

(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2004-284569
(P2004-284569A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int. Cl.⁷

B 6 2 D 6/00
B 6 2 D 5/04
// B 6 2 D 101:00
B 6 2 D 119:00

F I

B 6 2 D 6/00
B 6 2 D 5/04
B 6 2 D 101:00
B 6 2 D 119:00

テーマコード (参考)

3 D O 3 2
3 D O 3 3

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-193249 (P2003-193249)
(22) 出願日 平成15年7月8日 (2003.7.8)
(31) 優先権主張番号 特願2003-21517 (P2003-21517)
(32) 優先日 平成15年1月30日 (2003.1.30)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000003997
日産自動車株式会社
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
(74) 代理人 100119644
弁理士 綾田 正道
(74) 代理人 100105153
弁理士 朝倉 悟
(72) 発明者 毛利 宏
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
日産自動車株式会社内
(72) 発明者 久保田 正博
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
日産自動車株式会社内

最終頁に続く

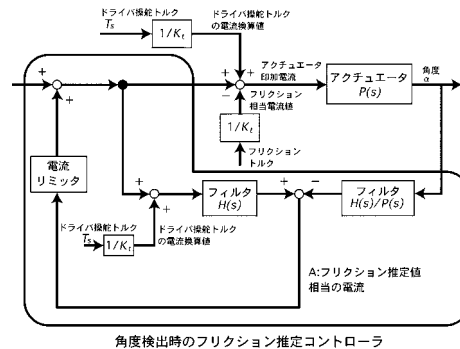
(54) 【発明の名称】 操作反力生成制御装置

(57) 【要約】

【課題】 操作入力手段を操作したときのフリクションを合理的に推定し除去することで、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができると共に、操作系にフリクション感がなく操舵感の向上を望むことができる操作反力生成制御装置を提供すること。

【解決手段】 操作反力生成制御装置において、運転者のステアリングホイール1に対するドライバ操舵トルク T_s を検出するトルクセンサ6と、運転者の操作によって生じたステアリングシャフト回転角 θ を検出するロータリエンコーダ4と、を設け、操舵反力コントローラ8は、検出されたドライバ操舵トルク T_s と、検出されたステアリングシャフト回転角 θ と、加えた制御入力に基づいて、アクチュエータ部のフリクションを推定するフリクション推定部と、推定されたフリクションを除去するように制御入力を変更するフリクション補償部と、を有する構成とした。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

運転者が車両の方向変化の指令値を入力するための操作入力手段と、該操作入力手段に加わる操作反力を調整するアクチュエータと、該アクチュエータの発生力を制御する制御手段と、を備えた操作反力生成制御装置において、

運転者の操作入力手段に対する操作力を検出する操作力検出手段と、

運転者の操作によって生じた操作入力手段の変位または速度を検出する操作状態量検出手段と、を設け、

前記制御手段は、

上記検出された操作力と、上記検出された操作入力手段の変位または速度と、加えた制御入力に基づいて、アクチュエータ部のフリクシオンを推定するフリクシオン推定部と、推定されたフリクシオンを除去するように制御入力を変更するフリクシオン補償部と、を有することを特徴とする操作反力生成制御装置。 10

【請求項 2】

請求項 1 記載の操作反力生成制御装置において、

前記フリクシオン推定部は、制御入力と運転者操作力によって駆動されるモデルを持ち、前記操作入力手段の変位または速度による操作状態量を、そのモデルの逆特性に通したときに求められる制御入力及び操作入力の合計の推定値と、実際の制御入力及び操作入力の合計値との差から、外乱として入力された力をフリクシオン推定値とすることを特徴とする操作反力生成制御装置。 20

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の操作反力生成制御装置において、

前記フリクシオン補償部は、フリクシオン推定値にある上限を設けて、その上限値以下のフリクシオンを除去することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 4】

請求項 2 記載の操作反力生成制御装置において、

前記フリクシオン推定部は、モデルの逆特性にあるローパスフィルタをかけて、フリクシオン除去の周波数帯域を特定することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 の何れか 1 項に記載の操作反力生成制御装置において、 30

車速を検出する車速検出手段を設け、

前記フリクシオン補償部は、フリクシオン除去による補償を、検出車速が所定車速以下でのみ実施することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 6】

運転者が車両の方向変化の指令値を入力するための操作入力手段と、該操作入力手段に加わる操作反力を調整するアクチュエータと、該アクチュエータの発生力を制御する制御手段と、を備えた操作反力生成制御装置において、

運転者の操作入力手段に対する操作力を検出する操作力検出手段と、

運転者の操作によって生じた操作入力手段の変位または速度を検出する操作状態量検出手段と、を設け、 40

前記制御手段は、

上記検出された操作力と上記検出された操作入力手段の変位または速度と、加えた制御入力に基づいて、アクチュエータ部のフリクシオンを推定するフリクシオン推定部と、

前記操作入力手段の速度に応じたアクチュエータ部のフリクシオンを記憶したフリクシオン記憶部と、

上記推定されたフリクシオンと、上記記憶されたフリクシオンに基づいて、両フリクシオンを除去するように制御入力を変更するフリクシオン補償部と、

を有することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 記載の操作反力生成制御装置において、 50

前記フリクション補償部は、フリクション推定部の出力にハイパスフィルタをかけた値と、フリクション記憶部から出力される値と、に応じて制御入力を変更することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 8】

請求項 6 または請求項 7 に記載の操作反力生成制御装置において、

前記フリクション補償部は、フリクション推定部の出力に 1 以下の第 1 ゲインを乗じた値と、フリクション記憶部の出力に 1 以下の第 2 ゲインを乗じた値との加算値に応じて制御出力を変更し、

