

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5543470号
(P5543470)

(45) 発行日 平成26年7月9日 (2014. 7. 9)

(24) 登録日 平成26年5月16日 (2014. 5. 16)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 26/10 (2006. 01)

GO 2 B 26/10 1 O 4 Z

HO 4 N 5/74 (2006. 01)

GO 2 B 26/10 C

HO 4 N 5/74 H

請求項の数 20 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2011-529072 (P2011-529072)	(73) 特許権者	505472816
(86) (22) 出願日	平成21年9月4日 (2009. 9. 4)		マイクロビジョン, インク.
(65) 公表番号	特表2012-503794 (P2012-503794A)		アメリカ合衆国 ワシントン州 9805
(43) 公表日	平成24年2月9日 (2012. 2. 9)		2 レッドモンド, 18番 アベニュー
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/056036		ノースイースト 6244
(87) 国際公開番号	W02010/036504	(74) 代理人	110000659
(87) 国際公開日	平成22年4月1日 (2010. 4. 1)		特許業務法人広江アソシエイツ特許事務所
審査請求日	平成24年7月19日 (2012. 7. 19)	(72) 発明者	ロサール, ブルース シー.
(31) 優先権主張番号	12/239, 711		アメリカ合衆国 ワシントン州 9807
(32) 優先日	平成20年9月26日 (2008. 9. 26)		2, ウッディンビル, 47番 アベニュー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		サウスイースト 24033
		審査官	稲荷 宗良
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 最小平均自乗トーン加算器を有するスキャニングミラー制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

位置信号を生成するために、スキャニングミラーの角運動を検出する工程と、
スキャニングミラーからの戻り値に対応する高調波係数を表わす複数の DC 信号を発生させるために、前記位置信号を乗算器に入力して複数の高調波トーンとの演算処理を行う工程と、

誤差値を取得するために、前記戻り値に対応する前記高調波係数を高調波係数目標値と比較する工程と、

前記誤差値に応じて、複数の駆動信号の高調波係数の同相成分と直角位相成分とを修正する工程と、

高調波関連駆動信号を発生させるために、前記複数の駆動信号の高調波係数の同相成分と直角位相成分と前記複数の高調波トーンとの演算処理を行う工程と、
を備えて構成されていることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記複数の駆動信号の高調波係数の同相成分と直角位相成分とを修正する工程が、異なる比率による前記複数の駆動信号の高調波係数の修正を備えており、

前記異なる比率は、スキャニングミラーの伝達関数に逆比例するように関連していることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

高い機械的利得の領域の中の前記複数の駆動信号の高調波係数は、低い機械的利得の領

域の中の複数の駆動信号の高調波係数より緩やかに修正されることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

スキャニングミラー駆動信号を生成するために、前記複数の高調波関連駆動信号を合算する工程と、

前記スキャニングミラー駆動信号で前記スキャニングミラーを駆動する工程と、
をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

スキャニングミラー駆動信号を生成するために、前記複数の高調波関連駆動信号を合算する工程と、

前記駆動信号の高調波係数が定義されている周波数帯域で前記スキャニングミラーの共振モードでの利得変動を低減させるために、補償回路に前記スキャニングミラー駆動信号を通過させる工程と、

をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

前記駆動信号の高調波係数が定義されている周波数帯域の範囲外の共振周波数でスペクトルエネルギーを除去するために、フィルタに前記スキャニングミラー駆動信号を通過させる工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記スキャニングミラー駆動信号で前記スキャニングミラーを駆動する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

装置であって、

高速走査軸と低速走査軸とを備えており、前記低速走査軸が位置検出器を備えているスキャニングミラーと、

前記位置検出器から送信される位置情報に応答して駆動信号の高調波係数を決定するための複数の最小平均自乗 (LMS) トーン加算器を備えている制御ループと、

を備えており、

前記最小平均自乗 (LMS) トーン加算器は、同相回路及び直角位相回路を含んでおり、

前記同相回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでおり、

前記直角位相回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでいることを特徴とする装置。

【請求項 9】

前記駆動信号の高調波係数が定義されている周波数帯域の中の周波数で、スキャニングミラーの共振振動モードでの利得変動を低減させる補償回路を有している内側制御ループをさらに備えていることを特徴とする請求項 8 記載の装置。

【請求項 10】

前記内側制御ループは、前記スキャニングミラーの共振振動モードでの利得変動を低減させる橋絡 T 型補償器を含んでいることを特徴とする請求項 9 記載の装置。

【請求項 11】

前記内側制御ループは、前記駆動信号の高調波係数が定義されている周波数帯域の範囲外にある一以上の共振周波数でスペクトルエネルギーを除去するためのフィルタを含んでいることを特徴とする請求項 9 記載の装置。

【請求項 12】

前記高速走査軸におけるスキャニングミラー運動に応じてスペクトルエネルギーを除去するために、前記内側ループは、最小平均自乗 (LMS) トーン消去器をさらに備えており、

前記最小平均自乗 (LMS) トーン消去器は、同相回路及び直交回路を含んでおり、

10

20

30

40

50

前記同相回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでおり、

前記直交回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでいることを特徴とする請求項 1 記載の装置。

【請求項 1 3】

前記複数の前記最小平均自乗（LMS）トーン加算器は、前記駆動信号の高調波係数を異なる比率で修正するように動作し、

それぞれの前記駆動信号の高調波係数は、スキャニングミラー周波数応答の逆数に比例した量で修正されることを特徴とする請求項 8 記載の装置。

【請求項 1 4】

高い機械的利得の領域の中の駆動信号の高調波係数は、低い機械的利得の領域の中の駆動信号の高調波係数より緩やかに修正されることを特徴とする請求項 8 記載の装置。

【請求項 1 5】

それぞれの前記前記最小平均自乗（LMS）トーン加算器は、前記位置情報を高調波周波数でのトーンと乗算するために、前記乗算器を備えていることを特徴とする請求項 9 記載の装置。

【請求項 1 6】

それぞれの前記前記最小平均自乗（LMS）トーン加算器は、高調波係数の目標値を前記乗算器の出力と比較するために、前記合算器をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 5 記載の装置。

【請求項 1 7】

それぞれの前記前記最小平均自乗（LMS）トーン加算器は、
前記合算器に反応するデジタルフィルタと、
前記高調波周波数でのトーンを前記デジタルフィルタの出力と乗算する第 2 乗算器と、
をさらに備えていることを特徴とする請求項 1 6 記載の装置。

【請求項 1 8】

携帯可能な装置であって、
通信用の送受信機器と、
スキャニングミラーと、
複数の最小平均自乗（LMS）トーン加算器を備えている低速走査のスキャニングミラー制御システムであって、前記スキャニングミラーからの位置信号を乗算器に入力して複数の高調波トーンとの演算処理を行い、且つ低速走査駆動信号を発生させるために前記複数の最小平均自乗（LMS）トーン加算器からの出力を合算するスキャニングミラー制御システムと、
を備えており、
前記最小平均自乗（LMS）トーン加算器は、同相回路及び直角位相回路を含んでおり、

前記同相回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでおり、

前記直角位相回路が、合算器、乗算器、低域通過フィルタ、及び比例／積分／微分方式のコントローラを含んでいることを特徴とする携帯可能な機器。

【請求項 1 9】

前記スキャニングミラーのための補償回路を含む内側ループをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 8 記載の携帯可能な機器。

【請求項 2 0】

前記補償回路が、前記スキャニングミラーの低速走査軸を駆動するために利用される周波数帯域の中でスキャニングミラー共振モードでの利得変動を低減させることを特徴とする請求項 1 9 記載の携帯可能な機器。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

走査された光線は、携帯可能なマイクロプロジェクタ、自動車用ヘッドアップディスプレイ、およびヘッド着用ディスプレイのような用途を含む多種多様の用途のための表示画像を生成するため使用される。表示は、所望の視野を範囲に含むように変調光線を偏向させるために、ミラー（反射鏡）の角運動を使用して作成される。二つの直交軸の周りでミラーを運動させることにより、小型かつ移動可能な外装の中に見慣れたラスタ表示の外観を提供する矩形状視野を作成することが可能である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0002】

所望の角運動を正確に生成するためミラーの偏向を制御することは、重大な工学的課題を創出する。これは、ミラーが種々の共振周波数で振動モードを示す機械的機器であるという事実の一部起因している。

