

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5740004号
(P5740004)

(45) 発行日 平成27年6月24日 (2015. 6. 24)

(24) 登録日 平成27年5月1日 (2015. 5. 1)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 B 8/14 (2006. 01) A 6 1 B 8/14
A 6 1 B 18/00 (2006. 01) A 6 1 B 17/36 3 3 0

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-538816 (P2013-538816)	(73) 特許権者	512175133
(86) (22) 出願日	平成23年11月8日 (2011. 11. 8)		ナショナル ヘルス リサーチ インステ イテューツ
(65) 公表番号	特表2013-543758 (P2013-543758A)		National Health Res earch Institutes
(43) 公表日	平成25年12月9日 (2013. 12. 9)		台湾 350 ミアオリ カウンティ、ツ ナン タウン、キーアン ロード、ナンバ ー35
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/059681		
(87) 国際公開番号	W02012/067887	(74) 代理人	100093779
(87) 国際公開日	平成24年5月24日 (2012. 5. 24)		弁理士 服部 雅紀
審査請求日	平成25年10月15日 (2013. 10. 15)	(72) 発明者	リュウ ハオーリー
(31) 優先権主張番号	12/946, 256		台湾、333、タオユアン カウンティ、 クウェイシャン、ウェンファ ファース ト ロード 259
(32) 優先日	平成22年11月15日 (2010. 11. 15)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多重超音波フェーズドアレイ駆動システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波パラメーターに基づく指示を提供するマスターマイクロコントロールユニット (20) と、

前記マスターマイクロコントロールユニットと電氣的に接続され、前記マスターマイクロコントロールユニットからの前記指示を受け取る複数のスレーブマイクロコントロールユニット (22 (1 ~ N)) と、

前記複数のスレーブマイクロコントロールユニットの各々と電氣的に接続され、対応する前記スレーブマイクロコントロールユニットとデータ通信する複数の浮動小数点ゲートアレイ (24 (1 ~ N)) と、

前記マスターマイクロコントロールユニット及び前記複数の浮動小数点ゲートアレイと電氣的に接続され、前記浮動小数点ゲートアレイからの制御信号を受け取り、フィードバック信号を前記マスターマイクロコントロールユニットに提供する多チャンネル駆動モジュール (16) と、

前記多チャンネル駆動モジュールと電氣的に接続され、複数のトランスデューサを有する超音波フェーズドアレイ (18) と、

前記マスターマイクロコントロールユニットおよび前記複数の浮動小数点ゲートアレイの各々と電氣的に接続され、各前記浮動小数点ゲートアレイが同時に複数の周波数を出力できるように、固定範囲の周波数を各前記浮動小数点ゲートアレイに提供する複数の位相同期回路 / 電圧制御発振器 (31 (1 ~ M)) と、

10

20

を含み、

各前記浮動小数点ゲートアレイが複数の周波数による前記制御信号を提供することによって、前記多チャンネル駆動モジュールは前記トランスデューサを複数の周波数で同時に駆動する、多重超音波フェーズドアレイ駆動システム。

【請求項 2】

前記浮動小数点ゲートアレイは、64チャンネルの信号出力を提供する請求項 1 に記載の多重超音波フェーズドアレイ駆動システム。

【請求項 3】

前記複数の浮動小数点ゲートアレイと前記多チャンネル駆動モジュールとの間にそれぞれ配置され、電流をプルアップするバッファ回路(28(1~N))をさらに含む請求項 1 に記載の多重超音波フェーズドアレイ駆動システム。

10

【請求項 4】

前記浮動小数点ゲートアレイは、対応する前記スレーブマイクロコントロールユニットが異なる周波数を選択し出力を行うためのマルチプレクサ(33(1~N))を含む請求項 1 に記載の多重超音波フェーズドアレイ駆動システム。

【請求項 5】

前記多チャンネル駆動モジュールは、複数の駆動回路(32(1~N))を含み、前記駆動回路は、

周波数変換を行うフルブリッジ増幅器(36)と、

前記フルブリッジ増幅器と電気的に接続するインピーダンス整合回路(38)と、

前記インピーダンス整合回路と電気的に接続し、モニタリングした電力データを前記マスターマイクロコントロールユニットに提供する電力感知回路(40)と、を含む請求項 1 に記載の多重超音波フェーズドアレイ駆動システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波処理装置及び超音波処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波は、多数の臨床用途を有することが示されている。その例として、温熱療法、音響化学反応の増強及び振動音響画像法が挙げられる。

30

【0003】

温熱療法に使用されるとき、超音波エネルギーは組織内の深部に向けられる。組織がエネルギーを吸収すると、温度は30~55度まで上昇する。それは、熱が周囲組織に著しく放散する時間がないほど素早く上昇する。その結果、超音波は、周囲組織に重大な損傷を与えることなく、標的組織に壊死及び/又は凝固を引き起こすことができる。この処置は非湿潤性であるので、手術が必要なくなり、治療費が低減される。

【0004】

超音波の他の臨床用途には、治療目的で音響化学反応を増強することがある。液体における音響化学反応は音響キャビテーションにより生じることが知られている。音響キャビテーションは、核形成に始まり、続いて微細気泡の成長及び崩壊が起こるプロセスを有する。崩壊により気泡の付近に一時的に作り出される高温(摂氏数百度)及び高圧(数百気圧)が、音響化学反応を誘発すると考えられる。このような音響化学反応は、多重周波数超音波処理のプロセスによって増強されることが知られている。

40

【0005】

臨床超音波のその他の用途として、物体の各点に加えられた力に対する物体の機械的応答のマップを作り出す超音波刺激振動画像法(ultrasound-stimulated vibro acoustography; USVA)がある。USVAは、空間干渉を引き起こす2つの類似した周波数の同時出力を伴う。この空間干渉は、超音波処理に使用されるいずれの周波数よりもかなり低い周波数を有する周波数差成分を1つの成分として含有する。この周波数差の力に反応して

