

(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2018-172050

(P2018-172050A)

(43) 公開日 平成30年11月8日(2018.11.8)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
B 6 2 D 6/00 (2006.01)	B 6 2 D 6/00	Z Y W 3 D 2 3 2
B 6 2 D 101/00 (2006.01)	B 6 2 D 101:00	
B 6 2 D 117/00 (2006.01)	B 6 2 D 117:00	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2017-71639 (P2017-71639)
 (22) 出願日 平成29年3月31日 (2017. 3. 31)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100106150
 弁理士 高橋 英樹
 (74) 代理人 100082175
 弁理士 高田 守
 (74) 代理人 100113011
 弁理士 大西 秀和
 (72) 発明者 入江 亮
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
 (72) 発明者 国弘 洋司
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

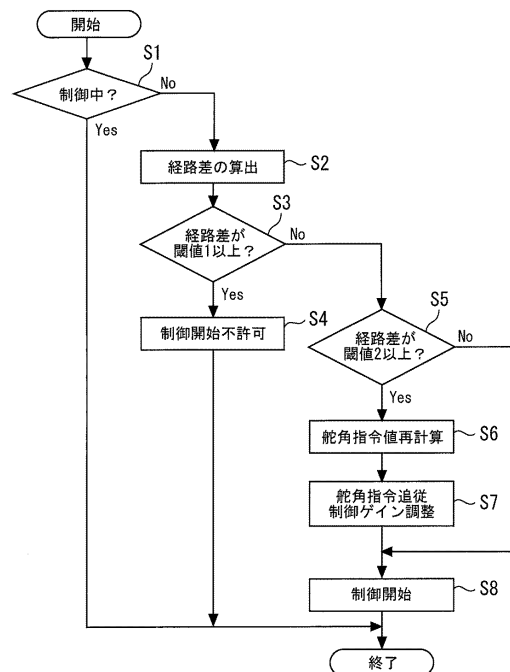
(54) 【発明の名称】 操舵制御装置

(57) 【要約】

【課題】 手動操舵制御から自動操舵制御への切り替え後、外乱の影響を抑えて車両を目標走行経路へ滑らかに追従させることができる操舵制御装置を提供する。

【解決手段】 手動操舵制御から自動操舵制御へ切り替える場合、操舵制御装置は、目標走行経路に対する現在の車両の走行経路の逸脱度（経路差）が所定の閾値以上であるかどうか判定する。自動操舵制御では、実際の車両の走行経路と目標走行経路との差がなくなるように舵角指令値が算出される。ただし、逸脱度が閾値以上である場合、操舵制御装置は、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度を舵角指令値へ徐々に変化させるように、自動操舵制御の開始時のステアリング角度と舵角指令値とに基づいて、舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

運転者にステアリング機構を操作させる手動操舵制御と、前記ステアリング機構をモータにより自動で操作する自動操舵制御とを切り替え可能な操舵制御装置であって、前記自動操舵制御が選択されているときには、目標走行経路を取得し、実際の車両の走行経路と前記目標走行経路との差がなくなるように舵角指令値を算出し、前記舵角指令値に実際のステアリング角度を追従させるように前記モータを駆動する舵角指令追従制御を行うように構成された操舵制御装置において、

前記操舵制御装置は、

前記手動操舵制御から前記自動操舵制御へ切り替える場合、前記目標走行経路に対する現在の車両の走行経路の逸脱度が所定の閾値以上であるか判定し、

10

前記逸脱度が前記閾値以上である場合、前記自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度を前記舵角指令値へ徐々に変化させるように、前記自動操舵制御の開始時のステアリング角度と前記舵角指令値とに基づいて、前記舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する

ように構成されていることを特徴とする操舵制御装置。

【請求項 2】

前記操舵制御装置は、

前記手動操舵制御から前記自動操舵制御への切り替えの要求を受けた場合、前記逸脱度が所定の上限値以上であるか判定し、

20

前記逸脱度が所定の上限値以上である場合、前記自動操舵制御への切り替えを中止して前記手動操舵制御を続行する

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の操舵制御装置。

【請求項 3】

前記操舵制御装置は、

前記自動操舵制御の開始時のステアリング角度と前記舵角指令値との差分に対するフィルタ処理或いはレートリミッタ処理により、前記舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の操舵制御装置。

【請求項 4】

30

前記操舵制御装置は、

車両挙動及びステアリング挙動を許容範囲に収めながら、前記自動操舵制御の開始から所定時間が経過するまでに実際の車両の走行経路と前記目標走行経路とを一致させるように、前記舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の操舵制御装置。

【請求項 5】

前記操舵制御装置は、

前記舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する場合、再計算された前記舵角指令値に対する実際のステアリング角度の追従性を高めるように前記舵角指令追従制御のゲインを調整する

40

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の操舵制御装置。

【請求項 6】

前記操舵制御装置は、

前記舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する場合、前記舵角指令追従制御の積分項に含まれる積分値の更新を停止するか、或いは、同積分値をリセットする

ように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の操舵制御装置。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】**【0001】**

本発明は、自動運転車両に用いて好適な操舵制御装置に関し、詳しくは、車両を目標走行経路に沿って走行させるようにステアリング機構をモータにより自動で操作することが可能な操舵制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

運転者にステアリング機構を操作させる手動操舵制御と、ステアリング機構をモータにより自動で操作する自動操舵制御とを切り替え可能な操舵制御装置が研究・開発されている。自動操舵制御では、車両を目標走行経路に追従させるための追従制御が行われ、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えの際には、車両を目標走行経路に復帰させるための自動操舵が行われる。手動操舵制御において車両が目標走行経路から大きく逸脱していた場合、自動操舵制御への切り替えの際には、車両を目標走行経路に復帰させるための急な操舵が行なわれることで車両挙動やステアリング挙動の乱れが生じうる。なお、車両の挙動とは例えば横加速度やヨーレートの変化を意味し、ステアリングの挙動とは例えば舵角や舵角速度或いは舵角角速度の変化を意味する。

