

(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.

F I

B 6 O W 40/10 (2012. 01)

B 6 O W 40/10

B 6 2 J 99/00 (2009. 01)

B 6 2 J 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。

【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、

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、

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。

【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

、

10

20

30

40

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。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-73466号公報

20

【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。

【課題を解決するための手段】

30

【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。

10

【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もよい。

【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。

20

【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。

30

【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】

40

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

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に構成され、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。

【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。

20

【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に構成され、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なかった場合にも、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jy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

(1 0) 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。

【 0 0 2 9 】

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】

【 0 0 3 0 】

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】

【 0 0 3 1 】

【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】

【 0 0 3 2 】

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。

【 0 0 3 3 】

(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

【 0 0 3 4 】

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。

【 0 0 3 5 】

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。

【 0 0 3 6 】

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

【 0 0 3 7 】

センサ群 5 および後輪速度センサ 7 の出力信号は、ECU 20 に与えられる。ECU 20 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。

【 0 0 3 8 】

本実施の形態では、センサ群 5、後輪速度センサ 7 および ECU 20 がロール角推定装置を構成する。

【 0 0 3 9 】

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61～65、微分器71, 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

【 0 0 5 5 】

(3) カルマンフィルタ 8 0 の構成

図 3 はカルマンフィルタ 8 0 の概念を示す図である。図 3 のカルマンフィルタ 8 0 では、以下に説明する車両 1 0 0 の運動学モデルが用いられる。

【 0 0 5 6 】

図 3 において、カルマンフィルタ 8 0 は、システム方程式 8 a、加算機能 8 b、積分機能 8 c、観測方程式 8 d、減算機能 8 e およびカルマンゲイン 8 f により構成される。システム方程式 8 a は関数 $f(x, u)$ を含み、観測方程式 8 d は関数 $h(x)$ を含み、カルマンゲイン 8 f は 5 次のカルマンゲイン K を含む。

【 0 0 5 7 】

現在の推定動作において、システム方程式 8 a の入力パラメータ u として、ロール角速度 $\dot{\phi}_r$ の検出値、ロール角加速度 (ロール角速度 $\dot{\phi}_r$ 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 8 a 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 ϕ_r 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_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_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 8 a の出力は、ロール角 ϕ_r 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_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 の微分値である。

【 0 0 5 8 】

ロール角 ϕ_r 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_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。

【 0 0 5 9 】

カルマンゲイン K が加算されたロール角 ϕ_r 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_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 ϕ_r 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_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_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。

【 0 0 6 0 】

また、観測方程式 8 d の入力パラメータ x として、ロール角 ϕ_r 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_r の推定値、ヨー角速度センサオフセット b_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 8 d 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。

【 0 0 6 1 】

また、カルマンフィルタ 8 0 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。

【 0 0 6 2 】

この運動学モデルのシステム方程式 8 a および観測方程式 8 d 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。

【 0 0 6 3 】

(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、運動学モデルを簡単化するために以下の点を仮定する。

【 0 0 6 4 】

(a) 車両 1 0 0 はピッチングしない。

【 0 0 6 5 】

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。

【 0 0 6 6 】

(c) 後輪 3 の横滑り速度は 0 である。

【 0 0 6 7 】

(d) 路面は平坦でかつ傾斜していない。

【 0 0 6 8 】

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。

【 0 0 6 9 】

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。

10

【 0 0 7 0 】

【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

20

【 0 0 7 1 】

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。

【 0 0 7 2 】

30

【数 1】

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

【 0 0 7 3 】

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

【 0 0 7 4 】

【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

【 0 0 7 5 】

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。

【 0 0 7 6 】

【数3】

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

10

【 0 0 7 7 】

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。

【 0 0 7 8 】

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。

【 0 0 7 9 】

図5においては、後輪3は路面RDに対してロール角 θ 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_c とし、後輪3の半径を R_e とする。

20

【 0 0 8 0 】

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 r_v 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 r_{v_0} 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 ρ_v とする。この場合、 $r_v = r_{v_0} + \rho_v$ が成り立つ。