【図面の簡単な説明】

【0003】

【図1】図1は、本発明の種々の実施形態による走査線投影システムを示す図である。

【図2】図2は、図1の走査軌跡を生じる光線の偏向波形を図示する。

【図3】図3は、微小電気機械システム（MEMS）のスキヤニングミラーを備えたスキヤニングプラットフォームの平面図である。

20

【図4】図4は、図3で示すMEMSスキヤニングミラーの振動モードを示す図である。

【図5】図5は、図3で示すMEMSスキヤニングミラーの振動モードを示す図である。

【図6】図6は、図3で示すMEMSスキヤニングミラーの線形応答を示す図である。

【図7】図7は、最小平均自乗（LMS）高調波コントローラを備えたスキヤニングミラー低速走査制御ループを示す図である。

【図8】図8は、LMS高調波コントローラを示す図である。

【図9】図9は、LMSトーン加算器を示す図である。

【図10】図10は、高調波係数重み付け配列を利用したLMS高調波コントローラを備えたスキヤニングミラー低速走査制御ループを示す図である。

【図11】図11は、高調波係数重み付け配列を利用したLMS高調波コントローラを示す図である。

30

【図12】図12は、高調波係数の重み付けを利用したLMSトーン加算器を示す図である。

【図13】図13は、デジタル信号プロセッサを備えたスキヤニングミラーの制御ループを示す図である。

【図14】図14は、2つのループを含んだスキヤニングミラー低速走査制御システムを示す図である。

【図15】図15は、2つのループを含んだスキヤニングミラー低速走査制御システムを示す図である。

【図16】図16は橋絡T型補償器の動作を示す根軌跡図を示す図である。

40

【図17】図17は高速走査トーンキャンセラブロックを図示する。

【図18】図18は、図10に示した内側フィードバックループの開ループ応答を示す図である。

【図19】図19は、図10に示した内側フィードバックループの閉ループ応答を示す図である。

【図20】図20は、一重／二重ループ組み合わせ型低速走査制御システムを示す図である。

【図21】図21は、本発明の様々な実施形態による携帯可能な機器を示す図である。

【図22】図22は、本発明の様々な実施形態による方法のフローチャートを図示する。

【図23】図23は、本発明の様々な実施形態による方法のフローチャートを図示する。

50

【発明を実施するための形態】

【0004】

（態様の詳細な説明） 以下の詳細な説明では、例示として、発明が実施される特定の実施形態を示す添付図面を参照する。これらの実施形態は、当業者が発明を実施することを可能にするため十分詳細に記載される。発明の種々の実施形態は、異なっているが、必ずしも相互に排他的でないことが理解されるべきである。例えば、一実施形態と関連して本明細書中に記載される特有の特徴、構造、または、特性は、発明の精神および範囲から逸脱することなく他の実施形態の範囲内で実施されてもよい。さらに、開示された各実施形態の範囲内での個別の要素の位置または配置が発明の精神および範囲から逸脱することなく変更されてもよいことが理解されるべきである。以下の詳細な説明は、したがって、限定的な意味で解釈されるべきでなく、本発明の範囲は、請求項に権利が与えられた均等物の全範囲と共に、適切に解釈された請求項だけによって定められる。図面中、同様の符号は、いくつかの図を通じて、同一または類似の機能を指す。

10

【0005】

図1は本発明の様々な実施形態による走査線投影システム（走査ビーム投影システム）を図示する。図1で示すように走査線投影システム100は光源110を含む。光源110は、レーザ光線等である光線112を放射することができるレーザダイオード等のレーザ光源でよい。光線112は、微小電気機械システム（MEMS）に基づいたスキャナなどを含むスキャニングプラットフォーム（走査のための基本構造）114に衝突し、スキャニングミラー（光線を走査している反射鏡）116で反射し、制御された出力光線124を発生する。スキャニングミラー制御回路130は、スキャニングミラー116の角運動を制御するため一つ以上の駆動信号を供給し、出力光線124に投影面128上でラスタースキャン126を発生させる。

20

【0006】

一部の実施形態では、ラスタースキャン126は、高速走査軸（水平軸）上の正弦波成分と、低速走査軸（垂直軸）上の鋸歯状波成分とを組み合わせることにより形成される。これらの実施形態では、制御された出力光線124は、正弦波パターンで前後左右に掃引し、鋸歯状波パターンで垂直方向（上から下）に掃引（スイープ）し、フライバック中（下から上）は空白で表示される。図1は、光線が垂直方向に上から下へ掃引するときの高速走査の正弦波パターンを示すが、下から上へのフライバックは示さない。

30

【0007】

スキャニングミラー116は、スキャニングミラー制御回路130によって供給される信号に応じて偏向され、ミラーの位置情報は、手段134によってスキャニングミラー制御回路130に戻される。ミラーの位置情報は、垂直低速走査方向、水平高速走査方向、または、両方向での角度位置を記述することがある。スキャニングミラー制御回路130は、位置情報を受信し、適切な駆動信号を決定し、スキャニングミラー116を駆動する。

【0008】

図2は図1で示すラスタ走査軌跡を導く光線の偏向波形を図示する。垂直偏向波形210は鋸歯状波形であり、水平偏向波形220は正弦波形である。この鋸歯状垂直偏向波形210はラスタ走査126の上部から底部への掃引（スイープ）に対応する降下部を含み、さらに底部から上部へのフライバックに対応する上昇部をも含む。このフライバック後に垂直スイープは各軌道で実質的に同じ経路を辿る。

40

図2は、図1のラスタースキャンの軌道を生じる光線の偏向波形（ビーム偏向波形）を示す。垂直偏向波形210は鋸歯状波形であり、水平偏向波形220は正弦波波形である。鋸歯状垂直偏向波形210は、上から下へのラスタースキャン126の掃引に対応する立ち下がり部分を含み、下から上へのフライバックに対応する立ち上がり部分をさらに含む。フライバック後、垂直掃引は、各軌跡上で実質的に同じ経路を横切る。

【0009】

図2の波形は、スキャニングミラー（光線を走査している反射鏡）に供給された駆動信

50

号に対する所望のミラーの偏向を表すことに注意することが重要である。スキャニングミラーが共振のない完全に平坦な自然応答を有する場合、スキャニングミラー制御回路 130 は、図示されるように信号 210 および 220 を駆動できる。現実の実施では、スキャニングミラー 116 は、複数の別個の振動モードをもつ共振特性を有する。スキャニングミラー制御回路 130 は、スキャニングミラー 116 を図 2 に示された波形に応じて偏向させ、それによって、ラスタースキャン 126 を生成するため制御された光線 124 を掃引する目的で駆動信号を修正する。

【0010】

図を簡素化するため、図 1 および 2 は、各低速走査サイクルのための比較的少数の高速走査サイクルを示す。一部の実施形態では、非常に多数の高速走査サイクルが各低速走査サイクルに対して存在する。例えば、低速走査の掃引は、ほぼ 60 Hz で動作することがあり、高速走査の掃引は、上方の 18 kHz で動作する。当業者は、本発明の種々の実施形態が低速走査の周波数と高速走査の周波数との間の関係と無関係にいずれかの走査システムに有利に適用されることを認識するであろう。

【0011】

図 1 および 2 は、低速走査の偏向のための鋸歯状波形を示すが、発明の種々の実施形態はこれらに限定されるものではない。例えば、低速走査の偏向波形は、本発明の範囲から逸脱することなく、三角形、制限された高調正弦波、または、いずれかの他の形状でもよい。

【0012】

図 3 は、微小電気機械システム (MEMS) スキャニングミラーを備えるスキャニングプラットフォーム (走査プラットフォーム、走査のための基本構造) の平面図である。スキャニングプラットフォーム 114 は、ジンバル 340 およびスキャニングミラー 116 を含む。ジンバル 340 は、湾曲部 310 および 312 によってスキャニングプラットフォーム 114 に連結され、スキャニングミラー 116 は、湾曲部 320 および 322 によってジンバル 340 に連結されている。ジンバル 340 は、駆動ライン 350 に接続された駆動コイルを有している。駆動ライン 350 の中に追い込まれる電流は、駆動コイルに電流を生じる。スキャニングプラットフォーム 114 は、一つ以上の集積化圧電抵抗位置センサをさらに組み込む。一部の実施形態では、スキャニングプラットフォーム 114 は、軸毎に一つの位置センサを含む。相互接続部 360 のうちの二つは、駆動ライン 350 に連結されている。残りの相互接続部は、軸毎に集積化位置センサが設けられている。

【0013】

動作中には、外部の磁場源 (図示せず) は、駆動コイルに磁場を印加する。外部の磁場源によって駆動コイルにかけられた磁場は、コイルの平面内に成分をもち、二つの駆動軸に対しておよそ 45° に方向付けられている。コイル巻線の中の面内電流は、面内磁場と相互作用し、導体に面外ローレンツ力を生じる。駆動電流は、ジンバル 340 上にループを形成するので、電流は、走査軸を越えて符号を反転する。即ち、ローレンツ力はまた、走査軸を越えて符号を反転し、磁場の面内で磁場に垂直にトルクを生じる。この合成トルクは、トルクの周波数内容に依存して二つの走査方向に応答を生じさせる。

【0014】

印加されたトルクの周波数成分は、水平ミラー共振 (〜18 kHz) を励起し、垂直ミラー運動 (60 Hz、120 Hz、180 Hz、...) のランプ駆動を行うように選択される。ミラー 116 およびジンバル 340 の周波数応答特性は、トルク成分をそれぞれの運動に分離するために作用する。

【0015】

スキャナの二つの共振振動モードが、図 4 および 5 に示される。図 4 に示された第 1 のモードは、シンバル構造体全体の垂直共振モードであり、図 5 に示された第 2 のモードは、スキャニングミラー 116 の水平共振モードである。図 4 に示された垂直共振モードでは、ジンバル 340 は、湾曲部 310 および 312 の上で回転し、図 5 に示された水平共振モードでは、ミラー 116 は湾曲部 320 および 322 上で回転する。多くの他の振動

