

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7497603号
(P7497603)

(45)発行日 令和6年6月11日(2024.6.11)

(24)登録日 令和6年6月3日(2024.6.3)

(51)国際特許分類	F I
B 6 0 W 40/103 (2012.01)	B 6 0 W 40/103
B 6 0 W 40/064 (2012.01)	B 6 0 W 40/064
B 6 0 C 19/00 (2006.01)	B 6 0 C 19/00 H
B 6 2 D 6/00 (2006.01)	B 6 2 D 6/00

請求項の数 6 (全24頁)

(21)出願番号	特願2020-68351(P2020-68351)	(73)特許権者	000001247 株式会社ジェイテクト
(22)出願日	令和2年4月6日(2020.4.6)		愛知県刈谷市朝日町一丁目1番地
(65)公開番号	特開2021-165063(P2021-165063 A)	(74)代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(43)公開日	令和3年10月14日(2021.10.14)	(74)代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
審査請求日	令和5年3月17日(2023.3.17)	(72)発明者	戸羽 弘安 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8 号 株式会社ジェイテクト内
		審査官	鶴江 陽介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 車体すべり角推定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両の進行方向との間の当該車両の重心点を通る鉛直軸周りの角度である車体すべり角を状態変数とし、前記車両の幅方向に生じている横加速度を含む観測値を持ち、前記車体すべり角を変数に含むモデルに基づき定義される運動方程式を用いて構成された非線形カルマンフィルタを用いて前記車体すべり角の推定値である車体すべり角推定値を演算する車体すべり角推定装置において、

前記運動方程式で定義されるモデルに基づいて、前記車体すべり角推定値を演算する車体すべり角推定値演算部と、

前記運動方程式を用いた演算について前記車体すべり角推定値の推定精度を判定するすべり角推定精度判定部と、を備え、

前記車体すべり角推定値演算部は、前記すべり角推定精度判定部の判定結果に基づいて、前記運動方程式で定義されるモデルが異なる第1の演算状態と、第2の演算状態とを含む複数の演算状態を有しており、

前記第1の演算状態は、前記車体すべり角と、前記車両の前後輪のタイヤに路面から前記車両の前後方向に対して鉛直な幅方向に作用する力であるタイヤ横力とを変数に含むモデルに基づき定義される第1の運動方程式を用いて前記車体すべり角推定値を演算する状態であり、

前記第2の演算状態は、前記第1の運動方程式に対して前記タイヤ横力に関する成分を、前記車体すべり角推定値を演算するなかで得られる前記横加速度に関する成分に置き換

10

20

えて定義される第2の運動方程式を用いて前記車体すべり角推定値を演算する状態であり、
前記車体すべり角推定値演算部は、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が高いことが判定される場合に前記第1の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算する一方、
前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が低いことが判定される場合に前記第2
の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するように構成されている。

ことを特徴とする車体すべり角推定装置。

【請求項2】

前記第2の演算状態にて、前記タイヤ横力に関する成分に対して置き換えられる前記横加速度に関する成分は、前記横加速度の推定値である横加速度推定値に関する成分である請求項1に記載の車体すべり角推定装置。

10

【請求項3】

前記すべり角推定精度判定部は、前記タイヤが生じさせている現在の摩擦力を、前記タイヤで生じさせることのできる最大摩擦力で除算して得られる値で定義されるタイヤグリップ消費率に基づいて、前記タイヤグリップ消費率の大小の間で当該タイヤグリップ消費率が小さくて前記タイヤ横力の変化が飽和していないことを示す場合に前記推定精度が高いことを判定する一方、前記タイヤグリップ消費率の大小の間で当該タイヤグリップ消費率が大きくて前記タイヤ横力の変化が飽和していることを示す場合に前記推定精度が低いことを判定するものである請求項1又は請求項2に記載の車体すべり角推定装置。

【請求項4】

前記すべり角推定精度判定部は、前記推定精度を前記車体すべり角推定値のばらつき具合を示す指標に基づいて、前記指標の大小の間で当該指標が小さい場合に前記推定精度が高いことを判定する一方、前記指標の大小の間で当該指標が大きい場合に前記推定精度が低いことを判定するものであり、

20

前記車体すべり角推定値演算部は、前記第1の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するなかで、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が高いことが判定される場合に前記第1の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算する一方、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が低いことが判定される場合に前記第2の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するように構成されている請求項1～請求項3のうちいずれか一項に記載の車体すべり角推定装置。

【請求項5】

前記観測値として、前記車両に生じている横加速度及びヨーレートと、前記車両の転舵輪を上方から見た場合の転舵の中心のアライニングトルクとを少なくとも含んでいる請求項1～請求項4のうちいずれか一項に記載の車体すべり角推定装置。

30

【請求項6】

前記非線形カルマンフィルタは、拡張カルマンフィルタである請求項1～請求項5のうちいずれか一項に記載の車体すべり角推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車体すべり角推定装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

従来、車両の運動方程式から得られる状態方程式と、観測値を示す観測方程式とに基づいて、オブザーバを構成するものがある（例えば、特許文献1）。特許文献1には、車両の前後方向と車両の進行方向との間の当該車両の重心点を通る鉛直軸周りの角度である車体すべり角を推定できるようにした車体すべり角推定装置が開示されている。

【0003】

特許文献1に記載の車体すべり角推定装置では、観測値にノイズを含むことを考慮して、オブザーバとして拡張カルマンフィルタを構成することで、車体すべり角の推定値である車体すべり角推定値の推定精度を高めるようにしている。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第5707790号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献1において、車体すべり角推定値を演算する際には、例えば、タイヤ横力と、タイヤすべり角との関係を用いたりすると、当該タイヤすべり角が大きくなるほど、タイヤ横力の変化が小さくなりいずれは飽和するということが知られている。これは、タイヤすべり角が小さいときは粘着域が支配的であるが、タイヤすべり角が大きくなるにつれてすべり域が大きくなるからである。つまり、タイヤすべり角が大きくなり、タイヤ横力の変化が小さかったり、飽和したりする状況では、タイヤすべり角が変化してもタイヤ横力がほとんど変化しなくなる。つまり、運動方程式のダイナミクスが小さくなるため、結果的に車体すべり角の推定値の推定精度が低下する。これは、タイヤ横力と、タイヤすべり角との関係が要因のものに限らず、他の要因の場合でも生じる可能性がある。

10

【0006】

本発明の目的は、状況に関係なく車体すべり角推定値の推定精度の低下を抑制できる車体すべり角推定装置を提供することになる。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決する車体すべり角推定装置は、車両の進行方向との間の当該車両の重心点を通る鉛直軸周りの角度である車体すべり角を状態変数とし、前記車両の幅方向に生じている横加速度を含む観測値を持ち、前記車体すべり角を変数に含むモデルに基づき定義される運動方程式を用いて構成された非線形カルマンフィルタを用いて前記車体すべり角の推定値である車体すべり角推定値を演算するものであり、前記運動方程式で定義されるモデルに基づいて、前記車体すべり角推定値を演算する車体すべり角推定値演算部と、前記運動方程式を用いた演算について前記車体すべり角推定値の推定精度を判定するすべり角推定精度判定部と、を備え、前記車体すべり角推定値演算部は、前記すべり角推定精度判定部の判定結果に基づいて、前記運動方程式で定義されるモデルが異なる第1の演算状態と、第2の演算状態とを含む複数の演算状態を有しており、前記第1の演算状態は、前記車体すべり角と、前記車両の前後輪のタイヤに路面から前記車両の前後方向に対して鉛直な幅方向に作用する力であるタイヤ横力とを変数に含むモデルに基づき定義される第1の運動方程式を用いて前記車体すべり角推定値を演算する状態であり、前記第2の演算状態は、前記第1の運動方程式に対して前記タイヤ横力に関する成分を、前記車体すべり角推定値を演算するなかで得られる前記横加速度に関する成分に置き換えて定義される第2の運動方程式を用いて前記車体すべり角推定値を演算する状態であり、前記車体すべり角推定値演算部は、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が高いことが判定される場合に前記第1の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算する一方、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が低いことが判定される場合に前記第2の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するように構成されている。

30

40

【0008】

上記構成によれば、第1の演算状態と、第2の演算状態との間では、車体すべり角推定値を演算するために用いる運動方程式を異ならせることで、車両の走行状態が同一であっても車体すべり角推定値を推定する場合に演算状態毎に異なる推定精度が得られるようになる。この場合、例えば、第1の演算状態で車体すべり角推定値を演算している間に、この推定精度が低下する状況への変化がすべり角推定精度判定部により判定されるのであれば、第2の演算状態で車体すべり角推定値を演算するように演算状態を切り替えて推定精度の低下を抑えたりするように工夫を施すことができる。したがって、状況に関係なく車

50

体すべり角の推定値の推定精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 0 9 】

これを実現する場合、具体的には、前記第 2 の演算状態にて、前記タイヤ横力に関する成分に対して置き換えられる前記横加速度に関する成分は、前記横加速度の推定値である横加速度推定値に関する成分である。

【 0 0 1 0 】

ここで、タイヤ横力と、タイヤすべり角との関係について言えば、当該タイヤすべり角が大きくなるほど、タイヤ横力の変化が小さくなりいずれは飽和するということが知られていることは、上記 [発明が解決しようとする課題] で説明した通りである。

【 0 0 1 1 】

そして、上記車体すべり角推定装置で用いている非線形カルマンフィルタは、現在の状態を推定するために、当該現在に対して前回の状態に基づき現在の状態を予測して事前推定する処理と、当該事前推定を通じて予測した状態を修正するように更新、すなわち補正して事後推定する処理とを行うものである。つまり、非線形カルマンフィルタは、事前推定し、当該事前推定で得られる値からの観測推定値と観測値との差分をフィードバックするかたちで事後推定にて補正し、これを繰り返す結果、より実際の値に近い状態を推定できるようにするものである。

【 0 0 1 2 】

この点、上記第 1 の演算状態では、上述の如くタイヤ横力の変化が飽和してしまうと、事前推定の更新がされ難くなり、事後推定を通じた補正の効果が低下することになる。これは、非線形カルマンフィルタの特徴である事前推定が機能しなくなることを示し、車体すべり角推定値の推定精度を低下させることになる。