50

、物体の一部が振動する。振動する部分の大きさ及び得られる動きのパターンは、物体の粘弾性特性にある程度依存している。物体の振動によりもたらされる音場は、ハイドロホンにより検出され、物体の画像の形成に使用される。超音波放射力による高い空間的解像度及びハイドロホンによる高い動き検出感度によって、本方法は軟組織の弾性の変化を確認することができるため診断に有用である。

【 0 0 0 6 】

これらの用途及び他の用途における超音波の使用によって生じうる問題は、伝播が特定の空洞内で発生するとき定在波を発生する傾向があることである。例えば、経頭蓋超音波を使用してエネルギーを脳に送達するとき、定在波が頭蓋内に生じうる。この定在波は、局所ホットスポット又はエネルギーの集中を形成しうる。

10

【 0 0 0 7 】

上記の用途のいずれかにおいて超音波エネルギーを適用する既知の方法は、複数のトランスデューサを有する超音波フェーズドアレイを使用することである。超音波フェーズドアレイは、幾何学的中心に生成された固定焦点を有する単一素子トランスデューサと異なり、超音波エネルギーの焦点を任意の位置に向けることができる。この動作は、一般的に、適切な位相の信号を用いて各トランスデューサを駆動することによって行われる。このようなアレイは、トランスデューサ信号の相対位相を電氣的に変更することにより、動的焦点ビーム走査を達成することもできる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

20

【 0 0 0 8 】

しかし、既知の超音波フェーズドアレイは、複数の周波数を同時に出力することに関する問題によって、上記の療法を増強する能力を妨げられている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

一つの態様において、本発明は、
 複数のトランスデューサを有する超音波アレイと、
 トランスデューサを駆動する駆動モジュールと、
 駆動モジュールに互いに異なる2つの周波数でトランスデューサを同時に駆動させる制御カーネルと、を含む超音波処理装置を特徴とする。

30

【 0 0 1 0 】

ある実施態様において、
 制御カーネルは、
 マスターマイクロコントロールユニットと
 複数のスレーブマイクロコントロールユニットと、を含み、
 複数のスレーブマイクロコントロールユニットの各々は、前記トランスデューサのサブセットを制御するように構成され、
 マスターマイクロコントロールユニットは、スレーブマイクロコントロールユニットに指示を与える。

この実施態様には、複数の浮動小数点ゲートアレイをさらに含み、各スレーブマイクロコントロールユニットが浮動小数点ゲートアレイのサブセットとデータ通信するもの、二段階 VCO / PLL 回路をさらに含むもの、異なる周波数を有する波形をそれぞれ受け取る複数のマルチプレクサを含み、各スレーブマイクロコントローラが各マルチプレクサのサブセットから特定の周波数を有する波形を選択するように構成されているものが含まれる。

40

【 0 0 1 1 】

二段階 VCO / PLL 回路を特徴とする実施態様には、二段階 VCO / PLL 回路が、第1特定周波数を有する波形を受け取り、第1スケールファクタにより第1特定波長をスケールリングする第一段階、及び、第2特定周波数を有する波形を受け取り、第2スケールファクタにより第2特定周波数をスケールリングする第二段階を含むものが含まれる。

50

【 0 0 1 2 】

他の実施態様において、本装置は、トランスデューサにより出力される電力の程度に関する情報を制御カーネルに提供する電力感知回路をさらに含む。

【 0 0 1 3 】

なお他の実施態様は、制御カーネルが、少なくとも2つの周波数により少なくとも1つのトランスデューサを同時に駆動するように構成されていることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

別の態様において、本発明は、患者を超音波処理する装置を特徴とする。そのような装置は、複数のトランスデューサを有する超音波アレイと、トランスデューサを駆動する駆動モジュールと、及び駆動モジュールにトランスデューサを2つの異なる周波数で同時に駆動させる手段とを含む。

10

【 0 0 1 5 】

別の態様において、本発明は、標的を超音波処理する方法を特徴とする。そのような方法は、複数のトランスデューサを有する超音波アレイを標的に対して向ける工程と、複数の周波数を選択する工程と、標的に対して、各周波数をアレイに同時に照射させる工程を含む。

【 0 0 1 6 】

本発明の特定の実施は、アレイを同時に照射させる工程が異なるトランスデューサを異なる周波数で励起させる工程を含むこと、及び、アレイに照射させる工程が、トランスデューサを異なる周波数で同時に励起させる工程を含むことを含む。

20

【 0 0 1 7 】

他の実施は、電力がアレイにより出力される程度を示すフィードバックを提供する工程を含む。

【 0 0 1 8 】

追加的な実施において、アレイに同時に照射させる工程は、マスター及び複数のスレーブを提供する工程を含む。各スレーブは、トランスデューサのサブセットを制御するように構成され、マスターは、スレーブにトランスデューサを制御させる指示を、スレーブに提供するように構成される。この実施には、浮動小数点ゲートアレイを提供する工程及び各スレーブとゲートアレイのサブセットとの間にデータ通信を提供する工程も含まれる。

【 0 0 1 9 】

本発明のこれら及び他の特徴は、以下の発明を実施するための形態及び添付の図面から明らかとなる。

30

なお、本出願は、2010年11月15日出願の米国特許出願第12/946,256号の優先権を主張し、その内容は参照として本明細書に組み込まれる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図1】多重チャンネル超音波駆動システムの全体的な構成を示す図である。

【図2】図1のスレーブMCU/FPGAモジュールのうちの1つの詳細な構成を示す図である。

【図3】図1の制御カーネルにおける8ビット解像度位相制御を実現する構成を示す図であり、上側部分はDフリップフロップモジュール設計を示し、下側部分は8ビット解像度位相制御を実現するためにカスケード接続された二段階Dフリップフロップモジュールを示す。