10

【0003】

挙動の乱れを抑える方法の1つとして、追従制御における制御ゲインを小さくすることが挙げられる。例えば、特開2007-030612号公報には、電動パワーステアリング装置を用いた車線維持支援制御において、車両が車線の所定位置を走行するためのモータトルクを、走行経路に対する車両のオフセットと目標オフセットとの偏差、および、ヨー角と目標ヨー角との偏差に基づくPID制御によって算出することが記載されている。自動操舵制御に係る追従制御にも、このようなPID制御或いはPI制御を適用可能である。その場合、PID制御或いはPI制御の制御ゲインを小さくすれば、車両の走行経路は徐々に目標走行経路へ収束するようになるので、車両挙動やステアリング挙動の乱れは抑えられる。

20

【0004】

しかし、追従制御における制御ゲインを小さくすると、車両に対して外乱が作用した場合、その外乱に対する操作量の修正も小さくなってしまふ。つまり、外乱に対するロバスト性が低下してしまふ。このため、横風等の外乱が車両に作用した場合、その外乱の影響を受けて車両挙動やステアリング挙動が乱れたり、車両の目標走行経路からの逸脱が大きくなったりしてしまふ。

30

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】**

【特許文献1】特開2007-030612号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

本発明は、上述のような課題に鑑みてなされたものであり、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替え後、外乱の影響を抑えながら車両を目標走行経路へ滑らかに追従させることができる操舵制御装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】**【0007】**

本発明に係る操舵制御装置は、運転者にステアリング機構を操作させる手動操舵制御と、ステアリング機構をモータにより自動で操作する自動操舵制御とを切り替え可能な操舵制御装置である。本発明に係る操舵制御装置は、自動操舵制御が選択されているときには、目標走行経路を取得し、実際の車両の走行経路と目標走行経路との差がなくなるように舵角指令値を算出し、算出した舵角指令値に実際のステアリング角度を追従させるようにモータを駆動する舵角指令追従制御を行うように構成されている。さらに、本発明に係る

50

操舵制御装置は、上記目的を達成するため、手動操舵制御から自動操舵制御へ切り替える場合、目標走行経路に対する現在の車両の走行経路の逸脱度が所定の閾値以上であるか判定することと、逸脱度が閾値以上である場合、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度を舵角指令値へ徐々に変化させるように、自動操舵制御の開始時のステアリング角度と舵角指令値とに基づいて、舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算することとを実行するように構成される。

【0008】

このような構成によれば、手動操舵制御から自動操舵制御へ切り替えられたときの車両の走行経路が目標走行経路から離れていたとしても、車両を目標走行経路に復帰させるための急な操舵は行われない。実際の車両の走行経路と目標走行経路との差をなくすように舵角指令値が算出されるが、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度は舵角指令値へ徐々に変化させられるので、車両の走行経路は徐々に目標走行経路へ収束するようになり、車両挙動やステアリング挙動の乱れは抑えられる。また、舵角指令追従制御の制御ゲインを小さくする等の手法をとっていないので、車両に対して外乱が作用した場合には、舵角指令追従制御の作用によって車両挙動やステアリング挙動への外乱の影響を抑えることができる。

10

【0009】

舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する方法としては、例えば、自動操舵制御の開始時のステアリング角度と舵角指令値との差分に対して、フィルタ処理或いはレートリミッタ処理を施す方法を用いてもよい。また、車両挙動及びステアリング挙動を許容範囲に収めながら、自動操舵制御の開始から所定時間が経過するまでに実際の車両の走行経路と目標走行経路とを一致させるように、舵角指令追従制御で用いる舵角指令値の再計算をしてもよい。

20

【0010】

舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算する場合、再計算された舵角指令値に対する実際のステアリング角度の追従性を高めるように舵角指令追従制御のゲインを調整してもよい。また、舵角指令追従制御で用いる舵角指令値を再計算している間は、舵角指令追従制御の積分項に含まれる積分値の更新を停止するか、或いは、同積分値をリセットしてもよい。

30

【0011】

手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えの要求を受けた場合、目標走行経路に対する現在の車両の走行経路の逸脱度が所定の上限値以上であるか判定し、逸脱度が所定の上限値以上である場合、自動操舵制御への切り替えを中止して手動操舵制御を続行するようにしてもよい。目標走行経路に対して現在の車両の走行経路が極端に逸脱している場合、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度を舵角指令値へ徐々に変化させること自体が難しいこともあり得る。そのような場合は無理に自動操舵制御へ切り替えないことで、車両挙動やステアリング挙動の乱れを防ぐことができる。

【発明の効果】

【0012】

本発明に係る操舵制御装置によれば、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替え後、外乱の影響を抑えながら車両を目標走行経路へ滑らかに追従させることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施の形態に係る車両用操舵装置の構成を示すブロック図である。

【図2】操舵制御装置の経路差判定部の機能を説明する図である。

【図3】操舵制御装置の舵角指令再計算部の機能を説明する図である。

【図4】操舵制御装置の舵角指令再計算部による舵角指令値の再計算方法を例示する図である。

【図5】操舵制御装置の舵角指令追従制御部の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の実施の形態に係る自動操舵制御の開始時の制御フローを示すフローチャ

50

ートである。

【図7】本発明の実施の形態に係る自動操舵制御の制御結果と比較例による制御結果とを並べて示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。ただし、以下に示す実施の形態において各要素の個数、数量、量、範囲等の数に言及した場合、特に明示した場合や原理的に明らかにその数に特定される場合を除いて、その言及した数に、この発明が限定されるものではない。また、以下に示す実施の形態において説明する構造は、特に明示した場合や明らかに原理的にそれに特定される場合を除いて、この発明に必ずしも必須のものではない。