【 0 0 1 3 】

これに対して、上記第 2 の演算状態では、タイヤ横力の変化が飽和してしまっても、観測値に含まれる横加速度については微小でも変化があれば観測値から補正される結果、事前推定の更新が好適にされるようになる。これは、非線形カルマンフィルタの特徴である事前推定が機能していることを示し、車体すべり角推定値の推定精度の低下を抑えてある程度の精度で維持できることになる。つまり、上記第 2 の演算状態では、タイヤ横力の変化が飽和している場合、第 1 の演算状態と比較して車体すべり角推定値の推定精度を高く維持することができる。

【 0 0 1 4 】

そこで、上記車体すべり角推定装置において、前記すべり角推定精度判定部は、前記タイヤが生じさせている現在の摩擦力を、前記タイヤが生じさせることのできる最大摩擦力で除算して得られる値で定義されるタイヤグリップ消費率に基づいて、前記タイヤグリップ消費率の大小の間で当該タイヤグリップ消費率が小さくて前記タイヤ横力の変化が飽和していないことを示す場合に前記推定精度が高いことを判定する一方、前記タイヤグリップ消費率の大小の間で当該タイヤグリップ消費率が大きくて前記タイヤ横力の変化が飽和していることを示す場合に前記推定精度が低いことを判定するものであることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

上記構成によれば、タイヤ横力の変化が飽和していない場合、第 1 の演算状態での演算を通じて、車体すべり角推定値の推定精度を確保することができるようになる。一方、タイヤ横力の変化が飽和している場合、第 2 の演算状態での演算を通じて、車体すべり角推定値の推定精度を確保することができる。

【 0 0 1 6 】

なお、上記第 1 の演算状態では、第 1 の運動方程式としてモデル定義やパラメータが適切であれば十分に高い推定精度を確保することができるという特徴がある。一方、上記第 2 の演算状態では、横加速度が適切に観測できていればある程度の推定精度を確保することができる反面、横加速度が車両上で検出されるとともにロールやピッチが考慮、検出されない場合、実際の変化に対して検出が遅れることによる応答遅れやロール角等で誤差が生じ易いという特徴がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

こうした各演算状態の特徴を考慮して、上記車体すべり角推定装置において、前記すべり角推定精度判定部は、前記推定精度を前記車体すべり角推定値のばらつき具合を示す指標に基づいて、前記指標の大小の間で当該指標が小さい場合に前記推定精度が高いことを判定する一方、前記指標の大小の間で当該指標が大きい場合に前記推定精度が低いことを判定するものであり、前記車体すべり角推定値演算部は、前記第 1 の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するなかで、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が高いことが判定される場合に前記第 1 の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算する一方、前記すべり角推定精度判定部にて前記推定精度が低いことが判定される場合に前記第 2 の演算状態で前記車体すべり角推定値を演算するように構成されていることが好ましい。

10

【 0 0 1 8 】

上記構成によれば、第 1 の演算状態での推定を通じて十分に高い推定精度を確保するなかで、当該第 1 の演算状態での推定精度の確保が困難なる状況では、第 2 の演算状態での推定を通じて上述のように応答遅れやロール角等で誤差が生じやすい特徴があるものの、ある程度の推定精度を確保することができるようになる。したがって、状況に関係なく車体すべり角の推定値の推定精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 1 9 】

上記を実現する場合、具体的には、前記観測値として、前記車両に生じている横加速度及びヨーレートと、前記車両の転舵輪を上方から見た場合の転舵の中心のアライニングトルクとを少なくとも含むものである。

20

【 0 0 2 0 】

また、上記車体すべり角推定装置において、前記非線形カルマンフィルタは、拡張カルマンフィルタであることが好ましい。

上記構成によれば、非線形カルマンフィルタとして拡張カルマンフィルタを採用することで、車体すべり角推定装置の汎用性を高める点で効果的である。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本発明の車体すべり角推定装置によれば、状況に関係なく車体すべり角推定値の推定精度の低下を抑制することができる。

【 図面の簡単な説明 】

30

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 第 1 実施形態の車両用制御装置の概略構成図。

【 図 2 】 車体すべり角推定装置の機能を示すブロック図。

【 図 3 】 車体すべり角推定装置が構成する拡張カルマンフィルタの機能を示すブロック図。

【 図 4 】 タイヤグリップ消費率と、事後確率と、演算状態との関係を示す図。

【 図 5 】 タイヤ横力と、タイヤすべり角との関係を示す図。

【 図 6 】 第 2 実施形態の車両用制御装置の概略構成図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 3 】

(第 1 実施形態)

40

以下、車体すべり角推定装置を車両の作動を制御する車両用制御装置に適用した第 1 実施形態を図面に従って説明する。

【 0 0 2 4 】

図 1 に示すように、車両 A は、当該車両 A の作動を制御する車両用制御装置 B を備えている。車両 A は、車両用制御装置 B の制御対象となる操舵装置 1 を備えている。操舵装置 1 は、当該操舵装置 1 の作動を制御する操舵制御装置 2 を備えている。操舵制御装置 2 は、車両用制御装置 B のなかで、車両 A の作動として操舵装置 1 の作動を制御する。操舵装置 1 は、運転者によるステアリングホイール 3 の操作であるステアリング操作に基づいて転舵輪 4 を転舵させる操舵機構 5 を備えている。また、操舵装置 1 は、操舵機構 5 にステアリング操作を補助するためのアシスト力を付与するアクチュエータ 6 を備えている。つ

50

まり、本実施形態において、操舵装置 1 は、運転者によるステアリング操作を補助する電動パワーステアリング装置である。

【 0 0 2 5 】

操舵機構 5 は、ステアリングホイール 3 が固定されるステアリングシャフト 1 1 と、ステアリングシャフト 1 1 に連結された転舵軸であるラック軸 1 2 と、ラック軸 1 2 が往復動可能に挿通されるハウジングであるラックハウジング 1 3 とを備えている。また、操舵機構 5 は、ステアリングシャフト 1 1 の回転をラック軸 1 2 の軸線方向の往復動に変換するラックアンドピニオン機構 1 4 を備えている。なお、ステアリングシャフト 1 1 は、ステアリングホイール 3 が位置する側から順にコラム軸 1 5、中間軸 1 6、及びピニオン軸 1 7 を連結することにより構成されている。

10

【 0 0 2 6 】

ラック軸 1 2 とピニオン軸 1 7 とは、ラックハウジング 1 3 内に所定の交差角をもって配置されている。ラックアンドピニオン機構 1 4 は、ラック軸 1 2 に設けられたラック歯 1 2 a とピニオン軸 1 7 に設けられたピニオン歯 1 7 a とが啮合されることで構成されている。また、ラック軸 1 2 の両端には、その軸端部に設けられたボールジョイントからなるラックエンド 1 8 を介してタイロッド 1 9 がそれぞれ駆動可能に連結されている。タイロッド 1 9 の先端は、転舵輪 4 が組付けられた図示しないナックルに連結されている。したがって、操舵装置 1 では、ステアリング操作に伴うステアリングシャフト 1 1 の回転がラックアンドピニオン機構 1 4 によりラック軸 1 2 の軸方向移動に変換され、この軸方向移動がタイロッド 1 9 を介してナックルに伝達されることにより、転舵輪 4 の転舵角、すなわち車両の進行方向が変更される。

20

【 0 0 2 7 】

アクチュエータ 6 は、駆動源であるモータ 2 1 と、ウォームアンドホイール等の減速機構 2 2 とを備えている。モータ 2 1 は減速機構 2 2 を介してコラム軸 1 5 に連結されている。そして、アクチュエータ 6 は、モータ 2 1 の回転を減速機構 2 2 により減速してコラム軸 1 5 に伝達することによって、モータトルクをアシスト力として操舵機構 5 に付与する。なお、本実施形態のモータ 2 1 には、三相のブラシレスモータが採用されている。

【 0 0 2 8 】

操舵制御装置 2 は、モータ 2 1 に接続されており、その作動を制御する。なお、操舵制御装置 2 は、図示しない中央処理装置 (CPU) やメモリを備えており、所定の演算周期ごとにメモリに記憶されたプログラムを CPU が実行する。これにより、各種の制御が実行される。

30

【 0 0 2 9 】

操舵制御装置 2 には、車両の車速値 V を検出する車速センサ 3 1、及び運転者の操舵によりステアリングシャフト 1 1 に付与された操舵トルク T_h を検出するトルクセンサ 3 2 が接続されている。また、操舵制御装置 2 には、モータ 2 1 の回転角 θ を 360° の範囲内で検出する回転センサ 3 3 が接続されている。なお、操舵トルク T_h 及び回転角 θ は、例えば右方向に操舵した場合に正の値、左方向に操舵した場合に負の値として検出する。そして、操舵制御装置 2 は、これら各センサから入力される車両 A の走行状態によって変化する各状態変数を示す信号に基づいて、モータ 2 1 に駆動電力を供給することにより、アクチュエータ 6 の作動、すなわち操舵機構 5 にラック軸 1 2 を往復動させるべく付与するアシスト力を制御する。

40

【 0 0 3 0 】

また、車両用制御装置 B は、車体すべり角推定装置 4 0、統合制御装置 4 1、警告制御装置 4 2、エンジン制御装置 4 3、及びブレーキ制御装置 4 4 を含んでいる。車体すべり角推定装置 4 0 は、車両用制御装置 B が制御対象の作動を制御する際に最適な制御を行うことができるようにするための情報として、車両 A の前後方向と車両 A の進行方向との間の当該車両 A の重心点を通る鉛直軸周りの角度である車体すべり角 β に関わる情報を各装置 2, 4 1 に対して提供する。本実施形態において、車体すべり角 β に関わる情報は、実際の車体すべり角 β を推定した情報である車体すべり角推定値 β_e である。そして、操舵

50

制御装置 2 は、車体すべり角推定装置 4 0 が提供する車体すべり角推定値 e に基づいて、当該車体すべり角推定値 e が異常であり、車両 A がスリップ等したことを判断できる場合に、その旨を操舵装置 1 のアクチュエータ 6 の制御を通じて運転者に知らせたり、車両 A の走行が安定するようにアシストしたりする。なお、本実施形態において、変数に「 \wedge (ハット)」の記号を付す、又は「 \wedge (ハット)」の記号の替わりに「 e 」を付すことで推定値を表すようにしている。