モードが存在することがあるが、これらの二つは、二つの軸上の望ましい角運動を示す。

【0016】

種々の共振モードの周波数は、選択された設計基準に基づいて変化することがある。例えば、図5に示された共振モードの周波数は、スキャニングミラー116の内部質量を変更することにより、または、湾曲部310および312の性質を変化させることにより増減されることがある。同様に、図4に示された共振モードの周波数は、湾曲部320および322の性質を変更することにより、またはジンバル340およびスキャニングミラー116の内部質量を変化させることにより増減されることがある。異なる共振特性を備えるMEMSミラーの実施例は、ランドルビー、スピログ(Randall B. Sprague)ら、「走査線ディスプレイミラーのための2軸の磁気駆動(Bi-axial Magnetic Drive for Scanned Beam Display Mirrors,)」Proc. SPIE, 5721号, 1(2005年1月24日)、DOI:10.1117/12.596942、オンライン公開日:2005年2月28日、に記載されている。当業者であれば、共振属性を備えるスキャニングミラーが本発明の種々の実施形態と共に利用できることを認識するであろう。

10

【0017】

図3から図5にかけて示すスキャニングミラーは“コイル駆動式ミラー”の1例であり、特に「移動コイル」設計の一例である。なぜなら、コイルは磁界の存在下で移動するからである。他の実施形態においては、ミラーはそこに固定された1以上の磁石を有する。コイルは静止状態である。さらに別の実施形態では他のタイプの駆動機構が利用される(例:容量性駆動MEMSミラー)。ミラー運動を励起するように利用される駆動機構のタイプは本発明を限定するものではない。

20

【0018】

図6は、図3のMEMSスキャニングミラーの線形応答を示す。スキャニングミラーは、795Hzに主低速共振を示し、18kHzに主高速共振を示す。795Hzの主低速走査共振は、図4に示されるように、ジンバル340を低速走査(垂直)方向に発振させる。18kHzの主高速走査共振は、図5に示されるように、スキャニングミラーを高速走査(平行)方向に発振させる。1.9kHz、2.9kHz、および6.5kHzの副次的振動モードは、一般には望ましくない水平運動/垂直運動の組み合わせを生じる。

【0019】

種々の共振振動モードは、スキャニングミラー制御回路130に様々な課題をもたらす。例えば、ランプ波形210(傾斜波形210, 図2)を作り出すため、スキャニングミラー制御回路は、795Hzの共振から離れて60Hzの高調波(60Hz、120Hz、180Hz、...)を駆動することがある。795Hzでミラーによって示される機械的利得は、ある高調波で振動を引き起こし、それによって、ランプを歪める。

30

【0020】

本発明の種々の実施形態は、付加的な運動歪みを生じる高い機械的利得および非線形特性の存在下で所望のスキャニングミラーの挙動を作り出すために、スキャニングミラー駆動信号を修正するフィードバックループを提供する。一部の実施形態では、高調波駆動信号の各々の振幅および位相は、測定されたミラーの挙動に応答して修正される。さらに、各高調波信号は、異なる比率(「学習レート、学習比率」)で修正されることがある。一般に、高い機械的利得の領域の中の高調波信号は、低い機械的利得の領域の中の高調波信号より緩やかに修正される(より低い学習レートを有している)。一部の実施形態では、学習レートは適応的である。

40

【0021】

図7は最小平均自乗(LMS)高調波コントローラ(最小平均自乗法に基づく高調波の制御手段)を備えたスキャニングミラー低速走査制御ループを図示している。この低速走査制御ループ700は、LMS高調波コントローラ710、デジタルアナログ変換器(DAC)720、低域通過フィルタ(ローパスフィルタ)730と740、スキャニングミラー732、及びアナログデジタル変換器(ADC)750を備えている。スキャニ

50

ングミラー 732 はいかなる種類のスキヤニングミラーであってもよく、例えば図 3 において例示したものでよい。

【0022】

動作中には、LMS 高調波コントローラ 710 は、デジタル低速走査駆動信号を生成するために調和的に関連するデジタルの時間領域信号を発生させて合算する。このデジタル低速走査駆動信号は DAC 720 によってアナログ信号に変換され、730 で低域通過フィルタ処理がなされる。得られたアナログの低速走査信号は、スキヤニングミラー 732 を駆動する。

【0023】

スキヤニングミラー 732 は、低速走査方向に位置検出器を備えている。これらセンサは、低速走査方向にある実際のミラーの角度変位に対応する信号を供給する。アナログ低速走査位置信号は、センサから低域通過フィルタ 740 に供給される。低域通過フィルタ 740 は、何らかの適当な遮断周波数（カットオフ周波数）を有することができる。例えば、スキヤニングミラー 732 が図 6 に示された応答に類似した応答を有するとき、フィルタ遮断周波数は、ミラーのより高い周波数の振動モードから生じる何らかの信号エネルギーを除去するために数 kHz の程度でもよい。

【0024】

低域通過濾波された低速走査位置信号は、ADC 750 によってデジタル形式に変換され、得られたデジタル低速走査位置信号は、LMS 高調波コントローラ 710 に供給される。LMS 高調波コントローラ 710 は、高調波トーンと高調波係数の目標値とを受信する。この高調波係数の目標値は以下の式で表される。

【数 1】

$$\bar{T}_k = T_R + iT_I,$$

(3)

ここで k は高調波数であり、

【数 2】

$$\bar{T}_k$$

は複素数であり、 T_R は実数であり、 $i T_I$ は虚数である。LMS 高調波コントローラ 710 は

【数 3】

$$\bar{T}_k$$

の値に近づく係数を有した高調波トーンの合算値として駆動信号を発生させる。

【0025】

図 8 は、LMS 高調波コントローラを示している。LMS 高調波コントローラ 710 は LMS トーン加算器 810、820、830 及び 840 を備えており、一つのトーン加算機が合算される n 個のトーン（一定の周波数の信号）のそれぞれに対応している。LMS トーン加算器 810（第一のトーン加算器）は、60 Hz のトーンと、対応する係数である

【数 4】

$$\bar{T}_1$$

と、デジタル低速走査位置信号とを受信する。LMS トーン加算器 820（第二のトーン加算器）は 120 Hz のトーンと、対応する係数である

【数 5】

 $\overline{T}_2$

と、デジタル低速走査位置信号とを受信する。LMS トーン加算器 830（第三のトーン加算器）は 180 Hz のトーンと、対応する係数である

【数 6】

 $\overline{T}_3$

10

と、デジタル低速走査位置信号とを受信する。LMS トーン加算器 840（n 番目のトーン加算器）は 60 Hz の n 倍のトーンと、対応する係数である

【数 7】

 $\overline{T}_n$

と、デジタル低速走査位置信号とを受信する。合算器 850 は、トーン加算器によって発生された高調波の関連信号を合算し、デジタル低速走査駆動信号を発生させる。

20

【0026】

動作中には、各 LMS トーン加算器は、低速走査位置信号のスペクトル成分（基本波の高調波）を目標値と比較する。トーン加算器の数は、デジタル低速走査駆動信号における高調波の信号の数と等しい。任意の数の高調波と任意の数のトーン加算器とを本発明の範囲内で含むことができる。例えば本発明の一部の実施形態では、10 ユニット（単位数）のトーン加算器が利用可能であり、高調波は 60 Hz から 600 Hz の範囲となることがある。他の実施形態では 17 ユニットのトーン加算器が利用可能であり、高調波は 60 Hz から 1.02 kHz となることがある。利用される高調波の数は駆動信号の忠実度と複雑度の実現との間の二律背反を表している。

30

【0027】

図 7 の例は、60 Hz の基本波及びその高調波を図示するが、本発明の様々な実施形態はそれらに限定されない。例えば鋸歯状低速走査偏向は 60 Hz 以外の基本周波数を有することができるが、この場合には高調波トーンは 60 Hz の倍数以外の周波数となるであろう。また例えば低速走査軌道は、正弦曲線の合算から構築できる任意の信号となることができる。

【0028】

図 9 は LMS トーン加算器を図示する。この LMS トーン加算器 810 は、複素信号のサンプルで動作するための、同相回路及び直角位相回路を含んでいる。この同相回路は、合算器 914 と 930、乗算器 910 と 932、低域通過フィルタ（LPF）912、並びに比例ブロック（P）、積分ブロック（I）及び微分ブロック（D）を含む比例／積分／微分方式の（PID）コントローラを含む。この直角位相回路は、合算器 964 と 980、乗算器 960 と 982、低域通過フィルタ（LPF）962、並びに比例ブロック（P）、積分ブロック（I）及び微分ブロック（D）を含む比例／積分／微分方式の（PID）コントローラを含む。同相チャンネルと直角位相チャンネルの出力は、合算器 990 で組み合わせられて、高調波出力信号を生成する。図 9 は、図 8 の第一の LMS トーン加算器（810）を図示している。このトーン加算器は、60 Hz のトーンと、60 Hz の目標値の係数とを受け取り、60 Hz の駆動信号を発生させる。その他の LMS トーン加算器は同一の機能ブロックを含み、異なる高調波のためのトーンと目標値とを受信する。