10

【0015】

1. 車両用操舵装置の構成

本発明の実施の形態に係る車両用操舵装置は、自動運転車両に搭載される車両用操舵装置である。本実施の形態に係る自動運転車両は、運転者の操縦による手動運転とコンピュータによる自動運転とを切り替え可能であり、手動運転では運転者にステアリング機構を操作させる手動操舵制御が行われ、自動運転ではステアリング機構をモータにより自動で操作する自動操舵制御が行われる。図1は、本発明の実施の形態に係る車両用操舵装置の構成を示す図である。まず、図1を用いて車両用操舵装置100の構造系について説明する。

20

【0016】

車両用操舵装置100は、運転者による操作のための操舵ハンドル2と、転舵輪である左右の前輪6, 6とを連結するステアリング機構4とを備える。ステアリング機構4は、操舵ハンドル2の回転操作が入力されるステアリングコラムシャフト、ステアリングコラムシャフトに入力された回転操作によって生じる操作力を増大するためのギヤ機構、ギヤ機構から伝達される操作力を左右の前輪6, 6に伝達するリンク機構を備える。ステアリング機構4を構成する各機構の具体的な構成に限定はない。

【0017】

車両用操舵装置100は、電流の供給を受けてトルクを発生させ、発生させたトルクをステアリング機構4に付与するモータ8を備える。図1では、車両用操舵装置100は、モータ8のトルクをギヤ機構のラックに伝達するラックアシスト型の電動パワーステアリング装置として構成されているが、コラムアシスト型やピニオンアシスト型等、他の形式の電動パワーステアリング装置として構成されてもよい。モータ8はモータドライバ10から電力の供給を受けて駆動される。

30

【0018】

次に、車両用操舵装置100の制御系について説明する。

【0019】

車両用操舵装置100は、操舵制御に関連する物理量を計測するための複数のセンサを備える。ステアリング機構4には、ステアリング角度を計測するステアリング角度センサ12が取り付けられている。ステアリング角度センサ12は、詳しくは、ピニオンの回転角度をステアリング角度として計測する。車両用操舵装置100は、ステアリング角度センサ12に加えて、図示しない車速センサ、加速度センサ、ヨーレートセンサ等、自車両の走行状態に関する情報を取得するセンサを備える。さらに、車両用操舵装置100は、自車両の位置情報を取得するためのGPS装置や、カメラ、レーダー、ライダー等の自車両の外部状況に関する情報を取得するためのセンサを備える。ただし、こうした各種のセンサは車両用操舵装置100による操舵制御のための専用品である必要はなく、その他の装置との間で共用されるものであってよい。

40

【0020】

車両用操舵装置100は、モータドライバ10に電流指令値(或いはトルク指令値)を与える操舵制御装置20を備える。操舵制御装置20は、モータドライバ10に与える電

50

流指令値を調整することにより、モータ 8 からステアリング機構 4 に付与される操舵トルクを制御するように構成されている。操舵制御に関連する物理量を計測する各種のセンサは、直接、或いは、車両内に構築された通信ネットワークを介して操舵制御装置 20 に接続されている。操舵制御装置 20 は、少なくとも 1 つのメモリと少なくとも 1 つのプロセッサとを有する ECU (Electronic Control Unit) である。メモリには、操舵制御に用いる各種のプログラムやマップを含む各種のデータが記憶されている。プロセッサがメモリからプログラムを読みだして実行することにより、操舵制御装置 20 には操舵制御に係る様々な機能が実現される。

【0021】

2. 操舵制御装置が備える機能の概要

操舵制御装置 20 により実施される操舵制御には、運転者に操舵ハンドル 2 を介してステアリング機構 4 を操作させる手動操舵制御と、ステアリング機構 4 をモータ 8 により自動で操作する自動操舵制御とが含まれる。手動操舵制御と自動操舵制御との切り替えは、基本的には運転者のスイッチ操作によって行われる。ただし、自動操舵制御が続けられなくなった場合には、操舵制御装置 20 によって手動操舵制御への切り替えが行われる場合がある。また、自動操舵制御の開始条件が整っていない場合には、操舵制御装置 20 によって自動操舵制御への切り替えが拒否される場合もある。

【0022】

操舵制御装置 20 による手動操舵制御には、運転者のハンドル操作をモータ 8 のトルクによって補助する操舵補助制御が含まれる。さらに、手動操舵制御には、運転者が操舵ハンドル 2 を戻し方向に操作するのを補助するハンドル戻し制御や、車線の中央付近を走行しやすいように運転者のハンドル操作を支援する車線維持支援制御等も含まれる。これらの制御については、既に多くの公知文献においてその制御方法が提案されているため、本明細書ではその詳細について説明することはしない。

【0023】

操舵制御装置 20 による自動操舵制御では、上位の制御装置から目標走行経路を取得し、実際の車両の走行経路と目標走行経路との差がなくなるようにモータ 8 に供給する電力を制御することが行われる。図 1 には、自動操舵制御に係る操舵制御装置 20 の機能がブロックで描かれている。図 1 中にブロックで描かれているように、操舵制御装置 20 は、目標走行経路追従制御部 22、舵角指令選択部 24、舵角指令追従制御部 26、経路差判定部 28、及び舵角指令再計算部 30 を備える。操舵制御装置 20 が備えるこれらの部 22, 24, 26, 28, 30 は、操舵制御装置 20 のメモリに記憶されたプログラム或いはその一部に対応している。プログラムがメモリから読みだされてプロセッサで実行されることによって、これらの部 22, 24, 26, 28, 30 の機能が操舵制御装置 20 にて実現される。以下、各部 22, 24, 26, 28, 30 の機能について目標走行経路追従制御部 22 から順に説明する。