【 0 0 8 1 】

ここで、位置ベクトル r_v の2階微分ベクトル、位置ベクトル r_{v_0} の2階微分ベクトル、ベクトル ρ_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

【 0 0 8 2 】

【表4】

パラメータ	意味
\ddot{r}_v	位置ベクトル r_v の2階微分ベクトル
\ddot{r}_{v_0}	位置ベクトル r_{v_0} の2階微分ベクトル
$\ddot{\rho}_v$	取り付け位置ベクトル ρ_v の2階微分ベクトル
g_v	重力加速度ベクトル

40

【 0 0 8 3 】

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 G_v とする。加速度ベクトル G_v は、次式のように、位置ベクトル r_v 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。

【 0 0 8 4 】

【数4】

$$G_v = \ddot{r}_v + g_v = \ddot{r}_{v_0} + \ddot{\rho}_v + g_v \quad \cdots (4)$$

50

【 0 0 8 5 】

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。

【 0 0 8 6 】

【 数 5 】

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

【 0 0 8 7 】

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。

10

【 0 0 8 8 】

【 数 6 】

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

20

【 0 0 8 9 】

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。

【 0 0 9 0 】

【 数 7 】

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

30

【 0 0 9 1 】

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。

【 0 0 9 2 】

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 および横滑り速度を V_y を用いて次式のように表される。

40

【 0 0 9 3 】

【 数 8 】

$$\dot{r}_{v_0} = [e_0] \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ 0 \end{bmatrix} \cdots (8)$$

50

【 0 0 9 4 】

上式(8)において、 $[e0] = [e0_1, e0_2, e0_3]$ である。 $e0_1$ 、 $e0_2$ および $e0_3$ 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。

【 0 0 9 5 】

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_{v0} の2階微分ベクトルは次式のように表される。

【 0 0 9 6 】

【数9】

$$\ddot{r}_{v0} = [e] \begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ V_x \omega_y \\ -V_x \omega_y \tan \phi \end{bmatrix} \quad \dots (9)$$

10

【 0 0 9 7 】

最後に、重力加速度ベクトルは次式のように表される。

【 0 0 9 8 】

【数10】

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

20

【 0 0 9 9 】

上式(10)においては、 g は重力加速度の大きさである。

【 0 1 0 0 】

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 G_v は次式のように表される。

【 0 1 0 1 】

【数11】

$$G_v = \ddot{r}_v + g_v = \ddot{r}_{v0} + \ddot{\rho}_v + g_v =$$

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

40

【 0 1 0 2 】

ここで、取り付け位置PSで検出される加速度ベクトル G_v 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。

【 0 1 0 3 】

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】

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

【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】

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

【0107】

上式(13)から次式が求まる。

【0108】

【数14】

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

【0109】

上式(3)、(12)、(14)から次式が求まる。

【0110】

【数15】

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

【0111】

【数 1 6】

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x \omega_y + a_y(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x \omega_y \tan \phi + a_z(\omega_r, \omega_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e(1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix} \quad \dots(16)$$

10

【0 1 1 2】

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。

【0 1 1 3】

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

【0 1 1 4】

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。

【0 1 1 5】

【数 1 7】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \phi \\ v_x \\ b_r \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_r - b_r \\ G_x - a_x(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(17)$$

30

【0 1 1 6】

40

【数 1 8】

$$\begin{bmatrix} G_y \\ G_z \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x(\omega_y - b_y) + a_y(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \sin \phi \\ -V_x(\omega_y - b_y) \tan \phi + a_z(\omega_r - b_r, \omega_y - b_y, \dot{\omega}_r, \dot{\omega}_y, \phi, L, h, R_{cr}) + g \cos \phi \\ \frac{1}{1 - R_{cr}/R_e(1 - \cos \phi)} V \end{bmatrix} \quad \dots(18)$$