【0031】

また、統合制御装置 4 1 は、車両用制御装置 B のなかで、上述の操舵制御装置 2 に加えて、警告制御装置 4 2 や、エンジン制御装置 4 3 や、ブレーキ制御装置 4 4 を制御する。そして、統合制御装置 4 1 は、車体すべり角推定装置 4 0 が提供する車体すべり角推定値 e に基づいて、車両 A が安全に走行できるように、操舵制御装置 2 や、警告制御装置 4 2 や、エンジン制御装置 4 3 や、ブレーキ制御装置 4 4 を統合的に制御するための各種指示を行う。

10

【0032】

警告制御装置 4 2 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A の作動として当該車両 A に設けられた各種異常を運転者等に知らせるための図示しない各種の警告装置の作動を制御する。そして、警告制御装置 4 2 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A がスリップ等した旨を警告したりする。

【0033】

また、エンジン制御装置 4 3 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A の作動として当該車両 A に搭載される図示しない内燃機関である、例えばエンジンの作動を制御する。そして、エンジン制御装置 4 3 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A がスリップ等した場合に当該車両 A の走行が安定するようにエンジンの回転数を変更したりする。

20

【0034】

また、ブレーキ制御装置 4 4 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A の作動として当該車両 A に搭載される図示しないブレーキ機構の作動を制御する。そして、ブレーキ制御装置 4 4 は、統合制御装置 4 1 の指示に基づいて、車両 A がスリップ等した場合に当該車両 A の走行が安定するようにブレーキ機構の制動量を変更したりする。

【0035】

ここで、車体すべり角推定装置 4 0 について詳しく説明する。

30

車体すべり角推定装置 4 0 には、車両の車速値 V を検出する車速センサ 3 1 の他、車両 A の重心点を通る上下方向の z 軸周りの回転角速度であるヨーレート r を検出するヨーレートセンサ 3 4 と、車両 A の前後方向に対して鉛直な幅方向である y 軸方向に作用する加速度である横加速度 a_y を検出する横加速度センサ 3 5 とが接続されている。また、車体すべり角推定装置 4 0 には、操舵制御装置 2 に構成される機能であるラック軸力推定装置 3 6 が出力するラック軸力推定値 $R F e$ が入力されるようになっている。ラック軸力推定装置 3 6 は、操舵制御装置 2 で得られる情報に基づいて、ラック軸 1 2 に作用する軸力であるラック軸力を推定した情報であるラック軸力推定値 $R F e$ を演算するオブザーバ等で構成されている。ラック軸力推定装置 3 6 は、ラック軸力推定値 $R F e$ を演算すると、当該ラック軸力推定値 $R F e$ を車体すべり角推定装置 4 0 に対して提供するように出力する。本実施形態において、ラック軸力推定装置 3 6 は、ラック軸力を検出するためのセンサとしての機能を果たす。つまり、車体すべり角推定装置 4 0 には、ラック軸力を検出するためのセンサとして機能するラック軸力推定装置 3 6 が接続されている。そして、車体すべり角推定装置 4 0 は、これら各センサから入力される車両 A の走行状態によって変化する物理量を示す信号を変数として、車体すべり角推定値 e を演算する。

40

【0036】

次に、車体すべり角推定装置 4 0 の機能について説明する。

車体すべり角推定装置 4 0 は、図示しない中央処理装置 (CPU) やメモリを備えており、所定の演算周期ごとにメモリに記憶されたプログラムを CPU が実行する。これによ

50

り、各種の処理が実行される。

【0037】

図2に、車体すべり角推定装置40が実行する処理の一部を示す。図2に示す処理は、メモリに記憶されたプログラムをCPUが実行することで実現される処理の一部を、実現される処理の種類毎に記載したものである。

【0038】

車体すべり角推定装置40は、車体すべり角推定値 e を状態変数に含む推定値の出力である状態推定量 x_e を演算するために必要な観測量 y を演算する観測値演算部51を備えている。また、車体すべり角推定装置40は、状態推定量 x_e を演算するとともに、観測量 y を推定した情報であり、状態推定量 x_e を演算するために必要な観測推定量 y_e を演算する推定値演算部52を備えている。また、車体すべり角推定装置40は、後述の拡張カルマンフィルタでの推定値である状態推定量 x_e の修正量を示すカルマンゲイン K を演算するゲイン演算部53を備えている。

10

【0039】

具体的には、観測値演算部51には、横加速度 a_y と、ヨーレート r と、ラック軸力推定値 RFe とが入力される。観測値演算部51は、ラック軸力推定値 RFe に基づいて、転舵輪4に作用する力であるタイヤ力として当該転舵輪4のキングピン軸周りの力であるキングピントルク $Tkpa$ を演算する。具体的には、観測値演算部51は、タイロッド19の軸方向に作用するタイロッドフォースに近似されるラック軸力推定値 RFe と、車両Aの仕様により定まるナックルアーム長との積により観測値としてのキングピントルク $Tkpa$ を演算する。上記観測値としてのキングピントルク $Tkpa$ は、タイヤ横力と、キャストトレイルとの積に対して、タイヤアライニングトルクを加算したもので近似できることが知られている。そして、観測値演算部51は、横加速度 a_y 、ヨーレート r 、キングピントルク $Tkpa$ を観測値とする3次の観測量 $y[a_y, r, Tkpa]$ (3×1 行列) を演算する。こうして得られた観測量 y は、減算器54に出力される。

20

【0040】

推定値演算部52には、転舵角 t と、車速値 V と、カルマンゲイン K とが入力される。推定値演算部52は、転舵角 t と、車速値 V とを後述の入力量 u として、車体すべり角のダイナミクスモデル、すなわち車体すべり角 e を変数に含むモデルとして、例えば、2輪2自由度平面車両モデルに基づいて、状態推定量 x_e と、観測推定量 y_e とを演算する。なお、転舵角 t は、操舵制御装置2に入力される回転角 m から当該操舵制御装置2内の処理を通じて演算される転舵輪4の舵角の情報である。推定値演算部52は、車体すべり角推定値 e 、ヨーレート r を推定した情報であるヨーレート推定値 re 、実際の路面 μ を推定した情報である路面 μ 推定値 μ_e 、コーナリングステイフネス Ky を推定した情報であるコーナリングステイフネス推定値 Kye を推定値とする4次の状態推定量 $x_e[e, re, \mu_e, Kye]$ (4×1 行列) を演算する。こうして演算された状態推定量 x_e は、車体すべり角推定値 e を示す情報として、各装置2, 41に出力される。本実施形態では、車両Aの作動を制御する際に路面 μ を考慮することができるように路面 μ 推定値 μ_e を状態変数として持つように状態推定量 x_e を設定するようにしている。また、本実施形態では、ヨーレート r をオフセットしたり、各種のノイズを除去したりすることができるようにヨーレート推定値 re を状態変数として持つように状態推定量 x_e に含ませるようにしている。

30

40

【0041】

また、推定値演算部52は、横加速度 a_y を推定した情報である横加速度推定値 aye 、ヨーレート推定値 re 、キングピントルク $Tkpa$ を推定した情報であるキングピントルク推定値 $Tkpa_e$ を推定値とする3次の観測推定量 $y_e[aye, re, Tkpa_e]$ (3×1 行列) を演算する。こうして得られた観測推定量 y_e は、観測量 y から減算して減算器54を通じて得られる観測偏差 y として推定値演算部52での状態推定量 x_e や、事前推定量 x_{-e} の演算に用いられる。

【0042】

50

ゲイン演算部 5 3 には、状態推定量 x_e 、事前推定量 x_{-e} 、及び後述する精度情報 $F L G$ が入力される。ゲイン演算部 5 3 は、状態推定量 x_e 、事前推定量 x_{-e} 、及び後述する精度情報 $F L G$ に基づいて、観測量 y に対する観測推定量 y_e の誤差である観測偏差 y を減らすべく推定値演算部 5 2 が状態推定量 x_e を修正するための修正量を調整する機能を有するカルマンゲイン K を演算する。こうして得られたカルマンゲイン K は、推定値演算部 5 2 に出力される。

【 0 0 4 3 】

そして、本実施形態において、車体すべり角推定装置 4 0 は、状態推定量 x_e を演算する手法として、観測値演算部 5 1、推定値演算部 5 2、及びゲイン演算部 5 3 で非線形カルマンフィルタの一種である拡張カルマンフィルタ $E K F$ を構成し、当該拡張カルマンフィルタ $E K F$ を用いた推定オブザーバを構成している。

10

【 0 0 4 4 】

次に、本実施形態において、車体すべり角推定装置 4 0 が構成する拡張カルマンフィルタ $E K F$ について詳しく説明する。以下の説明では、図 3 中、符号に付す括弧：() は時刻を意味し、ハイフン：- は現在に対して前回の情報に基づき推定した状態であることを意味する。

【 0 0 4 5 】

図 3 に示すように、拡張カルマンフィルタ $E K F$ は、現在の状態推定量 $x_e(k)$ を演算するために、当該現在に対して前回の情報に基づき現在の状態を予測して事前推定する処理と、当該事前推定を通じて予測した状態を修正するように更新、すなわち補正して事後推定する処理とを行う。つまり、拡張カルマンフィルタ $E K F$ は、事前推定し、当該事前推定の結果を事後推定を通じて補正し、これを繰り返す結果、より実際の値に近い状態推定量 x_e を演算できるようにするものである。

20

【 0 0 4 6 】

ここで、拡張カルマンフィルタ $E K F$ は、状態推定量 x_e を演算するのに用いる状態方程式 $f(x, u)$ として、車体すべり角 θ を変数に含むモデルに基づき定義される所定の運動方程式を設定し、当該運動方程式に離散化を施して得られる下記式 (1) を設定している。所定の運動方程式は、例えば、回転角 θ から演算される転舵輪 4 の舵角の情報である転舵角 δ 、車速値 V の 2 次の入力量 $u [\delta, V]$ (2×1 行列) と、車体すべり角 θ 、ヨーレート r 、路面 μ 、コーナリングステイフネス K_y の 4 次の状態量 $x [\theta, r, \mu, K_y]$ とを関係づけるものであればよい。

30

【 0 0 4 7 】

【数 1】

$$x_k = f(x_{k-1}, u_k) + w_k \quad \cdots \text{式 (1)}$$

式 (1) において、状態量 x は、状態方程式 $f(x, u)$ に対して、当該状態方程式 $f(x, u)$ が含むモデルや変数に対して生じる誤差であるシステムノイズ w を加味して得られる結果である。