【0024】

3. 操舵制御装置が備える機能の詳細

目標走行経路追従制御部 22 は、上位の制御装置から目標走行経路を取得するとともに、車速センサ、加速度センサ、ヨーレートセンサ、カメラ、GPS 装置等から現在の車両状態に関する情報を取得する。そして、取得した目標走行経路と現在の車両状態とに基づき、車両を目標走行経路に追従させるために必要な舵角、つまり、実際の車両の走行経路と目標走行経路との差をなくすための舵角を計算し、それを舵角指令値として出力する。目標走行経路追従制御部 22 では、一定の応答性をもって実際の走行経路を目標走行経路に収束させるように舵角指令値が計算される。なお、車両を目標走行経路に追従させるための舵角指令値の計算方法については、既に多くの公知文献においてその計算方法が提案されているため、本明細書ではその詳細について説明することはしない。

【0025】

舵角指令選択部 24 は、目標走行経路追従制御部 22 で計算された舵角指令値と、後述する舵角指令再計算部 30 で再計算された舵角指令値とを取り込む。また、舵角指令選択

10

20

30

40

50

部 2 4 には、運転者のスイッチ操作に応じて発せられる制御オン/オフ信号と、後述する経路差判定部 2 8 から発せられる開始許可/禁止信号とが入力される。制御オン/オフ信号は、運転者が手動操舵制御から自動操舵制御へ切り替えるようにスイッチ操作したときにオンになり、運転者が自動操舵制御から手動操舵制御へ切り替えるようにスイッチ操作したときにオフになる信号である。開始許可/禁止信号は、自動操舵制御の開始を許可するか禁止するかを情報として有する信号である。

【 0 0 2 6 】

舵角指令選択部 2 4 は、制御オン/オフ信号がオンの場合、取り込んだ舵角指令値を出力するが、開始許可/禁止信号が禁止状態である場合には舵角指令値の出力を中止する。舵角指令選択部 2 4 が出力する舵角指令値は、基本的には、目標走行経路追従制御部 2 2 で計算された舵角指令値（以下、舵角指令値のオリジナル値と呼ぶ場合もある）である。舵角指令再計算部 3 0 で再計算された舵角指令値が取り込まれた場合に限り、再計算された舵角指令値（以下、舵角指令値の再計算値と呼ぶ場合もある）が出力される。

10

【 0 0 2 7 】

舵角指令追従制御部 2 6 は、舵角指令選択部 2 4 から舵角指令値を取り込むとともに、ステアリング角度センサ 1 2 から実際のステアリング角度を取り込み、舵角指令値と実際のステアリング角度とに基づいて舵角指令追従制御を行う。舵角指令追従制御は、舵角指令値に実際のステアリング角度を追従させるようにモータ 8 を駆動する制御であって、フィードフォワード制御とフィードバック制御とからなる。舵角指令追従制御部 2 6 の機能については、追ってより詳細に説明する。

20

【 0 0 2 8 】

経路差判定部 2 8 は、目標走行経路と現在の車両状態とを取得する。また、経路差判定部 2 8 には、運転者のスイッチ操作に応じて発せられる制御オン/オフ信号が入力される。経路差判定部 2 8 は、制御オン/オフ信号がオフからオンに切り替わったとき、つまり、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えの要求が運転者からあったとき、目標走行経路と現在の車両の走行経路との経路差を計算し、経路差が閾値よりも大きいかどうかの判定を行う。本明細書における経路差とは、目標走行経路に対する現在の車両の走行経路の逸脱度を意味する。この逸脱度の内容について図 2 を用いて説明する。

【 0 0 2 9 】

図 2 には、自動操舵制御の開始が要求された時の車両状態と現在の走行経路が実線で描かれ、目標走行経路が点線で描かれている。逸脱度を示すパラメータとしては、例えば、車両から目標走行経路までの距離（最小距離） Z と、車両から目標走行経路へ引いた距離が最小の点における接線と車両の進行方向との偏角 θ を挙げることができる。距離 Z が大きいほど現在の走行経路は目標走行経路から大きく逸脱していると言え、また、偏角 θ が大きいほど現在の走行経路は目標走行経路から大きく逸脱していると言える。経路差判定部 2 8 は、取得した目標走行経路と現在の車両状態とに基づいて距離 Z と偏角 θ とを計算し、距離 Z と偏角 θ との関数で表される逸脱度を計算する。

30

【 0 0 3 0 】

図 1 に戻り、経路差判定部 2 8 についての説明を続ける。経路差判定部 2 8 は、計算した経路差（逸脱度）と比較するための 2 つの閾値を有している。閾値 1 は、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えが許容される経路差の上限値である。目標走行経路に対して現在の車両の走行経路が極端に逸脱している場合、後述する舵角指令値の再計算を行なったとしても車両挙動やステアリング挙動の乱れを防げないおそれがある。経路差判定部 2 8 は、経路差が閾値 1 以上の場合、自動操舵制御の開始を禁止する信号を舵角指令選択部 2 4 へ出力し、経路差が閾値 1 より小さい場合、自動操舵制御の開始を許可する信号を舵角指令選択部 2 4 へ出力する。閾値 2 は、後述する舵角指令値の再計算を行なうかどうか判定するための閾値であって、閾値 1 よりも小さい。経路差判定部 2 8 は、経路差が閾値 1 よりも小さく閾値 2 以上の場合、舵角指令値の再計算を指示する信号を舵角指令再計算部 3 0 へ出力する。

40

【 0 0 3 1 】

50

舵角指令再計算部 30 は、目標走行経路追従制御部 22 で計算された舵角指令値と、ステアリング角度センサ 12 から実際のステアリング角度とを取り込む。また、舵角指令再計算部 30 には、経路差判定部 28 から舵角指令値の再計算を指示する信号が入力される。舵角指令再計算部 30 は、経路差判定部 28 から舵角指令値の再計算を指示されると、そのときのステアリング角度、すなわち、自動操舵制御の開始時のステアリング角度と目標走行経路追従制御部 22 で計算された舵角指令値とに基づいて、舵角指令値の再計算を行う。舵角指令値の再計算の内容について図 3 を用いて説明する。