50

【 0 1 1 7 】

上式 (1 7) , (1 8) 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 (1 7) をシステム方程式とし、上式 (1 8) 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、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 (1 7) の右辺が図 3 の関数 $f(x, u)$ に相当し、上式 (1 8) 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 5 1 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 5 2 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 5 3、前後加速度センサ 5 4 および左右加速度センサ 5 5) のオフセット誤差を推定することができれば、ロール角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 5 3 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 5 1 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 1 0 0 にオフセット誤差を有しないロール角速度センサ 5 1、ヨー角速度センサ 5 2、上下加速度センサ 5 3、前後加速度センサ 5 4、左右加速度センサ 5 5 および後輪速度センサ 7 を取り付け、車両 1 0 0 の実際の走行中に得られたロール角速度センサ 5 1、ヨー角速度センサ 5 2、上下加速度センサ 5 3、前後加速度センサ 5 4、左右加速度センサ 5 5 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 5 1 の検出値に 3 deg/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 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 5 1 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 5 1 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 5 1 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の推定値は、短時間でロール角速度センサ 5 1 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 5 1 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 5 1 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。

【 0 1 2 6 】

図 8 に示すように、ロール角速度センサ 5 1 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 5 1 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 b_r の推定値との差はオフセット誤差の値 ($3 \text{ deg} / \text{s}$) に等しくなる。

【 0 1 2 7 】

10

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 5 1 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。

【 0 1 2 8 】

このように、本実施の形態に係るロール角推定装置 1 0 によれば、ロール角速度センサ 5 1 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。

【 0 1 2 9 】

(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 1 0 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。

20

【 0 1 3 0 】

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 5 1 およびヨー角速度センサ 5 2 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。

30

【 0 1 3 1 】

さらに、上下加速度センサ 5 3 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。

【 0 1 3 2 】

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 1 0 0 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。

【 0 1 3 3 】

このように、ロール角推定装置 1 0 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、E C U 2 0 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 1 2 およびヘッドライト駆動装置 1 5 が正確に動作する。

40

【 0 1 3 4 】

(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 1 0 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

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。

【 0 1 3 5 】

車両 1 0 0 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 2 0 により後輪速度 v_r が推定される。

【 0 1 3 6 】

図 1 0 は車両 1 0 0 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

【 0 1 3 7 】

【数 1 9】

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

【 0 1 3 8 】

ここで、 La は車両 1 0 0 のホイールベース長である。上式 (19) より次式が得られる。

【 0 1 3 9 】

20

【数 2 0】

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

【 0 1 4 0 】

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。

【 0 1 4 1 】

30

【数 2 1】

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

【 0 1 4 2 】

さらに、車両 1 0 0 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。

【 0 1 4 3 】

40

【数 2 2】

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

【 0 1 4 4 】

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。

【 0 1 4 5 】

【数 2 3】

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

【0 1 4 6】

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。

【0 1 4 7】

【数 2 4】

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

10

【0 1 4 8】

上式(24)は次式の条件が満たされる場合にのみ解を持つ。

【0 1 4 9】

【数 2 5】

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

20

【0 1 5 0】

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。

【0 1 5 1】

【数 2 6】

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

30

【0 1 5 2】

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。

【0 1 5 3】

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。

40

【0 1 5 4】

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。

【0 1 5 5】

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

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 ω_r およびヨー角速度 ω_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 ϕ_r の推定精度がさらに向上する。

10

【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】

20

(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。

30

【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。

40

【0163】

(i) 上記実施の形態では、カルマンフィルタ80がECU20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 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 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。

【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 $\dot{\phi}_r$ が第 1 の角速度の例であり、ヨー角速度 $\dot{\phi}_y$ 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。