40

50

【0029】

動作中には、乗算器910と960とは、低速走査位置信号と、60Hzのトーンの同相成分及び直角位相成分とを混合し、60Hzにおける信号スペクトルをDCに変換する。位相の情報は直角位相の操作を介して保存される。低域通過フィルタ912と962は60Hz以外の高調波に対応するスペクトルエネルギーを除去する。フィルタ912と962のDC出力は、スキャンングミラーからの「戻り値」高調波係数である

【数8】

$$\overline{R}_k$$

10

を表す。この戻り値の高調波係数は以下の式で表される。

【数9】

$$\overline{R}_k = R_R + iR_I,$$

ここでkは高調波数であり、

【数10】

$$\overline{R}_k$$

20

は複素数であり、 R_R は実数であり、 iR_I は虚数である。これらDC値は、目標値と比較され（目標値から減算され）、その差はPIDコントローラに適用される誤差信号（誤差）である。PIDコントローラは、同相の誤差と直角位相の誤差とをゼロに駆動するように操作する。PIDブロックの出力は、以下の式で表される複素数の高調波駆動係数を発生させるために、位置930と980で合算される。

【数11】

$$\overline{D}_k = D_R + iD_I,$$

30

ここでkは高調波数であり、

【数12】

$$\overline{D}_k$$

は複素数であり、 D_R は実数であり、 iD_I は虚数である。高調波駆動係数は60Hzまで乗算器932と982によって混合して戻され、60Hz駆動信号の同相成分と直角位相成分とを発生させ、990の処理で組み合わせられる。

40

【0030】

一部の実施形態では、LMSトーン加算器810は比例ブロック（P）又は微分ブロック（D）を利用しない。これらの実施形態では、積分ブロック（I）が誤差の項を積分して出力信号を算出する。

【0031】

図10に、高調波係数の重み付け配列を利用しているLMS高調波コントローラを備えたスキャンングミラーの低速走査制御ループを示す。低速走査制御ループ1000はデジタルアナログ変換器（DAC）720、低域通過フィルタ730と740、スキャン

50

グミラー732並びにアナログーデジタル変換器（ADC）750を含む。これらの全ては図7について前述している。

【0032】

低速走査制御ループ1000は、LMS高調波コントローラ1010もまた含んでいる。図7のLMS高調波コントローラ710と同様に、LMS高調波コントローラ1010は、デジタル低速走査位置信号と高調波係数の目標値である

【数13】

$\bar{T}_k$

を受信し、デジタル低速走査駆動信号を発生させる。LMS高調波コントローラ1010は、LMS高調波コントローラ710とは異なり、高調波係数重み付け配列をまた受信し、各高調波係数のために異なる「学習レート（学習比率）」を提供する。アルファ α_k は重み付け配列であり、誤差の量の継続的な低減のために、適切な振幅と位相の拡大縮小（ベクトル方向）を提供する。

【0033】

一部の実施形態では、重み付け配列は、主周波数（60Hz）で1に正規化されたミラーの利得（伝達関数）の逆関数である。一つ以上のミラーが特徴付けされることが可能であり、重み付け配列は測定された伝達関数から決定される。代替的には、ミラーの線形伝達関数は、機器起動時または機器の動作中に測定し、学習させることが可能である。例えば、17高調波に対する60Hz間隔の測定されたミラーの利得（図6を参照のこと）を以下の通り仮定する。

【0034】

MirrorGain（ミラー利得）＝[0.0562, 0.0595, 0.0630, 0.0653, 0.0668, 0.0724, 0.0812, 0.0912, 0.1122, 0.1496, 0.2511, 1.0, 1.0, 0.2511, 0.1412, 0.0944, 0.0668]

【0035】

ここで、ミラーの利得の最初の項目（エントリ）は、60Hzでの利得に対応し、ミラーの利得の最後の項目は、1.02kHzでの利得に対応する。これらは、実数係数（振幅のみ）として示されるが、複素数値（振幅および位相）でもよい。重み付け配列 α_k （Alpha（k））は、以下のアルゴリズムを使用して決定することができる。

【0036】

【数14】

$$\text{Alpha}'(k) = \frac{\text{MirrorGain}(k)}{\text{MirrorGain}(1)}$$

／／1次高調波への正規化

【数15】

$$\alpha_k = \frac{1}{\text{Alpha}'(k)}$$

／／各離散高調波（周波数）での線形利得の逆数

【0037】

Alpha（アルファ）重み付けは、必ずしもMEMSの利得属性に従う必要はないことは重要である。MEMS伝達関数は閉ループフィードバックシステムによって修正することができ、合成されたシステムの合成利得は α_k （Alpha（k））を計算するために使用することができる。

【0038】

図11は、高調波係数の重み付け配列を利用したLMS高調波コントローラを示している。LMS高調波コントローラ1010は、LMSトーン加算器1110、1120、1

10

20

30

40

50

130及び1140並びに合算器850を含んでいる。LMSトーン加算器1110、1120、1130及び1140は、LMSトーン加算器1110、1120、1130及び1140が高調波係数の重み付け配列を受信することを除けば、図8のLMSトーン加算器に対応するものである。

【0039】

図12は、高調波係数による重み付けを使用するLMSトーン加算器を示す。LMSトーン加算器1110は、図9で示す全ての構成要素を含んでいる。これに加えて、LMSトーン加算器1110は、係数の重み付けブロック1210及び1220を備えていることを示している。係数の重み付けブロック1210及び1220は、エラー信号（誤差信号）に対して拡大縮小処理（スケーリング処理）を提供し、これにより各LMSトーン加算器に対応する駆動係数のための異なる学習レートを持つことを許容する。

10

【0040】

図7から図12にかけて示された機能ブロックは、本発明の範囲から逸脱することなく、如何様にも実施することができる。例えば、ハードウェア及び／又はソフトウェアのどのような組み合わせであっても利用可能であり、いずれかの集積化のレベルと共に利用されることがある。一部の実施形態では、完全なハードウェアソリューション（ハードウェアによる問題解決）が実施される。例えば一以上の特定用途向けの集積回路（ASIC）またはフィールドプログラマブルゲートアレイ（アレイ上に並んだセルと配線用素子で構成されているLSI、FPGA）は、ほとんどの図示されたブロックまたは全ての図示されたブロックを実行することができる。

20

【0041】

他の実施形態では、プロセッサが、図7から図12と関連づけられた動作（アクション）を行うための命令を実行する。例えば、図13は、デジタル信号プロセッサ（DSP）を含む低速走査制御ループを示している。DSP1310は、本明細書中に記載された動作を行うことができるどのようなタイプのプロセッサでもよい。例えば、DSP1310は、市販されているプロセッサであってもよく、または特定用途向けのプロセッサ（カスタムプロセッサ）であってもよい。さらにDSP1310は、独立型の集積回路であっても、またASICに含まれている「コア」であってもよい。

【0042】

DSP1310は、ADC750からデジタル化サンプルを受信し、ランプ波形のためのデジタルデータをDAC720に供給する。DSP1310は、図7または図10に示された実施形態に従って、LMS高調波制御機能を果たす。特に、DSP1310は、各高調波係数に対して異なる学習レートを提供するために固定された重み付け配列を利用することが可能であり、また利用しないことも可能である。

30

【0043】

メモリ1320は、命令が記憶されているコンピュータが読み取り可能な媒体である。例えばメモリ1320は、スタティックもしくはダイナミックランダムアクセスメモリ（SRAMまたはDRAM）のような揮発性メモリであっても、またはフラッシュメモリのような非揮発性メモリであってもよい。一部の実施形態では、DSP1310及びメモリ1320は、ASICのような一般的な集積回路に含まれている。メモリ1320は、ディスク（ハードディスク、ソフトディスク、コンパクトディスクもしくはそれ以外のディスク）のような配布に適した媒体であっても、またはダウンロード可能なファイルを備えたサーバであってもよい。

40

【0044】

DSP1310は、メモリ1320からの命令にアクセスし、本発明の種々の方法実施形態を実行する。例えば、任意のLMS高調波制御の実施形態は、DSP1310によって実行されることがある。さらに、DSP1310は、ミラー利得の配列に関して前述したスキニングミラー732の応答を特徴づけることができる。

【0045】

図14は、2つのループを含んだスキニングミラーの低速走査制御システムを示して

50

いる。図14に示すシステムは、「外側ループ」によって示されるようにスキヤニングミラーの伝達関数を修正するための低利得の「内側ループ」を含む。内側ループは合算器1412、補償器1420、DAC720、低域通過フィルタ730及び740、スキヤニングミラー732、ADC750、高速走査トーン除去ブロック1440、追加のトーン（付加トーン）除去ブロック1450並びに利得ステージ1460によって形成されている。補償器1420はスキヤニングミラー伝達関数利得と位相の特性を補償し、外側ループによって検出されるスキヤニングミラーの伝達関数を修正するために含まれている。補償器1420は、任意の順序のアナログフィルタまたはデジタルフィルタを含んだいかなる形態であってもよい。例示的な補償器を以下でさらに解説する。内側ループは本発明の範囲から逸脱しない範囲でいかなるタイプの補償回路であっても含むことができる。補償回路の型式及び順序は、スキヤニングミラーの伝達関数に少なくとも部分的に基づいて決定することができる。一部の実施形態では、補償器1420はアナログ回路として利用可能であり、DAC720は信号経路において補償器1420に先行する。