40

【図4】図1の各MCU/FPGAモジュールにより制御される駆動モジュールの構成を示す図である。

【図5】(A)~(F)は、図1の駆動システムの出力負荷として提供される例示的な超音波フェーズドアレイを示す図である。

【図6】250kHz及び400kHzで0、90、180及び270度の相対位相を有する信号出力で稼働する、無作為に割り当てられた4つのチャンネルを示す図である。

【図7】1.2MHz及び2MHzで0、90、180及び270度の信号出力で稼働す

50

る、無作為に割り当てられた4つのチャンネルを示す図である。

【図8】250kHz及び1MHzで稼働する、無作為に割り当てられた2つのチャンネルを示す図である。

【図9】4つの異なるバースト長：10ミリ秒、30ミリ秒、50ミリ秒及び100ミリ秒のバーストモードで稼働するための出力駆動信号、並びに1Hzのパルス繰返し周波数を有する無作為に割り当てられたチャンネルを示す図であり、上側列は、図1に示されたバッファの出力で測定された駆動信号を示し、下側列は、図1に示された駆動モジュールの出力で測定された増幅信号を示す。

【図10】SWR及びフィードバック電圧の測定値の平均及び標準偏差を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

(カーネル制御)

図1に示すように、超音波画像化システム10は、二段階制御カーネル14と通信するPC端末12を含む。制御カーネル14は、超音波フェーズドアレイ18の超音波トランスデューサを駆動するために、多チャンネル駆動モジュール16と通信する。

【0022】

制御カーネル14は、マスターマイクロコントロールユニット(マスターMCU)20及びスレーブMCU22(1~N)を含む。一般に、スレーブMCU22(1~N)の数は、超音波フェーズドアレイ18における超音波トランスデューサの数に応じて決まる。各スレーブMCU22(1~N)は、対応する浮動小数点ゲートアレイ(FPGA)24(1~N)を制御する。

【0023】

図1に示す実施態様において、マスターMCU20は、USART(ユニバーサル非同期型レシーバ/トランスミッタ)リンク22を介してPC端末12から、各超音波トランスデューサのために指定された超音波処理パラメータを受け取る。この超音波処理パラメータはトランスデューサ毎に調整可能であり、超音波トランスデューサを稼働するための周波数、電力、バースト長、パルス繰返し周波数(PRF)及びトランスデューサ間の相対位相差を含む。マスターMCU20は、さらに、パルス幅変調(PWM)出力ポートを使用して、電圧制御バックコンバータのDC出力電圧を変更する電力制御を行う。一つの実施態様においてPWM出力は、8ビット解像度で0~100%の範囲である。適切なマスターMCU20は、市販の8ビットユニットPIC18F452であり、これは、アメリカ合衆国アリゾナ州チャンドラーにあるMicrochip社から入手可能である。

【0024】

図1に示されているように、各スレーブMCU22(1~N)は、対応するFPGA24(1~N)と共に稼働して、集積MCU/FPGAモジュール26(1~N)を形成する。これらの各集積MCU/FPGAモジュール26(1~N)は、64チャンネル信号出力25(1~N)を提供する。制御カーネル14における複数のMCU/FPGAモジュール26(1~N)は、制御カーネル14が64チャンネルを超える信号出力を提供することを可能にする。例えば、4つのMCU/FPGAモジュール26(1~4)が存在する場合、4つのMCU/FPGAモジュール26(1~4)の1つずつが64チャンネルの出力をするので、合計256チャンネルの出力がある。

【0025】

特定のMCU/FPGAモジュール26(1)内において、スレーブMCU22(1)は、その関連する下流のFPGA24(1)に、FPGA24(1)により制御されるチャンネルの周波数コマンド、及び、FPGA24(1)により制御されるチャンネル間の位相差を提供する。マスターMCU20は、駆動モジュール16内の方向性結合器からA/D入力ポートを介して、アナログフィードバック信号を受け取る。アナログフィードバック信号は、各チャンネルと関連する圧電素子により提供される出力電力についての情報を運ぶ信号である。この信号はインターインテグレイテッド(inter-integrated)通信(I²C)プロトコルリンク28を介して、マスターMCU20に戻る。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

各 F P G A は I / O 端末を有する。この I / O 端末は、同期されたトリガー信号下で特定の周波数及び位相を含有する 6 4 ビット制御信号を、下流の駆動モジュール 1 6 (1 ~ N) に提供するために使用される。F P G A の I / O 出力と駆動モジュール 1 6 (1 ~ N) との間には、電流をプルアップするためのバッファ回路 2 8 (1 ~ N) がそれぞれ対応して存在する。

【 0 0 2 7 】

駆動モジュール 1 6 (1 ~ N) における電力感知回路は、伝送電力及び反射電力を示すフィードバック信号 2 9 を提供する。これらのフィードバック信号 2 9 は、マスター M C U 2 0 に戻され、U S A R T 通信プロトコルリンク 2 2 を介して P C 端末 1 2 にアップロードされる。その結果、個別の電力消費及び各チャンネルの効率についての実時間更新を、P C 端末モニター 1 2 に示すことができる。

10

【 0 0 2 8 】

(同時多重周波数の発生)

各 M C U / F P G A モジュール 2 6 (1 ~ N) は、各チャンネル出力によって複数の周波数を同時発生するように構成されている。これは、振動結晶から位相同期回路 / 電圧制御発振器 (P L L / V C O) モジュール 2 8 に、高周波数 (例えば、2 0 M H z) 信号を与えることによって実現される。

【 0 0 2 9 】

P L L / V C O モジュール 2 8 は、二段階 P L L 回路を用いることによって、拡張された周波数範囲を実現する。P L L / V C O モジュール 2 8 の第一段階は、例えば 4 0 M H z までの小さいスケールファクタによって周波数をスケールリングする。これによって、周波数分割器は低周波数範囲で周波数を出力することができる。P L L / V C O モジュール 2 8 の第二段階は、例えば 1 6 0 M H z までの大きなスケールファクタによって周波数をスケールリングする。これによって、周波数分割器は高周波数範囲で周波数を出力することができる。P L L / V C O モジュール 2 8 の出力により提供される発生周波数の簡単な計算は以下の通りである：