【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。

【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

10

20

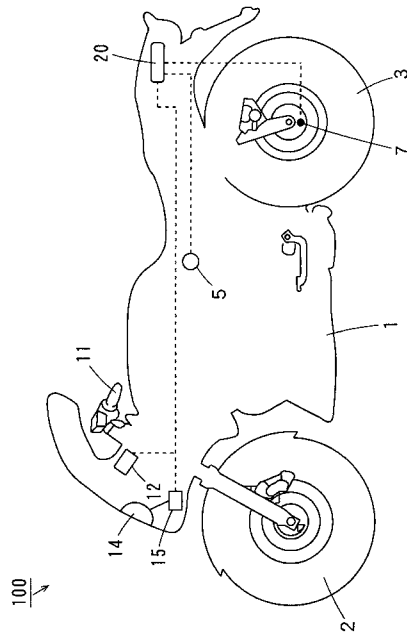
30

40

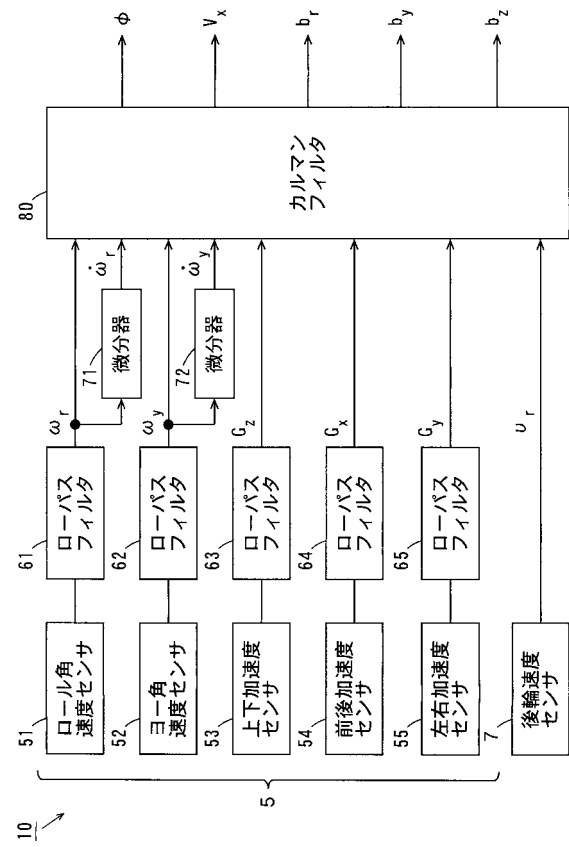
50

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	