前記第 1 ゲインと第 2 ゲインとの加算値を、1 以下としたことを特徴とする操作反力生成制御装置。

10

【請求項 9】

請求項 7 記載の操作反力生成制御装置において、

車速を検出する車速検出手段を設け、

前記フリクション補償部は、上記検出された車速に応じて、前記第 1 ゲインと第 2 ゲインの少なくとも一方を変更することを特徴とする操作反力生成制御装置。

【請求項 10】

請求項 8 記載の操作反力生成制御装置において、

前記フリクション補償部は、上記検出された操作入力手段の変位または速度に応じて、前記第 1 ゲインと第 2 ゲインの少なくとも一方を変更することを特徴とする操作反力生成制御装置。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ステアパイワイヤや電動パワーステアリング等で運転者に伝える操舵反力を生成する操作反力生成制御装置の技術分野に属する。

【0002】

【従来の技術】

従来、操舵角速度が小さい範囲を静止状態であると判断して、静止摩擦を動的な摩擦に変換すべく制御電流にディザを加えて、振動をさせる構成の電動パワーステアリングを提案している（例えば、特許文献 1 参照）。また、操舵トルクを微分してその微分値（エッジ）の大きさから運転者が操舵を開始したことを判断して、その大きさから静止摩擦力を推定して補償しようとしている（例えば、特許文献 2 参照）。そのほか、クーロン摩擦を低減するためには操舵速度の方向を見て、予めフリクション除去に相当するオフセット電流を加えるなどが常套手段として用いられる。

30

【0003】

【特許文献 1】

特開平 2002 - 46632 号公報

【特許文献 2】

特開平 2000 - 103349 号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来技術にあっては、フリクショントルクを合理的に推定してフィードバックすることにより除去するのではなく、車両の条件（操舵速度やその方向）からフィードフォワード的に決めて、フリクションの影響を除去しようとしていた。

40

【0005】

そのため、そのルールに従わない場合には、運転者の違和感になるという問題点があった。例えば、操舵角速度の小さいところではディザを加えるという対策を行なうとすると、運転中の大部分の状態ではディザを加えなければならず、運転者にその振動が伝わるのが懸念されるとともに、電流エネルギーと言う観点からも好ましくないという問題点があった。

50

【0006】

また、操舵トルクのエッジを抽出するにしても、トルクを微分するためにノイズの影響を受けやすく誤って操舵開始と判断してしまったり、ノイズを除去してから微分をしようとするとフリクション補償が遅れてしまうという問題点があった。

【0007】

さらに、操舵速度の方向でオフセット電流を切り替えたりすると、微小操舵をしているときなどはフリクショントルクが頻繁に符号を変えてしまい、フリクション補償電流のハンチングが運転者に伝わってしまうなどという問題点もあった。

【0008】

上記問題点はいずれも、不確かな検出情報に基づいて、フィードフォワード的にフリクション補償しようとしたことによって生じていた。 10

【0009】

本発明は、上記問題点に着目してなされたもので、操作入力手段を操作したときのフリクションを合理的に推定し除去することで、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができると共に、操作系にフリクション感がなく操舵感の向上を望むことができる操作反力生成制御装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明では、
運転者が車両の方向変化の指令値を入力するための操作入力手段と、該操作入力手段に加わる操作反力を調整するアクチュエータと、該アクチュエータの発生力を制御する制御手段と、を備えた操作反力生成制御装置において、
運転者の操作入力手段に対する操作力を検出する操作力検出手段と、
運転者の操作によって生じた操作入力手段の変位または速度を検出する操作状態量検出手段と、を設け、
前記制御手段は、
上記検出された操作力と、上記検出された操作入力手段の変位または速度と、加えた制御入力に基づいて、アクチュエータ部のフリクションを推定するフリクション推定部と、推定されたフリクションを除去するように制御入力を変更するフリクション補償部と、を有することを特徴とする。 20 30

【0011】

ここで、「フリクション推定部」は、例えば、制御入力と運転者操作力によって駆動されるモデルを持ち、操作入力手段の変位または速度による操作状態量を、そのモデルの逆特性に通したときに求められる制御入力及び操作入力の合計の推定値と、実際の制御入力及び操作入力の合計値との差から、外乱として入力された力をフリクション推定値とする。

【0012】

【発明の効果】

よって、本発明の操作反力生成制御装置にあっては、操作入力手段を操作したときのフリクションを合理的に推定し除去するので、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができるという効果が生まれる。また、操作系のフリクション感を無くすことで、車両の操舵感が向上する効果が望める。 40

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の操作反力生成制御装置を実現する実施の形態を、図面に示す第1実施例～第4実施例に基づいて説明する。

【0014】

(第1実施例)

まず、構成を説明する。

第1実施例は、本発明の操作反力生成制御装置をステアバイワイヤの操舵反力発生部に適用した場合を記す。

【 0 0 1 5 】

図 1 は第 1 実施例の操作反力生成制御装置を示す全体システム図である。図 1 において、1 はステアリングホイール（操作入力手段）、2 は減速ギヤ、3 はモータ（アクチュエータ）、4 はロータリエンコーダ（操作状態量検出手段）、5 はステアリングシャフト、6 はトルクセンサ（操作力検出手段）、7 は車速センサ（車速検出手段）、8 は操舵反力コントローラ（制御手段）である。

【 0 0 1 6 】

前記ステアリングホイール 1 は、運転者が車両の方向変化の指令値を入力するための操作入力手段である。この操作入力手段としては、他にジョイスティックのようなレバー等であっても良い。

【 0 0 1 7 】

前記減速ギヤ 2 は、モータ 3 の回転を減速してステアリングシャフト 5 に与える減速機構である。この減速ギヤ 2 としては、図 1 では平歯車を記したが、歯打ち音などが気になる場合には、ウォームなどで構成しても良い。

【 0 0 1 8 】

前記モータ 3 は、前記ステアリングホイール 1 の操作反力を調整するアクチュエータである。このモータ 3 としては、DC サーボモータを用いても良いし、ブラシレスモータを用いても良い。また、十分なトルクが得られるのならば、減速ギヤ 2 を持たずに、モータ軸を直接ステアリングホイール 1 の軸としても構わない。