【0032】

図 3 には、自動操舵制御の開始時の車両状態と現在の走行経路が実線で描かれ、目標走行経路が点線で描かれている。また、目標走行経路追従制御部 22 で計算された舵角指令値に基づいて舵角指令追従制御が行われた場合の車両の軌跡が点線で描かれている。目標走行経路追従制御部 22 で計算される舵角指令値は、車両の実際の走行経路を目標走行経路に速やかに収束させるように計算されている。このため、自動操舵制御の開始時の経路差（逸脱度）が大きい場合、図 3 に点線で示すように、目標走行経路へ向けて進路を変更するように急な操舵が行われる。このような急な操舵は車両の挙動やステアリングの挙動に乱れを生じさせてしまう。

10

【0033】

図 3 には、舵角指令再計算部 30 により再計算された舵角指令値に基づいて舵角指令追従制御が行われた場合の車両の軌跡が実線で描かれている。舵角指令再計算部 30 で再計算される舵角指令値によれば、自動操舵制御の開始の前後で車両の姿勢に大きな変化を生じず、車両は目標走行経路へ滑らかに追従する。このような車両の動きを実現するため、舵角指令再計算部 30 では、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度を舵角指令値へ徐々に変化させるように、舵角指令値の再計算が行われている。舵角指令再計算部 30 による舵角指令値の再計算方法の具体例について図 4 を用いて説明する。

20

【0034】

図 4 には、舵角指令再計算部 30 による舵角指令値の再計算方法として好適な 3 つの計算方法がグラフで示されている。第 1 の方法は、上から 1 段目のグラフにイメージが示されている 1 次ローパスフィルタ（1 次 LPF）を用いた方法である。自動操舵制御の開始時の実際のステアリング角度（実舵角）と舵角指令値のオリジナル値との差分を 1 次ローパスフィルタに通したものが舵角指令値の再計算値とされる。第 2 の方法は、上から 2 段目のグラフにイメージが示されている 2 次ローパスフィルタ（2 次 LPF）を用いた方法である。自動操舵制御の開始時のステアリング角度と舵角指令値のオリジナル値との差分を 2 次ローパスフィルタに通したものが舵角指令値の再計算値とされる。第 3 の方法は、上から 3 段目のグラフにイメージが示されているレートリミッタを用いた方法である。自動操舵制御の開始時のステアリング角度と舵角指令値のオリジナル値との差分をレートリミッタに通したものが舵角指令値の再計算値とされる。どの計算方法によっても、自動操舵制御の開始時のステアリング角度から舵角指令値へ徐々に変化していく再計算値が得られる。例示した計算方法の他にも、例えば、移動平均のようにステップ応答を鈍らせることができる方法であれば、舵角指令値の再計算方法として用いることができる。

30

【0035】

例示したどの再計算方法においても、舵角指令値の再計算値がオリジナル値に収束するまでの時間は任意に調整することができる。例えば、第 1 の方法や第 2 の方法では、フィルタの時定数を変えることで収束時間を調整することができる。具体的には、第 1 の方法では、ステップ応答は $1 - \exp(-t/T)$ で表され、その値が 0.632 に到達するまでの時間が時定数 T として定義される。第 1 の方法では、この時定数 T を変えることによって収束時間が調整される。第 3 の方法では、出力の最大変化率を変えることで収束時間を調整することができる。

40

【0036】

収束時間が変われば、車両の走行経路が目標走行経路に一致するまでの時間も変化し、また、自動操舵制御の開始直後の車両挙動やステアリング挙動も異なったものとなる。具

50

体的には、収束時間を短くすると、車両の走行経路が目標走行経路に一致するまでの時間は短縮されるものの、車両挙動やステアリング挙動に乱れが生じやすくなる。逆に収束時間を長くすると、車両挙動やステアリング挙動の乱れを抑えることができるものの、車両の走行経路が目標走行経路に一致するまでに長い時間を要してしまう。

【 0 0 3 7 】

このため、舵角指令再計算部 30 による舵角指令値の再計算では、車両挙動やステアリング挙動をそれぞれ許容範囲に収めながら、自動操舵制御の開始から所定時間が経過するまでに車両の走行経路と目標走行経路とが一致するように、収束時間を決定するパラメータ（フィルタの時定数等）が調整される。パラメータの調整には、舵角指令値に対する車両挙動やステアリング挙動の変化を模擬した車両モデルが利用される。

10

【 0 0 3 8 】

パラメータの調整に用いる車両モデルは、例えば、以下の式 1 - 7 で表される。ステアリング挙動についての制約をあらわす式 1 - 2 を満たし、且つ、車両挙動についての制約をあらわす式 3 - 7 を満たすように、収束時間を決定するパラメータの調整が行われる。なお、以下の式において、 θ は舵角指令値、 V は車速、 L はホイールベース、 A はスタビリティファクタ、 a_y は横加速度、 $\dot{\gamma}$ はヨーレート、 δ は前輪舵角、 w_g はステアリングギヤ比である。

【 数 1 】

$$\frac{d\theta}{dt} < \text{舵角変化閾値} \quad \dots \text{式 1}$$

20

【 数 2 】

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} < \text{舵角変化速度閾値} \quad \dots \text{式 2}$$

【 数 3 】

$$\frac{da_y}{dt} < \text{横加速度変化閾値} \quad \dots \text{式 3}$$

【 数 4 】

$$\frac{d\dot{\gamma}}{dt} < \text{ヨーレート変化閾値} \quad \dots \text{式 4}$$

30

【 数 5 】

$$\alpha_y = \frac{1}{1 + AV^2} \frac{V^2}{L} \delta \quad \dots \text{式 5}$$

【 数 6 】

$$\gamma = \frac{1}{1 + AV^2} \frac{V}{L} \delta \quad \dots \text{式 6}$$

40

【 数 7 】

$$\theta = w_g \delta \quad \dots \text{式 7}$$

【 0 0 3 9 】

舵角指令再計算部 30 による舵角指令値の再計算は、舵角指令値の再計算値がオリジナル値に収束するまで行われる。その間、式 1 - 2 で表されるステアリング挙動についての制約が満たされない場合、或いは、式 3 - 7 で表される車両挙動についての制約が満たされない場合には、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えは中止される。

