

(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2015-114221
(P2015-114221A)

(43) 公開日 平成27年6月22日 (2015.6.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1C 19/5614 (2012.01)	GO1C 19/56 114	2F105
HO3H 17/02 (2006.01)	HO3H 17/02 601Z	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-256725 (P2013-256725)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成25年12月12日 (2013.12.12)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100116665 弁理士 渡辺 和昭
		(72) 発明者	羽田 秀生 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		Fターム(参考)	2F105 AA02 AA03 AA08 BB03 BB08 BB17 CC01 CD11

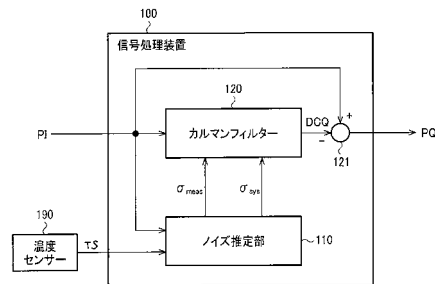
(54) 【発明の名称】 信号処理装置、検出装置、センサー、電子機器及び移動体

(57) 【要約】

【課題】 過渡応答性や追従性を向上したDC成分の抽出が可能な信号処理装置、検出装置、センサー、電子機器及び移動体等を提供すること。

【解決手段】 信号処理装置100は、観測ノイズ σ_{meas} 及びシステムノイズ σ_{sys} を推定するノイズ推定部110と、観測ノイズ σ_{meas} 及びシステムノイズ σ_{sys} に基づいてカルマンフィルター処理を行って、入力信号PIのDC成分を抽出するカルマンフィルター120と、を含む。ノイズ推定部110は、温度センサー190の出力信号TSに基づくシステムノイズ σ_{sys} をカルマンフィルター120に出力する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

観測ノイズ及びシステムノイズを推定するノイズ推定部と、
前記観測ノイズ及び前記システムノイズに基づいてカルマンフィルター処理を行って、
入力信号の DC 成分を抽出するカルマンフィルターと、
を含み、
前記ノイズ推定部は、
温度センサーの出力信号に基づく前記システムノイズを前記カルマンフィルターに出力
することを特徴とする信号処理装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の信号処理装置において、
前記ノイズ推定部は、
前記温度センサーの前記出力信号の変化に応じて前記システムノイズを増加させること
を特徴とする信号処理装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の信号処理装置において、
前記ノイズ推定部は、
前記温度センサーの前記出力信号の変化値に対して所定のゲインを乗算するゲイン処理
を行うことで前記システムノイズを増加させることを特徴とする信号処理装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の信号処理装置において、
前記ノイズ推定部は、
前記入力信号の温度変動係数と、前記温度センサーの感度とに基づいて設定される前記
所定のゲインにより前記ゲイン処理を行うことを特徴とする信号処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の信号処理装置において、
前記カルマンフィルターは、
収束状態におけるローパスフィルター動作のカットオフ周波数を前記システムノイズに
基づいて変化させることで、温度変化による前記 DC 成分の変化に追従することを特徴と
する信号処理装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の信号処理装置において、
前記入力信号の DC 成分の温度特性に対応した DC 指定値を前記入力信号から減算する
減算部を含み、
前記カルマンフィルターは、
前記減算後の前記入力信号に対してカルマンフィルター処理を行うことを特徴とする信
号処理装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の信号処理装置において、
前記 DC 指定値を記憶する記憶部を含むことを特徴とする信号処理装置。

【請求項 8】

物理量トランスデューサーを駆動する駆動回路と、
前記物理量トランスデューサーからの検出信号を受けて、物理量に応じた物理量信号を
検出する検出回路と、
前記物理量信号を前記入力信号として前記 DC 成分を抽出する、請求項 1 乃至 7 のい
ずれか一項に記載の信号処理装置と、
を含むことを特徴とする検出装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の検出装置と、
前記物理量トランスデューサーと、

10

20

30

40

50

を含むことを特徴とするセンサー。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の信号処理装置を含むことを特徴とする電子機器。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の信号処理装置を含むことを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号処理装置、検出装置、センサー、電子機器及び移動体等に関する。

10

【背景技術】

【0002】

デジタルカメラ、スマートフォン等の電子機器や車、飛行機等の移動体には、外的な要因で変化する物理量を検出するためのジャイロセンサーが組み込まれている。このようなジャイロセンサーは、角速度等の物理量を検出し、いわゆる手振れ補正、姿勢制御、GPS 自律航法などに用いられる。

【0003】

ジャイロセンサーは、検出した角速度等の物理量を検出電圧信号として出力する。その検出電圧信号を受け取ったアプリケーション側は、検出電圧信号により得られた角速度等をソフトウェア処理により積算して、角度や速度、距離などを求める。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 347505 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 236302 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

さて、物理量トランスデューサーからの検出電圧信号には、例えば物理量トランスデューサーの温度特性等に起因する DC オフセットが存在する。DC オフセットは、検出電圧信号から所望の情報を得る際に誤差の原因となるという課題がある。例えば、上述したジャイロセンサーでは、角度等を求める際に DC オフセットを含んだ検出電圧信号を積算するので、誤差が非常に大きくなってしまふ。

30

【0006】

DC オフセットを除去する手法として、特許文献 1 には、検出電圧信号をハイパスフィルターで処理する手法が開示されている。また、特許文献 2 には、検出電圧信号に所定電圧のバイアスを加える手法が開示されている。しかしながら、特許文献 1 の手法ではハイパスフィルターの特性が固定であるため、その特性が検出電圧信号の過渡応答性に影響するという課題がある。特許文献 2 の手法では DC オフセットの変化に対して追従させることが困難であるという課題がある。

40

【0007】

本発明の幾つかの態様によれば、過渡応答性や追従性を向上した DC 成分の抽出が可能な信号処理装置、検出装置、センサー、電子機器及び移動体等を提供できる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または態様として実現することが可能である。

【0009】

本発明の一態様は、観測ノイズ及びシステムノイズを推定するノイズ推定部と、前記観測ノイズ及び前記システムノイズに基づいてカルマンフィルター処理を行って、前記入力

50

信号のDC成分を抽出するカルマンフィルタと、を含み、前記ノイズ推定部は、温度センサーの出力信号に基づく前記システムノイズを前記カルマンフィルタに出力する信号処理装置に係する。

【0010】

本発明の一態様によれば、観測ノイズ及び、温度センサーの出力信号に基づくシステムノイズが出力され、その観測ノイズ及びシステムノイズに基づいてカルマンフィルタ処理が行われる。このように観測ノイズ及びシステムノイズをカルマンフィルタの外部から供給することで、カルマンフィルタの特性を制御でき、過渡応答性や追従性を向上したDC成分の抽出が可能になる。

【0011】

また本発明の一態様では、前記ノイズ推定部は、前記温度センサーの前記出力信号の変化に応じて前記システムノイズを増加させてもよい。

【0012】

温度センサーの出力信号の変化を用いることで、それに対応してDC成分がどの程度の速さで変化しているのか、という情報が得られる。そして、その周波数をカルマンフィルタが通過させるようにシステムノイズを増加させることが可能となり、温度変化によるDC成分の変化に追従させることが可能となる。

【0013】

また本発明の一態様では、前記ノイズ推定部は、前記温度センサーの前記出力信号の変化値に対して所定のゲインを乗算するゲイン処理を行うことで前記システムノイズを増加させてもよい。

【0014】

このようにすれば、所定のゲインを乗算することによりカルマンフィルタのフィルタ特性を制御することが可能となる。即ち所定のゲインを適切に設定することで、温度変化によるDC成分の変化に対してカルマンフィルタを追従させることができる。

【0015】

また本発明の一態様では、前記ノイズ推定部は、前記入力信号の温度変動係数と、前記温度センサーの感度とに基づいて設定される前記所定のゲインにより前記ゲイン処理を行ってもよい。

【0016】

温度センサーの出力信号の変化に対してDC成分がどの程度の速さで変化するのは、温度センサーの感度と入力信号の温度変動係数に関係している。即ち、これらの情報から所定のゲインを設定することにより、カルマンフィルタのフィルタ特性を、入力信号のDC成分の温度変動に追従させることが可能となる。

【0017】

また本発明の一態様では、前記カルマンフィルタは、収束状態におけるローパスフィルタ動作のカットオフ周波数を前記システムノイズに基づいて変化させることで、温度変化による前記DC成分の変化に追従してもよい。

【0018】

時間が十分に経過したときのカルマンフィルタの状態である収束状態において、カルマンフィルタはローパスフィルタ動作を行う。システムノイズを変化させることで、そのカットオフ周波数を変化させることができ、温度変化によるDC成分の変化を通過させるフィルタ特性に適応的に変化させることが可能となる。

【0019】

また本発明の一態様では、前記入力信号のDC成分の温度特性に対応したDC指定値を前記入力信号から減算する減算部を含み、前記カルマンフィルタは、前記減算後の前記入力信号に対してカルマンフィルタ処理を行ってもよい。

【0020】

また本発明の一態様では、前記DC指定値を記憶する記憶部を含んでもよい。

【0021】

10

20

30

40

50

DC指定値はDC成分の温度特性に対応したものであるが、真値に対しては近似による誤差や、個体差による誤差を含んでいる。そのため、入力信号からDC指定値を減算した後もDC成分の温度特性は残っている。本発明の一態様によれば、その残った温度特性によるDC成分の変化に追従することができる。

【0022】

本発明の他の態様は、物理量トランスデューサーを駆動する駆動回路と、前記物理量トランスデューサーからの検出信号を受けて、物理量に応じた物理量信号を検出する検出回路と、前記物理量信号を前記入力信号として前記DC成分を抽出する、上記のいずれかに記載の信号処理装置と、を含む検出装置に係する。

