

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5393432号
(P5393432)

(45) 発行日 平成26年1月22日(2014.1.22)

(24) 登録日 平成25年10月25日(2013.10.25)

(51) Int.Cl.

B60W 40/10 (2012.01)
B62J 99/00 (2009.01)

F 1

B60W 40/10
B62J 39/00

J

請求項の数 10 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2009-288836 (P2009-288836)
 (22) 出願日 平成21年12月21日 (2009.12.21)
 (65) 公開番号 特開2011-128093 (P2011-128093A)
 (43) 公開日 平成23年6月30日 (2011.6.30)
 審査請求日 平成24年9月10日 (2012.9.10)

(73) 特許権者 000010076
 ヤマハ発動機株式会社
 静岡県磐田市新貝2500番地
 (74) 代理人 100098305
 弁理士 福島 祥人
 (72) 発明者 井上 博介
 静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機株式会社内
 (72) 発明者 藤井 隆弘
 静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機株式会社内
 (72) 発明者 関 吉美智
 静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ロール角推定装置および輸送機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動体のロール角を推定するロール角推定装置であって、

互いに異なる少なくとも2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出する第1および第2の角速度検出器と、

互いに異なる少なくとも3つの方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出する第1、第2および第3の加速度検出器と、

前記移動体の進行方向の移動速度に関する情報を検出する速度情報検出器と、

前記移動体のロール角を推定するとともに前記第1および第2の角速度検出器ならびに前記第1、第2および第3の加速度検出器のうち少なくとも1つのオフセット誤差を推定するように構成された推定部とを備え、

前記推定部は、現在の推定動作において前記第1および第2の角速度検出器の検出値、前記第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、前記速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値に基づいて、前記移動体のロール角および前記少なくとも1つのオフセット誤差を推定する、ロール角推定装置。

【請求項 2】

前記第1および第2の角速度検出器は、互いに異なる2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出し、

前記第1、第2および第3の加速度検出器は、互いに異なる3つの方向における第1、

10

20

第2および第3の加速度をそれぞれ検出する、請求項1記載のロール角推定装置。

【請求項3】

前記推定部は、前記少なくとも1つのオフセット誤差として、前記第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差を推定する、請求項1または2記載のロール角推定装置。

【請求項4】

前記推定部は、前記少なくとも1つのオフセット誤差として、前記第1および第2の角速度検出器のオフセット誤差を推定する、請求項1～3のいずれかに記載のロール角推定装置。

【請求項5】

前記推定部は、前記少なくとも1つのオフセット誤差として、前記第1、第2および第3の加速度検出器の少なくとも1つのオフセット誤差をさらに推定する、請求項4記載のロール角推定装置。

10

【請求項6】

前記第1の加速度は前記移動体の上下方向における加速度であり、

前記推定部は、前記第1の加速度検出器のオフセット誤差を推定する、請求項5記載のロール角推定装置。

【請求項7】

前記移動体は、前輪および後輪を有し、

前記速度情報検出器は、前記情報として前記後輪の回転速度を検出する後輪回転速度検出器を含み、

20

前記推定部は、前記移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において前記第1および第2の角速度検出器の検出値、前記第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、前記後輪速度検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、前記移動体のロール角、前記少なくとも1つのオフセット誤差および前記移動体の移動速度を推定する、請求項1～6のいずれかに記載のロール角推定装置。

【請求項8】

前記移動体は、前輪および後輪を有し、前記速度情報検出器は、

30

前記前輪の回転速度を検出する前輪回転速度検出器と、

前記前輪回転速度検出器の検出値から前記後輪の回転速度を前記情報として推定する後輪回転速度推定部とを含み、

前記推定部は、前記移動体の移動速度をさらに推定するように構成され、現在の推定動作において前記第1および第2の角速度検出器の検出値、前記第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、前記後輪回転速度推定部の推定値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、前記移動体のロール角、前記少なくとも1つのオフセット誤差および前記移動体の移動速度を推定する、請求項1～6のいずれかに記載のロール角推定装置。

40

【請求項9】

前記推定部は、現在の推定動作において前記第1および第2の角速度検出器の検出値、前記第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、前記速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値および前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値の関係を用いて前記移動体のロール角および前記少なくとも1つのオフセット誤差を推定するカルマンフィルタを含む、請求項1～8のいずれかに記載のロール角推定装置。

【請求項10】

移動可能に構成された移動体と、

前記移動体のロール角を推定する請求項1～9のいずれかに記載のロール角推定装置と

、

50

前記ロール角推定装置により推定されたロール角を用いた処理を行う処理部とを備えた、輸送機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロール角推定装置およびそれを備えた輸送機器に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、自動二輪車等の車両のロール角を推定する種々の推定装置が提案されている。例えば、推定装置により推定されたロール角に基づいてヘッドライトの向きを制御することにより車両の傾斜にかかわらずヘッドライトで適切な方向に光を照射することができる。

10

【0003】

特許文献1に記載された車両姿勢推定装置では、車両運動の前後加速度、横加速度、上下加速度、ヨー加速度およびロール角速度の各検出値、前後車体速度の推定値およびピッチ角速度の推定値に基づいてロール角およびピッチ角が推定される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-73466号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来の推定装置では、高い精度で車両のロール角を推定することができない。それにより、例えば、車両が傾斜していないにもかかわらず、ヘッドライトの向きが傾くことがある。

【0006】

本発明の目的は、移動体のロール角を高い精度で推定することが可能なロール角推定装置およびそれを備えた輸送機器を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

(1) 第1の発明に係るロール角推定装置は、移動体のロール角を推定するロール角推定装置であって、少なくとも2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出する第1および第2の角速度検出器と、少なくとも3つの方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出する第1、第2および第3の加速度検出器と、移動体の進行方向の移動速度に関する情報を検出する速度情報検出器と、移動体のロール角を推定するとともに第1および第2の角速度検出器ならびに第1、第2および第3の加速度検出器のうち少なくとも1つのオフセット誤差を推定するように構成された推定部とを備え、推定部は、現在の推定動作において、第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値に基づいて、移動体のロール角および少なくとも1つのオフセット誤差を推定するものである。

40

【0008】

そのロール角推定装置においては、少なくとも2つの方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度がそれぞれ第1および第2の角速度検出器により検出される。また、少なくとも3つの方向における第1、第2および第3の加速度がそれぞれ第1、第2および第3の加速度検出器により検出される。さらに、移動体の進行方向の移動速度に関する情報が速度情報検出器により検出される。そして、推定部により移動体のロール角が推定されるとともに第1および第2の角速度検出器ならびに第1、第2および

50

第3の加速度検出器のうち少なくとも1つの検出器による検出値のオフセット誤差が推定される。

【0009】

この場合、推定部は、現在の推定動作において第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値に基づいて、移動体のロール角および少なくとも1つのオフセット誤差を推定する。

【0010】

このように、ロール角とともにオフセット誤差が推定され、オフセット誤差の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、第1および第2の角速度検出器ならびに第1、第2および第3の加速度検出器のうち少なくとも1つのオフセット誤差によるロール角の推定精度の低下が補償される。その結果、ロール角を高い精度で推定することが可能となる。

【0011】

(2) 第1および第2の角速度検出器は、互いに異なる方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度をそれぞれ検出し、第1、第2および第3の加速度検出器は、互いに異なる第1、第2および第3の方向における第1、第2および第3の加速度をそれぞれ検出してよい。

【0012】

この場合、互いに異なる方向に沿った第1および第2の軸の周りでの第1および第2の角速度がそれぞれ第1および第2の角速度検出器により検出される。また、互いに異なる第1、第2および第3の方向における第1、第2および第3の加速度がそれぞれ第1、第2および第3の加速度検出器により検出される。