【 0 0 4 8 】

40

また、拡張カルマンフィルタ $E K F$ は、状態推定量 x_e を演算するのに用いる観測方程式 $h(x, u)$ として、車体すべり角 θ を変数に含むモデルに基づき定義される所定の運動方程式を設定し、当該運動方程式に離散化を施して得られる下記式 (2) を設定している。所定の運動方程式は、例えば、状態量 x 及び入力量 $u [\delta, V]$ (2×1 行列) と、観測量 $y [a_y, r, T_k p a]$ とを関係づけるものであればよい。

【 0 0 4 9 】

【数 2】

$$y_k = h(x_k, u_k) + v_k \quad \cdots \text{式 (2)}$$

50

式(2)において、観測量 y は、観測方程式 $h(x, u)$ に対して、当該観測方程式 $h(x, u)$ が含むうる観測時に生じる誤差である観測ノイズ v を加味して得られる結果である。

【0050】

なお、式(1)及び式(2)を導出する際に用いる離散化の方法としては、積分法や双一次変換等、種々の方法を採用することができる。

そして、拡張カルマンフィルタEKFは、上記式(1)を主に用いて事前推定を行う事前推定処理部Eprと、上記式(1)によって得られる結果が反映される上記式(2)を主に用いて事後推定を行う事後推定処理部Eposとを備えている。事前推定処理部Eprは、現在である時刻「 k 」以前、すなわち当該現在に対して前回である時刻「 $k-1$ 」の状態推定量 $x_e(k-1)$ を基に、当該時刻「 k 」の値を予測した値である事前推定量 $x_e(k)$ と、当該事前推定量 x_e の推定の精度を示す指標である事前確率 P -とを状態方程式 $f(x, u)$ に基づき演算するように事前推定を行う。事後推定処理部Eposは、現在である時刻「 k 」での観測量 $y(k)$ や、観測推定量 y_e や、事前推定処理部Eprが演算した事前確率 P -を基に、事前推定処理部Eprが演算した事前推定量 $x_e(k)$ を補正して時刻「 k 」での状態推定量 $x_e(k)$ を演算するように事後推定を行う。

10

【0051】

具体的には、事前推定処理部Eprは、事前推定量 x_e を演算する事前推定量演算部61と、システムノイズ w のばらつき具合を示す指標としてシステムノイズ分散値 Q を演算するシステムノイズ分散値演算部62と、事前推定量 x_e のばらつき具合を示す指標として事前確率 P -を演算する事前確率演算部63とを備えている。また、事前推定処理部Eprは、状態方程式 $f(x, u)$ を用いた演算について状態推定量 x_e の推定精度の高低を示す情報である精度情報FLGを演算するすべり角推定精度判定部64を備えている。なお、本実施形態では、システムノイズ分散値 Q 、事前確率 P -は共分散行列である。

20

【0052】

事後推定処理部Eposは、観測推定量 y_e を演算する観測推定量演算部71と、カルマンゲイン K を演算するカルマンゲイン演算部72と、観測ノイズ v のばらつき具合を示す指標として観測ノイズ分散値 R を演算する観測ノイズ分散値演算部73とを備えている。また、事後推定処理部Eposは、事後推定量として状態推定量 x_e を演算する事後推定量演算部74と、状態推定量 x_e のばらつき具合を示す指標として事後確率 P を演算する事後確率演算部75とを備えている。なお、本実施形態では、観測ノイズ分散値 R 、事後確率 P は共分散行列である。

30

【0053】

本実施形態において、事前推定処理部Eprの事前推定量演算部61及びすべり角推定精度判定部64と、事後推定処理部Eposの観測推定量演算部71及び事後推定量演算部74とは、図2中、推定値演算部52に対応する。また、事前推定処理部Eprのシステムノイズ分散値演算部62及び事前確率演算部63と、事後推定処理部Eposのカルマンゲイン演算部72、観測ノイズ分散値演算部73、及び事後確率演算部75とは、図2中、ゲイン演算部53に対応する。なお、事前推定量演算部61は車体すべり角推定値演算部の一例である。

40

【0054】

以下、事前推定処理部Eprの機能について説明する。

事前推定量演算部61には、上記事後推定量演算部74で演算された時刻「 k 」に対して時刻「 $k-1$ 」での状態推定量 $x_e(k-1)$ と、時刻「 k 」での入力量 $u(k)$ とが入力される。また、事前推定量演算部61には、上記観測推定量演算部71で演算された時刻「 k 」に対して時刻「 $k-1$ 」での観測推定量 $y_e(k-1)$ と、上記すべり角推定精度判定部64で演算された精度情報FLGとが入力される。なお、精度情報FLGとしては、時刻「 $k-1$ 」での情報として入力されてもよいし、時刻「 k 」での情報として入力されてもよい。事前推定量演算部61は、状態推定量 $x_e(k-1)$ と、入力量 $u(k)$ と、精度情報FLGとに基づいて、上記式(1)で示した状態方程式 $f_n(x, u)$ に

50

よる下記式 (3) , (4) 及び下記式 (3) , (5) のいずれかを用いて、時刻「 k 」での事前推定量 $x-e(k)$ を演算する。

【 0 0 5 5 】

【数 3】

$$\hat{x}_k^- = f_n(\hat{x}_{k-1}, u_k) \quad \dots \text{式 (3)}$$

$$f_1(\hat{x}_{k-1}, u_k) = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_k \\ \hat{r}_k \\ \hat{\mu}_k \\ \hat{R}_{y,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{k-1} + \left(\frac{2}{MV} (F_{yf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, \theta_t, V) \cos(\theta_t) + F_{yr}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, V)) - \hat{r} \right) t_s \\ \hat{r}_{k-1} + \left(\frac{2}{I_z} (l_f F_{yf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, \theta_t, V) \cos(\theta_t) - l_r F_{yr}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, V)) \right) t_s \\ \hat{\mu}_{k-1} \\ \hat{R}_{y,k-1} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (4)}$$

10

$$f_2(\hat{x}_{k-1}, u_k) = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_k \\ \hat{r}_k \\ \hat{\mu}_k \\ \hat{R}_{y,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{k-1} + \left(\frac{a_y}{V} - \hat{r} \right) t_s \\ \hat{r}_{k-1} + \left(\frac{2}{I_z} (l_f F_{yf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, \theta_t, V) \cos(\theta_t) - l_r F_{yr}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \hat{R}_y, V)) \right) t_s \\ \hat{\mu}_{k-1} \\ \hat{R}_{y,k-1} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (5)}$$

上記式 (3) において、「 n 」は上記式 (4) , (5) に対応しており、「 1 」であれば上記式 (4) であること、「 2 」であれば上記式 (5) であることを示す。上記式 (4) , (5) において、「 F y f 」は路面から前輪のタイヤに作用する車両 A の幅方向の力であるタイヤ横力、「 F y r 」は路面から後輪のタイヤに作用する車両 A の幅方向の力であるタイヤ横力、「 M 」は車両重量、「 I z 」は車両のヨー慣性を示す。また、上記式 (4) において、「 l f 」は車両重心から前輪の車軸までの車両の前後方向距離である前輪ホイールベース、「 l r 」は車両重心から後輪の車軸までの車両の前後方向距離である後輪ホイールベースを示す。タイヤ横力 F y f , F y r の関数は、車両 A の前後方向とタイヤ進行方向との間の転舵輪 4 の重心点を通る鉛直軸周りの角度である前後輪のタイヤのタイヤすべり角 δ_f , δ_r と、タイヤ横力 F y f , F y r とを関係づける、車体すべり角 δ を変数に含む、例えば、公知の F i a l a モデルや B r u s h モデルや M a g i c f o r m u l a (M F) モデル等である。上記式 (4) , (5) において、タイヤ横力 F y f , F y r の関数のうち、状態推定量 x_e 及び入力量 u の時刻やハイフンについては便宜上省略している。

20

30

【 0 0 5 6 】

本実施形態において、第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ は、車体すべり角 δ と、タイヤ横力 F y f , F y r とを変数に含む、公知の 2 輪 2 自由度平面車両モデルに基づき定義される第 1 の運動方程式に離散化を施したものである。また、第 2 の状態方程式 $f_2(x, u)$ は、第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ に対してタイヤ横力 F y f , F y r に関する成分である当該タイヤ横力 F y f , F y r を車両重量 M で除算したものを、横加速度 a_y に関する成分である横加速度推定値 a_{ye} に置き換えて定義される第 2 の運動方程式に離散化を施したものである。なお、横加速度推定値 a_{ye} は、状態推定量 x_e 、すなわち車体すべり角推定値 δ_e を演算するなかで観測推定量 y_e として得られる。

40

【 0 0 5 7 】

また、タイヤ横力 F y f , F y r の関数で用いるタイヤすべり角 δ_f , δ_r は、車体すべり角 δ 、各ホイールベース l_f , l_r 、ヨーレート r 、転舵角 θ_t 、車速値 V との関係を定義する下記式 (6) , (7) を用いて演算される。

【 0 0 5 8 】

【数 4】

50

$$\alpha_f = \beta + \frac{l_{fr}}{v} - \theta_t \quad \dots \text{式 (6)}$$

$$\alpha_r = \beta - \frac{l_{rr}}{v} \quad \dots \text{式 (7)}$$

本実施形態において、事前推定量演算部 6 1 は、精度情報 F L G に基づいて、当該精度情報 F L G で示される状況に応じて、上記第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ 及び上記第 2 の状態方程式 $f_2(x, u)$ を切り替えて、いずれかの状態方程式 $f_n(x, u)$ に基づき事前推定量 $x_e(k)$ を演算する。なお、状態方程式 $f_n(x, u)$ を切り替える条件である精度情報 F L G については後で詳しく説明する。こうして得られた事前推定量 $x_e(k)$ は、観測推定量演算部 7 1、カルマンゲイン演算部 7 2、及び事後推定量演算部 7 4 に出力される。本実施形態において、事前推定量演算部 6 1 は車体すべり角推定値演算部の一例である。