【 0 0 1 9 】

前記ロータリエンコーダ 4 は、運転者の操作によって生じたステアリングホイール 1 の変位を、モータ軸の回転角度により間接的に検出する操作状態量検出手段である。なお、ロータリエンコーダ 4 では回転角度がわかるが、回転速度を検出するために、タコジェネレータをロータリエンコーダ 4 の代わりに取り付けても良い。さらに、モータ軸の回転を検出するようにしたが、ステアリングシャフト 5 の位置に同様にロータリエンコーダを取り付けても良い。但し、減速ギヤ 2 を介しているため角度分解能的には、モータ軸の回転を検出の方が細かく角度を検出できるため、モータ軸の回転を検出する位置の方が好ましい。

【 0 0 2 0 】

前記トルクセンサ 6 は、ステアリングシャフト 5 の位置に設けられ、運転者のステアリングホイール 1 に対する操作力（ドライバ操舵トルク）を検出する。なお、トルクセンサ 6 は、電動パワーステアリングに用いられている一般的な構成のもので構わない。

【 0 0 2 1 】

前記操舵反力コントローラ 8 は、ロータリエンコーダ 4 からの回転角度情報とトルクセンサ 6 からのドライバ操舵トルク情報と車速センサ 7 からの車速情報とを入力し、これらの情報に基づいて、モータ 3 への印加電流を演算し、モータ 3 を印加電流によって駆動する。なお、操舵反力コントローラ 7 の図示しないモータ駆動回路は、安定して電流を供給できるものとする。例えば、逆起電力の影響を受けにくいように、電流のサーボコントロールがされているものとする。

【 0 0 2 2 】

次に、作用を説明する。

[角度検出時のフリクション推定作用]

図 2 はステアリングシャフト回転角に基づいてフリクショントルクの推定を行なう第 1 実施例の操作反力生成制御ブロック図である。

トルクセンサ 6 の信号をドライバ操舵トルク T_s （既知外乱）

フリクショントルク T_f （未知外乱）

モータ慣性モーメント J_s （但し、ステアリングシャフト換算であり、ステアリングホイール 1 の慣性モーメントも含む）

モータトルク定数 K_t （但し、ステアリングシャフト換算）

モータ発生トルク $T_m = K_t \cdot i$ （但し、ステアリングシャフト換算）

10

20

30

40

50

モータ印加電流 i

ステアリングシャフト回転角

ステアリングシャフト回転角加速度 $\ddot{\theta}$

とすると、運動方程式は以下ようになる。

$$J_s \cdot \ddot{\theta} = T_s + T_m + T_f \quad \dots (1)$$

プラントに外乱 T_s , T_f が加わらない状態では、

$$J_s \cdot \ddot{\theta} = K_t \cdot i \quad \dots (2)$$

と書けるので、伝達関数で表わすと、 s をラプラス演算子として次のようになる。

$$\ddot{\theta} / i = K_t / (J_s \cdot s^2) = P(s) \quad \dots (3)$$

外乱除去の周波数帯を f_c (Hz) として、 $\omega_c = 2\pi f_c$ (rad/s) と定義する。 10

外乱除去のローパスフィルタを、

$$H(s) = \omega_c^2 / (s^2 + \omega_c^2) \quad \dots (4)$$

とする。この状態で図2のように制御対象(プラント)の周りにコントローラを構成すると、図2のA部から推定されたフリクシントルクが電流値に換算して得られるので、これを図2のように入力電流にフィードバックする。こうしてフリクシオンが除去される。

【0023】

フィードバックの経路には、電流のリミッタが設けられており、例えば、補償されるべきフリクシオンが高々1Nmの場合には、1Nmに見合った電流値 = $1 / K_t$ (A) でリミッタを設定すれば良い。

【0024】

リミッタを設ける理由としては、以下の効果も挙げられる。例えば、 $\omega_c = 2\pi f_c$ (rad/s) を高く設定した場合に、制御系にのるノイズなどによって、フリクシントルクが過大に、かつ、高周波ノイズとして推定されてしまう可能性がある。その結果、フリクシオン補償電流によってアクチュエータが駆動され、運転者にギクシャクした感じが伝わってしまうが、リミッタをいれて電流を飽和させることで、このような違和感を防止する効果もある。

【0025】

[操作反力生成制御作用]

従来、フリクシオンを除去する方法としては、フィードフォワードが盛んに行われていた。しかし、フィードフォワードによるフリクシオン除去では、以下の問題が発生する。 30

【0026】

例えば、プラントに1Nmのフリクシオンがあるだろうと思って、それを補償するための電流1Aを流したとする。しかし、実際にはフリクシオンが0.2Nmしかない場合には、0.8Nm分のトルクが運転者に伝わってしまい、操舵違和感につながる。このように、想定した対象(プラント)と実際のプラントの特性が異なった時に、柔軟に対応できないという問題がある。

【0027】

それならば、プラントの状態を探りながら制御するフィードバックを加えれば良いと考えるのは自然である。しかし、フィードバックでフリクシオンを除去する発明は見当たらない。フリクシオンで問題になるのは、静的なフリクシオンである。運転者が操舵しているときのフリクシオンはいわゆる動フリクシオンであり、これは操舵系のダンピングとしても寄与することから、むしろ好ましい場合もある。しかし、保舵状態から操舵開始する時は静フリクシオンになり、このフリクシオンが大きいと、まさに「ひっかかり」として運転者に感じとられてしまう。つまり、極低周波(定常状態)でのフリクシオンが除去されなければならない。 40

【0028】

このときに考えられるのは、一般的に制御において定常偏差を除去するために用いられる積分制御である。積分制御は誤差の積分値がゼロになるように作用するので、定常状態でのフリクシオン除去に有効なはずである。上述のように積分制御は定常偏差を除去できるので、位置コントロールなどにおいて、定常偏差が生じようとする「じわじわと」偏差 50