【0023】

本発明の更に他の態様は、上記に記載の検出装置と、前記物理量トランスデューサーと、を含むセンサーに係する。

【0024】

本発明の更に他の態様は、上記のいずれかに記載の信号処理装置を含む電子機器に係する。

【0025】

本発明の更に他の態様は、上記のいずれかに記載の信号処理装置を含む移動体に係する。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】電子機器の基本構成例。

【図2】信号処理装置の構成例。

【図3】信号処理装置の第1の詳細な構成例。

【図4】信号処理装置の第2の詳細な構成例。

【図5】DC指定値と偏差と最大偏差値についての説明図。

【図6】ジャイロセンサーのDCオフセットの温度特性についての説明図。

【図7】温度変化によるDCオフセットの時間変化についての説明図。

【図8】信号処理装置の第3の詳細な構成例。

【図9】ピークホールド処理についての説明図。

【図10】信号処理装置の第4の詳細な構成例。

【図11】ジャイロセンサーと電子機器の構成例。

【図12】検出装置の構成例。

【図13】移動体の構成例。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお以下に説明する本実施形態は特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

【0028】

1. 信号処理装置

以下、物理量トランスデューサーの物理量信号からDCオフセットを抽出する場合を例にとり、本実施形態の信号処理装置について説明する。なお、物理量トランスデューサーの物理量信号に限らず、入力信号からDC成分を抽出するものであれば本実施形態を適用可能である。

【0029】

図1に、本実施形態の信号処理装置100が適用された電子機器の基本構成例を示す。電子機器は、物理量トランスデューサー15と検出回路60と信号処理装置100と処理部520を有する。

【0030】

物理量トランスデューサー15は、例えば角速度、加速度、角加速度或いは速度等の物

10

20

30

40

50

理量を電気信号（電圧、電流）に変換するものである。物理量トランスデューサー 15 としては、ジャイロセンサーにおける振動子や、加速度センサーなどの種々のデバイス（センサー）を想定できる。検出回路 60 は、物理量トランスデューサー 15 からの信号 TQ（電流信号、電圧信号等）に基づいて、角速度、加速度、角加速度又は速度等の物理量の検出処理（同期検波等）を行って、その物理量に応じた物理量信号 PI（検出データ）を信号処理装置 100 に出力する。

【0031】

信号処理装置 100 は、物理量信号 PI から DC 成分 DCQ を抽出し、その DC 成分 DCQ を物理量信号 PI から減算し、その減算後の信号を出力信号 PQ（出力データ）として出力する。図 1 では、便宜的に減算部を信号処理装置 100 の外に記載している。DC 成分 DCQ は、物理量信号 PI から取り出したい所望の信号成分よりも周波数が低い成分である。例えば物理量トランスデューサー 15 がジャイロセンサーである場合、物理量信号 PI にはオフセットが含まれており、そのオフセットを基準とする変化が実際の信号成分となる。この信号成分の周波数は、ジャイロセンサーが検出した動きの周波数に対応している。オフセットは温度変化等によって時間的に変動するため周波数ゼロではないが、動きの周波数に比べれば低い周波数である。

10

【0032】

処理部 520 は、検出装置 20 からの出力信号 PQ をそのまま使用する場合もあるが、この出力信号 PQ の積分処理を行ってその積分結果値を使用する場合がある。物理量トランスデューサー 15 がジャイロセンサーである場合を例にとると、検出装置 20 は、振動子からの信号に基づいて角速度データを処理部 520 に出力する。そして処理部 520 は、角速度データの積分処理（積算処理）を行って、角度データを求める。信号処理装置 100 によって DC 成分が除かれているため、積分処理を行っても誤差の小さい正確な角度データを得ることができる。

20

【0033】

さて、本実施形態の第 1 の比較例として、上述したハイパスフィルターを用いて DC 成分を除去する手法が考えられる。しかしながら、DC 成分を除去するために、非常に低い周波数にカットオフを設定した場合、ハイパスフィルターが収束するまでに時間が掛かるという課題がある。収束時間を改善するために、ある程度の周波数にカットオフを設定しなければならず、そのため信号の通過帯域が制限されるという課題がある。例えばジャイロセンサーでは、ゆっくりした動きが検出しにくくなってしまふ。

30

【0034】

第 2 の比較例として、適応型フィルターを用いて、DC 成分による誤差を収束させる手法が考えられる。例えば、ジャイロセンサーとは別の慣性センサーからの情報に基づいて、ジャイロセンサーで測定した角度等の誤差を収束させる。しかしながら、この手法では、適応的にフィルター特性が変わるものの、別の慣性センサーが必要となるという課題がある。

【0035】

図 2 に、上記のような課題を解決できる本実施形態の信号処理装置 100 の構成例を示す。なお、以下では概要を説明し、詳細な構成・動作については後述する。また、以下では物理量トランスデューサー 15 がジャイロセンサーである場合を例に説明するが、上述したように物理量トランスデューサー 15 はジャイロセンサーに限定されない。

40

【0036】

図 2 に示す信号処理装置 100 は、ノイズ推定部 110 とカルマンフィルター 120 と減算部 121 を含む。

【0037】

ノイズ推定部 110 は、観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ を推定し、その推定した観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ をカルマンフィルター 120 へ出力する。具体的には、温度センサー 190 は、検出信号 TS を出力信号 TS として出力する。ノイズ推定部 110 は、その出力信号 TS に基づくシステムノイズ $_{sys}$ を出力する。例

50

えば、図4で後述するように、ノイズ推定部110は、物理量信号PIを入力信号として受けて、その入力信号PIから観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ を生成し、そのシステムノイズ $_{sys}$ に、温度センサー190の出力信号TSから生成したシステムノイズを更に加算する。

【0038】

カルマンフィルタ120は、観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ に基づいてカルマンフィルタ処理を行って、入力信号PIのDC成分DCQを抽出する。減算部121は、入力信号PIからDC成分DCQを減算し、出力信号PQを出力する。カルマンフィルタ処理とは、観測値及びシステムの状態を表す変数にノイズ(誤差)が含まれると仮定し、過去から現在までに取得した観測値を用いてシステムの最適な状態を推定する処理である。本実施形態の場合、観測値はジャイロセンサーの物理量信号PIであり、推定する変数はDC成分DCQである。具体的には、観測更新(観測過程)と時間更新(予測過程)を繰り返し行って状態を推定する。観測更新は、観測値と時間更新の結果を用いてカルマンゲイン、推定値、誤差共分散を更新する過程である。時間更新は、観測更新の結果を用いて、次の時刻での推定値、誤差共分散を予測する過程である。

10

【0039】

一般的なカルマンフィルタでは、誤差共分散の初期値及びシステムノイズを既知のものとして予め与えておく。誤差共分散は、観測更新や時間更新により値が更新されていく。このように、一般的なカルマンフィルタでは、更新の繰り返しの途中で新たに観測ノイズやシステムノイズが外部から与えられるものではない。

20

【0040】

一方、本実施形態ではノイズ推定部110が観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ を出力し、カルマンフィルタ120に外部から供給する。下式(6)~(10)で後述するように、観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ はカルマンゲイン $g(k)$ 等の内部変数に影響を与える。即ち、観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ を制御することでカルマンフィルタ120のフィルタ特性を制御できることを意味している。

【0041】

例えば、図3で後述するように、ジャイロセンサーの物理量信号PIのDC成分が変化していないときには通過帯域を低周波数にしておき、信号成分の通過帯域を低周波側に広げることができる。また、DC成分が変化したときには観測ノイズ $_{meas}$ 及びシステムノイズ $_{sys}$ を変化させて通過帯域を広げ、DC成分の変化に追従させることができる。このようにして、新たな慣性センサーを追加することなく、物理量信号PIの変化に対する過渡応答性や、DC成分の変化に対する追従性を向上できる。

30

【0042】

さて、図3で後述するように、カルマンフィルタ120の収束状態において、カルマンフィルタ120はカットオフ周波数 f_c のローパスフィルタとして動作する(下式(16))。このとき、温度変化によってジャイロセンサーのDCオフセットが変化し、入力信号PIのDC成分が変化したとする。DC成分を抽出するためにカットオフ周波数 f_c は非常に低いため、DC成分の変化に追従できない可能性がある。

【0043】

この点、本実施形態では温度センサー190の出力信号TSに基づいてシステムノイズ $_{sys}$ を出力するので、温度に応じて適応的にカルマンフィルタ120のフィルタ特性を制御でき、DC成分の変化に追従できる。具体的には、収束状態において、システムノイズ $_{sys}$ とカットオフ周波数 f_c の間には下式(18)の関係がある。即ち、温度に応じてシステムノイズ $_{sys}$ を制御することで、温度変化によるDC成分の変化に合わせてカットオフ周波数 f_c を変化させることが可能となる。

40

【0044】

図4で後述するように、ノイズ推定部110は、温度センサー190の出力信号TSの変化に応じてシステムノイズ $_{sys}$ を増加させる。具体的には、温度センサー190の出力信号TSの変化は、温度変化 $T[\text{ / sec}]$ と温度センサー190の感度 $TSEN$

50

[d i g i /] により $T \cdot T S E N$ と表される。下式 (2 0) に示すように、図 4 のローパスフィルタ 1 6 3 は $T \cdot T S E N$ に応じた出力 $L P F 2 O U T$ を出力する。ノイズ推定部 1 1 0 は、この出力 $L P F 2 O U T$ から生成した信号をシステムノイズ $s_{y s}$ に加算し、システムノイズ $s_{y s}$ を増加させる。