10

【0046】

外側ループは、合算器1412、補償器1420、DAC720、低域通過フィルタ730及び740、スキヤニングミラー732、ADC750、及びLMS高調波コントローラ1410により形成される。LMS高調波コントローラ1410は、LMS高調波コントローラ710（図7）であっても、LMS高調波コントローラ1010（図10）であってもよい。例えば、一部の実施形態では、高調波コントローラ1410は重み付け配列を利用するか若しくは利用せずに、低速走査駆動信号の各高調波の構成要素の学習レートを修正する。

20

【0047】

図15は、二つのループを含むスキヤニングミラーの低速走査制御システムを示す。図15の制御システムは、図14の補償器1420の代替品として、橋絡T型補償器1422とフィルタ1430とを示す。橋絡T型補償器は、ねじれ共振によって引き起こされた運動制御システムの不安定性を取り除くために役立つ。橋絡T形補償器は、グレゴリー・ジェイ・シュナイダー（Gregory J. Schneider）「サーボの中のタイミング共振（Taming Resonance in Servos）」Machine Design, 1985年2月7日発行を参照のこと。

【0048】

30

本発明の種々の実施形態では、橋絡T形補償器1422は、低速走査駆動と干渉する帯域内のミラーの共振を補償する。例えば、図6を再び参照すると、スキヤニングミラーの線形応答は、高調波駆動信号の周波数範囲内にある795Hzで共振を示す。橋絡T形補償器1422は、この帯域内の共振を補償するために調整され、それによって、LMS高調波コントローラ1410によって取り扱われる利得変動を低減する。橋絡T形補償器1422は、有限インパルス応答（FIR）デジタルフィルタとして実施されることがある。

【0049】

図16は橋絡T型補償器1420の動作を示す根軌跡図である。2つのスキヤニングミラー極は、図6において795Hzに示された共振を引き起こす。橋絡T型補償器は実数軸に2つの極を提供し、2つのスキヤニングミラーの極を打ち消すために2つのゼロ値を与える。一部の実施形態では、橋絡T型のゼロ値は、スキヤニングミラーの極に直接的に重ね合わされ、また一部の実施形態では、橋絡T型のゼロ値は、スキヤニングミラーの極と同じ角度オフセットに存在する。橋絡T型のゼロ値を図16に示すように配置することで、位相マージン（位相余裕）が増加される。これらのゼロ値は、ミラーの極のように実数軸からより小さい角度で、より小さな半径に置かれ、ゼロ値に対してミラーの極に対するよりもさらに低いQ及び周波数の両方をもたらす。

40

図12は、橋絡T形補償器1022の動作を示す根軌跡図である。二つのスキヤニングミラーの極は、図6において795Hzに示された共振を引き起こす。橋絡T形補償器は

50

、実軸に二つの極を与え、二つのスキヤニングミラーの極を打ち消すために二つの零値を与える。一部の実施形態では、橋絡T形の零値は、スキヤニングミラーの極に直接的に重ね合わされ、一部の実施形態では、橋絡T形の零値は、スキヤニングミラーの極と同じ角度オフセットにある。図12に示される様に橋絡T形の零値を置くことにより、位相余裕は増加される。零値は、ミラーの極のように実軸からより低い角度およびより小さい半径で置かれ、零値に対してミラーの極より低いQおよび周波数の両方をもたらす。

【0050】

次に、図15を再び参照すると、フィルタ1430は、信号経路の橋絡T型補償器の後ろにある。フィルタ1430は、高調波駆動係数によって湿られた周波数帯域の外側にある共振モードの周波数でスペクトルエネルギーを除去するために調整されたノッチフィルタまたは低域通過フィルタであってもよい。例えば、一部の実施形態では、フィルタ1430は、6.5kHzに調整されたノッチフィルタであり、6.5kHzの副次振動モード(図6)を濾波する。他の実施形態では、フィルタ1430は、望ましくないスペクトルエネルギーを除去するために適した遮断周波数(カットオフ周波数)を有している低域通過フィルタであってもよい。様々なスキヤニングミラーの設計は、6.5kHz以外の周波数で副共振を示すことがあり、フィルタ1430は、これらの6.5kHz以外の周波数でスペクトルエネルギーを除去するために調整されることがある。

【0051】

内側ループは、高速走査トーン除去ブロック1440をさらに含む。高速走査トーン除去ブロック1440は、スキヤニングミラー内の意図しない電氣的及び／又は機械的クロストークに起因する高速走査周波数でスペクトルエネルギーを除去する。高速走査トーン除去ブロック1440は、高速走査軸上でスキヤニングミラーを励起するために使用される高速走査トーンのコピーを受信する。高速走査トーン除去ブロックの実施例が、図17に示される。図17は、複素信号サンプル上で動作するための同相回路及び直交回路を含む最小平均自乗(LMS)トーンキャンセラ(トーン消去器)を示している。この同相回路は、合算器1710および1770と、乗算器1720および1780と、低域通過フィルタ(LPF)1730と、比例ブロック(P)、積分ブロック(I)及び微分ブロック(D)を含む比例／積分／微分方式(PID)のコントローラとを含む。

【0052】

動作中に、乗算器1780の出力は、入力信号上に存在する高速走査クロストークのIチャンネルを再生する。再生されたIチャンネルは、入力信号から減算されて、1812でIチャンネル出力を生成する。このIチャンネル出力は、乗算器1820によってIチャンネル高速走査基準トーンと混合され、その結果がLPF1830によって低域通過濾波の処理がなされる。LPF1830のDC出力は、高速走査周波数でのスペクトル内容を表す誤差の項である。PIDコントローラはこの誤差をゼロにするために駆動する。PIDブロックの出力は、1870において合算され、その結果は、ミキサ1880によって高速走査周波数まで混合して戻され、入力信号上に存在する高速走査クロストークのIチャンネルを再生する。Qチャンネル回路は、直前に記載されたIチャンネルと同じ形式で動作する。

【0053】

一部の実施形態では、高速走査トーンの除去ブロック1440は、比例ブロック(P)または微分ブロック(D)のいずれも利用しない。これら実施例においては、積分ブロック(I)は、高速走査トーンスペクトル内容を再生する出力に到達するために、誤差の項を積分する。

【0054】

次に、図14を再び参照すると、付加トーンの除去ブロック1450は、他のトーンのためのトーン除去をさらに実行することができる。例えば1.9kHz共振(図6)から生じるトーンは、付加トーン除去ブロック1450によって除去されることがある。一部の実施形態では、トーン除去ブロック1440及び／又は1450は、ノッチフィルタまたはLMSトーン消去器(LMSトーンキャンセラ)を含むことができる。このLMSト

10

20

30

40

50

ーン消去器は、位相遅延をくわえない。よって、ループ内の位相余裕を持続する。利得ブロック1460は、内側ループのデータストリーム及び外側ループのデータストリームを1412で合成する前に内側フィードバックループに利得を提供する。

【0055】

図18と図19は、図15の内側ループのための開ループ応答及び閉ループ応答を示している。これらの図に示すように、橋絡T型補償器は、閉ループ応答を修正（変更）し、それによってループ安定性を向上させる。このループの安定性の改善（すなわち位相余裕）は、低速走査の好ましくない周波数成分が低速走査駆動信号に現れることを防止する改善である。この位相改善は、低速走査周波数での虚数のスキニングミラーの極の急激な180°の位相遷移を取り除き、且つ、さらに広い周波数領域に広がる二つの実数極のゆるやかに変化する位相応答を導入するので、この位相改善が起こる。

10

【0056】

図20は一重／二重ループ組み合わせ型の低速走査制御システムを示している。図20に示されているシステムは、図4で示された要素全てを含んでおり、さらにスイッチ2010を含んでいる。スイッチ2010が位置2014に存在するとき、図20のシステムは、図14のシステムと同様に、二つのループを用いて動作する。スイッチ2010が位置2012に存在するとき、内側ループは迂回（バイパス）され、その結果、図20のシステムは、図7と図10に示されたループと類似した一重ループを用いて動作する。

【0057】

一部の実施形態では、図20のシステムは、スキニングミラーを特徴付けるために一つのループを用いて動作し、その後、スキニングミラーの運動を制御する間に二つのループを用いて動作することがある。図20のシステムは、動作条件に基づいて外側ループと二つのループとの間で繰り返し切り換えられることも可能である。

20

【0058】

図21は、本発明の種々の実施形態による携帯可能な機器を示す。携帯可能な機器2100は携帯可能な投影装置であることが可能であり、通信機能はあっても無くてもよい。例えば、一部の実施形態では、携帯可能な機器2100は、他の機能をほとんど持たないか全く持たない携帯型投影装置でよい。さらに、例えば一部の実施形態では、携帯可能な機器2100は、例えば携帯電話機、スマートフォン、パーソナル・デジタルアシスタント（PDA）、全地球測位システム（GPS）受信器などを含む通信のため使用可能な機器であってもよい。さらに、携帯可能な機器2100は、無線（例えば、WiMax）またはセルラー接続を介してより大型のネットワークに接続されることがあり、あるいは、この機器は、規制されていないスペクトル（例えば、Wi-Fi）接続を介してデータメッセージまたはビデオコンテンツを受け取ることが可能である。