を除去する方向に力を加えていくものである。ここで「じわじわと」と記したのは、一般的に積分制御を大きく効かせると、閉ループ系全体の動特性が低下し、極端な場合には発散に至るためである。そのため、一般には積分定数はあまり大きく設定しない。つまり、定常偏差は徐々に除去され「じわじわと」目標値に近づいていくのが一般的である。したがって、このような方法では操舵開始と同時にフリクションを除去することは不可能であり、操舵開始したときの引っかかり感はそのままで、ハンドルを切っているうちに、じわじわと少し軽くなることになる。このように、単純に積分のフィードバックを加える方法では、期待する効果が得られないためフィードバックによるフリクション除去は今まで行われていなかった。

【0029】

本発明の外乱オブザーバも一つの積分制御である。しかし、一般的な積分と違うのは、外乱を除去する周波数領域をフィルタ $H(s)$ で設定することができることである。本発明のポイントは、このフィルタ $H(s)$ のカットオフ周波数を高く設定することである。こうすることによって定常偏差はもちろん、高周波の外乱までを推定し、除去することが理論的には可能である。

「理論的には」と書いたのは、実際には高周波の外乱を推定するためには、プラントの特性を高周波まで正しく把握することが必要であり、一般的には難しい。つまり、高周波外乱までを推定すると、高周波の誤った外乱推定値が得られ、これに基づいてフリクションを除去しようとする高周波でガタガタ動き、運転者には妙にギクシャクしたような操舵系となる。そこで、本発明では、高周波外乱までを推定しながら、上記ギクシャク感を感じさせないように、外乱推定値にリミッタを設け、外乱推定値を一定値で飽和させてしまう方法を用いた。こうすることによって、操舵開始と同時に外乱推定値が立ち上がり、ある値で飽和することになる。

【0030】

次に、効果を説明する。

第1実施例の操作反力生成制御装置にあっては、下記に列挙する効果を得ることができる。

【0031】

(1) 運転者が車両の方向変化の指令値を入力するためのステアリングホイール1と、該ステアリングホイール1に加わる操作反力を調整するモータ3と、該モータ3の発生力を制御する操舵反力コントローラ8と、を備えた操作反力生成制御装置において、運転者のステアリングホイール1に対するドライバ操舵トルク T_s を検出するトルクセンサ6と、運転者の操作によって生じたステアリングシャフト回転角を検出するロータリエンコーダ4と、を設け、前記操舵反力コントローラ8は、検出されたドライバ操舵トルク T_s と、検出されたステアリングシャフト回転角と、加えた制御入力に基づいて、モータ3及び減速ギヤ2によるアクチュエータ部のフリクションを推定するフリクション推定部と、推定されたフリクションを除去するように制御入力を変更するフリクション補償部と、を有するため、操作入力手段を操作したときのフリクションを合理的に推定し除去することで、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができると共に、操作系にフリクション感がなく操舵感の向上を望むことができる。

【0032】

すなわち、ステアリングホイール1に代表される操作入力手段を操作したときの、フリクションを合理的に推定し、除去するので、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができるという効果が生まれる。例えば、ステアバイワイヤの反力発生部にこのような仕組みを取り付けなかったら、ハンドル(ステアリングホイール1)を中立位置に戻すために大きなトルクを発生させなければならない。そのため、通常の操舵時にもそれらのトルクが邪魔になり、ハンドル操作に対しての復元トルクが大きくなったりする可能性がある。また、一般に操作系にフリクション感がないことは、「すっきり」したフィーリングになり、好ましいので、車両の操舵感が向上する効果が望める。

【0033】

10

20

30

40

50

(2) フリクション推定部は、制御入力と運転者操作力によって駆動されるモデル $P(s)$ を持ち、ステアリングシャフト回転角 δ を、そのモデル $P(s)$ の逆特性に通したときに求められる制御入力及び操作入力の合計の推定値と、実際の制御入力及び操作入力の合計値との差から、外乱として入力された力をフリクション推定値としたため、合理的なフリクション推定の構成を与えることができる。

【0034】

すなわち、従来のような、「きっこうなるだろう」というようなフィードフォワードの制御ではなく、「実際に運転者は検出されたトルクで操舵しているし、アクチュエータにも検出されたエネルギーを加えているのだから、ハンドルはモデルによればこのくらい動くはずだ。もしも、それだけ動いていないのならば、それはフリクションなどの外乱によってアクチュエータの動きが拘束されているからだ。」ということ、制御ブロック図(図2)で構成し、外乱をフィードバックで推定することにより、必要かつ十分なフリクション推定が行われる。そのため、フリクショントルク除去を、タイミングが違うなどの妙な違和感を発生させずに行なうことが可能になる。

【0035】

(3) フリクション補償部は、フリクション推定値相当の電流にある上限(電流リミッタ)を設けて、その電流リミッタ以下のフリクションを除去するようにした、つまり、フリクションの上限値を定め、それ以上の推定値が得られてもフリクション推定値を飽和させるようにしたため、ギクシャク感を防止することができる。

【0036】

すなわち、フリクションを推定するとき、モデル誤差があったり、信号にノイズがあったりすると、それをフリクションと誤推定し、フリクション補償制御が振動的になったり、妙なギクシャク感を運転者に与える可能性がある。

【0037】

(4) フリクション推定部は、モデル $P(s)$ の逆特性にあるローパスフィルタ $H(s)$ をかけて、フリクション除去の周波数帯域を特定するようにしたため、高周波でのノイズにより、(3)の効果で述べたようなギクシャク感が発生することを防止することができる。

【0038】

(5) 車速を検出する車速センサ7を設け、フリクション補償部は、フリクション除去による補償を、検出車速が所定車速以下でのみ実施するようにしたため、フリクションと共にセルフライニングトルクが除去されてしまう場合の、車両性能への影響を少なくすることができる。