20

【 数 1 】

$$F_{VCO} = (S1 * S2 + A) * F_{OSC} * S_{VCO} / DR$$

30

【 0 0 3 0 】

ここで、

F_{VCO} は、P L L / V C O モジュール 2 8 からの出力周波数であり、

$S1$ 及び $S2$ は、第一及び第二段階それぞれと関連するスケールファクタであり、

A は、一定のオフセットであり、

S_{VCO} は、V C O により同調されたスカラーであり、V C O に提供される電圧が 0 ~ 5 V の範囲である場合、0 ~ 1 の範囲であり、

F_{OSC} は、振動結晶により P L L / V C O モジュール 2 8 に提供される入力周波数であり、

40

DR は、F P G A に組み込まれた周波数分割器と関連してプログラム可能な周波数分割定数である。

【 0 0 3 1 】

$S1$ 、 $S2$ 、 S_{VCO} 及び DR が全てスレーブ M C U 2 2 (1 ~ N) によって制御可能であるので、任意の周波数を発生し、F P G A 1 6 (1 ~ N) に提供することができる。したがって、1 つの P L L / V C O モジュール 2 8 は、下流のチャンネル 3 0 (1 ~ N) に、1 つの同調型出力周波数を提供することができる。図 2 に示すように、制御カーネル 1 4 が、利用可能な複数の P L L / V C O モジュール 3 1 (1)、3 1 (2) を有することによって、スレーブ M C U 2 2 (1 ~ N) は、マルチプレクサ 3 3 (1 ~ N) を使用して、チャンネル出力のために異なる周波数を選択することができる。例えば、制御カーネル

50

14は、第1チャンネル群を指定して第1指定周波数を出力すること、及び第2チャンネル群を指定して第2指定周波数を出力すること、などが可能である。

【0032】

理想的には、M個の独立したPLL/VCOモジュール31(1~M)は、チャンネル間において指定されるM個の異なる周波数を利用可能にする。一つの実施態様において、5kHzの周波数分解能を有する0.25MHz~4MHzの範囲の出力周波数を、2つの埋め込み式PLL/VCOモジュールで発生させることができる。別の実施態様において、2つの周波数を同時に提供することができる(例えば、第1チャンネル群には1MHzであり、第2チャンネル群には1MHz及び1.5MHzである。)

【0033】

別の実施態様において、2つ以上の周波数が単一のチャンネルに提供される。チャンネルは、そのような場合、複数の周波数の重ね合わせである信号を運ぶ。これにより、そのチャンネルと関連する超音波トランスデューサを2つ以上の周波数で同時に駆動することができる。

【0034】

(位相制御)

一つの実施態様において、FPGA24(1~N)は、8ビット位相分解能を有する32チャンネル位相割当ユニットを実現する。そのようなFPGA24(1~N)の一つの利点は、周波数逓倍及び多重チャンネルの位相制御の両方に使用することができる位相同期回路モジュールを含むことである。適切な市販のFPGAは、アメリカ合衆国カリフォルニア州サンノゼにあるAltera社のCyclone EP1C12である。

【0035】

FPGA24(1~N)は内部の論理素子を効率的に使用した二段階論理回路を有する。図3を参照すると、各段階において、16個のDフリップフロップ(DFF)46(1~16)がカスケード接続されて16段信号遅延を提供する。遅延の時間分解能は入力クロックにより決定される。ステートマシンユニットの第一及び第二段階のために、クロック入力周波数は、第一又は第二段階の埋め込み式PLLモジュールによって16から256(すなわち 16^2)の倍率で逓倍され、入力信号遅延の粗調整及び微調整をそれぞれ提供する。前記の例では、粗調整は22.5度の比較的粗い位相増加で実施され、一方、微調整は1.4度のより微細な位相増加を使用する。前記の実施は、8ビット信号整相を行うために、約2N個の論理素子のみ(N^2 個の素子ではなく)を用いて N^2 個の位相角を生じることが可能である。

【0036】

バーストモード励起のためには、簡単なラッチ回路がFPGA24(1~N)において用いられる。バーストモード信号の出力を制御可能なパラメータは、バースト長、PRF、及びバーストの総数を含み、上流のマスターMCUから提供される。

【0037】

(駆動モジュール)

ここで図4を参照すると、駆動モジュール16は、チャンネル毎に駆動回路32(1~N)を含む(実施例に示されているものは $N=64$ である)。各駆動回路32(1~N)は、PWM制御可能電源及び高電圧型インバータを含んでいる。例示の実施態様では、フルブリッジ増幅器36(1~N)、インピーダンス整合回路38(1~N)及び電力感知回路40(1~64)を使用して実現されている。

【0038】

PWM制御可能電源は、バック回路から誘導される出力DC電圧を提供する。バック回路の出力電圧は、制御カーネル14からのPWM信号により制御される。各チャンネルのための電力出力は、8ビット解像度により定義された段階で電圧を変更することにより制御される。例示の実施態様における最大電力出力は、各チャンネルで10ワットである。そのような出力は、空洞形成関連治療の向上のため(例えば、小型治療分子、DNA、ペプチドなどを細胞若しくは軟組織に送達するため)、又は、数秒以内での組織の直接的な

10

20

30

40

50

熱切除 (ablation) のために十分である。

【 0 0 3 9 】

高電圧インバータ 3 6 (1 ~ N) は、高電圧方形波を高電圧正弦波に変換する。フルブリッジインバータを使用して高電圧方形波を発生させ、高電圧ダイオードを使用してオーバーシュートのような高電圧スイッチング過渡に対処する。

【 0 0 4 0 】

インバータ 3 6 (1 ~ N) の出力インピーダンスは、少なくとも二桁の大きさをインピーダンス不整合をもたらすため、インピーダンス整合回路 3 8 (1 ~ N) を用いることが有効である。インピーダンス整合なしでは、トランスデューサ 4 2 (1 ~ N) への電力伝達の効率が悪くなる。典型的なインピーダンス整合回路 3 8 (1 ~ N) は、中間 LC 共振段階を有する二段階変圧器を使用することにより実現される。各チャンネルでインピーダンス整合回路 3 8 (1 ~ N) が微調整を行うことにより、セラミック素子に供給するために必要な周波数及び電力を有する高電圧正弦波が与えられる。