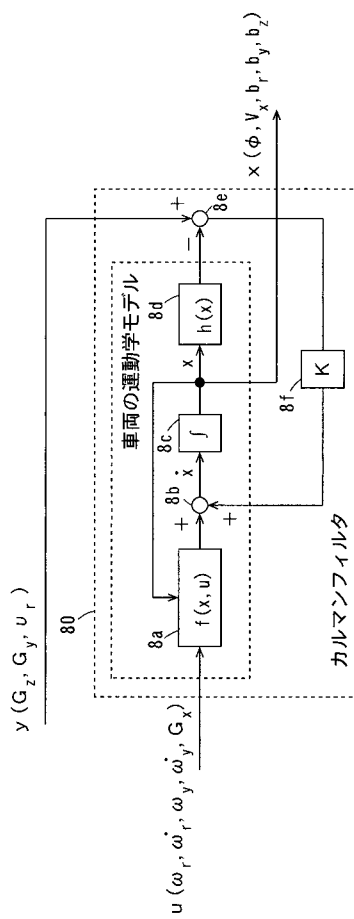
【図 1】



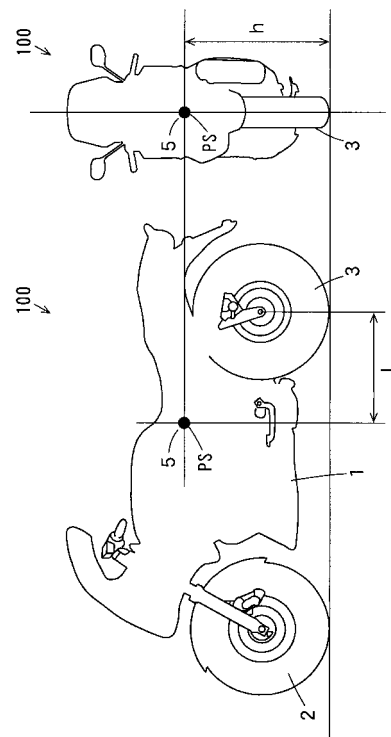
【図 2】



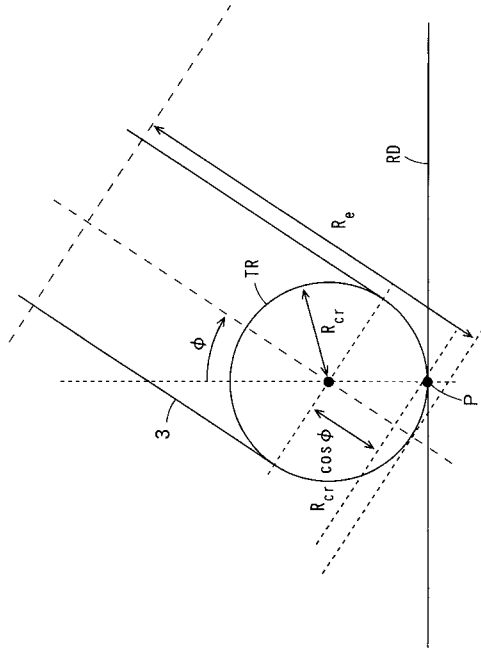
【図 3】



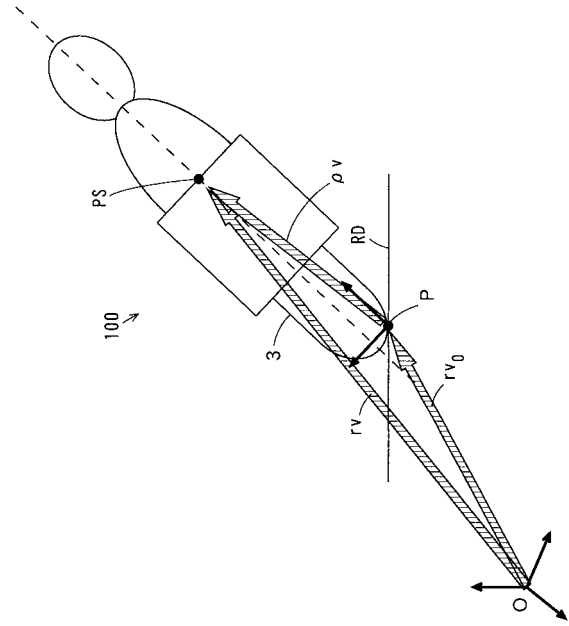
【図 4】



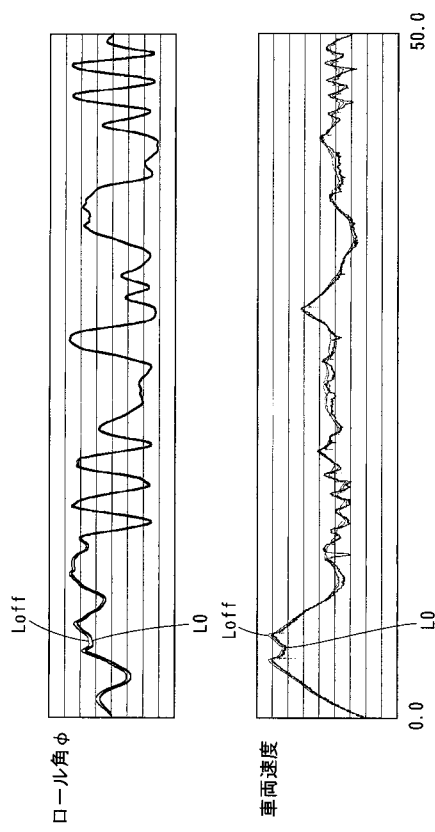
【図 5】