【0039】

つまり、低速では問題にならないが、高速では中立付近の反力感が希薄になるため、低速でのみ本願の制御を実施することが望ましい。しかも、低速では、ハンドルの復元性などが大幅に改善されるメリットがある。

【0040】

(第2実施例)

第1実施例はステアリングシャフト回転角 δ を用いてフリクショントルクを推定したのに対し、第2実施例は操舵角速度 $\dot{\delta}$ を用いてフリクショントルクを推定するようにした例である。なお、システム構成は第1実施例の図1と同様であるので、図示並びに説明を省略する。

【0041】

次に、作用を説明する。

[角速度検出時のフリクション推定作用]

図3は操舵角速度 $\dot{\delta}$ に基づいてフリクショントルクの推定を行なう第2実施例の操作反力生成制御ブロック図である。操舵角速度 $\dot{\delta}$ を求めるためには、タコジェネレータの信号を用いるのが望ましいが、エンコーダから(角度) δ を求めて、差分から操舵角速度 $\dot{\delta}$ を求めても良い。但し、この場合には操舵角速度 $\dot{\delta}$ の分解能が十分取れるように配慮をするべ

10

20

30

40

50

きである。

【0042】

上記と同様に、プラントに外乱 T_s 、 T_f が加わらない状態では、

$$J s \cdot \dot{\theta} = K_t \cdot i \quad \dots (5)$$

と書けるので、伝達関数で表わすと、 s をラプラス演算子として次のようになる。

$$\dot{\theta} / i = K_t / (J s \cdot s) = Q(s) \quad \dots (6)$$

外乱除去の周波数帯を f_c (Hz) として、 $\omega_c = 2\pi f_c$ (rad/s) と定義する。

外乱除去のローパスフィルタを、

$$G(s) = \omega_c / (s + \omega_c) \quad \dots (7)$$

とする。

この状態で図3のように制御対象(プラント)の周りにコントローラを構成すると、図2と同様に、図3のA部から推定されたフリクシントルクが電流値に換算して得られるので、これを図3のように入力電流にフィードバックする。こうしてフリクションが除去される。

10

【0043】

次に、効果を説明する。

この第2実施例の操作反力生成制御装置にあっては、第1実施例の(1)~(5)の効果を得ることができる。但し、第1実施例の(1)、(2)の効果は、下記の(1')、(2')のように書き表される。

【0044】

(1') 運転者が車両の方向変化の指令値を入力するためのステアリングホイール1と、該ステアリングホイール1に加わる操作反力を調整するモータ3と、該モータ3の発生力を制御する操舵反力コントローラ8と、を備えた操作反力生成制御装置において、運転者のステアリングホイール1に対するドライバ操舵トルク T_s を検出するトルクセンサ6と、運転者の操作によって生じた操舵角速度 $\dot{\theta}$ を検出するロータリエンコーダ4またはタコジェネレータと、を設け、前記操舵反力コントローラ8は、検出されたドライバ操舵トルク T_s と、検出された操舵角速度 $\dot{\theta}$ と、加えた制御入力に基づいて、モータ3及び減速ギヤ2によるアクチュエータ部のフリクションを推定するフリクション推定部と、推定されたフリクションを除去するように制御入力を変更するフリクション補償部と、を有するため、操作入力手段を操作したときのフリクションを合理的に推定し除去することで、微小なトルクで運転者に路面状況やそのほかの必要な情報を伝えることができると共に、操作系にフリクション感がなく操舵感の向上を望むことができる。

20

30

【0045】

(2') フリクション推定部は、制御入力と運転者操作力によって駆動されるモデル $Q(s)$ を持ち、操舵角速度 $\dot{\theta}$ を、そのモデル $Q(s)$ の逆特性に通したときに求められる制御入力及び操作入力の合計の推定値と、実際の制御入力及び操作入力の合計値との差から、外乱として入力された力をフリクション推定値としたため、合理的なフリクション推定の構成を与えることができる。

【0046】

(第3実施例)

まず、構成を説明する。

第3実施例は、本発明の操作反力生成制御装置を電動パワーステアリングの操舵反力発生部に適用した場合を記す。

40

【0047】

図4は、本発明の第3実施例に関わる車両用操舵装置のブロック図である。ステアリングホイール1と、舵取り動作を行なう舵取機構9とを連結するステアリングシャフト5に、ステアリングホイール1に加わる操舵トルクを検出するトルクセンサ6と操舵補助用のモータ3とが配置されている。

【0048】

前記ステアリングホイール1は、図示しない車室内部に運転者と対向するように、軸周り

50

に回転可能に設けられている。舵取機構 9 は、ステアリングシャフト 5 の下端に一体形成されたピニオン 10 と、これに噛合するラック軸 11 とを備えるラック & ピニオン式の舵取り装置により構成される。

【0049】

前記ラック軸 11 は、図示しない車両前部に、左右方向へ摺動可能に固定されており、ラック軸 11 の両端は、左右のタイロッド 12, 13 を介して操向用の車輪 14, 15 に連結されている。操舵を補助するモータ 3 は、モータ 3 の発生トルクをステアリングシャフト 5 の回転トルクに変換するような減速ギア 2 を介して、ステアリングシャフト 5 に結合される。

【0050】

続いて、第 3 実施例の制御系を、図 5 に示す制御ブロック図を用いて説明する。運転者によりステアリングホイール 1 が操作されると、機械的な連結により車輪 14, 15 が操向される。この時の負荷によりトルクセンサ 6 は検出される。このトルクセンサ 6 の出力は、操舵補助用のモータ 3 を制御駆動する操舵反力コントローラ 8 に与えられる。

【0051】

前記操舵反力コントローラ 8 には、さらに、前記モータ 3 の回転角や回転速度を計測するためのロタリエンコーダ 4 もしくはタコジェネレータから出力される回転角度が入力されている。また、車両の走行速度を検出する車速センサ 7 等の信号も与えられている。