【 0 0 4 0 】

50

再計算された舵角指令値は、先に述べた通り、舵角指令選択部 24 に送られ、舵角指令選択部 24 から舵角指令追従制御部 26 に送られる。ここで、舵角指令追従制御部 26 の機能について図 5 を用いて詳細に説明する。図 5 は、舵角指令追従制御部 26 の構成を示すブロック図である。図 5 には、舵角指令追従制御部 26 の機能がブロックで描かれている。図 5 中にブロックで描かれているように、舵角指令追従制御部 26 は、FF 制御部 60、FB 制御部 62、FF ゲイン調整部 64、FB ゲイン調整部 66、及び積分値保持部 68 を備える。舵角指令追従制御部 26 が備えるこれらの部 60, 62, 64, 66, 68 は、操舵制御装置 20 のメモリに記憶されたプログラム或いはその一部に対応している。プログラムがメモリから読みだされてプロセッサで実行されることによって、これらの部 60, 62, 64, 66, 68 の機能が操舵制御装置 20 にて実現される。以下、各部 60, 62, 64, 66, 68 の機能について FF 制御部 60 から順に説明する。

10

【0041】

FF 制御部 60 は、舵角指令選択部 24 から舵角指令値を受け取ると、それにゲインを乗じることによって電流指令値に変換する。FF 制御部 60 から出力される電流指令値は、最終的に舵角指令追従制御部 26 からモータドライバ 10 に与えられる電流指令値のフィードフォワード項である。以下、これを FF 電流指令値と称する。また、FF 制御部 60 で用いられるゲインを FF ゲインと称する。FF ゲインは可変ゲインである。

【0042】

FB 制御部 62 は、舵角指令選択部 24 から取り込んだ舵角指令値とステアリング角度との差分を受け取ると、その差分に対する PID 制御を行う。PID 制御によって得られる電流指令値は、最終的に舵角指令追従制御部 26 からモータドライバ 10 に与えられる電流指令値のフィードバック項である。以下、これを FB 電流指令値と称する。また、PID 制御における P 項、I 項、D 項のそれぞれのゲインをまとめて FB ゲインと称する。FB ゲインは可変ゲインである。

20

【0043】

FF ゲイン調整部 64 及び FB ゲイン調整部 66 は、舵角指令選択部 24 からの選択信号を受け付ける。選択信号は、舵角指令選択部 24 においてオリジナル値ではなく再計算値が舵角指令値として選択された場合に発せられる信号である。選択信号を受信した場合、FF ゲイン調整部 64 は FF 制御部 60 の FF ゲインを調整し、FB ゲイン調整部 66 は FB 制御部 62 の FB ゲインを調整する。FF ゲインと FB ゲインの調整では、舵角指令値に対するステアリング角度の追従性を高めるように、各ゲインの値を通常よりも大きくすることが行われる。FF ゲイン及び FB ゲインの調整は、舵角指令値の再計算値がオリジナル値に収束するまで行われる。

30

【0044】

積分値保持部 68 は、舵角指令選択部 24 からの選択信号を受け付ける。積分値保持部 68 は、選択信号を受信した場合、FB 制御部 62 の I 項（積分項）に含まれる積分値の更新を停止し、選択信号を受信した時点での積分値を保持する。積分値は後の制御に影響するため、選択信号を受信したら積分値の更新を停止することで、再計算値に基づく舵角指令追従制御の制御結果が、通常の舵角指令追従制御に戻った後の制御性へ影響することを防ぐことができる。積分値保持部 68 による積分値の保持は、舵角指令値の再計算値がオリジナル値に収束するまで行われる。なお、本実施の形態では積分値を保持することとしているが、選択信号を受信したら積分値をリセットするようにしてもよい。

40

【0045】

4. 操舵制御装置による自動操舵制御の制御フロー

以上のように構成された操舵制御装置 20 により、自動運転の一環としての自動操舵制御が行われる。図 6 は、操舵制御装置 20 による自動操舵制御の開始時の制御フローを示すフローチャートである。操舵制御装置 20 は、このような制御フローに基づいて作成されたプログラムをメモリから読み出して実行する。

【0046】

まず、ステップ S1 では、現在が自動操舵制御中かどうかの判定が行われる。現在、既

50

に自動操舵制御が行われているのであれば、本制御フローは終了する。一方、未だ自動操舵制御が行われていないのであれば、本制御フローはステップ S 2 に進む。

【 0 0 4 7 】

ステップ S 2 では、目標走行経路と現在の車両の走行経路との経路差（逸脱度）が算出される。次に、ステップ S 3 では、ステップ S 2 で算出された経路差が閾値 1 以上かどうか判定される。経路差が閾値 1 以上である場合、本制御フローはステップ S 4 に進む。閾値 1 は、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替えが許容される経路差の上限値であるので、ステップ S 4 では、自動操舵制御の開始が不許可とされる。そして、本制御フローは終了する。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 3 で経路差が閾値 1 より小さいと判定された場合、続いてステップ S 5 の判定が行われる。ステップ S 5 では、ステップ S 2 で算出された経路差が閾値 2 以上かどうか判定される。経路差が閾値 2 以上の場合、ステップ S 6 及び S 7 の処理の後、ステップ S 8 に進む。ステップ S 6 では、舵角指令値の再計算が行われ、ステップ S 7 では、舵角指令追従制御のゲイン、具体的には、FF ゲインと FB ゲインの調整が行われる。また、これと併せて、FF 電流指令値の I 項が有する積分値の保持も行われる。これらの処理の後、ステップ S 8 では、ステップ S 6 で再計算された舵角指令値を用いた自動操舵制御が開始される。

