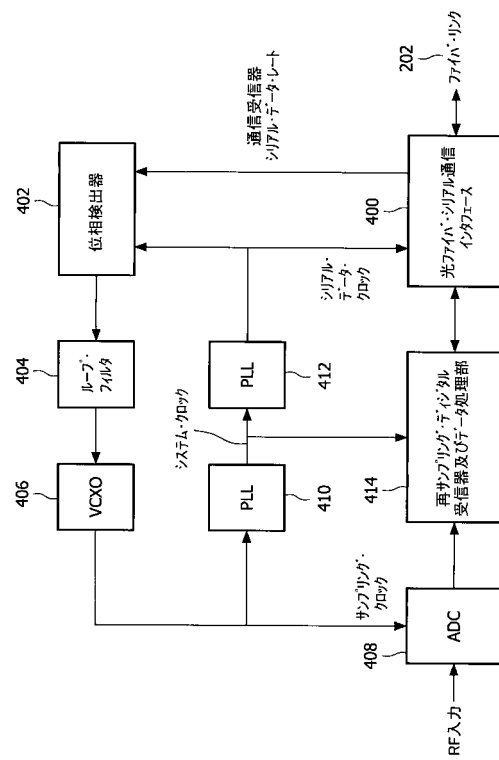
【図 3】



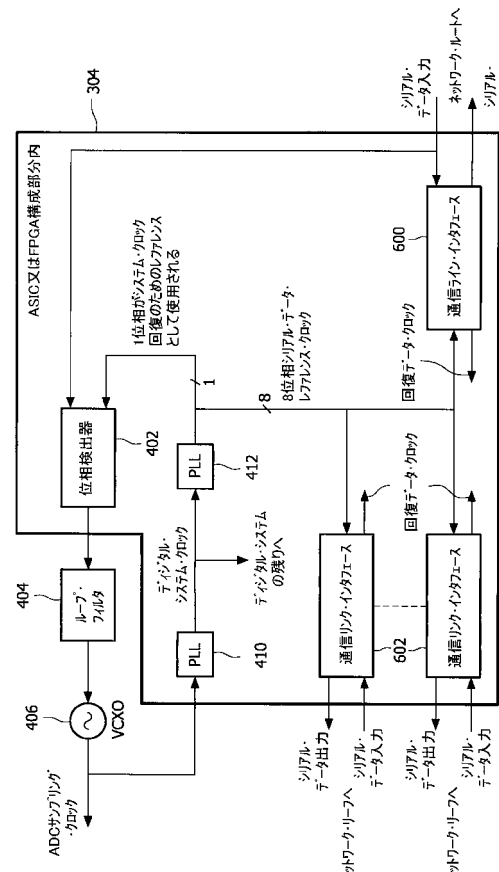
【図 5】



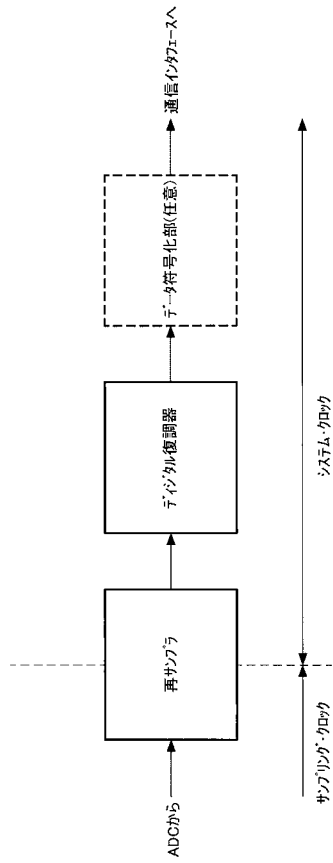
【図 4】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

審査官 右▲高▼ 孝幸

(56)参考文献 特開平5-261083 (J P , A)

特開2002-353812 (J P , A)

国際公開第2006/048816 (WO , A 1)

国際公開第2007/043009 (WO , A 2)

G. Scott et al , Wireless Transponders for RF Coils: Systems Issues , Proc. Intl. Soc. M
ag. Reson. Med. 13 , 2 0 0 5 年 5 月 , #330

P. Stang et al , A High Speed Vector Modulation Array System , Proc. Intl. Soc. Mag. Res
on. Med. 15 , 2 0 0 7 年 5 月 , #169

J. Wei et al , Digital Wireless Transmission for MRI Signals , Proc. Intl. Soc. Mag. Res
on. Med. 15 , 2 0 0 7 年 5 月 , #1001

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A 6 1 B 5 / 0 5 5