10

【 0 0 4 1 】

最後に、方向性結合器を含む電力感知回路 4 0 (1 ~ N) が、電力のモニタリングのために備えられている。トランスデューサとインピーダンス整合回路 3 8 (1 ~ N) の間に取り付けられた電力感知回路 4 0 (1 ~ N) は、伝送電力及び反射電力を表す 2 つの電圧のフィードバックに基づいて伝送電力及び反射電力をモニターするように設計されている。電力伝達効率の測度であるとされる電圧定在波比 (S W R) は、以下の式により計算される。

20

【 数 2 】

$$V S W R = (1 + V r / V f) / (1 - V r / V f)$$

$$= (1 + S Q R T (P r / P f)) / (1 - S Q R T (P r / P f))$$

【 0 0 4 2 】

ここで、 V_r 及び V_t は反射電圧及び伝送電圧を表し、 P_r 及び P_t は反射電力及び伝送電力を表す。トランスデューサへの最大電力伝達 (効率 = 1 0 0 %) は、 $V S W R = 1$ に相当する。本明細書に記載されている実施態様において、各チャンネルを駆動する回路は、95%を超える効率を達成するために、 $V S W R$ を少なくとも 1.5 に最小化するように調整される。

30

【 0 0 4 3 】

(チャンネル数の拡張)

例示の制御カーネル 1 4 の回路レイアウトは、独立的に制御されるチャンネルを 6 4 個まで実現する。チャンネルの数が 6 4 個を超えて増加すると、FPGA 2 4 (1 ~ N) 内の論理ゲートは、8ビット位相解像度を提供するには不十分になることがある。

【 0 0 4 4 】

制御カーネル 1 4 により実現されるチャンネルの数を拡張するため、MCU / FPGA モジュール 2 6 (1 ~ N) は、並行に稼働され、同期される。全ての MCU / FPGA モジュール 2 6 (1 ~ N) は、1つのマスター MCU 2 0 に連結されている。これは、6 4 * N 個のチャンネルまでシステムを拡張する。理論的には、MCU / FPGA モジュール 2 6 (1 ~ N) の数を拡張するのに限界はない。

40

【 0 0 4 5 】

(フェーズドアレイの選択)

駆動モジュール 1 6 は、その負荷として、最終的に一次元又は二次元のフェーズドアレイを駆動する。図 5 A 及び 5 B は、仰角方向に沿って圧電材料を一次元的にダイスカットしている一次元フェーズドアレイ 5 2、5 4 の例を示す。そのようなアレイは、図 5 A で示されている平面アレイ 5 2 又は図 5 B で示されている曲面アレイ 5 4 であってもよい。

【 0 0 4 6 】

N 個の独立した素子にダイスカットされた一次元フェーズドアレイ 5 2、5 4 を、N 個を超える独立した駆動チャンネルを有する駆動システムと結合したとき、超音波エネルギー

50

ー出力の発生のために使用することができる。当該システムがM個の独立した同時周波数を選択する工程を含むとき、各素子の位相及び周波数を、任意に、設計し、組み合わせることができる。ここで、MはNよりも大きい。MがNよりも小さい場合、N個の異なる周波数出力を同時に行うことは可能ではない。その場合、駆動対象の素子は、特定のチャンネルに対応しないが、代わりに一連のチャンネル又は「駆動群」に対応する。

【0047】

同様の原理は、図5Cから図5Fのいずれかに示すような他のフェーズドアレイ構成に当てはめることができる。図5Cは、環状にダイスカットされたトランスデューサ56から形成される曲面アレイを示す。図5Dは、直径に沿って分けられて2つの素子を形成するトランスデューサ57を示す。図5Eは、四分の一に切断された4素子球状曲面トランスデューサ58を示す。図5Fは、二次元球状曲面トランスデューサ59を示す。

10

【0048】

(実施例)

図6及び図7は、制御カーネル14からの多重周波数RF信号出力を発生し、正確な相對位相制御で稼働する実施例からの出力を示す。図6は、4つのチャンネルを250kHzで稼働し、更に4つのチャンネルを400kHzで稼働するように無作為に指定することにより、0、90、180及び270度にそれぞれ相對位相制御された整相信号を正確に出力できることを示す。同様に、図7は、4つのチャンネルを1.2MHz及び2MHzで稼働するように無作為に指定することにより、0、90、180及び270度にそれぞれ相對位相制御された整相信号を正確に出力できることを示す。

20

【0049】

制御カーネル14は、同調型駆動周波数を用いて整相信号を生成できることに加えて、2つ以上の周波数を同時に生成することもできる。例えば、図8は、一方のチャンネルが250kHzの信号を運び、他方のチャンネルが1MHzの信号を運ぶ2つのチャンネルからの出力を示す。本明細書に記載されている構成は、駆動モジュール16から複数の周波数を同時に出力することができることは明らかである。その結果、本明細書に記載されている構成により、空洞形成及び/又は熱切除を増強することができる。

【0050】

上記で説明した図面は、連続波(CW)出力を生成する制御カーネル14を示すものである。しかし、制御カーネル14は、パーストモード出力を生成することもできる。図9に示すように、出力信号が10ミリ秒から100ミリ秒の範囲のパースト長を有するように制御することができる。パーストモード稼働は特に有用である。なぜならば、パースト間のギャップが熱の放散を可能にするため、隣接組織への熱損傷を抑制するからである。

30

【0051】

図10A～Cは、出力電力を調節するカーネルの能力を例示する。

【0052】

図10Aは、31チャンネルアレイにおける印加電圧と出力電力の関係を示す。印加電圧が5Vから55Vに増加すると、出力電力は、0.3Wから約10Wに直線的に増加し、31個のチャンネルの間では小さな変動しかなかった。この効果は、出力電力を調節するために既に確立されている電圧対電力ルックアップテーブルをモニターすることにより達成された。

40

【0053】

図10Bは、更に、方向性結合器を使用してモニターしたSWRを示す。測定されたSWRは、殆どの印加電圧で殆どの場合において1.5未満であった。これは、順方向伝達電力効率が95%を超えることを示した。SWRは、小さい電力出力では僅かに低かったが、依然として1.5にかなり近かった。

【0054】

図10Cは、フィードバック電圧が印加電圧の線形関数に近似していることを示す。出力とフィードバック電圧との間の高い線形性は、リニア電圧-電圧変換回路設計から生じている。31個のチャンネルにおける最小限の変動は、異質成分から生じる差異も最小限