【0013】

(3) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差を推定してもよい。

【0014】

角速度検出器では、加速度検出器に比べてオフセット誤差が発生しやすい。したがって、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度が十分に向上する。

【0015】

(4) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1および第2の角速度検出器のオフセット誤差を推定してもよい。

【0016】

この場合、第1および第2の角速度検出器のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度がより向上する。

【0017】

(5) 推定部は、少なくとも1つのオフセット誤差として、第1、第2および第3の加速度検出器の少なくとも1つのオフセット誤差をさらに推定してもよい。

【0018】

この場合、第1および第2の角速度検出器の少なくとも一方のオフセット誤差の推定値に加えて第1、第2および第3の加速度検出器の少なくとも1つのオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の推定精度がさらに向上する。

【0019】

(6) 第1の加速度は移動体の上下方向における加速度であり、推定部は、第1の加速度検出器のオフセット誤差を推定してもよい。

【0020】

移動体のロール角が小さい範囲では、移動体の上下方向の加速度はほとんど変化しない。このような上下方向の加速度の検出値が第1の加速度検出器のオフセット誤差により変化した場合、ロール角の推定の際に上下方向の加速度の検出値の変化の影響が大きくなる

10

20

30

40

50

。したがって、第1の加速度検出器のオフセット誤差の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。

【0021】

(7) 移動体は、前輪および後輪を有し、速度情報検出器は、情報として後輪の回転速度を検出する後輪回転速度検出器を含み、推定部は、移動体の移動速度をさらに推定するよう構成され、現在の推定動作において第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、後輪回転速度検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも1つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定してもよい。

10

【0022】

移動体の移動速度と後輪の回転速度と移動体のロール角との間には一定の関係がある。そのため、後輪の回転速度の検出値およびロール角の推定値に基づいて移動体の移動速度を推定することができる。したがって、現在の推定動作において第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、後輪の回転速度の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも1つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定することができる。

20

【0023】

移動体が小さい半径で低速で旋回する場合には、後輪の回転速度は前輪の回転速度に比べて移動体の移動速度に近い。したがって、後輪の回転速度の検出値を用いることにより、移動体のロール角、少なくとも1つのオフセット誤差および移動体の移動速度を高い精度で推定することが可能となる。

【0024】

(8) 移動体は、前輪および後輪を有し、速度情報検出器は、前輪の回転速度を検出する前輪回転速度検出器と、前輪回転速度検出器の検出値から後輪の回転速度を情報として推定する後輪回転速度推定部とを含み、推定部は、移動体の移動速度をさらに推定するよう構成され、現在の推定動作において第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、後輪回転速度推定部の推定値、前回の推定動作によるロール角の推定値、前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値ならびに前回の推定動作による移動速度の推定値に基づいて、移動体のロール角、少なくとも1つのオフセット誤差および移動体の移動速度を推定してもよい。

30

【0025】

移動体が小さい半径で低速で旋回する場合には、前輪の旋回半径は後輪の旋回半径に比べて大きくなる。それにより、前輪回転速度検出器により検出される前輪の回転速度は後輪の回転速度に比べて高くなる。そこで、前輪回転速度検出器の検出値から後輪回転速度推定部により後輪の回転速度が推定される。それにより、前輪回転速度検出器が設けられた場合にも、後輪回転速度検出器が設けられた場合と同様に、移動体のロール角、少なくとも1つのオフセット誤差および移動体の移動速度を高い精度で推定することが可能となる。

40

【0026】

(9) 推定部は、現在の推定動作において第1および第2の角速度検出器の検出値、第1、第2および第3の加速度検出器の検出値、速度情報検出器の検出値、前回の推定動作によるロール角の推定値ならびに前回の推定動作によるオフセット誤差の推定値の関係を用いて移動体のロール角および少なくとも1つのオフセット誤差を推定するカルマンフィルタを含んでもよい。

【0027】

この場合、カルマンフィルタのアルゴリズムを用いることにより推定部を容易に実現することができる。

【0028】

50

(10) 第2の発明に係る輸送機器は、移動可能に構成された移動体と、移動体のロール角を推定する第1の発明に係るロール角推定装置と、ロール角推定装置により推定されたロール角を用いた処理を行う処理部とを備えたものである。

【0029】

その輸送機器においては、第1の発明に係るロール角推定装置により移動体のロール角が高い精度で推定される。それにより、処理部によるロール角を用いた処理が高い精度で行われる。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、移動体のロール角を高い精度で推定することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。

【図2】本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置の構成を示すブロック図である。

【図3】カルマンフィルタの概念を示す図である。

【図4】センサ群の取り付け位置を説明するための図である。

【図5】後輪の断面図である。

【図6】センサ群の取り付け位置をベクトルで表した図である。

【図7】ロール角推定装置による各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。

【図8】各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。

20

【図9】本発明の他の実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。

【図10】車両の旋回時の前輪および後輪の旋回半径を示す図である。

【図11】前輪速度と後輪速度との関係の計算結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、本発明の実施の形態に係るロール角推定装置を車両に適用した例を説明する。

【0033】

(1) 車両の構成

図1は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。図1の車両100は自動二輪車である。

30

【0034】

図1に示すように、車両100は車体1を備える。車体1の前部に前輪2が取り付けられ、車体1の後部に後輪3が取り付けられる。また、車体1の中央部には、センサ群5が取り付けられる。センサ群5の詳細については、後述する。

【0035】

後輪3のホイールに後輪3の回転速度を検出する後輪速度センサ7が取り付けられる。

【0036】

車体1の前側の上部には、ハンドル11が左右に揺動可能に設けられる。ハンドル11の近傍にナビゲーションシステム12が設けられる。また、車体1の前部にはヘッドライト14およびヘッドライト駆動装置15が設けられる。ヘッドライト駆動装置15はヘッドライト14の向きを制御する。車体1の後部には、電子制御ユニット(以下、ECUと略記する)20が設けられる。

40

【0037】

センサ群5および後輪速度センサ7の出力信号は、ECU20に与えられる。ECU20は、車体1の各部を制御するとともに車体1のロール角を推定し、推定したロール角を例えばナビゲーションシステム12およびヘッドライト駆動装置15に与える。

【0038】

本実施の形態では、センサ群5、後輪速度センサ7およびECU20がロール角推定装置を構成する。

【0039】

50

(2) ロール角推定装置の構成

図2は本発明の一実施の形態に係るロール角推定装置の構成を示すブロック図である。

【0040】

図2のロール角推定装置10は、センサ群5、後輪速度センサ7、ローパスフィルタ6_{1～65}、微分器7_{1,72}およびカルマンフィルタ8₀により構成される。カルマンフィルタ8₀の機能は、図1のECU20およびプログラムにより実現される。

【0041】

センサ群5は、ロール角速度センサ5₁、ヨー角速度センサ5₂、上下加速度センサ5₃、前後加速度センサ5₄および左右加速度センサ5₅を含む。

【0042】

ロール角速度センサ5₁は、車体1のロール角速度を検出するように車体1に設けられる。ロール角速度は、車両100の前後軸周りの角速度である。ヨー角速度センサ5₂は、車体1のヨー角速度を検出するように車体1に設けられる。ヨー角速度は、車両100の上下軸周りの角速度である。

【0043】

上下加速度センサ5₃は、車体1の上下加速度を検出するように車体1に設けられる。上下加速度は、車体1の上下方向の加速度である。前後加速度センサ5₄は、車体1の前後加速度を検出するように車体1に設けられる。前後加速度は、車体1の前後方向の加速度である。左右加速度センサ5₅は、車体1の左右加速度を検出するように車体1に設けられる。左右加速度は、車体1の左右方向の加速度である。