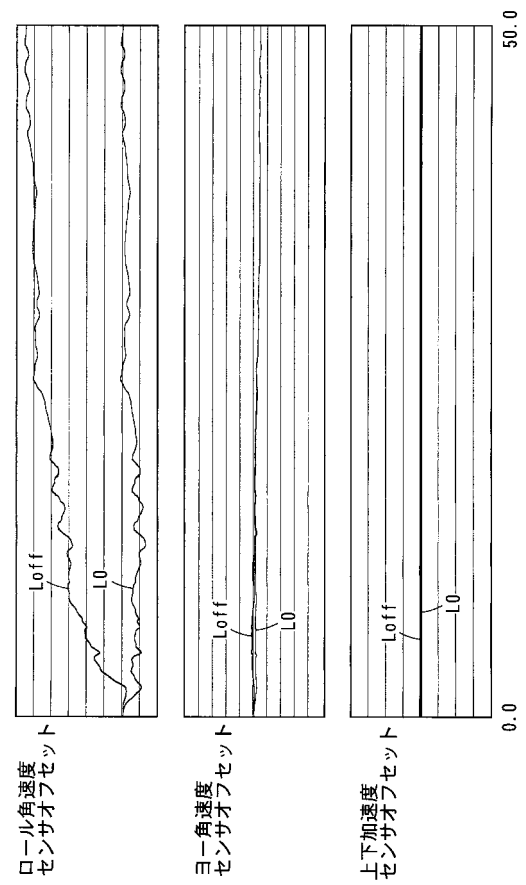
【図 6】



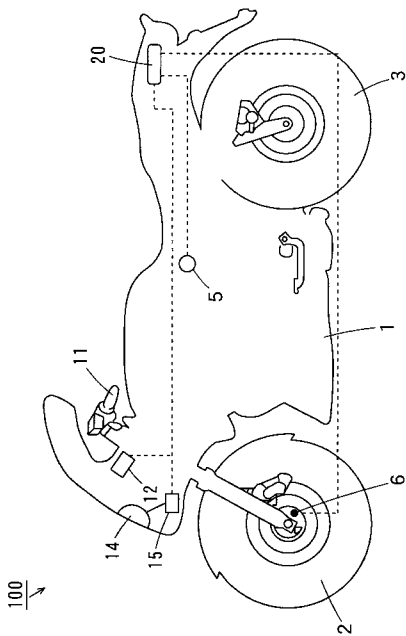
【図 7】



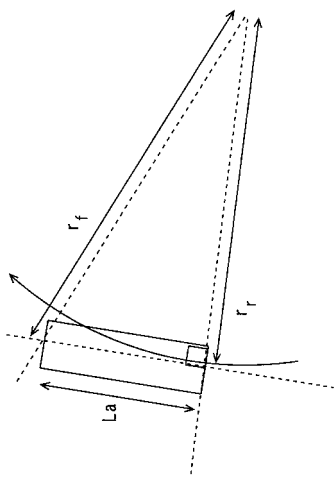
【図 8】



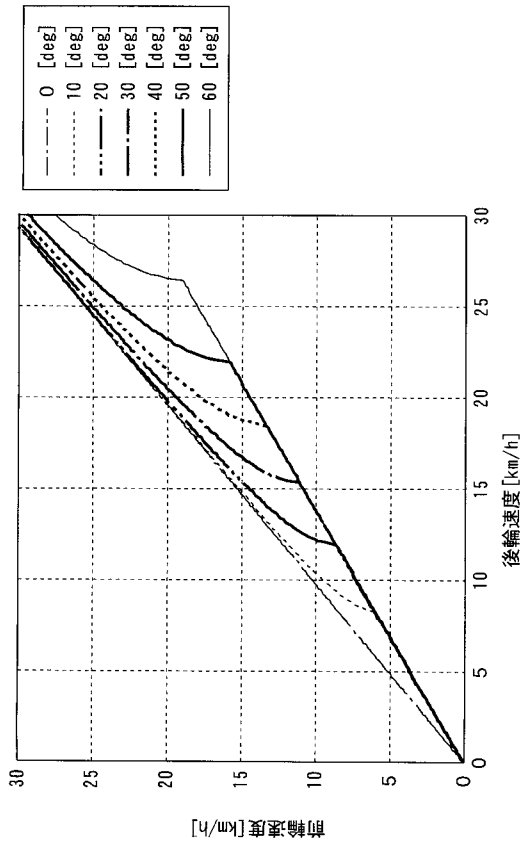
【図 9】



【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