【 0 0 4 9 】

ステップ S 3 で経路差が閾値 2 より小さいと判定された場合、ステップ S 6 及び S 7 はスキップされる。この場合、ステップ S 8 では、舵角指令値のオリジナル値を用いた自動操舵制御が開始される。

【 0 0 5 0 】

5 . 操舵制御装置による自動操舵制御の効果

図 7 は、操舵制御装置 2 0 による自動操舵制御の制御結果と比較例による制御結果とを並べて示す図である。上から 1 段目のグラフが第 1 の比較例による制御結果を示し、上から 2 段目のグラフが第 2 の比較例による制御結果を示し、上から 3 段目のグラフが操舵制御装置 2 0 による自動操舵制御の制御結果を示している。いずれのグラフにおいても、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替え後、途中で横風等の外乱が車両に作用した場合のステアリング角度の変化が実線で示されている。

【 0 0 5 1 】

第 1 の比較例では、自動操舵制御への切り替え後、舵角指令値のオリジナル値に基づいて舵角指令追従制御が行われる。1 段目のグラフに示すように、制御開始時のステアリング角度と舵角指令値との差分が大きい場合は、その差分を解消するようにステアリング角度の急激な変更が行われる。ステアリング角度の急激な変更により、車両の走行経路は目標走行経路へ早期に収束するようになるものの、車両挙動やステアリング挙動に乱れが生じてしまう。

【 0 0 5 2 】

第 2 の比較例では、自動操舵制御への切り替え後、舵角指令値のオリジナル値に基づいて舵角指令追従制御を行うとともに、舵角指令追従制御に係る制御ゲイン、すなわち、FF ゲイン及び FB ゲインを小さくすることが行われる。2 段目のグラフに示すように、制御開始時のステアリング角度と舵角指令値との差分が大きかったとしても、舵角指令追従制御の制御ゲインが小さくされていることにより、ステアリング角度の急激な変化は抑えられる。ステアリング角度は舵角指令値へ徐々に収束していき、それに伴い、車両の走行経路も徐々に目標走行経路へ収束していく。ところが、この例のように舵角指令追従制御の制御ゲインを小さくすると、車両に対して外乱が作用した場合、その外乱に対する操作量の修正も小さくなってしまふ。このため、外乱に対するロバスト性が低下し、グラフに描かれたステアリング角度の変化が示すように、車両挙動やステアリング挙動に乱れが生じてしまう。

【 0 0 5 3 】

操舵制御装置 20 による自動操舵制御によれば、舵角指令追従制御用の舵角指令値として、制御開始時のステアリング角度から舵角指令値のオリジナル値に向けて徐々に変化する再計算値が用いられる。このため、3 段目のグラフに示すように、自動操舵制御への切り替え後の実際のステアリング角度は、舵角指令値の再計算値に追従してオリジナル値へ向けて徐々に変化していく。また、車両に対して外乱が作用したとしても、舵角指令追従制御によるステアリング角度の修正が十分に機能するため、ステアリング角度の舵角指令値からの逸脱は抑えられる。これにより、車両に対して外乱が作用した場合であっても、車両の走行経路は徐々に目標走行経路へ収束するようになり、車両挙動やステアリング挙動の乱れは抑えられる。

【 0 0 5 4 】

10

以上説明したように、本実施の形態に係る操舵制御装置 20 によれば、上述の通りの自動操舵制御が行われることにより、手動操舵制御から自動操舵制御への切り替え後、外乱の影響を抑えながら車両を目標走行経路へ滑らかに追従させることができる。

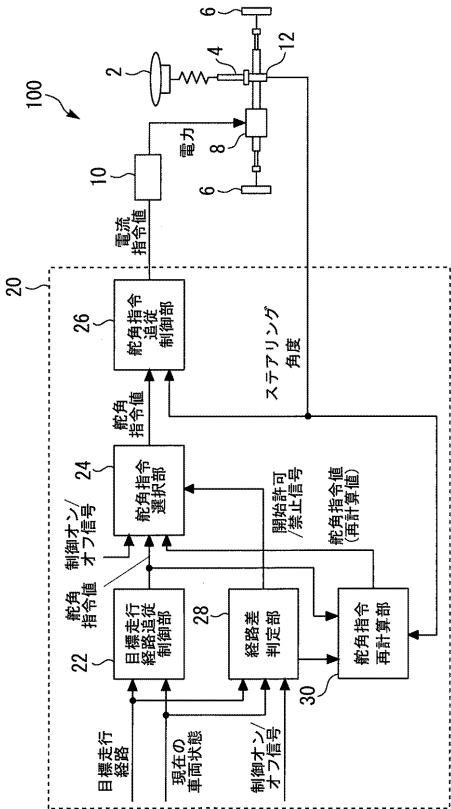
【符号の説明】

【 0 0 5 5 】

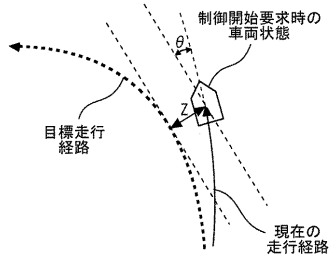
20

- 2 操舵ハンドル
- 4 ステアリング機構
- 6 前輪
- 8 モータ
- 10 モータドライバ
- 12 ステアリング角度センサ
- 20 操舵制御装置
- 22 目標走行経路追従制御部
- 24 舵角指令選択部
- 26 舵角指令追従制御部
- 28 経路差判定部
- 30 舵角指令再計算部
- 100 車両用操舵装置