【0044】

ロール角速度センサ5₁の出力信号は、ローパスフィルタ6₁を通してロール角速度としてカルマンフィルタ8₀および微分器7₁に与えられる。ローパスフィルタ6₁は、ロール角速度センサ5₁の出力信号のノイズを除去する。微分器7₁は、ロール角速度の微分値をロール角加速度としてカルマンフィルタ8₀に与える。ヨー角速度センサ5₂の出力信号は、ローパスフィルタ6₂を通してヨー角速度としてカルマンフィルタ8₀および微分器7₂に与えられる。ローパスフィルタ6₂は、ヨー角速度センサ5₂の出力信号のノイズを除去する。微分器7₂は、ヨー角速度の微分値をヨー角加速度としてカルマンフィルタ8₀に与える。

【0045】

上下加速度センサ5₃の出力信号は、ローパスフィルタ6₃を通して上下加速度としてカルマンフィルタ8₀に与えられる。前後加速度センサ5₄の出力信号は、ローパスフィルタ6₄を通して前後加速度としてカルマンフィルタ8₀に与えられる。左右加速度センサ5₅の出力信号は、ローパスフィルタ6₅を通して左右加速度としてカルマンフィルタ8₀に与えられる。

【0046】

後輪速度センサ7の出力信号は、後輪速度としてカルマンフィルタ8₀に与えられる。後輪速度は、路面と後輪3のタイヤとの間に滑りが生じないと仮定した場合のタイヤの最外周の回転速度であり、実際には後輪速度センサ7の出力信号およびタイヤのサイズに基づいて算出される。説明を簡略化するために、図2では、後輪速度センサ7から後輪速度を示す信号が出力されるものとする。

【0047】

ここで、ロール角速度、ロール角加速度、ヨー角速度、ヨー角加速度、上下加速度、前後加速度、左右加速度および後輪速度を下表の符号で表す。なお、各パラメータを表す符号の上の1つのドットは1階微分を意味する。

【0048】

10

20

30

40

【表1】

パラメータ	意味
ω_r	ロール角速度
$\dot{\omega}_r$	ロール角加速度
ω_y	ヨー角速度
$\dot{\omega}_y$	ヨー角加速度
G_z	上下加速度
G_x	前後加速度
G_y	左右加速度
v_r	後輪速度

10

【0049】

カルマンフィルタ80は、上記のパラメータに基づいてロール角、車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加速度センサオフセットを推定して出力する。

【0050】

20

ここで、車両100の進行方向に平行な鉛直面を前後方向鉛直面と呼び、前後方向鉛直面に垂直な鉛直面を左右鉛直面と呼ぶ。ロール角は、左右鉛直面内で重力方向に対する車体1の傾斜角度である。車両速度は、車体1の進行方向の速度である。

【0051】

ロール角速度センサオフセットは、ロール角速度センサ51のオフセット誤差であり、ヨー角速度センサオフセットは、ヨー角速度センサ52のオフセット誤差であり、上下加速度センサオフセットは、上下加速度センサ53のオフセット誤差である。

【0052】

車両速度、ロール角速度センサオフセット、ヨー角速度センサオフセットおよび上下加速度センサオフセットを下表の符号で表す。

30

【0053】

【表2】

パラメータ	意味
ϕ	ロール角
V_x	車両速度
b_r	ロール角速度センサオフセット
b_y	ヨー角速度センサオフセット
b_z	上下加速度センサオフセット

40

【0054】

本実施の形態に係るロール角推定装置10では、ロール角速度センサ51、ヨー角速度センサ52、上下加速度センサ53、前後加速度センサ54、左右加速度センサ55および後輪速度センサ7を用いて後述する式(17)、(18)の5つの関係式が導出される。これらの関係式を用いてロール角および車両速度 V_x という2つのパラメータが推定される。すなわち、関係式の数と推定される出力の数との間に冗長性が存在する。言い換えると、関係式の数が推定する出力の数よりも多い。この冗長性を利用してロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を推定することが可能となる。

50

【0055】

(3) カルマンフィルタ80の構成

図3はカルマンフィルタ80の概念を示す図である。図3のカルマンフィルタ80では、以下に説明する車両100の運動学モデルが用いられる。

【0056】

図3において、カルマンフィルタ80は、システム方程式8a、加算機能8b、積分機能8c、観測方程式8d、減算機能8eおよびカルマンゲイン8fにより構成される。システム方程式8aは関数 $f(x, u)$ を含み、観測方程式8dは関数 $h(x)$ を含み、カルマンゲイン8fは5次のカルマンゲインKを含む。

【0057】

現在の推定動作において、システム方程式8aの入力パラメータ u として、ロール角速度 $\dot{\theta}_r$ の検出値、ロール角加速度(ロール角速度 $\dot{\theta}_r$ の微分値)の検出値、ヨー角速度 $\dot{\phi}_y$ の検出値、ヨー角加速度(ヨー角速度 $\dot{\phi}_y$ の微分値)の検出値および前後加速度 G_x の検出値が与えられる。また、システム方程式8aの入力パラメータ x として、前回の推定動作によるロール角の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が与えられる。システム方程式8aの出力は、ロール角の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値である。

【0058】

ロール角の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値に前回の推定動作により得られた5次のカルマンゲインKが加算される。

【0059】

カルマンゲインKが加算されたロール角の微分値、車両速度 V_x の微分値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値が積分されることにより、現在の推定動作によるロール角の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が得られる。

【0060】

また、観測方程式8dの入力パラメータ x として、ロール角の推定値、車両速度 V_x の推定値、ロール角速度センサオフセット b_{θ_r} の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_{ϕ_y} の推定値および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が与えられる。観測方程式8dから上下加速度 G_z の算出値、左右加速度 G_y の算出値および後輪速度 v_r の算出値が得られる。

【0061】

また、カルマンフィルタ80には、入力パラメータ y として上下加速度 G_z の検出値、左右加速度 G_y の検出値および後輪速度 v_r の検出値が与えられる。上下加速度 G_z 、左右加速度 G_y および後輪速度 v_r の検出値と算出値との差に基づいてカルマンゲインKが算出される。

【0062】

この運動学モデルのシステム方程式8aおよび観測方程式8dを導出することにより、入力パラメータ u, y と出力パラメータ x との関係式を導くことができる。

【0063】

(4) システム方程式および観測方程式の導出

本実施の形態では、運動学モデルを簡素化するために以下の点を仮定する。

【0064】

(a) 車両100はピッキングしない。

【0065】

10

20

30

40

50

(b) 後輪 3 と路面との間に回転方向の滑りは生じない。

【0066】

(c) 後輪 3 の横滑り速度は 0 である。

【0067】

(d) 路面は平坦でかつ傾斜していない。

【0068】

これらの仮定 (a) ~ (d) に基づいて以下のようにして運動学モデル式を導出する。

【0069】

ロール角、ロール角の微分値、ピッチ角、ピッチ角の微分値、ヨー角、ヨー角の微分値、ロール角速度、ヨー角速度およびピッチ角速度を下表の符号で表す。

【0070】

【表 3】

パラメータ	意味
ϕ	ロール角
$\dot{\phi}$	ロール角の微分値
θ	ピッチ角
$\dot{\theta}$	ピッチ角の微分値
ψ	ヨー角
$\dot{\psi}$	ヨー角の微分値
ω_r	ロール角速度
ω_y	ヨー角速度
ω_p	ピッチ角速度

10

20

【0071】

まず、一般的なオイラー角と角速度との関係式から次式が成立する。

【0072】

30

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan\theta \sin\phi & \tan\theta \cos\phi \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_p \\ \omega_y \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

【0073】

上記の仮定 (a) からピッチ角およびその微分値は 0 となる。したがって、上式 (1) は次式のようになる。

40

【0074】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_p \\ \omega_y \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