【 0 0 4 5 】

下式 (2 1) に示すように、温度センサー 1 9 0 の出力信号 $T S$ の変化を用いることで、温度変化によって $D C$ 成分がどの程度の速さ (周波数 f) で変化しているのか、という情報が得られる。そして、その周波数が通過できるようにシステムノイズ $s_{y s}$ を増加させ、カルマンフィルタ 1 2 0 のフィルタ特性を制御することで、温度変化による $D C$ 成分の変化に追従させることができる。

10

【 0 0 4 6 】

より具体的には、ノイズ推定部 1 1 0 は、温度センサー 1 9 0 の出力信号 $T S$ の変化値 (ローパスフィルタ 1 6 3 の出力) に対して所定のゲイン $G A 3$ を乗算するゲイン処理を行うことでシステムノイズ $s_{y s}$ を増加させる。

【 0 0 4 7 】

下式 (1 8)、(2 2) から分かるように、ローパスフィルタ 1 6 3 の出力とゲイン $G A 3$ の積は、収束状態におけるカルマンゲイン g を変化させる。下式 (1 8) からカルマンゲイン g はカットオフ周波数 f_c に関係するので、温度変化があったときに、どの程度カットオフ周波数 f_c を変化させるのかをゲイン $G A 3$ で設定できる。即ち、温度変化による $D C$ 成分の変化を通過するように所定のゲイン $G A 3$ を設定しておき、その所定のゲイン $G A 3$ を乗算することで、カルマンフィルタ 1 2 0 を温度変化に追従させることができる。

20

【 0 0 4 8 】

上記の所定のゲイン $G A 3$ は、入力信号 $P I$ の温度変動係数と、温度センサー 1 9 0 の感度とに基づいて設定される。下式 (2 1) に示す k_T は、温度変化 T に対するジャイロセンサーの物理量信号 $P I$ の変化量である。即ち、 $k [d i g i /]$ は入力信号 $P I$ の温度変動係数である。下式 (2 2) に示すように、ゲイン $G A 3$ は温度変動係数 $k [d i g i /]$ と温度センサー 1 9 0 の感度 $T S E N [d i g i /]$ により設定される。

【 0 0 4 9 】

温度センサー 1 9 0 の出力信号 $T S$ が変化したときに、ジャイロセンサーの物理量信号 $P I$ がどの程度変化するかは、温度センサー 1 9 0 の感度 $T S E N [d i g i /]$ とジャイロセンサーの温度変動係数 $k [d i g i /]$ から分かる。即ち、これらの情報からゲイン $G A 3$ を決定することで、カルマンフィルタ 1 2 0 のフィルタ特性を、ジャイロセンサーの $D C$ オフセットの温度変動に追従させることが可能となり、温度によって変化した $D C$ 成分を通過させることが可能となる。

30

【 0 0 5 0 】

以上のようにしてノイズ推定部 1 1 0 がシステムノイズ $s_{y s}$ を出力することで、カルマンフィルタ 1 2 0 は、収束状態におけるローパスフィルタ動作のカットオフ周波数 f_c を変化させる (下式 (1 8)) ことができる。即ち、カルマンフィルタ 1 2 0 はノイズ推定部 1 1 0 が与えるシステムノイズ $s_{y s}$ によって適応的にフィルタ特性が制御されているのであり、これによって、温度変化による $D C$ 成分の変化に追従できる。

40

【 0 0 5 1 】

図 4 に示すように、信号処理装置 1 0 0 は、入力信号 $P I$ の $D C$ 成分の温度特性に対応した $D C$ 指定値 (図 5 の実線) を記憶する記憶部 1 7 7 と、入力信号 $P I$ の $D C$ 成分の温度特性に対応した $D C$ 指定値 (図 5 の実線) を入力信号 $P I$ から減算する減算部 1 7 5 と、を含む。そして、カルマンフィルタ 1 2 0 は、その減算後の入力信号 $P I$ に対してカルマンフィルタ処理を行う。例えば、ジャイロセンサーの物理量信号 $P I$ について $D C$ オフセットの温度特性を予め測定し、 $D C$ オフセットのパラッキ (図 5 の点線で示す偏差範囲) の中心値を $D C$ 指定値に設定する。

50

【 0 0 5 2 】

図 6 で後述するように、DC 指定値は DC オフセットの真値を予想したものであるため、真値に対しては近似による誤差や、個体差による誤差を含んでいる。そのため、入力信号 PI から DC 指定値を減算した後も DC 成分の温度特性は残っており、その残った温度特性により入力信号 PI の DC 成分は変動する。上述のように、本実施形態ではシステムノイズ σ_{sys} を制御することで、上記のような DC 成分の変動に追従できる。

【 0 0 5 3 】

2. 信号処理装置の第 1 の詳細構成

次に、信号処理装置の詳細な構成・動作について説明する。図 3 に、信号処理装置 100 の第 1 の詳細な構成例を示す。信号処理装置 100 は、ノイズ推定部 110、カルマンフィルタ 120、ローパスフィルタ 171、遅延部 172、ローパスフィルタ 173、減算部 121 を含む。

【 0 0 5 4 】

カルマンフィルタ 120 は、遅延部 172 から入力される入力信号を観測値として、線形カルマンフィルタにより DC 成分を抽出する。線形カルマンフィルタの基本的な式は下式 (1) ~ (5) となる。

【 数 1 】

$$x^-(k) = Ax(k-1) \quad (1)$$

【 数 2 】

$$P^-(k) = AP(k-1)A^T + \sigma_{sys}(k-1)^2 bb^T \quad (2)$$

【 数 3 】

$$g(k) = \frac{P^-(k)c(k)}{c^T(k)P^-(k)c(k) + \sigma_{meas}(k)^2} \quad (3)$$

【 数 4 】

$$x(k) = x^-(k) + g(k)(y(k) - c^T(k)x^-(k)) \quad (4)$$

【 数 5 】

$$P(k) = (I - g(k)c^T(k))P^-(k) \quad (5)$$

【 0 0 5 5 】

上式 (1)、(2) は時間更新 (予測過程) の式であり、上式 (3) ~ (5) は観測更新 (観測過程) の式である。k は離散的な時間を表し、k が 1 つ進む度に時間更新及び観測更新が 1 回行われる。x(k) はカルマンフィルタ 120 の推定値であり、 $x^-(k)$

)は観測値を得る前に予測した事前推定値である。P(k)はカルマンフィルタ-120の誤差共分散であり、P⁻(k)は観測値を得る前に予測した誤差共分散である。y(k)は観測値である。σ_{sys}(k)はシステムノイズであり、σ_{meas}(k)は観測ノイズである。Aは係数行列であり、b、cは係数ベクトルである。A、b、cはシステムをモデリングした状態空間モデルに応じて決まる。

【0056】

本実施形態では1次の線形モデルなので、A = b = c = 1であり、上式(1)~(5)は下式(6)~(10)となる。

【数6】

$$x^-(k) = x(k-1) \quad (6)$$

10

【数7】

$$P^-(k) = P(k-1) + \sigma_{sys}(k)^2 \quad (7)$$

20

【数8】

$$g(k) = \frac{P^-(k)}{P^-(k) + \sigma_{meas}(k)^2} \quad (8)$$

【数9】

$$x(k) = x^-(k) + g(k)(y(k) - x^-(k)) \quad (9)$$

30

【数10】

$$P(k) = (1 - g(k))P^-(k) \quad (10)$$

【0057】

カルマンフィルタ-120は、1つ前の時間k-1に更新した推定値x(k-1)と誤差共分散P(k-1)を記憶している。そして、現在の時間kにおいて観測値y(k)と観測ノイズσ_{meas}(k)とシステムノイズσ_{sys}(k)を受け、それらを用いて上式(6)~(10)の時間更新及び観測更新を実行し、推定値x(k)をDC成分として出力する。

40

【0058】

ローパスフィルタ-171は、ジャイロセンサーからの物理量信号の周波数(例えば15kHz)をカルマンフィルタ-120の動作周波数(例えば100Hz)まで下げるデシメーションフィルタである。動作周波数は、カルマンフィルタ-120の入力サンプリング周波数であり、内部演算の周波数とは異なる。このフィルタにより、カルマンフィルタ-120に入力される信号の折り返しを防ぐことができる。急峻な減衰特性を必要としないので、例えば1次ローパスフィルタで構成する。カットオフ周波数は、例えば

50

カルマンフィルタ-120の動作周波数の $1/4 \sim 1/6$ 程度に設定する。

【0059】

遅延部172は、ノイズ推定部110の演算で遅延する時間と同じ時間だけ、カルマンフィルタ-120の入力信号を遅延させる。例えば、ノイズ推定部110で1ステップ遅延する場合、遅延部172も1ステップだけ入力信号を遅延させるので、観測ノイズ $meas$ 及びシステムノイズ sys のタイミングと入力信号のタイミングを一致させることができる。

【0060】

ローパスフィルタ-173は、カルマンフィルタ-120の最終出力のフィルタリング処理を行う。基本的にはカルマンフィルタ-120はDC値を出力するはずなので、ローパスフィルタ-173には低いカットオフ周波数(例えば 0.1Hz)を設定する。また、ローパスフィルタ-173は、カルマンフィルタ-120の動作周波数(例えば 100Hz)をジャイロセンサーの物理量信号の周波数(例えば 15kHz)にアップサンプリングする補間フィルタである。

10

【0061】

ノイズ推定部110は、ローパスフィルタ-171により処理された入力信号PIに基づいて、動的に変化する観測ノイズ $meas$ 及びシステムノイズ sys を生成する。具体的には、ノイズ推定部110は第1の推定部130を含む。第1の推定部130は、ハイパスフィルタ-131と2乗処理部132とローパスフィルタ-133とリミッター134とゲイン処理部135を含む。