10

【0059】

システムノイズ分散値演算部 6 2 には、上記事前推定量演算部 6 1 に入力されたのと同様の状態推定量 $x_e(k-1)$ が入力される。システムノイズ分散値演算部 6 2 は、状態推定量 $x_e(k-1)$ に基づいて、下記式 (8)、(9)、(10) を用いて、時刻「 $k-1$ 」でのシステムノイズ分散値 $Q(k-1)$ を演算する。

【0060】

【数 5】

20

$$Q_{k-1} \stackrel{\text{def}}{=} F_{k-1} Q_{x,k-1} F_{k-1}^T \quad \dots \text{式 (8)}$$

$$F_{k-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{n,1}}{\partial \beta} & \frac{\partial f_{n,1}}{\partial r} & \frac{\partial f_{n,1}}{\partial \mu} & \frac{\partial f_{n,1}}{\partial K_y} \\ \frac{\partial f_{n,2}}{\partial \beta} & \frac{\partial f_{n,2}}{\partial r} & \frac{\partial f_{n,2}}{\partial \mu} & \frac{\partial f_{n,2}}{\partial K_y} \\ \frac{\partial f_{n,3}}{\partial \beta} & \frac{\partial f_{n,3}}{\partial r} & \frac{\partial f_{n,3}}{\partial \mu} & \frac{\partial f_{n,3}}{\partial K_y} \\ \frac{\partial f_{n,4}}{\partial \beta} & \frac{\partial f_{n,4}}{\partial r} & \frac{\partial f_{n,4}}{\partial \mu} & \frac{\partial f_{n,4}}{\partial K_y} \end{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \quad \dots \text{式 (9)}$$

$$Q_{x,k-1} = \text{diag}([\sigma_\beta^2 \quad \sigma_r^2 \quad \sigma_\mu^2 \quad \sigma_{K_y}^2]) = \begin{bmatrix} \sigma_\beta^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_r^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\mu^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{K_y}^2 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 (10)}$$

30

上記式 (8) は、上記式 (10) で得られるシステムノイズ分散値 $Q_x(k-1)$ に上記式 (9) で示す状態量 x に関連するヤコビアン $F(k-1)$ を用いた線形近似を施して得られるものをシステムノイズ分散値 $Q(k-1)$ と定義することを示す。上記式 (10) は、車体すべり角推定値 e を含む状態推定量 x_e のばらつき具合を示す指標としてシステムノイズ分散値 $Q_x(k-1)$ 、すなわち、車体すべり角推定分散値 ()²、ヨーレート推定分散値 (r)²、路面 μ 推定分散値 (μ)²、コーナリングスティフネス推定分散値 (K_y)² を定義して演算することを示す。

40

【0061】

こうして得られたシステムノイズ分散値 $Q(k-1)$ は、事前確率演算部 6 3 に出力される。

事前確率演算部 6 3 には、上記事前推定量演算部 6 1 に入力されたのと同様の状態推定量 $x_e(k-1)$ と、上記システムノイズ分散値演算部 6 2 で演算されるシステムノイズ分散値 $Q(k-1)$ と、事後確率演算部 7 5 で演算される時刻「 $k-1$ 」での事後確率 $P(k-1)$ とが入力される。事前確率演算部 6 3 は、状態推定量 $x_e(k-1)$ と、システムノイズ分散値 $Q(k-1)$ と、事後確率 $P(k-1)$ とに基づいて、下記式 (11)

50

を用いて、時刻「k」での事前確率 P-(k) を演算する。

【0062】

【数6】

$$P_k^- = F_{k-1} P_{k-1} F_{k-1}^T + Q_{k-1} \dots \text{式 (11)}$$

上記式(11)は、事後確率 P(k-1) に対して、上記式(9)で示す状態推定量 x e (k-1) 周りでのヤコビアン F(k-1) を用いた線形近似を施したものと、上記式(8)で示すシステムノイズ分散値 Q(k-1) とを加算して事前確率 P-(k) を演算することを示す。

10

【0063】

こうして得られた事前確率 P-(k) は、カルマンゲイン演算部72及び事後確率演算部75に出力される。

すべり角推定精度判定部64には、上記事後推定量演算部74で演算された状態推定量 x e (k) と、上記事後確率演算部75で演算された事後確率 P(k) とが入力される。すべり角推定精度判定部64は、状態推定量 x e (k) と、事後確率 P(k) とに基づいて、精度情報 FLG を演算する。なお、精度情報 FLG の演算の仕方については後で詳しく説明する。

【0064】

このように、事前推定処理部 E p r i は、事前推定量 x-e を推定するが、当該事前推定量 x-e には上記式(1)で示したようにモデルや変数に対して生じる誤差が含まれているので、その影響で事前推定量 x-e の推定の精度がどの程度になるか事前確率 P-として演算しておくものである。

20

【0065】

次に、事後推定処理部 E p o s の機能について説明する。

観測推定量演算部71には、上記事前推定量演算部61で演算された事前推定量 x-e (k) と、上記事前推定量演算部61に入力されたのと同様の入力量 u (k) とが入力される。観測推定量演算部71は、事前推定量 x-e (k) と、入力量 u (k) とに基づいて、上記式(2)で示した観測方程式 h (x, u) による下記式(12), (13)を用いて、時刻「k」での観測推定量 y e (k) を演算する。

30

【0066】

【数7】

$$\hat{y}_k = h(\hat{x}_k^-, u_k) \dots \text{式 (12)}$$

$$h(\hat{x}_k^-, u_k) = \begin{bmatrix} \hat{a}_{y,k} \\ \hat{r}_k \\ \hat{t}_{kpa,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{M} (F_{yf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \theta_t, V) \cos(\theta_t) + F_{yr}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, V)) \\ r \\ 2(M_{zf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \theta_t, V) - F_{yf}(\hat{\beta}, \hat{r}, \hat{\mu}, \theta_t, V) t_{caster}) \end{bmatrix} \dots \text{式 (13)}$$

本実施形態において、観測方程式 h (x, u) は、事前推定量 x-e (k) 及び入力量 u (k) と、観測推定量 y e である横加速度推定値 a y e、ヨーレート推定値 r e、キングピントルク T k p a とを関係づける運動方程式に離散化を施したものである。上記式(13)において、タイヤ横力 F y f, F y r の関数は、上記式(4)、(5)と同様、車体すべり角 を変数に含む、例えば、公知の F i a l a モデルや B r u s h モデルや M a g i c f o r m u l a (M F) モデル等である。なお、タイヤ横力 F y f, F y r の関数のうち、状態推定量 x e 及び入力量 u の時刻やハイフンについては便宜上省略している。上記式(13)において、「M z f」はフロントタイヤのセルフアライニングトルク、「t c a s t e r」はキャストトレイルを示す。

40

【0067】

こうして得られた観測推定量 y e (k) は、前回値保持部76を通じて時刻「k-1」

50

で保持された前回の情報である観測推定量 $y_e(k-1)$ として事前推定量演算部 6 1 に出力される。また、観測推定量 $y_e(k)$ は、観測値演算部 5 1 で演算された観測量 y から減算して減算器 7 7 を通じて得られる時刻「 k 」での観測偏差 $y(k)$ として事後推定量演算部 7 4 に出力される。

【0068】

カルマンゲイン演算部 7 2 には、上記事前推定量演算部 6 1 で演算された事前推定量 $x_e(k)$ と、上記事前確率演算部 6 3 で演算された事前確率 $P(k)$ と、観測ノイズ分散値演算部 7 3 で演算された観測ノイズ分散値 $R(k)$ とが入力される。観測ノイズ分散値 R は、本実施形態では予め定められた定数である。カルマンゲイン演算部 7 2 は、事前推定量 $x_e(k)$ と、事前確率 $P(k)$ と、観測ノイズ分散値 $R(k)$ とに基づいて、下記式 (14)、(15) を用いて、時刻「 k 」でのカルマンゲイン $K(k)$ を演算する。

10

【0069】

【数 8】

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad \dots \text{式 (14)}$$

$$H_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial \beta} & \frac{\partial h_1}{\partial r} & \frac{\partial h_1}{\partial \mu} & \frac{\partial h_1}{\partial K_y} \\ \frac{\partial h_2}{\partial \beta} & \frac{\partial h_2}{\partial r} & \frac{\partial h_2}{\partial \mu} & \frac{\partial h_2}{\partial K_y} \\ \frac{\partial h_3}{\partial \beta} & \frac{\partial h_3}{\partial r} & \frac{\partial h_3}{\partial \mu} & \frac{\partial h_3}{\partial K_y} \end{bmatrix}_{\hat{x}_k^-} \quad \dots \text{式 (15)}$$

20

上記式 (14) は、上記式 (15) で示す状態量 x に関連する事前推定量 $x_e(k)$ 周りでヤコビアン $H(k)$ を用いた線形近似を施してカルマンゲイン K を演算することを示す。つまり、カルマンゲイン K は、ヤコビアン $H(k)$ の転置行列が乗算される結果、状態推定量 x_e と同次元での修正量を定数化するように線形近似が施されている。

【0070】

こうして得られたカルマンゲイン $K(k)$ は、事後推定量演算部 7 4 及び事後確率演算部 7 5 に出力される。

事後推定量演算部 7 4 には、上記事前推定量演算部 6 1 で演算された事前推定量 $x_e(k)$ と、観測偏差 $y(k)$ と、上記カルマンゲイン演算部 7 2 で演算されたカルマンゲイン $K(k)$ とが入力される。事後推定量演算部 7 4 は、事前推定量 $x_e(k)$ と、観測偏差 $y(k)$ と、カルマンゲイン $K(k)$ とに基づいて、下記式 (16) を用いて、時刻「 k 」での状態推定量 $x_e(k)$ を演算する。

30

【0071】

【数 9】

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (y_k - \hat{y}_k) \quad \dots \text{式 (16)}$$

上記式 (16) において、「 $y(k) - \hat{y}(k)$ 」は、観測偏差 $y(k)$ を示す。

40

【0072】

こうして得られた状態推定量 $x_e(k)$ は、前回値保持部 7 8 を通じて時刻「 $k-1$ 」で保持された前回の情報である状態推定量 $x_e(k-1)$ として事前推定量演算部 6 1 に出力される。また、状態推定量 $x_e(k)$ は、すべり角推定精度判定部 6 4 及び各装置 2, 4 1 に出力される。