50

【0075】

上式(2)の2行目よりピッチ角速度 $\dot{\phi}$ を削除することができる。それにより、次式が求まる。

【0076】

【数3】

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_y \sec \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

10

【0077】

図4はセンサ群5の取り付け位置を説明するための図である。図4の左側に車両100の左側面を示し、右側に車両100の正面を示す。図5は後輪3の断面図である。図6はセンサ群5の取り付け位置をベクトルで表した図である。

【0078】

図4において、センサ群5の取り付け位置をPSとする。取り付け位置PSから後輪3の中心までの水平距離をLとし、路面から取り付け位置PSまでの高さをhとする。

【0079】

図5においては、後輪3は路面RDに対してロール角 傾斜している。上記の仮定(d)より路面RDは傾斜していない。後輪3のタイヤTRと路面RDとの接地点をPとする。また、後輪3のタイヤTRの断面の半径をR_{ctr}とし、後輪3の半径をR_eとする。

20

【0080】

図6において、慣性座標系の原点Oを基準とするセンサ群5の取り付け位置PSの位置ベクトルをrvとし、慣性座標系の原点Oを基準とする接地点Pの位置ベクトルをrv₀とし、接地点Pからセンサ群5の取り付け位置PSまでのベクトルをvとする。この場合、rv = rv₀ + vが成り立つ。

【0081】

ここで、位置ベクトルrvの2階微分ベクトル、位置ベクトルrv₀の2階微分ベクトル、ベクトルvの2階微分ベクトルおよび重力加速度ベクトルを下表の符号で表す。なお、各パラメータを表す符号の上の2つのドットは2階微分を意味する。

30

【0082】

【表4】

パラメータ	意味
$\ddot{r}v$	位置ベクトルrvの2階微分ベクトル
$\ddot{r}v_0$	位置ベクトルrv ₀ の2階微分ベクトル
$\ddot{\rho}v$	取り付け位置ベクトルρvの2階微分ベクトル
gv	重力加速度ベクトル

40

【0083】

ここで、取り付け位置PSの上下加速度センサ53、前後加速度センサ54および左右加速度センサ55により検出される加速度ベクトルをGvとする。加速度ベクトルをGvは、次式のように、位置ベクトルrvの2階微分ベクトルに重力加速度ベクトルを加算することにより得られる。

【0084】

【数4】

$$Gv = \ddot{r}v + gv = \ddot{r}v_0 + \ddot{\rho}v + gv \quad \cdots (4)$$

50

【0085】

以下、上式(4)の右辺を算出する。図6のベクトル v は、次式で表される。

【0086】

【数5】

$$\rho v = [e] \rho \quad \cdots (5)$$

【0087】

上式(5)において、 $[e] = [e_1, e_2, e_3]$ である。 e_1, e_2 および e_3 は車体1に固定された基底ベクトルであり、 e_1 は車体1の前方向の基底ベクトルであり、 e_2 は車体1の左方向の基底ベクトルであり、 e_3 は車体1の垂直上方向の基底ベクトルである。また、 ρ は行列である。上式(5)の行列 ρ は、図4および図5より次式で表される。

【0088】

【数6】

$$\rho = \begin{bmatrix} L \\ R_{cr} \sin \phi \\ h - R_{cr} (1 - \cos \phi) \end{bmatrix} \quad \cdots (6)$$

10

20

【0089】

上式(6)からベクトル v の2階微分ベクトルは次式のように求まる。

【0090】

【数7】

$$\ddot{\rho} v = [e] \begin{bmatrix} a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \end{bmatrix} \quad \cdots (7)$$

30

【0091】

上式(7)において、 a_x, a_y および a_z は関数である。関数 a_x, a_y, a_z は上式(5)および(6)を計算することにより求めることができる。上式(6)から上式(7)への変形の際に上式(3)を用いることによりロール角 ϕ の微分値およびヨー角 ψ の微分値を消去することができる。

【0092】

次に、車両100の横滑り速度を V_y とする。図6の位置ベクトル $r v_0$ の1階微分ベクトルは、車両速度 V_x および横滑り速度 V_y を用いて次式のように表される。

【0093】

【数8】

$$\dot{r} v_0 = [e0] \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (8)$$

40

50

【0094】

上式(8)において、 $[e_0] = [e_{0_1}, e_{0_2}, e_{0_3}]$ である。 e_{0_1} 、 e_{0_2} および e_{0_3} は、慣性座標系の基底ベクトル $[e] = [e_1, e_2, e_3]$ をヨー角のみ回転させることにより得られる基底ベクトルである。

【0095】

仮定(c)から $v_y = 0$ とし、上式(8)を1階微分すると、位置ベクトル $r v_0$ の2階微分ベクトルは次式のように表される。

【0096】

【数9】

$$\ddot{r}v_0 = [e] \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ v_x \omega_y \\ -v_x \omega_y \tan \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (9)$$

10

【0097】

最後に、重力加速度ベクトルは次式のように表される。

【0098】

【数10】

$$gv = [e] \begin{bmatrix} 0 \\ g \sin \phi \\ g \cos \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (10)$$

20

【0099】

上式(10)においては、gは重力加速度の大きさである。

【0100】

上式(4), (7), (9), (10)から取り付け位置PSにおいて検出される加速度ベクトルGvは次式のように表される。

30

【0101】

【数11】

$$Gv = \ddot{r}v + gv = \ddot{r}v_0 + \ddot{\rho}v + gv =$$

$$[e] \begin{bmatrix} \dot{v}_x + a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ v_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -v_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (11)$$

40

【0102】

ここで、取り付け位置PSで検出される加速度ベクトルGvは、前後加速度センサ54により検出される前後加速度 G_x 、左右加速度センサ55により検出される左右加速度 G_y 、および上下加速度センサ53により検出される上下加速度 G_z を用いて次式のように表される。

【0103】

50

$$G v = [e] [G_x, G_y, G_z]$$

したがって、上式(11)より、前後加速度 G_x 、左右加速度 G_y 、および上下加速度 G_z は次式のようになる。

【0104】

【数12】

$$\begin{bmatrix} G_x \\ G_y \\ G_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_x + a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ V_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \end{bmatrix} \quad \cdots (12)$$

10

【0105】

次に、後輪速度 v_r と車両速度 V_x との関係を求める。上記の仮定(b)から後輪3と路面との間に滑りがないので、図5から後輪速度 v_r と車両速度 V_x との間には次式の関係が成り立つ。

【0106】

【数13】

$$\frac{V_x}{R_e - R_{cr} (1 - \cos \phi)} = \frac{U_r}{R_e} \quad \cdots (13)$$

20

【0107】

上式(13)から次式が求まる。

【0108】

【数14】

$$U_r = \frac{R_e}{R_e - R_{cr} (1 - \cos \phi)} V_x = \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e (1 - \cos \phi)} V_x \quad \cdots (14)$$

30

【0109】

上式(3), (12), (14)から次式が求まる。

【0110】

【数15】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ V_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r \\ G_x - a_x(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \end{bmatrix} \quad \cdots (15)$$

40

【0111】

【数16】

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ U_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x \omega_y + a_y (\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z (\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e (1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix}$$

…(16) 10

【0112】

上式(15)をシステム方程式として用い、上式(16)を観測方程式として用いることにより、拡張カルマンフィルタを適用することが可能となる。

【0113】

さらに、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が変化する場合でも、それらの値の変化は車両100の動きに比べて遅い。そのため、ロール角速度センサオフセット b_r の微分値、ヨー角速度センサオフセット b_y の微分値および上下加速度センサオフセット b_z の微分値を0とみなすことができる。