30

【0059】

携帯可能な機器2100は、光2018を使って画像を作成するための走査型投影機器2101を含む。上述の投影システムの他の実施形態と同様に、携帯可能な機器2100はスキニングミラー及び低速走査制御システムを備えた投影機を含む。

【0060】

一部の実施形態では、携帯可能な機器2100は、アンテナ2106と電子部品2105を含む。また一部の実施形態では、電子部品2105は受信器を含み、実施形態によっては電子部品2105は送信器を含む。例えばGPSを利用した実施形態では電子部品2105は、GPS受信器でもよい。これらの実施形態では、走査型投影装置2101によって表示される画像は、携帯可能な機器の位置に関係することがある。また例えば電子部品2105は、双方向通信に適した送受信機器でもよい。これらの実施形態では、携帯可能な機器2100は携帯電話機、双方向無線機、ネットワークインターフェイスカード（NIC）などであってもよい。

40

【0061】

携帯可能な機器2100は、メモリカードのスロット2104をさらに含む。一部の実施形態では、メモリカードのスロット2104に挿入されたメモリカードは、走査型投影

50

装置 2101 によって表示されるべきビデオデータのソースを提供することができる。メモ리카ードのスロット 2104 は、例えば、マルチメディアメモ리카ード（MMC）、メモリスティック D U O（登録商標）、セキュアデジタル（SD）メモリ、および、スマートメディアカードを含むどのようなタイプの固体メモリ機器を受容してもよい。前述のリストは、網羅的ではなく、例示的であり、本発明を限定するものではない。

【0062】

携帯可能な機器 2100 は、データコネクタ 2120 をさらに含む。一部の実施形態では、データコネクタ 2120 は、一本以上のケーブルに接続され、走査型投影機器 1701 による投影用のアナログまたはデジタルのビデオデータを受信することが可能である。他の実施形態では、データコネクタ 2120 は、ビデオデータを調達する機器のコネクタと直接的に結合することがある。

10

【0063】

図 22 は、本発明の種々の実施形態によるフローチャートである。一部の実施形態では、方法 2200、または、この方法の一部は、実施形態がここまでの図面に示された走査線投影システムによって実行される。他の実施形態では、方法 2200 の全部または一部は、電子システム内のハードウェア／ソフトウェアの組み合わせによって実行される。方法 2200 は、この方法を実行する特別なタイプの装置によって限定されない。方法 2200 の中の種々の動作は、提示された順序で実行されてもよく、または、異なった順序で実行されてもよい。さらに、一部の実施形態では、図 22 に記載された一部の動作は、方法 2200 から省略されている。

20

【0064】

方法 2200 は、ブロック 2210（工程 2210）から開始する。ブロック 2210 では、スキャンミラーが異なる周波数でミラーを励起し、応答を測定することの特徴としている。この測定された応答は、どのような周波数の範囲に亘ってもよい。例えば、一部の実施形態では、応答は、低速走査駆動係数によって網羅された周波数範囲に亘って測定されることができる。同様に、例えば一部の実施形態では、励起は、高速走査共振振動モードに至るまでを含む、共振モードが見出されることが予測される大きな周波数範囲をカバーする。その結果は、図 6 に示された応答に類似した応答となるであろう。

【0065】

ブロック 2220 で、スキャンミラー応答の逆数と比例する重み付け配列が決定される。これは、前述のミラー利得の配列の計算に対応する。ブロック 2230 で、重み付け配列は、コントローラ 1010（図 10）のような LMS 高調波コントローラの高調波駆動係数の学習レートを重み付け処理するために利用される。高調波駆動係数は、低速走査方向のスキャンミラーの角度変位を発生させるために利用される。これは図 10 から図 12 にかけて図示する LMS 高調波コントローラと LMS トーン加算器の動作に対応する。

30

【0066】

ブロック 2240 では、第二のフィードバックループが動作する。この第二フィードバックループは、高調波駆動係数によって占められた周波数帯域の範囲内でのスキャンミラーの共振モードのための補償を含んでいる。例えば、橋絡 T 型補償器 1422（図 15）は、795 Hz で発見される共振モードを補償する。第二のフィードバックループは他の副共振モードのための追加フィルタリングも含むことができ、望ましくないトーン（例：高速走査周波数トーン）を除去するために消去する LMS トーンをも含むことがある。

40

【0067】

図 23 は、本発明の種々の実施形態によるフローチャートである。一部の実施形態では、方法 2300 またはその方法の一部は、実施形態がここまでの図面に示された走査線投影システムによって実行される。他の実施形態では、方法 2300 の全部またはその一部は、電子システムの中のハードウェア／ソフトウェアの組み合わせによって実行される。方法 2300 は、この方法を実行する特別なタイプの装置によって限定されない。方法 2

50

300の様々な機能は、提示されている順序で実行されても、異なる順序で実行されても、実施が可能である。さらに一部の実施形態では、図23で示す機能の一部は、方法2300から省略されてもよい。

【0068】

方法2300は、スキャニングミラーの角運動が検出され、位置信号を生じるブロック2310で開始する。一部の実施形態では、これはMEMSスキャニングミラーの角変位を検出する圧電抵抗位置センサに対応する。ブロック2320で、位置信号は、複数の高調波関連トーンとが混合され、戻り値の高調波係数を表すDC信号が生成される。

【0069】

ブロック2320で、高調波係数の戻り値は、高調波係数目標値と比較され、誤差値が取得される。これは前記の図に関して前述したように

10

【数16】

$$\overline{R}_k$$

と

【数17】

$$\overline{T}_k$$

の比較に対応する。ブロック2340で、複数の駆動係数は誤差値（エラー値）に対応して修正される。一部の実施形態では、それぞれの駆動係数は異なる割合（比率）で修正される。例えばミラー応答の逆数に比例する重み付け配列は学習レートを設定するのに利用できる。

20

【0070】

ブロック2350で、複数の駆動係数は、複数の高調波関連トーンと混合されて、複数の高調波関連駆動信号を発生させる。ブロック2360で、その複数の高調波関連駆動信号は合算されて、スキャニングミラー駆動信号を発生させる。

【0071】

ブロック2370でスキャニングミラー駆動信号は、橋絡T型補償器を通過し、駆動係数によって占められた周波数帯域で、ミラーの共振モードを補償する。ブロック2380でスキャニングミラーはスキャニングミラー駆動信号により駆動される。

30

【0072】

本発明は、ある種の実施形態と併せて説明されているが、当業者が容易に理解するように、変更および変形が、発明の範囲から逸脱することなく行われてもよいことが理解されるべきである。このような変更および変形は、発明の範囲および請求項の範囲内に含まれると考えられる。