50

であることを示唆している。この線形関係の結果として、フィードバック電圧を線形にスケールリングすることにより出力電圧を容易に検出することができ、確立されたルックアップテーブルを使用することにより出力電圧から出力伝両を変換することができる。これらの2つの機能は、FPGAメモリーに埋め込まれており、容易にアップグレードすることができる。

【0055】

本明細書に記載されている駆動装置は、操作者がGUIを使用して、周波数同調性を制御すること及び多重周波数を発生させることを可能にする。加えて、本装置により、8ビット解像度を有する電力制御、及び、8ビットの解像度に基づいたチャンネル1個毎の位相制御、並びに任意のチャンネルに伝送される電力及びチャンネルから戻る電力を実時間でモニターする能力を達成することができる。

10

【0056】

多重周波数を発生する能力は、頭蓋又は腹腔のような体腔を超音波処理するときの定在波抑制に有用である。

【0057】

温熱療法では、本明細書に記載されている装置により、選択されたトランスデューサの出力で、ベースバンド(f)とその高調波(例えば、 $2f$ 、 $3f$...)、超高調波(例えば、 $1.5f$ 、 $2.5f$...)及び低調波(例えば、 $0.5f$)又は任意の周波数を組み合わせたそれぞれの超音波処理によって、大きな体積の組織を切除することが可能となる。

20

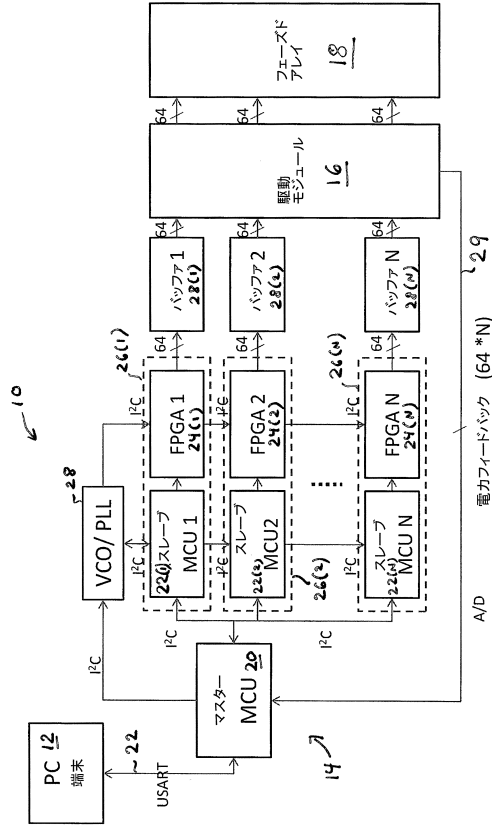
【0058】

例えば、遺伝子導入、薬剤送達、音波導入(sonophoresis)又は臨床的若しくは生物学的用途を有する他の音響効果を改善するための空洞形成の増強に関して、本明細書に記載されている装置は、上記に記載されたようにベースバンド周波数を高調波、超高調波及び低調波と組み合わせてそのような効果の増強を可能にする。

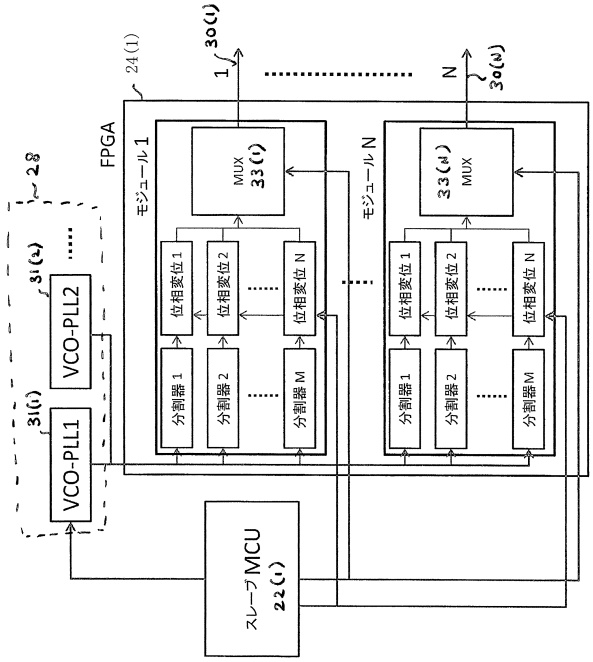
【0059】

最後に、2つの出力周波数を発生する能力は、2つの適用周波数の差に基づいたビート信号の発生を可能にする。そのようなビート信号は、温度変化の検出のような診断目的又は放射力マッピングに有用である。