20

【0114】

また、上式(15)、(16)のロール角速度 ω_r 、ヨー角速度 ω_y および上下加速度 G_z をそれぞれ $\omega_r - b_r$ 、 $\omega_y - b_y$ および $G_z - b_z$ で置き換えることにより次式を導出することができる。

【0115】

【数17】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ V_x \\ b_r \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r - b_r \\ G_x - a_x (\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

30

…(17)

【0116】

40

【数18】

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ U_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x (\omega_y - b_y) + a_y (\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x (\omega_y - b_y) \tan \phi + a_z (\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e (1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix}$$

…(18)

50

【 0 1 1 7 】

上式(17), (18)では、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が考慮されている。

【 0 1 1 8 】

上式(17)をシステム方程式とし、上式(18)を観測方程式として、拡張カルマンフィルタを適用することにより、ロール角 ϕ 、車両速度 V_x 、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を推定することができる。

【 0 1 1 9 】

ここで、上式(17)の右辺が図3の関数 $f(x, u)$ に相当し、上式(18)の右辺が図3の関数 $h(x)$ に相当する。 10

【 0 1 2 0 】

角速度センサでは、加速度センサに比べてオフセット誤差が発生しやすい。したがって、本実施の形態では、ロール角速度センサ51のオフセット誤差(ロール角速度センサオフセット b_r)およびヨー角速度センサ52のオフセット誤差(ヨー角速度センサオフセット b_y)が推定される。ロール角速度センサオフセット b_r およびヨー角速度センサオフセット b_y の推定値を次の推定動作の際に用いることによりロール角 ϕ の推定精度が十分に向上する。

【 0 1 2 1 】

また、3つの加速度センサ(上下加速度センサ53、前後加速度センサ54および左右加速度センサ55)のオフセット誤差を推定することができれば、ロール角 ϕ の推定精度がさらに向上することが期待される。しかしながら、3つの加速度センサのオフセット誤差を推定する場合には、可観測性を保つことはできない。そこで、本実施の形態では、次の理由により上下加速度センサ53のオフセット誤差(上下加速度センサオフセット b_z)を推定する。車体1のロール角 ϕ が小さい範囲では、車体1の上下加速度はほとんど変化しない。このような上下加速度の検出値が上下加速度センサオフセット b_z により変化した場合、ロール角 ϕ の推定の際に上下加速度の検出値の変化の影響が大きくなる。したがって、上下加速度センサオフセット b_z の推定値を次の推定動作の際に用いることにより、ロール角 ϕ の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。 20

【 0 1 2 2 】**(5) 各パラメータの推定値の算出**

図7および図8はロール角速度センサ51がオフセット誤差を有する場合および有しない場合における各パラメータの推定値の時間遷移を示す図である。 30

【 0 1 2 3 】

ここでは、車両100にオフセット誤差を有しないロール角速度センサ51、ヨー角速度センサ52、上下加速度センサ53、前後加速度センサ54、左右加速度センサ55および後輪速度センサ7を取り付け、車両100の実際の走行中に得られたロール角速度センサ51、ヨー角速度センサ52、上下加速度センサ53、前後加速度センサ54、左右加速度センサ55および後輪速度センサ7の検出値に基づいて各パラメータの推定値を算出した。また、ロール角速度センサ51の検出値に3deg/sのオフセット誤差を付加し、各パラメータの推定値を算出した。図7はロール角 ϕ および車両速度 V_x の推定値を示し、図8はロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値を示す。 40

【 0 1 2 4 】

符号L0は、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加されない場合における各パラメータの推定値を示し、Loffは、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加された場合における各パラメータの推定値を示す。

【 0 1 2 5 】

図7に示すように、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加された場合におけるロール角 ϕ の推定値は、短時間でロール角速度センサ51の検出値にオフセッ 50

ト誤差が付加されない場合におけるロール角の推定値に一致している。また、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加された場合における車両速度 V_x の推定値は、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加されない場合における車両速度 V_x の推定値にほぼ一致している。

【0126】

図8に示すように、ロール角速度センサ51検出値にオフセット誤差が付加された場合におけるロール角速度センサオフセット b_r の推定値とロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加されない場合におけるロール角速度センサオフセット \underline{b}_r の推定値との差はオフセット誤差の値(3deg/s)に等しくなる。

【0127】

なお、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値は、ロール角速度センサ51の検出値にオフセット誤差が付加されない場合にも付加された場合にもほぼ0となった。

【0128】

このように、本実施の形態に係るロール角推定装置10によれば、ロール角速度センサ51がオフセット誤差を有する場合でも、ロール角を高精度で推定することができることがわかる。

【0129】

(6) 実施の形態の効果

本実施の形態に係るロール角推定装置10によれば、ロール角および車両速度 V_x とともにロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z が推定され、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z によるロール角の推定精度の低下が補償される。その結果、ロール角を高い精度で推定することが可能となる。

【0130】

また、加速度センサに比べてオフセットが発生しやすいロール角速度センサ51およびヨー角速度センサ52のオフセット誤差の推定値が次の推定動作に用いられる。それにより、ロール角の推定精度が十分に向上する。

【0131】

さらに、上下加速度センサ53のオフセット誤差の推定値が次の推定動作の際に用いられる。それにより、ロール角の小さい範囲での推定精度がさらに向上する。

【0132】

また、後輪速度センサ7により検出される後輪速度 v_r の検出値が推定動作に用いられる。それにより、車両100が小さい半径で低速で旋回する場合でも、車体1のロール角、ロール角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y 、上下加速度センサオフセット b_z および車両速度 V_x を高い精度で推定することが可能となる。

【0133】

このように、ロール角推定装置10により車体1のロール角が高い精度で推定される。それにより、ECU20により推定されたロール角に基づいてナビゲーションシステム12およびヘッドライト駆動装置15が正確に動作する。

【0134】

(7) 他の実施の形態

(a) 上記実施の形態に係るロール角推定装置10では、後輪3のホイールに後輪3の回転速度を検出する後輪速度センサ7が取り付けられるが、図9に示すように、後輪速度センサ7の代わりに前輪2のホイールに前輪2の回転速度を検出する前輪速度センサ6が取り付けられてもよい。図9は本発明の他の実施の形態に係るロール角推定装置を備えた車両の模式図である。すなわち、上記実施の形態では、後輪速度センサ7により検出される後輪速度 v_r が用いられるが、後輪速度センサ7により検出される後輪速度 v_r の代わ

10

20

30

40

50

りに、図 9 に示される前輪速度センサ 6 により検出される前輪速度から後輪速度 v_r が推定されてもよい。

【0135】

車両 100 が小さい半径で低速で旋回する場合には、前輪 2 の旋回半径は後輪 3 の旋回半径に比べて大きくなる。それにより、前輪速度センサ 6 により検出される前輪 2 の回転速度は後輪 3 の回転速度に比べて高くなる。そこで、前輪速度センサ 6 により検出される前輪 2 の回転速度から ECU 20 により後輪速度 v_r が推定される。

【0136】

図 10 は車両 100 の旋回時の前輪 2 および後輪 3 の旋回半径を示す図である。上記の仮定(c)より後輪 3 の横滑り速度は 0 であるため、前輪 2 の旋回半径 r_f と後輪 3 の旋回半径 r_r との間には次式の関係が成り立つ。
10

【0137】

【数 19】

$$r_f^2 = r_r^2 + La^2 \quad \cdots (19)$$

【0138】

ここで、La は車両 100 のホイールベース長である。上式(19)より次式が得られる。

【0139】

【数 20】

$$\frac{r_f}{r_r} = \sqrt{1 + \frac{La^2}{r_r^2}} \quad \cdots (20)$$

【0140】

前輪 2 の接地点の速度 v_f と後輪 3 の接地点の速度 v_r との比は前輪 2 の旋回半径 r_f と後輪 3 の旋回半径 r_r と等しくなる。したがって、次式が成り立つ。