【図 1】

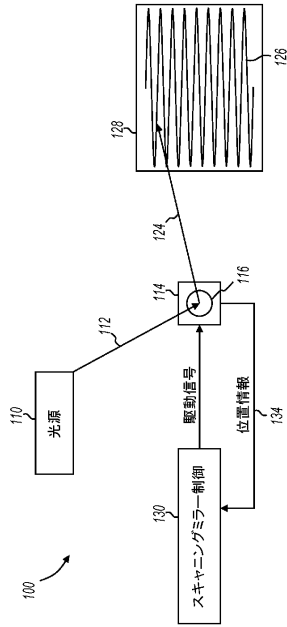


FIG. 1

【図 2】

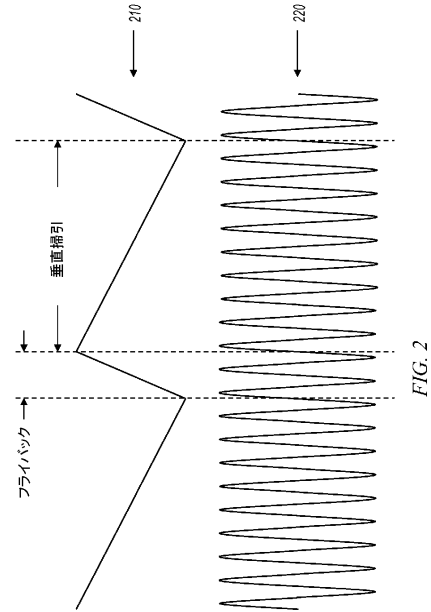


FIG. 2

【図 3】

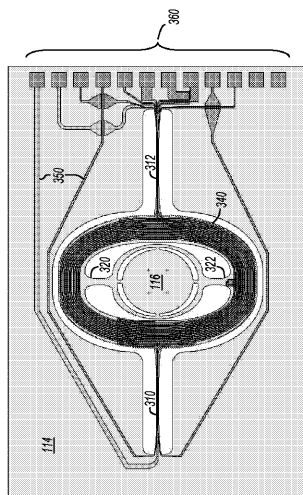


FIG. 3

【図 4】

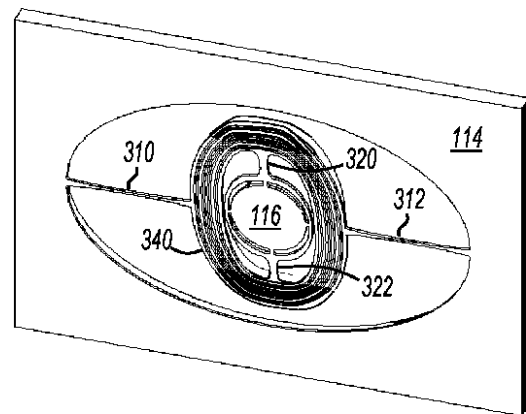


FIG. 4

【図 5】

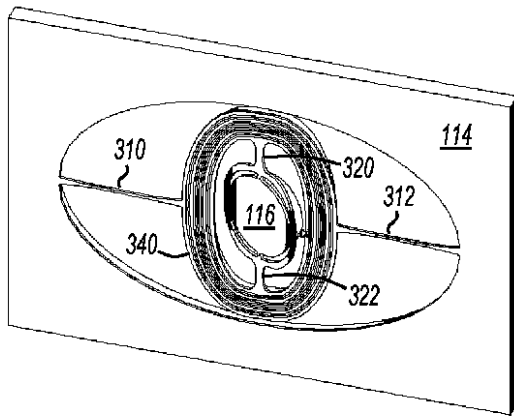
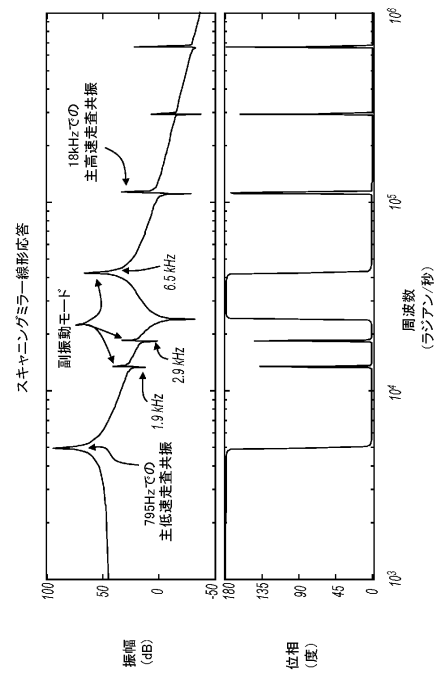
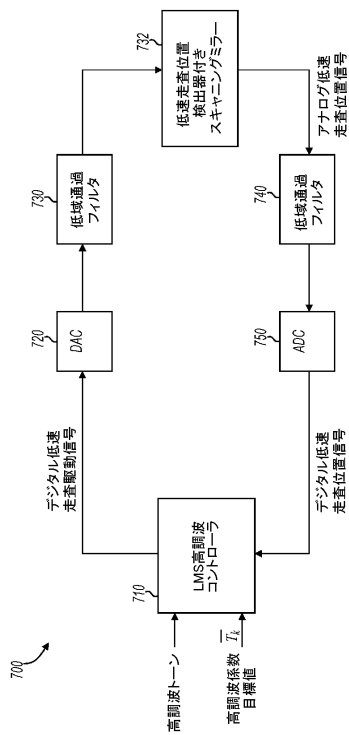


FIG. 5

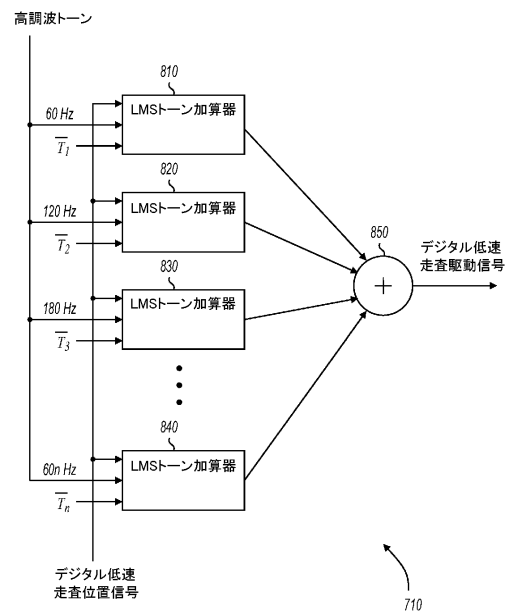
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