【0052】

前記操舵反力コントローラ 8 の出力は、モータ 3 に与えられており、操舵トルク・モータの回転角度・回転速度・車速等を用いて、モータ 3 の駆動電流を算出し、算出された駆動電流を内蔵するモータ電流センサによるモータ電流を参照しつつモータ 3 を制御駆動する。モータへ供給される電源は、バッテリー 16 により与えられる。

【0053】

[角度検出時のフリクション推定作用]

図 6 は、モータ角度に基づいて静フリクション推定を行い、モータ回転速度に基づいて動フリクションを補償する第 3 実施例の操作反力生成制御ブロック図である。

トルクセンサの信号をドライバ操舵トルク： T_s (外乱既知)

フリクショントルクと路面からの入力トルク： T_f (未知外乱)

ステアリング系 (モータ含む) の慣性モーメント： J_s

モータトルク定数： K_t

モータ発生トルク： T_m

モータ印加電流： i

ステアリングシャフトの回転角： $\theta = \int \omega dt$ / 減速比

とすると、運動方程式は以下ようになる。

$$J_s \cdot \ddot{\theta} = T_s + T_m + T_f \quad \dots (1)$$

プラントに外乱 T_s , T_f が加わらない状態では、

$$J_s \cdot \ddot{\theta} = K_t \cdot i \quad \dots (2)$$

と書けるので、伝達関数で表わすと、 s をラプラス演算子として次のようになる。

$$\theta / i = K_t / (J_s \cdot s^2) = P(s) \quad \dots (3)$$

外乱除去の周波数帯を f_c (Hz) として、 $c = 2\pi f_c$ (rad/s) と定義する。

外乱除去のローパスフィルタを、

$$H(s) = c^2 / (s^2 + c^2) \quad \dots (4)$$

とする。この状態で図 6 のように制御対象の周りにコントローラを構成すると、図 6 の A 部から推定された未知外乱トルクが算出される。

【0054】

電動パワーステアリングにおいて、 θ に対する外乱 (フリクショントルクと路面からの入力トルク) の関係は、図 7 のようになっており (外乱トルク = フリクショントルク + タイヤ復元トルク)、推定された未知外乱トルクを B 部で微分 (ハイパスフィルタ) すること

10

20

30

40

50

により、微小転舵時の静フリクション相当を推測可能となる。

【0055】

上記静フリクション相当に加え、事前に分かっている動フリクションをC部から算出し、両者を加算してフリクションとする。それを電流値に換算し図5のように入力電流へフィードバックすることにより、フリクションが除去される。

【0056】

次に、効果を説明する。

この第3実施例の操作反力生成制御装置にあっては、下記に列挙する効果を得ることができる。

【0057】

(3) 運転者が車両の方向変化の指令値を入力するためのステアリングホイール1と、該ステアリングホイール1に加わる操作反力を調整するモータ3と、該モータ3の発生力を制御する操舵反力コントローラ8と、を備えた操作反力生成制御装置において、運転者のステアリングホイール1に対する操作力を検出するトルクセンサ6と、運転者の操作によって生じたステアリングシャフト回転角を検出するロータリエンコーダ4と、を設け、操舵反力コントローラ8は、検出されたドライバ操舵トルク T_s と、検出されたステアリングシャフト回転角と、加えた制御入力に基づいて、モータ3及び減速ギア2によるアクチュエータ部の静フリクションを推定するフリクション推定部(B部)と、ステアリングシャフト回転角速度 $\dot{\theta}$ に応じたアクチュエータ部の動フリクションを記憶したフリクション記憶部(C部)と、推定された静フリクションと、記憶された動フリクションに基づいて、両フリクションを除去するように制御入力を変更するフリクション補償部と、を有するため、静フリクションと動フリクションの両方を補償することが可能であり、操作系のフリクション感をなくし、車両の操舵感を向上する効果が期待できる。また、タイヤを介して伝わる路面状況等の必要なインフォメーションを伝達できる。

10

20

【0058】

(4) フリクション補償部は、フリクション推定部(B部)の出力にハイパスフィルタをかけた値と、フリクション記憶部(C部)から出力される値と、に応じて制御入力を変更するため、微小転舵時の静フリクション相当を推測可能となり、微小転舵時の操舵感を向上させることができる。

30

【0059】

(第4実施例)

システム構成は第3実施例の図4と同様であるので、図示並びに説明を省略する。

【0060】

次に、作用を説明する。

[角度検出時のフリクション推定作用]

図8は、第4実施例の操作反力生成制御ブロック図である。未知外乱トルク算出の過程は第3実施例と同じであるため、説明は省略する。

【0061】

第4実施例では、外乱トルクの推測値に、動摩擦相当のリミッタを設けた(D部)。その後、1以下のゲイン第1ゲイン G_1 を掛けた第1フリクション補償値(E部)を算出する。それに加え、事前に分かっている動フリクションをステアリングシャフト回転角速度 $\dot{\theta}$ から算出し、その後、1以下のゲイン第2ゲイン G_2 を掛けた第2フリクション補償値(F部)を算出する。そして、両者を加算することによりフリクション補償値とする。

40

【0062】

また、第1ゲイン G_1 と第2ゲイン G_2 の和を1以下とすることで、両者を加算して算出されるフリクションは、より実際のフリクション値に近くなるので、より自然な操舵フィードバックを実現できる。

【0063】

また、車速が高くなると一般に転舵速度が遅くなり、ハンドルが停止 微小操作 停止が繰り返されることになる。そのような場合は、静摩擦 動摩擦の変化が発生しがちになる

50

ので、高車速の場合は第1ゲインG1を高くして、第2ゲインG2を低くすると、高車速時のフリクション感をなくすることができる。

【0064】

また、電動パワーステアリングの場合、操舵中心付近の操舵力が低い。操舵力が低いと微小なトルク変動を感じ易いので、操舵角が小さいときは、第1ゲインG1を高くして、第2ゲインG2を低くすると、微小転舵時のフリクション感をなくすることができる。