【0141】

【数 21】

$$\frac{v_f}{v_r} = \frac{r_f}{r_r} = \sqrt{1 + \frac{La^2}{r_r^2}} \quad \cdots (21)$$

【0142】

さらに、車両 100 が定常旋回していると仮定すると、後輪 3 の旋回半径 r_r は後輪 3 の接地点の速度 v_r およびロール角 ϕ を用いて次式で表される。

【0143】

【数 22】

$$r_r = \frac{v_r^2}{g \tan \phi} \quad \cdots (22)$$

【0144】

上式(22)において、g は重力加速度の大きさである。上式(22)を上式(21)に代入すると、次式が導き出される。

【0145】

10

20

40

【数23】

$$V_r^4 - V_f^2 V_r^2 + La^2 g^2 \tan^2 \phi = 0 \quad \cdots (23)$$

【0146】

上式(23)から後輪3の接地点の速度 V_r は次式のように表される。

【0147】

【数24】

$$V_r = \sqrt{\frac{V_f^2 + \sqrt{V_f^4 - 4La^2 g^2 \tan^2 \phi}}{2}} \quad \cdots (24)$$

10

【0148】

上式(24)は次式の条件が満たされる場合にのみ解を持つ。

【0149】

【数25】

$$V_f^4 - 4La^2 g^2 \tan^2 \phi \geq 0 \quad \cdots (25)$$

20

【0150】

車両100の旋回半径が小さい場合には、上式(25)の条件が満たされない場合が生じる。そのような場合にも解が存在するように、上式(24)を次式のように修正する。

【0151】

【数26】

$$V_r = \begin{cases} \sqrt{\frac{V_f^2 + \sqrt{V_f^4 - 4La^2 g^2 \tan^2 \phi}}{2}} & (V_f^4 \geq 4La^2 g^2 \tan^2 \phi \text{のとき}) \\ \frac{V_f}{\sqrt{2}} & (V_f^4 < 4La^2 g^2 \tan^2 \phi \text{のとき}) \end{cases} \quad \cdots (26)$$

30

【0152】

上式(26)におけるロール角 ϕ としては前回の推定動作におけるロール角 ϕ の推定値を用いる。

【0153】

40

上式(26)から前輪2の接地点の速度 V_f と後輪3の接地点の速度 V_r との関係が求められる。したがって、前輪速度センサ6により検出される前輪2の回転速度(以下、前輪速度 V_f と呼ぶ)から後輪速度 V_r を算出することができる。

【0154】

図11は前輪速度 V_f と後輪速度 V_r との関係の計算結果を示す図である。図11の横軸は後輪速度 V_r を表し、縦軸は前輪速度 V_f を表す。

【0155】

図11に示すように、前輪速度センサ6により検出される前輪速度 V_f から後輪速度 V_r を推定することができる。したがって、前輪速度センサ6のみが設けられる場合にも、後輪速度センサ7が設けられた場合と同様に、車体1のロール角 ϕ 、車両速度 V_x 、ロード

50

ル角速度センサオフセット b_r 、ヨー角速度センサオフセット b_y および上下加速度センサオフセット b_z を高い精度で推定することができる。

【0156】

(b) 上記実施の形態におけるロール角速度センサ 51 およびヨー角速度センサ 52 の代わりに車両 100 の前後方向および上下方向とは異なる 2 以上の軸の周りでの角速度を検出する 2 以上の角速度センサを用いてもよい。この場合、幾何学的方法により 2 以上の角速度センサの検出値をロール角速度 r およびヨー角速度 y に変換することが可能である。それにより、上式(17), (18)を用いることができる。

【0157】

(c) 上記実施の形態におけるロール角速度センサ 51 およびヨー角速度センサ 52 に加えて、車両 100 の左右方向の軸の周りでの角速度を検出する角速度センサを用いてもよい。この場合、ロール角の推定精度がさらに向上する。

【0158】

(d) 上記実施の形態における上下加速度センサ 53 、前後加速度センサ 54 および左右加速度センサ 55 の代わりに車両 100 の上下方向、前後方向および左右方向とは異なる 3 以上の方向の加速度を検出する 3 以上の加速度センサを用いてもよい。この場合、幾何学的方法により 3 以上の加速度センサの検出値を上下加速度 G_z 、前後加速度 G_x および左右加速度 G_y に変換することが可能である。それにより、上式(17), (18)を用いることができる。

【0159】

(e) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 によりロール角速度センサオフセット b_r およびヨー角速度センサオフセット b_y が推定されるが、これに限定されず、ロール角速度センサオフセット b_r のみが推定されてもよく、ヨー角速度センサオフセット b_y のみが推定されてもよい。ロール角速度センサオフセット b_r のみを推定する場合、その他のセンサオフセットの値をゼロとして計算を行えばよい。同様にヨー角速度センサオフセット b_y のみを推定する場合、その他のセンサオフセットの値をゼロとして計算を行えばよい。

【0160】

(f) 上記実施の形態では、上下加速度センサオフセット b_z が推定されるが、これに限定されず、前後加速度センサ 54 のオフセット誤差が推定されてもよく、または左右加速度センサ 55 のオフセット誤差が推定されてもよい。

【0161】

(g) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 の入力パラメータの 1 つとして後輪速度 v_r が用いられるが、これに限定されず、車両 100 の走行速度（車両速度）を測定可能な速度センサにより検出される車両速度をカルマンフィルタ 80 の入力パラメータの 1 つとして用いてもよい。

【0162】

(h) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 により車両速度 V_x が推定されるが、例えば、速度センサにより車両速度が検出される場合には、カルマンフィルタ 80 により車両速度 V_x が推定されなくてもよい。

【0163】

(i) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ 80 が ECU 20 およびプログラムにより実現されるが、これに限定されず、カルマンフィルタ 80 の一部またはすべての機能が電子回路等のハードウェアにより実現されてもよい。

【0164】

(j) 上記実施の形態におけるカルマンフィルタ 80 の代わりに、他の適応フィルタリング手法を用いてもよい。例えば、LMS（最小平均二乗）適応フィルタまたはH フィルタリング等を用いてもよい。

【0165】

(k) 上記実施の形態では、ロール角推定装置 10 が自動二輪車に適用されるが、これ 50

に限定されず、ロール角推定装置 10 は自動四輪車もしくは自動三輪車等の他の車両または船舶等の種々の輸送機器に適用することができる。

【0166】

(1) 上記実施の形態では、ロール角推定装置 10 により推定されたロール角 θ_r がナビゲーションシステム 12 およびヘッドライト駆動装置 15 に用いられるが、これに限定されず、ロール角推定装置 10 により推定されたロール角 θ_r は、輸送機器の他の制御等の種々の処理に用いることができる。

【0167】

(8) 請求項の各構成要素と実施の形態の各要素との対応

以下、請求項の各構成要素と実施の形態の各要素との対応の例について説明するが、本発明は下記の例に限定されない。 10

【0168】

上記実施の形態では、車両 100 の前後方向の軸が第 1 の軸の例であり、車両 100 の上下方向の軸が第 2 の軸の例であり、ロール角速度 ω_r が第 1 の角速度の例であり、ヨー角速度 ω_y が第 2 の角速度の例であり、ロール角速度センサ 51 が第 1 の角速度検出器の例であり、ヨー角速度センサ 52 が第 2 の角速度検出器の例である。