【0073】

事後確率演算部 7 5 には、上記事前確率演算部 6 3 で演算される事前確率 $P(k)$ と、上記カルマンゲイン演算部 7 2 で演算されるカルマンゲイン $K(k)$ とが入力される。事後確率演算部 7 5 は、事前確率 $P(k)$ と、カルマンゲイン $K(k)$ とに基づいて、下記式 (17) を用いて、時刻「 k 」での事後確率 $P(k)$ を演算する。

50

【 0 0 7 4 】

【 数 1 0 】

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad \dots \text{式 (1 7)}$$

上記式 (1 7) 中の「 I 」は単位行列を示す。上記式 (1 7) は、事前確率 $P^-(k)$ に対して、上記式 (1 5) で示す状態量 x に関連する事前推定量 $x-e(k)$ 周りでのヤコビアン $H(k)$ を用いた線形近似を施して事後確率 $P(k)$ を演算することを示す。この場合、カルマンゲイン $K(k)$ は、ヤコビアン $H(k)$ が乗算される結果、状態推定量 x_e と同次元での修正量を示すように線形近似が施されている。

10

【 0 0 7 5 】

こうして得られた事後確率 $P(k)$ は、前回値保持部 7 9 を通じて時刻「 $k - 1$ 」で保持された前回の情報である事後確率 $P(k - 1)$ として事前確率演算部 6 3 及びすべり角推定精度判定部 6 4 に出力される。

【 0 0 7 6 】

このように、事後推定処理部 E p o s は、観測偏差 y に基づき演算するカルマンゲイン K を用いて状態推定量 x_e を補正するとともに、当該状態推定量 x_e を補正する結果で状態推定量 x_e の推定の精度がどの程度になるか事後確率 P として演算しておくものである。

【 0 0 7 7 】

ここで、すべり角推定精度判定部 6 4 の機能について詳しく説明する。
すべり角推定精度判定部 6 4 は、精度情報 F L G を演算する際に、タイヤグリップ消費率 T G C、又は事後確率 P に基づいて、状態方程式 $f_n(x, u)$ を用いた演算について状態推定量 x_e の推定精度の高低を判定するように構成されている。タイヤグリップ消費率 T G C は、タイヤ横力 $F_y f, F_y r$ の変化が飽和しているか否かを示す指標となるものである。事後確率 P は、状態推定量 x_e のばらつき具合を示す指標となるものである。本実施形態では、状態推定量 x_e の推定精度の高低を判定する際に、事後確率 P として、特に前回の情報である事後確率 $P(k - 1)$ を用いるようにしている。

20

【 0 0 7 8 】

具体的には、すべり角推定精度判定部 6 4 は、タイヤが生じさせている現在の摩擦係数 μ_{used} と、当該タイヤで生じさせることのできる最大摩擦係数 μ_{max} とに基づいて、下記式 (1 8) を用いて、タイヤグリップ消費率 T G C を演算する。

30

【 0 0 7 9 】

【 数 1 1 】

$$TGC = \frac{\mu_{used}}{\mu_{max}} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{\hat{\mu} F_z} \quad \dots \text{式 (1 8)}$$

上記式 (1 8) において、「 F_x 」は路面から前後輪のタイヤに作用する車両 A の前後方向の力であるタイヤ前後力、「 F_z 」は前後輪のタイヤに作用する車両 A の上下方向の力であるタイヤ垂直荷重を示す。なお、本実施形態では、上記式 (1 8) において、「 F_x 」は零値とする。また、上記式 (1 8) において、タイヤ荷重 F_z は、車両重量 M と、各ホイールベース l_f, l_r との公知の関係を用いて演算される。また、上記式 (1 8) において、タイヤ横力 $F_y f, F_y r$ は、上記式 (1 3) の過程にて演算されるものを用いる。

40

【 0 0 8 0 】

そして、すべり角推定精度判定部 6 4 は、上記事後推定量演算部 7 4 で演算される状態推定量 x_e に基づいて、タイヤグリップ消費率 T G C を演算し、当該タイヤグリップ消費率 T G C に応じた精度情報 F L G を演算する。この場合、精度情報 F L G は、タイヤグリップ消費率 T G C が判定閾値 T G C t h 未満であれば、タイヤ横力 $F_y f, F_y r$ の変化

50

が飽和していない状態を示し、状態推定量 x_e の推定精度が高いことを示す情報として演算される。また、精度情報 FLG は、タイヤグリップ消費率 TGC が判定閾値 TGC_{th} 以上であれば、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和している状態を示し、状態推定量 x_e の推定精度が低いことを示す情報として演算される。判定閾値 TGC_{th} は、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和していることを判定できるとして実験的に求められる範囲の値に設定されている。

【0081】

また、すべり角推定精度判定部 64 は、上記事後確率演算部 75 で演算される事後確率 $P(k)$ の前回の情報である事後確率 $P(k-1)$ に応じた精度情報 FLG を演算する。この場合、精度情報 FLG は、事後確率 $P(k-1)$ の共分散行列の各対角成分のいずれもが判定閾値 P_{th} 未満であれば、状態推定量 x_e のばらつき具合、すなわち誤差が許容できるほど小さい状態を示し、状態推定量 x_e の推定精度が高いことを示す情報として演算される。また、精度情報 FLG は、事後確率 $P(k-1)$ の共分散行列の各対角成分の少なくともいずれかが判定閾値 P_{th} 以上であれば、状態推定量 x_e のばらつき具合、すなわち誤差が許容できないほど大きい状態を示し、状態推定量 x_e の推定精度が低いことを示す情報として演算される。判定閾値 P_{th} は、状態推定量 x_e のばらつき具合、すなわち誤差が許容できないほど大きいことを判定できるとして実験的に求められる範囲の値に設定されている。

10

【0082】

こうして得られた精度情報 FLG は、事前推定量演算部 61 及びシステムノイズ分散値演算部 62 にて状態方程式 $f_n(x, u)$ の切り替えに用いられる。

20

具体的には、事前推定量演算部 61 は、精度情報 FLG に基づいて、状態推定量 x_e の推定精度が高いことを特定できる場合、状態方程式 $f_n(x, u)$ として第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ を用いた演算を行う。この場合の演算状態は、第 1 の演算状態の一例である。

【0083】

また、事前推定量演算部 61 は、精度情報 FLG に基づいて、状態推定量 x_e の推定精度が低いことを特定できる場合、状態方程式 $f_n(x, u)$ として第 2 の状態方程式 $f_2(x, u)$ を用いた演算を行う。この場合の演算状態は、第 2 の演算状態の一例である。

【0084】

以下、本実施形態の作用を説明する。

30

本実施形態によれば、第 1 の演算状態と、第 2 の演算状態との間では、車体すべり角推定値を演算するために用いる状態方程式 $f_n(x, u)$ を異ならせることで、車両の走行状態が同一であっても状態推定量 x_e 、すなわち車体すべり角推定値 e を推定する場合に演算状態毎に異なる推定精度が得られるようになる。

【0085】

本実施形態では、第 1 の演算状態で車体すべり角推定値 e を演算している間に、この推定精度が低下する状況への変化がすべり角推定精度判定部 64 により判定されるのであれば、第 2 の演算状態で車体すべり角推定値 e を演算するように演算状態を切り替えて推定精度の低下を抑えることができるように工夫を施している。

40

【0086】

具体的には、図 4 に示すように、状態推定量 x_e の演算では、すべり角推定精度判定部 64 の判定に基づいて、第 1 の演算状態及び第 2 の演算状態を切り替えるようにしている。

【0087】

例えば、すべり角推定精度判定部 64 が、タイヤグリップ消費率 TGC が判定閾値 TGC_{th} 未満（図中、「小（未飽和）」）、且つ事後確率 $P(k-1)$ の対角成分のいずれもが判定閾値 P_{th} 未満（図中、「小（誤差小）」）であることを判定する場合、第 1 の演算状態で状態推定量 x_e を演算する。この場合、車体すべり角推定値 e の演算では、第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ に基づきタイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} を車両重量 M で除算したものが用いられることになる。

50

【 0 0 8 8 】

ここで、すべり角推定精度判定部 6 4 が、タイヤグリップ消費率 TGC が判定閾値 TGC_{th} 未満、且つ事後確率 $P(k-1)$ の対角成分の少なくともいずれかが判定閾値 P_{th} 以上（図中、「大（誤差大）」）であることを判定すると、第 1 の演算状態から第 2 の演算状態で状態推定量 x_e を演算する状態に切り替わる。この場合、車体すべり角推定値 e の演算では、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} を車両重量 M で除算したものの代わりに第 2 の状態方程式 $f_2(x, u)$ に基づき横加速度推定値 a_{ye} が用いられることになる。これは、すべり角推定精度判定部 6 4 が、タイヤグリップ消費率 TGC が判定閾値 TGC_{th} 以上（図中、「大（飽和）」）、且つ事後確率 $P(k-1)$ の対角成分のいずれもが判定閾値 P_{th} 未満であることを判定する場合も同様である。また、すべり角推定精度判定部 6 4 が、タイヤグリップ消費率 TGC が判定閾値 TGC_{th} 以上、且つ事後確率 $P(k-1)$ の対角成分の少なくともいずれかが判定閾値 P_{th} 以上であることを判定する場合も同様である。

10

【 0 0 8 9 】

以下、本実施形態の効果を説明する。

(1) 本実施形態では、状態推定量 x_e 、すなわち車体すべり角推定値 e を推定する推定精度に応じて、状態方程式 $f_n(x, u)$ を切り替えるように演算状態を切り替えて推定精度の低下を抑えることができるように工夫を施しているため、状況に関係なく車体すべり角推定値 e の推定精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 9 0 】

(2) ここで、図 5 に示すように、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} と、タイヤすべり角 δ との関係について言えば、当該タイヤすべり角 δ が大きくなるほど、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が小さくなり、図中、路面 $\mu_0 \sim \mu_4$ 毎に対応する角度 $\theta_0 \sim \theta_4$ 以上でそれぞれ飽和するということが知られている。

20

【 0 0 9 1 】

そして、車体すべり角推定装置 4 0 で用いている拡張カルマンフィルタ EKF は、現在の状態を推定するために、当該現在に対して前回の状態に基づき現在の状態を予測して事前推定する処理と、当該事前推定を通じて予測した状態を修正するように更新、すなわち補正して事後推定する処理とを行うものである。つまり、拡張カルマンフィルタ EKF は、事前推定し、当該事前推定で得られる値からの観測推定値と観測値との差分をフィードバックするかたちで事後推定にて補正し、これを繰り返す結果、より実際の値に近い状態を推定できるようにするものである。