【0065】

さらに、転舵速度が速い場合は、動フリクションだけとなるので、転舵速度が速い場合は、第1ゲインG1を小さくして、第2ゲインG2を高くすると、フリクション感をなくすることができる。

10

【0066】

次に、効果を説明する。

この第4実施例の操作反力生成制御装置にあっては、下記に列挙する効果を得ることができる。

【0067】

(5) フリクション補償部は、フリクション推定部(D部)の出力に1以下の第1ゲインG1を乗じた第1フリクション補償値と、フリクション記憶部(C部)の出力に1以下の第2ゲインG2を乗じた第2フリクション補償値との加算値をフリクション補償値とし、さらに、第1ゲインG1と第2ゲインG2との加算値を、1以下としたため、フリクション補償値を実際のフリクション値に近づけることができ、より自然な操舵フィーリングを実現できる。

20

【0068】

(6) 車速を検出する車速センサ7を設け、第1フリクション補償部(E部)は、高車速時には、第1ゲインG1を高くし、かつ、第2フリクション補償部(F部)は、第2ゲインG2を低くするため、高車速時のフリクション感をなくして操舵感を向上させることができる。

【0069】

(7) 第1フリクション補償部(E部)は、操舵角が小さい場合には、第1ゲインG1を高くし、かつ、第2フリクション補償部(F部)は、第2ゲインG2を低くするため、微小転舵時のトルク変動を抑制して操舵感を向上させることができる。

30

【0070】

(8) 第1フリクション補償部(E部)は、操舵速度が速い場合には、第1ゲインG1を低くし、かつ、第2フリクション補償部(F部)は、第2ゲインG2を高くするため、操舵速度が速い場合のフリクション感をなくすることができる。

【0071】

以上、本発明の操作反力生成制御装置を第1実施例～第4実施例に基づき説明してきたが、具体的な構成については、これらの実施例に限られるものではなく、特許請求の範囲の各請求項に係る発明の要旨を逸脱しない限り、設計の変更や追加等は許容される。

【0072】

例えば、第1実施例と第2実施例では、ステアバイワイヤの反力アクチュエータについて説明したが、電動パワーステアリングでも同様にフリクションを除去できる。

40

但し、電動パワーステアリングでは、フリクションだけでなくタイヤで発生するセルフアラインメントトルクも除去してしまうので、図2及び図3のフリクション補償電流をフィードバックするところにリミッタは必須になる。

【0073】

また、第1実施例～第4実施例では、モータをアクチュエータ駆動に用いたが、油圧系を構成して同様の制御を行なうことによっても、アクチュエータのフリクション除去が可能なことはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例の操作反力生成制御装置を示す全体システム図である。

50

【図2】第1実施例装置においてステアリングシャフト回転角に基づいてフリクショントルクの推定を行なう操作反力生成制御ブロック図である。

【図3】第2実施例装置において操舵角速度に基づいてフリクショントルクの推定を行なう操作反力生成制御ブロック図である。

【図4】第3実施例の操作反力生成制御装置を示す全体システム図である。

【図5】第3実施例の制御系を示すブロック図である。

【図6】第3実施例装置においてステアリングシャフト回転角に基づいてフリクショントルクの推定を行なう操作反力生成制御ブロック図である。

【図7】第3実施例の作動特性図である。

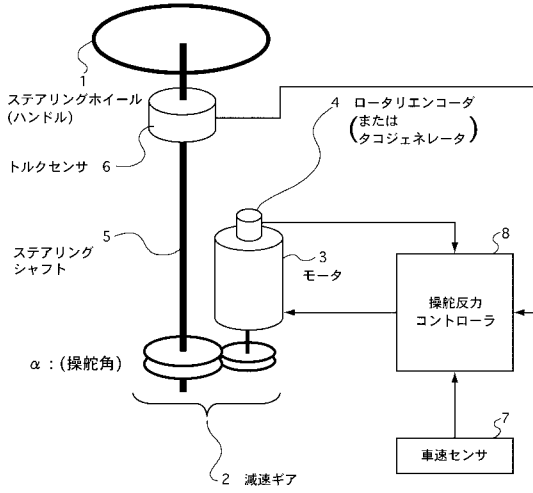
【図8】第4実施例装置においてステアリングシャフト回転角に基づいてフリクショントルクの推定を行なう操作反力生成制御ブロック図である。 10

【図9】第4実施例の作動特性図である。

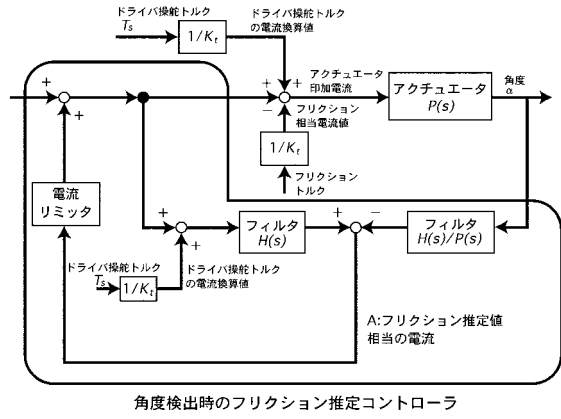
【符号の説明】

- 1 ステアリングホイール（操作入力手段）
- 2 減速ギヤ
- 3 モータ（アクチュエータ）
- 4 ロータリエンコーダ（操作状態量検出手段）
- 5 ステアリングシャフト
- 6 トルクセンサ（操作力検出手段）
- 7 車速センサ（車速検出手段）
- 8 操舵反力コントローラ（制御手段）
- 9 舵取機構
- 10 ピニオン
- 11 ラック軸
- 12 タイロッド
- 13 タイロッド
- 14 車輪
- 15 車輪
- 16 バッテリ