20

【0062】

ハイパスフィルタ-131は、ローパスフィルタ-171からの信号を受けて、その信号からDC成分を除去する。後段で2乗平均を行うので、DC成分を除去しておくことで、DC成分が2乗されて観測ノイズ $meas$ の誤差となることを防止できる。

【0063】

2乗処理部132は、ハイパスフィルタ-131からの信号を2乗する。ローパスフィルタ-133は、2乗処理部132により2乗された信号をフィルタリングし、2乗平均を求める。この2乗平均により信号のノイズ成分が抽出される。基本的に、出力はDC値であり、カットオフ周波数は極めて低い値に設定する。例えば、ジャイロセンサーが検出する動きの信号成分の周波数よりも十分に低いカットオフ周波数を設定する。こうすることで、信号に含まれるノイズ成分のみを抽出できる。

30

【0064】

リミッター134は、ローパスフィルタ-133からの信号に対してリミット処理を行い、リミット処理後の信号を観測ノイズ $meas$ の分散(2乗)として出力する。具体的には、ローパスフィルタ-133からの信号が下限値以下である場合には出力を下限値にリミットし、ローパスフィルタ-133からの信号が下限値よりも大きい場合には、その信号をそのまま出力する。信号処理装置100の前段にはA/D変換部(図12のA/D変換回路66)が設けられている。ノイズ成分は、A/D変換部の量子化ノイズを下回る事はないので、ローパスフィルタ-133の出力に対して例えば 0.25digit の下限値を設ける。

40

【0065】

ゲイン処理部135は、リミッター134からの観測ノイズ $meas$ の分散に対して一定のゲインGA1を乗算し、システムノイズ sys の分散(2乗)を求める。ゲインGA1は、下式(19)のように設定する。下式(19)の導出手法について以下に説明する。

【0066】

まず、十分に時間が経過した状態での観測ノイズ $meas$ とシステムノイズ sys の関係を求める。十分に時間が経過した状態は $k =$ の状況を想定すればよく、事前誤差共分散 $P^-(k)$ が一定値に収束しているとすると、下式(11)が成り立つ。事前誤差共分散 $P^-(k)$ の収束値を p_0 としている。

【数 1 1】

$$p_0 = P^-(k) = P^-(k+1) \quad (11)$$

【0067】

上式(7)、(10)に上式(11)を適用すると、下式(12)となる。

【数 1 2】

$$P^-(k+1) = (1 - g(k))P^-(k) + \sigma_{sys}^2 \rightarrow p_0 = \frac{\sigma_{sys}^2}{g(k)} \quad (12)$$

10

【0068】

また、上式(8)に上式(11)を適用すると、下式(13)となる。

【数 1 3】

$$g(k) = \frac{p_0}{p_0 + \sigma_{meas}^2} \quad (13)$$

20

【0069】

上式(12)、(13)を連立方程式としてカルマンゲイン $g(k)$ について解くと、下式(14)となる。下式(14)では、収束状態 $k = \infty$ におけるカルマンゲイン $g(k)$ を g としている。また右辺の近似では、カルマンフィルタ 120 の収束状態では通過帯域が非常に低いため $\sigma_{sys} \ll \sigma_{meas}$ が成り立つと仮定している。

【数 1 4】

$$g = g(k = \infty) = \frac{\sigma_{sys}}{2\sigma_{meas}^2} \left(\sqrt{\sigma_{sys}^2 + 4\sigma_{meas}^2} - \sigma_{sys} \right) \cong \frac{\sigma_{sys}}{\sigma_{meas}} \quad (14)$$

30

【0070】

上式(14)から分るように、収束状態においてカルマンゲイン g はシステムノイズ σ_{sys} と観測ノイズ σ_{meas} の比になる。即ち、 $\sigma_{sys}^2 = g^2 \sigma_{meas}^2$ となり、ゲイン $GA1 = g^2$ であることが分る。DC成分を抽出するための所望のフィルタ特性とカルマンゲイン g との関係が分かれば、その所望のフィルタ特性が得られるようにゲイン $GA1$ を設定できる。

【0071】

所望のフィルタ特性とカルマンゲイン g との関係を知るために、収束状態におけるカルマンフィルタ 120 の伝達特性を求める。上式(6)、(9)より伝達関数 $H(z)$ は下式(15)となる。カルマンフィルタ 120 は、現状の推定される誤差に基づいて、理論的に最適なフィルタに構成を変更し続けるのが特徴であり、常に下式(15)の伝達関数に従うわけではない。下式(15)は、あくまでも時間が経過したときの最終的な伝達関数である。

40

【数 15】

$$x(k) = x(k-1) + g(y(k) - x(k-1)) \rightarrow H(z) = \frac{x(k)}{y(k)} = \frac{g}{1 - (1-g)z^{-1}} \quad (15)$$

【0072】

上式(15)に双一次変換を適用すると、下式(16)となる。

【数 16】

$$H(s) = \frac{1 + \frac{1}{2f_s}s}{1 + \frac{2-g}{2gf_s}s} \quad (16) \quad 10$$

【0073】

上式(16)の分母を見ると、伝達関数がローパスフィルター特性を含むことが分る。そのローパスフィルター特性のカットオフ周波数 f_c は、下式(17)である。 f_s は、カルマンフィルター120のサンプリング周波数(動作周波数)である。

【数 17】

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{2g}{2-g} f_s \quad (17) \quad 20$$

【0074】

上式(17)をカルマンゲイン g について解くと、下式(18)となる。下式(18)の右辺の近似では、 $f_c \ll f_s$ とした。

【数 18】

$$g = \frac{\sigma_{sys}}{\sigma_{meas}} = \frac{2\pi f_c}{f_s} \left(\frac{\pi f_c}{f_s} + 1 \right)^{-1} \cong \frac{2\pi f_c}{f_s} \quad (18) \quad 30$$

【0075】

上式(18)より、ゲイン $GA1 = g^2$ は下式(19)のように求まる。

【数 19】

$$GA1 = \left(\frac{2\pi f_c}{f_s} \right)^2 \quad (19) \quad 40$$

【0076】

上式(19)において、収束状態で最終的に得たい所望のカットオフ周波数(ターゲットカットオフ周波数)を f_c に設定する。このようなゲイン $GA1$ を設定することで、十分な時間が経過したときにカルマンフィルター120が上式(16)のようなローパスフィルターとして振る舞い、カットオフ周波数が f_c に収束しようとする。

【0077】

50

3. 信号処理装置の第2の詳細構成

図4に、信号処理装置100の第2の詳細な構成例を示す。信号処理装置100は、ノイズ推定部110、カルマンフィルタ120、ローパスフィルタ171、遅延部172、ローパスフィルタ173、減算部175、加算部176、記憶部177、読み出し部178、減算部121を含む。なお、第1の詳細な構成例と同一の構成要素については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0078】

ノイズ推定部110は、上述した第1の推定部130と、温度変化があった場合にカルマンフィルタ120を収束状態から推定状態に戻す第2の推定部160を含む。

【0079】

記憶部177は、図5に示すような温度とDC指定値(おおよそのDC値)を対応付けたオフセットテーブルを記憶している。DC指定値は、温度特性を温度の2次関数で近似した、偏差の中心値である。記憶部177は、例えば不揮発性メモリー(例えばEPROM)等で構成される。読み出し部178は、温度センサー190からの検出信号TS(出力信号)に基づいてオフセットテーブルを参照し、検出温度に対応するDC指定値を出力する。減算部175は、ローパスフィルタ171の出力信号からDC指定値を減算し、その減算後の信号を遅延部172とノイズ推定部110へ出力する。加算部176は、カルマンフィルタ120の出力信号とDC指定値とを加算し、その加算後の信号をローパスフィルタ173へ出力する。

【0080】

以上により、カルマンフィルタ120とノイズ推定部110は、DC指定値を減算した後の入力信号に対して処理を行うことになる。これは、予想されるおおよそのDC値を予め与えることに相当する。このようにすることで、DC推定の収束性を高め、変動が激しいDC推定が困難な状況でも、かけ離れたDC値で推定することを防止し、信頼性を向上することが可能となる。一旦、かけ離れたDC値で推定すると、カルマンフィルタ120の時定数(例えば、カットオフ周波数0.1mHzの逆数)が非常に長いため、本来の推定値に戻るのに過大な時間を要する可能性があるが、本実施形態ではこれを防止できる。

【0081】

図6に示すように、ジャイロセンサーのDCオフセットは温度特性を持っており、その近似値をオフセットテーブルとして記憶し、減算部175で減算してカルマンフィルタ120に入力している。近似は温度特性に厳密に一致するわけではなく、また個体によっては温度特性にディップ部があるため、減算の結果にも温度特性が残る。図7に示すように、時間の経過とともに温度が変化すると、残った温度特性によってカルマンフィルタ120の入力も変化する。

【0082】

カルマンフィルタ120のDC推定が収束している場合、第1の詳細な構成例で説明したようにターゲットカットオフ周波数 f_c のローパスフィルタとほぼ同様の特性になっている。この条件下で、温度変化によって入力信号のDC値が変化すると、カットオフ周波数 f_c が低いため温度変化前のDC値をしばらく出力し続けることになる。その時間は、指定したターゲットカットオフ周波数 f_c の逆数程度である。即ち、その時間は温度変化によるDC値の変化にカルマンフィルタ120が追従できないということである。

【0083】

そこで、本実施形態では温度変化に応じてシステムノイズ s_{ys} を動的に変化させることでカルマンフィルタ120を推定状態に戻し、DC値の変化に対して追従性を向上させる。具体的には、第2の推定部160は、遅延部161と減算部162とローパスフィルタ163とゲイン処理部164と2乗処理部165と乗算部166と加算部167を含む。