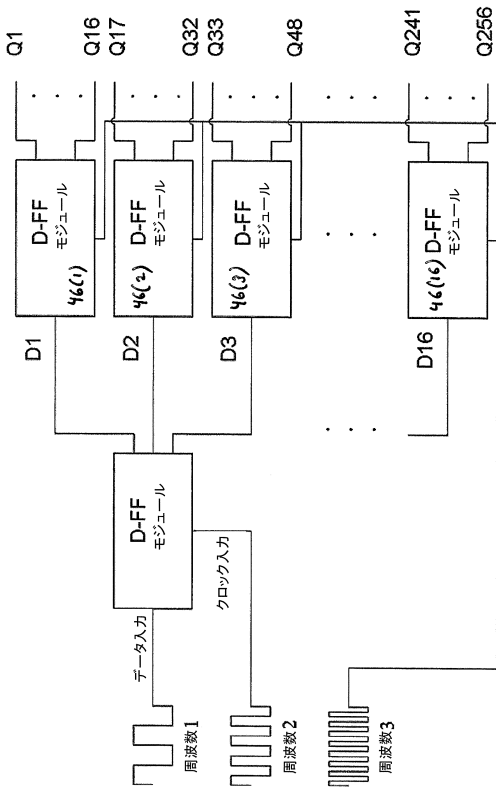
【図 1】



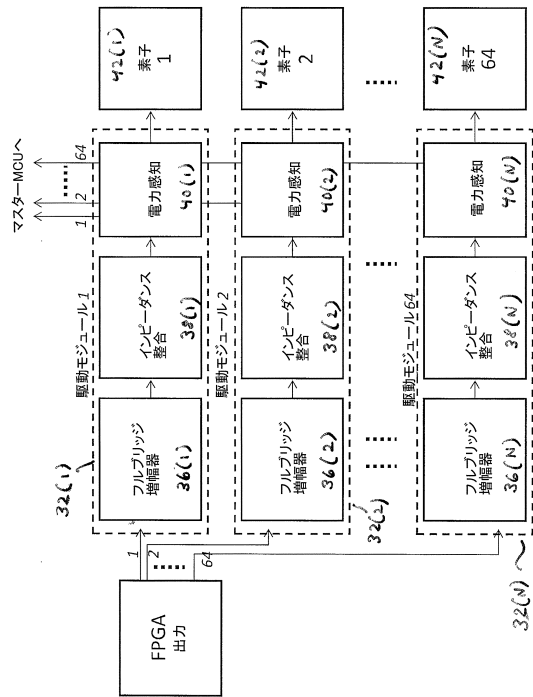
【図 2】



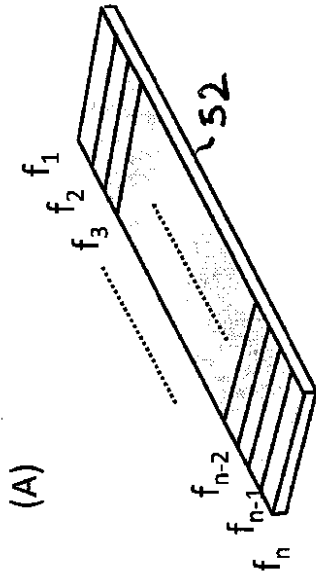
【図 3】



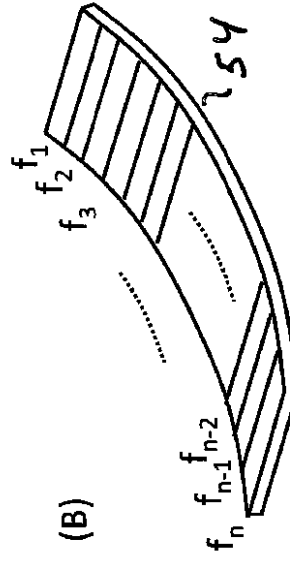
【図 4】



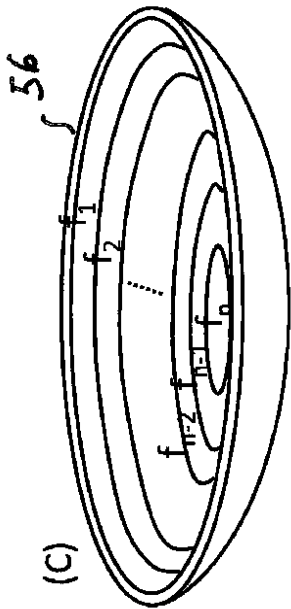
【図 5 (A)】



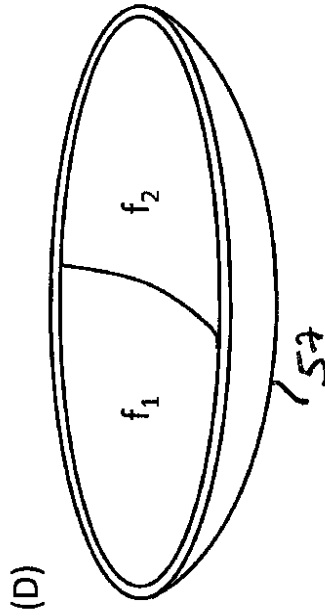
【図 5 (B)】



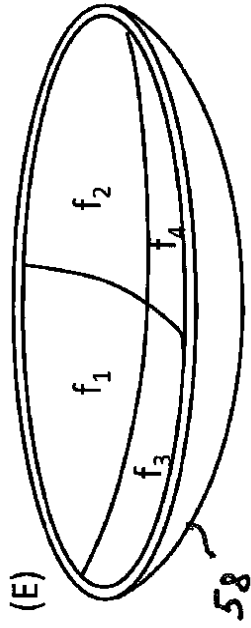
【図 5 (C)】



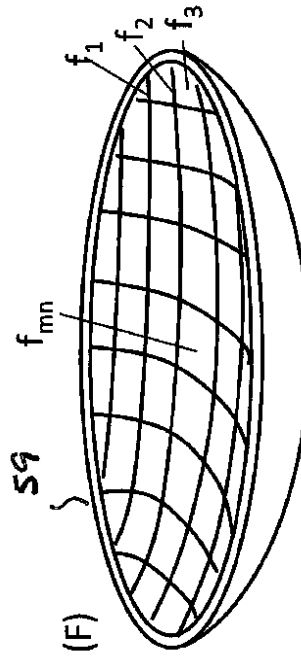
【図 5 (D)】



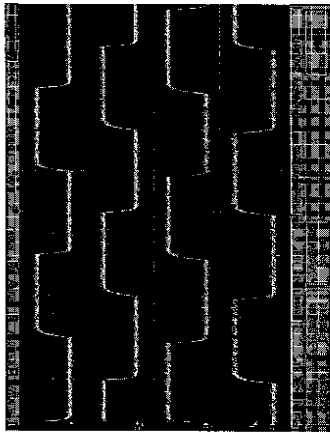
【図 5 (E)】



【図 5 (F)】

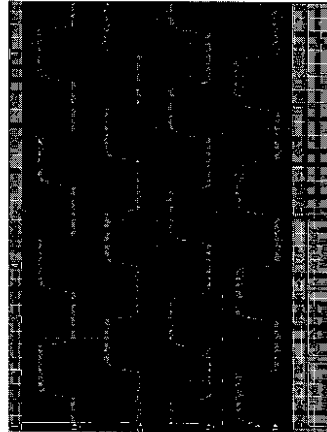


【図 6 (A)】



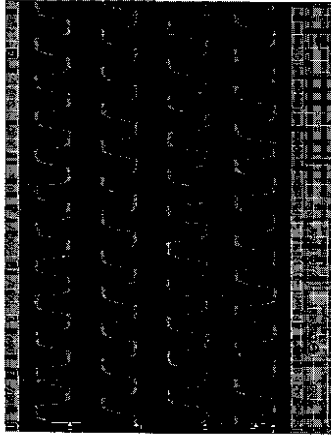
(A)