30

【 0 0 9 2 】

この点、第 1 の演算状態では、上述の如くタイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和してしまうと、事前推定の更新がされ難くなり、事後推定を通じた補正の効果が低下することになる。これは、拡張カルマンフィルタ EKF の特徴である事前推定が機能しなくなること示し、車体すべり角推定値 e の推定精度を低下させることになる。

【 0 0 9 3 】

これに対して、第 2 の演算状態では、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和してしまっても、観測量 y に含まれる横加速度 a_y については微小でも変化があれば観測値として補正される結果、事前推定の更新が好適にされるようになる。これは、拡張カルマンフィルタ EKF の特徴である事前推定が機能していることを示し、車体すべり角推定値 e の推定精度の低下を抑えてある程度の精度で維持できることになる。つまり、第 2 の演算状態では、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和している場合、第 1 の演算状態と比較して車体すべり角推定値 e の推定精度を高く維持することができる。

40

【 0 0 9 4 】

これにより、本実施形態によれば、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和していない場合、第 1 の演算状態での演算を通じて、車体すべり角推定値 e の推定精度を確保することができるようになる。一方、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} の変化が飽和している場合、第 2 の演算状態での演算を通じて、車体すべり角推定値 e の推定精度を確保することが

50

できる。

【 0 0 9 5 】

(3) 本実施形態において、第 1 の演算状態では、第 1 の状態方程式 $f_1(x, u)$ としてモデル定義やパラメータが適切であれば十分に高い推定精度を確保することができるという特徴がある。一方、第 2 の演算状態では、横加速度 a_y が適切に観測出来ていればある程度の推定精度を確保することができる反面、横加速度 a_y が車両 A 上で検出されるとともにロールやピッチが考慮、検出されない場合、実際の変化に対して検出が遅れることによる応答遅れやロール角等で誤差が生じ易いという特徴がある。

【 0 0 9 6 】

本実施形態では、こうした各演算状態の特徴を考慮して、生じ得る状況での演算状態を定めるようにしている。これにより、第 1 の演算状態での推定を通じて基本的に十分に高い推定精度を確保するなかで、当該第 1 の演算状態での推定精度の確保が困難なる状況では、第 2 の演算状態での推定を通じて上述のように応答遅れやロール角等で誤差が生じやすい特徴があるものの、ある程度の推定精度を確保することができるようになる。したがって、状況に関係なく車体すべり角推定値 e の推定精度の低下を抑制することができる。

10

【 0 0 9 7 】

(4) 本実施形態では、非線形カルマンフィルタとして拡張カルマンフィルタを採用することで、車体すべり角推定装置 4 0 の汎用性を高める点で効果的である。

(第 2 実施形態)

次に、車体すべり角推定装置の第 2 実施形態について説明する。なお、既に説明した実施形態と同一構成等は、同一の符号を付す等して、その重複する説明を省略する。

20

【 0 0 9 8 】

図 6 に示すように、本実施形態の操舵制御装置 1 0 1 は、上記第 1 実施形態で備えていたラック軸力推定装置 3 6 を備えないものである。そして、本実施形態の操舵装置 1 は、各種のセンサとして、ハブユニットセンサ 3 7 (図 1 中、左側の左前輪センサ 3 7 L 及び右側の右前輪センサ 3 7 R) がある。左前輪センサ 3 7 L は、左前ハブユニット H L に設けられている。右前輪センサ 3 7 R は、右前ハブユニット H R に設けられている。左前輪センサ 3 7 L は、左側の転舵輪 4 の回転速度である車輪速を検出する他、路面と、左側の転舵輪 4 との間に発生する力として、当該転舵輪 4 に作用する力を検出する。右前輪センサ 3 7 R は、右側の転舵輪 4 の回転速度である車輪速を検出する他、路面と、右側の転舵輪 4 との間に発生する力として、当該転舵輪 4 に作用する力を検出する。

30

【 0 0 9 9 】

ここで、一例として、ハブユニット (例えば、特開 2 0 0 9 - 1 3 3 6 8 0 号公報参照) に設けられる各前輪センサ 3 7 R , 3 7 L について詳しく説明する。

図 6 に示すように、ハブユニットセンサ 3 7 は、転舵輪 4 を、車載される内燃機関の動力を伝達する図示しないドライブシャフトとともに車体に対して回転自在に支持する軸受装置としての各ハブユニット H L , H R に内蔵されている。つまり、本実施形態の各ハブユニット H L , H R は、路面と、転舵輪 4 との間に発生する力として、当該転舵輪 4 に作用する力を直接的に検出することができるセンサ機能付きのハブユニットである。

40

【 0 1 0 0 】

左前輪センサ 3 7 L は、左側の転舵輪 4 に作用する力に基づいて、車両 A の前後方向である x 軸方向の荷重 F_x 、車両 A の幅方向である y 軸方向の荷重 F_y 、車両 A の上下方向である z 軸方向の荷重 F_z 、 x 軸回りのモーメント荷重 M_x 、 z 軸回りのモーメント荷重 M_z をそれぞれ演算する。これは、右前輪センサ 3 7 R についても同様であり、各前輪センサ 3 7 L , 3 7 R の間で、各種荷重 F_x , F_y , F_z , M_x , M_z の正負の方向が一致している。これら各種荷重 F_x , F_y , F_z , M_x , M_z (単位 : N (ニュートン) もしくは Nm (ニュートンメートル)) は、車両の車速等の走行状態に応じて変化するものであり、車速等の要素も含む成分である。

【 0 1 0 1 】

本実施形態において、各前輪センサ 3 7 L , 3 7 R は、転舵輪 4 において検出される y

50

軸方向の荷重 F_y を示す情報であるタイヤ横力 F_{yf} と、 z 軸回りの荷重 M_z を示す情報である前輪の前輪モーメント荷重 M_{zf} とを車体すべり角推定装置 102 に対して出力する。

【0102】

すなわち、本実施形態の車体すべり角推定装置 102 には、ラック軸力推定装置 36 が出力するラック軸力推定値 R_{Fe} が入力される代わりに、転舵輪 4 に設けられたハブユニットセンサ 37 から得られるタイヤ横力 F_{yf} 及び前輪モーメント荷重 M_{zf} が入力されるようになっている。つまり、車体すべり角推定装置 102 は、転舵輪 4 に設けられたハブユニットセンサ 37 から入力されるタイヤ横力 F_{yf} 及び前輪モーメント荷重 M_{zf} に基づいて、観測量 y のキングピントルク T_{kpa} を演算する。

10

【0103】

本実施形態によれば、上記第 1 実施形態の作用及び効果に対応する作用及び効果を奏する他、以下の効果を奏する。

(5) 本実施形態のように、観測量 y を演算する際にラック軸力推定装置 36 が出力するラック軸力推定値 R_{Fe} の代わりに、転舵輪 4 に設けられたハブユニットセンサ 37 から得られるタイヤ横力 F_{yf} 及び前輪モーメント荷重 M_{zf} を用いる場合、キングピントルク T_{kpa} としてより精度の高い値を得ることができるようになる。したがって、車体すべり角推定値 e の推定精度を高めるのに効果的である。

【0104】

上記各実施形態は次のように変更してもよい。また、以下の他の実施形態は、技術的に矛盾しない範囲において、互いに組み合わせることができる。

20

・上記各実施形態では、演算状態に応じてシステムノイズ分散値 Q を設定し、演算状態の切り替えに応じてシステムノイズ分散値 Q を切り替えるようにすることもできる。

【0105】

・上記各実施形態において、すべり角推定精度判定部 64 は、状態推定量 x_e の推定精度の高低を判定する際に、事後確率 $P(k-1)$ の代わりに、今回の事後確率 $P(k)$ を用いるようにしたり、今回や前回の事前確率 $P-$ や、システムノイズ分散値 Q を用いるようにしたりしてもよい。

【0106】

・上記各実施形態では、事後確率 P を用いて車体すべり角 e についての推定精度を少なくとも判定できるように構成されていればよく、事前確率 $P-$ として少なくとも車体すべり角推定分散値 $(\quad)^2$ を演算するように構成されていればよい。

30

【0107】

・各実施形態において、第 2 の演算状態では、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} に関する成分を横加速度推定値 a_{ye} で置き換える代わりに、観測値である横加速度 a_y で置き換えるようにしてもよい。

【0108】

・上記第 1 実施形態において、車体すべり角推定装置 40 は、すべり角推定精度判定部 64 の判定の結果に関係なくとりあえず各演算状態のもとで事前推定量 $x-e$ やシステムノイズ分散値 Q をそれぞれ演算しておくなかで、状態推定量 x_e を実際に演算する際にすべり角推定精度判定部 64 の判定の結果に応じた値を選択する構成としてもよい。これは、第 2 実施形態の車体すべり角推定装置 102 についても同様である。

40

【0109】

・上記各実施形態において、すべり角推定精度判定部 64 は、状態推定量 x_e の推定精度の高低を判定する際に、タイヤグリップ消費率 TGC の代わりに、例えば、スリップ率等を用いるようにしてもよい。

【0110】

・上記各実施形態において、タイヤグリップ消費率 TGC の路面 μ は前回の状態推定量 x_e や、今回や前回の事前推定量 $x-e$ 、タイヤ横力 F_{yf} , F_{yr} は前回の観測推定量 y_e や、観測量 y 等を用いて演算されるものであってもよい。

50

【0111】

・上記各実施形態において、すべり角推定精度判定部64は、状態推定量 x_e の推定精度の高低を判定する際に、タイヤグリップ消費率 TGC 又は事後確率 $P(k-1)$ のいずれかのみに基づき判定する構成であったり、他の条件を追加して判定する構成であったり適宜変更可能である。

【0112】

・上記各実施形態では、すべり角推定精度判定部64を、タイヤグリップ消費率 TGC に基づき推定精度を判定するタイヤグリップ状態判定部と、事後確率 $P(k-1)$ に基づき推定精度を判定する事後確率判定部とに機能を分けることもできる。この場合、例えば、タイヤグリップ状態判定部は事後推定処理部 $Epos$ の機能の一部として実現したり、事後確率判定部は事前推定処理部 $Epri$ の機能の一部やゲイン演算部53の機能の一部として実現したり適宜設計可能である。