【0169】

また、車両 100 の上下方向が第 1 の方向の例であり、車両 100 の前後方向が第 2 の方向の例であり、車両 100 の左右方向が第 3 の方向の例であり、上下加速度 G_z が第 1 の加速度の例であり、前後加速度 G_x が第 2 の加速度の例であり、左右加速度 G_y が第 3 の加速度の例であり、上下加速度センサ 53 が第 1 の加速度検出器の例であり、前後加速度センサ 54 が第 2 の加速度検出器の例であり、左右加速度センサ 55 が第 3 の加速度検出器の例である。 20

【0170】

さらに、後輪速度 v_r または前輪速度 v_f が移動速度に関する情報の例であり、後輪速度センサ 7 または前輪速度センサ 6 が速度情報検出器の例であり、ECU 20 が推定部の例である。

【0171】

また、車両 100 または車体 1 が移動体の例であり、前輪 2 が前輪の例であり、後輪 3 が後輪の例であり、後輪速度センサ 7 が後輪回転速度推定部の例であり、前輪速度センサ 6 が前輪回転速度検出器の例であり、ECU 20 が後輪回転速度推定部の例である。 30

【0172】

また、ローパスフィルタ 63, 64, 65 が第 1、第 2 および第 3 のローパスフィルタの例であり、ECU 20 およびプログラムにより実現されるカルマンフィルタ 80 がカルマンフィルタの例である。ナビゲーションシステム 12 またはヘッドライト駆動装置 15 が処理部の例である。

【0173】

請求項の各構成要素として、請求項に記載されている構成または機能を有する他の種々の要素を用いることもできる。

【産業上の利用可能性】

【0174】

本発明は、輸送機器等のロール角を推定するために利用することができる。

【符号の説明】

【0175】

1 車体

2 前輪

3 後輪

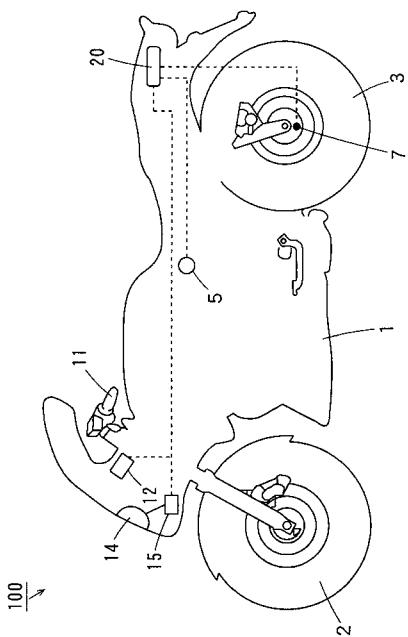
5 センサ群

6 前輪速度センサ

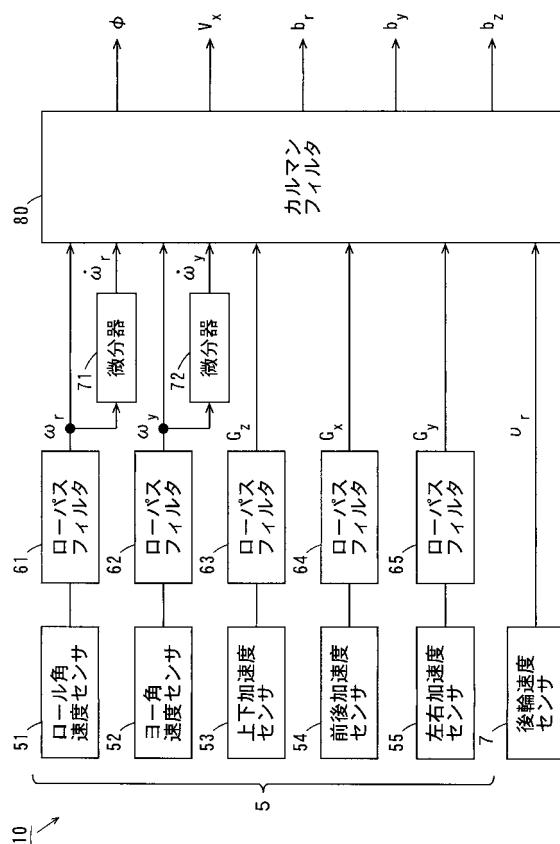
7, 9 後輪速度センサ

8 a	システム方程式	
8 b	加算機能	
8 c	積分機能	
8 d	観測方程式	
8 e	減算機能	
8 f	カルマンゲイン	
1 0	ロール角推定装置	
1 1	ハンドル	
1 2	ナビゲーションシステム	
1 4	ヘッドライト	10
1 5	ヘッドライト駆動装置	
2 0	E C U	
5 1	ロール角速度センサ	
5 2	ヨー角速度センサ	
5 3	上下加速度センサ	
5 4	前後加速度センサ	
5 5	左右加速度センサ	
6 1 ~ 6 5	ローパスフィルタ	
7 1 , 7 2	微分器	
8 0	カルマンフィルタ	20
1 0 0	車両	
b _r	ロール角速度センサオフセット	
b _y	ヨー角速度センサオフセット	
b _z	上下加速度センサオフセット	
G _x	前後加速度	
G _y	左右加速度	
G _z	上下加速度	
r _f , r _r	旋回半径	
u	入力パラメータ	
v _f	前輪速度	30
v _r	後輪速度	
V _f , V _r	速度	
V _x	車両速度	
r	ロール角速度	
y	ヨー角速度	
	ロール角	