【図 6 (B)】



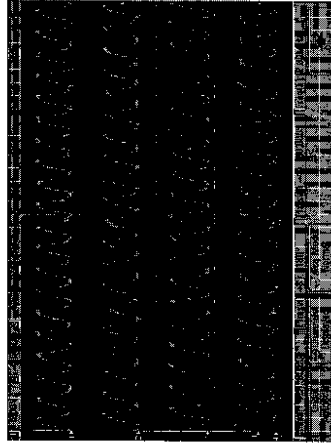
(B)

【図7(A)】



(A)

【図7(B)】



(B)

【図8】

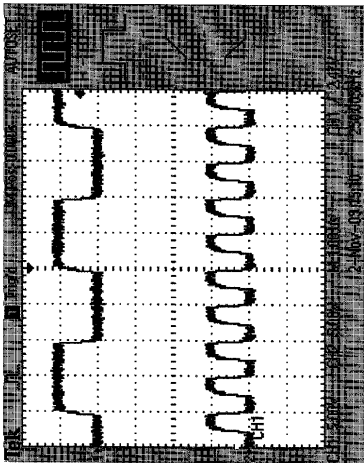
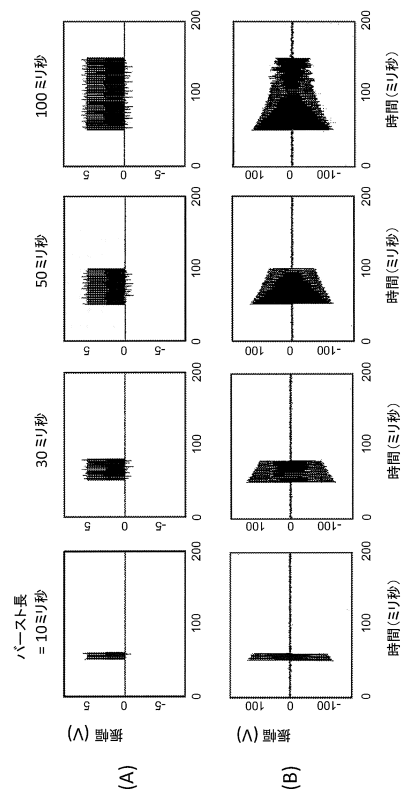
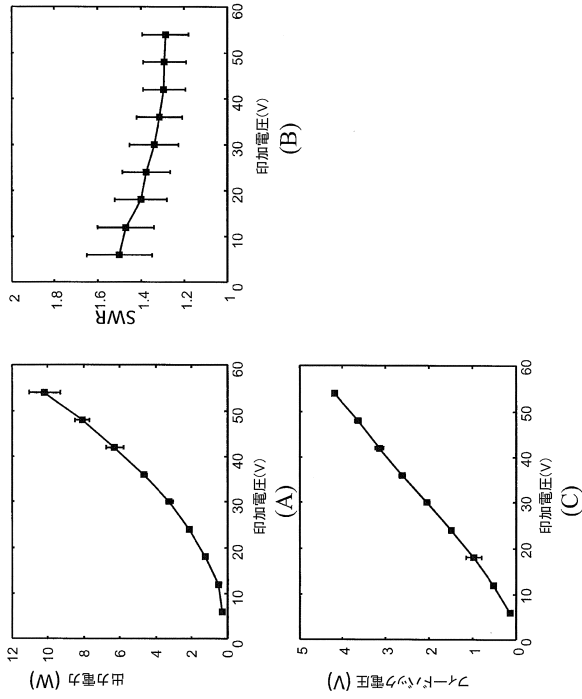


Fig. 8

【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 チャン シュ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94539、フレモント、ダンツォン コート、41385
- (72)発明者 チェン ション - フウ
台湾、35053 ミアオリ カウンティ、ツナン タウン、キーアン ロード、ナンバー35

審査官 樋熊 政一

- (56)参考文献 特開2005 - 253751 (JP, A)
特開2003 - 284719 (JP, A)
米国特許出願公開第2008 / 0071165 (US, A1)
特開2009 - 183147 (JP, A)
特開2002 - 263579 (JP, A)
特開2004 - 089466 (JP, A)
米国特許出願公開第2009 / 0149781 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00 - 8/15
A61B 17/00 - 17/94

专利名称(译)	多个超声波相控阵驱动系统		
公开(公告)号	JP5740004B2	公开(公告)日	2015-06-24
申请号	JP2013538816	申请日	2011-11-08
[标]申请(专利权)人(译)	财团法人国家卫生研究院		
申请(专利权)人(译)	国家卫生研究机构津市		
当前申请(专利权)人(译)	国家卫生研究机构津市		
[标]发明人	リユーハオリー チャンシュ チェンシヨンフウ		
发明人	リユー ハオ-リー チャン シュ チェン シヨン-フウ		
IPC分类号	A61B8/14 A61B18/00		
CPC分类号	A61N7/00 A61N2007/0073 A61N2007/0078 B06B1/0284 B06B1/0622		
FI分类号	A61B8/14 A61B17/36.330		
审查员(译)	棕熊正和		
优先权	12/946256 2010-11-15 US		
其他公开文献	JP2013543758A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

一种用于对患者进行超声处理的装置包括具有多个换能器的超声阵列;用于驱动所述换能器的驱动模块;控制内核,用于使所述驱动模块以两个不同的频率同时驱动所述换能器。

$$WR = \frac{(1 + \sqrt{P_r / P_i})}{(1 - \sqrt{P_r / P_i})}$$

$$= \frac{(1 + \sqrt{P_r / P_i})}{(1 - \sqrt{P_r / P_i})}$$