【0084】

遅延部161と減算部162は、温度センサー190の時間 k での検出信号TSと1つ

10

20

30

40

50

前の時間 $k - 1$ での検出信号 $T S$ との差分を求める。ローパスフィルタ 163 は、その差分を平滑化する。温度センサー 190 の検出信号 $T S$ の雑音が多い場合、或は検出信号 $T S$ のサンプリング周波数がカルマンフィルタ 120 の動作周波数に比べて低く検出信号 $T S$ が離散的な変化をする場合、第 2 の推定部 160 が出力するシステムノイズ σ_{sys} が急に大きく変化してしまう。この変化は、カルマンフィルタ 120 の収束度合いに大きな影響を与えてしまう。そのため、ローパスフィルタ 163 には、極めて低いカットオフ周波数（例えば 10 mHz）を設定する。これにより、ノイズとなる成分を確実に除去し、システムノイズ σ_{sys} の変化を緩やかにできる。

【0085】

ローパスフィルタ 163 の出力 $L P F 2_{O U T}$ は、温度センサー 190 の感度 $T S E N$ [d i g i /] と温度変化 T [/ s e c] を用いると、下式 (20) のようになる。

【数 20】

$$L P F 2_{O U T} = \frac{\Delta T}{f_s} T S E N \quad (20)$$

【0086】

ゲイン処理部 164 は、ローパスフィルタ 163 からの信号にゲイン $G A 3$ を乗算する。2乗処理部 165 は、その乗算後の信号を 2 乗する。乗算部 166 は、その 2 乗後の信号と第 1 の推定部 130 からの観測ノイズ σ_{meas} とを乗算する。そして、加算部 167 は、その乗算後の信号と第 1 の推定部 130 からのシステムノイズ σ_{sys} とを加算し、その加算後の信号をカルマンフィルタ 120 に出力する。

【0087】

ゲイン $G A 3$ の設定手法について説明する。まず、温度が変化したときのカルマンフィルタ 120 の入力信号の変化をサイン波で近似する。図 7 に示すように、1 次近似により傾きを考えると、下式 (21) となる。 k [d i g i /] はジャイロセンサーの物理量信号の温度変動係数である。 T [/ s e c] は 1 秒あたりの温度変化なので、 $k T$ は入力信号の変化の傾きである。その傾きを、周波数 f のサイン波の傾き $2 \pi f$ で近似している。 T に上式 (20) を代入し、 f について解くと下式 (21) の右辺となる。

【数 21】

$$\left. \frac{d}{dt} \sin(2\pi f t) \right|_{t=0} = 2\pi f \cong k \Delta T = k f_s \frac{L P F 2_{O U T}}{T S E N} \rightarrow f = \frac{k f_s L P F 2_{O U T}}{2\pi T S E N} \quad (21)$$

【0088】

D C 値の変化の周波数が f と分かったので、その周波数がカルマンフィルタ 120 を通過するようにゲイン $G A 3$ を決める。即ち、上式 (21) の周波数 f をカットオフ周波数 f_c として、収束状態における上式 (18) に代入すると、下式 (22) となる。

【数 22】

$$\frac{\sigma_{sys}}{\sigma_{meas}} = k \frac{L P F 2_{O U T}}{T S E N} \rightarrow G A 3 = \frac{k}{T S E N} \quad (22)$$

【0089】

ジャイロセンサーの感度が $S E N$ [d i g i / d p s] であり、温度係数が $T C O E F$

10

20

30

40

50

F [d p s /] である場合、上式 (2 2) は下式 (2 3) となる。

【数 2 3】

$$GA3 = \frac{SEN \times TCOEFF}{TSEN} \quad (23)$$

【 0 0 9 0 】

上記のようなゲイン G A 3 を設定することで、収束状態におけるローパスフィルターの
10
カットオフ周波数 f_c を、周波数 f に変化させてカルマンフィルター 1 2 0 を推定状態に
戻すことができる。このとき、カットオフは周波数 f となるので、入力信号の D C 成分の
変化がぎりぎり通過することになる。

【 0 0 9 1 】

以上のようにして、温度変化によって、どの程度 D C 値が変化するかの情報システム
ノイズ s_{ys} としてカルマンフィルター 1 2 0 に与えることができ、それによって温度変
化による D C 成分の変化に対してカルマンフィルター 1 2 0 を追従させることができる。

【 0 0 9 2 】

4 . 信号処理装置の第 3 の詳細構成

図 8 に、信号処理装置 1 0 0 の第 3 の詳細な構成例を示す。信号処理装置 1 0 0 は、ノ
イズ推定部 1 1 0、カルマンフィルター 1 2 0、ローパスフィルター 1 7 1、遅延部 1 7
2、ローパスフィルター 1 7 3、減算部 1 7 5、加算部 1 7 6、記憶部 1 7 7、読み出し
部 1 7 8、減算部 1 2 1 を含む。なお、第 1 及び第 2 の詳細な構成例と同一の構成要素に
ついては同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

20

【 0 0 9 3 】

ノイズ推定部 1 1 0 は、上述した第 1 の推定部 1 3 0 及び第 2 の推定部 1 6 0 と、ジャ
イロセンサーの物理量信号から抽出した A C 成分 (動きの成分) に基づいて観測ノイズ
 m_{eas} を動的に変化させる第 3 の推定部 1 4 0 を含む。

【 0 0 9 4 】

具体的には、第 3 の推定部 1 4 0 は、ピークホールド部 1 4 1 と加算部 1 4 2 を含む。

30

【 0 0 9 5 】

ピークホールド部 1 4 1 は、第 1 の推定部 1 3 0 のハイパスフィルター 1 3 1 と 2 乗処
理部 1 3 2 を通過した A C 成分の信号を受けて、その信号をピークホールドする。ハイパ
スフィルター 1 3 1 は、ジャイロセンサーが検出する動きの信号を通過させるために応答
性が重要なので、カットオフ周波数を低くしすぎないことが必要である。例えば、カッ
トオフ周波数は 1 0 H z 程度に設定する。ピークホールド処理は、例えば、過去の信号と現
在の信号を比較し、大きい方の信号をホールドする処理である。図 9 に示すように、ホ
ールドしている信号を現在の信号が一定の期間 (ホールド期間) 超えない場合には、ホ
ールドを止めて現在の信号を出力する。

【 0 0 9 6 】

40

加算部 1 4 2 は、ピークホールド部 1 4 1 からの信号と第 1 の推定部 1 3 0 からの観測
ノイズ m_{eas} とを加算し、その加算後の信号をカルマンフィルター 1 2 0 へ出力する。ジ
ャイロセンサーが検出した動きが大きいほど、ピークホールド部 1 4 1 からの信号も大き
くなるため、動きが大きいほど観測ノイズ m_{eas} が増加する。観測ノイズ m_{eas} を増加さ
せると、上式 (8) から分かるようにカルマンゲイン $g(k)$ が小さくなり、上式 (9)
から分かるように観測値 $y(k)$ のウェイトを下げて推定値 $x(k)$ を算出できる。これ
により、動きの A C 成分が大きいほど観測値 $y(k)$ の影響を低下させて、より精度の高
い D C 成分を抽出できる。

【 0 0 9 7 】

ピークホールドを行う理由を説明する。図 9 に示すように、ジャイロセンサーが動きを

50

検出してハイパスフィルタ 131 の出力が激しく振動している場合、その出力を 2 乗した 2 乗処理部 132 の出力には、ゼロに落ち込む瞬間がある事が分かる。その瞬間では、信号に AC 成分があるにも関わらず観測ノイズ m_{eas} に加算されないため、観測値 $y(k)$ のウェイトを下げる事ができない。そのため、AC 成分が乗った観測値 $y(k)$ が推定値 $x(k)$ にある程度影響してしまい、DC 成分の推定精度を低下させてしまう。

【0098】

この点、ピークホールド処理により、観測ノイズ m_{eas} に加算する信号がゼロになる事を防ぐことができる。ホールド時間は、例えばカルマンフィルタ 120 の動作サイクル数で設定し、実験結果等に基づいて適切な時間を決めればよい。例えば、数 10 サイクルに設定する。

10

【0099】

5. 信号処理装置の第 4 の詳細構成

図 10 に、信号処理装置 100 の第 4 の詳細な構成例を示す。信号処理装置 100 は、ノイズ推定部 110、カルマンフィルタ 120、ローパスフィルタ 171、遅延部 172、ローパスフィルタ 173、減算部 175、加算部 176、記憶部 177、読み出し部 178、コンパレータ 180 (監視部)、減算部 121 を含む。なお、第 1 ~ 第 3 の詳細な構成例と同一の構成要素については同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0100】

ノイズ推定部 110 は、上述した第 1 の推定部 130 及び第 2 の推定部 160 及び第 3 の推定部 140 と、DC 指定値からの離れ度合いに応じて観測ノイズ m_{eas} を動的に変化させる第 4 の推定部 150 を含む。

20

【0101】

具体的には、第 4 の推定部 150 は、絶対値算出部 151 とゲイン処理部 152 とリミッター 153 と乗算部 154 を含む。

【0102】

記憶部 177 は、ゲイン処理部 152 で用いる指定値 d と、コンパレータ 180 で用いる DC 指定値の最大偏差値 (図 5 の点線) を更に記憶している。最大偏差値は、例えば温度特性を有しない値である。DC 指定と最大偏差値は、例えばジャイロセンサーの複数のサンプルを測定し、その結果に基づいて設定しておく。絶対値算出部 151 の後段で最大偏差値を用いるため、実際には最大偏差値の絶対値を記憶しておけばよい。指定値 d としては任意の値を設定できるが、例えば最大偏差値と同一である。以下では、指定値 d が最大偏差値である場合を例に説明する。