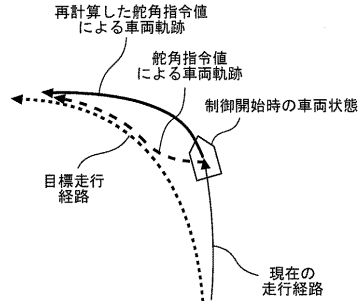
【図1】



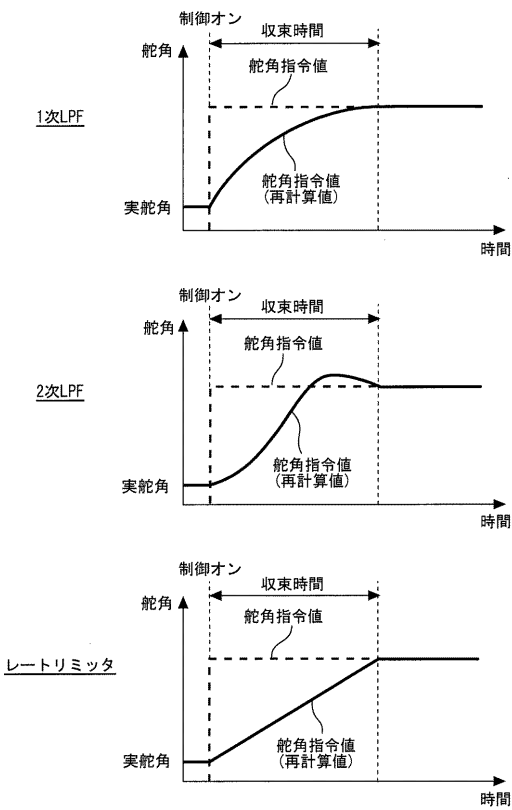
【図2】



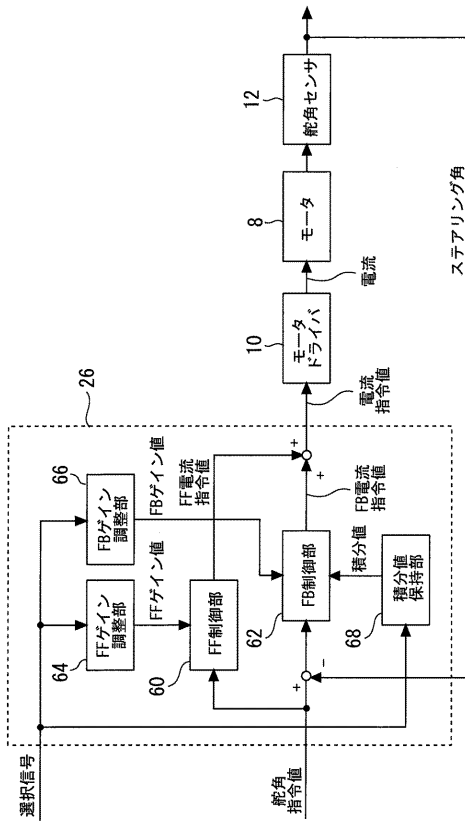
【図3】



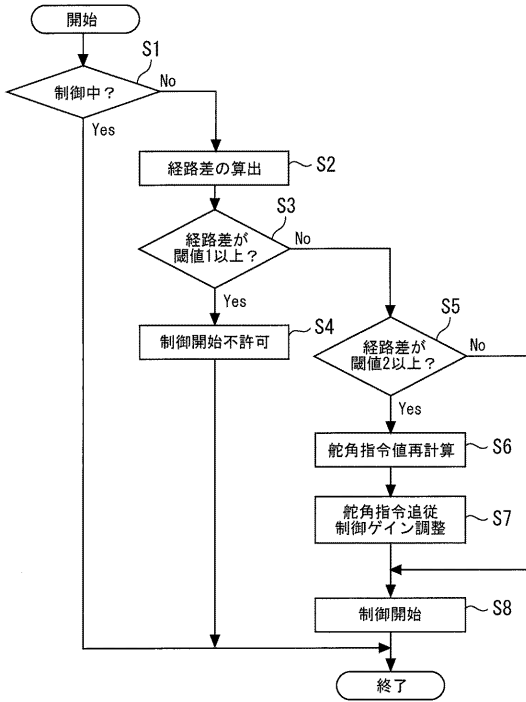
【図4】



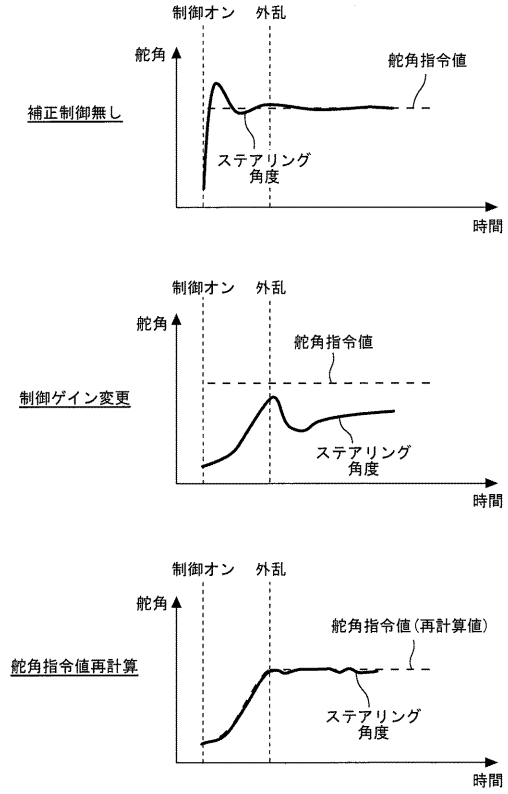
【図5】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 青木 裕

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 工藤 佳夫

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 3D232 CC02 CC08 CC20 DA03 DA08 DA23 DA25 DA29 DA33 DA63
DA84 DA87 DA90 DB11 DC01 DC02 DC03 DC08 DC12 DC33
DC34 DD02 DD08 DD17 DD18 DE02 EA01 EB04 EC23 GG01