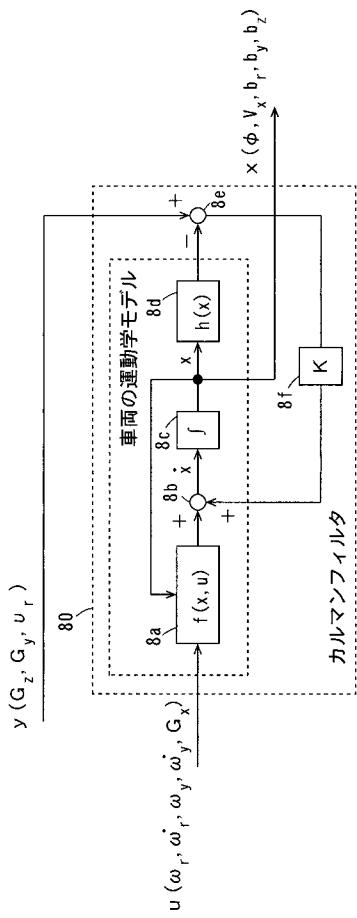
【図1】



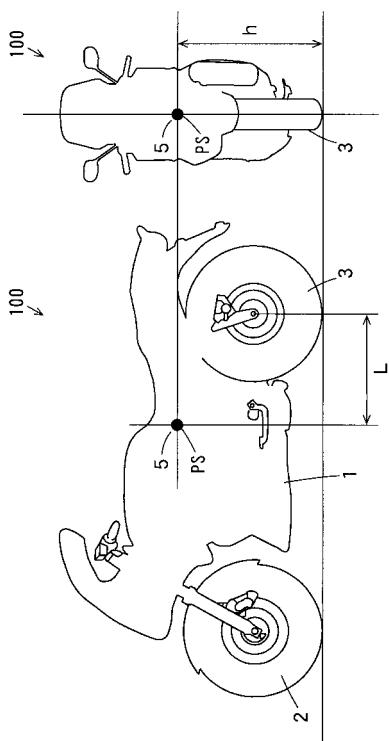
【図2】



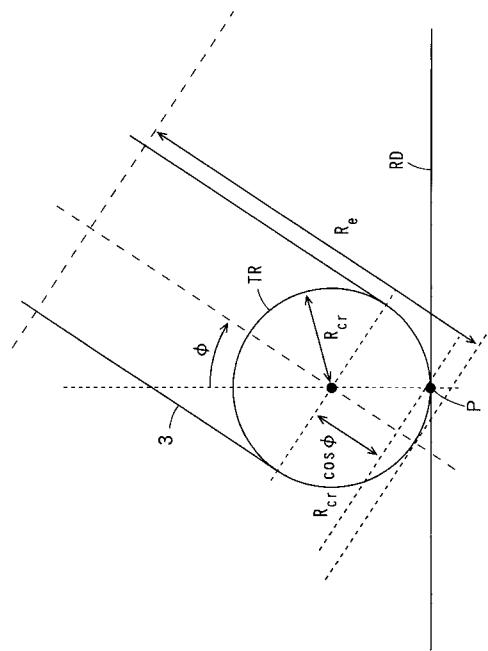
【図3】



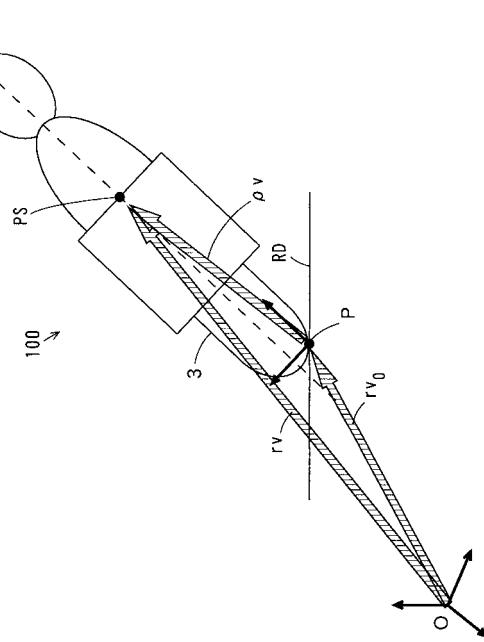
【図4】



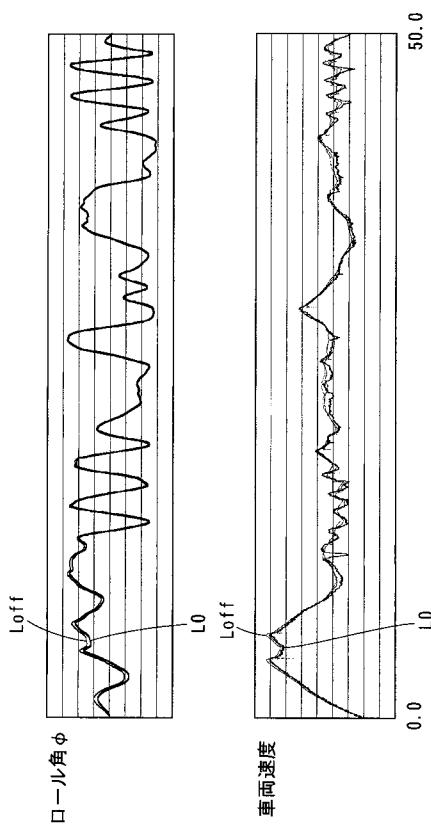
【図5】



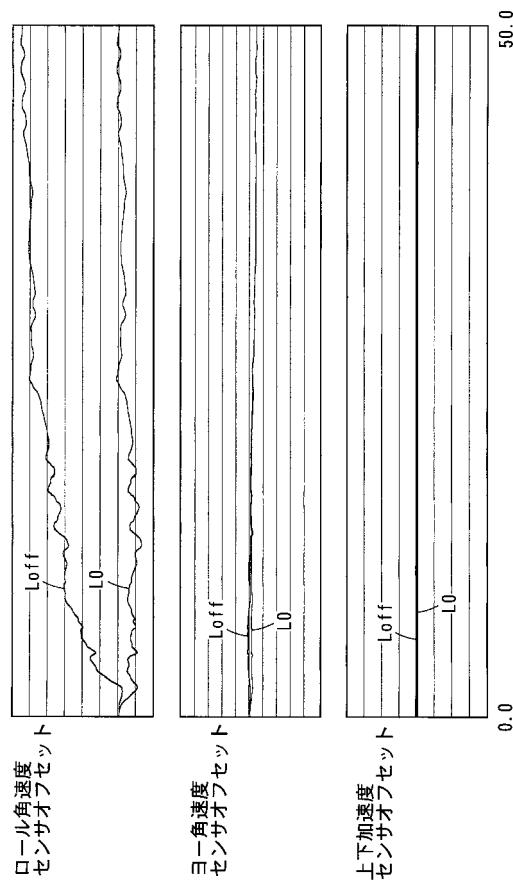
【図6】



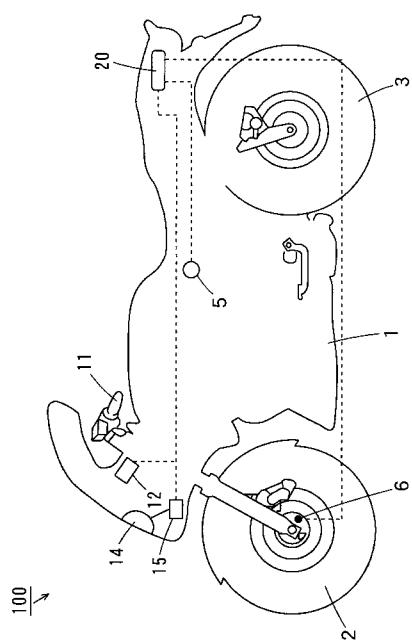
【図7】



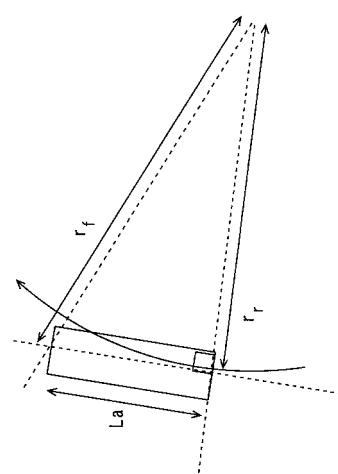
【図8】



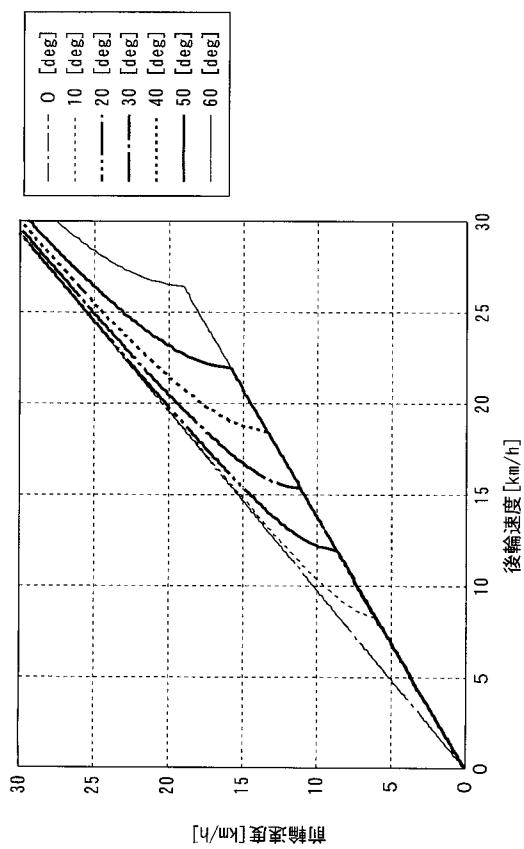
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

審査官 森林 宏和

(56)参考文献 特開2009-73466(JP,A)
特開2008-94375(JP,A)
特表2009-530177(JP,A)
特開2005-271914(JP,A)
国際公開第2007/148818(WO,A1)
特開2011-11582(JP,A)
特開2007-271605(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B60W 40/10 - 40/114
B62J 99/00
B60R 16/02
B60G 1/00 - 99/00