30

【0103】

絶対値算出部 151 は、減算部 175 からの信号の絶対値を算出する。ゲイン処理部 152 は、その絶対値に対して下式 (24) のゲイン $GA2$ を乗算する。リミッター 153 は、その乗算後の信号が 1 より大きい場合には、その信号をそのまま出力し、乗算後の信号が 1 以下である場合には出力を 1 にリミットする。乗算部 154 は、リミッター 153 からの信号を第 3 の推定部 140 からの観測ノイズ m_{eas} に乗算する。

【数 24】

40

$$GA2 = \frac{1}{d} \quad (24)$$

【0104】

即ち、ジャイロセンサーの物理量信号が偏差範囲外である場合には絶対値が d より大きくなるので、ゲイン $GA2$ を掛けると 1 より大きくなる。この場合、リミッター 153 は 1 より大きな値を出力し、観測ノイズ m_{eas} が増加する。一方、物理量信号が偏差範囲内である場合には絶対値が d より小さくなるので、ゲイン $GA2$ を掛けると 1 以下となる。

50

この場合、リミッター 153 は 1 を出力し、観測ノイズ m_{eas} は増加しない。

【0105】

観測ノイズ m_{eas} が増加すると上式(8)、(9)より推定値 $\hat{x}(k)$ を信頼するので、偏差範囲外では観測値 $y(k)$ のウエイトが下がる。逆に言えば、偏差範囲内では観測値 $y(k)$ のウエイトが上がり、偏差範囲内において重点的に観測値 $y(k)$ の DC 成分を探索していることになる。このようにして、DC の真値が存在すると思われる偏差範囲内を重点的に探索し、偏差範囲外では真値でないと思われる観測値 $y(k)$ の信頼度を下げることによって、DC 推定の精度を向上できる。

【0106】

以上のように、本実施形態は偏差の範囲内で重点的に DC 推定を行うため、仮に DC の真値が範囲外にあった場合、DC 推定速度が極端に遅くなり、また外乱(信号への大きな入力)に対しても非常に弱く、すぐに DC 推定値が変動してしまう。そのため、真値が偏差内に入るように最大偏差値をあまり小さくし過ぎずに、経年変化も考慮して指定しておく必要がある。

【0107】

次に、コンパレータ 180 (監視部) について説明する。コンパレータ 180 は、ジャイロセンサーの物理量信号の動き成分を監視し、動きの有無を表すフラグ FL1 (停止信号) を出力する。具体的には、最大偏差値を閾値として、絶対値算出部 151 からの信号と閾値とを比較し、信号が閾値よりも大きい場合にはフラグ FL1 をアクティブにする。即ち、偏差範囲よりも大きな動きが発生した場合にはフラグ FL1 がアクティブになる。フラグ FL1 は、カルマンフィルタ 120 と、第 1 の推定部 130 のローパスフィルタ 133 に入力される。

【0108】

ジャイロセンサーに対して動きが加わって入力信号が大きな変化をしている場合には、DC 推定の精度が下がり、推定誤差に対応する誤差共分散 $P(k)$ が大きくなる。そうすると、上式(8)から分かるようにカルマンゲイン $g(k)$ が 1 に近づき、上式(9)から分かるように、動きの影響を受けた観測値 $y(k)$ が信頼されてしまう。

【0109】

そこで、カルマンフィルタ 120 は、フラグ FL1 がアクティブの場合には推定値 $\hat{x}(k)$ の推定のみを実施して、誤差共分散 $P(k)$ を更新しない処理を行う。具体的には、上式(6)~(9)の処理を実行し、上式(10)の処理を実行しない。これにより、動きの影響が少ない過去の推定値 $\hat{x}(k)$ の信頼度を上げることができ、DC 成分の推定精度を向上できる。

【0110】

ローパスフィルタ 133 は、フラグ FL1 がアクティブの場合には、ローパスフィルタ動作を停止し、フラグ FL1 が非アクティブからアクティブになったときの出力値を出力し続ける。これにより、偏差範囲内の信号だけがローパスフィルタ処理されることになり、動きの影響を受けた信号によって不正確な観測ノイズ m_{eas} が抽出されることを防止できる。

【0111】

6. 電子機器、ジャイロセンサー

図 11 に本実施形態の信号処理装置 100 を含むジャイロセンサー 510 (広義にはセンサー) と、ジャイロセンサー 510 を含む電子機器 500 の構成例を示す。なお電子機器 500、ジャイロセンサー 510 は図 11 の構成に限定されず、その構成要素の一部を省略したり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。また本実施形態の電子機器 500 としては、デジタルカメラ、ビデオカメラ、スマートフォン、携帯電話機、カーナビゲーションシステム、ロボット、ゲーム機、時計、健康器具、或いは携帯型情報端末等の種々の機器を想定できる。

【0112】

電子機器 500 はジャイロセンサー 510 と処理部 520 を含む。また温度センサー 1

10

20

30

40

50

90、メモリー530、操作部540、表示部550を含むことができる。処理部520（CPU、MPU等）はジャイロセンサー510等の制御や電子機器500の全体制御を行う。また処理部520は、ジャイロセンサー510により検出された角速度情報（広義には物理量）に基づいて処理を行う。例えば角速度情報に基づいて、手ぶれ補正、姿勢制御、GPS自律航法などのための処理を行う。メモリー530（ROM、RAM等）は、制御プログラムや各種データを記憶したり、ワーク領域やデータ格納領域として機能する。操作部540はユーザーが電子機器500を操作するためのものであり、表示部550は種々の情報をユーザーに表示する。

【0113】

ジャイロセンサー510は振動子10、検出装置20を含む。図11の振動子10（広義には物理量トランスデューサー）は、水晶などの圧電材料の薄板から形成される音叉型の圧電振動子であり、駆動用振動子11、12と、検出用振動子16、17を有する。駆動用振動子11、12には駆動端子2、4が設けられ、検出用振動子16、17には検出端子6、8が設けられている。

10

【0114】

検出装置20は、駆動回路30と検出回路60と信号処理装置100を含む。駆動回路30は、駆動信号（駆動電圧）を出力して振動子10を駆動する。そして振動子10からフィードバック信号を受け、これにより振動子10を励振させる。検出回路60は、駆動信号により駆動される振動子10から検出信号（検出電流、電荷）を受け、検出信号から、振動子10に印加された物理量に応じた所望信号（物理量信号、コリオリ力信号）を検出（抽出）する。

20

【0115】

具体的には、駆動回路30からの交流の駆動信号（駆動電圧）が駆動用振動子11の駆動端子2に印加される。すると逆電圧効果によって駆動用振動子11が振動を開始し、音叉振動により駆動用振動子12も振動を開始する。この時、駆動用振動子12の圧電効果によって発生する電流（電荷）が、駆動端子4からフィードバック信号として駆動回路30にフィードバックされる。これにより振動子10を含む発振ループが形成される。

【0116】

駆動用振動子11、12が振動すると、検出用振動子16、17が図11に示す方向で振動速度 v で振動する。すると、検出用振動子16、17の圧電効果によって発生する電流（電荷）が、検出信号（第1、第2の検出信号）として検出端子6、8から出力される。すると、検出回路60は、この振動子10からの検出信号を受け、コリオリ力に応じた信号である所望信号（所望波）を検出する。即ち、検出軸19を中心に振動子10（ジャイロセンサー）が回転すると、振動速度 v の振動方向と直交する方向にコリオリ力 F_c が発生する。例えば検出軸19を中心に回転したときの角速度を ω とし、振動子の質量を m とし、振動子の振動速度を v とすると、コリオリ力は $F_c = 2m \cdot v \cdot \omega$ と表される。従って検出回路60が、コリオリ力に応じた信号である所望信号を検出することで、ジャイロセンサーの回転角速度 ω を求めることができる。そして求められた角速度 ω を用いることで、処理部520は、手ぶれ補正、姿勢制御、或いはGPS自律航法等のための種々の処理を行うことができる。

30

40

【0117】

なお図11では、振動子10が音叉型である場合の例を示しているが、本実施形態の振動子10はこのような構造に限定されない。例えばT字型やダブルT字型等であってもよい。また振動子10の圧電材料は水晶以外であってもよい。

【0118】

7. 検出装置

図12に本実施形態の検出装置20の構成例を示す。検出装置20は、駆動回路30と検出回路60と信号処理装置100（デジタル処理部）を含む。

【0119】

駆動回路30は、振動子10からのフィードバック信号DIが入力される増幅回路32

50

と、自動ゲイン制御を行うゲイン制御回路 34 と、駆動信号 DQ を振動子 10 に出力する駆動信号出力回路 36 を含む。また同期信号 SYC を検出回路 60 に出力する同期信号出力回路 38 を含む。なお、駆動回路 30 の構成は図 12 に限定されず、これらの構成要素の一部を省略したり、他の構成要素を追加するなどの種々の変形実施が可能である。

【0120】

増幅回路 32 (I/V 変換回路) は、振動子 10 からのフィードバック信号 DI を増幅する。例えば振動子 10 からの電流の信号 DI を電圧の信号 DV に変換して出力する。この増幅回路 32 は、キャパシター、抵抗素子、演算増幅器などにより実現できる。

【0121】

駆動信号出力回路 36 は、増幅回路 32 による増幅後の信号 DV に基づいて、駆動信号 DQ を出力する。例えば駆動信号出力回路 36 は、矩形波 (又は正弦波) の駆動信号を出力する。この駆動信号出力回路 36 はコンパレータ等により実現できる。