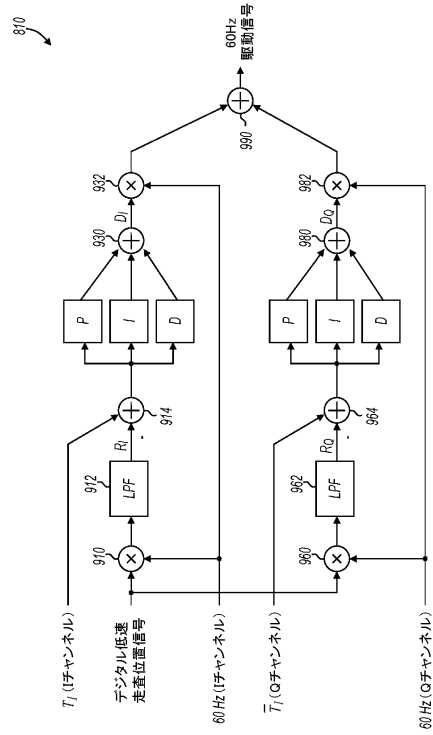


FIG. 9

【図 10】

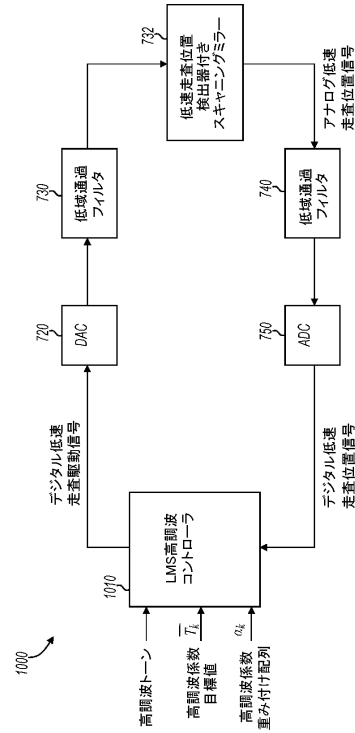


FIG. 10

【図 11】

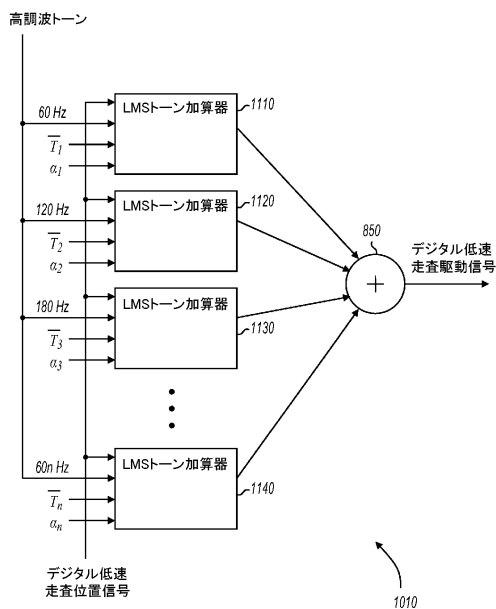


FIG. 11

【図 12】

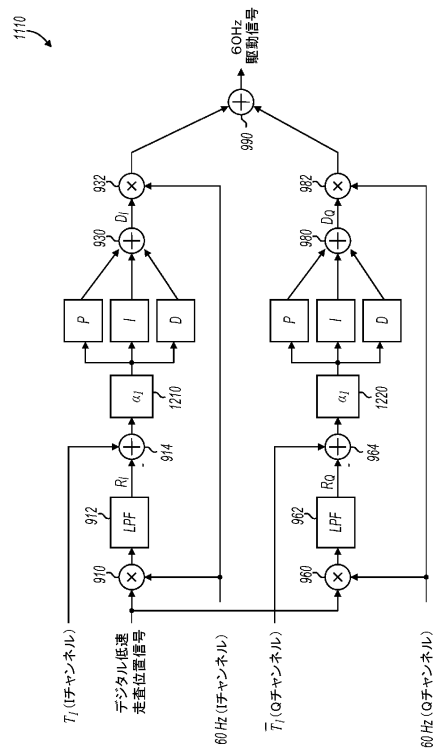


FIG. 12

【図 1 3】

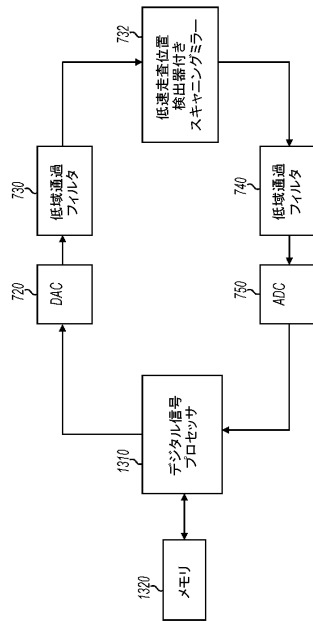


FIG. 13

【図 14】

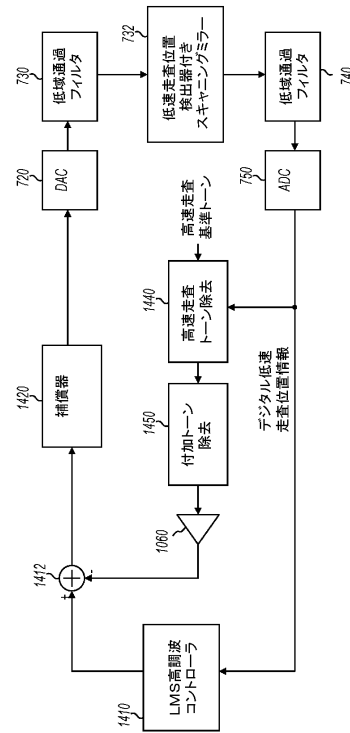


FIG. 14

【図 15】

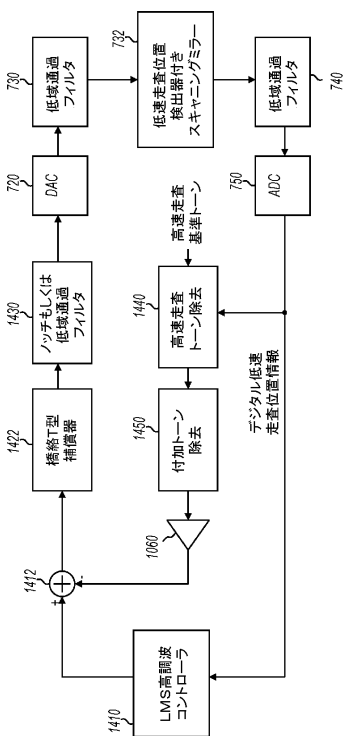


FIG. 15

【图 16】

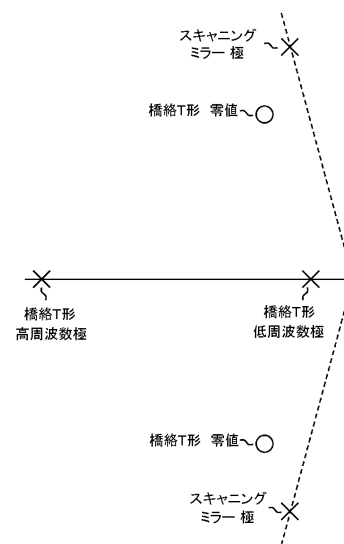
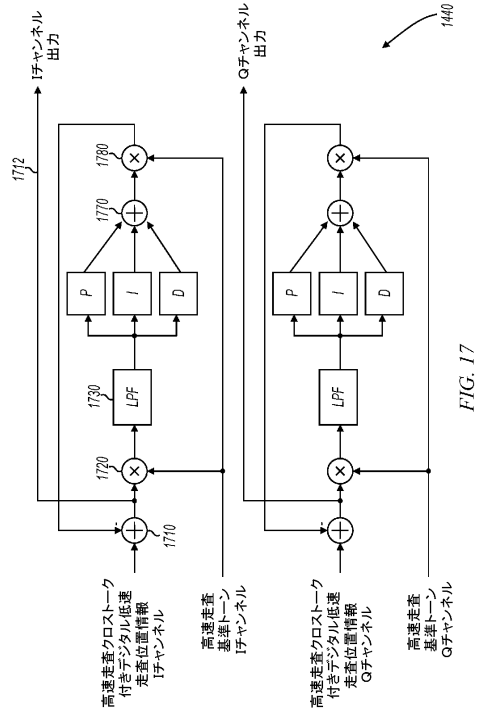
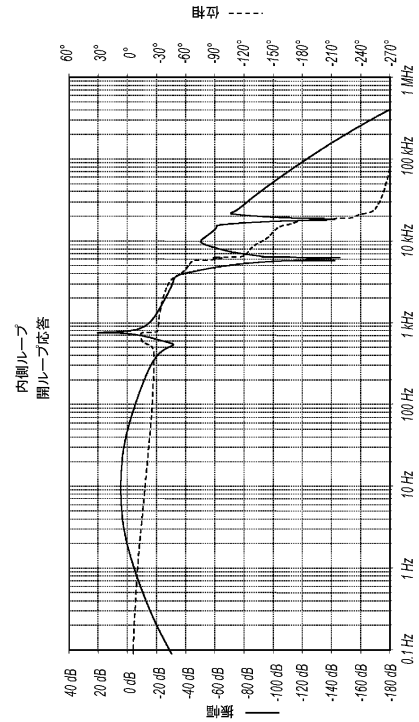


FIG. 16

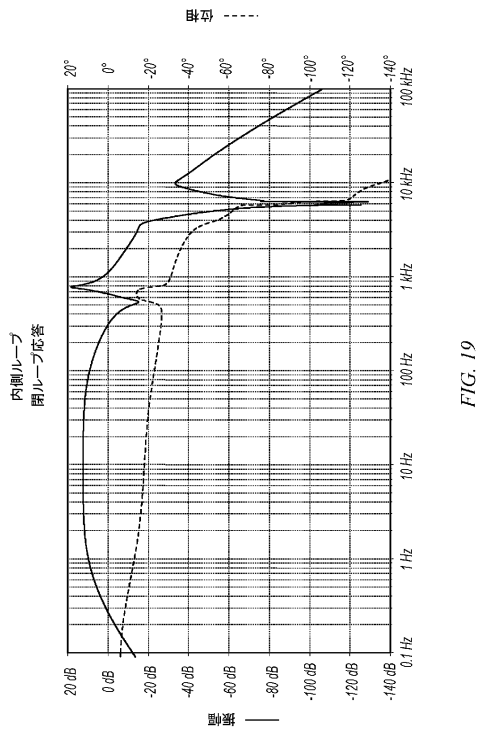
【図 17】



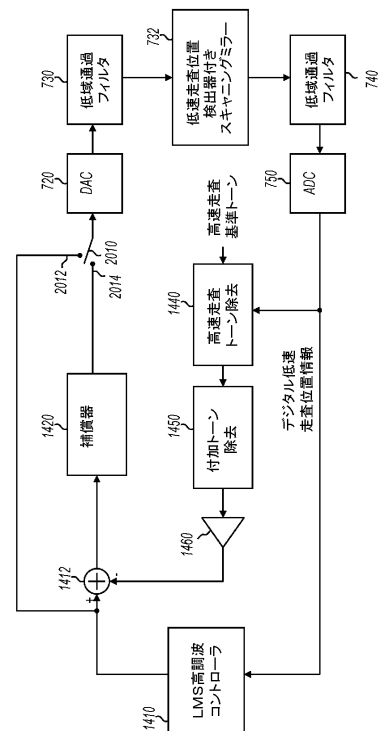
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【図 2 1】

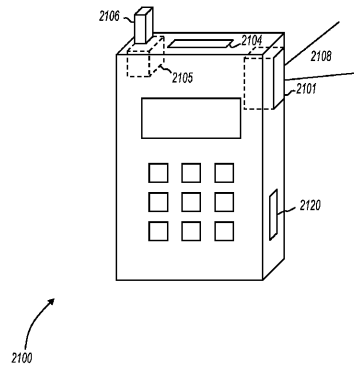


FIG. 21

【図 2 2】

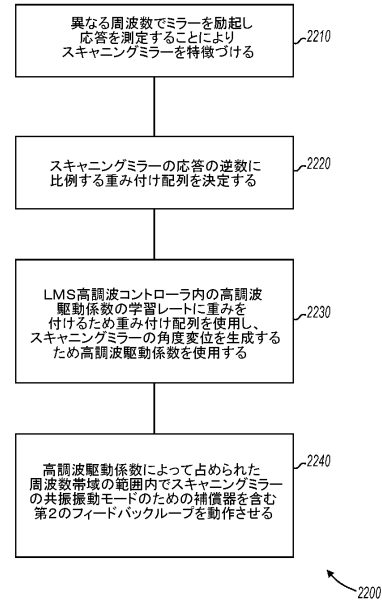


FIG. 22

【図 2 3】

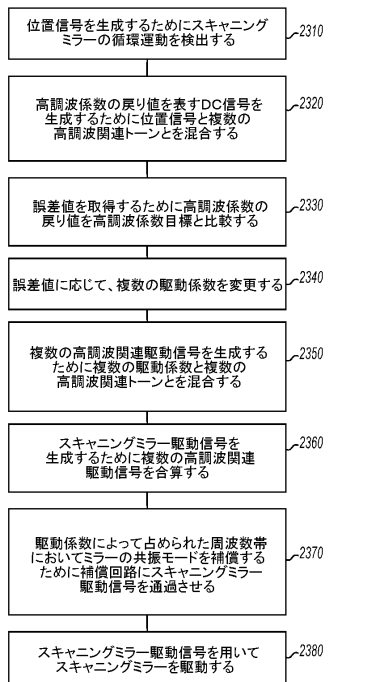


FIG. 23

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-080355 (JP, A)
特開平11-231253 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 26/10
H04N 5/74
B81B 7/02