10

【0113】

・上記各実施形態では、状態方程式 $f_n(x)$ として、車体すべり角 を変数に含むモデルに基づいたものであればよく、例えば、より多自由度の車両モデルを用いることもできる。この場合、入力量 $u(k)$ は、用いるモデルに基づいた変数を入力とするように変更される。

【0114】

・上記各実施形態では、状態方程式 $f_n(x)$ のなかでタイヤ横力 Fyf, Fyr の関数として、車体すべり角 を変数に含むモデルに基づいたものであればよく、より複雑なモデルを用いることもできる。

20

【0115】

・上記各実施形態において、状態方程式 $f_n(x, u)$ は、少なくとも2種類の式を用意していればよく、式の種類としては3種類以上適宜変更してもよい。

・上記各実施形態では、観測方程式 $h(x)$ として、車体すべり角 を変数に含むモデルに基づいたものであればよく、より複雑なモデルを用いることもできる。この場合、入力量 $u(k)$ は、用いるモデルに基づいた変数を入力とするように変更される。

【0116】

・上記各実施形態では、車速値 V として、例えば、上記第2実施形態のようにハブユニットセンサ37から得られる転舵輪4の回転速度である車輪速から演算することもできる。その他、車速値 V は、車両AにGPS(Global Positioning System)用の人工衛星からの測位信号を受信するGPSセンサが設けられている場合には当該GPSセンサから演算してもよい。

30

【0117】

・上記各実施形態では、状態推定量 x_e として、少なくとも車体すべり角推定値 e 、路面 μ 推定値 μ_e の2次であればよい。この場合、状態量 x や観測量 y や観測推定量 y_e は、状態推定量 x_e の変更に合わせて変更される。

【0118】

・上記各実施形態では、ヨーレート r を推定値及び観測値として用いているが、ヨーレート r を入力量 u として用いてもよい。

40

・上記各実施形態において、操舵装置1は、キングピントルク $Tkpa$ を直接検出できる機能を有していてもよく、例えば、タイロッド19にひずみゲージ等の力センサを設けるようにしてもよい。

【0119】

・上記第2実施形態では、観測量 y として、車体すべり角 を変数に少なくとも含んでいればよく、例えば、キングピントルク $Tkpa$ の代わりにタイヤ横力 Fyf, Fyr を変数として構成することもできる。その他、観測量 y は、観測方程式 $h(x)$ として、 x 軸方向の加減速であったり、前後方向である x 軸方向の荷重 Fx を考慮するようにしてもよい。

【0120】

50

・上記各実施形態において、上記各式で示した演算のなかで考慮する変数の時刻については、現在の時刻「k」の代わりに前回の時刻「k - 1」を用いるようにしたり、前回の時刻「k - 1」の代わりに現在の時刻「k」を用いるようにしたり、目的に合わせて適宜変更可能である。

【0121】

・上記各実施形態では、車体すべり角推定装置40, 102として、非線形カルマンフィルタを構成すればよく、例えば、Unscentedカルマンフィルタ(UKF)や、アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)等を構成することもできる。

【0122】

・上記各実施形態において、車体すべり角推定装置40, 102は、操舵制御装置2の機能として付加したり、統合制御装置41の機能として付加したりしてもよい。

10

・上記各実施形態では、車体すべり角推定値eの利用の仕方として、車両Aの走行が安定するように利用すればよく、上述した例の他、例えば、前輪・後輪の前後左右の駆動力の配分を調整するために利用することもできる。

【0123】

・上記第2実施形態において、各ハブユニットHL, HRでは、転舵輪4に作用する力に基づいて、タイヤ横力Fyfや前輪モーメント荷重Mzfを少なくとも出力することができるように構成されていればよい。このような条件を満たすのであれば、各ハブユニットHL, HRにおいて、各前輪センサ37L, 37Rは、超音波検出式や、磁気検出式や、歪みゲージを用いた接触式等、センサの仕様は問わない。

20

【0124】

・上記第2実施形態において、操舵制御装置101は、上記第1実施形態と同様にラック軸力推定装置36を備えていてもよい。

・上記第1実施形態において、車体すべり角推定装置40を構成するCPUは、コンピュータプログラムを実行する1つ以上のプロセッサ、あるいは各種処理のうち少なくとも一部の処理を実行する特定用途向け集積回路等の1つ以上の専用ハードウェア回路、あるいは上記プロセッサ及び上記専用ハードウェア回路の組み合わせを含む回路としてもよい。また、メモリには、汎用または専用のコンピュータでアクセスできるあらゆる利用可能な媒体によって構成してもよい。これは、第2実施形態の車体すべり角推定装置102や、各実施形態の操舵制御装置2等、各制御装置2, 41, 42, 43, 44, 101についても同様である。

30

【0125】

・上記各実施形態は、操舵装置1を、モータ21の回転をラック軸12に伝達することによって、モータトルクをアシスト力として操舵機構5に付与する、所謂、ラックアシスト型の操舵装置として実現することもできる。また、上記各実施形態は、操舵装置1を、ステアリングホイール3と、転舵輪4との間の動力伝達路が分離可能な構造とし、ステアリングホイール3と、転舵輪4との間の動力伝達路は、機械的に常時分離した構造であってもよいし、クラッチにより分離可能な構造であってもよい。

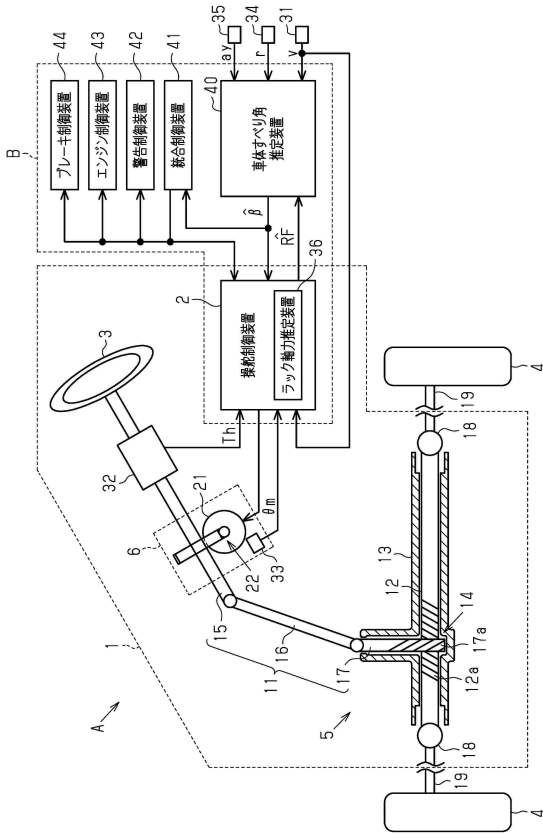
【符号の説明】

40

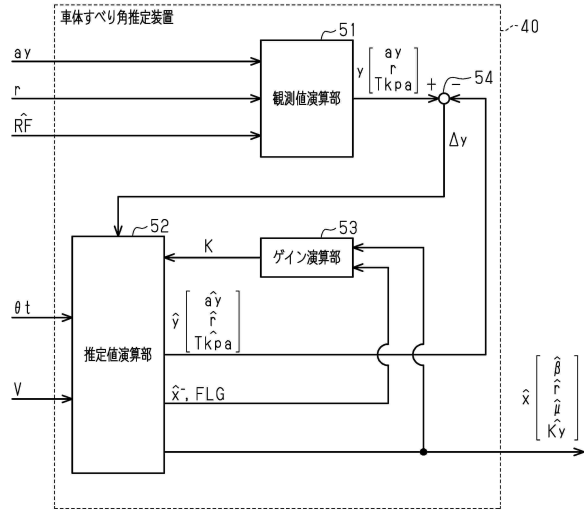
【0126】

- 40, 102 ... 車体すべり角推定装置
- 61 ... 事前推定量演算部(車体すべり角推定値演算部)
- 62 ... システムノイズ分散値演算部
- 64 ... すべり角推定精度判定部
- A ... 車両
- EKF ... 拡張カルマンフィルタ(非線形カルマンフィルタ)

【図面】
【図 1】



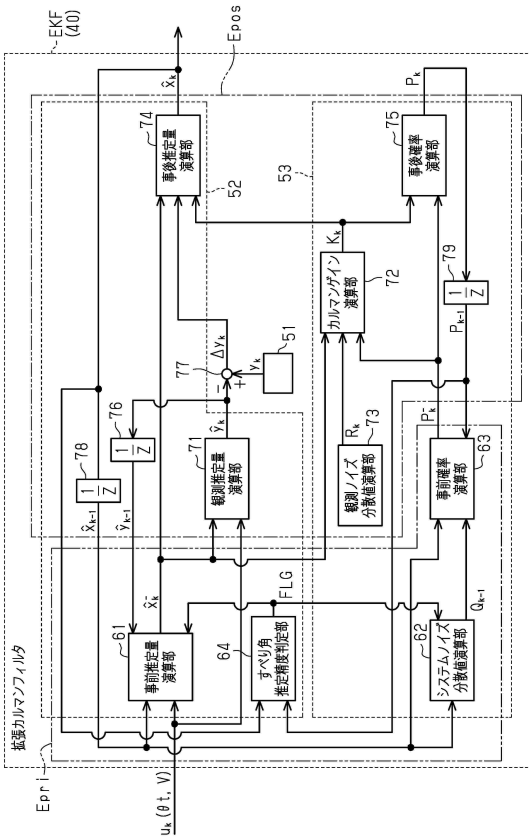
【図 2】



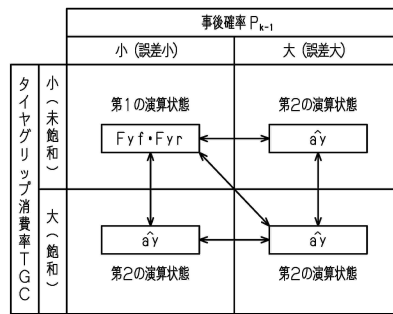
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-056364(JP,A)
特開2009-173112(JP,A)
特開2000-025599(JP,A)
特開2001-153678(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------------|
| B60W | 10/00 - 60/00 |
| B62D | 6/00 - 6/10 |
| B60C | 1/00 - 19/12 |