10

【0122】

ゲイン制御回路 34 (AGC) は、駆動信号出力回路 36 に制御電圧 DS を出力して、駆動信号 DQ の振幅を制御する。具体的には、ゲイン制御回路 34 は、信号 DV を監視して、発振ループのゲインを制御する。例えば駆動回路 30 では、ジャイロセンサーの感度を一定に保つために、振動子 10 (駆動用振動子) に供給する駆動電圧の振幅を一定に保つ必要がある。このため、駆動振動系の発振ループ内に、ゲインを自動調整するためのゲイン制御回路 34 が設けられる。ゲイン制御回路 34 は、振動子 10 からのフィードバック信号 DI の振幅 (振動子の振動速度 v) が一定になるように、ゲインを可変に自動調整する。

20

【0123】

同期信号出力回路 38 は、増幅回路 32 による増幅後の信号 DV を受け、同期信号 SYC (参照信号) を検出回路 60 に出力する。この同期信号出力回路 38 は、正弦波 (交流) の信号 DV の 2 値化処理を行って矩形波の同期信号 SYC を生成するコンパレータや、同期信号 SYC の位相調整を行う位相調整回路 (移相器) などにより実現できる。

【0124】

検出回路 60 は、増幅回路 62、同期検波回路 64、A/D 変換回路 66 を含む。増幅回路 62 は、振動子 10 からの第 1、第 2 の検出信号 IQ1、IQ2 を受けて、信号増幅や電荷 - 電圧変換を行う。同期検波回路 64 は、駆動回路 30 からの同期信号 SYC に基づいて同期検波を行う。A/D 変換回路 66 は、同期検波後の信号の A/D 変換を行う。

30

【0125】

信号処理装置 100 は、上述したように、所望信号から DC オフセット (DC 成分) を抽出し、所望信号から DC オフセットを除去する。また、信号処理装置 100 は、各種のデジタル信号処理を行ってもよい。例えば信号処理装置 100 は、所望信号のアプリケーションに応じた帯域制限のデジタルフィルター処理や、A/D 変換回路 66 等により発生したノイズを除去するデジタルフィルター処理を行う。また、ゲイン補正 (感度調整)、オフセット補正などのデジタル補正処理を行う。信号処理装置 100 は、例えば DSP (Digital Signal Processor) により実現できる。

【0126】

8. 移動体

図 13 に本実施形態の検出装置 20 を含む移動体の例を示す。本実施形態の検出装置 20 は、例えば、車、飛行機、バイク、自転車、或いは船舶等の種々の移動体に組み込むことができる。移動体は、例えばエンジンやモーター等の駆動機構、ハンドルや舵等の操舵機構、各種の電子機器を備えて、地上や空や海上を移動する機器・装置である。

【0127】

図 13 は移動体の具体例としての自動車 206 を概略的に示している。自動車 206 には、振動子 10 と検出装置 20 を有するジャイロセンサー 510 (センサー) が組み込まれている。ジャイロセンサー 510 は車体 207 の姿勢を検出する。ジャイロセンサー 510 の物理量信号は車体姿勢制御装置 208 に供給される。車体姿勢制御装置 208 は例

40

50

えば車体 207 の姿勢に応じてサスペンションの硬軟を制御したり個々の車輪 209 のブレーキを制御したりする。その他、こういった姿勢制御は二足歩行ロボットや航空機、ヘリコプター等の各種の移動体において利用することができる。姿勢制御の実現にあたってジャイロセンサー 510 を組み込むことができる。

【0128】

なお、上記のように本実施形態について詳細に説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるであろう。従って、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれるものとする。例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。また本実施形態及び変形例の全ての組み合わせも、本発明の範囲に含まれる。また信号処理装置、検出装置、センサー、電子機器、移動体の構成・動作等も、本実施形態で説明したものに限定されず、種々の変形実施が可能である。

10

【符号の説明】

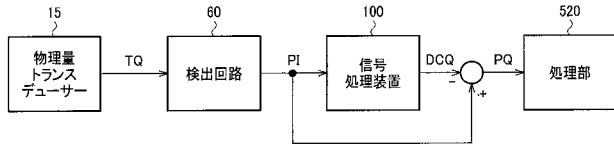
【0129】

2, 4 駆動端子、6, 8 検出端子、10 振動子、11, 12 駆動用振動子、
 15 物理量トランスデューサー、16, 17 検出用振動子、19 検出軸、
 20 検出装置、30 駆動回路、32 増幅回路、34 ゲイン制御回路、
 36 駆動信号出力回路、38 同期信号出力回路、60 検出回路、
 62 増幅回路、64 同期検波回路、66 A/D変換回路、
 100 信号処理装置、110 ノイズ推定部、120 カルマンフィルター、
 121 減算部、130 第1の推定部、131 ハイパスフィルター、
 132 ローパスフィルター、133 ローパスフィルター、134 リミッター、
 135 ゲイン処理部、136 加算部、140 第2の推定部、
 141 ピークホールド部、142 加算部、150 第3の推定部、
 151 絶対値算出部、152 ゲイン処理部、153 リミッター、
 154 乗算部、160 第4の推定部、161 遅延部、162 減算部、
 163 ローパスフィルター、164 ゲイン処理部、166 乗算部、
 167 加算部、171 ローパスフィルター、172 遅延部、
 173 ローパスフィルター、175 減算部、176 加算部、177 記憶部、
 178 読み出し部、180 コンパレーター(監視部)、190 温度センサー、
 206 自動車、207 車体、208 車体姿勢制御装置、209 車輪、
 500 電子機器、510 ジャイロセンサー、520 処理部、
 530 メモリー、540 操作部、550 表示部、
 DCQ DC成分、FL1 フラグ、GA1~GA3 ゲイン、
 PI 入力信号(物理量信号)、PQ 出力信号、TS 検出信号(出力信号)、
 meas 観測ノイズ、sys システムノイズ