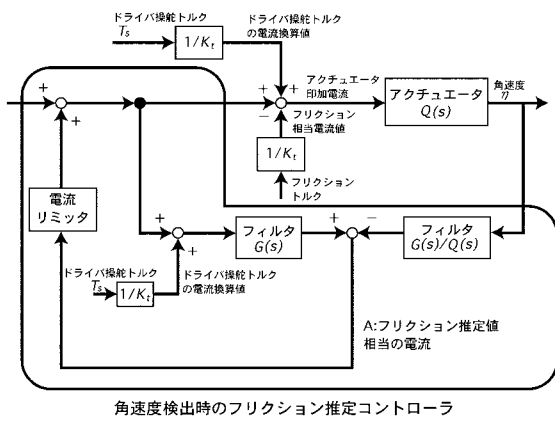
【 図 1 】



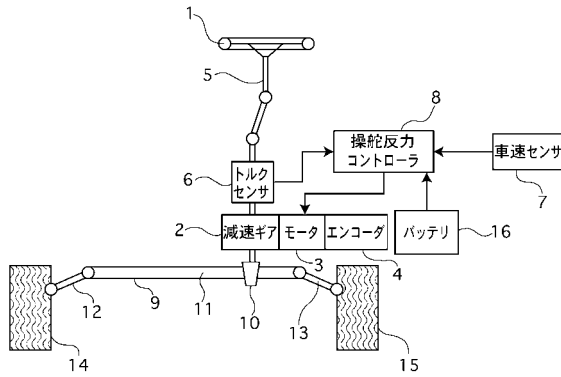
【 図 2 】



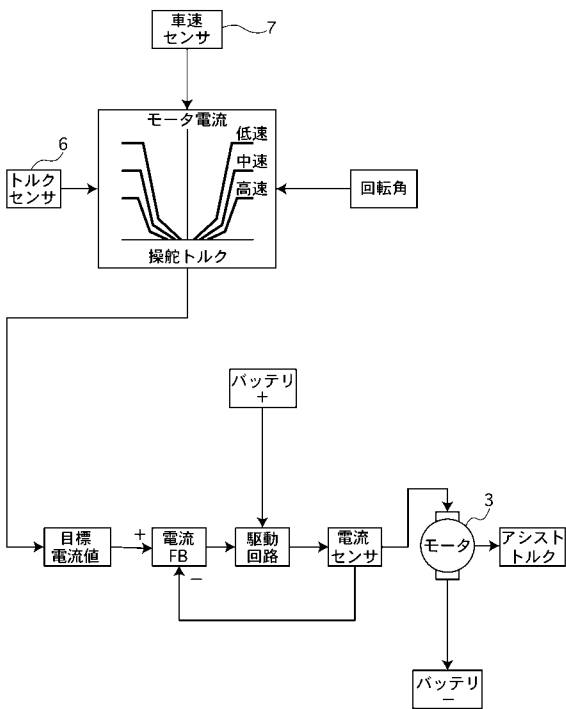
【 図 3 】



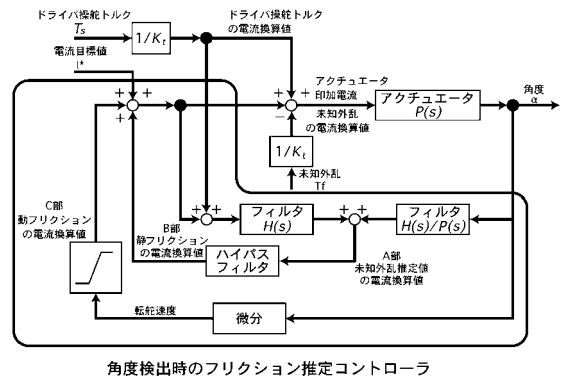
【 図 4 】



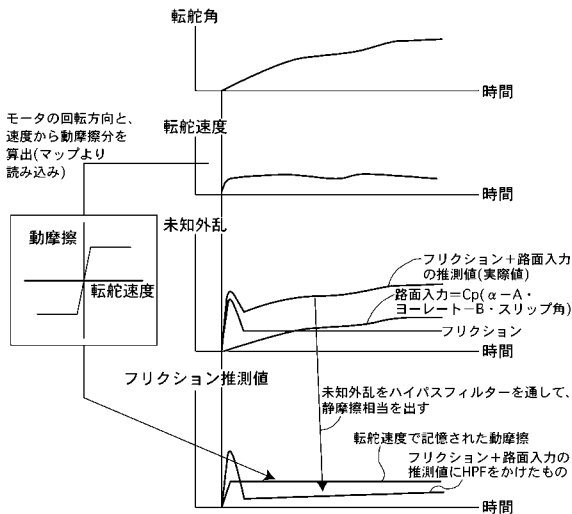
【 図 5 】



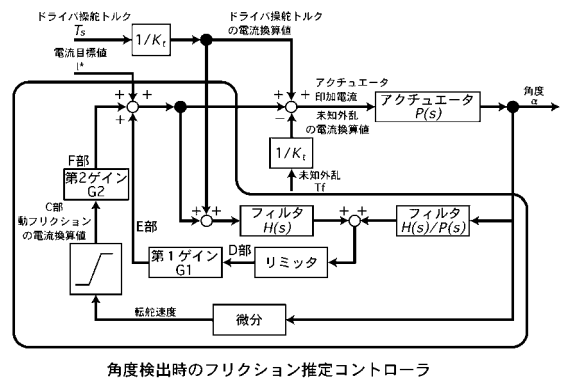
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 玉正 忠嗣
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 白土 良太
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- (72)発明者 園田 恭幸
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内
- Fターム(参考) 3D032 CC08 DA15 DA23 DA63 DC02 DC12 DD17 EB12 EC29
3D033 CA02 CA13 CA17 CA28