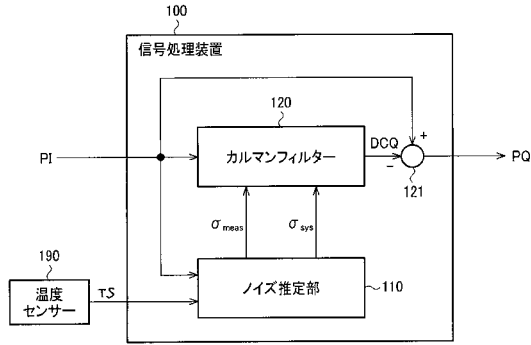
20

30

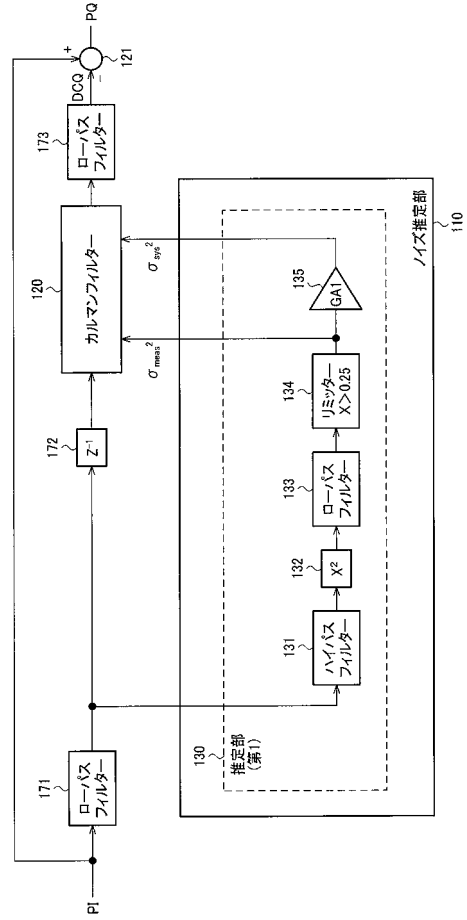
【図1】



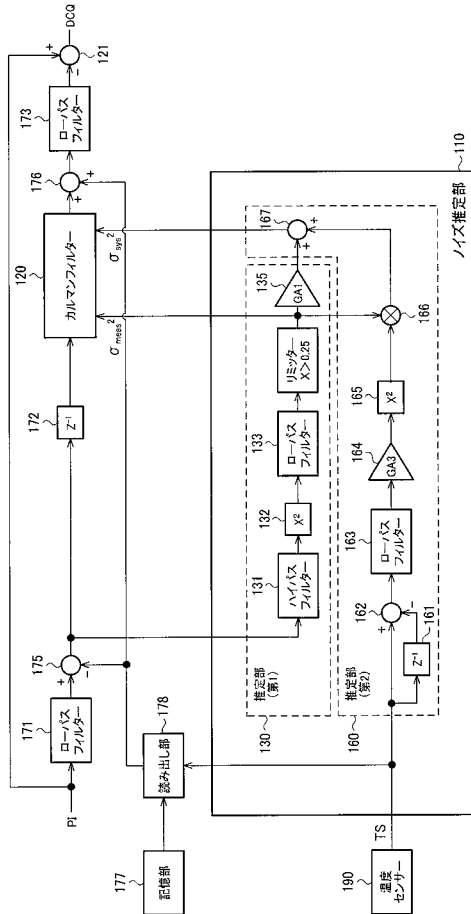
【図2】



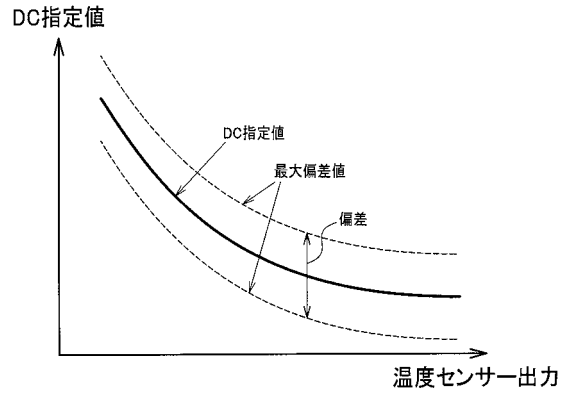
【図3】



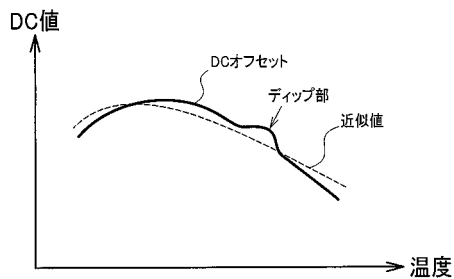
【図4】



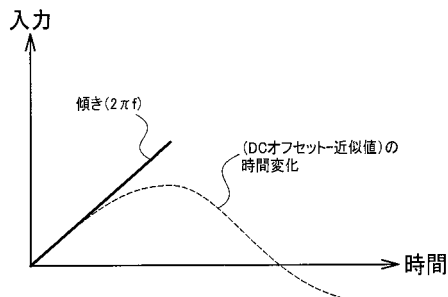
【図5】



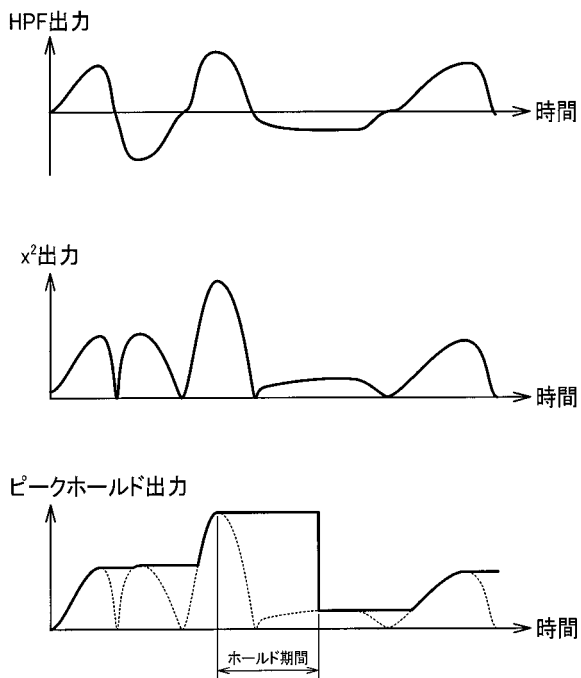
【 図 6 】



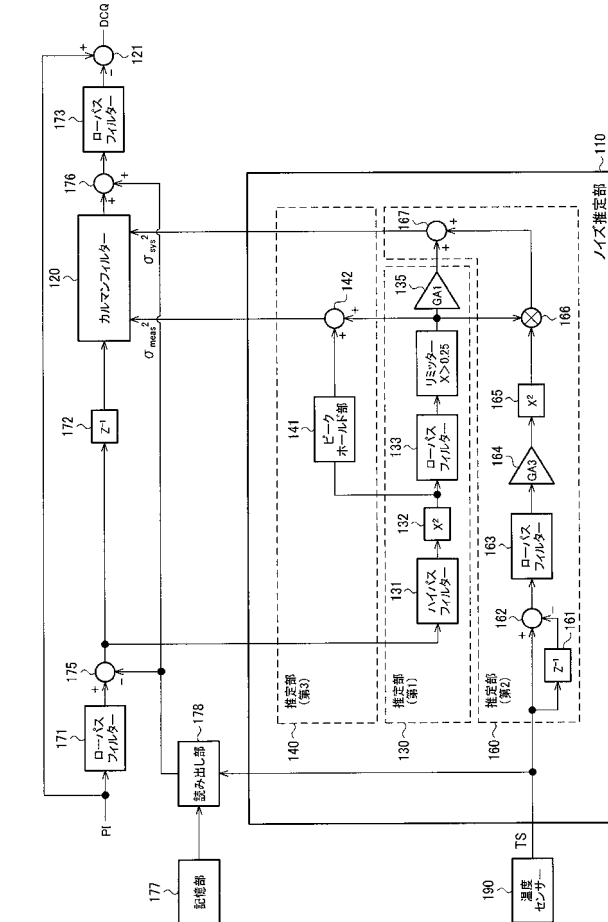
【 図 7 】



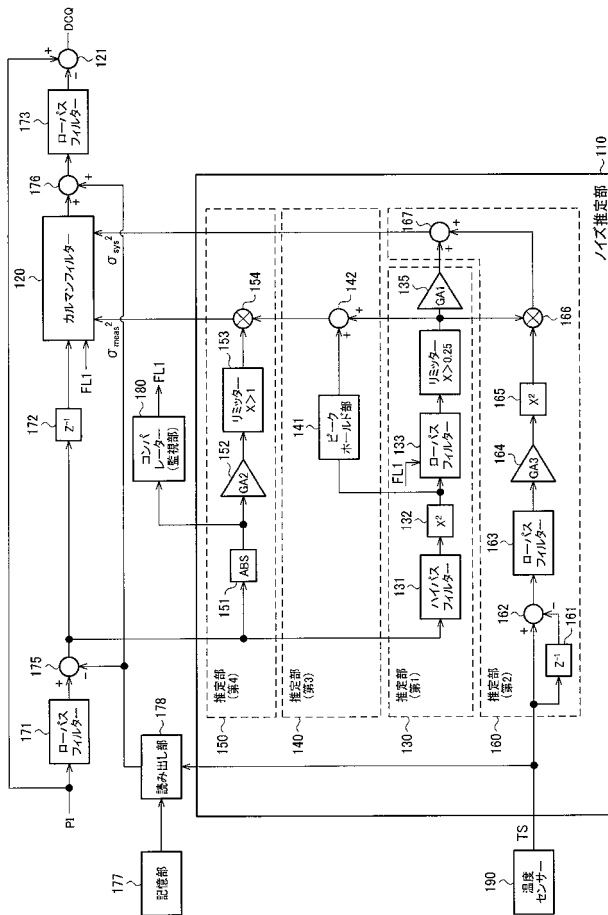
【 図 9 】



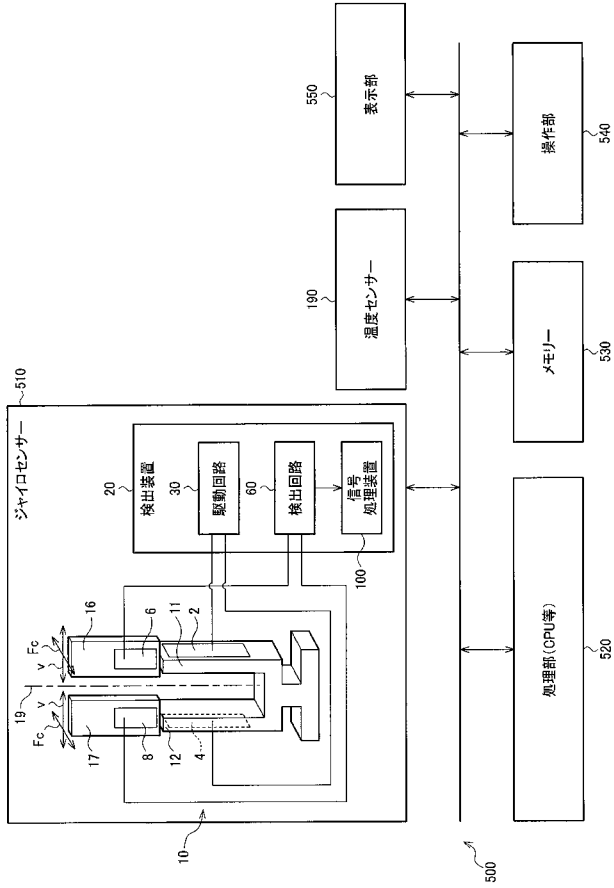
【 図 8 】



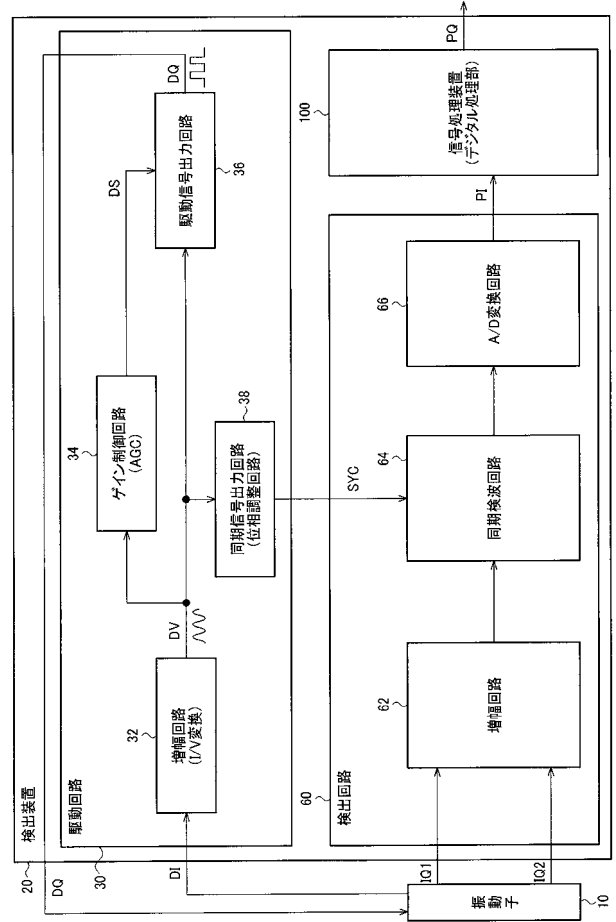
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

